

Konzept für eine wirtschaftliche Wärmeversorgung des Freizeitbads „Moby Dick“ in Rülzheim



www.mobydick.de

Auftraggeber: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz

Datum: 03.03.2008

Transferstelle Bingen · Am Langenstein 21 · 55411 Bingen · www.tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Ursula Vierhuis

Tel: 06721 / 98 42 4-18

Fax: 06721 / 98 42 4-29

vierhuis@tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Christian Pohl

Tel: 06721 / 98 42 4-16

Fax: 06721 / 98 42 4-29

pohl@tsb-energie.de

im

Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH · Berlinstraße 107a · 55411 Bingen am Rhein

Inhalt

Einleitung.....	4
1 Ist-Analyse	6
1.1 Wärme	6
1.2 Strom	7
1.3 Kennwerte und Vergleich mit Literaturwerten	8
1.4 Anlagentechnik	9
1.5 Wasser	11
2 Technische Konzepte bei der Wärmenutzung	12
2.1 Sanierung	12
2.1.1 Stromverbrauch.....	12
2.1.2 Lüftung	12
2.1.3 Wassertemperatur und Rückspülung	12
2.1.4 Wärmedämmung.....	13
2.2 Einsparpotentiale und Wirtschaftlichkeit	13
3 Technische Konzepte bei der Wärmeerzeugung	14
3.1 Wärmebereitstellung für den Bedarf im Ist-Zustand	15
3.1.1 Basisvariante - Grundlast: Erneuerung der Erdgas-BHKW; Spitzenlast: Erdgaskessel.....	15
3.1.2 Variante 1 - Grundlast: Biogasanlage, Spitzenlast: Erdgaskessel.....	16
3.1.3 Variante 2 - Grundlast: Biogasanlage + Holzhackschnitzelanlage; Spitzenlast: Erdgaskessel	18
3.1.4 Variante 3 - Grundlast: Holzhackschnitzelanlage; Spitzenlast: Erdgaskessel	19
3.2 Wärmebereitstellung für den Bedarf im sanierten Zustand	20
3.2.1 Basisvariante - Grundlast: Erdgas-BHKW; Spitzenlast: Erdgaskessel.....	21
3.2.2 Variante 1 - Grundlast: Biogasanlage; Spitzenlast: Erdgaskessel.....	21
3.2.3 Variante 2 - Grundlast: Holzhackschnitzelanlage; Spitzenlast: Erdgaskessel	22
4 Energiebilanz	24
4.1 Wärmetechnisch unsaniertes Bad	24
4.2 Wärmetechnisch saniertes Bad	25
5 Wirtschaftlichkeit.....	26
5.1 Wärmetechnisch unsaniertes Bad	28

5.2	Wärmetechnisch saniertes Bad	30
6	Ausbau der Fernwärme	32
7	Fazit	34

Einleitung

In Rülzheim existiert ein Fernwärmenetz, an das zuerst öffentliche Gebäude und später private und gewerbliche Wärmekunden angeschlossen wurden. Gespeist wird das Wärmenetz über verschiedene Energiestationen an drei Standorten, die mit Gaskesseln und Gas-Blockheizkraftwerken (BHKW) bestückt sind. Ein BHKW-Standort ist bei dem Freizeitbad Moby Dick, welches gleichzeitig auch der größte Wärmeverbraucher ist. Detailliert beschrieben ist der Aufbau der Wärmeversorgung in der Studie „Fernwärmekonzept für die geothermische Wärmeversorgung der Gemeinde Rülzheim“.

Der Energieverbrauch des Moby Dick und die BHKW sind optimierungsbedürftig. Die energierelevante Technik des Bades (Lüftungsanlagen, Wärmeverteilung, Regeleinrichtungen, ...) entspricht nicht mehr dem Stand der Technik und muss erneuert werden. Darüber hinaus sind Teile der Gebäudehülle hinsichtlich ihrer Wärmeverluste zu verbessern. Die vorhandenen BHKW sind mittelfristig zu überholen bzw. zu ersetzen, da die Anlagen schon hohe Laufzeiten haben. Darüber hinaus kann die Steuerungstechnik für die Wärmeerzeugung und die Speisung des Netzes optimiert werden.

Der wirtschaftlich akzeptable Weiterbetrieb des Bades ist in dieser Konstellation kaum möglich, so dass Lösungsvorschläge erarbeitet und bewertet werden müssen. Im Hinblick auf die Sanierung des Bades liegt ein Gutachten mit umfangreichen Maßnahmenvorschlägen vor (Kannevischer (2007) „Moby Dick, Rülzheim, Bestandsanalyse“).

Als Alternative für die BHKW sind unterschiedliche Varianten in der Diskussion. Neben der Erneuerung der BHKW gibt es Überlegungen für ein Biomasseheizwerk oder eine Biogasanlage bzw. Mischvarianten. Alle Varianten zielen im Wesentlichen darauf ab, dem Bad die Wärme möglichst preiswert zur Verfügung zu stellen. Die Verbilligung der Wärme für das Bad würde sich aber auch nachteilig auf die Einnahmeseite der heute Wärme liefernden Gemeindewerke auswirken.

Die wärmetechnische Sanierung des Bades ist unabhängig von der Wärmequelle unbedingt notwendig, so dass auch hierbei Wärmeabsatz verloren gehen würde. Dieser Absatzzrückgang kann zumindest teilweise durch eine gezielte Ausbaustrategie des Wärmenetzes kompensiert werden. Es liegen heute eine Reihe von potenziellen Wärmekunden rechts und links der vorhandenen Leitungen.

Zusätzlich muss bedacht werden, dass Rülzheim ein geeigneter Standort für eine Tiefergeothermieanlage ist und als einzige Gemeinde in der Pfalz bereits über ein Wärmenetz verfügt. Um die mögliche geothermische Wärmenutzung in der Zukunft nicht zu verbauen, sind heute Lösungen gefragt, die dem gerecht werden. Aus diesem Grund bietet es sich an, dazu eine Studie zu erarbeiten, die all diese Gesichtspunkte beleuchtet und zu erarbeitende Lösungsvorschläge bewertet. Eine Studie zu einem Fernwärmekonzept für geothermische Wärmeversorgung gibt es schon.

