

Universität Hohenheim
Institut für Marketing & Management
Fachgebiet Umweltmanagement



Heiztechniken im ökonomisch-ökologischen Vergleich

**Eine Analyse verschiedener Heizsysteme
am Beispiel des Objekts Sonnenwinkel in Ludwigsburg**

Masterarbeit
Eingereicht am Fachgebiet Umweltmanagement
Prof. Dr. Werner F. Schulz

von :
Stephanie Ellen Haußmann
Matrikelnr.: 507406
Bahnhofstr. 77
70736 Fellbach
Tel.: 0711-91279984
st.haussmann@gmx.de
4. Semester
Abgabetag: 30.07.2012

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Zuallererst möchte ich mich bei Prof. Dr. Werner F. Schulz für die Betreuung dieser Arbeit und viele hilfreiche Anmerkungen bedanken.

Mein Dank gilt auch der Firma Betz&Schlichenmaier BauPartner GmbH in Ludwigsburg, ohne deren Unterstützung und Datenerhebung – z.B. die exakte und regelmäßige Erfassung sämtlicher Zählerstände – diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Ich möchte mich bei Bezirksschornsteinfegermeister Hr. Wahl, Fr. Roth von den Stadtwerken Ludwigsburg sowie natürlich den jeweiligen Hausverwaltungen der untersuchten Objekte bedanken, dass sie mir wichtige Informationen wie Ergebnisse der Abgasmessungen, Kosten der Gasanschlüsse oder Wartungskosten zukommen lassen haben.

Ich möchte mich auch bei meinen Eltern für Ihre Unterstützung während der Erstellung dieser Arbeit und in meiner gesamten Studienzeit danken. Vor allem meinem Vater Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Haußmann möchte ich danken für seine Unterstützung in technischen Details sowie für viele hilfreiche Diskussionen.

