SENCE – PROJEKT 2

Energie-Agenda Allensbach

Studie zum Energieverbrauch gewerbetreibender Unternehmen

Bearbeitung: Dipl.-Ing. (FH) Annegret Fuchs
Matrikelnummer: 800200

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Tobias Schweinfurth
Matrikelnummer 800205

Dipl. Ing. (FH) Max Thiel
Matrikelnummer: 800206

Betreuung: Prof. Dr. – Ing. Christian Schaffrin
Prof. Dipl.- Ing. Peter Kleine-Möllhoff

Datum der Abgabe: 18.09.2006

Hochschule Ulm
University of Applied Sciences

Hochschule für Forstwirtschaft
University of Applied Forest Sciences
Rottenburg

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK STUTTGART
STUTTGART UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 2

Abkürzungsverzeichnis 4

Abbildungsverzeichnis 5

1 Einleitung 7

2 Methodisches Vorgehen 9

2.1 Untersuchungsrahmen 9

2.2 Vorgehensweise 10

3 Analyse des Energieverbrauchs gewerbetreibender Unternehmen 13

4 Darstellung von Möglichkeiten der Energieeinsparung 23

5 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien zur Bereitstellung von Wärme und Strom 28

5.1 Erneuerbare Energien – Potentiale und Rahmenbedingungen 28

5.2 Strom und Wärme aus Erneuerbaren Energien 31

5.2.1 Kurzüberblick Erneuerbare Energieträger zur Strom- und Wärmegewinnung 32

5.2.2 Blockheizkraftwerke 44

5.3 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien zur Bereitstellung von Wärme und Strom in den Gewerbebetrieben der Gemeinde Allensbach 46

5.3.1 Wärme- und Stromverbrauch der Gewerbebetriebe in Allensbach 46

5.3.2 Technische Potentiale erneuerbarer Energieträger im Landkreis Konstanz und in der Gemeinde Allensbach 47

5.3.3 Darstellung von Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien in den Gewerbebetrieben der Gemeinde Allensbach 48

5.4 Überschlägige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einiger nachhaltiger Energiesysteme zur Wärmegewinnung 53

5.4.1 Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 53

5.4.2 Überschlägige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der einzelnen Varianten 56

5.4.3 Fazit 63

6 Szenarien zur Reduzierung des Primärenergieverbrauchs 65

7 Zusammenfassung 72

8 Literaturverzeichnis 74

9 Anhang 80

Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
ORC	Organic Rankine Cycle
PEV	Primärenergieverbrauch
PV	Photovoltaik
SENCE	Sustainable Energy Competence
VBZ	Vollbenutzungsstundenanzahl
WRG	Wärmerückgewinnung

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 : Untersuchungsgebiet Gemeinde Allensbach 9
Abb. 2 : Jahresverbräuche getrennt nach Energiequellen 13
Abb. 3 : CO2-Emmissionen pro erzeugter kWh 14
Abb. 4 : CO2-Emmissionen p.a. 15
Abb. 5 : Strom- und Wärmeverbrauch p.a. 15
Abb. 6 : Gesamtenergieverbrauch p.a. 16
Abb. 7 : Kategorien ABC-Analyse. 16
Abb. 8 : ABC-Analyse Energieverbrauch. 17
Abb. 9 : Stromverbrauch p.a. 18
Abb. 10 : Wärmeverbrauch p.a. 19
Abb. 11 : Absoluter Energieverbrauch der Betriebe im Gewerbegebiet 20
Abb. 12 : Anteir Energieverbrauch der Betriebe im Gewerbegebiet (relativ) 20
Abb. 13 : Prozentualer Energieverbrauch im Gewerbegebiet 21
Abb. 14 : Verhältnis Strom- zu Wärmeverbrauch der Betriebe im Gewerbegebiet 22
Abb. 15 : Möglichkeiten der Energieeinsparung 23
Abb. 16 : Entwicklung des weltweiten Primärenergieverbrauchs zwischen 1870 und 2004 sowie seiner Deckung nach Energiequellen einschließlich der nichtkommerziellen Nutzung von Biomasse, [BMU, 2006a, S.10] 28
Abb. 17 : Theoretisches (hintere Quader) und technisches Potential (vordere Quader) der Erneuerbaren im Vergleich zum Weltenergieverbrauch Energien,[BMU, 2006a, S.23] 29
Abb. 18 : Struktur des Primärenergieverbrauchs in Deutschland 2005, [BMU 2006a, S.40] 29
Abb. 19 : Struktur der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 2005, [BMU, 2006c] 31
Abb. 20 : Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2005, [BMU, 2006c] 31
Abb. 21 : Offshore Windpark Middelgrunden, Dänemark [WIND, 2006] 32
Abb. 22 : Abhängigkeit der Leistung von Windkraftanlagenvon der Windgeschwindigkeit 32
Abb. 23 : Laufwasserkraftwerk Finsing am Mittleren Isar-Kanal [BLFW, 2006] 33
Abb. 24 : Einsatzbereiche von Wasserturbinen [PESCHGES, 2005] 33
Abb. 25 : Jährliche Sonneneinstrahlung in Deutschland (kWh/m² x a) [WMBW, 2004, S.6] 34
Abb. 26 : Aufbau eines Flachkollektors [WMBW, 2004, S. 8] 35
Abb. 27 : Solarthermische Anlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung (Zwei-Speicheranlage) [WMBW, 2004, S. 19] 35
Abb. 28 : Solarer Deckungsanteil am Wärmebedarf eines typischen Einfamilienhauses im Jahresverlauf mit Überschusszeiten im Sommer [WMBW, 2004, S7] 36
Abb. 29 : Kühlung und Entfeuchtung der Außenluft durch eine offene Adorptionskältemaschine mit Solarthermie [BMU, 2006a, S. 88] 36
Abb. 30 : Einsatzmöglichkeiten von Solarthermie im Gewerbe mit Prozesswärmebedarf unter 300°C [TU-BERLIN, 2006] 37

Abb. 31 : Prinzipieller Aufbau einer kristallinen Solarzelle [SCHAFF, 2005, S.21] *37*
Abb. 32 : Einfluss der Kollektororientierung auf en solaren Energiegewinn [WMBW, 2004, S. 22] *38*
Abb. 33 : Prinzip einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage [BMU, 2006a, S. 74] *38*
Abb. 34 : Netzunabhängige Kleinanlage im Rappenecker Hof, Schwarzwald,eigenes Foto *38*
Abb. 35 : Prinzipskizze einer Hackschnitzelfeuerung [FNR, 2005d, S. 93] *39*
Abb. 36 : Aufbau einer Biogasanlage [FNR, 2005c, S. 21] *40*
Abb. 37 : Prinzip des Hot-Dry-Rock-Verfahrens [SOLARCOMPLEX, S. 82] *41*
Abb. 3 8 : Prinzip der hydrothermalen Geothermie [BMU, 2006a, S. 114] *42*
Abb. 3 9 : Prinzip einer Erdsondenanlage [BSTMUGV, 2005, S. 6] *42*
Abb. 40 : Energieflussdiagramm einer Erdwärmepumpe mit einer Arbeitszahl von 4 ..... *42*
Abb. 41 : Primärenergiebilanz eines konventionellen Kraftwerk, eines zentralen Heizkraftwerks und eines dezentralen BHKWs [STEINBORN, 2005, S. 1f.] *44*
Abb. 42 : Funktionsprinzip eines BHKWs [WIKIPEDIA, 2005] *45*
Abb. 43 : Gesamtendenergieverbrauch in Allensbach nach Verbrauchsgruppen [AL-SAIDI&WOLF, 2004, S. 36] *46*
Abb. 44 : Endenergiebedarf und technische Potentiale der erneuerbaren Energien im Landkreis Konstanz, nach [SOLARCOMPLEX, 2002], eigene Ergänzungen *47*
Abb. 45 : Endenergiebedarf und technische Potentiale der erneuerbaren Energienin der Gemeinde Allensbach, nach [SOLARCOMPLEX, 2002] und Abgaben von [AL-SAIDI&WOLF, 2004], eigene Ergänzungen47
Abb. 46 : Erneuerbare Energien in Allensbach – Stand 2004 [AL-SAIDI&WOLF, S. 25] *48*
Abb. 47 : Instandsetzungs- und Wartungskosten für verschiedene Heizsysteme nach VDI 2067 ..... *..55*
Abb. 48 : Wärmegestehungskosten der verschiedenen Wärmeerzeuger in €/kWh ..... *.63*
Abb. 49 : Prozentualer Anteil der Kapital-, Betriebs- und Verbrauchskosten der einzelnen Wärmeerzeuger an den jährlichen Gesamtkosten *64*
Abb. 50 : Primärenergiefaktoren nach DIN V 4701-10 ..... *67*
Abb. 51 : Vergleich des Primärenergieverbrauchs der verschiedenen Varianten *69*
Abb. 52 : Reduktionspotentiale des Primärenergieverbrauchs *70*
Abb. 53 : Kategorien ABC-Analyse *72*
Abb. 54 : Reduktionspotentiale Primärenergieverbrauch *73*

1 Einleitung

Die Thematik Energie und Klimaschutz betreffend entstand im Rahmen einer Master-Thesis des Studienganges SENCE der FH Rottenburg und der lokalen Agenda 21 der Gemeinde Allensbach die Energie-Agenda Allensbach [Al-Saidi & Wolf, 2004]. Zielsetzung war die „Reduzierung des jetzigen Endenergieverbrauchs in der Verbrauchssektoren Haushalte und öffentliche Einrichtungen auf 50 %“ sowie die „Stufenweise Anhebung des Anteils der erneuerbaren Energieträger des reduzierten Endenergieverbrauchs der Haushalte und öffentlichen Einrichtungen auf 50 %“ [Al-Saidi & Wolf, 2004, S. 14]. Hierzu wurde der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte und der öffentlichen Einrichtungen in Allensbach ermittelt.

Von Seiten der Gemeinde Allensbach insbesondere der Arbeitsgruppe Energie, Ressourcen, Klimaschutz der lokalen Agenda 21 bestand das Interesse mit weiterführenden Untersuchungen an die genannte Master-Thesis anzuschließen. So fand im April 2006 ein erstes Treffen mit Vertretern der Gemeinde, der Arbeitsgruppe Energie, Ressourcen, Klimaschutz und des Studiengangs SENCE statt und es wurde eine weiterführende Untersuchung vereinbart. Die dargestellte Arbeit erfolgte im Rahmen der Projektphasen des SENCE- Studiengangs. Die sechswöchige Bearbeitung erfolgte im Zeitraum von Mai bis Juli 2006 und wurde von drei Studenten durchgeführt.

Diese Projektarbeit möchte an die bisher geleistete Arbeit anknüpfen und widmet sich dem bisher nicht untersuchten Bereich des Energieverbrauchs gewerbetreibender Unternehmen. Es handelt sich hierbei um eine Bestandsanalyse des Endenergieverbrauchs gewerbetreibender Unternehmen in der Gemeinde Allensbach mit dem Ziel Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauchs bzw. zur Nutzung von erneuerbaren Energien darzustellen. Aufgaben dieser Arbeit sind:

- Strukturierung der Gewerbebetriebe nach Energieverbrauch und Energiearten
- Ermittlung und Analyse der Kennzahlen energieintensiver und typischer Gewerbebetriebe
- Darstellung von Einsparpotenzialen im Bereich Wärme und Strom
- Einsatzmöglichkeiten von erneuerbaren Energien zur Bereitstellung von Wärme und Strom und Überprüfung auf deren Wirtschaftlichkeit
- Darstellung verschiedener Szenarien zur Reduktion des Primärenergieverbrauchs

Die Durchführung dieser Projektarbeit erfolgte in Teamarbeit. Für die Anfertigung dieses Abschlussberichtes, sowie der Präsentationen vor dem Gemeinderat von Allensbach und an der FH Rottenburg, wurde die Arbeit in einzelne Arbeitspakete aufgeteilt. Aus folgender Aufstellung geht hervor, welcher Student für welche Arbeitsleistung verantwortlich ist.

Annegret Fuchs	Kapitel 5
Tobias Schweinfurth	Kapitel 3, 6
Max Thiel	Kapitel 1, 2, 4, 7

2 Methodisches Vorgehen

2.1 Untersuchungsrahmen

Gegenstand der Untersuchung sind ausgewählte Gewerbebetriebe der Gemeinde Allensbach am Bodensee. Untersuchungsgebiet ist die gesamte Gemeinde (7.072 Einwohner, Stand 2002) mit dem Ortskern Allensbach und den Ortsteilen Hegne, Kaltbrunn, Freudental und Langenrain. Energieverbrauchswerte wurden für die Kalenderjahre 2004 und 2005 ermittelt. Die Bearbeitung dieser Projektarbeit erfolgte iin einem sechswöchigen Zeitraum zwischen Mai und Juli 2006.

Abb. 1: Untersuchungsgebiet Gemeinde Allensbach

2.2 Vorgehensweise

Um einen Überblick über den Energieverbrauch gewerbetreibender Unternehmen in Allensbach zu geben, war es zunächst notwendig herauszufinden, wie viele Gewerbebetriebe es in der Gemeinde gibt. Insgesamt sind, nach Angaben der Gemeindeverwaltung, in Allensbach 438 gewerbetreibende Unternehmen gemeldet (siehe Anhang A1). Dabei ist anzunehmen, das viele dieser Gewerbebetriebe was den Energieverbrauch betrifft normalen Privathaushalten ähneln, z.B. ein Buchhaltungsbüro. Es wurde beschlossen, einen repräsentativen Überblick zu geben, da in dem begrenzten Zeitrahmen dieser Projektarbeit nicht möglich wäre den Energieverbrauch aller 438 gewerbetreibenden Unternehmen zu ermitteln. Dieser beinhaltet die zehn größten Energieverbraucher der Gemeinde sowie weitere zehn als typisch für die Gemeinde zu betrachtende Gewerbeunternehmen. Die Auswahl erfolgte in Abstimmung mit Hr. J. Holtmann, einem örtlich ansässigen Energieberater und Mitglied der lokalen Agenda-Gruppe Energie, Ressourcen, Klimaschutz.

Die zehn größten Energieverbraucher sind:

- Autohaus Brodmann
- Campingplatz Himmelreich
- Holsteins Backhaus
- Hotel Schloss Freudental
- Klinik Schmieder
- Kloster Hegne
- Maschinenbau von Briel
- Neukauf Markt
- Norma Lebensmittelfilialbetrieb
- Säge- und Hobelwerk Demmler

Zehn, für die Gemeinde typische Gewerbeunternehmen sind:

- Blumenhandel Huber
- Friseur Salon Otremka
- Müllerhof Metzgerei
- Radhaus Allensbach
- Schlosserei Wiehler

- Seecafe Singler
- Sonnen-Apotheke
- Volksbank
- Wäscherei am See
- Zimmerei Blum

Die Basis dieser Arbeit bildet die empirische Datenerhebung des Strom- und Wärmeverbrauchs der ausgewählten Gewerbebetriebe. Die Datenermittlung erfolgte mittels eines hierfür ausgearbeiteten Fragebogens (siehe Anhang A2). Dieser ist wie folgt aufgebaut:

- 1.1 Allgemeines

  Dieser Punkt erfasst grundlegende Informationen wie Firmenname, Ansprechpartner, Anschrift, Telefon etc.

- 1.2 Betrieb und Gebäude

  Hierbei wird der Betrieb zunächst einer Kategorie bzw. Branche zugeordnet. Weiterhin wird die Grundfläche des Gebäudes, die Dachausrichtung und Dachfläche ermittelt, insbesondere in Bezug auf potentielle Möglichkeiten der Stromerzeugung mittels PV. Schließlich wird noch erfasst, ob bereits erneuerbare Energieträger genutzt werden und wenn ja welche.

- 2.1 Energieverbrauch 2005

  Hierbei ist der Energieverbrauch des Kalenderjahres 2005 von Interesse. Erfasst werden sowohl der Strom- als auch der Wärmeverbrauch. Weiterhin wird festgehalten, welcher Energieträger zur Wärmeversorgung genutzt wird.

- 2.2 Energieverbrauch 2004

  Hierbei werden die gleichen Kenndaten wie in Abschnitt 2.1 erfasst, allerdings bezogen auf das Kalenderjahr 2004.

- 2.3 Hauptverwendung Strom

  Hierbei wird angegeben, wofür der Strom hauptsächlich benötigt wird. Möglichkeiten sind Maschineneinsatz, Bürogeräte, Beleuchtung, Kühlung, Wärme bzw. Warmwasseraufbereitung und Sonstige.

- 2.4 Zukünftige Energieversorgung

  Abschließend wird der Ansprechpartner gefragt, wie er sich die Energieversorgung seines Betriebes in Zukunft vorstellt. Gefragt wird nach Einsparpotentialen, sowie nach der Bereitschaft in Einsparmaßnahmen und erneuerbare Energieträger zu investieren. Weiterhin ist von Interesse, ob ein potentieller Anschluss an ein Nahwärmenetz gewünscht wäre.

Um schnelle und zuverlässige Antworten zu bekommen wurde wie folgt vorgegangen: Zuerst wurde eine schriftliche Ankündigung der Befragung im Gemeindeblatt veröffentlicht (siehe Anhang A3). Anschließend wurden die ausgewählten Betriebe telefonisch informiert und ein Termin zur Befragung ausgemacht. Die Betriebe wurden dann von einem Vertreter der Studenten persönlich aufgesucht und befragt. So wurde von allen o.g. 20 Gewerbebetrieben Energieverbrauchskennwerte erfasst.

In der Auswertung wurden alle Fragebogen zusammengetragen und eine Analyse des Energieverbrauchs durchgeführt (Kap. 3). Da der Verbrauch an Strom und Wärme jeweils für die beiden Kalenderjahre 2004 und 2005 ermittelt wurde, wurde zur weiteren Bearbeitung wurde aus diesen beiden Werten ein Mittelwert gebildet. Die Summe der einzelnen Mittelwerte ergibt den jährlichen Gesamtenergieverbrauch der 20 Gewerbebetriebe. Bei der Energieart Wärme war es notwendig unterschiedliche Einheiten (l,m³) in kWh zu vereinheitlichen. Faktoren hierfür sind die Heizwerte von Öl (10,1 kWh/l) und Gas (11,1 kWh/m³). Die Analyse gibt Aufschluss über den Gesamtenergieverbrauch (Strom + Wärme), den Stromverbrauch und den Wärmeverbrauch. Des Weiteren wurden die CO_2-Emmisionen, welche bei den Energieumwandlungsprozessen entstehen, ermittelt. Der CO_2-Ausstoß der Wärmequelle Öl beträgt 0,26 kg CO_2 / kWh und der der Wärmequelle Gas 0,20 kg CO_2 / kWh. Grundlage für den CO_2-Ausstoß beim Strom ist der deutsche Strommix mit 0,55 kg / kWh [BE, 2006].

Es wurde ein Ranking des Energieverbrauchs der 20 Gewerbebetriebe erstellt. Auf dieser Basis wurde eine ABC-Analyse durchgeführt und die weitere Auswertung auf das Gewerbegebiet fokussiert. In Kapitel 4 werden Möglichkeiten zur Energieeinsparung dargestellt. Daran anschließend thematisiert Kapitel 5 die Einsatzmöglichkeiten von erneuerbaren Energien und der Wirtschaftlichkeit. Abschließend werden in Kapitel 6 Szenarien zur Reduzierung des Primärenergieverbrauchs dargestellt.

3 Analyse des Energieverbrauchs gewerbetreibender Unternehmen

Da nicht von allen 20 Gewerbebetrieben die Energiekenndaten aus den Jahren 2004 und 2005 vorlagen und saisonale Faktoren mit hinein spielen, wurde zur besseren Vergleichbarkeit der Mittelwert aus den beiden Jahren ermittelt und mit diesem weitergearbeitet. In den nachfolgenden Grafiken sind zu Beginn grundsätzliche Daten und Zusammenhänge aufgeführt, welche dann weiter vertieft werden. Soweit nicht anderweitig vermerkt, betreffen die Daten immer alle 20 untersuchten Unternehmen und stellen den gemittelten Jahresverbrauch der Jahre 2004 und 2005 dar. Die Datengrundlagen dieser Auswertung finden sich in Anhang A4. Im nachfolgenden Diagramm sind die aufsummierten Verbräuche aller 20 Betriebe nach Energiequelle getrennt dargestellt.

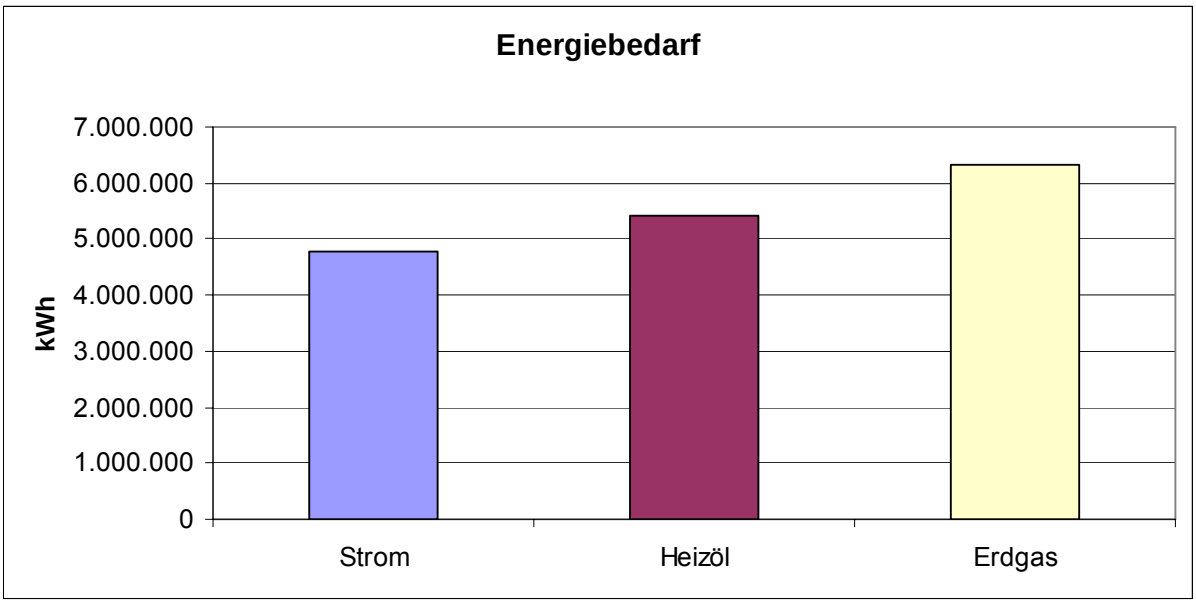


Abb. 2: Jahresverbräuche getrennt nach Energiequellen

Die Mehrheit der Betriebe nutzt bereits Erdgas als Brennstoff (ca. 54%) zur Wärmegewinnung. Der Gesamtendenergieverbrauch (Heizöl, Erdgas und Strom) der untersuchten Betriebe belief sich auf 16,5 Mio. kWh pro Jahr.

Beim Wärmeverbrauch hat die Energiequelle entscheidenden Einfluss auf die Höhe der CO_2-Emissionen. Je nach verwendeter Energiequelle wird pro erzeugter kWh Wärme unterschiedlich viel CO_2 in die Umwelt abgegeben. Das Diagramm Abb. 3 zeigt die Unterschiede sehr deutlich. So fallen bei der Erzeugung von 1 kWh Wärme aus Heizöl 0,26kg CO_2 an. Wird die gleiche Menge Wärme aus Erdgas erzeugt, so werden nur 0,20 kg CO_2 frei. Dies entspricht einer Reduktion von ca. 23%. Bei der Stromerzeugung wird der deutsche Energiemix zu Grunde gelegt. Strom weist die höchsten CO_2-Emissionen auf, da bei konventionellen Kraftwerken mehrere Energieumwandlungsstufen durchlaufen werden, die jedes Mal verlustbehaftet sind und somit den Gesamtwirkungsgrad senken.

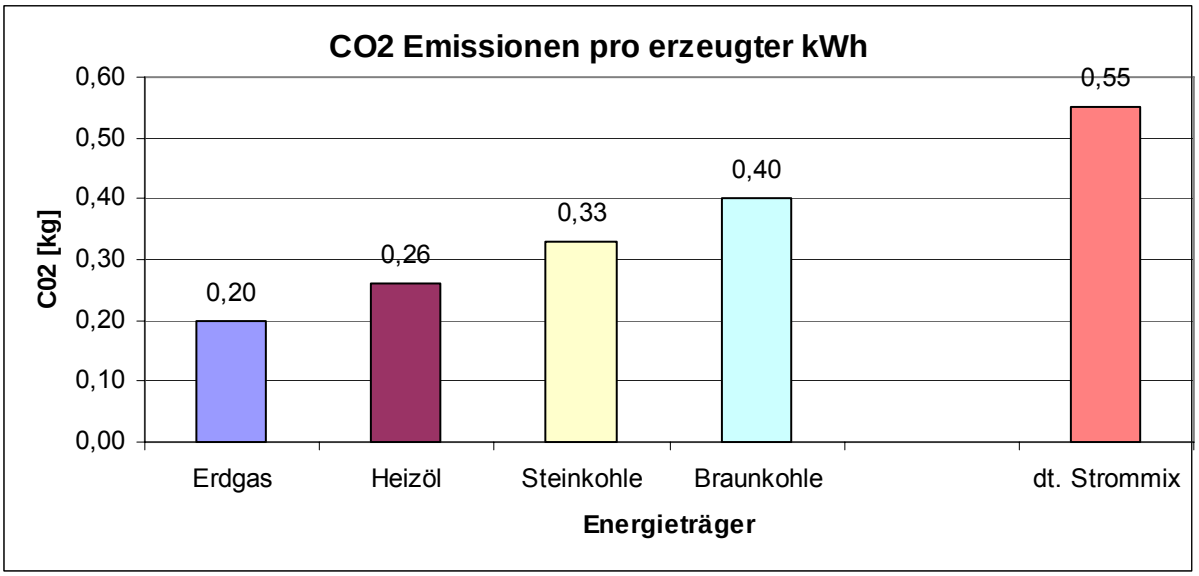


Abb. 3: CO_2-Emmissionen pro erzeugter kWh

Berücksichtigt man die unterschiedlichen spezifischen Emissionen, so emittieren alle 20 Gewerbebetriebe ca. 5.300 Tonnen CO_2 pro Jahr. Beim derzeitigen Preis der Emissionsberechtigung für eine Tonne CO_2 an der Leipziger Börse EEX von 15,83 EUR (KW 37/2006) entspricht dies einer Summe von ca. 83.900 EUR, die pro Jahr anfallen würde, wenn man Emissionsrechte zukaufen müsste [VDI-NACHRICHTEN, 2006].

Die ausführliche Aufschlüsselung nach Betrieben zeigt die Abb. 4. Die Klinik Schmieder und das Kloster Hegne haben den größten Energiebedarf und verursachen damit auch die weitaus meisten CO_2-Emissionen. Da die Klinik jedoch mit Erdgas und das Kloster mit Heizöl den Wärmebedarf decken, fällt die CO_2-Bilanz der Klinik im Vergleich zu ihrem Energieverbrauch positiver aus.