Konkret soll folgendes untersucht werden:

- Auswertung des Gutachtens zur Sanierung des Bades, Erarbeitung eines Maßnahmenplanes für die Umsetzung.
- Variantenuntersuchung zur Wärmeerzeugung:
 - aktuelle Wärmeerzeugungsanlage
 - Biogasanlage mit BHKW
 - Holzhackschnitzelfeuerung

Für die genannten Varianten werden die zum Einsatz kommende Technik beschrieben, die Dimensionierung vorgenommen und die Energiebilanzen aufgestellt. Darauf aufbauend erfolgt jeweils eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, die auch auf die Auswirkungen für die Gemeindewerke eingeht.

Die Bewertung der Ergebnisse erfolgt im Hinblick auf die Offenhaltung einer zukünftigen geothermischen Wärmeversorgung.

1 Ist-Analyse

Das Freizeitbad Moby Dick wird aktuell über das Nahwärmenetz der Gemeindewerke Rülzheim mit Wärme versorgt. Die benötigte elektrische Energie wird ebenfalls von den Gemeindewerken geliefert.

1.1 Wärme

In Tab. 1-1 ist der Jahreswärmeverbrauch des Freizeitbades für die Jahre 2005 und 2006 dargestellt. Zusätzlich zu dem tatsächlichen Verbrauch wurde der klimabereinigte Verbrauch ermittelt, da der Wärmeverbrauch zu einem großen Teil von der Witterung abhängig ist und entsprechend variiert.

Die Jahre 2005 und 2006 waren verhältnismäßig warm mit ebenfalls recht milden Wintern, so dass der tatsächliche Wärmeverbrauch in kalten Jahren deutlich abweichen kann.

Tab. 1-1: Jahreswärmeverbrauch

Jahr	Tatsächlicher Verbrauch kWh _{th} /a	Klimabereinigter Verbrauch kWh _{th} /a
2005	4.878.300	5.029.200
2006	5.411.300	5.818.600
Ø	5.144.800	5.423.900

Der klimabereinigte Verbrauch liegt sichtbar über dem tatsächlichen Verbrauch. Die nachfolgenden Berechnungen werden mit dem klimabereinigten Mittelwert durchgeführt.

Anhand von Monatsdaten zu der Spitzenlastverteilung im Jahr 2006 wurde die benötigte Wärmeleistung abgeschätzt. Als Grundlastbedarf ergibt sich entsprechend der Spitzenlast im wärmsten Monat Juli ein Bedarf von ca. 700 kW. Die Spitzenlast im Jahr 2006 betrug im kältesten Monat Januar 1.542 kW. Jedoch ist hierbei zu beachten, dass es sich im Jahr 2006 um einen vergleichsweise milden Winter handelte, so dass die Spitzenlast etwas höher angesetzt werden muss.

In der Studie „Fernwärmekonzept für eine geothermische Wärmeversorgung in der Gemeinde Rülzheim“ (TSB, 2006) wird für das Schwimmbad und das Freizeitzentrum ein Wärmeleistungsbedarf von 2.150 kW genannt. Zu dem Freizeitzentrum zählen noch ein Campingplatz und ein Freizeithaus. Daher wurde für das Freizeitbad Moby Dick im Folgenden ein Wärmeleistungsbedarf von insgesamt 1.850 kW angesetzt.

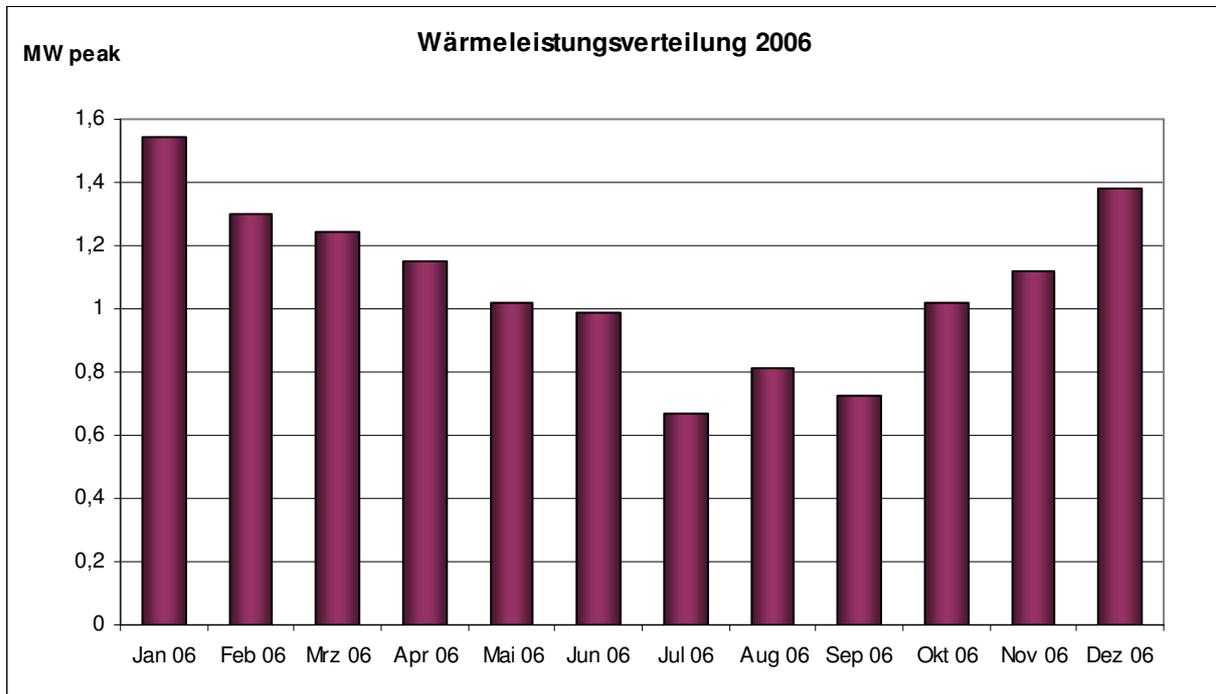


Abb. 1-1: Wärmeleistungsverteilung monatliche Wärmespitzenleistung Moby Dick (2006)

1.2 Strom

Der Stromverbrauch des Moby Dick in den Jahren 2005 und 2006 ist in Tab. 1-2 dargestellt.