Stephanie Ellen Haußmann

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Anhangverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1. Einleitung	1
2. Gesetzlicher Hintergrund	4
3. Das Projekt „Sonnenwinkel“	5
4. Wärmeerzeugung	7
4.1 Gasbrennwertgerät	8
4.2 Blockheizkraftwerk	9
4.3 Thermische Solaranlage	11
4.4 Wärmepumpe	12
4.5 Pelletheizung	14
5. Ökonomischer Vergleich	20
5.1 Entwicklung der Energiepreise	24
5.2 Kostenerfassung Kettenhäuser (Gastherme)	26
5.3 Kostenerfassung PickUp-Häuser (BHKW und Gastherme)	27
5.4 Kostenerfassung Incus und Lucidus (Solaranlage und Gastherme)	30
5.5 Kostenerfassung Bürogebäude (Erdwärmepumpe und Gastherme)	32
5.6 Kostenerfassung Cumulus (Pelletheizung und Gastherme)	35
5.7 Gegenüberstellung der Objekte	37
5.8 Auswirkungen der neuen Trinkwasserverordnung	41
5.9 Optimierungsmöglichkeiten	43
5.10 Szenarioanalyse	46
6. Ökologischer Vergleich	49
6.1 Berechnung für Kettenhäuser (Gastherme)	52
6.2 Berechnung für PickUp-Häuser (BHKW und Gastherme)	53
6.3 Berechnung für Incus und Lucidus (Solaranlage und Gastherme)	55
6.4 Berechnung für Bürogebäude (Erdwärmepumpe und Gastherme)	56
6.5 Berechnung für Cumulus (Pelletheizung und Gastherme)	56
6.6 Gegenüberstellung der Objekte	57
7. Fazit	59
Literaturverzeichnis	VIII
Eidesstattliche Erklärung	LII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Endenergieverbrauch in Europa.....	2
Abbildung 2: Endenergieverbrauch in Gebäuden.....	2
Abbildung 3: Wärmeanteil Erneuerbarer Energien in Mrd. kWh	2
Abbildung 4: Energieverbrauch in kWh/a pro m ² beheizte Wohnfläche	5
Abbildung 5: Lageplan des Areals „Sonnenwinkel“	6
Abbildung 6: Bild des Areals „Sonnenwinkel“	6
Abbildung 7: Viessmann Vitodens 200-W	8
Abbildung 8: Vorteil der gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme	9
Abbildung 9: EC-Power XRGI-15 GTO	10
Abbildung 10: Vakuumröhrenkollektor	11
Abbildung 11: Aufbau thermische Solaranlage	12
Abbildung 12: Funktionsweise Pelletkessel.....	15
Abbildung 13: Pelletlager mit Schrägboden	15
Abbildung 14: Pelletierungsanlage.....	17
Abbildung 15: Nutzungskonkurrenzen bei Biomasse	20
Abbildung 16: Investitionsrechenverfahren	21
Abbildung 17: Energiepreisentwicklung in Deutschland seit 2002.....	24
Abbildung 18: EEX-Grundlast Jahresfuture.....	25
Abbildung 19: Preisentwicklung von Pellets in €/t	25
Abbildung 20: Kostenvergleich.....	38
Abbildung 21: Gewinnvergleichsrechnung	38
Abbildung 22: Rentabilitätsvergleichsrechnung.....	39
Abbildung 23: Kapitalwertmethode	40
Abbildung 24: Annuitätenmethode	41
Abbildung 25: Kostenvergleich – Optimierung BHKW und Pelletheizung.....	46
Abbildung 26: Szenarioanalyse für Heizkosten 2016	48
Abbildung 27: Anteil verschiedener Gase am Treibhauseffekt	49
Abbildung 28: CO ₂ -Emissionen im Vergleich	58
Abbildung 29: CO ₂ -Emissionen im Vergleich bei Optimierung	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Untersuchte Objekte.....	3
Tabelle 2: Angebot Gastherme	26
Tabelle 3: Betriebskosten Gastherme	27
Tabelle 4: Gesamtkosten Gastherme.....	27
Tabelle 5: Betriebskosten BHKW und Gastherme.....	28
Tabelle 6: Ertrag durch Stromproduktion des BHKWs	29
Tabelle 7: Gesamtkosten BHKW und Gastherme	30
Tabelle 8: Betriebskosten thermische Solaranlage und Gastherme	31
Tabelle 9: Gesamtkosten thermische Solaranlage und Gastherme.....	32
Tabelle 10: Angebot Erdwärmepumpe und Gastherme	33
Tabelle 11: Betriebskosten Wärmepumpe und Gastherme	34
Tabelle 12: Gesamtkosten Wärmepumpe und Gastherme.....	34
Tabelle 13: Angebot Pelletkessel und Gastherme.....	35
Tabelle 14: Betriebskosten Pelletkessel und Gastherme	36
Tabelle 15: Gesamtkosten Pelletkessel und Gastherme	36
Tabelle 16: Energiebedarf Gesamtobjekt.....	44
Tabelle 17: Betriebskosten – Optimierung BHKW.....	44
Tabelle 18: Ertrag durch Stromproduktion des BHKWs - Optimierung	45
Tabelle 19: Szenarien Energiepreisentwicklung.....	47
Tabelle 20: Abgasmessung	51
Tabelle 21: Grenzwerte für Gasmotoren nach TA Luft	52
Tabelle 22: CO ₂ -Emissionsberechnung Gastherme	53
Tabelle 23: CO ₂ -Berechnung BHKW und Gastherme	54
Tabelle 24: CO ₂ -Berechnung Optimierung BHKW und Gastherme	55
Tabelle 25: CO ₂ -Berechnung thermische Solaranlage und Gastherme.....	55
Tabelle 26: CO ₂ -Berechnung Wärmepumpe und Gastherme.....	56
Tabelle 27: CO ₂ -Berechnung Pelletkessel und Gastherme	57