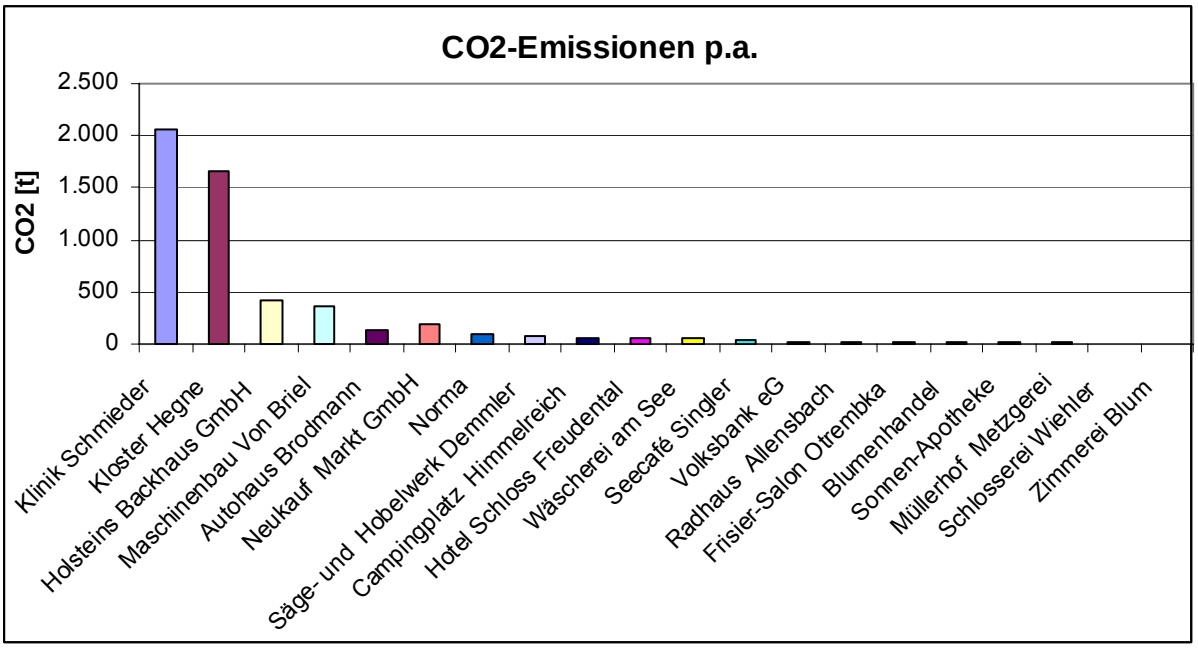


Abb. 4: CO_2-Emmissionen p.a.

Der überwiegende Teil der Energie wird zur Wärmeversorgung benötigt. Es zeigte sich, dass ca. 2,5-mal mehr Wärme benötigt wird als Strom. Dies ist vor allem in Hinblick auf die Kraft-Wärmekopplung interessant und bietet Möglichkeiten, auf diesem Gebiet nach Einsparpotentialen zu suchen.

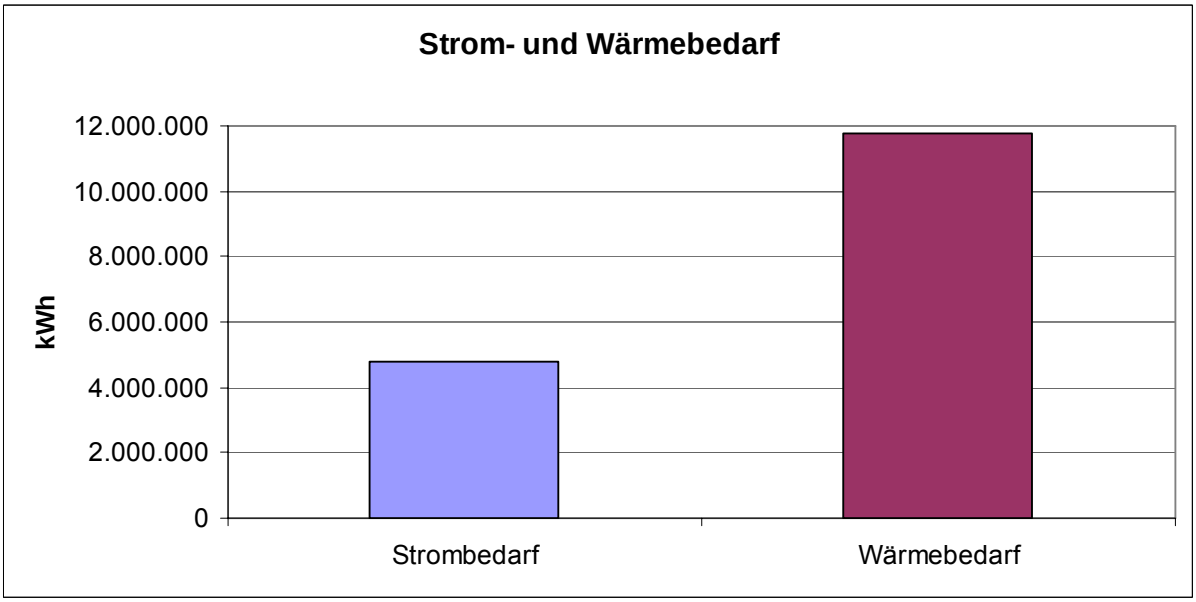


Abb. 5: Strom- und Wärmeverbrauch p.a.

Es wurde nun ein Ranking erstellt, das auf dem Jahresenergieverbrauch basiert. Dazu wurde die Wärme- und die Stromenergie aufaddiert. In den Diagrammen ist auf der linken Seite das Unternehmen mit dem höchsten und auf der rechten Seite mit dem niedrigsten Jahresenergieverbrauch aufgeführt. Zur besseren Übersichtlichkeit, wurde diese Reihenfolge bei allen weiteren Diagrammen beibehalten.

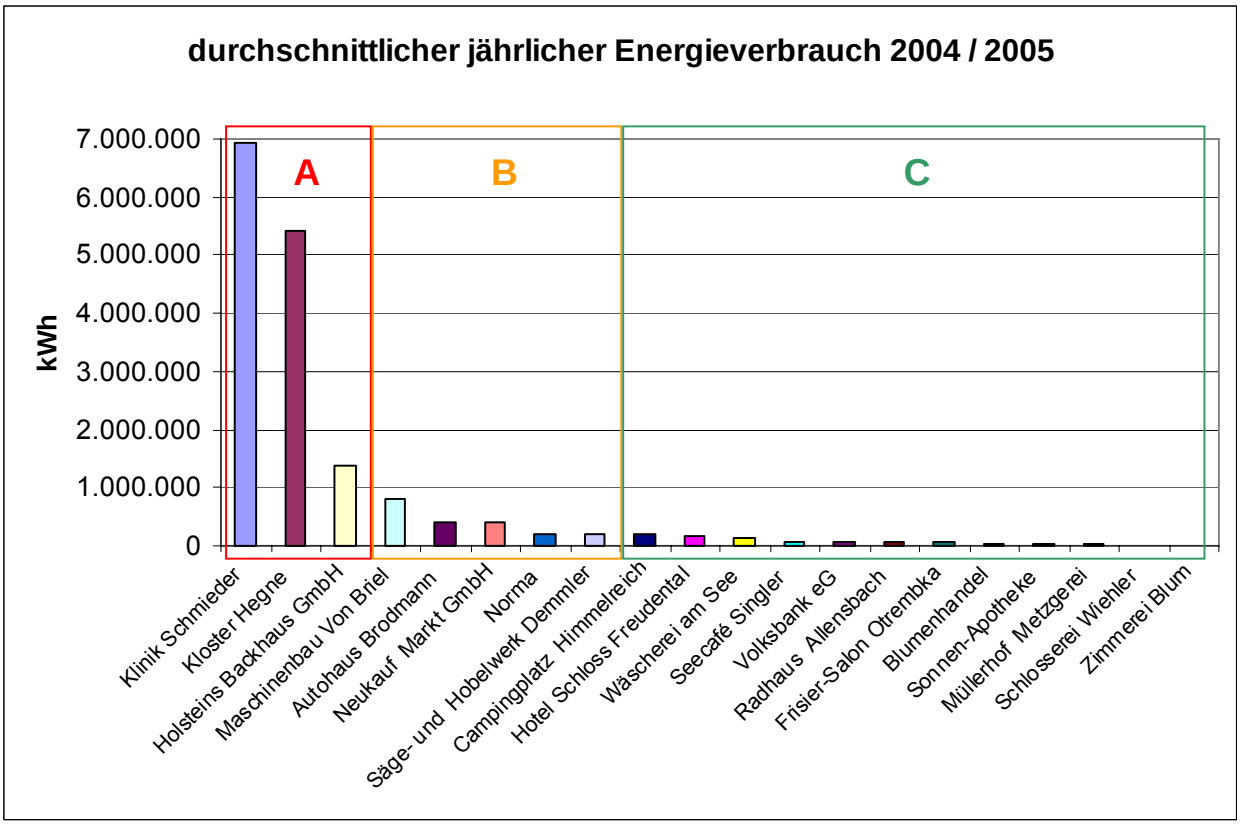


Abb. 6: Gesamtenergieverbrauch p.a.

Im Bezug auf die Auswertung ist es sinnvoll, eine Kategorisierung vorzunehmen, um die Betriebe mit dem höchsten Energieverbrauch einerseits und Betriebe mit niedrigem Energieverbrauch andererseits zusammenzufassen. Mit Hilfe der ABC-Analyse, werden die Betriebe in 3 Kategorien A, B und C eingeteilt.

Die Kategorisierung schafft folgende Verhältnisse:

	Anteil am Gesamtenergieverbrauch	Anzahl der Betriebe
Kategorie A	83%	3
Kategorie B	12%	5
Kategorie C	5%	12

Abb. 7: Kategorien ABC-Analyse

In die Kategorie A fallen neben der Klinik Schmieder, die den größten Energiebedarf in der Gemeinde Allensbach vorweist, das Kloster Hegne und das Backhaus Holstein. Im Bereich der Klinik und des Klosters wurden bereits Vorkehrungen veranlasst, den Energieverbrauch zu senken. Für beide Betriebe arbeiten Fachkräfte, die sich diesem Thema bereits widmen.

Eine Fokussierung auf die Kategorien A und B ist sinnvoll, da die acht in diesen Kategorien enthaltenen Betriebe sich für 94% des Gesamtenergieverbrauchs aller 20 untersuchten Betriebe verantwortlich zeichnen. Folglich verbrauchen zwölf Unternehmen zusammen weniger als 6% der Energie und sind somit für eine weitere Betrachtung wenig interessant.

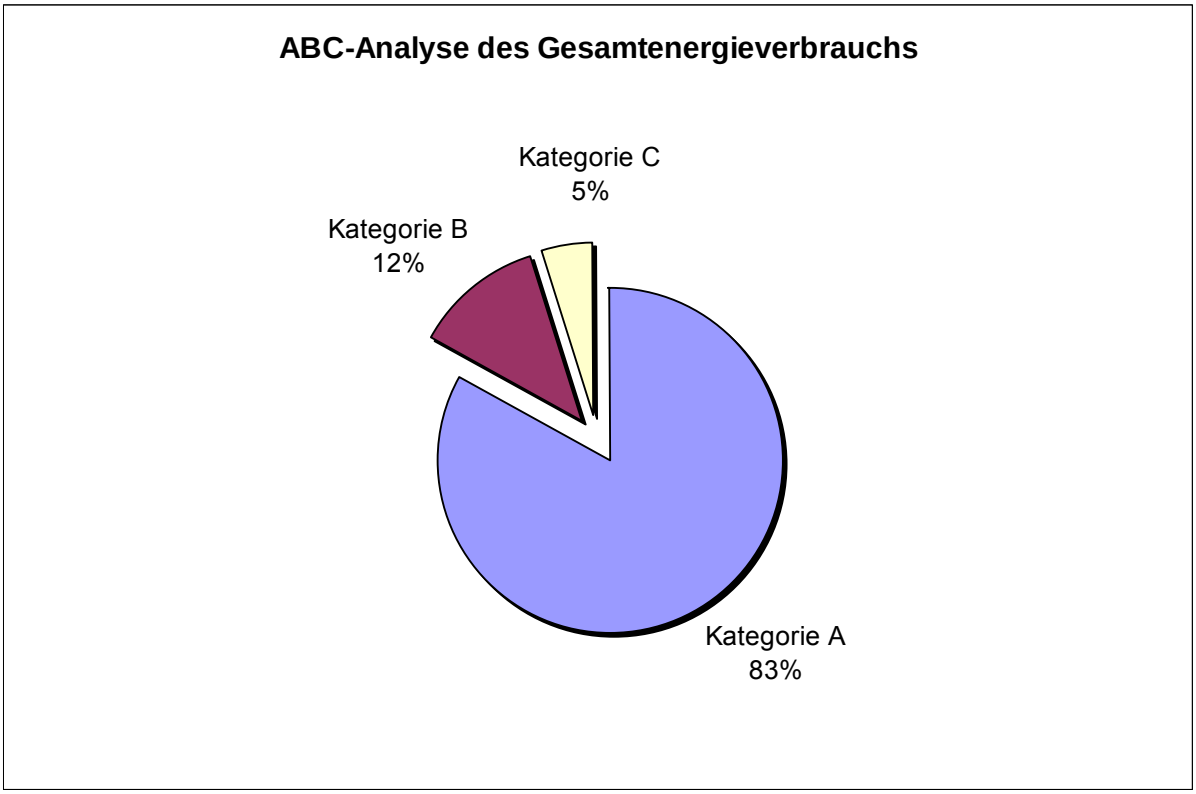


Abb. 8: ABC-Analyse Energieverbrauch

Für unser Projekt besonders interessant ist die Kategorie B. Betriebe die für eine Gemeinde in der Größe von Allensbach typisch sind, fallen in diese Kategorie: ein Autohaus, ein Maschinenbaubetrieb sowie der Groß- und Einzelhandel. Die Verbrauchszahlen des Autohauses sind jedoch mit einer Unsicherheit behaftet, da neben dem Erdgasverbrauch nur die Jahresliefermengen an Heizöl und nicht der tatsächliche Verbrauch angegeben werden konnte.

Geht man nun etwas ins Detail und betrachtet den Stromverbrauch der untersuchten Betriebe, so zeigt sich, dass einige wenige Unternehmen den überwiegenden Teil des Stroms verbrauchen.

Die Klinik und das Kloster sind mit zusammen 2,8 Mio. kWh verbrauchter Energie die beiden größten Verbraucher (ca. 59% des gesamten Verbrauchs). Die Klinik übertrifft beim Stromverbrauch alle anderen Gewerbetreibenden deutlich.

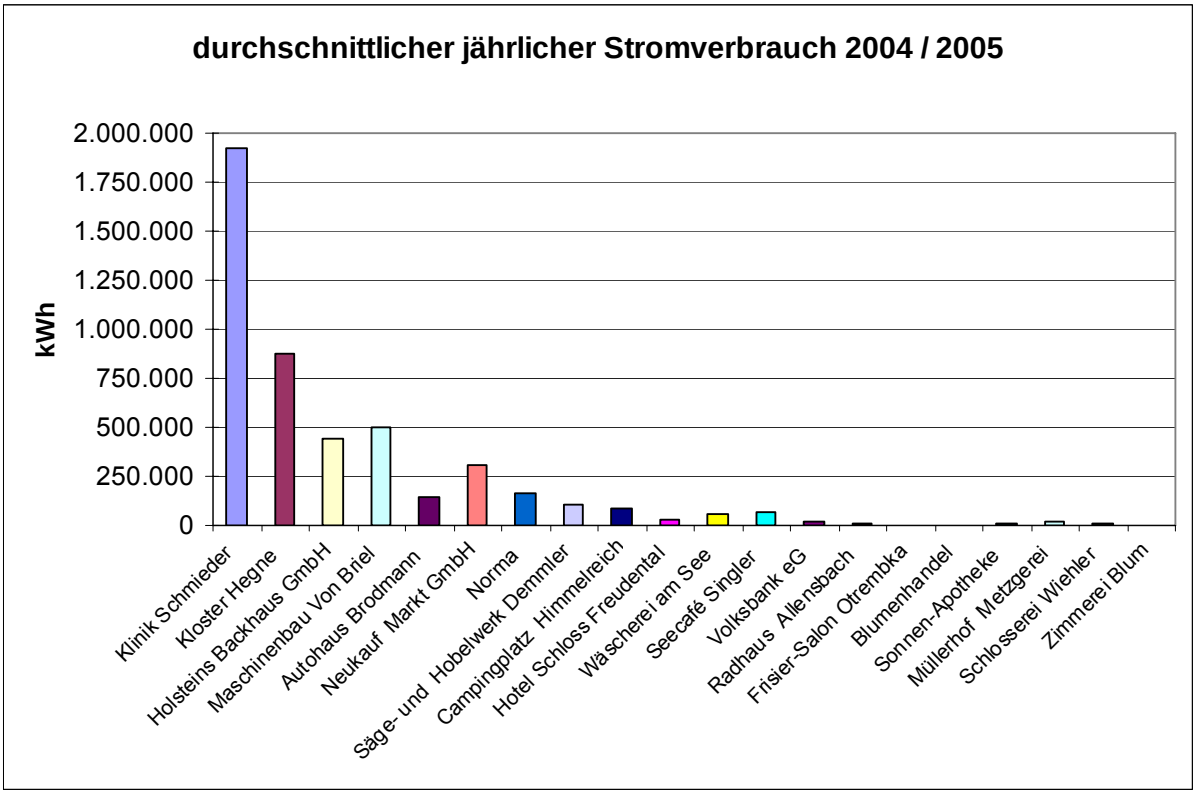


Abb. 9: Stromverbrauch p.a.

Beim Wärmeverbrauch (Heizöl- und Gasverbrauch) zeigt sich ein noch deutlicheres Bild. 94% des Wärmeverbrauchs werden alleine von fünf Unternehmen verbraucht. Die Klinik und das Kloster ragen wieder deutlich heraus. Beide zeichnen sich für ca. 81% des gesamten Wärmebedarfs verantwortlich.

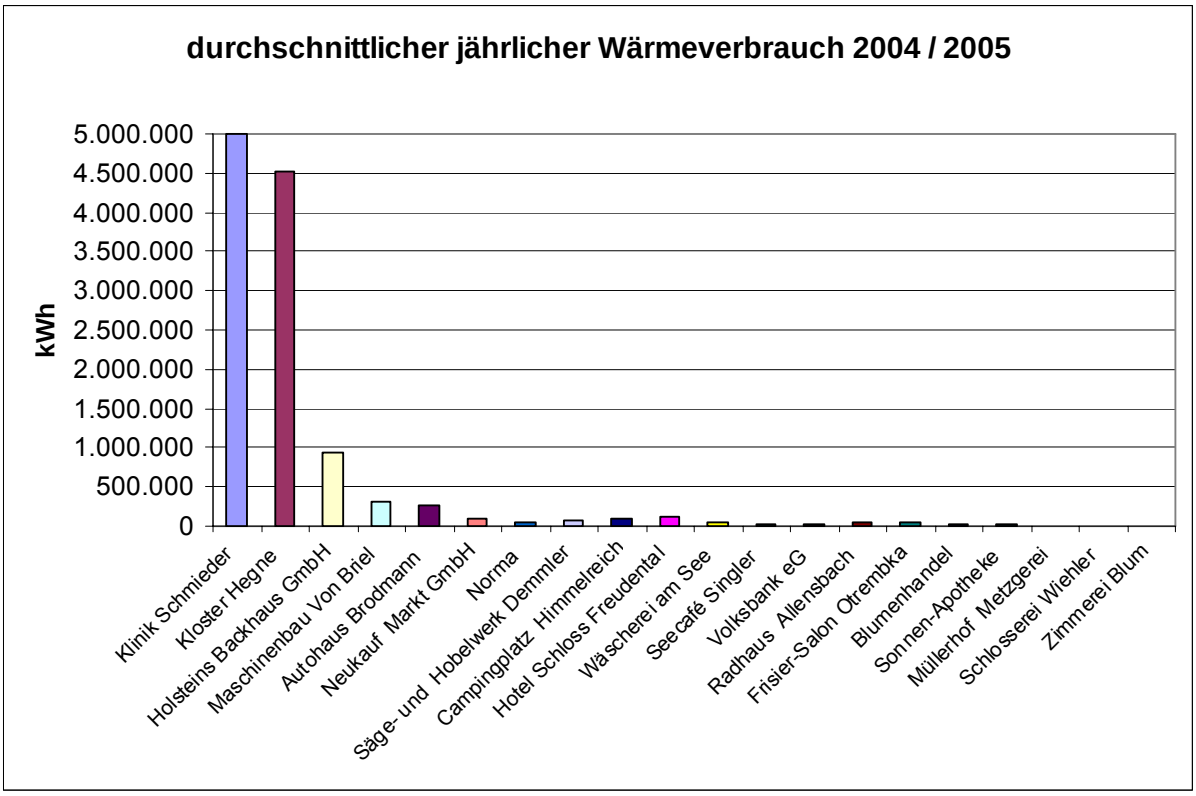


Abb. 10: Wärmeverbrauch p.a.

Alle zuvor genannten Unternehmen der Kategorie B sind bis auf das Autohaus und das Sägewerk Demmler, im Gewerbegebiet Reihetal angesiedelt, haben einen relativ hohen Energieverbrauch und stehen zueinander in räumlicher Nähe. Der größte Verbraucher im Gewerbegebiet ist die Bäckerei Holstein, aber auch das Autohaus grenzt direkt an das Gewerbegebiet an und weißt einen relativ hohen Energiebedarf auf, so dass es ebenfalls mit hinzugezählt wird. Ergänzt werden die ebenfalls im Gewerbegebiet angesiedelten Betriebe wie die Wäscherei am See, das Radhaus Allensbach und die Schlosserei Wiehler aus Kategorie C. Bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch aller untersuchten Betriebe, zeigt sich folgendes Bild.

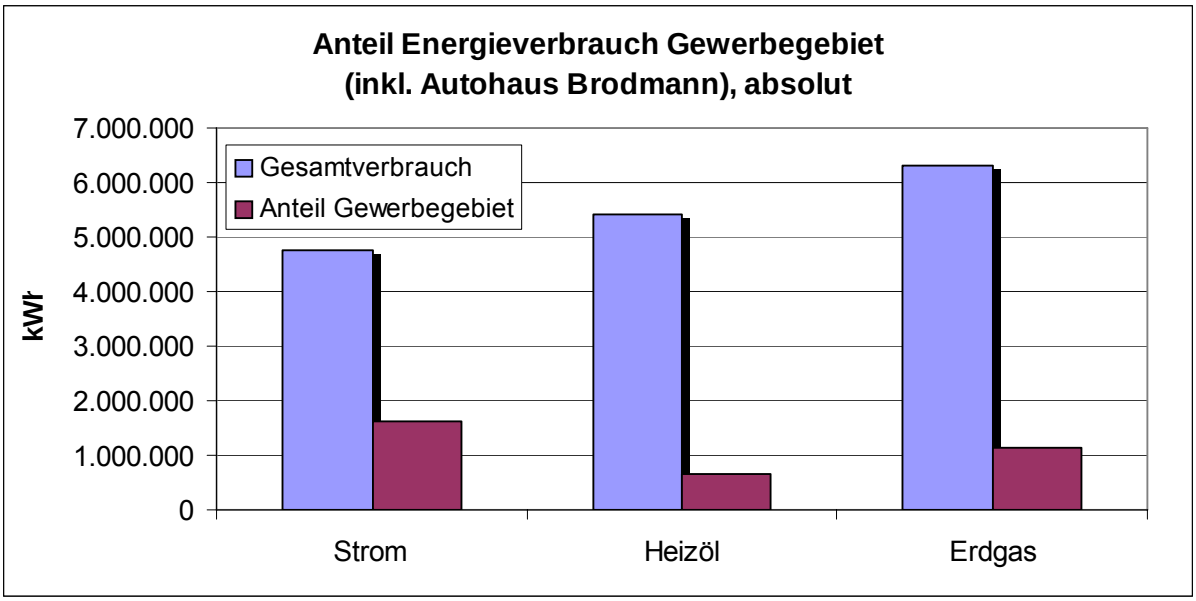


Abb. 11: Absoluter Energieverbrauch der Betriebe im Gewerbegebiet

Betrachtet man nun die prozentuale Verteilung, so fällt auf, dass die untersuchten Betriebe im Gewerbegebiet verhältnismäßig viel Strom verbrauchen. Die größten Stromverbraucher sind der Maschinenbaubetrieb von Briel, die Bäckerei und die Supermärkte Neukauf und Norma.

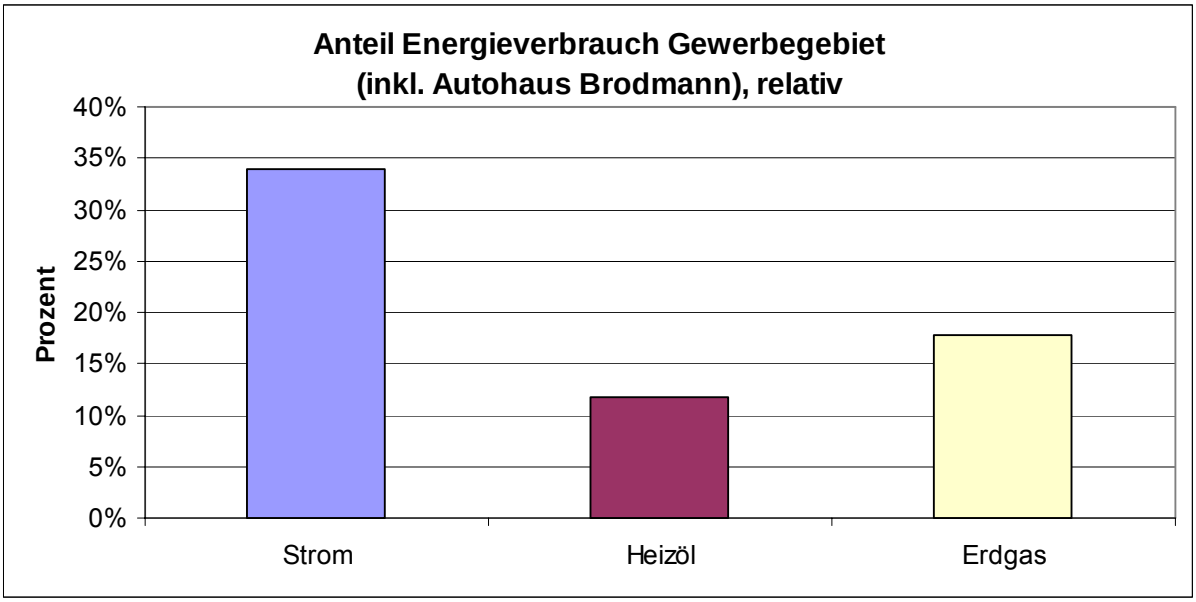


Abb. 12: Anteil Energieverbrauch der Betriebe im Gewerbegebiet (relativ)

Betrachtet man die Betriebe im Gewerbegebiet, so fällt auf, dass das Verhältnis von Wärme- zu Stromverbrauch teilweise sehr unterschiedlich ist. Das Backhaus und das Autohaus verbrauchen in etwa doppelt so viel Wärme wie Strom. Gegenbeispiel dazu sind die beiden

Supermärkte, die in etwa einen dreifach höheren Strom- wie Wärmebedarf haben, und auch der Maschinenbauer verbraucht ca. 65% mehr Strom wie Wärme. Die Wäscherei hat einen nahezu ausgeglichenen Bedarf von Strom und Wärme.

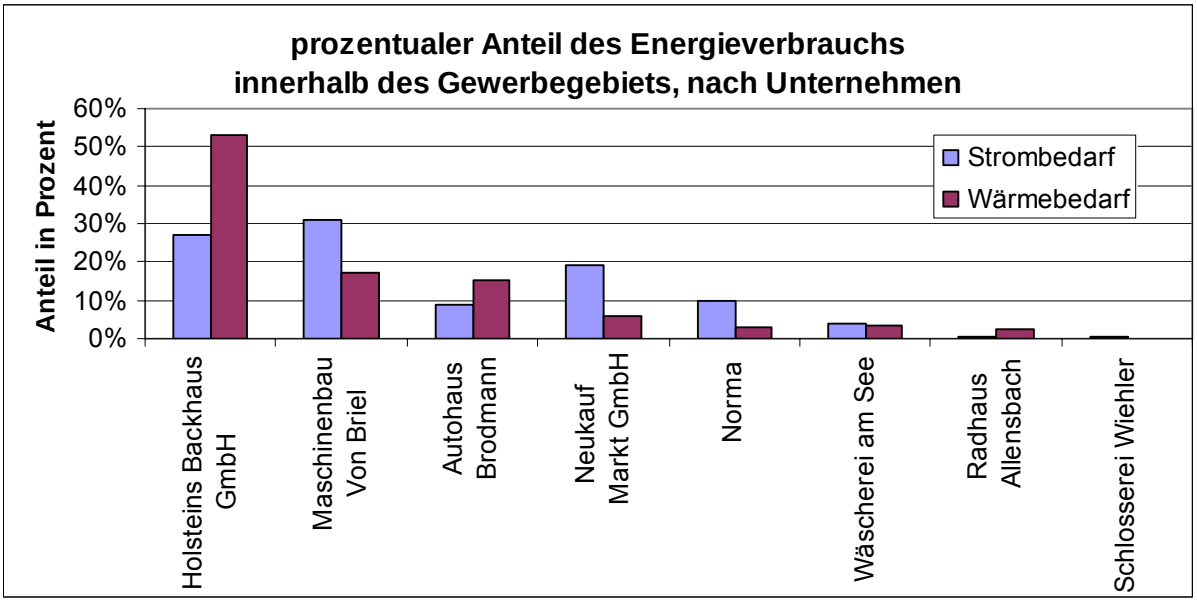


Abb. 13: Prozentualer Energieverbrauch im Gewerbegebiet

Betrachtet man den aufsummierten Strom- und Wärmebedarf der untersuchten Betriebe im Gewerbegebiet, so fällt auf, dass ca. 10% mehr Wärme gebraucht wird wie Strom. Dieses Verhältnis, ist für Kraft-Wärmekopplung ein nicht gerade optimales Verhältnis, denn der elektrische Wirkungsgrad dieser Anlagen liegt je nach Typ im Optimalfall bei 38 bis 43% [IBS, 2006]. In der Regel sind aber elektrische Wirkungsgrade von 30 bis 35% in der Praxis realisierbar.