Tab. 1-2: Stromverbrauch Moby Dick

Jahr	Elektrischer Strom
	kWh _{el} /a
2004	2.034.050
2005	1.966.740
2006	1.984.840
Ø	1.995.210

Der Übersicht ist zu entnehmen, dass sich der Stromverbrauch des Bades als sehr konstant darstellt.

1.3 Kennwerte und Vergleich mit Literaturwerten

In der Literatur werden Verbrauchskennwerte für den Strom- und Wärmeverbrauch von Freizeitbädern aufgeführt. Diese beziehen sich auf die Beckenoberfläche. In Tab. 1-4 sind die Beckenflächen von Moby Dick abgebildet.

Tab. 1-3: Beckenflächen Moby Dick

Wasserflächen	Fläche [m²]
50-m-Schwimmerbecken	933
Lehrschwimmbecken	133
Spaßbecken	145
Kinder-, Spiel- und Abenteuerlandschaft	120
Sicherheitslandebecken Riesenrutsche	16
Außenbecken	200
Gesamt	1.547

Auf die Beckenfläche bezogen ergibt sich für Moby Dick somit folgender spezifischer Verbrauch:

Tab. 1-4: Spezifischer Energieverbrauch Moby Dick

	Elektrischer Strom	Wärme
	kWh _{el} /m ² Beckenfläche *a	kWh _{th} /m ² Beckenfläche *a
Moby Dick, Ist-Zustand	1.290	3.506

In Tab. 1-5 sind zum Vergleich Verbrauchskennzahlen für Freizeitbäder aus der Literatur aufgeführt. Dabei handelt es sich um Mittelwerte. Die Sollwerte für neu zu errichtende Bäder liegen wesentlich niedriger.

Tab. 1-5: Verbrauchkennzahlen Freizeitbäder

	Elektrischer Strom	Wärme
	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{BF}} \cdot \text{a}$	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2_{\text{BF}} \cdot \text{a}$
VDI 3807 „Freizeitbäder“ (Mittelwert)	1.620	5.310
Bundesfachverband Öffentliche Bäder e.V. (BOEB), „Überörtlicher Betriebsvergleich 2000“	1.504	4.141

BF = Beckenfläche

Im Vergleich zu den Kennwerten der VDI 3807 und denen des BOEB liegen sowohl der spezifische Stromverbrauch als auch der spezifische Wärmeverbrauch des Moby Dick niedriger als der Durchschnitt der erfassten Freizeitbäder.

Für neu zu errichtende Bäder werden in der VDI 3807 deutlich niedrigere Werte gefordert (s. Tab. 1-6).

Tab. 1-6: VDI-Richtwert für neu zu errichtende Bäder

	Elektrischer Strom	Wärme
	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{m}^2_{\text{BF}} \cdot \text{a}$	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2_{\text{BF}} \cdot \text{a}$
VDI 3807 „Freizeitbäder“ (Richtwert)	353	950

BF = Beckenfläche

1.4 Anlagentechnik

Wärmeversorgung

Die Wärme für Moby Dick wird zwar überwiegend aus dem Nahwärmenetz bereitgestellt, es ist jedoch noch ein Gasheizkessel aus dem Jahr 1994 mit einer Heizleistung von $760 \text{ kW}_{\text{th}}$ vorhanden. Dieser wird nach Bedarf betrieben, sofern Erdölgas aus der nahe gelegenen Erdölpumpstation vorhanden ist (vgl. Kannewischer). Genaue Werte hierüber liegen nicht vor, nach Angaben der Gemeindewerke Rülzheim liegt der Betrieb des Gaskessels mit ca. 50 Betriebsstunden pro Jahr in einem vernachlässigbaren Bereich.

Die Leistung des Kessels entspricht etwa dem Grundlastbedarf vom Moby Dick, so dass dieser Kessel auch weiterhin als Notfallkessel für das Freizeitbad dienen kann, falls der eigentliche Grundlastversorger ausfällt.

Als Notkessel für eventuelle Ausfallzeiten der BHKW sind zudem noch zwei Pyrotherm-Gaskessel aus dem Jahr 1983 vorhanden (vgl. Kannewischer). Sie haben eine Heizleistung von insgesamt $1,45 \text{ MW}_{\text{th}}$ und einen Wirkungsgrad von max. 85-88%. Ursache für den vergleichsweise niedrigen Wirkungsgrad ist das Alter und die

geringe Auslastung. Hinzu kommt, dass diese Kessel, obwohl sie nicht in Betrieb sind, offenbar permanent mit Heizungswasser von 60 °C durchströmt werden (vgl. Kanne-wischer), was zu vermeidbaren Wärmeverlusten führt.

Wärmenutzung

Die Wärmenutzung verteilt sich zum einen auf die Raumheizung über die Lüftungsan-lage und zum anderen auf die Erwärmung des Badewassers. Der Bestand an Lüf-tungsgeräten ist in Tab. 1-7 dargestellt. Darin wird deutlich, dass die Lüftungsgeräte zum aktuellen Zeitpunkt fast ausschließlich ohne Wärmerückgewinnung betrieben werden.

Tab. 1-7: Lüftungsanlage

Ort	Gerät	Baujahr	Wärmerück-gewinnung
Schwimmhalle	Zu- und Abluft	1983	nein
Umkleide	Zu- und Abluft	1983	nein
Sauna	Zu- und Abluft	1983	nein
Ruheraum Sauna	Zu- und Abluft	neu	ja
Gastronomie	Zu- und Abluft	1983	nein
Kegelbahn	Zu- und Abluft	1984	nein
Maschinenraum	Abluft	1983	nein

Warmwasserbereitung

Das Beckenwasser wird über verschiedene Wärmetauscher erwärmt (s. Tab. 1-8).

