

MACHBARKEITSSTUDIE

Einsatz erneuerbarer Energien beim Regionalbad Bingen / Ingelheim

Auftraggeber **SGD Süd Forschungsanstalt für Waldökologie und
Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Abt. D**
Hauptstraße 16
67705 Trippstadt

Auftragnehmer **Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH**
Transferstelle Bingen
Berlinstraße 109
55411 Bingen

Leiter	Prof. Dr. Ralf Simon
Bearbeiter	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz
	Telefon: 06721 / 409 229
Telefax	06721 / 409 129
Homepage	www.tsb-energie.de

Datum 13. Dezember 2005

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Jörg Wirtz', written over a horizontal line.

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Ralf Simon', written over a horizontal line.

Prof. Dr. Ralf Simon

Verantwortlich i. S. d. P. für den Inhalt sind die Autoren. Aus der Benutzung der Studie können gegenüber der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz keine Schadensersatzansprüche geltend gemacht werden. Die Forschungsanstalt ist bemüht, die Studien auf Wahrheit, Inhalte und Herkunft zu prüfen. Sie kann jedoch die Urdaten von Vor-Ort-Erhebungen, gegebenenfalls verwendete Algorithmen und Hintergrundinformationen ohne Quellenangaben nicht prüfen.

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Allgemeines	4
3	Wärmebedarf	4
4	Strombedarf	4
5	Energiebilanz	6
6	Emissionsbilanz	8
7	Wirtschaftlichkeit.....	9
8	Zusammenfassung	14
	Tabellenverzeichnis.....	15

1 Einleitung

Die Städte Bingen und Ingelheim planen auf der Gemarkung Gau-Algesheim die Errichtung eines Freizeitbades mit Sport-, Erlebnis- und Saunabereich.

In dieser Machbarkeitsstudie werden die Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien für das Regionalbad Bingen / Ingelheim untersucht. Die vom Zweckverband Regionalbad Bingen / Ingelheim in Auftrag gegebene Planung für den Neubau des Regionalbades werden vom Planungsbüro Dr. Krieger Architekten + Ingenieure GmbH & Co. KG aus Velbert erstellt. Die Ergebnisse dieser Machbarkeitsstudie sollen direkt in den weiteren Planungsphasen berücksichtigt werden können.

Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie soll geklärt werden, in wie fern beim Neubau des Regionalbades Bingen / Ingelheim erneuerbare Energien wie z.B. Holzenergie prinzipiell aus technischer Sichtweise zum Einsatz kommen können und in wie fern eine wirtschaftliche Realisierung machbar ist.

Im Rahmen der Vorplanungsstudien wurde die Verwendung von Holzhackschnitzeln (HHS) zur Wärmeversorgung bereits in Erwägung gezogen. Der HHS-Kessel würde dann zur Deckung der Grund- und Mittellast und ein Heizöl-Kessel für die Spitzenlastabdeckung eingesetzt.

Alternativ zu der oben genannten Variante wird der Einsatz eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) untersucht. Mit einer solchen BHKW-Anlage wird ein Teil des Wärme- und des Strombedarfs durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gedeckt. Hierdurch wird der eingesetzte Brennstoff rationeller, wie bei der getrennten Erzeugung von Strom und Wärme, genutzt.

Die Machbarkeitsstudie umfasst, aufbauend auf der Ermittlung der Datengrundlage, eine technische, wirtschaftliche und ökologische Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten der zu untersuchenden Varianten.

In einem Vergleich werden die Varianten „HHS-Kessel + Erdgas-Spitzenkessel“ und „BHKW + Erdgas-Spitzenkessel“ der Variante „Erdgas-Brennwertkessel“ gegenübergestellt. Dieser Variantenvergleich umfasst eine Energiebilanz mit Werten zu den umgesetzten Energie- sowie Brennstoffmengen.

Es schließt sich eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung an, bei der die Gesamtkosten und die Wärmepreise aufgrund der Investitions-, Betriebs- und Verbrauchskosten ermittelt werden.

Für alle Varianten wird entsprechend eine Emissionsbetrachtung vorgenommen, anhand der die ökologischen Vorteile des jeweiligen Systems erkennbar werden.

2 Allgemeines

Das umbaute Volumen des Regionalbades Bingen / Ingelheim beträgt insgesamt 34.255 m³. Die Gesamtfläche beträgt 5.906 m². Alle Beckenflächen in der Summe stellen eine Fläche von 950 m² dar.