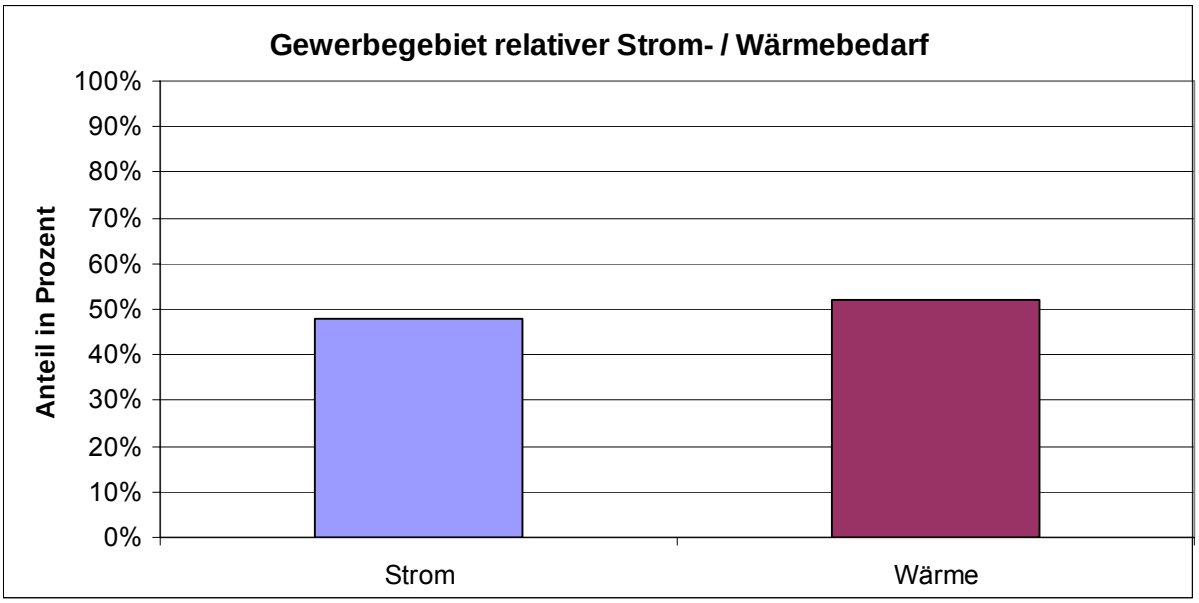


Abb. 14: Verhältnis Strom- zu Wärmeverbrauch der Betriebe im Gewerbegebiet

Dies bedeutet nicht, dass eine Kraft-Wärmekopplung nicht sinnvoll ist, sondern lediglich dass das BHKW (wie meistens üblich) wärmegeführt gesteuert werden sollte und eine hohe Vollbenutzungsstundenanzahl angestrebt werden muss. Weiterhin muss darauf geachtet werden, dass auch im Sommer die Wärme die das BHKW zur Verfügung stellt, genutzt wird. Werden diese Punkte beachtet, dann stellt das BHKW eine sinnvolle Alternative bei der Energiebereitstellung dar.

4 Darstellung von Möglichkeiten der Energieeinsparung

Die Möglichkeiten der Energieeinsparung sind vielfältig und gewinnen mit steigenden Energiepreisen zunehmend an Bedeutung. Die Vorteile liegen auf der Hand: Kostenreduktion und eine geringere Belastung der Umwelt.

Da die Master-Thesis Energie-Agenda Allensbach [Al-Saidi & Wolf, 2004, S. 40ff] bereits auf grundsätzliche Definitionen, wie z.B. technische Einsparpotentiale ausführlich eingeht, wird an dieser Stelle hierauf verzichtet. Weiterhin wird darauf verzichtet, die einzelnen Schritte der Energieumwandlung vom Primärenergieeinsatz bis hin zur Nutzenergie darzustellen. Vielmehr gibt dieses Kapitel eine Übersicht, welche Möglichkeiten der Energieeinsparung es für den Endverbraucher, in diesem Fall die gewerbetreibenden Unternehmen gibt. Folgende Abbildung gibt hierüber eine Übersicht.

Abb. 15: Möglichkeiten der Energieeinsparung

Die Einsparpotentiale wurden in die drei Bereiche Allgemein, Strom und Wärme aufgegliedert. Von jedem dieser Bereiche zweigen in der Mind-Map-Darstellung fünf Arme ab.

1 Allgemein

Zu Beginn der Überlegungen, ob und wenn ja wie der Energieverbrauch reduziert werden kann, steht die Bestandesaufnahme. In dieser Ist-Analyse wird der Energieverbrauch ermittelt und die Kennzahlen für einzelne Abrechnungszeiträume und –einheiten verglichen bzw. überprüft. Die Datenbeschaffung kann mittels Rechnungen und Lieferscheinen, die genaue Zuordnung zu den Verbrauchern mittels Strom-, Wärme- bzw. Gaszähler sowie durch die Protokolle vom Kaminkehrer und die Prüfberichte von Messfirmen erfolgen. Sind keine Zähler vorhanden, so lässt sich ggf. der Energieverbrauch einzelner großer Anlagen über Nennleistung, Durchschnittleistung und Laufzeiten (Betriebsstundenzähler) annährend herleiten. Jedoch ist dann der Einbau von Zähler die Vorraussetzung zur verursachungsgerechten Kostenzuweisung. Aus den Aufzeichnungen der Verbrauchskennzahlen lassen sich einzelne Maßnahmen, z.B. eine Reduzierung der Heizungstemperatur in der Nacht, bei Bedarf auch ein gesamtes Energiekonzept entwickeln. Dabei sollten primär die Maßnahmen durchgeführt werden, bei welchen die größten Wirkungen erzielt werden können. Grundlegende Bedeutung zur reibungslosen und bestmöglichen Energieversorgung hat selbstverständlich die regelmäßige Kontrolle und Wartung aller technischen Anlagen im Betrieb.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, durch ausgebildete Energieberater eine Umweltschutz- und Energieeinsparberatung des eigenen Betriebs durchführen zu lassen. Das Land Baden-Württemberg fördert die Beratung durch einen Kostenzuschuss.

2 Strom

Die Möglichkeiten Strom einzusparen liegen v.a. in einer Steigerung der Energieeffizienz und der bestmöglichen Nutzung. Die Energieeffizienz lässt sich z.B. dadurch steigern, dass bei Neuanschaffungen moderne und sparsamere Maschinen und Geräte bevorzugt werden. Hierzu ist die Zuordnung zu den jeweiligen Energieeffizienzklassen zu beachten. Eine möglichst optimale Nutzung des Stroms lässt sich durch verschiedene Maßnahmen anstreben. Diese sind u.a.:

→ unbenutzte Geräte und Maschinen vom Stromnetz nehmen bzw. ausschalten

→ Vermeidung von Stand-By- bzw.Leerlauf-Betrieb von Geräten und Maschinen

→ eine angepasste und energieeffiziente Beleuchtung, z.B. durch Leuchtstofflampen

→ Nutzung intelligenter Techniksysteme wie z.B. Zeitschaltuhren oder Bewegungsmelder

In Deutschland werden jährlich 550 Mrd. kWh Strom erzeugt [IPABW, 2004, S. 52]. Trotz eingeschränkter Möglichkeiten zur Stromeinsparung ist die Wirkung nicht zu unterschätzen. So hat eine Reduzierung des Nutzenergieverbrauchs eine starke Verringerung des Primärenergieeinsatzes zur Folge, da für 1 kWh Nutzenergieverbrauch ca. 3 kWh Primärenergie benötigt werden. D.h. für jede beim Verbraucher eingesparte kWh Strom wird der Einsatz an Primärenergie im Kraftwerk um den Faktor 3 reduziert.

3 Wärme

Im Bereich Wärme gestalten sich die Möglichkeiten zur Energieeinsparung für den Endverbraucher vielfältig. Um entsprechende Einsparmaßnahmen durchzuführen ist es zunächst notwendig zu wissen, wodurch und in welcher Höhe Wärmeverluste entstehen.

Neben den Transmissionswärmeverluste der Gebäudehülle (Außenwände, Dach- und Fensterflächen, Kellerdecken) und den Lüftungswärmeverlusten erfolgen weitere Verluste durch die Heizanlage und die Wärmeverteilung. Demgegenüber stehen Gewinne aus dem Brennstoffeinsatz der Heizung, solare Gewinne durch die Fensterflächen und interne Gewinne durch Personen und die Abwärme elektrischer Verbraucher.

Maßnahmen zur Einsparung an Wärme lassen sich sowohl im Bereich der Gebäudetechnik als auch im Bereich der Anlagentechnik durchführen. Im Bereich der Gebäudetechnik sind die größten Einsparungen durch eine moderne Wärmedämmung zu erzielen. Allein hier lassen sich Einsparpotentiale von ca. 30-50% realisieren. Die größten Einsparungen im Bereich der Anlagentechnik lassen sich durch eine Modernisierung bzw. Erneuerung alter Heizsysteme erzielen. Bei modernen Heizsystemen mit gedämmten Rohren und moderner Regelungstechnik, z.B. Brennwerttechnik oder Niedertemperaturheizkessel, lassen sich Nutzungsgrade > 90 % aufweisen [IPABW, 2004, S. 36]. Bei großen Gebäuden mit einer wärmedichten Hülle besteht weiterhin die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung. Insgesamt sollte die höchste Priorität der Reduzierung des Wärmeverbrauchs gegeben werden, z.B. durch Verbesserung des Wärmeschutzes. Durch die verschiedenen, umfangreichen Maßnahmen ist es „heute möglich, den Heizenergieverbrauch älterer Gebäude bis zu 70 % zu senken“ [IPABW, 2004, S. 3]. Die genannten Daten beziehen sich jedoch i.d.R. auf private Haushalte und lassen sich nicht ohne Einschränkung auf Gewerbebetriebe übertragen, da das Nutzungsverhalten und auch die baulichen Voraussetzungen teilweise unterschiedlich sind. Zweifelsohne steckt aber hier sehr großes Einsparpotential. Aus Kostengründen empiehlt sich, Maßnahmen der Energieeinsparung in Kombination mit anderen, notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen (z.B. Gebäudesanierung, Heizkesseltausch) zu kombinieren.

Es ist nicht möglich, konkrete Einsparpotentiale der 20 ausgewählten Gewerbebetriebe zu beziffern, da die Vorraussetzungen der Energienutzung, der Anlagentechnik und Gebäudehülle von Betrieb zu Betrieb sehr unterschiedlich sind und es in der begrenzten Zeit dieser Projektarbeit nicht möglich war diese für jeden einzelnen Betrieb zu erfassen.

Ein sehr interessanter und beachtenswerter Ansatz besteht jedoch darin, das Gewerbegebiet als ein Energie- bzw. Verbraucherzentrum zu sehen und nicht jeden Betrieb isoliert zu betrachten. Im Gesamten lassen sich Synergien und Einsparpotentiale finden, die im einzelnen Betrieb nicht umsetzbar wären. Beispielweise ist anzunehmen, dass im Backhaus Holstein und in der Wäscherei am See sehr viel Abwärme vorhanden ist, die derzeit ungenutzt bleibt. Mit dieser Wärme ließen sich z.B. benachbarte Gebäude beheizen bzw. die bereits vorhandene Heizung unterstützen.

Des Weiteren ist im Gewerbegebiet der große Bedarf an Kälte für die Supermärkte zu berücksichtigen. Eine Möglichkeit wäre hier die solare Kühlung mittels Absorptions- bzw. Adsorptionskältemaschinen. Es bestünde die Möglichkeit, die hierfür benötigte Wärme aus Solarkollektoren oder aus der Abwärme der o.g. Betriebe zu beziehen. Im Sommer könnte die Abwärme zur Kühlung benutzt werden, im Winter wenn weniger Kühlleistung benötigt wird zur Beheizung der Gebäude. In Folge dessen würde der Stromverbrauch sinken, da die konventionellen Kompressionskältemaschinen entlastet bzw. ersetzt werden könnten.

Bei all diesen Möglichkeiten dürfen die Schwierigkeiten nicht übersehen werden. Die Unternehmen können nicht verpflichtet werden, sich an den Projekten zu beteiligen. Dies muss immer auf freiwilliger Basis, eventuell durch finanzielle Anreize gefördert, erfolgen. Aus unserer Befragung ging hervor, dass z.T. grundsätzliches Interesse an Energie-Projekten besteht, allerdings unter der Voraussetzung, dass die gefundene Lösung kostenneutral bzw. kostensenkend realisierbar ist.

Auf Basis der oben dargestellten Mind-Map wurde eine detaillierte Checkliste (Energiesparen in Gewerbebetrieben) erarbeitet. Diese Checkliste bietet gewerbetreibenden Unternehmen eine Hilfestellung zur Analyse des Energieverbrauchs einzelner Betriebe. Des Weiteren bietet sie Hinweise, durch welche Maßnahmen Energie eingespart werden kann. Die Checkliste befindet sich im Anhang A5.

Gegenwärtig gibt es im Energiebereich umfangreiche Fördermöglichkeiten bzw. Förderprogramme des Bundes und des Landes Baden-Württemberg, die auch von mittelständigen Unternehmen in Anspruch genommen werden können. Hierzu findet sich im Anhang A6 eine detaillierte Aufstellung der Förderprogramme, ihrer förderfähigen Maßnahmen und direkter Ansprechpartner.

Abschließend lässt sich festhalten, dass dieses Kapitel durch die Checkliste zum Energieeinsparen und der Darstellung von öffentlichen Fördermöglichkeiten durchaus praktischen Nutzen für die gewerbetreibenden Unternehmen in Allensbach bietet, sich der Thematik Energieverbrauch, Energieeinsparung und erneuerbare Energien zu widmen.

5 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien zur Bereitstellung von Wärme und Strom

5.1 Erneuerbare Energien – Potentiale und Rahmenbedingungen

Neben der Reduzierung des Energieverbrauchs und der Steigerung der Energieeffizienz gehört der Ausbau der erneuerbaren Energien (EE) zu den zentralen Bausteinen der europäischen und deutschen Klimaschutzpolitik. Zur Deckung des stetig wachsenden Weltenergiebedarfs sind die EE auf lange Sicht die einzige Alternative zu den heute konventionellen aber verknappenden fossilen und nuklearen Energiequellen.

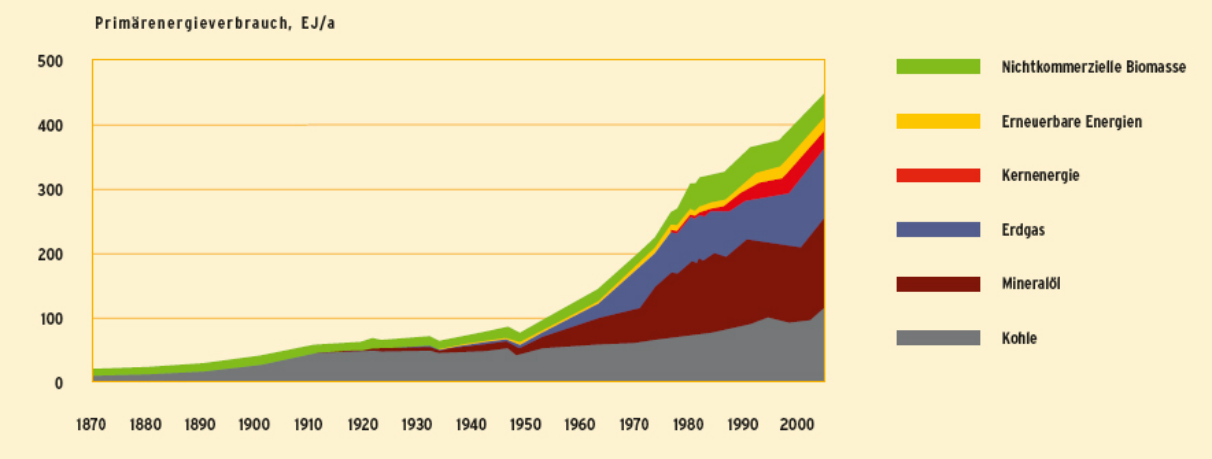


Abb. 16: Entwicklung des weltweiten Primärenergieverbrauchs zwischen 1870 und 2004 sowie seiner Deckung nach Energiequellen einschließlich der nichtkommerziellen Nutzung von Biomasse (Brennholz) [BMU, 2006a, S.10]

Die Energie- und Ökobilanzen der EE sind sehr positiv. Während fossile Systeme sich nie energetisch rechnen, haben sich erneuerbare Energieträger spätestens nach 5 Jahren, also etwa einem Viertel ihrer Lebensdauer energetisch amortisiert [BMU, 2006a, S. 33]. Zudem setzen sie während ihres Betriebes kein CO_2 oder bei der Nutzung von Biomasse zumindest kein fossiles CO_2 frei.

Das theoretische Potential der EE ist fast unendlich groß. Die Energie der Sonne und aller Energieträger, die auf sie zurückgehen, also Wind- und Wasserkraft, die kinetische Energie der Meeresströmungen sowie die jährlich nachwachsende Biomasse, und auch die Geothermie stehen Tag für Tag zur Gewinnung von Strom oder Wärme bzw. für den Antrieb von Fahrzeugen zur Verfügung. Allerdings variiert das Angebot der einzelnen Energieträger geografisch stark. In südlichen Ländern ist die Strahlungsenergie der Sonne beispielsweise sehr viel höher als im klimatisch gemäßigten Deutschland und innerhalb Deutschlands sind hohe Gesteinstemperaturen am Oberrheingraben in geringerer Tiefe zu finden als an anderen Standorten.

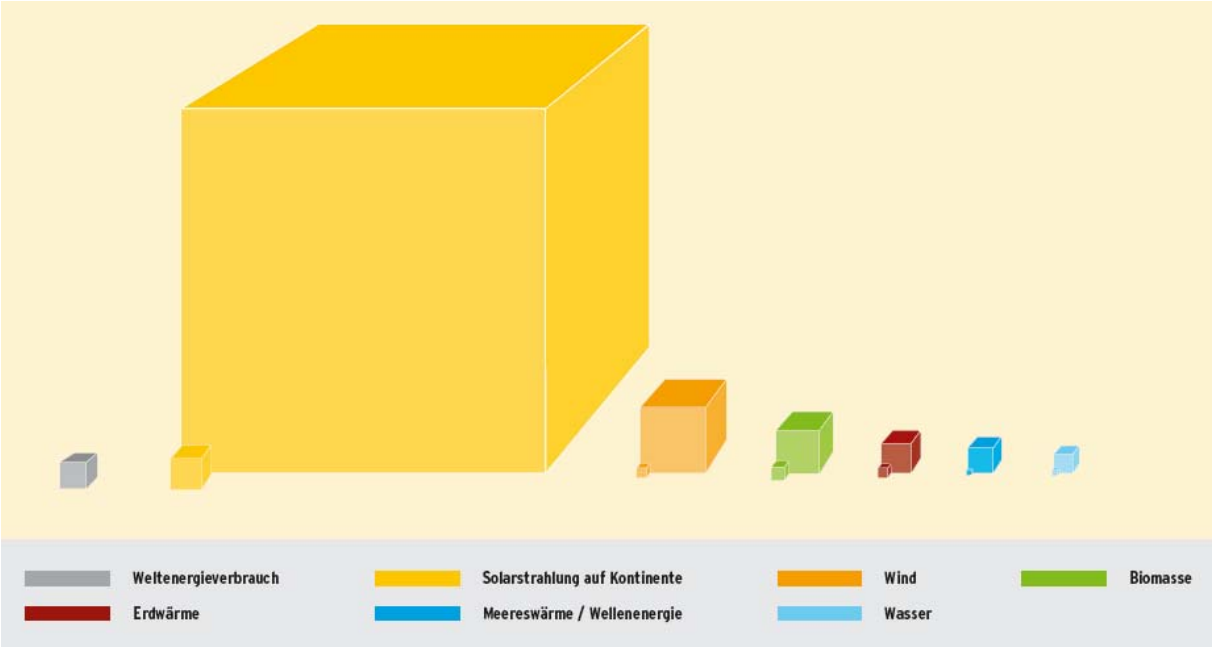


Abb. 17: Theoretisches (hintere Quader) und technisches Potential (vordere Quader) der Erneuerbaren im Vergleich zum Weltenergieverbrauch Energien [BMU, 2006a, S.23]

Die weltweit technisch aus Erneuerbaren Energien gewinnbaren Energiemengen übertreffen den derzeitigen weltweiten Endenergieverbrauch um etwa das Sechsfache [BMU, 2006a, S. 24]. Rund 90 % [BMU, 2006a, S.10] der weltweit verbrauchten Energie werden heute trotzdem aus fossilen und nuklearen Ressourcen bereitgestellt.

Auch in Deutschland ist der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch (PEV) mit 4,6% vergleichsweise gering, aber er steigt beständig. Rund 37% könnten derzeit technisch aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden [BMU, 2006a, S.27]. Im Jahr 2020 sollen Erneuerbare Energieträger mindestens 10 % des PEV und 20 % des Stromverbrauchs decken. 2005 konnten mit der Substitution fossiler Energieträger durch die Energie aus Sonne, Wind, Wasser, Biomasse und Erdwärme in Deutschland rund 83 Mio. Tonnen [BMU, 2006a, S.3] CO_2 eingespart werden.

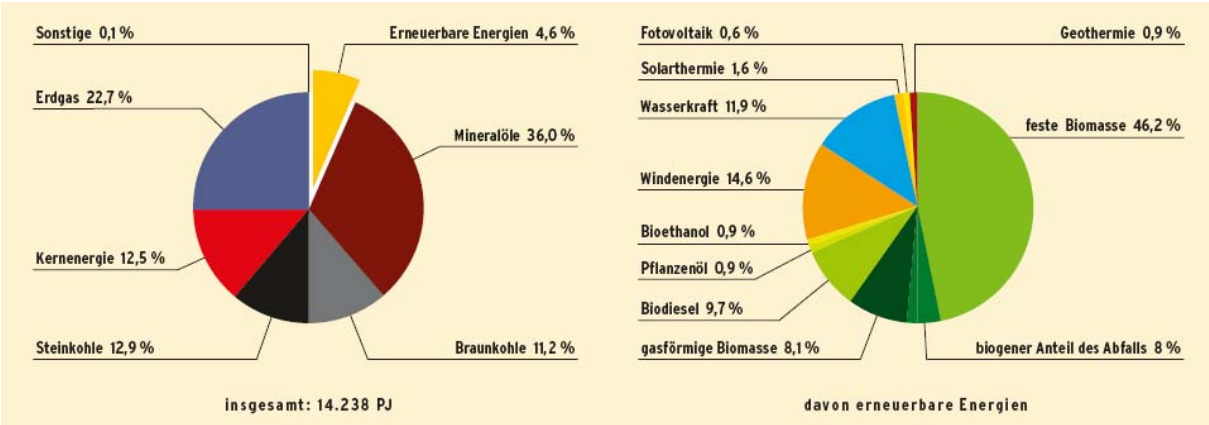


Abb. 18: Struktur des Primärenergieverbrauchs in Deutschland 2005 [BMU 2006a, S.40]

Vor allem die vergleichsweise hohen Investitionskosten setzen heute dem raschen Ausbau der EE Grenzen. Zur Förderung der Investition in erneuerbare Energien bietet die Bundesregierung daher zahlreiche Anreize (siehe dazu Anhang A6).

Im Strommarkt geschieht das vor allem durch das 2004 novellierte Erneuerbare Energien-Gesetz (EEG). Das Gesetz garantiert den Betreibern erneuerbarer Energieanlagen die Einspeisung in das öffentliche Stromnetz und eine Mindestvergütung für den eingespeisten Strom durch den Netzbetreiber. Die Vergütung erfolgt nach Art und elektrischer Leistung der Anlage pro kWh Strom, gegebenenfalls mit Zuschlägen für die Verwendung nachwachsender Rohstoffe (NaWaRo-Bonus), den Einsatz neuer Technologien oder Kraft-Wärme-Kopplung (KWK-Bonus). Sie bleibt vom Tag der Inbetriebnahme über 20 Jahre konstant. Auskunft über die Mindestvergütungen und Zuschläge nach EEG gibt Anhang A7. Ausgangspunkt ist die Inbetriebnahme der Anlage im Jahr 2006.

Wärme aus EE wird seit dem Jahr 2000 vor allem durch das Marktanreizprogramm des Bundes gefördert. Das Programm unterstützt vorrangig Investitionen in Wärme erzeugende Technologien mit Zuschüssen und verbilligten Darlehen. Schwerpunkte der Förderung sind thermische Solaranlagen, Biogasanlagen und Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse.

5.2 Strom und Wärme aus Erneuerbaren Energien

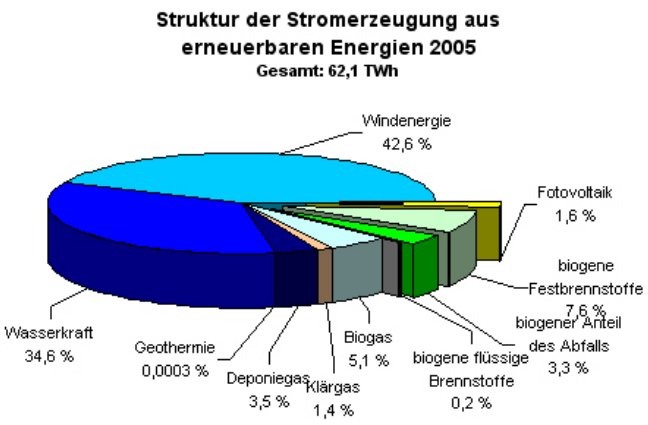


Abb.19: Struktur der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, 2005, [BMU, 2006c]

Strom wird in Deutschland gegenwärtig überwiegend in zentralen Kraftwerken unter Einsatz endlicher Energieträger und großen Energieverlusten gewonnen. Dank EEG ist Strom aus EE zunehmend wirtschaftlich. Die Gestehungskosten für Strom aus großen Wind- oder Wasserkraftanlagen liegen bereits im Bereich der Kosten für Strom aus konventionellen Kraftwerken, wenn man auch deren externe Kosten berücksichtigt.

Rund 10,2 % [BMU, 2006b, S. 10] des Stromverbrauchs in Deutschland (619 TWh) werden heute (2005) aus Erneuerbaren Energien gedeckt. Grundsätzlich stehen dazu Wind- und Wasserkraft, Geothermie, Photovoltaik sowie die Vergasung und Verbrennung von Biomasse zur Verfügung. Die größten Anteile an der regenerativen Stromerzeugung in Deutschland haben Wind- (42,6 %) und Wasserkraft (34,6 %) [BMU, 2006c]. Die technischen Potentiale der biogenen Fest- und Flüssigbrennstoffe, der Bio-, Klär- und Deponiegase und der Geothermie werden bisher wenig ausgeschöpft.