Tab. 1-8: Vorhandene Wärmetauscher

Anlage	Standort	Leistung [kW]
1) Sport-/Kinder-/Rutschenbecken	nach Filterstation (zentraler WT)	820
	bei Reinwasserzuleitung Kinderbecken	95
	Rutschenkreislauf	209
2) Außenbecken		300
3) Erlebnis-/Lehrschwimmbecken		k.A.

Die Warmwasserbereitstellung erfolgt über einen liegenden Speicher mit einem Fassungsvermögen von 1.800 l, dessen Temperatur auf 60 °C eingestellt ist. Für Badetechnik und Sauna sind zwei mechanische Mischeinrichtungen nachgeschaltet.

Bei durchschnittlich 270.000 Besuchern/Jahr und einer Trinkwasser-Nachspeisung von insgesamt 11.462 m³/a beträgt die Nachspeisemenge Ø 42 l/Besucher. Nach DIN 19643 sind mindestens 30 l/Person erforderlich. Somit wirtschaftet Moby Dick zwar sparsam, aber liegt dennoch auf der sicheren Seite.

Die Badewasseraufbereitungsanlagen wurden im Jahr 2000/01 erneuert. Nachspeise- und Umwälzmengen sind in Tab. 1-9 aufgeführt.

Tab. 1-9: Nachspeisemengen der einzelnen Anlagen

Anlage	Nachspeisemenge m ³	Umwälzmenge m ³ /h
1) Sport-/Kinder-/Rutschenbecken	4.092	374
2) Außenbecken	1.825	311
3) Erlebnis-/Lehrschwimmbecken	5.545	181
gesamt	11.462	866

Das Rückspülwasser wird mit ca. 30 °C in die Kanalisation eingeleitet.

1.5 Wasser

Der Gesamtwasserverbrauch der vergangenen Jahre ist in Tab. 1-10 aufgezeigt. Über die Jahre 2003-2005 gemittelt ergibt sich ein durchschnittlicher Wasserverbrauch von 44.069 m³/a, und bezogen auf eine durchschnittliche Besucherzahl von 270.000 Personen pro Jahr ein Wasserbedarf von ca. 163 l/Person.

Tab. 1-10: Trinkwassergesamtverbrauch Moby Dick

Jahr		Verbrauch
2003	m ³ /a	39.312
2004	m ³ /a	48.542
2005	m ³ /a	44.352
Ø	m ³ /a	44.069

2 Technische Konzepte bei der Wärmenutzung

2.1 Sanierung

2.1.1 Stromverbrauch

Der Stromverbrauch liegt wie in Kapitel 1.2 erläutert im Durchschnitt. Die Beleuchtung wurde im Jahr 2000 erneuert und entspricht dem Stand der Technik, so dass hier aktuell kein Änderungsbedarf gegeben ist. Bei einer Erneuerung der Lüftungsanlage ist jedoch mit einem Einsparpotential zu rechnen, da die Anlage größtenteils aus dem Jahr 1983/84 stammt.

2.1.2 Lüftung

Eine Sanierung des Freizeitbades ist schon allein aus technischen Gründen sinnvoll. Die Lüftungsanlagen stammen fast ausschließlich aus dem Jahr 1983/84 verfügen abgesehen von einem neueren Gerät (Ruheraum Sauna) über keinerlei Wärmerückgewinnung. Sie lassen sich zudem sehr schlecht steuern, so dass selbst im Sommer noch geheizt wird, wenn die Sonneneinstrahlung das Gebäude über die extensiven Glasflächen aufheizt.

Insgesamt werden die Lüftungsgeräte mit ca. 140.000 m³/h gefahren.

Durch den Einbau von Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung ließen sich nach Ermittlung der Kannewischer-Ingenieurgesellschaft bis zu ca. 1.800.000 kWh/a einsparen.

2.1.3 Wassertemperatur und Rückspülung

Wassertemperatur

Aufgrund der hohen Vorerwärmung des Beckenwassers über den zentralen Wärmetauscher wird das Wasser im Sportbecken auf bis zu 31 °C erwärmt, was für Sportzwecke nicht notwendig ist. Dies lässt sich aber derzeit nicht verhindern, da die Wasseraufbereitung für das Sportbecken über dieselbe Aufbereitungsanlage erfolgt wie die des Kinderbeckens, und hier ein Kompromiss gefahren wird. Für das Kinderbecken hingegen werden die benötigten 32 °C nur knapp erreicht. Zu empfehlen wäre daher eine separate Aufbereitungsanlage für das Kinderbecken.

Die Wassertemperatur im Außenbecken beträgt lt. Kannewischer im Winter maximal 30 °C. In der Studie wird eine Temperatur von 34 °C empfohlen, was technisch die Installation eines Wärmetauschers mit einer Leistung von 600 kW_{th} (vorhanden: 300 kW_{th}) erfordert. Die Anhebung der Wassertemperatur bedeutet jedoch eine Erhöhung des Energieaufwands.

Rückspülung

11.000 bis 13.000 m³/a Rückspülwasser werden jährlich mit einer Temperatur von ca. 30 °C in die Kanalisation eingeleitet. Die hierin enthaltene Wärme könnte über einen Wärmetauscher zur Vorerwärmung des Frischwasserzulaufs genutzt werden.

2.1.4 Wärmedämmung

Eine Innenseitige Wärmedämmung besteht bereits in Form eines Folienkissendachs (U-Wert ca. 2,0 W/m²*K), das dachunterseitig in der Schwimmhalle installiert ist. Bei dem Umbau im Jahr 2000/01 wurden zudem die Außenwände gedämmt.

Der Einbau einer hochwärmedämmenden Verglasung ist zwar technisch machbar, erscheint aber trotz einer potentiellen Einsparung von bis zu ca. 250.000 kWh/a nach erster Abschätzung unwirtschaftlich, da die hohen Investitionskosten sich nicht über die eingesparten Wärmekosten innerhalb der Nutzungsdauer amortisieren können. Eine solche Maßnahme wäre nicht nur als Energieeinsparmaßnahme zu betrachten sondern auch als Gebäudeinstandhaltungsmaßnahme.