Anhangverzeichnis

Anhang 1: Angebot Kettenhäuser (Gastherme) von Emmrich.....	XVII
Anhang 2: Rechnung PickUps (BHKW+Gastherme) von Haussmann.....	XVIII
Anhang 3: Angebot Incus+Lucidus (th. Solar+Gastherme) von Emmrich.....	XIX
Anhang 4: Aufmaß Bürogebäude (Geothermie+Gastherme) von Siegle+Epple.....	XX
Anhang 5: Angebot Bürogebäude (Erdwärmesonden) von Dietrich.....	XXI
Anhang 6: Angebot Cumulus (Pellets+Gastherme) von Emmrich.....	XXII
Anhang 7: Zählerstände.....	XXIII
Anhang 8: Rechnung Gas der Stadtwerke Ludwigsburg.....	XXIV
Anhang 9: Schornsteinfegergebühren.....	XXVI
Anhang 10: Kosten Hausanschluss Gas.....	XXVII
Anhang 11: Nutzungsgradberechnung BHKW.....	XXVIII
Anhang 12: Antrag auf Steuerentlastung BHKW.....	XXIX
Anhang 13: Wartungsvertrag BHKW+Gastherme.....	XXXI
Anhang 14: Berechnung WW-Bedarf Incus+Lucidus.....	XXXII
Anhang 15: Berechnung Solarertrag.....	XXXIV
Anhang 16: Rechnungen Pellets.....	XXXVII
Anhang 17: Wartungsvertrag Pelletkessel+Gastherme.....	XXXIX
Anhang 18: Rechnung Störung Pelletkessel.....	XLI
Anhang 19: Kostenvergleichsrechnung.....	XLII
Anhang 20: Gewinnvergleichsrechnung.....	XLII
Anhang 21: Rentabilitätsvergleichsrechnung.....	XLII
Anhang 22: Amortisationsrechnung.....	XLIII
Anhang 23: Kapitalwertmethode.....	XLIII
Anhang 24: Annuitätenmethode.....	XLIII
Anhang 25: Jahresbetriebsstunden HKA – Optimierung BHKW.....	XLIV
Anhang 26: Nutzungsgradberechnung BHKW – Optimierung.....	XLV
Anhang 27: Gewinnvergleich – Optimierung BHKW.....	XLVI
Anhang 28: Gewinnvergleich – Optimierung Pelletheizung.....	XLVI
Anhang 29: Experteninterview zur Trinkwasserverordnung.....	XLVII
Anhang 30: Szenarioanalyse Variante 1.....	XLIX
Anhang 31: Szenarioanalyse Variante 2.....	L
Anhang 32: Szenarioanalyse Variante 3.....	LI

Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutz-Gesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutz-Verordnung
C	Kohlenstoff
CH ₄	Methan
cm	Zentimeter
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
Ct	Cent
EnergieStG	Energiesteuergesetz
EnEV	Energie-Einspar-Verordnung
EU	Europäische Union
EWärmeG	Erneuerbare-Wärme-Gesetz
€	Euro
FCKW	Fluorkohlenwasserstoff
Gt	Gigatonne
H _i	Brennwert (oberer Heizwert)
H _s	Heizwert (unterer Heizwert)
H ₂	Sauerstoff
H ₂ O	Wasser
HKA	Heizkraft-Anlage
i	Kalkulationszinssatz
JAZ	Jahresarbeitszahl
KBE	koloniebildende Einheit
kg	Kilogramm
KÜO	Kehr- und Überprüfungsordnung
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
ltr	Liter
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MJ	Megajoule

ml	Milliliter
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunden
MWSt	Mehrwertsteuer
mm	Millimeter
η	(Kessel-) Wirkungsgrad
η_a	Anlagenwirkungsgrad / Nutzungsgrad
η_F	Feuerungstechnischer Wirkungsgrad
N	Bedarfskennzahl
N_L	Leistungskennzahl Warmwasserbedarf
NMVOC	Flüchtige organische Verbindungen (non methane volatile organic compounds)
NO_x	Stickoxid
N_2	Stickstoff
N_2O	Dickstoffmonoxid
O_3	Ozon
PM	Feinstaub (particulate matter)
q_a	Abgasverlust
q_k	Wärmeverlust Kessel
q_{St}	Auskühlungsverlust
S	Schwefel
SchfHwG	Schornsteinfeger-Handwerksgesetz
SO_2	Schwefeldioxid
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
USt	Umsatzsteuer
WP	Wärmepumpe
WSVO	Wärmeschutzverordnung
WW	Warmwasser

1. Einleitung

Die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf die Umwelt bestehen aus verschiedensten Emissionen, die die Umwelt beeinflussen und unterschiedliche Rückwirkungen hervorrufen¹. So konnte seit Beginn der Industrialisierung eine globale Klimaänderung festgestellt werden, die sich unter anderem durch die Versauerung der Atmosphäre, dem sogenannten Ozonloch und der Klimaerwärmung äußert². Der CO₂-Gehalt der Atmosphäre ist in diesem Zeitraum um ca. 30% gestiegen. Weitere erwartete Folgen der Klimaänderung sind Verschiebungen der Klimazonen, häufigere und stärkere Unwetter, der Anstieg des Meeresspiegels und die Änderung von Meeresströmungen³. Als Ursache des Klimawandels wird vor allem die Nutzung fossiler Energieträger wie Kohle, Erdgas und Erdöl angesehen, bei deren Verbrennung CO₂ entsteht, das zur Erwärmung der Atmosphäre beiträgt⁴.