Der Bedarf an Raum-, Prozesswärme und Warmwasser wird heute überwiegend aus dezentralen, fossil befeuerten Heizsystemen gedeckt. Wärme aus EE, aus Biomasse, Solar- und Geothermie ist an der Wärmebereitstellung in Deutschland (430 TWh) zu 5,3 % beteiligt [BMU, 2006b, S.11].

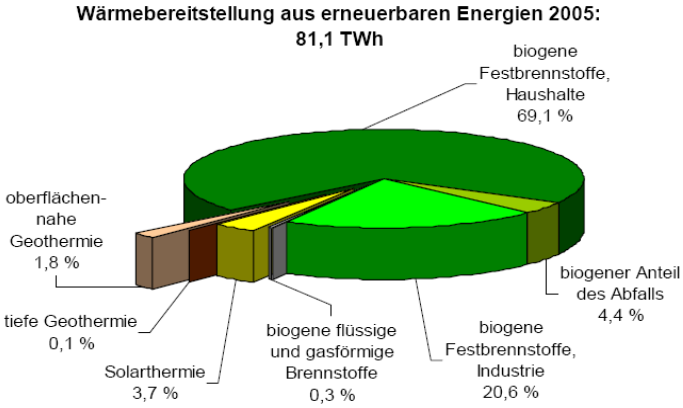


Abb.20: Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien, 2005 [BMU, 2006c]

Rund 94% der regenerativ gewonnenen Wärme stammt aus Biomasse. Solar- und Geothermie oder die Verbrennung von biogenen Flüssigbrennstoffen, Gasen oder Abfällen tragen kaum zur regenerativen Wärmebereitstellung bei.

5.2.1 Kurzüberblick Erneuerbare Energieträger zur Strom- und Wärmegewinnung

5.2.1.1 Windkraft

Windkraftanlagen werden, bevorzugt auf See, an den Küsten und im Gebirge zur Gewinnung elektrischen Stroms betrieben. Sie erreichen dank Auftriebsprinzip heute Wirkungsgrade bis zu 50 % [THEILEN, 2005, S.5]. Zur Umwandlung der Bewegungsenergie in mechanische Energie nutzen Windkraftanlagen die Druckunterschiede auf der Ober- und Unterseite der Rotorblätter, die mit der Drehung um die eigene Achse (Drehmoment) Kraft auf einen Generator übertragen.

Abb. 21: Offshore Windpark Middelgrunden, Dänemark [WIND, 2006]

Rund 4,3% des deutschen Stromes oder 26,5 Mrd. kWh [AGEE, 2006, S.5] stammen heute aus Windkraft. Unter den EE stellen sie mit 42,6 % den größten Anteil (siehe Abb. 19). Man geht davon aus, dass rund 30% des derzeitigen Strombedarfs durch die Windkraft bereitgestellt werden könnte [WIND, 2006], bis zu 100 TWh alleine durch Windenergieanlagen auf dem Meer [BMU, 2006a, S. 62].

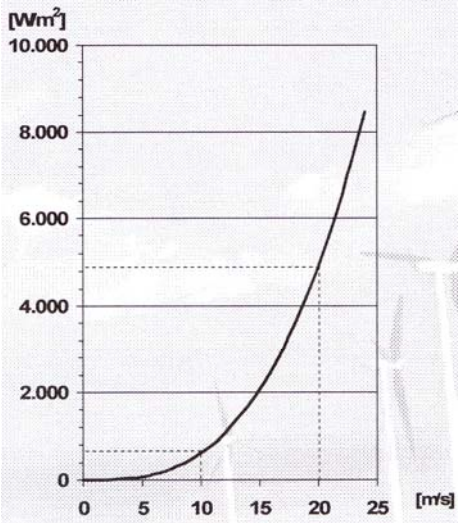


Abb. 22: Abhängigkeit der Leistung von Windkraftanlagen von der Windgeschwindigkeit [THEILEN, 2005, S. 9]

Die mittleren Windgeschwindigkeiten sind offshore (9-10 m/s) höher und die Energieausbeute jährlich bis zu 40 % größer [WIND, 2006] als am Festland (5-6 m/s). Die Leistung der Anlage wächst mit der Windgeschwindigkeit überproportional mit der 3. Potenz, d.h., eine Verdopplung der Windgeschwindigkeit führt zu einer 8fachen Leistung. Als Richtwert für die wirtschaftliche Nutzung gilt eine mittlere Jahreswindgeschwindigkeit von 4 m/s in 10 m Höhe. Im bundesweiten Durchschnitt laufen Windanlagen etwa 1.900 Volllaststunden [BMU, 2006c] im Jahr. Strom aus Windenergie ist damit nicht für eine Basisversorgung geeignet, obgleich eine einzige 2 MW-Anlage über das Jahr theoretisch so viel Strom produziert wie ein Dorf mit 5.000 Einwohnern benötigt [THEILEN, 2005, S. 6].

Serienmäßig hergestellte Anlagen in der Größenordnung zwischen 1 - 2,5 MW Leistung werden heute ab 800 - 1000 Euro pro kW angeboten [REGUFR, 2006]. Die Stromgestehungskosten aus Windkraft liegen gegenwärtig an der Küste und an guten Binnenlandstandorten zwischen 5 -12 Cent/kWh [BMU, 2006a, S.63], auf See zwischen bei 7-9 Cent/kWh [DENA, 2006].

5.2.1.2 Wasserkraft

Wasserkraft wird in Deutschland heute ausschließlich zur Stromerzeugung eingesetzt. Die Bewegungs- oder Lageenergie des vor dem Kraftwerk angestauten Wassers wird in Laufwasser- oder Speicherkraftwerken von einem durch Turbinen angetriebenen Generator in elektrischen Strom umgewandelt. Der Turbinentyp wird auf die topographischen Gegebenheiten und den Volumenstrom des Wassers angepasst. In Speicherkraftwerken mit hohen Fallhöhen kommen Francis- oder Pelton-Turbinen, in Laufwasserkraftwerken Kaplan-Turbinen zum Einsatz.

Abb. 23: Laufwasserkraftwerk Finsing am Mittleren Isar-Kanal [BLFW, 2006]

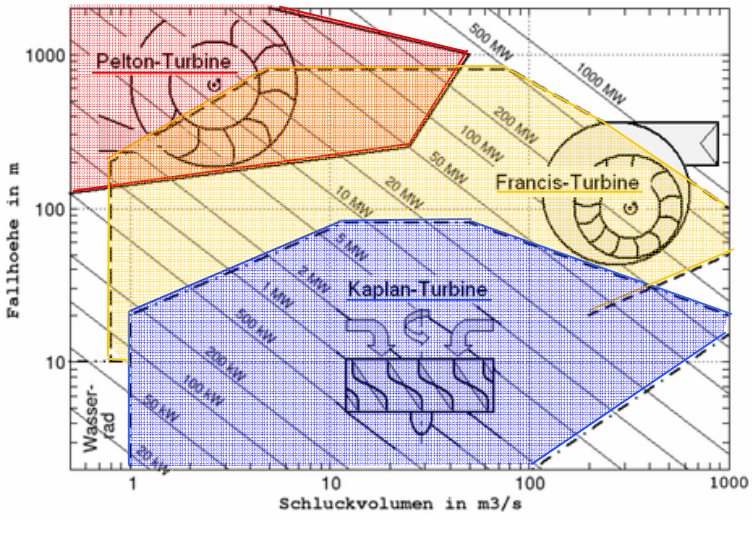


Abb. 24: Einsatzbereiche von Wasserturbinen [PESCHGES, 2005]

Im Jahr 2005 wurden aus erneuerbarer Wasserkraft 21,5 Mrd. kWh Strom erzeugt. Der Anteil an der gesamten deutschen Strombereitstellung liegt derzeit bei 3,5 % [AGEE, 2006, S.5]. An der regenerativen Stromgewinnung leistet die Wasserkraft mit 34,6% nach der Windkraft den zweitgrößten Beitrag [AGEE, 2006, S.5]. Wasserkraft ist aufgrund der Kinetik des Wassers zur Deckung der Grundlast geeignet.

Der Ausbau der Wasserkraft in Deutschland ist nur noch geringfügig zu steigern. Potentiale für einen höheren Stromertrag und auch eine Verbesserung der ökologischen Situation liegen vor allem im Ersatz sowie in der Modernisierung und Erweiterung vorhandener Anlagen.

„Fast 90% des deutschen Wasserkraftstroms wird in Bayern und Baden-Württemberg erzeugt, da hier ergiebige Niederschläge sowie ein hohes Gefälle in den Mittelgebirgen und im Alpenvorland für günstige Verhältnisse sorgen“ [BMU, 2006a, S.67]. Eine Kilowattstunde deutscher Strom aus Speicher- und Laufwasserkraftwerken kostet derzeit 3-10 Cent, aus Kleinwasserkraftwerken 10 bis 25 Cent [BMU, 2006a, S.66].

5.2.1.3 Sonnenergie

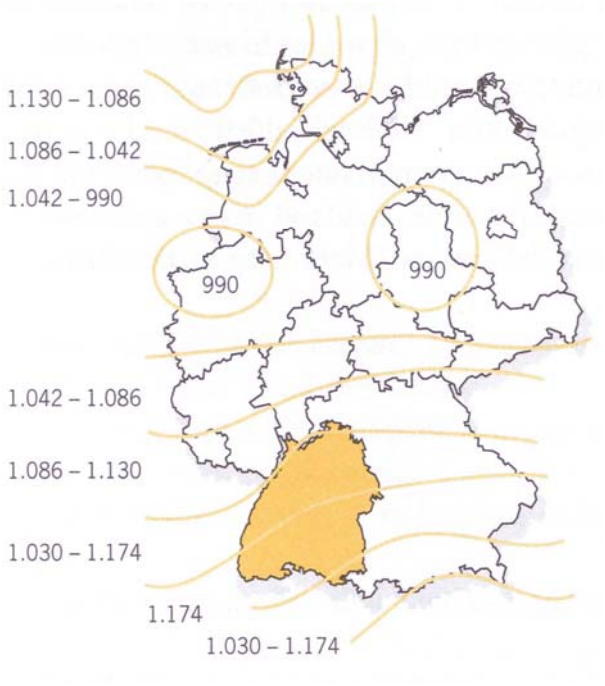


Abb. 25: Jährliche Sonneneinstrahlung in Deutschland (kWh/m² x a) [WMBW, 2004], S.6

Sonnenenergie wird in erster Linie zur in solarthermischen Systemen sowie in Photovoltaik-Anlagen genutzt. Das solare Energieangebot liegt im bundesweiten Durchschnitt etwa bei 1.000 kWh pro Jahr und Quadratmeter. Baden-Württemberg und Bayern sind besonders sonnenverwöhnt.

Die Möglichkeiten der Sonnenenergienutzung sind je nach Dauer und Intensität der Sonneneinstrahlung unterschiedlich.

Solarthermische Systeme

Die Wärme der Sonne wird vorwiegend zur Warmwasserbereitung und zur Unterstützung der Raumheizung, daneben auch zur Bereitstellung von Klimakälte sowie zur Gewinnung von Prozesswärme genutzt.

Zur Warmwasserbereitung kommen heute vor allem Flachkollektoren zum Einsatz. Sie sind zur Reduzierung der Wärmeverluste auf der Rückseite mit einer Dämmschicht und auf der Vorderseite mit einer Glasscheibe abgedeckt und erreichen Wassertemperaturen bis 80°C. Für die Unterstützung der Raumheizung bieten sich Vakuumröhrenkollektoren an, die durch technisch minimierte Wärmeverluste bis 120°C Wassertemperatur erreichen [SOLARSERVER, 2006].

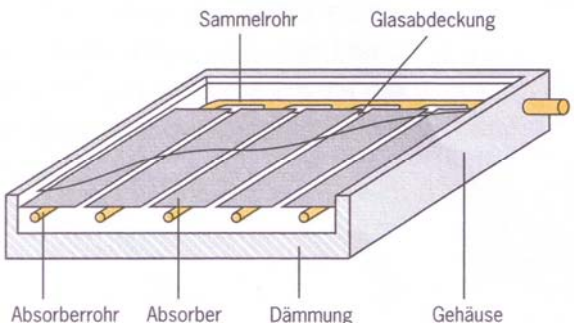


Abb. 26: Aufbau eines Flachkollektors [WMBW, 2004, S. 8]

Je nach Standort in Deutschland können jedes Jahr 450 – 600 kWh Wärme pro m² Kollektorfläche gewonnen werden [WMBW, 2004, S.6]. Für die Warmwassererzeugung ist die Ausrichtung der Kollektorflächen nach Süden mit einer Neigung von 40 – 50° über der Horizontalen energetisch optimal, zur Unterstützung der Raumheizung wird eine steilere Aufstellung des Kollektors mit ca. 45-60° Dachneigung empfohlen [BSTMVW, 2002, S.51].

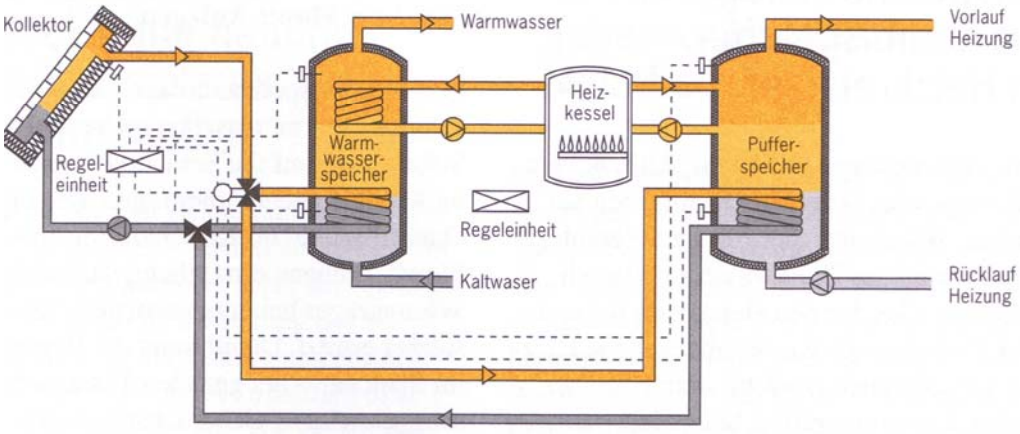


Abb. 27: Solarthermische Anlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung, (Zwei-Speicheranlage) [WMBW, 2004, S. 19]

Zur Warmwasserbereitung ist in Verbindung mit Warmwasserspeichern mit Speichervolumen von 60-80 Litern [WMBW, 2004, S.24] rund 1 m² Kollektorfläche pro Person [BSTMVW, 2002, S.51] ausreichend. Inklusive Heizungsunterstützung sind pro 10m² Wohnfläche 0,9 bis 1 m² Flachkollektoren oder 0,5 bis 0,6 m² Vakuumröhrenkollektoren einzurechnen [WMBW, 2004, S.25]. Die Investitionskosten für Flachkollektoren werden derzeit (2006) mit rund 250 - 350€/m² Kollektorfläche [WMBW, 2004, S.34] angegeben. Vakuumröhrenkollektoren sind mit 450 – 950 € mindestens ein Drittel teurer.

Eine Auslegung zur nennenswerten Heizungsunterstützung im Winterhalbjahr ist nicht sinnvoll, sie führt zu häufigen überschussbedingten Stillstandszeiten während der Sommermonate. Solarthermische Anlagen sollten zur Deckung des Warmwasserbedarfs in den Sommermonaten ausgelegt sein und in der Übergangszeit und den Wintermonaten nur zur Vorwärmung des Wassers oder zur Unterstützung der Raumheizung beitragen.

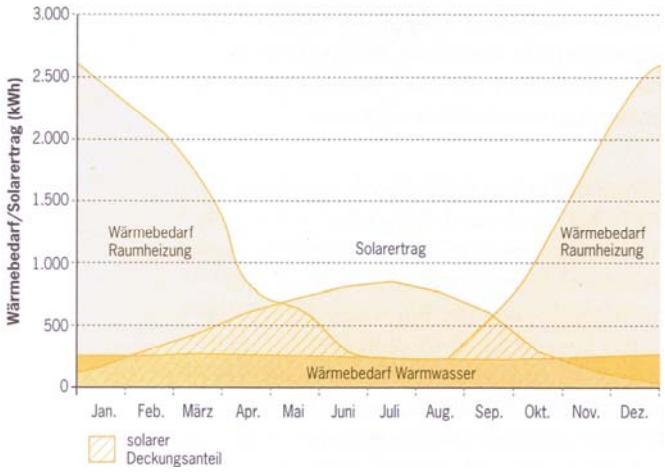
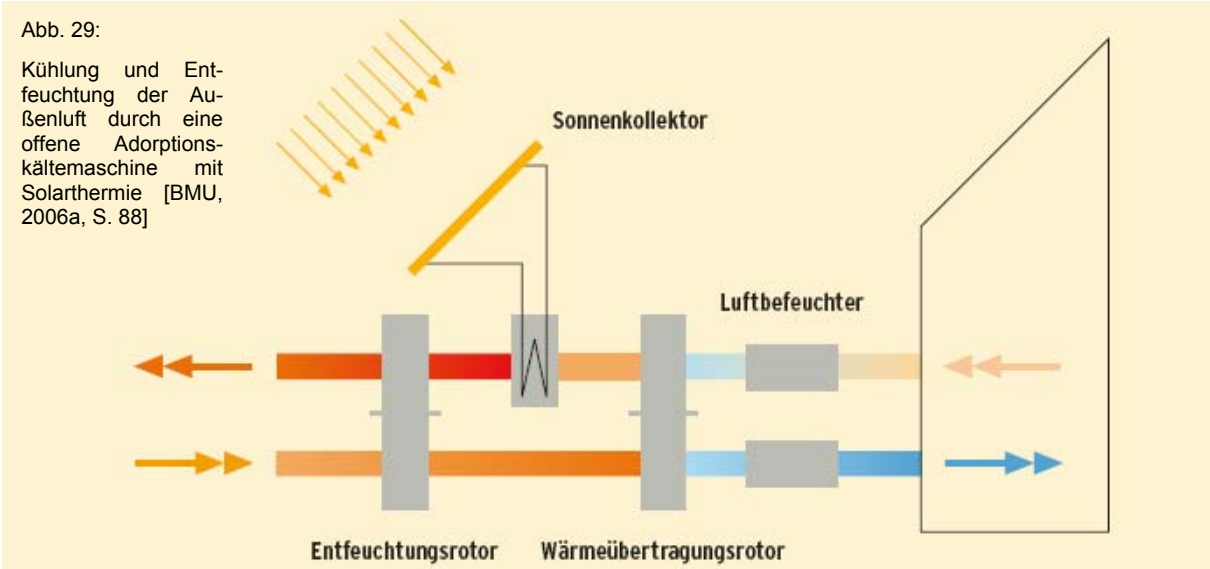


Abb. 28:: Solarer Deckungsanteil am Wärmebedarf eines typischen Einfamilienhauses im Jahresverlauf mit Überschusszeiten im Sommer [WMBW, 2004, S. 7]

In Kombination mit Adsorptions- oder Absorptionskältemaschinen auf Heißwasserbasis können solarthermische Anlagen auch zur Kühlung und Klimatisierung z.B. im Lebensmittelgewerbe eingesetzt werden. Die zum Betrieb der Kältemaschinen notwendige Druckdifferenz wird thermisch durch das im Kollektor erwärmte Wasser erzeugt.

Abb. 29:

Kühlung und Entfeuchtung der Außenluft durch eine offene Adorptionskältemaschine mit Solarthermie [BMU, 2006a, S. 88]



Bisher nur begrenzt erprobter Einsatzbereich der Solarthermie ist die Bereitstellung von gewerblicher Prozesswärme unter 300 °C. Die Art und Flächengröße der Kollektoren richten sich nach dem Wärmebedarf des jeweiligen Prozesses. Flach- und Vakuumkollektoren werden z.B. zu Trocknungs- sowie einfachen Waschprozessen eingesetzt. Höhere Temperaturen z.B. für chemische Prozesse (120 bis 300 °C) können Parabolrinnenkollektoren liefern.

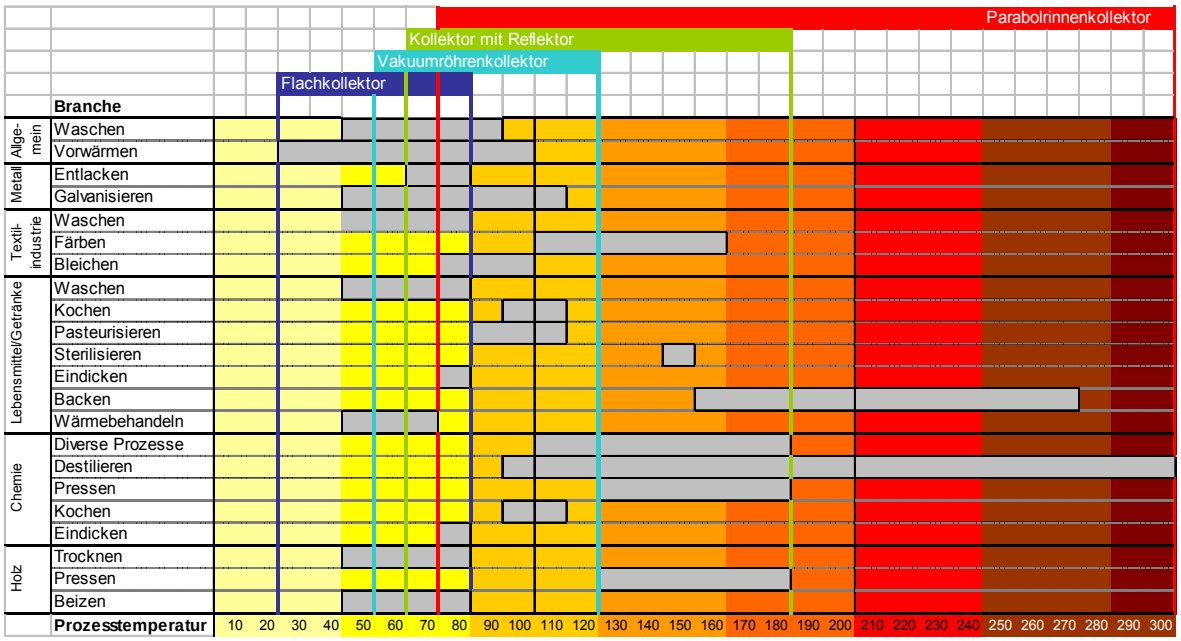


Abb. 30: Einsatzmöglichkeiten von Solarthermie im Gewerbe mit Prozesswärmebedarf unter 300°C [TU-BERLIN, 2006]

Der Beitrag solarer Wärme am gesamten Wärmeverbrauch in Deutschland beträgt mit rund 3 Mrd. kWh gegenwärtig 0,2 % [AGEE, 2006, S.5], unter den erneuerbaren Energien ist das ein Anteil von 3,7 % (siehe Abb. 20). Seit der Förderung der Kollektoren durch das Marktanreizprogramm des Bundes ist ein rascher Zuwachs merkbar.

Photovoltaik

Durch Umwandlung der Energie des Sonnenlichts in elektrische Energie lässt sich Strom gewinnen. In Solarzellen, die aus einem Halbleitermaterial, aktuell Silizium bestehen werden bei Lichteinstrahlung negative (Elektronen) und positive (Kationen) Ladungsträger durch ein elektrisches Feld (durch Dotie-

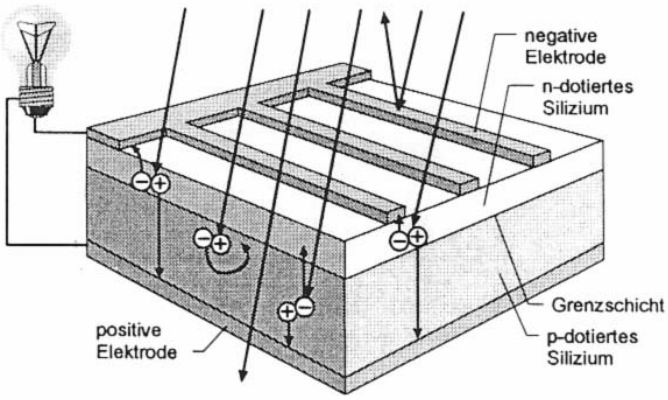


Abb. 31: Prinzipieller Aufbau einer kristallinen Solarzelle [SCHAFF, 2005, S.21]

Dotierung) getrennt. So kommt es auf der einen Seite zu einem Mangel, auf der anderen Seite zu einem Überschuss von Elektronen. Diese elektrische Spannung lässt sich als Gleichstrom ableiten und mit Hilfe eines Wechselrichters in den handelsüblichen Wechselstrom umwandeln.

Da Solarzellen auch den diffusen Anteil der Strahlung energetisch umsetzen, lohnt sich Photovoltaik auch im nicht übermäßig sonnenverwöhnten Deutschland. Durchschnittlich erzeugen Photovoltaik-Anlagen mit einer maximalen Leistung von 1 kWp hier jährlich etwa 800 kWh, optimal installierte Anlagen etwa 900-1000 kWh Strom [ZAH, 2004, S.354], wobei der regionale Standort, Ausrichtung und Neigungswinkel und natürlich der Wirkungsgrad der Anlage den Ertrag entscheidend beeinflussen. Optimal ist eine Ausrichtung nach Süden mit einer Neigung von 30-40° [BSTMVW, 2002, S.56], doch auch Abweichungen von Südost bis Südwest mit Dachneigungen zwischen 20° und 50° bringen min. 95 % der maximalen Energieausbeute [IWR, 2006].

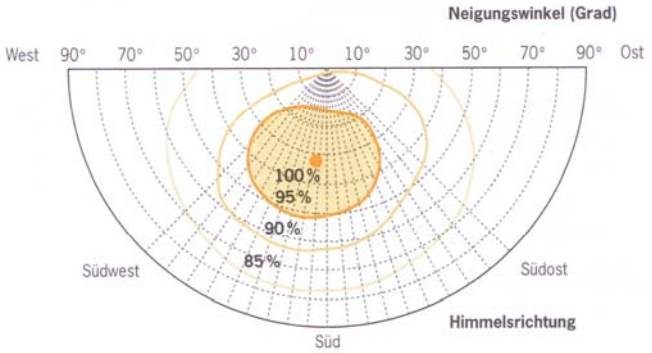


Abb. 32: Einfluss der Kollektororientierung auf en solaren Energiegewinn [WMBW, 2004, S. 22]

Mit 15-20% haben monokristalline Solarzellen die höheren Wirkungsgrade polykristallinen Solarzellen (Wirkungsgrad von 13-16%) und die amorphen Dünnschichtzellen (Wirkungsgrad von 6-8%) [BSTMVW, 2002, S.58]. Die geringe Energieausbeute der Solarzellen führt zu einem hohen spezifischen Flächen- und Kostenaufwand. Pro Kilowatt installierter Leistung werden im Schnitt etwa zehn Quadratmeter Solarzellen benötigt [IWR, 2006].

Strom aus Solarzellen kann wahlweise in das öffentliche Stromnetz eingespeist oder an Ort und Stelle verbraucht werden. Bei Investitionskosten von rund 6.000 €/kW [BMU, 2006a, S.73] inklusive Installation, je nach Art der Solarzellen und Anlagengröße und einer Einspeisevergütung (bis 30 kW) nach EEG von derzeit (siehe dazu Anhang-7) 51,80 Cent/kWh für 20 Jahre rechnet sich der Eigenverbrauch nur für Insellösungen, wo kein direkter Anschluss an das Stromnetz möglich oder sinnvoll ist. Die

Abb. 34: Netzunabhängige Kleinanlage im Rappenecker Hof, Schwarzwald, eigenes Foto

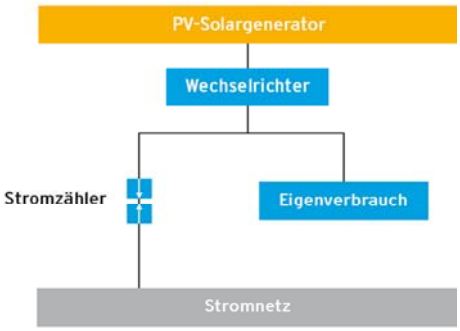


Abb. 33:: Prinzip einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage [BMU, 2006a, S. 74]

Stromgestehungskosten für Photovoltaik-Strom liegen in Deutschland heute zwischen 0,40 € bei großen und 0,55 €/kWh bei kleinen Anlagen [BMU, 2006a, S.71].