2.2 Einsparpotentiale und Wirtschaftlichkeit

Im Folgenden werden die technisch umsetzbaren Sanierungsmöglichkeiten aufgeführt und deren Einsparpotentiale dargestellt. Dazu wird der Wärmepreis von 3,68 Ct/kWh_{th} zugrunde gelegt. Sofern vorhanden, werden die zur Umsetzung der Maßnahmen zu tätigen Investitionen aufgelistet und die Amortisationsdauer ermittelt.

Tab. 2-1: Einsparungspotentiale, Wärme

	Einsparpotential		Investitions- kosten €	Amortisations- dauer a
	KWh _{th} /a	€/a		
neue Lüftungsgeräte	1.800.000	66.240	585.000	8,8
Auswertung Wärmeinhalt Rückspülwasser	190.000	6.992	160.000	22,9
hochwärmedämmende Verglasung	250.000	9.200	k.A.	-
gesamt	2.240.000	82.432		

3 Technische Konzepte bei der Wärmeerzeugung

Als Alternative bzw. als Ergänzung zu der Sanierung des Bades besteht die Möglichkeit, eine günstigere Wärmequelle zu erschließen. Im Folgenden werden die einzelnen Optionen näher erläutert

Geothermie

Rülzheim liegt geografisch in einer für Geothermie ausgesprochen günstigen Region. Insbesondere da Rülzheim bereits über ein eigenes Nahwärmenetz verfügt und sich somit in der Region hervorhebt, sollte langfristig die Nutzung von Erdwärme für die Gemeinde angestrebt werden. Die für das Freizeitbad Moby Dick zu findende Übergangslösung sollte daher die Nutzung von Erdwärme nicht langfristig ausschließen. Geothermiekraftwerke haben heute üblicherweise nur einen elektrischen Wirkungsgrad von bis zu 10 - 15 %, so dass ein großer Anteil Wärmeenergie anfällt, die günstig genutzt werden kann.

Biogas

Eine potentielle Wärmebereitstellung könnte etwa über eine Biogasanlage erfolgen, deren Gas in einem BHKW verstromt wird. Die Abwärme kann günstig genutzt werden, allerdings abzüglich der für die Biogasanlage benötigten Prozesswärme, die von der Fermenterbauart und –größe sowie dem verwendeten Substrat abhängig ist. Im Winter ist der Eigenbedarf höher als in den warmen Monaten. Moderne Anlagen sind bereits gut isoliert. Es sollte aber immer noch mit einem Wärmeeigenbedarf für den/die Fermenter von ca. 25 bis 28 % der produzierten Wärme gerechnet werden. Seitens von Anlagenplanern werden als Heizleistung für die Biogasanlage ca. 23 % der thermischen Leistung des BHKW veranschlagt.

Eine Biogasanlage kann >8.000 Betriebsstunden im Jahr erreichen. Anders als Erdgaskessel oder Holzhackschnitzelheizungen können sie nicht bei Bedarf an- oder ausgeschaltet werden. Es ist daher sinnvoll, einen Wärmeabnehmer zu haben, der das ganze Jahr über Wärme benötigt. Diese Voraussetzung ist im vorliegenden Fall bei dem Freizeitbad Moby Dick gegeben.

Holzhackschnitzel

Auch der Betrieb eines Biomassekessels mit Holzhackschnitzeln kann eine wirtschaftliche Alternative sein. Der Vorteil eines Holzhackschnitzelheizkessels in Containerbauweise besteht darin, dass dieser im Falle einer zukünftigen Wärmenutzung aus Geothermie problemlos an einem anderen Ort installiert werden kann.

3.1 Wärmebereitstellung für den Bedarf im Ist-Zustand

Folgende Varianten zur Wärmeversorgung werden für Moby Dick untersucht:

- Basisvariante: Grundlast: Erneuerung der Erdgas-BHKW + Spitzenlast: Erdgaskessel
- Variante 1: Grundlast: Biogasanlage + BHKW; Spitzenlast: Erdgaskessel
- Variante 2: Grundlast: Biogasanlage + Holzhackschnitzelanlage; Spitzenlast: Erdgaskessel
- Variante 3: Grundlast: Holzhackschnitzelanlage; Spitzenlast: Erdgaskessel

Der Wärmeleistungsbedarf wurde in Kapitel 1.1 mit insgesamt 1.850 kW definiert, wovon der Grundlastbedarf 700 kW beträgt. Die Abdeckung der Grundlast erfolgt in allen Varianten auf unterschiedliche Weise, die Differenz zur Spitzenlast (1.150 kW) wird aber immer über einen Erdgaskessel abgedeckt.

Aus Sicherheitsgründen (Versorgungssicherheit) muss für den Grundlastbereich ein alternativer Heizkessel installiert sein, falls es bei der Biogasanlage oder dem BHKW zu Ausfallzeiten kommt. Der noch vorhandene Erdgas-Kessel aus dem Jahr 1994 mit einer Leistung von 760 kW_{th} kann hierzu herangezogen werden.

Anhand der Öffnungszeiten des Freizeitbades wurde ermittelt, dass ca. 3.710 MWh_{th}/a des Jahreswärmebedarfs über Grundlastkessel und/oder -BHKW bereitgestellt werden. Die verbleibenden 1.714 MWh_{th}/a werden immer über den Spitzenlastkessel abgedeckt (s. Tab. 3-1).

Tab. 3-1: Verteilung der Wärmebereitstellung

		Grundlast	Spitzenlast
Heizleistung	kW	700	1.150
Wärmebedarf	MWh _{th} /a	3.710	1.714

3.1.1 Basisvariante - Grundlast: Erneuerung der Erdgas-BHKW; Spitzenlast: Erdgaskessel

Als Basisvariante wird der Austausch der BHKW betrachtet. Es werden 2 Erdgas-BHKW mit einer elektrischen Leistung von jeweils 230 kW_{el} und einer thermischen Leistung von jeweils 350 kW_{th} installiert. Insgesamt kann damit eine Wärmeleistung von 700 kW_{th} erreicht werden.