Der Klimawandel ist eine Tatsache, auf die auch der Gesetzgeber reagiert. Schon Ende der 1980er-Jahre wurde Klimaschutz von der damaligen deutschen Bundesregierung unter Helmut Kohl zum Regierungsziel erklärt⁵. 1992 verpflichtete sich Deutschland in Rio de Janeiro dem Leitbild der „Nachhaltigen Entwicklung“, die auch den Klimaschutz als wichtiges Ziel beinhaltet⁶. Um die Vereinbarungen zum Klimaschutz einzuhalten und die Treibhausgasemissionen zu senken, wird auf den Ausbau der „Erneuerbaren Energien“ gesetzt⁷. Erneuerbare Energien zeichnen sich dadurch aus, dass sie unbegrenzt vorhanden sind und sich ständig neu bilden. Sie beinhalten Wasserkraft, Solare Strahlungsenergie, Windenergie, Geothermie sowie Energie aus Biomasse⁸. Angestrebt wird eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien auf 18% am gesamten Energieverbrauch bis 2020 in Deutschland und Europa⁹. Die Energie wird in folgenden Bereichen genutzt:

¹ Vgl. Unger, Hurtado (2011), S. 121.

² Vgl. Smidt (2008), S. 1.

³ Vgl. Knissel et al. (1997), S. 1.

⁴ Vgl. Fabeck (2007), S. 9.

⁵ Vgl. Quaschnig (2009), S. 5.

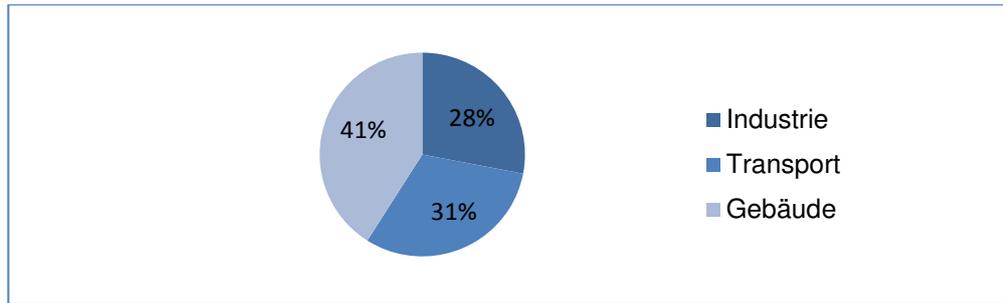
⁶ Vgl. Klaus et al (2009), S. 3.

⁷ Vgl. Frondel et al. (2010), S. 3, EC Directive 2009/28/EC (2009), S. 16.

⁸ Vgl. EEG § 3, Abs. 3, Memmler et al. (2009), S. 5.

⁹ Vgl. Frondel et al (2010), S. 9.

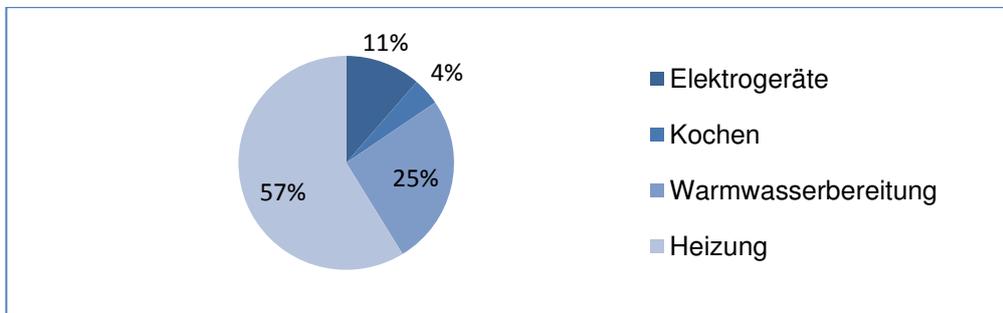
Abbildung 1: Endenergieverbrauch in Europa



Quelle: in Anlehnung an Eicker (2012), S. 1.