Derzeit (2005) stammen 1,6% des erneuerbaren und 0,2 % [AGEE, 2006, S.5] des gesamten deutschen Stroms aus Photovoltaik (rund 1 Mrd. kWh). Aufgrund der deutlich verbesserten Vergütungssätze für Solarstrom nach dem novellierten EEG hat der Zubau von Photovoltaikanlagen stark zugenommen.

Das technische Potential der Stromerzeugung aus Photovoltaik wird in Deutschland auf 135 TWh/Jahr geschätzt [BMU, 2006a, S. 72]. Das entspricht knapp einem Drittel des gegenwärtigen deutschen Stromverbrauchs. Wichtige Zukunftsmärkte für die deutsche Solarwirtschaft liegen auch in Mittel- und Südeuropa.

5.2.1.4 Biomasse

Biomasse ist zur reinen Wärmebereitstellung und zur kombinierten Wärme-Stromgewinnung (KWK) sowie zur regenerativen Kraftstoffherstellung nutzbar. Sie kann im Gegensatz zu anderen erneuerbaren Energieträgern bedarfsgerecht eingesetzt werden.

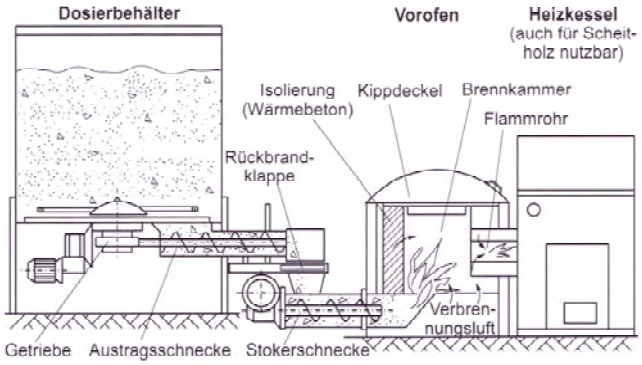


Abb. 35: Prinzipskizze einer Hackschnitzelfeuerung [FNR, 2005d, S. 93]

Die häufigste Art der Wärmebereitstellung aus Biomasse ist die Verbrennung von biogenen Festbrennstoffen, überwiegend Holz, in Feuerungsanlagen aller Leistungsbereiche. Moderne Systeme sind mit Wirkungsgraden bis zu 90 % und entsprechender Rauchgasreinigung heute vergleichsweise emissionsarm. Biomasse-Heiz-Kraftwerke erzeugen über Dampfturbinen oder -motoren bzw. moderne ORC-Anlagen neben Wärme auch Strom. Eine weitere Möglichkeit zur Stromgewinnung aus Biomasse sind KWK-Anlagen.

Alternativ zur Verbrennung kann feste Biomasse thermisch verflüssigt (Pyrolyseöl) oder vergast (Brenngas, Schwachgas) werden. Die produzierten Energieträger eignen sich erneut als Brennstoff in Biomassefeuerungen oder als Kraftstoff in Motoren bzw. Turbinen zur Kraft-Wärmekopplung. Auch Biogas, das biologisch durch Fermentation entsteht, Biodiesel und Pflanzenöl sind technisch für den Einsatz in Motoren- bzw. Gasturbinen-BHKWs geeignet, grundsätzlich aber auch als Kraftstoff für Fahrzeuge einsetzbar. Die biogenen Kraftstoffe sind derzeit (2006) noch steuerbefreit.

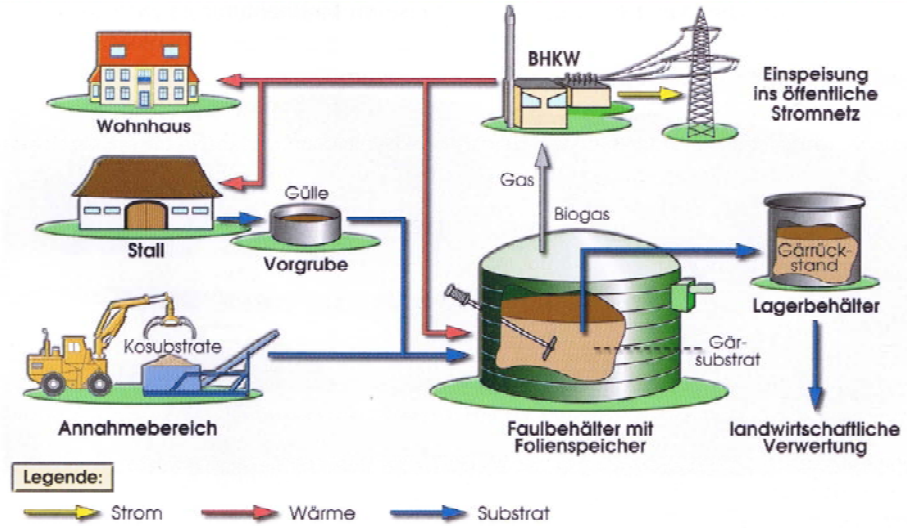


Abb. 36:

Aufbau einer Biogasanlage [FNR, 2005c, S. 21]

EEG, das Marktanreizprogramm des Bundes und Steuervergünstigung für Biokraftstoffe haben zu einem spürbaren Ausbau der Bioenergien geführt. Wärme aus Biomasse hat an der Wärmebereitstellung in Deutschland mit 76,5 Mrd. kWh inzwischen einen Anteil von 5,1 % [AGEE, 2006, S.5]. Rund 2,2 % (= 10,1 Mrd. kWh) des deutschen Stroms stammen aus Biomasse [AGEE, 2006, S.5]. Der Anteil biogener Kraftstoffe am Kraftstoff-Endenergieverbrauch, dominiert von Biodiesel (83,3%) lag 2005 bei 3,4 % [AGEE, 2006, S.5]. Nach Abschätzungen des BUM besteht die Möglichkeit, bis 2030 einen Anteil von rund 17,4% des derzeitigen deutschen Endenergieverbrauchs durch die Nutzung von Biomasse zu decken [FNR, 2005c, S.11].

Die Gestehungskosten für Wärme aus Biomasse liegen je nach Art und Größe der Anlage heute zwischen 1 bis 10 Cent/kWh, Strom aus Biomasse kostet 5 bis 30 Cent/kWh [BMU, 2006a, S.94], wobei auch hier Art und Größe der Anlage preisbestimmend sind. Strom aus Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen auf ORC-Basis ist etwa zwischen 0,05 und 0,12 Cent/kWh anzusiedeln. Richtwerte der Investitionskosten für Biomasse-Feuerungen und Pflanzenöl-BHKWs können Anhang A8-4 entnommen werden.

5.2.1.5 Geothermie

Geothermie ist eine Besonderheit unter den Erneuerbaren Energien. Sie ist nicht von der Sonne abhängig und jederzeit verfügbar (geothermischer Wärmefluss konstant 0,065 bis 0,07 W/m²), aber nur mit Antriebsenergie nutzbar. Geothermie wird zum Heizen bzw. Kühlen oder zur Stromerzeugung in unterschiedlichen Tiefen entnommen.

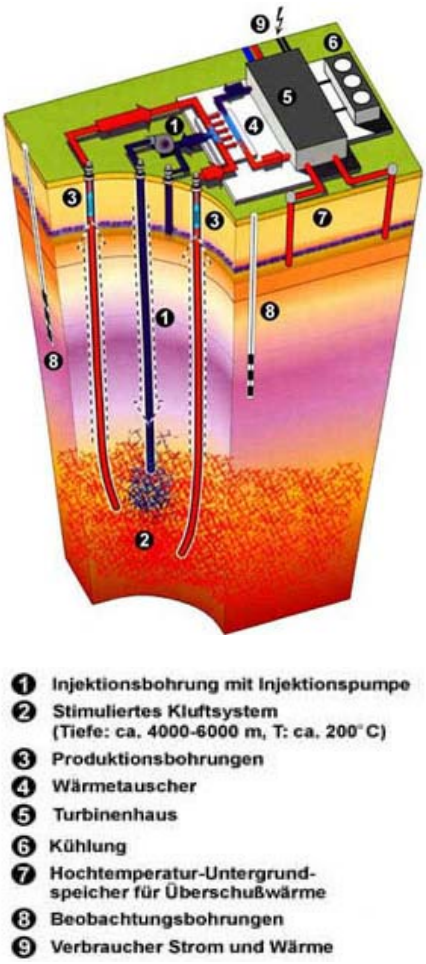


Abb. 37: Prinzip des Hot-Dry-Rock-Verfahrens [SOLARCOMPLEX, S. 82]

Das Hot-Dry-Rock-Verfahren (HDR) nutzt die im Tiefengestein enthaltene Wärme in 3.000 bis 6.000 Metern Tiefe. Über eine Injektionsbohrung wird Wasser mit hohem Druck in das heiße Tiefengestein gepumpt, erhitzt und über eine zweite Bohrung wieder an die Oberfläche geführt. Über den heißen Wasserdampf wird in ORC-Turbinen Strom erzeugt. Danach kann dem Wasser weitere Energie zu Heizzwecken entzogen werden. Wegen der hohen Investitionskosten, zwischen 2.500 bis 5.000 Euro/kW [BMU, 2006a, S.113], insbesondere für die Bohrung, konzentriert sich die Nutzung des HDR-Verfahrens auf Regionen mit geothermischen Anomalien wie z.B. im Oberrheingraben. Eine Kilowattstunde Strom aus tiefer Geothermie beläuft sich gegenwärtig auf 7 bis 15 Cent [BMU, 2006a, S.113].

Die hydrothermale Geothermie bedient sich der Aquifere in 1.500 bis 3.000 m Tiefe. Dem heißen Tiefenwasser wird über einen Wärmetauscher Wärme überwiegend zu Heizzwecken entzogen. Ab 100°C ist auch Stromerzeugung über ORC-Turbinen möglich. Im Leistungsbereich von 3 bis 30 MW ist mit Investitionskosten von 400 -1.000 €/kW zu rechnen [BMU, 2006a, S.114]. Die Wärmegestehungskosten werden derzeit mit < 2 bis 4 Cent/kWh [BMU, 2006a, S.115] angegeben.

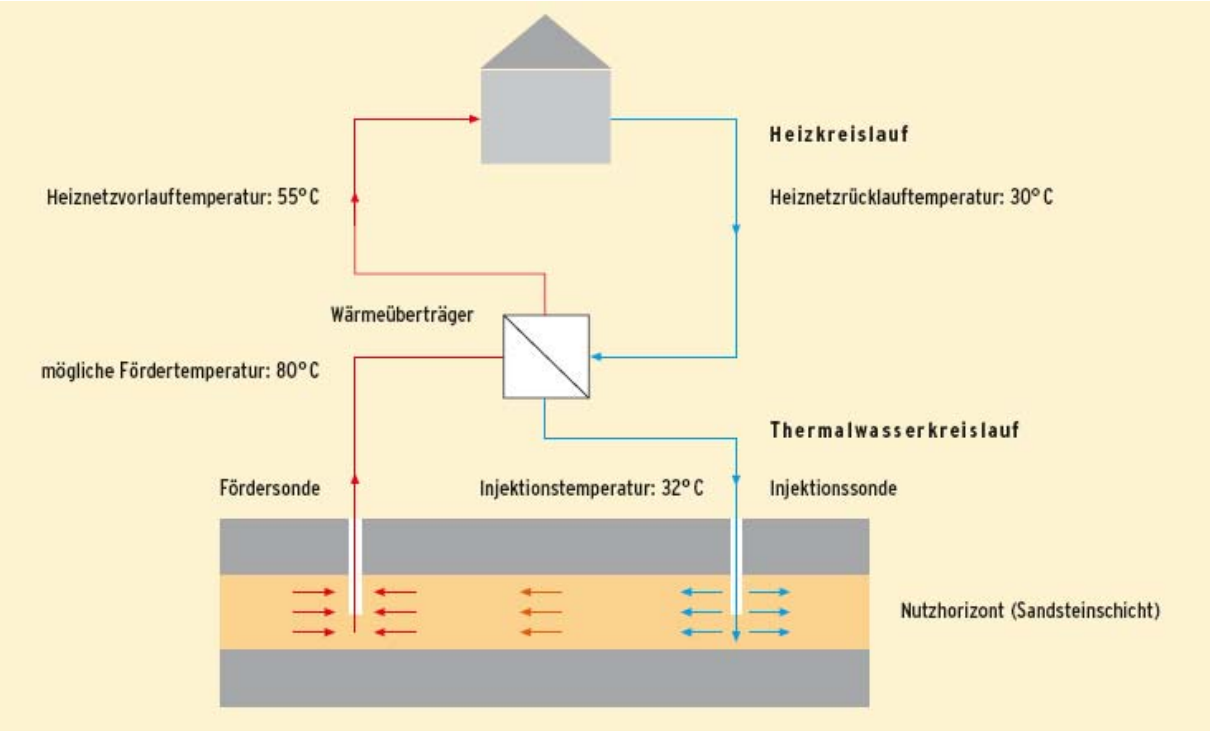


Abb. 38: Prinzip der hydrothermalen Geothermie [BMU, 2006a, S. 114]

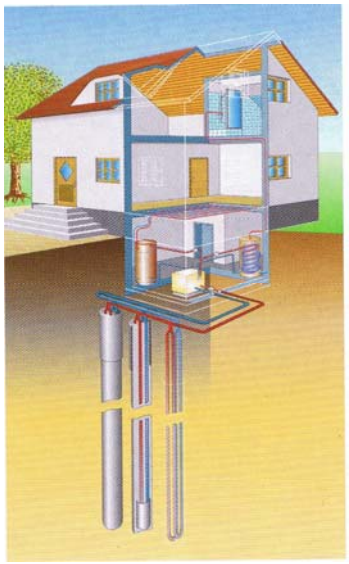


Abb. 39: Prinzip einer Erdsondenanlage [BSTMUGV, 2005, S. 6]

Wärmepumpen machen die Nutzung oberflächennaher Erdwärme zum Heizen oder Kühlen möglich. Dabei dient das Erdreich über Kollektoren, Erdwärmesonden (Länge i.d.R. zwischen 40 und 100 Meter) und Grundwasserbrunnen als Wärme- bzw. Kältequelle. Die entnommene Erdwärme (etwa -5 °C bis +10°C) wird von der Wärmepumpe unter Antriebsenergie (Kompression) auf ein höheres Temperaturniveau (35-55 °C) gebracht und über einen Wärmetauscher an das Heizsystem abgegeben. In Kombination mit Niedertemperatur-Heizsystemen, z.B. Fußboden- und Wandheizungen mit Vorlauftemperaturen bis maximal 35 °C, ist auch im Winter keine Zusatzheizung nötig. Je niedriger der Temperaturhub ist, desto weniger Antriebsenergie wird benötigt und desto besser ist die Energieeffizienz.

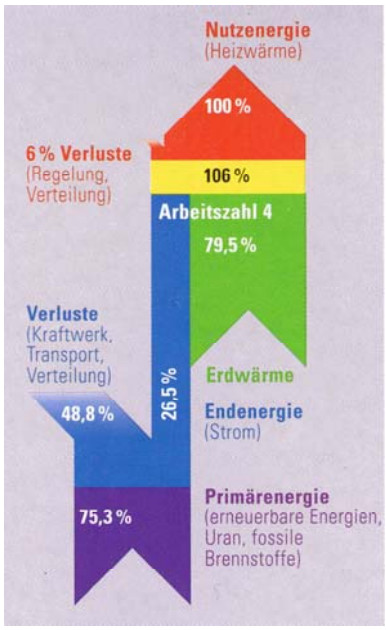


Abb. 40: Energieflussdiagramm einer Erdwärmepumpe mit einer Arbeitszahl von 4

Die Leistungszahlen (COP-Werte) von Wärmepumpen liegen derzeit zwischen 4 und 5,5 [Thönnissen, 2005, S.6 und 7], d.h. das 4- bzw. 5,5fache der eingesetzten elektrischen Leistung wird in nutzbare Wärmeleistung umgewandelt. Der

COP-Wert (Coefficient of Performance) ist ein Gütekriterium der Wärmepumpe. Je höher er ist, desto effektiver arbeitet sie. Für den Einsatz von Erdwärmesonden zur Erdwärmegewinnung und Speicherung sind möglichst wassergesättigte, bindige Lockergesteine mit hoher Wärmekapazität und Wärmeleitvermögen geeignet.

Die kühlen Temperaturen im Untergrund sind im Sommer auch für die Bereitstellung von Klimakälte zur Raumkühlung interessant. Dabei wird nur die in den Kollektoren oder Sonden zirkulierende Wärmeträgerflüssigkeit genutzt. Herkömmliche Aggregate zur Erzeugung von Klimakälte entfallen.

Für eine komplette Erdwärmesonden-Anlage ist mit Kosten von ca. 700 Euro - 900 Euro je kW Heizleistung plus die Kosten für die Erschließung der Wärmequelle (Bohrungen) zu rechnen [IGEWA, 2006]. Den höheren Investitionskosten stehen aber auch Einsparungen gegenüber, da Komponenten wie Öltanks oder Gasanschluss oder Schornstein nicht erforderlich sind und keine Brennstoffkosten anfallen. Die Wärmegestehungskosten aus oberflächennaher Geothermie werden je nach Anlagengröße mit 15 bis 20 Cent/kWh angegeben [BMU, 2006a, S.116].

Im deutschen Wärmemarkt ist Erdwärme mit 0,11% oder 1,6 TWh beteiligt [AGEE, 2006, S.5]. Die Nutzung der Erdwärme bei der Stromerzeugung (< 0,1% oder 0,0002 TWh) in Deutschland beschränkte sich auch im Jahr 2005 auf das 2003 in Betrieb genommene Geothermiekraftwerk in Neustadt-Glewe [AGEE, 2006, S. 3]. Das technische Erzeugungspotential der Geothermie in Deutschland wird nach einer Studie des Instituts für Energetik und Umwelt (IE) im Auftrag des BMU mit ca. 200 TWh angegeben [BMU, 2005c].

5.2.2 Blockheizkraftwerke

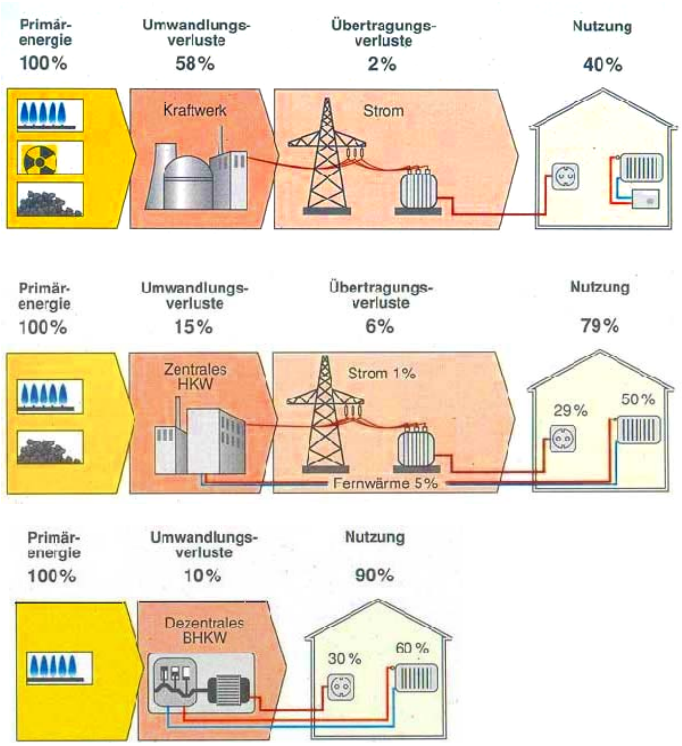


Abb. 41: Primärenergiebilanz eines konventionellen Kraftwerk, eines zentralen Heizkraftwerks und eines dezentralen BHKWs [STEINBORN, 2005, S. 1f.]

Die Erzeugung von Wärme und Strom in Kraft-Wärmekopplung (KWK) geschieht heute überwiegend in großen Heizkraftwerken, die Gesamtnutzungsgrade bis zu 80% erzielen. Immer häufiger werden auch dezentrale BHKWs eingesetzt, die Gesamtnutzungsgrade bis zu 90% (η_{th} bis 60%, η_{el} 25 - 40%) [BMU, 2006a, S.124] erreichen. Verglichen mit der Energiebilanz einer getrennten Erzeugung von Wärme und Strom, spart die gekoppelte Erzeugung in einem BHKW bis zu 50% Primärenergie ein [STEINBORN, 2005, S. 1f.]. Je größer der elektrische Wirkungsgrad ist, desto höher sind die Primärenergieeinsparungen.

Neben den konventionellen fossilen Brennstoffen Erdgas und Heizöl können auch regenerative Energieträger in BHKWs genutzt werden. Technisch möglich, wenn auch nicht in jedem Fall technisch ausgereift sind der Einsatz von Biogas, Biodiesel, reinem Pflanzenöl sowie Deponie-, Klär- und Holzgas. Die energieeffiziente BHKW-Technik wird durch den Einsatz regenerativer Brennstoffe ökologisch weiter optimiert.

Ihr Einsatzgebiet finden Blockheizkraftwerke vor allem bei der Versorgung größerer Gebäude mit konstantem Wärmebedarf in Industrie und Gewerbe, aber auch in Krankenhäusern oder Hallenbädern. Auch die Wärmeeinspeisung in Wärmenetze oder die Stromversorgung von Inselobjekten ohne Anschluss an das öffentliche Stromnetz sind für den Einsatz von BHKWs geeignet.

Grundvoraussetzungen für den wirtschaftlichen Einsatz von BHKWs ist die gleichzeitige Nutzung von Wärme und Strom (bzw. die Einspeisung in das öffentliche Stromnetz) und der Betrieb für mindestens 4000, besser 5000 – 6000 Vollbenutzungsstunden [STEINBORN, 2005] pro Jahr. Die genauen Betriebsstunden orientieren sich am Wärmebedarf. Es empfiehlt sich, BHKWs nur auf die thermische Grundlast der Objekte auszulegen und die Anlage durch Wärmespeicher und Spitzenlastkessel zu ergänzen. Die Grundwärmelast ist mit 10-20%, wenn im Sommer ebenfalls konstanter Wärmebedarf besteht (z.B. auch zur Kühlung mit thermisch geführten Kältemaschinen) auch mit 30% der Spitzenlast anzusetzen. 60 -80 % des Wärmebedarfs werden dann durch das BHKW übernommen.

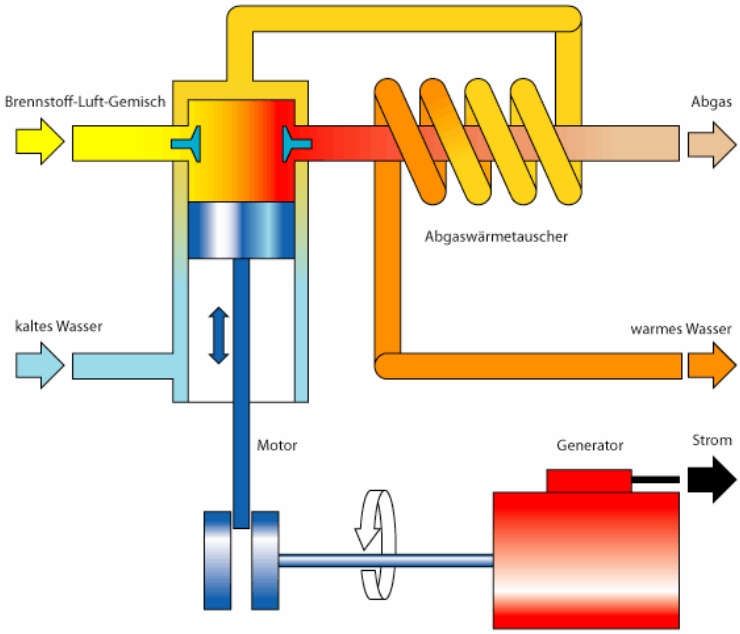


Abb. 42: Funktionsprinzip eines BHKWs [WIKIPEDIA, 2005]

In Deutschland stammen gegenwärtig 14 % des Stroms [BMU, 2006a, S.124] aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Im Jahr 2020 sollen es 20 % sein. Die Förderung der KWK erfolgt durch das „Gesetz zur Erhaltung, Modernisierung und den Ausbau der KWK“ (KWK-Gesetz) aus dem Jahr 2002, nach dem Betreiber von KWK-Anlagen für eingespeisten Strom eine Zuschlagzahlung von 2 Cent/kWh zur mit dem Betreiber vereinbarten Mindestvergütung erhalten. Bei regenerativem Betrieb ist mit 6 Cent/kWh Zuschlag (NaWaRo-Bonus) die Volleinspeisung ins öffentliche Stromnetz häufig wirtschaftlicher als der Eigenverbrauch oder die Überschusseinspeisung. Die Vergütungssätze für Strom aus Biomasse inkl. Zuschlägen für Strom aus KWK sind Anlage A7 zu entnehmen.

5.3 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien zur Bereitstellung von Wärme und Strom in den Gewerbebetrieben der Gemeinde Allensbach

5.3.1 Wärme- und Stromverbrauch der Gewerbebetriebe in Allensbach

Nach [AL-SAIDI & WOLF, 2004] sind ca. 400 Gewerbebetriebe, inkl. der drei Betriebe, die mit mehr als 20 Mitarbeitern als Industrie definiert werden mit rund 26% (Industrie ca. 1,1% + GHD ca. 24,6%) am Endenergieverbrauch (2002:146.742 MWh/a) der Gemeinde Allensbach beteiligt. Sie haben zusammen einen Stromverbrauch von ca. 8.400 MWh und einen Wärmeverbrauch von ca. 29.300 MWh, der gegenwärtig fast ausschließlich aus fossilen Energieträgern gedeckt wird.

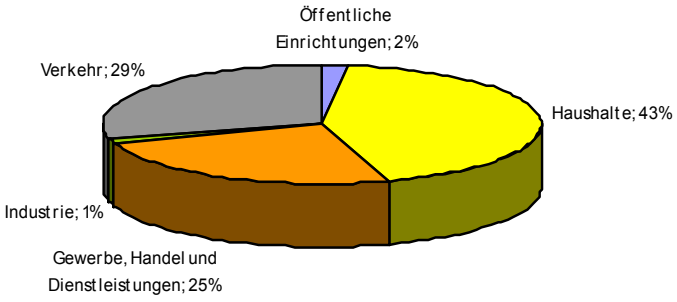


Abb. 43: Gesamtendenergieverbrauch in Allensbach nach Verbrauchsgruppen nach [AL-SAIDI&WOLF, 2004, S. 36]

Auch die meisten der 20 im Zuge dieser Arbeit befragten Gewerbebetriebe, darunter die zehn größten Energieverbraucher der Gemeinde, die überwiegend im Gewerbegebiet Reihetal oder in direkter Umgebung angesiedelt sind und zehn repräsentative Vertreter ausgewählter Branchen decken ihren Wärmeverbrauch, zusammen rund 11.740 MWh, aus fossilen Energieträgern (siehe dazu auch Kapitel 3). Die Klinik Schmieder, das Kloster Hegne und der Campingplatz Himmelreich unterstützen ihre Heizsysteme mit Solarthermie. Ausnahmen sind die Schlosserei Wiehler (Wärmepumpe), die Zimmerei Blum (Holzfeuerung) und die Metzgerei des Müllerhofs (Biogas-BHKW). Sie setzen zur Wärmebereitstellung in ihrem Betrieb ausschließlich erneuerbare Energien ein.