Tab. 3-2: Energiebilanz Erdgas-BHKW

Grundlast: 2 BHKW à 230 kW_{el}		
Elektrische Leistung BHKW	kW _{el}	460
Nennwärmeleistung BHKW	kW _{th}	700
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{Ho} /a	7.506.000
Vollbenutzungsstunden	h/a	5.300
Wärmeerzeugung	kWh _{th} /a	3.710.000
Stromerzeugung	kWh _{el} /a	2.438.000

Tab. 3-3: Energiebilanz Erdgas-Spitzenlastkessel

Spitzenlast: Erdgaskessel		
Nennwärmeleistung	kW _{th}	1.150
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{Ho} /a	1.985.000
Vollbenutzungsstunden	h/a	1.490
Wärmeerzeugung	kWh _{th} /a	1.714.000

3.1.2 Variante 1 - Grundlast: Biogasanlage, Spitzenlast: Erdgaskessel

In Variante 1 wird betrachtet, wie die Grundlast über eine Biogasanlage mit Biogas-BHKW abgedeckt werden kann. Grundsätzlich ist bei der Dimensionierung einer Biogasanlage zu beachten, dass ca. ¼ der über das BHKW produzierten Wärme im Fermenter für die Aufrechterhaltung der Substrattemperatur benötigt wird.

Hinzu kommt, dass die Biogasanlage nicht direkt neben dem Freizeitbad errichtet wird. Im Folgenden wurde eine Entfernung zu Moby Dick von ca. 1.000 m angenommen. Für diese Entfernung wird daher noch eine Fernwärmeleitung benötigt.

Als Alternative könnte auch eine Mikrogasleitung zum Freizeitbad gelegt, und das Biogas-BHKW dort betrieben werden. In dem Fall würde lediglich ein biogasbefuerter Gaskessel bei der Biogasanlage installiert, der den Prozesswärmebedarf abdeckt. Eine weitere Option wäre ein kleines BHKW bei der Biogasanlage zur Bereitstellung der Prozesswärme. Jedoch müssten dann an 2 Stellen Stromeinspeisestationen installiert werden. Daher wurden die Biogas-Varianten im vorliegenden Fall mit einer Fernwärmeleitung kalkuliert.

Nach Abzug des Prozesswärmeleistungsanteils von 23 % und Verlusten durch die Fernwärmeleitung von etwa 8 % müsste ein Biogas-BHKW mit einer thermischen Leistung von ca. 1.000 kW_{th} installiert sein, um die benötigten 700 kW_{th} im Grundlastbereich für die Beheizung des Freizeitbads bereitstellen zu können.

Es soll allerdings nur eine Anlage in der Größenordnung 300-500 kW_{el} errichtet werden, da die Stromeinspeisevergütung nach dem EEG (2004) für Anlagen >500 kW_{el}

weniger lukrativ wird. Zudem ist nicht sicher, ob für größere Anlagen in naher Umgebung ausreichend nachwachsende Rohstoffe als Substrat verfügbar sind.

Die Biogasanlage wurde deshalb mit 470 kW_{el} dimensioniert. Die thermische Leistung beträgt 565 kW_{th}, wovon nach Abzug von 23 % für die Fermenterheizung und annähernd 8 % Verlusten aufgrund der Fernwärmeleitung ca. 400 kW_{th} für die Beheizung von Moby Dick zur Verfügung stehen. In den Berechnungen wird Maissilage als Substrat in der Biogasanlage eingesetzt, es kann aber auch eine Vielzahl anderer Pflanzen verwendet werden. Der Methangehalt im Biogas wurde unter Verwendung von Maissilage mit ca. 52 % angesetzt.

Der übrige Grundlastanteil von 300 kW_{th} wird von der Erdgaskesselanlage gedeckt. Die Details zu dieser Kombination sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt:

Tab. 3-4: Energiebilanz Biogas-BHKW + Erdgaskessel

Grundlast: Biogas-BHKW		
Elektrische Leistung BHKW	kW _{el}	470
Thermische Leistung BHKW	kW _{th}	565
nutzbarer Anteil Moby Dick	kW _{th}	400
Brennstoffbedarf Biogas	kWh _{Ho} /a	11.268.000
Substratbedarf Maissilage	t _{FM} ⁽¹⁾ /a	10.800
Vollbenutzungsstunden	h/a	8.000
Wärmeerzeugung	kWh _{th} /a	4.520.000
nutzbarer Anteil Moby Dick	kWh _{th} /a	2.994.000
Stromerzeugung	kWh _{el} /a	3.758.000
Grundlast: Erdgaskessel		
Nennwärmeleistung Erdgaskessel	kW _{th}	300
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{Ho} /a	829.000
Vollbenutzungsstunden	h/a	2.390
Wärmeerzeugung	kWh _{th} /a	716.000

⁽¹⁾ t_{FM} = Tonnen Frischmasse, Trockensubstanzgehalt ca. 35 %

Die **Spitzenlast** wird wie in der Basisvariante über einen Erdgaskessel abgedeckt (s. Tab. 3-3). Die Werte hierzu sind in allen Varianten identisch.

3.1.3 Variante 2 - Grundlast: Biogasanlage + Holzhackschnitzelanlage; Spitzenlast: Erdgaskessel

In Variante 2 wird die Biogasanlage analog zu Variante 1 dimensioniert. Der verbleibende Grundlastanteil von 300 kW wird jedoch über einen Holzhackschnitzelkessel abgedeckt. Der Holzhackschnitzelkessel wie auch das Holzhackschnitzellager werden in Containerbauweise errichtet. Falls der Wärmebedarf mittel- bis langfristig über noch günstigere Wärmequellen (z.B. Geothermie) abgedeckt werden kann, lässt sich die Anlage problemlos deinstallieren und die Container an anderer Stelle wieder aufstellen.

Die Lagercontainer haben ein nutzbares Volumen von jeweils 60 m³ und verfügen über die notwendigen automatischen Austragungsrichtungen. Bei 2 installierten Lagercontainern kann in dieser Variante ein Volllastbetrieb von 10 Tagen sichergestellt werden. In Tab. 3-5 sind die Details dieser Variante dargestellt.