Gesamtvolumen	34.255 m ³
Gesamtfläche	5.906 m ²
Beckenfläche	950 m ²

3 Wärmebedarf

Der Jahresheizwärmebedarf für das Regionalbad wird vom Planer mit 3.760 MWh_{th}/a angegeben. Dies entspricht bei einer Beckenfläche von ca. 950 m² einem spezifischen Jahresheizwärmebedarf von 3.493 kWh_{th}/(m²*a). In der Praxis sollte als Zielwert für ein energieeffizientes Bad ein spezifischer Wert von 2.400 kWh_{th}/(m²*a) angestrebt werden [1]. Der höhere Bedarf ist zum einen auf entsprechende Attraktionen im Wellness- und Spaßbereich des Freizeitbades sowie das Außenbecken und zum anderen auf die große Glasfront Richtung Süden zurückzuführen.

Die benötigte Heizleistung zur Deckung des Jahresheizwärmebedarfes wurde vom Planer mit 940 kW_{th} ermittelt. Hiermit ergeben sich Jahresvollbenutzungsstunden für die Wärmeerzeugung von 4.000 h/a. Dies stellt eine relativ hohe Auslastung für die Wärmeerzeugung dar.

Der Jahreswärmebedarf für die Erwärmung des Brauchwarmwassers wird mit 442 MWh_{th}/a veranschlagt.

Der Jahreswärmebedarf für den Betrieb der Saunen beträgt 250 MWh_{th}/a.

Somit ergibt sich ein jährlicher Gesamtwärmebedarf von 4.452 MWh_{th}/a.

4 Strombedarf

Der Jahresstrombedarf für das Regionalbad wird vom Planer mit 1.334 MWh_{el}/a angegeben. Dies entspricht einem auf die Beckenfläche bezogenen spezifischen Jahresstrombedarf von 1.404 kWh_{el}/(m²*a). Als Zielwert für ein energieeffizientes Bad sollte ein spezifischer Wert von 900 kWh_{el}/(m²*a) angestrebt werden [1].

Die elektrische Anschlussleistung (ohne Saunen) wird mit 480 kW_{el} angegeben. Die elektrische Jahreshöchstleistung wird vom Planer mit 197 kW_{el} vorhergesagt. Hiermit ergeben sich Jahresvollbenutzungsstunden für die Stromerzeugung von 6.800 h/a. Die Grundlast wird mit 85 kW_{el} vorhergesagt.

Werden die Saunen mit Strom beheizt, erhöht sich der Jahresstrombedarf auf 1.589 MWh_{el}/a und die elektrische Anschlussleistung auf 600 kW_{el}. Die elektrische Jahreshöchstleistung wird vom Planer dann mit 247 kW_{el} vorhergesagt. Hiermit ergeben sich Jahresvollbenutzungsstunden für die Stromerzeugung von 6.400 h/a. Die Grundlast bleibt mit 85 kW_{el} bestehen.

5 Energiebilanz

Für die Energieversorgung des Regionalbades Bingen / Ingelheim kommen neben den fossilen Energieträgern Erdgas und Heizöl u.a. auch der Einsatz von Holz in Form von Holzhackschnitzeln (HHS) als Brennstoff in Frage. Aufgrund des hohen Strom- und Wärmebedarfs ist auch der Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) denkbar. Hierbei wird durch den Einsatz von Blockheizkraftwerken (BHKW) gleichzeitig Strom und Wärme erzeugt.

Folgende Varianten der Energieversorgung werden nachfolgend untersucht:

- Basisvariante 2 Erdgasbrennwertkessel
- Variante 1 Erdgaskessel + HHS-Kessel
- Variante 2 2 Erdgaskessel + Erdgas-BHKW
- Variante 3 Erdgaskessel + HHS-Kessel + Erdgas-BHKW

Basisvariante

Bei der Basisvariante werden zwei Erdgasbrennwertkessel mit einer Heizleistung von je $510 \text{ kW}_{\text{th}}$ eingesetzt. Der Jahresnutzungsgrad wird mit 101 % zugrunde gelegt. Hieraus ergibt sich ein jährlicher Erdgasverbrauch von $4.576 \text{ MWh}_{\text{Ho}}$ bzw. 435.800 m^3 .