Der Stromverbrauch der 20 befragten Gewerbebetriebe beträgt ca. 4.772 MWh (siehe dazu auch Kapitel 3). Stromlieferant ist Erdgas-Südwest im Verbund der EnBW. Vier Betriebe haben auf ihren Dächern bereits Photovoltaik-Anlagen mit einer Gesamtleistung von etwa 60 kWp installiert. Darunter sind erneut die Schlosserei Wiehler und der Müllerhof, daneben die Sonnen-Apotheke und das Radhaus Allensbach. Anzumerken ist, dass die Räumlichkeiten der Sonnen-Apotheke angemietet sind und die Installation der PV-Anlage durch den Vermieter erfolgt ist.

5.3.2 Technische Potentiale erneuerbarer Energieträger im Landkreis Konstanz und in der Gemeinde Allensbach

Endenergiebedarf im Landkreis Konstanz 2002 (ohne Verkehr)		Technische Potentiale im Landkreis Konstanz	
	[GWh]		[GWh]
Strom	**1.500**	**Strom, davon:**	**543**
		aus Geothermie	200
		aus Windkraft	140
		aus Photovoltaik (nur Dachflächen)	135
		aus Wasserkraft	35
		aus Biomasse-BHKWs	33
Wärme	**3.700**	**Wärme, davon:**	**1630**
		aus Geothermie (insgesamt), davon: - oberflächennahe Geothermie - hydrothermale Geothermie - tiefe Geothermie (HDR)	830 30 200 600
		aus Solarthermie (nur Dachflächen)	500
		aus Holz	185
		aus Energiepflanzen	65
		aus Biomasse-BHKWs	50

Abb.44 : Endenergiebedarf und technische Potentiale der erneuerbaren Energien im Landkreis Konstanz [SOLARCOMPLEX, 2002, S. 31], eigene Ergänzungen

Der Potentialstudie der Firma Solarcomplex [SOLARCOMPLEX, 2002, S. 31] nach reichen die im Landkreis Konstanz (~ 275.000 Einwohner) technisch aus EE gewinnbaren Energiemengen ohne Maßnahmen zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung nicht aus, den Endenergieverbrauch (7.630 GWh, inkl. Verkehr) des Landkreises zu decken. Nur ein Drittel des Strom- und gut die Hälfte des Wärmeverbrauchs sind technisch aus erneuerbaren Energieträgern gewinnbar. Für den Verkehrsbereich bestehen keine nennenswerten Potentiale. Der Geothermie wird bei der Strom- und Wärmeerzeugung das größte Potential zugesprochen.

Aus der Master-Thesis ‚Energie-Agenda Allensbach' [AL-SAIDI&WOLF, 2004, S. 68] geht hervor, dass in Allensbach (~ 7100 Einwohner) bei Ausschöpfung aller prognostizierten technischen Energiemengen etwa 76 % des Strom und etwa 50 % des Wärmeverbrauchs aus EE gedeckt werden könnten, angenommen der Energieverbrauch bliebe konstant. Bei einer Endenergieeinsparung von 50%, wie es die Gemeinde bis 2030 anstrebt, könnte der Stromverbrauch mit ca. 52 % und der Wärmeverbrauch mit ca. 1,6% Überschuss gedeckt werden.

Endenergieverbrauch in Allensbach 2002 (ohne Verkehr)		Technische Potentiale Erneuerbarer Energien in Allensbach	
	in [GWh]		in [GWh]
Strom	**20,6**	**Strom, davon:**	**15,7**
		aus Geothermie	8,0
		aus Windkraft	4,5
		aus Photovoltaik (nur Dachflächen)	2,6
		aus Biogas-BHKWs, η=30%	0,38
		aus Rapsöl-BHKWs, η=30%	0,21
Wärme	**78,7**	**Wärme, davon:**	**39,8**
		aus Geothermie (insgesamt), davon: - oberflächennahe Geothermie - hydrothermale Geothermie - tiefe Geothermie (HDR-Verfahren)	16,0 200 600
		aus Solarthermie (nur Dachflächen)	13,1
		aus Holz	9,5
		aus Biogas-BHKWs, bei max.η=60%	0,78
		aus Rapsöl-BHKWs, bei max.η=60%	0,42

Abb.45: Endenergiebedarf und technische Potentiale erneuerbarer Energien in der Gemeinde Allensbach nach [AL-SAIDI&WOLF, 2004], eigene Ergänzungen

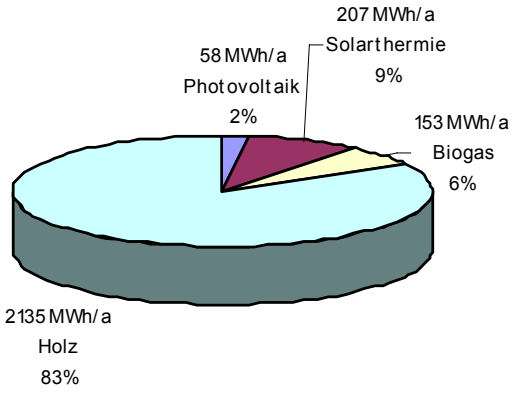


Abb. 46: Erneuerbare Energien in Allensbach – Stand 2004 [AL-SAIDI&WOLF, S. 25]

Die 2003 in Allensbach gewonnenen Energiemengen aus Photovoltaik (2%), Solarthermie (9%) und Biomasse (89%) belaufen sich auf rund 2.400 MWh pro Jahr [AL-SAIDI&WOLF, 2004, S. 24f.]. Sie machen damit einen Anteil von ca. 3 % des Endenergiebedarfs aus. Bis heute dürfte der Anteil erneuerbarer Energien in der Gemeinde seit 2003 beachtlich gestiegen sein.

5.3.3 Darstellung von Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien in den Gewerbebetrieben der Gemeinde Allensbach

Der Einsatz erneuerbarer Energien in den Gewerbebetrieben Allensbachs ist neben der technischen Verfügbarkeit entscheidend von den Kosten der konkurrierenden Techniken, der Energiepreisentwicklung, von ökologischen Aspekten und der Akzeptanz der Bevölkerung abhängig. Zur regenerativen Wärme- und Stromgewinnung in den Betrieben sind daher vor allem Versorgungsmöglichkeiten anzudenken, die dezentral an Ort und Stelle des Verbrauchs oder gegebenenfalls im Nahwärmeverbund eingesetzt werden können und dabei zeitnah realisierbar und wettbewerbsfähig sind.

Obgleich der tiefen Geothermie bei Strom- und Wärmeerzeugung in Allensbach die größten technischen Potentiale eingeräumt werden [AL-SAIDI&WOLF, 2004, S.68], bleibt sie aufgrund der hohen Investitionskosten in dieser Betrachtung unberücksichtigt. Nach Angaben von Solarcomplex [SOLARCOMPLEX, 2002, S. 83] ist eine wirtschaftliche Nutzung der tiefen Geothermie zudem erst in größeren Gemeinden ab etwa 10.000 Einwohnern sinnvoll. Ebenfalls unberücksichtigt bleiben die technisch verfügbaren Potentiale der Windkraft. Grund dafür sind die hohen Investitionskosten und die möglicherweise störende Auswirkungen der Windkraftanlagen auf den Urlaubsort Allensbach.

Photovoltaik

Da in Allensbach rund 7.000 m² [AL-SAIDI&WOLF, 2004, S. 58] zur solaren Nutzung geeignete, gewerbliche Dachflächen zur Verfügung stehen, ist in jedem Fall die Belegung mit Photovoltaikzellen zur regenerativen Stromgewinnung anzudenken. Das bietet sich vor allem für jene gewerblichen Gebäude an, die keinen nennenswerten Warmwasserverbrauch haben.

Die Wirtschaftlichkeit der Photovoltaik ist entscheidend von verschiedenen Parametern abhängig. Für einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen ist der erzeugte Strom vollständig in das Netz des lokalen Stromanbieters (EnBW) einzuspeisen. Nur so können sich die hohen Investitionskosten der Anlagen amortisieren. Im Jahr 2006 in Betrieb genommene Anlagen (bis 30 kW) erhalten nach EEG für jede Kilowattstunde eingespeisten Strom vom Netzbetreiber 51,80 Cent. Geht man von einer 10 kWp-Anlage aus (Platzbedarf etwa 100 m²), deren Investitionsbedarf sich in der Größenordnung der Anlage derzeit durchschnittlich auf ca. 50.000 € brutto beläuft (5000 €/kW), so wird diese bei einer durchschnittlichen Energieausbeute von 900 kWh pro kW berechnet nach Annuitätsmethode bei einem Zinssatz von 4 % und einer Laufzeit von 20 Jahren abzüglich der Kosten für Versicherung und Wartung, die derzeit mit jährlich etwa 1 % [IWR, 2006] der Investitionskosten angesetzt werden, nach 20 Jahren einen Gewinn von rund 10.000 € einspielen (siehe dazu Anhang A-11). Das entspricht einer Kapitalrendite von knapp 1%.

Kann die Anlage teilweise oder ganz aus Eigenmitteln finanziert bzw. ein zinsverbilligtes Darlehen z.B. der KfW in Anspruch genommen werden oder besteht ein günstigeres Investitionsangebot, kann der Gewinn für 20 Jahre deutlich erhöht werden. Bei der groben Kalkulation vernachlässigt bleibt die Tatsache, dass Solarzellen mehr als die angesetzte Laufzeit von 20 Jahren Energieerträge liefern. Bei der Investition ist auch zu berücksichtigen, dass die Investitionskosten pro kW und die Vergütungssätze nach EEG mit der Anlagengröße (> 30 kWp) sinken und die Vergütungssätze einer jährliche Degression von 5 % unterworfen sind. Das bedeutet eine 10 kWp Anlage, die 2007 in Betrieb genommen wird, erhält für die Laufzeit von 20 Jahren nicht mehr 0,5081 €, sondern noch 0,4921 € pro kWh eingespeisten Strom. Es ist folglich ratsam, wenn beabsichtigt möglichst bald in Photovoltaik zu investieren. Der digitalen Version dieser Projektarbeit ist ein Excel-Tool (‚Wirtschaftlichkeit_Photovoltaik.xls) beigefügt, mit dem sich die Wirtschaftlichkeit von projektierten Photovoltaikanlagen für unterschiedliche Zinssätze und Investitionskosten sowie entsprechend der degressive Mindestvergütung nach EEG überschlägig abschätzen lässt.

Geht man davon aus, dass alle geeigneten gewerblichen Dachflächen des Gewerbegebiets Reihetal, rund 5.050 m² [AL-SAIDI&WOLF, 2004, S. 58] für die Belegung mit Photovoltaik verfügbar

sind, so entspricht das unter der Annahme einer jährlichen Energieausbeute von 900 kWh pro kW und Jahr ca. 4500 MWh Energieausbeute. Dabei bleibt vernachlässigt, dass zumindest auf den Flachdächern eine Aufständerung der Solarmodule in den optimalen Neigungswinkel nötig ist und daher zur Vermeidung von Abschattungsverlusten nicht die gesamte Dachfläche zur Verfügung steht. Zudem kann eine Teilbelegung der Flächen mit solarthermischen Systemen sinnvoll sein.

Solarthermie

Bei Betrieben mit Warmwasser-, Prozesswärme-, Kühl- oder Klimatisierungsbedarf kann zur Unterstützung der bestehenden Heiz- und Kühlsysteme auch eine solarthermische Anlage sinnvoll sein. Eine Unterstürzung der Raumheizung mit Solarthermie bleibt unberücksichtigt, da der Bedarf an Raumwärme mit anderen erneuerbaren Energieträgern, z.B. Biomassefeuerungen effizienter und wirtschaftlicher bereitzustellen ist.

Angenommen 1.000 m² der im Gemeindegebiet verfügbaren, geeigneten gewerblichen Dachflächen wären mit Sonnenkollektoren belegt, so könnten bei einer durchschnittlichen Energieausbeute von 500 kWh/m^2 jedes Jahr ein Warmwasserbedarf von ca. 500 MWh regenerativ gedeckt werden. Das entspricht einer Heizöleinsparung von 50.000 l.

Erhöhter Warmwasserbedarf besteht in Allensbach vor allem in den Hotels und Pensionen, der Klinik und dem Kloster. In geringem Umfang wird Solarthermie in Klinik und Kloster bereits zur Warmwasserbereitung genutzt. Prozesswärme könnte in der Wäscherei, in den Holz verarbeitenden Betrieben (z.B. zur Holztrocknung) und in den Autowerkstätten bzw. Metallbetrieben (z.B. zum Entlacken oder zur Galvanisierung) teilweise aus Solarthermie zur Verfügung gestellt werden. Die Verwendungsmöglichkeiten der Klimakälte konzentrieren sich in Allensbach vorwiegend auf den Lebensmitteleinzelhandel. Sommerliche Gebäudekühlung ist wohl in fast jeder Branche erwünscht. Anzumerken ist, dass sich auch die in einigen Unternehmen anfallende, bisher ungenutzte Abwärme für den Betrieb von thermischen Kältemaschinen eignet.

Biomasse

Für Gewerbebetriebe mit hohem Heizwärmebedarf eignet sich der Einsatz von biomassebetriebenen Systemen. Das technische Potential an Holz in der Gemeinde Allensbach legt zur Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien eine Holz-Feuerung nahe. Holzfeuerungen zeichnen sich – im Vergleich zu gas- oder heizölbefeuerten Anlagen durch hohe Investitions- aber niedrige Brennstoffkosten aus.

Für die dezentrale Wärmeversorgung kleinerer Gewerbebetriebe ist der Einsatz von automatisch beschickten Pelletfeuerungen sinnvoll. Zur Wärmebereitstellung in größeren Betrieben eignen sich insbesondere Holzhackschnitzelfeuerungen, die heute im Leistungsbereich von ca. 15 bis 250 kW Feuerungsleistung auf dem Markt sind [IZE, 2005, S.1] und durch automatischen Betrieb genauso komfortabel sind wie Öl- oder Gasheizungen. Zur Wärmeversorgung des Gewerbegebiets Reihetal bietet sich auch ein mit Hackschnitzeln befeuertes Nahwärmenetz an. Für einen wirtschaftlichen Betrieb sind dann mindestens 4000 Volllastbenutzungsstunden anzustreben. Ab einer Wärmeleistung von ca. 100 kW sollte der Holzkessel nur die Grundlast und ein Öl- oder Gaskessel die Spitzenlast übernehmen [FNR, 2005a, S.96].

Alternativ sind in den größeren Betrieben zur regenerativen Heizwärmebereitstellung auch mit Biomasse betriebene BHKWs ($\eta \leq 90\%$) anzudenken. Dank Kraft-Wärmekopplung steht zusätzlich zur Nutzwärme (bis $\eta_{th} = 60\%$) rund ein Drittel der gewonnenen Energie als Strom zur Verfügung, der mit einer Vergütung von derzeit 19,16 Cent/kWh (bei einer elektrischen Anlagenleistung $\leq$ 150 kW) in das Netz des lokalen Stromanbieters eingespeist werden kann. Auch der Ausbau eines Biomasse-BHKW-befeuerten Nahwärmenetzes im Gewerbegebiet ist energetisch und ökologisch als sehr sinnvoll einzustufen. Für eine wirtschaftliche Betriebsweise sind pro Jahr mindestens 5.000 Vollbenutzungsstunden nötig. Durch den Einsatz von thermischen Kältemaschinen (Adsorptions- und Absorptionskältemaschinen) auf Heißwasserbasis könnten die Volllaststunden eines wärmegeführten BHKWs außerhalb der Heizperiode z.B. zur Kühlung von Lebensmitteln in den Lebensmitteleinzelhandeln erweitert werden.

Bei der Auslegung eines Nahwärmenetzes im Gewerbegebiet Reihetal ist generell zu berücksichtigen, dass mindestens ein Betrieb, die Bäckerei Holstein, große Mengen bisher ungenutzte Abwärme zur Verfügung hat, die parallel zur geplanten Wärmeversorgung durch eine Hackschnitzelfeuerung oder ein Biomasse-BHKW zur Wärmeversorgung des potentiellen Nahwärme-Gebiets Reihetal beitragen könnte

Oberflächennahe Geothermie

Der Einsatz von oberflächennaher Geothermie bietet Vorteile, wenn im Gebäude Heizung und Kühlung erforderlich sind. Das Erdreich dient als Wärmequelle im Winter und als Kältequelle im Sommer.

Oberflächennahe Erdwärmeanlagen sind besonders in kleinen Anlagen im Bereich Wohnen und Kleingewerbe für den Grundlastbetrieb geeignet. In Kombination mit Solarenergie und/oder Wärmerückgewinnung kann der Wirkungsgrad noch zusätzlich verbessert werden. In Kombination mit Niedertemperatur-Heizsystemen ist auch im Winter keine Zusatzheizung erforderlich. Für größere Betriebe und Betriebe mit bedeutendem Wärmebedarf ist die Ergänzung des Systems mit einer Öl- oder Gasheizung nötig. Die Schlosserei Wiehler im Gewerbegebiet Reihetal nützt die innovative Heizung und Kühlung durch oberflächennahe Geothermie seit einigen Jahren erfolgreich ohne Spitzenlastsystem. In den Werkstätten sind nur Temperaturen um 15 °C nötig. Da der Schwerpunkt dieser Projektarbeit die Versorgung größerer Betriebe ist, kann auf die Einsatzmöglichkeiten der oberflächennahen Energie in Gewerbebetrieben nicht weiter eingegangen werden.

Fazit

Für die nachhaltige Wärmeversorgung in den Gewerbebetrieben bieten sich je nach den betrieblichen Erfordernissen vor allem Holzfeuerungen, Biomasse betriebene BHKWs und in kleinen Gewerbebetrieben auch oberflächennahe Geothermie an. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, jeden Betrieb einzeln oder mehrere zusammen im Nahwärmeverbund mit Wärme zu versorgen. Ob eine zentrale oder dezentrale Versorgung sinnvoll ist, hängt vor allem von der Entfernung der interessierten Gewerbebetriebe zueinander ab. Aufgrund zahlreicher geeigneter gewerblicher Dachflächen ist die Installation von Photovoltaikmodulen zur regenerativen Stromgewinnung als sinnvoll zu betrachten, wenn in naher Zukunft investiert wird. Solarthermie ist vor allem in Betrieben sinnvoll, die einen erhöhten Warmwasserbedarf haben.

5.4 Überschlägige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einiger nachhaltiger Energiesysteme zur Wärmegewinnung

5.4.1 Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In Kapitel 5.3.3 werden zur Wärmebereitstellung in den Gewerbebetrieben der Gemeine Allensbach einige regenerative Techniken als Alternativen zu Öl- und Gaskesseln vorgeschlagen. Ob diese energetisch und ökologisch sinnvollen Alternativen auch wettbewerbsfähig sind, zeigt eine überschlägige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Anschluss. Bemessungsgrundlage sind die Wärmebereitstellungskosten pro kWh.

Da während der Befragung der Gewerbebetriebe in Allensbach weder Angaben zu den Spitzenlasten noch Jahresdauerlinien erfassbar waren und damit die korrekte Auslegung eines Heizsystems für diese Betriebe nicht möglich ist, soll die Berechnung an einem fiktiven Beispiel zeigen, ob bei Neuinvestition der Einsatz eines nachhaltigen Energiesystems oder der Anschluss an ein Nahwärmenetz im Vergleich zu konventionellen Techniken auch finanzielle Vorteile birgt. Ausgangsbasis ist der jährliche Wärmebedarf des fiktiven Gewerbebetriebs von 153.000 kWh, der derzeit aus Heizöl bereitgestellt wird. Für die Berechnung des Nahwärmenetzes wird davon ausgegangen, dass 10 Betriebe á 153.000 kWh mit Wärme zu versorgen sind. Vereinfachend wird angenommen, dass der Wärmebedarf ausschließlich zur Gebäudebeheizung eingesetzt wird.

Diese Varianten der Wärmebereitstellung werden überschlägig auf ihre Wirtschaftlichkeit überprüft:

Variante 1: Öl-Niedertemperaturkessel, Nennwärmeleistung 30 kW

Variante 2: Gas-Brennwertkessel, Nennwärmeleistung 30 kW

Variante 3: Pelletkessel, Nennwärmeleistung 30 kW

Variante 4: Hackschnitzelkessel Nennwärmeleistung 30 kW

Variante 5: Pflanzenöl-BHKW, thermische Leistung 30 kW

Variante 6: Nahwärme aus Hackschnitzel-Grundlast (270 kW) und Öl-Spitzenlast (850 kW)

Die Kostenberechnung wird in Anlehnung an die VDI 2067 durchgeführt und berücksichtigt kapitalgebundene, betriebsgebundene und verbrauchsgebundene Kosten. Zur besseren Vergleichbarkeit werden für alle Varianten eine Laufzeit von 15 Jahren und ein Zinssatz von 4,5 % angenommen. Ausgangspunkt der Betrachtung ist die Neuinvestition in ein Heizsystem im Jahr 2006. Die ausführliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist dieser Arbeit in Anhang A10 und der digitalen Version dieser Arbeit als Excel-Datei (‚Wirtschaftlichkeit_Wärmeerzeuger.xls) beigefügt.

Kapitalkosten

Die kapitalgebundenen Kosten berücksichtigen die Investitionskosten für den Wärmeerzeuger inkl. Montage und Inbetriebnahme. Für die Biomassefeuerungen wird die Förderung nach dem Förderprogramm des Bundes für ‚Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien' (Marktanreizprogramm) berücksichtigt. Bei Variante 2 (Gas-Brennwert) werden die Anschlusskosten an das öffentliche Gasnetz und bei Variante 5 (Nahwärme) pauschal die Kosten für das Nahwärmenetz und verbraucherseitige Einrichtungen (= Hausübergabestation) eingerechnet.

Die jährlich anfallenden Kapitalkosten (K) ergeben sich aus den gesamten Investitionskosten I (ggf. abzüglich der Förderung) und dem Annuitätsfaktor a (K = I*a), der sich aus Zinssatz i und Nutzungsdauer T mit folgender Formel errechnet:

$$a = \frac{i(1+i)^T}{(1+i)^T - 1}$$

Der Annuitätsfaktor beträgt für den angegebenen Zinssatz von 4,5 % und die Nutzungsdauer von 15 Jahren gerundet 0,093, entspricht 9,3%.

Betriebskosten

Bei den betriebsgebundenen Kosten werden die jährlichen Kosten für Instandhaltung, Wartung und den Schornsteinfeger berücksichtigt. Die Aufwendungen werden über die gesamte Lebensdauer der Anlagen (15 Jahre) angesetzt. Dabei wird vereinfachend angenommen, dass die Kosten stabil bleiben. Die Betriebskosten für Kessel und Brenner ergeben sich in Anlehnung an die VDI 2067-Richtlinie prozentual aus den Netto-Investitionskosten für den jeweiligen Wärmeerzeuger. Sie gehen in Summe in die Wirtschaftlichkeitsberechnung ein.

Für die Wartung eines Ölkessels werden in der VDI 2067 beispielsweise 1,5 % der Gesamtinvestition angesetzt, für die Wartung des Brenners 10 %. Geht man vereinfachend davon aus, dass Kessel und Brenner den gleichen Anteil an der Investitionssumme haben, ergibt sich ein prozentualer Anteil für die Wartung der gesamten Anlage von aufgerundet 6 %. In die Wirtschaftlichkeitsberechnung geht jeweils der gemittelte Wert ein. Da die Kosten für den Brenner in der Realität nur etwa ein Drittel der Gesamtinvestition betragen [BUDERUS, 2006], steht man mit dieser Annahme auf der sicheren Seite. Für die Wartung und Instandhaltung der erdverlegten Nahwärmeleitungen für Variante 5 werden zusätzlich 2 % der Investitionssumme [FNR, 2005d, S. 134] eingerechnet.

Kosten (in % d. Gesamt-Investition)	**Öl-NT-Kessel** **(anteilig 50% Kosten f. Kessel und 50% f. Brenner)**			**Gas-BW-Kessel** **(anteilig 50% Kosten f. Kessel und 50% f. Brenner)**			**Hackschnitzel- und Pellet-kessel** **(anteilig 50% Kosten f. Kessel und 50% f. Brenner)**			**Pflanzen-öl-BHKW**
	Kessel	Brenner	gemittelter Wert	Kessel	Bren-ner	gemittelter Wert	Kessel	Brenner	gemittelter Wert	
Wartung	1,5	10,0	6,0 (5,75)	1,0	10,0	5,5	2,5	10,0	6,0 (6,25)	2
Instandhaltung	2,0	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0 (1,75)	2,0	2,0	2,0	6
Schornstein-feger	1			1			1			1

Abb. 47: Betriebskosten für verschiedene Heizsysteme nach VDI 2067

Verbrauchsgebundene Kosten

Bei den verbrauchsgebundenen Kosten werden die jeweiligen Brennstoffpreise und bei Erdgas zusätzlich die Kosten für die Anschlussleistung inkl. Mehrwertsteuer einbezogen. Die Mehrwertsteuer beträgt bei den fossilen Brennstoffen jeweils 16 %. Für Biomasse (Hackschnitzel und Pflanzenöl) gilt der ermäßigte Mehrwertsteuersatz von 7%. Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass die Brennstoffkosten über die 15-jährige Laufzeit konstant bleiben. Bei der Kalkulation des Pflanzenöl-BHKWs wird Einspeisevergütung nach EEG berücksichtigt, die ab dem Jahr der Inbetriebnahme der Anlage für 20 Jahre konstant bleibt.

5.4.2 Überschlägige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der einzelnen Varianten

Variante 1: Öl-Niedertemperatur-Kessel

Die Berechnung der jährlichen Gesamtkosten (nach Annuitätsmethode laut VDI 2067) des Öl-Niedertemperatur-Kessels mit 30 kW Nennwärme-Leistung erfolgt für einen Gesamtnutzungsgrad von 85 %. Für die Deckung des angenommenen Wärmebedarfs von 153.000 kWh ist dafür ein Brennstoffeinsatz von 180.000 kWh erforderlich. Bei einem Heizwert von 10,0 kWh/l [IZE, 2005, S. 16] entspricht das 18.000 Liter Heizöl, die nach [HEIZOEL, 2006] für Allensbach und 20.000 l Abnahmemenge mit 50,61/100 Liter netto Tagespreis angegeben werden (siehe Anhang A9-2). Der Preis für die Systemeinheit (Kessel, Brenner, Regelungseinheit) ist eine unverbindliche Preisempfehlung der Firma Buderus [BUDERUS, 2006]. Er wird mit 5.500 Euro netto eingerechnet. Die Betriebskosten für Wartung und Instandhaltung sind wie in Kapitel 5.4.1 definiert der VDI 2067 [VDI2067, 2000] entnommen.

Die jährlichen Gesamtkosten eines Öl-Niedertemperatur-Kessel bei Neuinvestition im Jahr 2006 setzen sich nach der überschlägigen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Anhang 10 wie folgt zusammen:

Öl-Niedertemperatur-Kessel	
Kapitalgebundene Kosten (ohne bauliche Einrichtungen) in €	594,07€
Betriebsgebundene Kosten in €	574,20€
Verbrauchsgebundene Kosten in €	10.567,37 €
Jährliche Gesamtkosten in €	**11.735,63**
Wärmebereitstellungskosten (o. bauliche Invest.) in €/kWh	**0,08**

Variante 2: Gas-Brennwert-Kessel

Für den Gesamtnutzungsgrad des Gas-Brennwert-Kessels werden 90 % [CARMEN, 2006] angenommen. Zur Wärmebereitstellung von 153.000 kWh sind damit 170.000 kWh Brennstoff erforderlich. Die Energiekosten berechnen sich nach Angaben des örtlichen Gasversorgers Erdgas-Südwest GmbH (im Verbund der EnBW) [ERDGAS, 2006] im Sondertarif PG2 für Verbraucher ab einer Erdgasmenge von 25.600 kWh/Jahr mit 4,95 Cent netto pro kWh (Anhang A9-1). Der monatliche Grundpreis von 21,30 € netto (davon 18,50 € Grundpreis bis 26 kW plus 0,70 € je weitere kW) für die Anschlussleistung von 30 kW geht als Jahresbetrag von 255,60 € netto in die verbrauchsgebundenen Kosten ein (Anhang A9-1).