Tab. 3-5: Energiebilanz Biogas-BHKW + Holzhackschnitzelanlage

Grundlast: Biogas-BHKW		
elektrische Leistung BHKW	kW _{el}	470
Wärmeleistung BHKW	kW _{th}	565
nutzbarer Anteil Moby Dick	kW _{th}	400
Brennstoffbedarf Biogas	kWh _{Ho} /a	11.268.000
Substratbedarf Maissilage	t _{FM} ⁽¹⁾ /a	10.800
Vollbenutzungsstunden	h/a	8.000
Wärmeerzeugung	kWh _{th} /a	4.520.000
nutzbarer Anteil Moby Dick	kWh _{th} /a	2.994.000
Stromerzeugung	kWh _{el} /a	3.758.000
Grundlast: Holzhackschnitzelanlage (HHS)		
Nennwärmeleistung HHS	kW _{th}	300
Brennstoffbedarf HHS	Sm ³⁽²⁾ /a	1.050
Vollbenutzungsstunden	h/a	2.390
Wärmeerzeugung	kWh _{th} /a	716.000

⁽¹⁾ t_{FM} = Tonnen Frischmasse, Trockensubstanzgehalt ca. 35 %; ⁽²⁾ Sm³ = Schüttkubikmeter

Auch in dieser Variante wird die **Spitzenlast** über einen Erdgaskessel abgedeckt (s. Tab. 3-3).

3.1.4 Variante 3 - Grundlast: Holzhackschnitzelanlage; Spitzenlast: Erdgaskessel

In Variante 3 wird der gesamte Grundlastbedarf von 700 kW über einen Holzhackschnitzelkessel abgedeckt. Wie auch bei dem kleinen Holzhackschnitzelkessel in Variante 2 werden Kessel und Lager in Containerbauweise installiert, um bei einem mittel- bis langfristigen Wechsel der Wärmeversorgung (Geothermie) den Kessel kostengünstig an einem anderen Ort einsetzen zu können.

Da der HHS-Kessel in Variante 3 neben seiner größeren Dimensionierung auch deutlich besser ausgelastet ist als der mit nur wenigen Vollbenutzungsstunden laufende Ergänzungskessel in Var. 2, werden 3 Lagercontainer benötigt. Bei dem reinen Holzhackschnitzelbetrieb in Variante 3 kann damit ein Volllastbetrieb von knapp 7 Tagen sichergestellt werden.

Die energietechnischen Details zu dieser Variante sind in Tab. 3-6 erläutert.

Tab. 3-6: Energiebilanz Holzhackschnitzelanlage

Grundlast: Holzhackschnitzelanlage (HHS)		
Nennwärmeleistung HHS	kW_{th}	700
Brennstoffbedarf HHS	$\text{Sm}^3^{(1)}/\text{a}$	5.460
Vollbenutzungsstunden	h/a	5.300
Wärmeerzeugung	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	3.710.000

⁽¹⁾ Sm^3 = Schüttkubikmeter

Die **Spitzenlast** wird wie in der Basisvariante über einen Erdgaskessel abgedeckt (s. Tab. 3-3).

3.2 Wärmebereitstellung für den Bedarf im sanierten Zustand

Grundsätzlich sollten Einsparpotentiale prioritär genutzt werden um den Energieverbrauch weiter zu minimieren. Hierzu eignet sich vor allem die Erneuerung der Lüftungsanlage durch eine Anlage mit Wärmerückgewinnung. Neben langfristigen wirtschaftlichen Aspekten ist dies auch bezüglich des Klimaschutzes vorteilhaft.

In Tab. 3-7 sind die technisch möglichen Einsparpotentiale dargestellt.

Tab. 3-7: Einsparpotentiale

Sanierungsmaßnahme	Energieeinsparung
	kWh _{th} /a
Neue Lüftungsgeräte	1.800.000
Auswertung Wärmeinhalt Rückspülwasser	190.000
Hochwärmedämmende Verglasung	250.000
gesamt	2.240.000

Durch eine Lüftungserneuerung würde sich der Wärmebedarf um ca. $\frac{1}{3}$ gegenüber dem Ist-Zustand verringern. Mit Energieeinsparungen bis zu ca. 1.800.000 kWh_{th}/a stellt diese Maßnahme das größte Einsparpotential dar. Da die Erneuerung der Lüftungsanlage dringend angeraten wird, und zudem vergleichsweise einfach zu realisieren ist, wird die Energiebilanz im Folgenden auf den sanierten Zustand bei Erneuerung der Lüftungsanlage bezogen.

Im Grundlastbereich liegt vor allem die Erwärmung des Badewassers, welche das ganze Jahr über anfällt, so dass sich durch eine energetische Sanierung der Lüftungsanlage überwiegend die Mittel- und Spitzenlast reduziert. Die zu erwartende Verteilung der Heizleistung und des Heizwärmebedarfs ergibt sich gemäß Tab. 3-8.

Tab. 3-8: Verteilung der Wärmebereitstellung, sanierter Zustand

		Grundlast	Spitzenlast	gesamt
Heizleistung	kW	700	770	1.470
Wärmebedarf	MWh _{th} /a	2.968	656	3.624

Da der über die Grundlast abzudeckende Wärmebedarf ebenfalls um 10-15 % sinkt, ändert sich auch die Energiebilanz im Grundlastbereich.

3.2.1 Basisvariante - Grundlast: Erdgas-BHKW; Spitzenlast: Erdgaskessel

Analog zu Kap. 3.1 „Wärmebereitstellung für den Bedarf im Ist-Zustand“ werden 2 BHKW mit einer elektrischen Leistung von jeweils 230 kW_{el} und einer Wärmeleistung von 2 x 360 kW_{th} installiert. Als Spitzenlastkessel wird ein Erdgaskessel mit einer thermischen Leistung von 770 kW_{th} dimensioniert. Die Energiebilanz zu der Basisvariante im sanierten Badzustand ist in Tab. 3-2 und Tab. 3-3 dargestellt.