Der Endenergieeinsatz in Wohngebäuden in der EU gestaltet sich folgendermaßen:

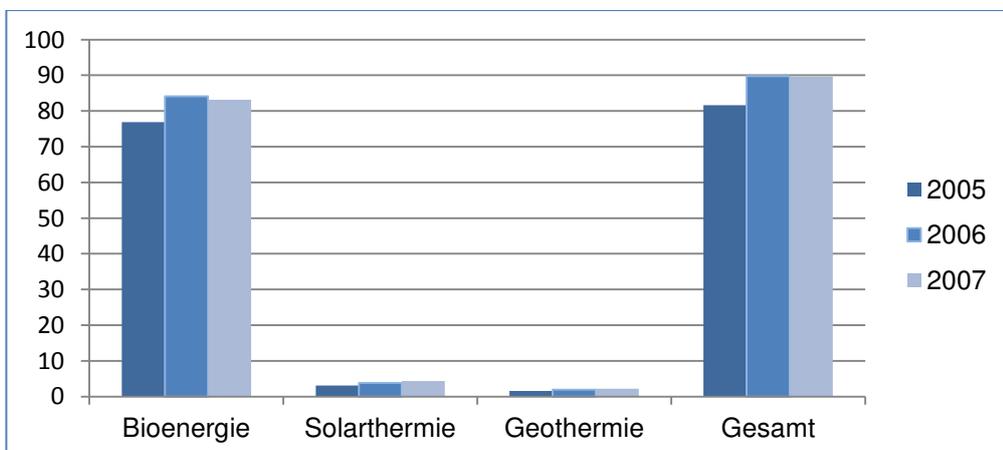
Abbildung 2: Endenergieverbrauch in Gebäuden



Quelle: in Anlehnung an Itard et al. (2008), S. 20.

Warmwasserbereitung und Heizung benötigen gemeinsam also 82% der in Gebäuden verbrauchten Energie. Der Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmeerzeugung betrug 2007 in Deutschland 6,5% und teilt sich in Bioenergie (Biomasse), Solarthermie und Geothermie auf.

Abbildung 3: Wärmeanteil Erneuerbarer Energien in Mrd. kWh



Quelle: in Anlehnung an Watter (2009), S. 2.

Auf Bundes- und Landesebene wurden Gesetze und Verordnungen erlassen, die im Interesse des Klima- und Umweltschutzes stehen. Beispielsweise dienen das Erneuerbare-Energien-Gesetz, die Energieeinsparverordnung oder das Erneuerbare-Wärme-Gesetz Baden Württemberg dazu, den Einsatz Erneuerbarer Energien zur Strom- und Wärmeerzeugung zu steigern.

Ziel des 2008 in Kraft getretenen EWärmeG ist es, „im Interesse des Klima- und Umweltschutzes den Einsatz von erneuerbaren Energien zu Zwecken der Wärmeversorgung in Baden-Württemberg zu steigern, die hierfür notwendigen Technologien weiter auszubauen und dadurch die Nachhaltigkeit der Energieversorgung zu verbessern.“¹⁰

Ziel dieser Arbeit ist es, die ökonomischen und ökologischen Aspekte der nach EWärmeG möglichen Heizungsarten zu vergleichen. Hierzu wird das Projekt „Sonnenwinkel“ in Ludwigsburg herangezogen. Das Projekt zeichnet sich dadurch aus, dass verschiedene Gebäude zum gleichen Zeitpunkt mit den gleichen Dämmstandards errichtet wurden und somit eine Vergleichbarkeit der eingesetzten Wärmeerzeuger ermöglicht. Die Inbetriebnahme aller Heizungen erfolgte 2010, die einzelnen untersuchten Gebäude sind:

Tabelle 1: Untersuchte Objekte

Objekt	Adresse	Heizung	Beheizte Fläche	Einheiten
Kettenhäuser	Hartwigstr. 6	Gastherme	770,14 m ²	5
PickUp-Häuser	Adolf-Schlitter-Str.	Blockheizkraftwerk und Gastherme	1.714,93 m ²	14
Incus-Lucidus	Hartwigstr. 8 / 10	Thermische Solaranlage und Gastherme	1.263,29 m ²	16
Bürogebäude	Aldinger Str. 11	Erdwärmepumpe und Gastherme	937,80 m ²	5
Cumulus	Hartwigstr. 2 / 3	Pelletheizung und Gastherme	2.277,46 m ²	22

Quelle: Eigene Darstellung.

Im Folgenden werden diese Objekte und die eingesetzten Heizungen vorgestellt. Daraufhin werden die jeweiligen ökonomischen Aspekte unter Berücksichtigung von Anfangsinvestition, Betriebs-, Wartungs- und Reparaturkosten sowie die ökonomischen Aspekte unter Berücksichtigung z.B. von CO₂-Emissionen betrachtet, um abschließend die eingesetzten Heizungen zu vergleichen.

¹⁰ EWärmeG, § 1.