Zu den kapitalgebundenen Kosten für den Wärmeerzeuger, der nach Auskunft der Firma Buderus [BUDERUS, 2006] durchschnittlich mit ca. 5.000 € netto angegeben wird, kommen die Kosten für den Gasanschluss hinzu. Für einen Anschluss an die bestehende Gasleitung des örtlichen Gasversorgers Erdgas-Südwest GmbH im Gewerbegebiet Reihetal ergibt sich bei einer Anschlussleistung von 30 kW und einer angenommenen, maximalen Anschlusslänge von 25 m ab Grundstücksgrenze nach Anhang A8-1 die Gesamtsumme von 3.825 €, die sich wie folgt berechnet.

Baukostenzuschuss in €	300
Grundpauschale in €	1.150
Hausanschlusskasten in €	250
Anschluss ab Grundstücksgrenze bei befestigter Oberfläche (= 85€/m*25m)	2.125
Gesamtsumme Gasanschluss in €	**3.825**

In den Betriebskosten sind alle Kosten für Wartung und Instandhaltung des Brennwertkessels nach VDI 2067 enthalten. Die Kosten werden wie in Kapitel 5.4.1 definiert in die Wirtschaftlichkeitsberechnung übernommen. Die jährlichen Gesamtkosten eines Gas-Brennwert-Kessel liegen bei Neuinvestition im Jahr 2006 der Wirtschaftlichkeitsberechnung nach (Anhang A10) bei 11.881,25 €. Die Wärmebereitstellungskosten des Gas-Brennwertkessels betragen ohne Einrechnung der baulichen Investition 0,08 €/kWh.

Gas-Brennwert-Kessel

Kapitalgebundene Kosten (ohne bauliche Einrichtungen) in €	953,21
Betriebsgebundene Kosten in €	870,15
Verbrauchsgebundene Kosten in €	10.057,90
Jährliche Gesamtkosten in €	**11.881,25**
Wärmebereitstellungskosten (o. bauliche Invest.) in €/kWh	**0,08**

Variante 3: Pelletkessel

Für die Bereitstellung der 153.000 kWh Wärme aus Holzpellets (Heizwert 4,9 kWh/kg) sind bei einem Gesamtnutzungsgrad des Pelletkessels von 85 % [CARMEN, 2006] 180.000 kWh bzw. rund 37.000 kg Brennstoffeinsatz nötig. Der Preis für Holzpellets wird nach [IZE, 2005, S. 16] mit 0,17 €/kg angegeben.

Die Systemkosten für den Pelletkessel errechnen sich entsprechend der Nennwärmeleistung *(p)* nach den Listenpreisen für Zentralheizungskessel [FNR, 2005d, S. 132] gemäß der Funktion: $A = 5693\ p^{0,219}$ (siehe Anhang A8-2). Der errechnete Preis für 30 kW Nennwärmeleistung beträgt 11990,32 € inklusive Mehrwertsteuer. Von diesen Brutto-Investitionskosten abgezogen wird die Förderung von Biomassefeuerungen durch das Marktanreizprogramm. Ab einem Kesselwirkungsgrad von 88% macht die Förderung für eine Zentralheizungsanlage mit 30 kW Nennwärmeleistung 60 € pro kW aus, in Summe also 1.800 €.

Die Kosten für Wartung und Instandhaltung errechnen sich nach VDI 2067 und werden wie in 5.4.1 definiert mit 1% der Gesamtinvestitionssumme für die Schornsteinreinigung, 2 % für die Instandhaltung und 6 % für Wartung des Wärmeerzeugers veranschlagt.

Pelletkessel

Kapitalgebundene Kosten (ohne bauliche Einrichtungen) in €	948,86
Betriebsgebundene Kosten in €	1.079,13
Verbrauchsgebundene Kosten in €	6.682,04
Jährliche Gesamtkosten in €	**8.710,03**
Wärmebereitstellungskosten (o. bauliche Invest.) in €/kWh	**0,06**

Variante 4: Hackschnitzel-Kessel

Der Gesamtnutzungsgrad des Hackschnitzelkessels wird mit 80% angesetzt. Für die Deckung des Wärmebedarfs von 153.000 kWh sind dann 253 Schüttraummeter Wald-Hackschnitzel w = 30 mit einem Heizwert von 755 kWh/srm [IZE, 2005, S.28] nötig. Der Preis für Waldhackschnitzel wird nach [LWF, 2005] derzeit mit durchschnittlich 75 €/tatro angegeben (siehe dazu Anhang A9-3). Das entspricht 13,60 €/Schüttraummeter netto. Dieser Wert wird in die Wirtschaftlichkeitsberechnung übernommen.

Die Systemkosten für den Wärmeerzeuger ergeben sich entsprechend der Nennwärmeleistung *(p)* ebenfalls nach den Listenpreisen für Zentralheizungskessel [FNR, 2005d, S. 132] gemäß der Kostenfunktion: $A= 1853*p^{0,582}$ (siehe Anhang A9-3). Die Zuschüsse der Förderung nach Marktanreizprogramm und die Kosten für Wartung und Instandhaltung des Wärmeerzeugers sind identisch mit den Werten für die Pelletfeuerung. Sie werden daher übernommen. Die Wärmebereitstellungskosten des Hackschnitzelkessels (ohne bauliche Investition) betragen der überschlägigen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach 0,05 €/kWh.

Hackschnitzelkessel

Kapitalgebundene Kosten (ohne bauliche Einrichtungen) in €	1.587,43
Betriebsgebundene Kosten in €	1.696,35
Verbrauchsgebundene Kosten in €	3.696,04
Jährliche Gesamtkosten in €	**6.979,82**
Wärmebereitstellungskosten (o. bauliche Invest.) in €/kWh	**0,05**

Variante 5: Rapsöl-BHKW

Das Rapsöl-BHKW mit einer thermischen Leistung von 30 kW erfordert vergleichsweise viel Brennstoffeinsatz. Ca. 280.000 kWh oder 29.000 l Rapsöl werden bei einem Heizwert von 9,66 kWh/l zur Bereitstellung der projektierten Wärme von 153.000 kWh benötigt. Bei einem Brennstoffpreis von 74,53 €/100 l netto [OEL, 2006] überschreiten die errechneten Werte die Brennstoffkosten der anderen Varianten bei weitem.

Auch die Systemkosten, die sich abhängig von der elektrischen Leistung für ein Pflanzenöl-BHKW mit der Formel $A = 5261{,}5 * p^{-0{,}4001}$ [FNR, 2005d, S. 153] berechnen (siehe Anhang A8-4), liegen bei einer elektrischen Leistung des BHKW von 17,5 kW (Gesamtnutzungsgrad thermisch 55%, elektrisch 32%) mit 29.300 € brutto deutlich über den kapitalgebundenen Kosten der anderen Varianten. Die Wartungskosten sind in Anlehnung an VDI 2067 mit 9 % (1% Schornsteinfeger, 2% Wartung, 6% Instandsetzung) der Gesamtinvestition des BHKW-Moduls angesetzt.

Von den Brutto-Energiekosten kann jedoch die Vergütung für die Einspeisung des Stroms aus biomassebetriebener KWK (0,1916 €/kWh Strom) abgezogen werden. Bei einer Menge von ca. 89.000 kWh erzeugten Stroms macht das in der Summe ca. 17.000 € pro Jahr aus. Für die Wärmebereitstellung mit dem Rapsöl-BHKW errechnet sich danach ein Preis von 0,07 €/kWh Wärme.

Rapsöl-BHKW	
Kapitalgebundene Kosten (ohne bauliche Einrichtungen) in €	2.727,86
Betriebsgebundene Kosten in €	2.636,64
Verbrauchsgebundene Kosten in €	5.909,12
Jährliche Gesamtkosten in €	**11.273,62**
Wärmebereitstellungskosten (o. bauliche Invest.) in €/kWh	**0,07**

Variante 6: Nahwärme aus Hackschnitzel-Grundlast und Öl-Spitzenlast

Neben den genannten dezentralen Versorgungsmöglichkeiten bietet sich nach Kapitel 5.3.3 auch die zentrale Versorgung der 10 Betriebe über ein Nahwärmenetz mit Hackschnitzel-Grundlast und Öl-Spitzenlast an. Ausgangspunkt der Betrachtung ist der Wärmebedarf der Betriebe von durchschnittlich 153.000 kWh und insgesamt 1,53 Mio. kWh Wärme.

Nach Rücksprache mit Herrn Bunk von der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA) wird der Hackschnitzel-Grundlastkessel zur Deckung der Grundlast auf eine jährliche Vollbenutzungszeit (VBZ) von 4.000 Stunden und 270 kW Leistung ausgelegt. Er übernimmt 70% des Heizwärmebedarfs (= 1.071.000 kWh). Der Spitzenlastkessel wird für eine Vollbenutzungszeit von 1.800 Stunden und eine Spitzenleistung von 850 kW angesetzt und übernimmt 30 % des Heizwärmebedarfs q_H. (= 459.000 kWh).

Die Kosten für den Hackschnitzel-Grundlastkessel werden nach der Kostenfunktion $y = 1444{,}4x^{0{,}73}$ errechnet, die Kosten für den Öl-Spitzenlastkessel nach der Kostenfunktion: $981{,}82x^{06369}$, wobei x die Nennwärmeleistung des jeweiligen Wärmeerzeugers ist [WMBW, 2005a, S.36]. Auch die Investitionen für die Rauchgasreinigung, das Wärmenetz und die Hausanschlüsse sind über entsprechende Kostenfunktionen nach [WMBW, 2005a, S.36] und [Bunk, 2005, Folie 57] ermittelt, die in Anhang A8 einsehbar sind.

Zur Kalkulation der Brennstoffkosten des Grundlastkessels wird ein der höheren Abnahmemenge wegen vergünstigter Waldhackschnitzelpreis von 50 €/t atro (siehe dazu Anhang A9-3) angenommen. Das sind 9,10 €/srm netto bzw. 10,55 €/srm brutto. Die Kosten für das Heizöl des Spitzenlastkessels wird mit 50,022 €/100 l bei einer Abnahmemenge von mind. 50.000 l kalkuliert [HEIZOEL, 2006].

Nach Marktanreizprogramm werden automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW durch Darlehen der KfW und Teilschulderlass gefördert. Die Fördersumme (Teilschuldenerlass) für die Hackschnitzelheizung (270 kW) beläuft sich mit 60 kW pro kW auf 16.200 €. Die Förderung für das Nahwärmenetz beträgt zusätzlich 50 €/Meter Rohrleitung. Durchschnittlich werden 50 m Rohrleitung pro Hausanschluss (10 Gewerbebetriebe), insgesamt also 500 m Rohrleitung angenommen. Der Förderbetrag für das Nahwärmenetz beläuft sich damit auf 25.000 €. Der Gesamt-Förderbetrag von 41.200 € wird in der Wirtschaftlichkeitsberechnung von der Brutto-Investitionssumme abgezogen. Für die Bereitstellung der Wärme ergibt sich damit ein Betrag von 0,06 € pro kWh.

Nahwärme aus Hackschnitzel-Grundlast und Öl-Spitzenlast

Kapitalgebundene Kosten (ohne bauliche Einrichtungen) in €	24.253,97
Betriebsgebundene Kosten in €	27.150,90
Verbrauchsgebundene Kosten in €	47.567,38
Jährliche Gesamtkosten in €	**98.972,24**
Wärmebereitstellungskosten (o. bauliche Invest.) in €/kWh	**0,06**

5.4.3 Fazit

Wie der Vergleich der in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung errechneten Wärmebereitstellungskosten zeigt, sind alle untersuchten regenerativen Alternativen im Vergleich zu modernen Öl-Niedertemperatur- und Gas-Brennwertkesseln konkurrenzfähig. Trotz hoher Investitions- und Brennstoffkosten kann auch das Pflanzenöl-BHKW dank der Vergütung des eingespeisten Stroms mit der Wärmeversorgung durch Öl- und Gaskessel konkurrieren. Allerdings wird an dieser Stelle ausdrücklich betont, dass die Investitionskosten für die baulichen Einrichtungen wegen des Zeitaufwands für eine detaillierte Recherche im Rahmen dieser Arbeit in der Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht berücksichtigt werden konnten.

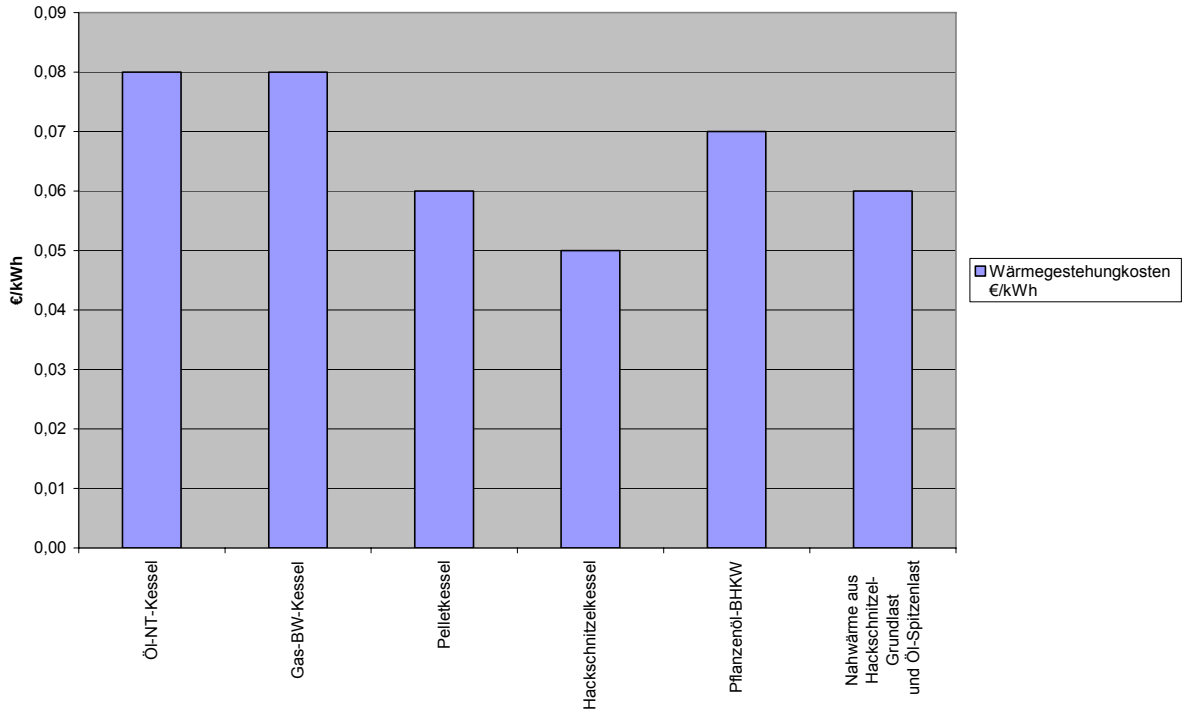


Abb. 48: Wärmebereitstellungskosten der einzelnen Wärmeerzeuger in €/kWh

Bei Berücksichtigung der baulichen Investitionen ist zu erwarten, dass sich die Wärmebereitstellungskosten für die Wärme aus Hackschnitzelfeuerungen verteuern werden, da zusätzlich zum Heizraum ein Silo zur Lagerung der Hackschnitzel vorzusehen ist. Für die Versorgung über das Nahwärmenetz mit Hackschnitzel-Grundlast und Öl-Spitzenlast ist nach der Kostenfunktion $y = 2703x^{0,5705}$ [WMBW, 2005a, S.36] mit rund 65.000 € für ein separates Heizhaus inklusive Schnitzelsilo, Kamin und Planung zu rechnen (Anhang A8-10). Die Wärmebereitstellungskosten der Nahwärme sind unter Berücksichtigung der Investitionskosten für bauliche Anlagen dann mit 0,07 €/kWh aber immer noch günstiger als die dezentraler neuer Öl- oder Gasheizungen (0,08 €), bei denen die vorhandenen baulichen Strukturen weitergenutzt werden können.

Hinzu kommt bei der Wärmeversorgung durch Nahwärme der Komfort für den Wärmeverbraucher, gegen den Wärmepreis von in diesem Fall 0,07 €/kWh die benötigte Wärmemenge zu erhalten, sich aber nicht mehr selbst um das Heizsystem kümmern zu müssen. Diese Funktion übernimmt z.B. ein Contractor oder ein Beauftragten der Gemeinde Allensbach, der für den einwandfreien Betrieb der Anlage verantwortlich ist.

Für Pelletfeuerungen oder Pflanzenöl-BHKWs können i.d.R. die baulichen Einrichtungen zu ersetzender Öl-Feuerungen (Heizraum und Tank) nach Reinigung weiterverwendet werden. Eine große Neuinvestition in bauliche Einrichtungen ist in diesen Fällen nicht zu erwarten.

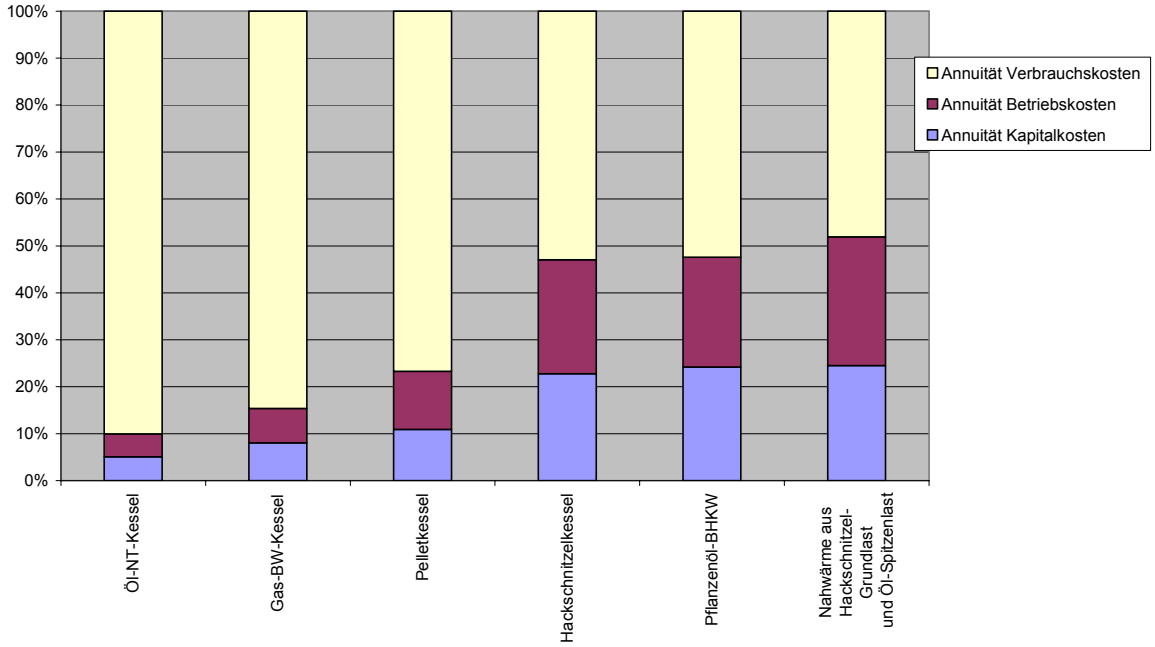


Abb. 49: Prozentualer Anteil der Kapital-, Betriebs- und Verbrauchskosten der einzelnen Wärmeerzeuger an den jährlichen Gesamtkosten

Wegen der stets steigenden Brennstoffpreise für Öl und Gas, die an den jährlichen Gesamtkosten der betrachteten fossilen Systeme bis zu 90% Anteil haben, wird sich trotz höherer Investitionskosten der Einsatz der regenerativen Techniken zur Wärmebereitstellung immer mehr auszahlen. Für den Einsatz in den Gewerbebetrieben Allensbachs eignen sich den errechneten Wärmebereitstellungskosten nach vor allem mit Hackschnitzeln befeuerte Systeme, die dezentral oder im Nahwärmeverbund betrieben werden können, zumal davon auszugehen ist, dass die Hackschnitzelpreise nicht bedeutend steigen und die Investitionskosten für die Wärmeerzeuger weiter sinken werden.

6 Szenarien zur Reduzierung des Primärenergieverbrauchs

Nach der Aufnahme und Darstellung des Ist-Zustandes und der Fokussierung auf die Unternehmen im Gewerbegebiet wird nachfolgend der Blick auf mögliche Handlungsalternativen und daraus entstehende Primärenergie- bzw. CO_2- Einsparpotentiale gerichtet.

Aufgrund der im Umfang dieser Arbeit nicht zu ermittelnden Daten (Anschlussleistung, Jahresdauerlinie, etc.), erlauben die durchgeführten Berechnungen lediglich eine überschlägige Vorhersage der weiteren Entwicklung. Die hier nachfolgend vorgestellten Szenarien zeigen im Wesentlichen, welche Maßnahmen zu welchem Ergebnis führen können und dienen in erster Linie dazu, sich ein Bild von der Wirksamkeit der Maßnahmen zu verschaffen und Denkanstösse für ein weiteres Vorgehen zu geben.

Eine detaillierte Datenerhebung im jeweiligen Betrieb mit anschließender Berechnung und Simulation ist zur Konkretisierung unumgänglich und stellt den nächsten logischen Schritt dar.

Alle nachfolgend beschriebenen Szenarien beziehen sich auf die untersuchten Betriebe im Gewerbegebiet. Für weitere (zukünftige) Planungen, sollte darüber nachgedacht werden, die bisher nicht berücksichtigten Betriebe des Gewerbegebietes in die Planungen mit einzubeziehen und somit eine Betrachtung des gesamten Gewerbegebietes Reihetal zu ermöglichen.

Szenario 1: Photovoltaik-Installation

Von den untersuchten Betrieben im Gewerbegebiet haben bereits zwei der acht Betriebe PV-Module auf dem Dach installiert. Die restlichen sechs Betriebe haben dazu prinzipiell die Möglichkeit und verfügen auch über entsprechende Flächen, welche dazu geeignet wären.

Ausgehend von einer angenommenen durchschnittlichen freien Fläche bei allen sechs Betrieben von 100m² (größere Flächen wären bei einigen Betrieben durchaus vorhanden), ergäbe sich eine Gesamtnutzfläche von 600m². Ausgehend von einem durchschnittlichen Ertrag von 95 kWh pro m² und Jahr ergäbe sich somit ein möglicher Jahresertrag von 57.000 kWh. Dies entspricht 3,5% des Jahresstromverbrauchs der acht Unternehmen.

Um von 1 kWh Strom als Endenergie zur dafür notwendigen Primärenergie zu kommen, beträgt der Umrechnungsfaktor 3. Für 1 kWh Strom ist der Einsatz von 3 kWh Primärenergie erforderlich. Die Einsparung an Primärenergie beträt durch die PV-Installationen 3,5% und somit 171.000 kWh.

Für 1 kW_p benötigt man eine Fläche von 8-10m². Bei einer Fläche von 600m² entspricht dies konservativ gerechnet einer Leistung von ca. 60 kW_p. Ausgehend von den durchschnittlichen Investitionskosten bei größeren PV-Anlagen von 6.000 EUR pro kW_p ergibt sich in etwa ein Investitionsbedarf von 360.000 EUR. Etwaige Zuschüsse bzw. Förderungen aus öffentlicher Hand sind hierbei nicht berücksichtigt.

Um eine hundertprozentige Abdeckung des jährlichen Stromverbrauchs mit Photovoltaik zu erreichen, wäre eine Fläche von ca. 17.100 m² (entspricht einer quadratischen Fläche von 130m) nötig. Die Investitionskosten würden sich auf ca. 10 Mio. EUR belaufen (Zahlengrundlagen PV: [SOLARSERVER, 2006]).

Nahwärmenetz

Aufgrund der hohen Besiedlungs- und Energieverbrauchsdichte sind im Gewerbegebiet Reihetal grundsätzlich die Voraussetzungen gegeben, die Verbraucher (Betriebe) durch ein Nahwärmenetz zentral zu versorgen. Die Auslegung wurde auch hier auf den Energieverbrauch der acht Betriebe überschlägig berechnet. Zur exakten Berechnung und Simulation müssen wie in der Einleitung bereits beschrieben weitere Daten erhoben werden, um eine präzise Prognose geben zu können.

Szenario 2: Nahwärmenetz mit Pflanzenöl-BHKW

Da im Hinblick auf die Energieversorgung regenerative Energiequellen stets Vorrang haben sollten, kommt als Blockheizkraftwerk (BHKW) nur ein Pflanzenöl-BHKW in Betracht. Der große Vorteil des BHKW liegt in der Kraft-Wärmekopplung. Das bedeutet, dass sowohl die Arbeit (Strom), wie auch die Wärme genutzt werden. Hierdurch erreichen die BHKW's kombinierte Wirkungsgrade von teilweise über 90% (thermisch u. elektrisch). In der Regel werden die meisten BHKW's wärmegeführt gesteuert, so dass das BHKW bei geringem Wärmebedarf gedrosselt oder ganz abgestellt wird.

Die Auslegung eines BHKW's ist nicht ganz trivial und beinhaltet jede Menge Parameter, die angepasst werden können. Da BHKW's auf eine hohe Anzahl an Vollbenutzungsstunden (>4.000h) angewiesen sind um wirtschaftlich zu arbeiten ist die Kombination mit einem Spitzenkessel unumgänglich. Diesen Betrieb nennt man bivalent. Das BHKW wird für die Grundlast ausgelegt und der Spitzenkessel übernimmt die Spitzenlasten. Denkbar wäre auch eine Redundanz, welche durch die Dimensionierung des Spitzenkessels auf die Spitzenleistung erreicht werden kann. In diesem Fall, könnte der Spitzenkessel den gesamten Wärmebedarf decken und ein Ausfall des BHKW's hätte keine Beeinträchtigung der Wärmeversorgung zur Folge.

Bei der überschlägigen Berechnung des BHKW's stand uns Hr. Steinborn, der unsere Vorlesung über BHKW's an der FH Rottenburg hielt und Inhaber der Firma Steinborn Innovative Gebäude-Energieversorgung (www.bhkw-info.de) ist, mit Informationen zur Seite.

Ausgehend vom jährlichen Gesamtwärmebedarf der acht Unternehmen, der 1,77 Mio. kWh beträgt und einer Vollbenutzungsstundenanzahl (VBZ) von 4.000 ergibt sich ein Leistungsbedarf von 441 kW. BHKW's werden in der Regel auf 20-30% der thermischen Spitzenleistung ausgelegt. Bei 25% macht dies eine thermische Leistung des BHKW von 110 kW. Da die Leistungsangaben der BHKW überwiegend in elektrischer Leistung angegeben werden, entspricht dies bei einem durchschnittlichen Wirkungsgrad der Pflanzenöl-BHKW's von 46% thermisch und 38 % elektrisch [ENERGIEREF, 2006], einer elektrischen Leistung von 91 kW.

Ein BHKW dieser Leistungsklasse stellt bei ca. 4.000 Vollbenutzungsstunden ca. 440.000 kWh Wärme und ca. 365.000 kWh Strom zur Verfügung. Dies entspricht einem Anteil von 25% des Wärmebedarfs (analog zur Auslegung des BHKW's auf 25%, wie es im Absatz zuvor beschrieben wurde). Der Strombedarf der acht untersuchten Gewerbetreibenden könnte durch das BHKW zu 22% gedeckt werden.

Nach DIN V 4701-10 beträgt der Primärenergiefaktor für Nahwärme die mit Kraft- / Wärmekopplung unter Verwendung von erneuerbaren Energien erzeugt wurde 0,0. Unter diese Regelung fällt auch das Pflanzenöl-BHKW, da das Pflanzenöl aus erneuerbaren Energien stammt. Dies bedeutet, dass sämtliche vom Pflanzenöl-BHKW erzeugte Energie, den Primärenergieeinsatz nicht erhöht und um die vom BHKW bereitgestellte (substituierte) Energie reduziert wird.