Variante 1

Durch den HHS-Kessel mit einer Heizleistung von $450 \text{ kW}_{\text{th}}$ werden 47,8 % des Wärmeleistungsbedarfs abgedeckt. Der für die Grund- und Mittellastabdeckung eingesetzte HHS-Kessel erzeugt $3.060 \text{ MWh}_{\text{th/a}}$. Hierdurch deckt er den Jahreswärmebedarf zu 72,8 %. Der Jahresbedarf an HHS beläuft sich auf $4.390 \text{ Sm}^3/\text{a}$. Die Spitzenlast wird durch einen Erdgaskessel mit einer Heizleistung von $510 \text{ kW}_{\text{th}}$ gedeckt. Hierfür werden $133.700 \text{ m}^3/\text{a}$ Erdgas benötigt.

Variante 2

Das Erdgas-BHKW mit einer elektrischen Leistung von $120 \text{ kW}_{\text{el}}$ und einer thermischen Heizleistung von $200 \text{ kW}_{\text{th}}$ deckt 35,7 % des Jahreswärmebedarfs. Hierbei werden $900 \text{ MWh}_{\text{el/a}}$ und $1.500 \text{ MWh}_{\text{th/a}}$ erzeugt. Die Spitzenlast wird durch zwei Erdgaskessel mit einer Heizleistung von $910 \text{ kW}_{\text{th}}$ gedeckt. Insgesamt werden $602.000 \text{ m}^3/\text{a}$ Erdgas benötigt.

Variante 3

Im Laufe dieser Untersuchungen hat sich gezeigt, dass aufgrund der Verbrauchsstruktur des Freizeitbades mit dem relativ hohen Wärmebedarf und gleichzeitigen Strombedarf auch eine Kombination aus Erdgas-BHKW (65 kW_{el} / 114 kW_{th}) für die absolute Grundlastabdeckung, ein HHS-Kessel (450 kW_{th}) für die Grund- und Mittellastabdeckung sowie ein Erdgaskessel (455 kW_{th}) zur Spitzenlastdeckung sinnvoll kombinieren lassen. Bei dieser Variante wird der Jahreswärmebedarf zu 21,7 % durch das Erdgas-BHKW, zu 51,4 % durch den HHS-Kessel und zu 26,9 % durch der Erdgaskessel gedeckt. Hierfür werden 302.800 m³/a Erdgas und 3.100 Sm³/a HHS benötigt.

		Basis Erdgas	Variante 1 Erdgas + HHS	Variante 2 Erdgas + BHKW	Variante 3 Erdgas + HHS + BHKW
Wärmeleistungsbedarf	kW _{th}	940	940	940	940
Jahresgesamt- wärmebedarf	MWh _{th} /a	4.202	4.202	4.202	4.202
Heizleistung Erdgas-Kessel	kW _{th}	1.020	510	910	455
Heizleistung HHS-Kessel	kW _{th}	0	450	0	450
Heizleistung Erdgas-BHKW	kW _{th}	0	0	200	114
Elektr. Leistung Erdgas-BHKW	kW _{el}	0	0	120	65
Wärmeerzeugung Erd- gaskessel	MWh _{th} /a	4.202 (100%)	1.142 (27,2%)	2.702 (64,3%)	1.130 (26,9%)
Wärmeerzeugung HHS- Kessel	MWh _{th} /a	0	3.060 (72,8%)	0	2.160 (51,4%)
Wärmeerzeugung Erd- gas-BHKW	MWh _{th} /a	0	0	1.500 (35,7%)	912 (21,7%)
Stromerzeugung Erdgas- BHKW	MWh _{el} /a	0	0	900	520
Brennstoffbedarf Erdgas	MWh _{Ho} /a m ³ /a	4.576 435.800	1.404 133.700	6.321 602.000	3.179 302.800
Brennstoffbedarf Holz- hackschnitzel	MWh _{Hu} /a Sm ³ /a	0	3.732 4.390	0	2.634 3.100

Tabelle 5-1 Energiebilanz

Das Brennstofflagervolumen für die Bevorratung der Holzhackschnitzel sollte nicht größer als für einen 5..8 tägigen Volllastbetrieb dimensioniert werden. Mit einem Füllfaktor von 75 % ergibt sich ein maximal benötigtes Lagervolumen von 100..160 m³.