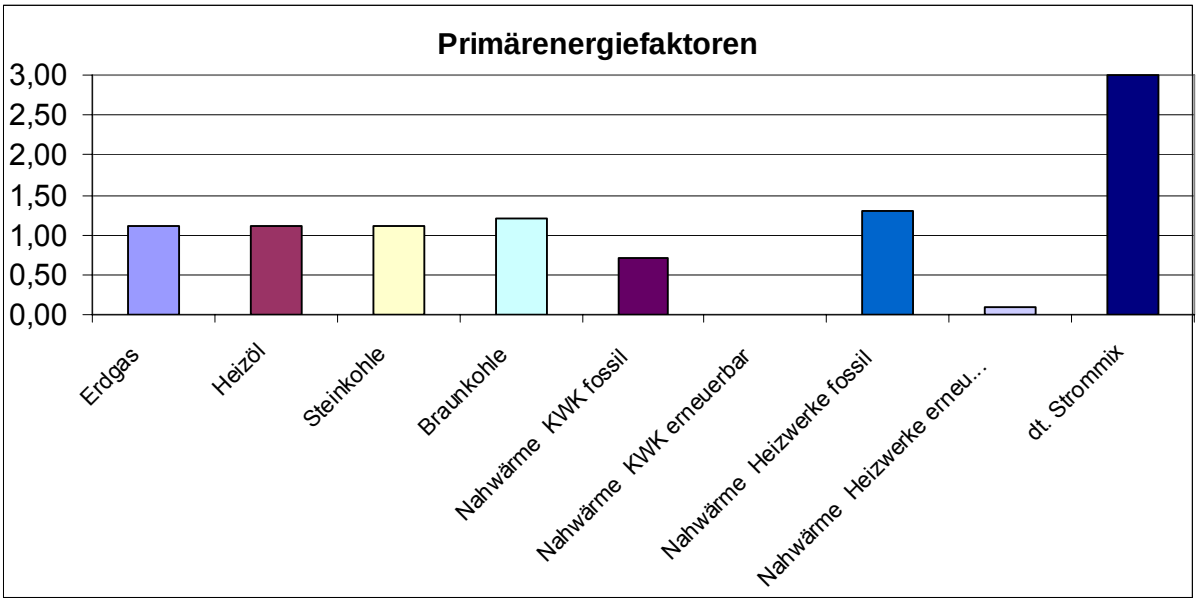


Abb. 50: Primärenergiefaktoren nach DIN V 4701-10

Beispiel: Das BHKW produziert 100 kWh Strom und 120 kWh Wärme. Konventionell erzeugter Strom hat einen Primärenergiefaktor von 3,0 und Wärme welche durch Heizöl, Erdgas oder Steinkohle erzeugt wurde einen Faktor von 1,1. Bisher betrug der Gesamtprimärenergieverbrauch 100 kWh x 3,0 + 120 kWh x 1,1 = 432 kWh. Der Gesamtprimärenergieverbrauch des Pflanzenöl-BHKW's beträgt hingegen nur 100 kWh x 0,0 + 120 kWh x 0,0 = 0 kWh. Das BHKW ermöglicht also eine Reduktion des Gesamtprimärenergieverbrauchs um 432 kWh. Da in der Praxis, das BHKW niemals 100% der benötigten Energie zur Verfügung stellt, erfolgt die Bereitstellung der restlichen Energie durch einen Öl-Spitzenkessel, dessen Primärenergieverbrauch mit bereitgestellter Wärmeenergie x Faktor 1,1 in die Bewertung mit eingeht.

Der Einsatz eines Pflanzenöl-BHKW's in der vorgeschlagenen Größenordnung ($P_{elekr.}$ = 91 kW; P_{therm} = 110 kW) reduziert den Gesamtprimärenergieverbrauch um ca. 23%.

Szenario 3: Nahwärmenetz mit Holzhackschnitzelheizwerk

Als weitere Alternative zum BHKW ist eine Hackschnitzelfeuerung zu sehen. Zur Auslegung des Heizwerkes gelten die gleichen Punkte wie beim BHKW oben schon beschrieben.

Überschlägig sieht die Berechnung folgendermaßen aus.

Vom jährlichen Gesamtwärmeverbrauch (Q_1 = 1,77 Mio. kWh) wird 10% abgezogen. Dies ergibt das Dreieck unter der Jahresdauerlinie (Q_2 = 1,59 Mio. kWh) [BUNK, 2005, Folie 34] Bei einer Auslegung auf die Vollbenutzungsstundenanzahl von 4.000h lässt sich mit der Formel $P_2 = Q_2/5000$ die Leistung des Holzkessels ermitteln. Die Leistung des Spitzenkessels wird nach der Formel $P_2 = Q_1$ / VBZ überschlägig ermittelt. In diesem Fall wird die Vollbenutzungsstundenanzahl mit 1.600h angenommen[BUNK, 2005, Folie 27] dies entspricht in etwa der Vollbenutzungsstundenanzahl der Heizung über den Winter.

Die Rechnung bringt folgende Auslegung der Kessel: Der Holzkessel zur Grundlastabdeckung sollte eine Leistung von ca. 318 kW und der Öl-Spitzenkessel eine Leistung von ca. 1.100 kW haben. Als Spitzenkessel wird in der Regel ein Ölkessel genommen, da beim Gaskessel zusätzlich zum Gaspreis die Anschlussleistung eine wesentliche Rolle spielt. Wie der Name Spitzenkessel schon sagt, werden große Leistungsspitzen mit ihm ausgeglichen, so dass es einer hohen Gas-Anschlussleistung bedarf, die nur wenige Stunden im Jahr benötigt wird, aber hohe Anschlusskosten über das gesamte Jahr verursachen würde. Deshalb kommt ein Öl-Spitzenkessel günstiger.

Der Holzkessel würde jährlich eine Heizenergie von ca. 1,27 Mio. kWh bereitstellen und damit eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 65% bewirken. Der Gesamtprimär-

energieverbrauch würde durch ein Holzhackschnitzelheizwerk um 19% niedriger ausfallen, wie dies bisher der Fall ist.

Szenario 4: Nahwärmenetz mit Holzhackschnitzelheizwerk und PV-Installation

Denkbar wäre auch eine Kombination aus einem zentralen Heizwerk mit Holzhackschnitzeln befeuert und Photovoltaik-Installationen bei den Betrieben auf dem Dach, so dass die positiven Effekte beider Maßnahmen kombiniert werden könnten. Die Realisierung hängt wohl in erster Linie am zur Verfügung stehenden Budget und der Bereitschaft zur Beteiligung der Gewerbetreibenden ab.

Zusammenfassung und Grafische Darstellung

Um abschließend die einzelnen Szenarien bzw. Alternativen sinnvoll bewerten zu können, ist es notwendig, die Gesamtprimärreduktion zu betrachten. Das Diagramm zeigt den zu erwartenden Primärenergieverbrauch in Abhängigkeit des gewählten Szenarios.

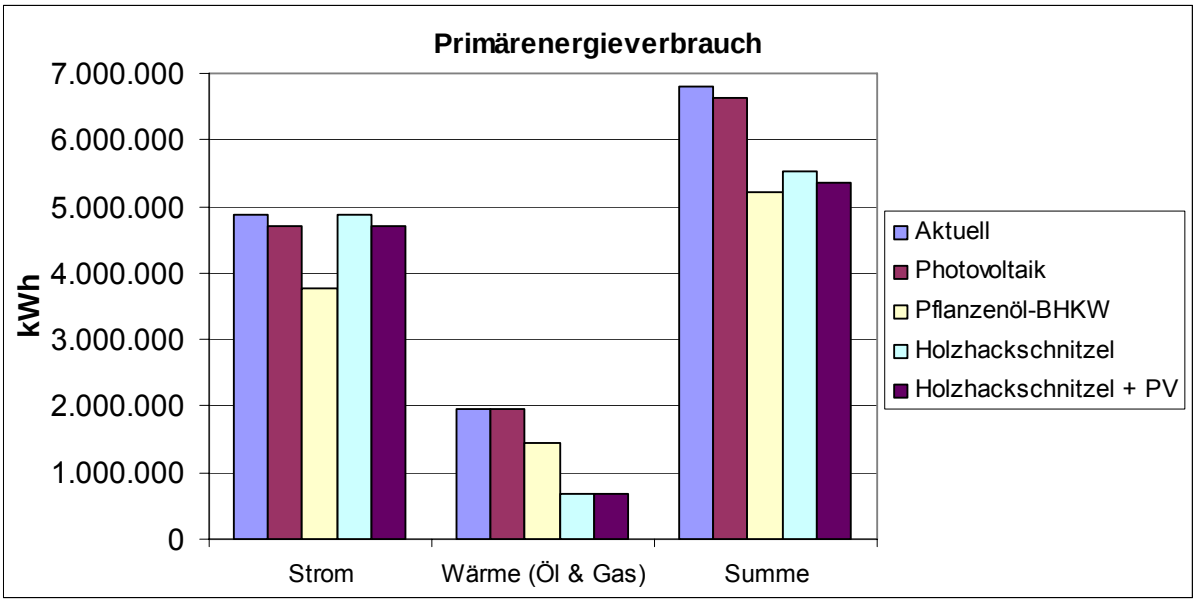


Abb. 51: Vergleich des Primärenergieverbrauchs der verschiedenen Varianten

Im Vergleich zur heutigen Situation sind die verschiedenen Handlungsalternativen und ihre Auswirkungen auf den Primärenergieverbrauch dargestellt. Die Kategorien Strom, Wärme (Heizöl & Erdgas), sowie der aufsummierte Gesamtprimärenergieverbrauch erlauben eine detaillierte Betrachtung und Bewertung der jeweiligen Szenarien.

Am Aussagekräftigsten ist die prozentuale Primärenergieeinsparung, die sich mit den errechneten Anlagenleistungen erreichen lässt.

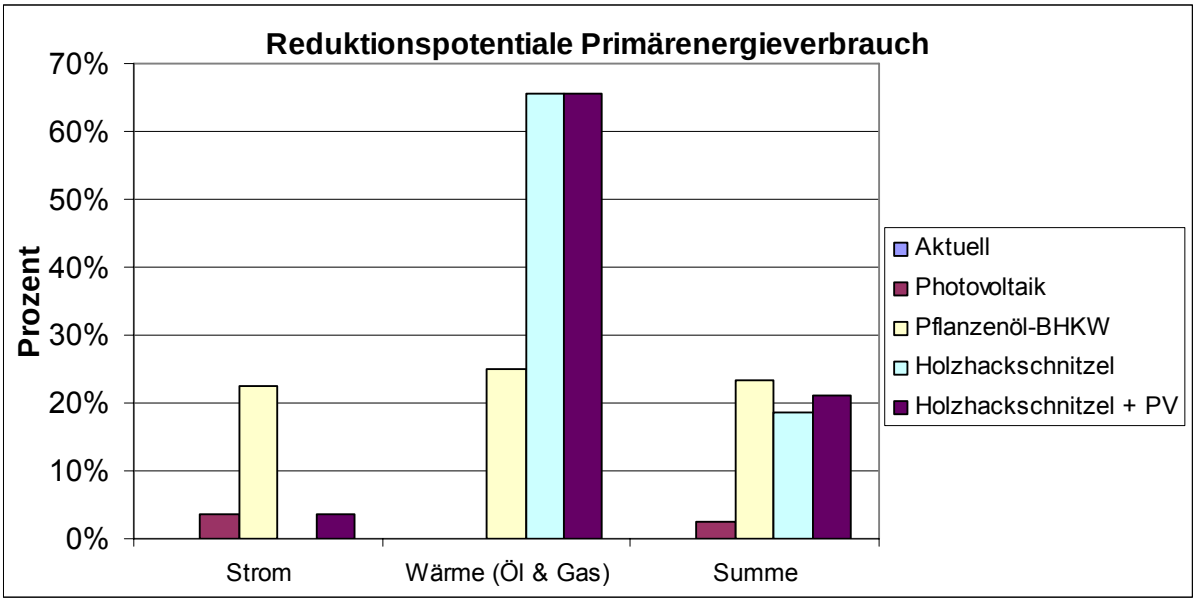


Abb. 52: Reduktionspotentiale des Primärenergieverbrauchs

Aus dem Diagramm geht deutlich hervor, dass ein Pflanzenöl-BHKW in der Summe die höchste Primärenergieeinsparung erreichen könnte. Dicht gefolgt von der Kombination aus einem Holzhackschnitzelheizwerk und der Installation von Photovoltaikmodulen. Das BHKW liegt an der Spitze, da es durch die Kraft- /Wärmekopplung sowohl bei der Strom- wie auch der Wärmeproduktion Reduktionspotentiale vorweisen kann.

Die vorliegenden Szenarien betrachten ausschließlich die Primärenergieeinsparung, das heißt den reduzierten Primärenergieeinsatz. Da ein reduzierter Primärenergiebedarf unmittelbar auch eine Reduktion des CO_2-Ausstoßes zur Folge hat, wurde auf eine Berechnung des CO_2–Vermeidungspotentials verzichtet.

Wesentliche Faktoren im Hinblick auf eine Realisierung der vorgestellten Szenarien sind die Investitions- und Betriebskosten. Auf eine Wirtschaftlichkeitsberechnung und die damit zusammenhängende Amortisationszeit wird in diesem Abschnitt verzichtet, da es hier nur um die Entwicklung von Primärenergie-Einsparszenarien geht und der finanzielle Aspekt leider nur viel zu ungenau dargestellt werden könnte und somit keine Aussagekraft besitzen würde. In diesem Zusammenhang wird auf das Kapitel 5.4 verwiesen, in dem ein detaillierter Vergleich mit anschließender Kostenbetrachtung erfolgt.

Abschließend lässt sich sagen, dass die Photovoltaik-Installation alleine, ein sehr geringes Reduktionspotential aufweist. Die beiden Szenarien Nahwärmenetz mit Holzhackschnitzelheizwerk oder Pflanzenöl-BHKW liegen recht nah beieinander.

Erst eine Erweiterung der Datengrundlage (insbesondere der benötigten Wärmeleistung und der Jahresdauerlinie), ermöglicht eine detaillierte Berechnung.

Stärken und Schwächen der einzelnen Alternativen können aufgezeigt werden und eine darauf basierende Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigt abschließend die Umsetzbarkeit des Vorhabens.

7 Zusammenfassung

Anschließend an die Master-Thesis Energie-Agenda Allensbach [Al-Saidi & Wolf, 2004], die sich dem Energieverbrauch privater Haushalte und öffentlicher Einrichtungen widmet, war es Ziel dieser Projektarbeit einen Überblick über den bisher nicht untersuchten Energieverbrauch gewerbetreibender Unternehmen in Allensbach zu geben.

Aufgrund des begrenzten Zeitumfangs dieser Arbeit und der über 400 existierenden Gewerbebetriebe in der Gemeinde wurde der Fokus auf 20 ausgewählte Unternehmen gerichtet, darunter die zehn größten Energieverbraucher und weitere zehn für die Gemeinde typischen Gewerbebetriebe. Mittels eines für diese Arbeit entwickelten Fragebogens erfolgte die Erfassung relevanter Energiekennzahlen durch persönliche Befragung der ausgewählten Unternehmen.

Die Datenauswertung ergab einen jährlichen Gesamtenergieverbrauch (Wärme und Strom) von 16.513.277 Mio. kWh, davon 11.740.544 kWh Wärme und 4.772.733 kWh Strom und einen gesamten CO_2-Ausstoß von 5.299 t/a. Jeweils für den CO_2-Ausstoß, den Wärme- und Stromverbrauch und den Gesamtenergieverbrauch wurde ein Ranking erstellt. Auf Basis des Gesamtenergieverbrauchsrankings wurde eine ABC-Analyse durchgeführt. Die Kategorisierung schafft folgende Verhältnisse:

	Anteil am Gesamtenergieverbrauch	Anzahl der Betriebe
Kategorie A	83%	3
Kategorie B	12%	5
Kategorie C	5%	12

Abb. 53: Kategorien ABC-Analyse

Es wurde deutlich, dass nur sehr wenige Betriebe einen großen Anteil am Energieverbrauch haben, wohingegen die Mehrzahl der Betriebe daran nur einen sehr kleinen Anteil haben. Aus diesem Grund wurde die Fokussierung auf die Kategorien A und B bzw. auf das Gewerbegebiet gerichtet.

An die Auswertung anschließend wurden Möglichkeiten der Energieeinsparung und zur Nutzung erneuerbarer Energieträger dargestellt. Hierzu wurde eine Checkliste Energiesparen in Gewerbebetrieben erarbeitet, welche sich zusammen mit einer Übersicht über Förderprogramme im Energiebereich für mittelständische Unternehmen im Anhang findet. Wichtiger Ansatz sowohl bei der Energieeinsparung als auch bei der Nutzung erneuerbarer Energieträger ist es, nicht jeden Betrieb für sich, sondern die untersuchten Betriebe, insbesondere

die im Gewerbegebiet Reihetal als Verbrauchs- bzw. Versorgungszentrum zu betrachten, da im Gesamten Synergien und Einsparpotentiale möglich wären, die im einzelnen Betrieb nicht umsetzbar wären.

Möglichkeiten zu einer nachhaltigen Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energieträger bieten sich für die Gewerbebetriebe v.a. in der Nutzung von Holzfeuerungen (Pellets, Hackschnitzel oder Stückholz), von mit Bioenergie betriebenen BHKWs und der oberflächennahen Geothermie. Selbstverständlich sollte die Energieversorgung auf die Erfordernisse des einzelnen Betriebs abgestimmt sein. Des Weiteren wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung in Anlehnung an die VDI 2067 von verschiedenen fossilen und erneuerbaren Systemen zur Wärmeversorgung durchgeführt. Hierbei zeigt sich, dass alle untersuchten regenerativen Systeme mit modernen Öl-Niedertemperatur und Gas-Brennwertkesseln konkurrenzfähig sind.

Um den Verbrauch an Primärenergie zu reduzieren, werden folgende Szenarien, bezogen auf die untersuchten Betriebe im Gewerbegebiet, dargestellt: PV-Installation, Nahwärmenetz mit Pflanzenöl-BHKW und Nahwärmenetz auf Basis eines Holzhackschnitzelheizwerks mit bzw. ohne PV.

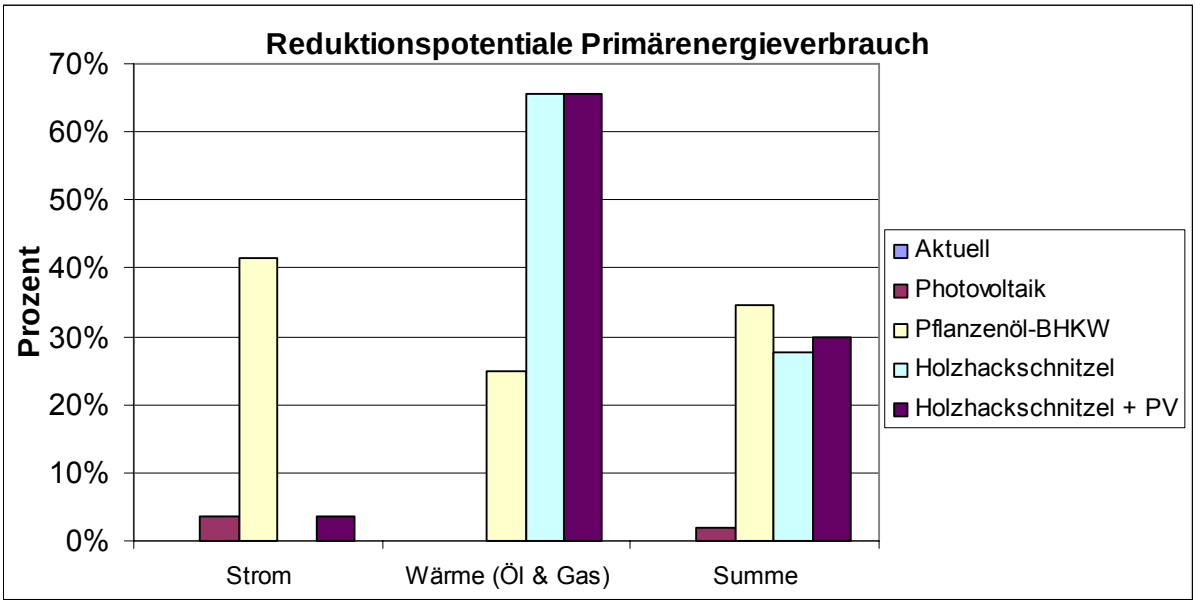


Abb. 54: Reduktionspotentiale Primärenergieverbrauch

Es zeigt sich, dass das Szenario Pflanzenöl-BHKW die höchste Primärenergieeinsparung erreicht.

Wir hoffen mit dieser Arbeit die Bemühungen der Gemeinde Allensbach um eine nachhaltige Energieversorgung vorangebracht zu haben.

8 Literaturverzeichnis

[AGEE, 2006] Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statisik (AGEE), Entwicklung der erneuerbaren Energien im Jahr 2005 in Deutschland, Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin, Februar 2006

[AL-SAIDI&WOLF, 2004] Al-Saidi, Maget; Wolf, Helmut, Energie-Agenda Allensbach – Masterthesis zum Studiengang SENCE – Sustainable Energy Competence, Allensbach, 2004

[BLFU, 2003] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke, in Zusammenarbeit mit C.A.R.M.E.N e.V, Technologie- und Förderzentrum Straubing, Augsburg, 2003

[BLFW, 2006] http:/www.bayern.de/LWF, Internetauftritt des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft, 14.08.2006

[BSTMUGV, 2005] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Oberflächennahe Geothermie, München, Juli 2005

[BSTMVW, 2002] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie, Erneuerbare Energien in Bayern, München, 2002

[BMU, 2004] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Mindestvergütungssätze nach dem neuen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 21. Juli 2004, Berlin, Juli 2004

[BMU, 2005] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bericht der Bundesrepublik Deutschland 2005 zur Er-

reichung des Richtziels für den Verbrauch von Strom aus Erneuerbaren Energiequellen im Jahr 2010, Berlin, Oktober 2005

[BMU, 2006a] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Erneuerbare Energien-Innovationen für die Zukunft, Berlin, April 2006

[BMU, 2006b] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Umweltpolitik-Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung, Berlin, Mai 2006

[BMU, 2006c] http://www.bmu.de, Internetauftritt des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 21.07.2006

[BUDERUS, 2006] BUDERUS, Katalog Heiztechnik 2006/1 – Teil 1: Unverbindliche Preisempfehlungen für Öl-Niedertemperatur- und Gasbrennwertkessel, 2006

[BUNK, 2005] Bunk, Helmut, Dipl.-Ing. (KEA): SENCE-Vorlesungsskript ‚Holzenergie und Gemeinde', Karlsruhe, 2005

[BE, 2006] www.energieverbraucher.de [01.08.06] Internetauftritt des Bundes der Energieverbraucher 2006.

[CARMEN, 2006] http://carmen-ev.de, Homepage des C.A.R.M.E.N e.V., Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungsnetzwerk, 14.08.2006

[DENA, 2006] http://www.thema-energie.de, Internetportal für Energiesparen und Erneuerbare Energien der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena), 21.07.06

[ENERGIEREF, 2006] www.energiereferat.stadt-frankfurt.de [01.09.06]. Internetauftritt des Energiereferats der Stadt Frankfurt, 2006.

[ERDGAS, 2006] http://www.erdgas-südwest.de, Internetauftritt der„Erdgas Südwest GmbH“ im Verbund der EnBW, 14.08.2006

[FNR,2005a] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen, Informationsbroschüre mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Gülzow, 2005

[FNR, 2005b] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Basisdaten Biogas Deutschland, Informationsbroschüre mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Gülzow, März 2005

[FNR, 2005c] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Bioenergie – Pflanzen, Rohstoffe, Produkte, Informationsbroschüre mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Gülzow, 2005

[FNR, 2005d] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Bioenergie – Kleinanlagen, Informationsbroschüre mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Gülzow, 2003

[HEIZOEL, 2006] http://www.heizoelboerse.de [14.08.2006]. Internetauftritt von Euraoil, Malsch, 2006.

[IBS, 2006] IBS Ingenieurbüro für Haustechnik Schreiner, http://www.energieberatung.ibs-hlk.de [01.08.2006]

[IGEWA, 2006] http://www.igewa.de, Internetauftritt des Ingenieurbüros für Geotechnik und Wasser, Waldkraiburg, 21.07.2006

[IPABW, 2004] Impuls-Programm Altbau Baden-Württemberg, Landesstelle für Bautechnik, Stuttgart, 2004.

[IWR, 2006] http://www.iwr.de/solar, Internetauftritt des Internationales Wirtschaftsforums Regenerative Energien (IWR), 21.07.06

[IZE, 2005] Informationszentrum Energie, Biogene Brennstoffe Nr.4 – Hackschnitzelfeuerungen mit einer Feuerungsleistung ab ca. 30 kW bis ca. 250 kW zur Wärmebereitstellung, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Informationsbroschüre, Stuttgart, 2005

[LWF, 2005] Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft, LWF aktuell Nr. 48, S.9 bis 10, Freising, 2005, veröffentlicht auf http://www.waldwissen.net, 14.08.2006

[OEL, 2006] http://www.oelbestellung.de [14.08.2006]. Internetauftritt von www.oelbestellung.de , Schönbeck 2006.

[REGUFR, 2006] http://www.regierung.unterfranken.bayern.de, Internetauftritt der Regierung von Unterfranken/Bayern, 21.07.06

[SCHAFF, 2005] Schaffrin, Christian, Prof. Dr.-Ing., SENCE –Vorlesungsskript WS 2005/2006, Konstanz, 2005

[SOLARCOMPLEX, 2002] Solarcomplex, Erneuerbare Energien in der Region Hegau/Bodensee – Übersicht der technisch verfügbaren Potentiale, Singen, 2002

[SOLARSERVER, 2006] www.solarserver.de [21.07.06]. Internetauftritt des Heindl Server GmbH, 2006, Tübingen.

[STALA, 2006] http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de, Internetauftritt des Statistischen Landesamts Baden-Württemberg, Flächenerhebung und Einwohnerzahlen 2004, Stuttgart, 2006

[STEINBORN, 2005] Friedhelm Steinborn, BHKWS– Vorlesungsskript im Masterstudiengang SENCE, WS 2005/2006, Stuttgart, 2005. www.bhkw-info.de

[THEILEN, 2005] Theilen, Volker, Wind Energy – Vorlesungsskript im Masterstudiengang SENCE, WS 2005/2006, Bremen, 2005

[THÖNISSEN, 2005] Thönissen, Prof. Dr., Wärmepumpe – Vorlesungsskript im Masterstudiengang SENCE, WS 2005/2006, Ulm, 2005

[PESCHGES, 2005] Peschges, Klaus-Jürgen, Wasserkraft-Vorlesungsskript im Masterstudiengang SENCE, WS 2005/2006, Mannheim, 2005

[WIND, 2006] http:// www.wind-energie.de, Internetauftritt des Bundesverbands WindEnergie e.V., 21.07.06

[WMBW, 2004] Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Thermische Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung, Informationsbroschüre, Stuttgart, November 2004

[WMBW, 2005a] Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Holzenergiefibel – Holzenergienutzung, Technik, Planung und Genehmigung, Informationsbroschüre, 3. Auflage, Stuttgart, September 2005

[WMBW, 2005b] Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Energie sparen durch Wärmepumpenanlagen, Informationsbroschüre, 6. aktualisierte Auflage, Stuttgart, März 2005

[VDI2067, 200] VDI Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung, VDI-Richtlinie 2067, Blatt1: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen – Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000

[VDI-NACHRICHTEN, 2006] VDI-Nachrichten Nr. 36/2006, Seite 16.

[ZAH, 2004] Zahoransky, Richard, A., Energietechnik – Systeme zur Energieumwandlung, Vieweg-Verlag, Wiesbaden, 2004.

9 Anhang

Inhalt:

A1: Gewerbetreibende Unternehmen in Allensbach

A2: Fragebogen zur Datenermittlung

A3: Ankündigung der Befragung im Gemeindeblatt

A4: Auswertung Energieverbrauch

A5: Checkliste: Energiesparen in Gewerbebetrieben

A6: Förderübersicht für mittelständische Unternehmen im Energiebereich

A7: Mindestvergütung für eingespeisten Strom aus Erneuerbaren Energien nach novelliertem EEG für 2006 in Betrieb genommene Anlagen

A8: Investitionskosten (Kapitalgebundene Kosten)

A9: Verbrauchsgebundene Kosten

A10: Überschlägige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verschiedener Wärmeerzeuger nach Annuitätsmethode

A11: Beispiel: Überschlägige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach Annuitätsmethode für eine projektierte Photovoltaikanlagen