6 Emissionsbilanz

Die Emissionsbilanz wird für die verschiedenen zum Einsatz kommenden Brennstoffe und für den Strom, der aus dem öffentlichen Netz bezogen wird, ermittelt. Hierzu werden folgende spezifischen Werte angesetzt:

- Erdgas 230 gCO₂/kWh_{Hu}
- HHS 33 gCO₂/kWh_{Hu}
- Strom 689 gCO₂/kWh_{el}

		Basis Erdgas	Variante 1 Erdgas + HHS	Variante 2 Erdgas + BHKW	Variante 3 Erdgas + HHS + BHKW
Brennstoffbedarf Erdgas	MWh _{Ho} /a m ³ /a	4.576 435.800	1.404 133.700	6.321 602.000	3.179 302.800
Brennstoffbedarf Holz- hackschnitzel	MWh _{Hu} /a Sm ³ /a	0	3.732 4.390	0	2.634 3.100
Strombezug	MWh _{el} /a	1.589	1.589	689	1.069
CO ₂ -Emissionen Brennstoff	tCO ₂ /a	957	417	1.322	752
CO ₂ -Emissionen Strombezug	tCO ₂ /a	1.095	1.095	475	736
gesamt CO₂- Emissionen	tCO₂/a	2.051	1.511	1.796	1.488
CO₂-Einsparungen	%	-	26,3	12,4	27,5

Tabelle 6-1 CO₂-Bilanz

Die Emissionsbilanz zeigt, dass bei den Varianten 1 und 3 aufgrund des Einsatzes von Holz als nahezu CO₂-neutralen Energieträger die niedrigsten CO₂-Emissionen zu erwarten sind. Gegenüber der Basisvariante können Einsparungen von 26,3 bzw. 27,5 % erzielt werden.

7 Wirtschaftlichkeit

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten der Varianten anhand von Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Der Wärmepreis ergibt sich als Quotient aus Jahresgesamtkosten und dem Jahreswärmebedarf.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	6,0 %
Abschreibungsdauer Technik	15 Jahre
Abschreibungsdauer bauliche Maßnahmen	50 Jahre
Förderung HHS-Kessel (Bund)	60 €/kW _{th}

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

spez. Erdgasarbeitspreis	2,38 Ct/kWh _{Ho}
spez. Erdgasarbeitspreis (Spitzenlast)	2,638 Ct/kWh _{Ho}
spez. Erdgasleistungspreis (Preisangebot inkl. MwSt. von Rhein Hessische 11.03.2004)	73,18 Ct/(kW _{Ho} *Monat)
spez. HHS-Preis (Waldrestholz)	15 €/Sm ³ (inkl. 7 % MwSt.)
spez. HHS-Preis (Industrierestholz)	9 €/Sm ³ (inkl. 7 % MwSt.)
Stromarbeitspreis	9,488 Ct/kWh _{el} (inkl. MwSt.)
Stromleistungspreis	46,80 €/(kW _{el} *a) (inkl. MwSt.)
Strommesspreis	1.200 €/a (inkl. MwSt.)

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung, Instandhaltung Heizkessel	2 % der Investition (Heizanlage)
Personalkosten	40.000 €/a
Steuern und Versicherungen	0,7 % der Investition
Verwaltung	2,5 % der Jahreskosten

Förderung

Das MWVLW verweist auf das Landesprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien in Frage. Die Zuwendung beträgt 75 € je kW_{th} höchstens jedoch 50.000 €. Das Programm steht allerdings nur noch für Pilotprojekte zur Verfügung. Als Pilotprojekt würde zum Beispiel der Einsatz eines Abgaswärmetauschers zur Rauchgaskondensation zählen, was sich bei einem Hallenbad aufgrund niedriger Rücklauftemperaturen anbieten würde.

Alternativ gibt es auch von der Bundesregierung das Marktanreizprogramm zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Hier bestünde die Möglichkeit ein zinsgünstiges Darlehen von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) mit einem Teilschuldenerlass in Höhe von 60 € je kW_{th} höchstens jedoch 275.000 € zu erhalten. Allerdings wird ein Emissionsgrenzwert bei Nennlast von 50 mg/m³ für Staub gefordert. Antragsberechtigt sind seit dem 01.01.2004 auch Kommunen und kommunale Betriebe.

Für ein Contracting können die Betreiber ebenfalls einen Zuschuss vom MWVLW für ein Pilotprojekt oder einen Teilschulderlass bei der KfW-Bank beantragen.

Investitionen

Die Investitionskosten für die Wärmeversorgung sind anhand von Kennwerten bzw. realisierten Projekten ermittelt. In den nachfolgenden Tabellen sind diese zzgl. MwSt. angegeben.

2 Erdgas-Brennwertkessel inkl. Zubehör und Montage	88.800 €
Erdgas- und Stromanschluss	18.800 €
Gesamtinvestition	107.600 €

Tabelle 7-1 Investitionskosten Basisvariante (Erdgas)

HHS-Kessel + Bunker inkl. Zubehör und Montage	186.300 €
Erdgaskessel inkl. Zubehör und Montage	33.900 €
Erdgas- und Stromanschluss	18.800 €
Gesamtinvestition	239.000 €

Tabelle 7-2 Investitionskosten Variante 1 (Erdgas und HHS)

2 Erdgas-Brennwertkessel inkl. Zubehör und Montage	62.000 €
Erdgas-BHKW	132.600 €
Erdgas- und Stromanschluss	18.800 €
Gesamtinvestition	213.400 €

Tabelle 7-3 Investitionskosten Variante 2 (Erdgas)

HHS-Kessel + Bunker inkl. Zubehör und Montage	186.300 €
Erdgaskessel inkl. Zubehör und Montage	31.100 €
Erdgas-BHKW	91.100 €
Erdgas- und Stromanschluss	18.800 €
Gesamtinvestition	327.300 €

Tabelle 7-4 Investitionskosten Variante 3 (Erdgas und HHS)

Jahreskosten

		Basis Erdgas	Variante 1 Erdgas + HHS	Variante 2 Erdgas + BHKW	Variante 3 Erdgas + HHS + BHKW
Investition	€	107.600	239.000	213.400	327.300
Investition inkl. MwSt.	€	124.900	277.240	247.600	379.700
Förderung	€	0	27.000	0	27.000
inkl. Förderung u. MwSt.	€	124.900	250.240	247.600	352.700
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	11.253	24.683	23.016	34.498
inkl. Förderung u. MwSt.	€/a		22.279		32.045

Tabelle 7-5 Kapitalgebundene Kosten

		Basis Erdgas	Variante 1 Erdgas + HHS	Variante 2 Erdgas + BHKW	Variante 3 Erdgas + HHS + BHKW
Brennstoffbedarf Erdgas	MWh _{H₀} /a	4.576	1.404	6.321	3.179
Brennstoffkosten Erdgas	€/a	118.664	42.531	147.266	72.693
Brennstoffbedarf HHS	Sm ³ /a	0	4.390	0	3.100
Brennstoffkosten HHS	€/a	0	39.510	0	27.900
Strombezug	€/a	138.695	146.200	62.779	100.215
Verbrauchskosten	€/a	257.359	228.242	210.045	200.807
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	298.538	261.205	243.653	230.426

Tabelle 7-6 Verbrauchsgebundene Kosten (100 % Industrie-HHS)

		Basis Erdgas	Variante 1 Erdgas + HHS	Variante 2 Erdgas + BHKW	Variante 3 Erdgas + HHS + BHKW
Wartung / Instandhaltung	€/a	2.152	4.780	21.908	16.738
Personalkosten	€/a	500	5.000	2.500	6.500
Steuern / Versicherung	€/a	753	1.673	1.494	2.291
Verwaltung	€/a	6.762	6.524	6.395	6.402
Betriebskosten	€/a	10.167	17.977	32.297	31.931
Betriebskosten inkl. MwSt..	€/a	11.794	20.854	37.464	37.040

Tabelle 7-7 Betriebsgebundene Kosten

		Basis Erdgas	Variante 1 Erdgas + HHS	Variante 2 Erdgas + BHKW	Variante 3 Erdgas + HHS + BHKW
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	11.253	24.683	23.016	34.498
inkl. Förderung u. MwSt.	€/a		22.279		32.045
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	298.538	261.205	243.653	230.426
Betriebskosten inkl. MwSt..	€/a	11.794	20.854	37.464	37.040
Jahreskosten inkl. MwSt.	€/a	321.584	306.742	304.133	301.964
inkl. Förderung u. MwSt.	€/a		304.338		299.511
Einsparungen	%	-	5,4	5,4	6,9

Tabelle 7-8 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung (100 % Wald-HHS)

Die Jahresgesamtkosten für die Strom- und Wärmeversorgung des Regionalbades Bingen / Ingelheim belaufen sich auf ca. 300.000 bis 322.000 €/a.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt, dass die Variante 3 trotz der deutlich höheren Investitionskosten die günstigste Lösung darstellt. Gegenüber der Basisvariante werden ca. 7 % bei den Jahresgesamtkosten dies entspricht ca. 22.000 €/a eingespart. Auch die Varianten 1 und 2 erzielen Einsparungen von jeweils 5,4 %.

		Basis Erdgas	Variante 1 Erdgas + HHS	Variante 2 Erdgas + BHKW	Variante 3 Erdgas + HHS + BHKW
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	298.538	261.205	243.653	230.426
Betriebskosten inkl. MwSt..	€/a	11.794	20.854	37.464	37.040
Laufende Kosten inkl. MwSt.	€/a	310.331	282.059	281.117	267.466
Amortisationsdauer	a	-	4,4	4,2	5,3

Tabelle 7-9 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung (100 % Wald-HHS)

Die laufenden Kosten – bestehend aus Verbrauchs- und Betriebskosten – zeigen noch deutlicher die Vorteilhaftigkeit der Variante 3. Die statische Amortisationsdauer beträgt für alle Varianten zwischen 4 und 5 Jahren. Dies ist für energietechnische Investitionen verhältnismäßig kurz.

8 Zusammenfassung

In dieser Machbarkeitsstudie wurden die Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien für das Regionalbad Bingen / Ingelheim, das als Freizeitbad mit Sport-, Erlebnis- und Saunabereich von den Städte Bingen und Ingelheim errichtet auf der Gemarkung Gau-Algesheim wird, untersucht.

Folgende Varianten der Energieversorgung wurden untersucht:

- Basisvariante 2 Erdgasbrennwertkessel
- Variante 1 Erdgaskessel + HHS-Kessel
- Variante 2 2 Erdgaskessel + Erdgas-BHKW
- Variante 3 Erdgaskessel + HHS-Kessel + Erdgas-BHKW

Die Emissionsbilanz zeigte, dass bei den Varianten 1 und 3 aufgrund des Einsatzes von Holz als nahezu CO₂-neutralen Energieträger die niedrigsten CO₂-Emissionen zu erwarten sind. Gegenüber der Basisvariante können Einsparungen von 26,3 bzw. 27,5 % erzielt werden.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigte, dass die Variante 3 trotz der deutlich höheren Investitionskosten von ca. 380.000 € gegenüber 125.000 € bei der Basisvariante die günstigste Lösung darstellt. Gegenüber der Basisvariante werden ca. 7 % bei den Jahresgesamtkosten eingespart. Auch die Varianten 1 und 2 erzielen Einsparungen von jeweils 5,4 %.

Fazit

Die Betrachtungen der verschiedenen Varianten haben gezeigt, dass die aus ökonomisch und ökologisch günstigste Wärmeerzeugung für das Regionalbad Bingen / Ingelheim auf dem CO₂-neutralen Energieträger Holz basieren sollte.

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass aufgrund des relativ hohen Strom- und Wärmebedarfs des Freizeitbades die Kombination aus Blockheizkraftwerk für die absolute Grundlastabdeckung, Holzhackschnitzel-Kessel für Grund- und Mittellast und einem Erdgaskessel zur Spitzenlastdeckung zu favorisieren ist.

Tabellenverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1 Energiebilanz.....	7
Tabelle 6-1 CO ₂ -Bilanz.....	8
Tabelle 7-1 Investitionskosten Basisvariante (Erdgas).....	10
Tabelle 7-2 Investitionskosten Variante 1 (Erdgas und HHS)	10
Tabelle 7-3 Investitionskosten Variante 2 (Erdgas).....	11
Tabelle 7-4 Investitionskosten Variante 3 (Erdgas und HHS)	11
Tabelle 7-5 Kapitalgebundene Kosten	12
Tabelle 7-6 Verbrauchsgebundene Kosten (100 % Industrie-HHS).....	12
Tabelle 7-7 Betriebsgebundene Kosten	12
Tabelle 7-8 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung (100 % Wald-HHS)	13

[1] Neubau Niedrigenergie-Hallenbad AQUAMAR, Pflichtenheft Energie (S. 10);
hessenENERGIE