Tab. 3-9: Energiebilanz Erdgas-BHKW, sanierter Zustand

Grundlast: 2 BHKW à 230 kW_{el}		
Elektrische Leistung BHKW	kW _{el}	460
Nennwärmeleistung BHKW	kW _{th}	700
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{Ho} /a	6.005.000
Vollbenutzungsstunden	h/a	4.240
Wärmeerzeugung	kWh _{th} /a	2.968.000
Stromerzeugung	kWh _{el} /a	1.950.000

Tab. 3-10: Energiebilanz Erdgas-Spitzenlastkessel, sanierter Zustand

Spitzenlast: Erdgaskessel		
Nennwärmeleistung	kW _{th}	770
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{Ho} /a	759.000
Vollbenutzungsstunden	h/a	850
Wärmeerzeugung	kWh _{th} /a	656.000

3.2.2 Variante 1 - Grundlast: Biogasanlage; Spitzenlast: Erdgaskessel

Während im unsanierten Zustand zusätzlich zu der Biogasanlage noch ein kleiner Erdgaskessel bzw. Holzhackschnitzelkessel benötigt wird, macht nach Erneuerung der Lüftungsanlage in Moby Dick ein zusätzlicher Grundlastkessel wenig Sinn. Es wurde angenommen, dass das Biogas-BHKW mit 400 kW_{th} und 8.000 Vollbenutzungsstunden den Wärmebedarf im Grundlastbereich bereits zu ca. 85% abdecken kann. Für die verbleibenden 15% wurde in diesem Fall der Spitzenlastkessel um die Differenz von 300 kW größer dimensioniert (1.070 kW_{th}), so dass er den restlichen Grundlastwärmebedarf mit abdecken kann.

Da kein zweiter Grundlastkessel zum Einsatz kommt, gibt es im sanierten Zustand nur noch eine Biogas-Variante.

Die Energiebilanz zu Variante 1 ist in Tab. 3-11 und Tab. 3-12 dargestellt.

Tab. 3-11: Energiebilanz Biogas-BHKW, sanierter Zustand

Grundlast: Biogas-BHKW		
elektrische Leistung BHKW	kW_{el}	470
thermische Leistung BHKW	kW_{th}	565
nutzbarer Anteil Moby Dick	kW_{th}	400
Brennstoffbedarf Biogas	kWh_{Ho}/a	11.268.000
Substratbedarf Maissilage	t_{FM}^*/a	10.800
Vollbenutzungsstunden	h/a	8.000
Wärmeerzeugung	kWh_{th}/a	4.520.000
nutzbarer Anteil Moby Dick	kWh_{th}/a	2.545.000
Stromerzeugung	kWh_{el}/a	3.758.000

* t_{FM} = Tonnen Frischmasse, Trockensubstanzgehalt ca. 35 %

Tab. 3-12: Energiebilanz Erdgas-Spitzenlastkessel, sanierter Zustand

Spitzenlast: Erdgaskessel		
Nennwärmeleistung	kW_{th}	1.070
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh_{Ho}/a	1.249.000
Vollbenutzungsstunden	h/a	1.010
Wärmeerzeugung	kWh_{th}/a	1.079.000

3.2.3 Variante 2 - Grundlast: Holzhackschnitzelanlage; Spitzenlast: Erdgaskessel

In Variante 2 wird der Grundlastbereich über einen Holzhackschnitzelkessel abgedeckt, der im Vergleich zum unsanierten Zustand allerdings einen geringeren Wärmebedarf abdecken muss und daher mit weniger Vollbenutzungsstunden läuft. Der Spitzenlastkessel wird analog zu der Basisvariante mit $770 kW_{th}$ ausgelegt. Die Energiebilanz zu Variante 2 ist in Tab. 3-13 und Tab. 3-14 abgebildet.

Tab. 3-13: Energiebilanz Holzhackschnitzelanlage, sanierter Zustand

Grundlast: Holzhackschnitzelanlage (HHS)		
Nennwärmeleistung HHS	kW_{th}	700
Brennstoffbedarf HHS	Sm^3/a	4.370
Vollbenutzungsstunden	h/a	4.240
Wärmeerzeugung	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	2.968.000

* Sm^3 = Schüttkubikmeter

Tab. 3-14: Energiebilanz Erdgas-Spitzenlastkessel, sanierter Zustand

Spitzenlast: Erdgaskessel		
Nennwärmeleistung	kW_{th}	770
Brennstoffbedarf Erdgas	$\text{kWh}_{\text{Ho}}/\text{a}$	759.000
Vollbenutzungsstunden	h/a	850
Wärmeerzeugung	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	656.000

4 Energiebilanz

4.1 Wärmetechnisch unsaniertes Bad

Die Energiebilanz im Variantenvergleich ist in Tab. 4-1 dargestellt:

Tab. 4-1: Energiebilanz im Variantenvergleich

		Basisvar.	Var. 1	Var. 2	Var. 3
Elektrische Leistung					
Erdgas-BHKW	kW_{el}	460	-	-	-
Biogas-BHKW	kW_{el}	-	470	470	-
Thermische Leistung					
Erdgas-BHKW	kW_{th}	700	-	-	-
Biogas-BHKW, gesamt	kW_{th}	-	565	565	-
Biogas-BHKW, für Moby Dick nutzbarer Anteil	kW_{th}	-	400	400	-
Erdgaskessel	kW_{th}	-	300	-	-
Holzhackschnitzelanlage	kW_{th}	-	-	300	700
Erdgas-Spitzenlastkessel	kW_{th}	1.150	1.150	1.150	1.150
Thermische Leistung gesamt	kW_{th}	1.850	1.850	1.850	1.850
Brennstoffbedarf					
Erdgas, Erdgas-BHKW	$\text{kWh}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{a}$	7.506.000	-	-	-
Biogas, Biogas-BHKW	$\text{kWh}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{a}$	-	11.268.000	11.268.000	-
Substratbedarf Maissilage	t_{FM}^*/a	-	10.800	10.800	-
Erdgas, Erdgaskessel	$\text{kWh}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{a}$	-	829.000	-	-
Brennstoffbedarf HHS	Sm^3/a	-	-	1.050	5.460
Erdgas, Spitzenlastkessel	$\text{kWh}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{a}$	1.985.000	1.985.000	1.985.000	1.985.000
Vollbenutzungsstunden					
Erdgas-BHKW	h/a	5.300	-	-	-
Biogas-BHKW	h/a	-	8.000	8.000	-
Erdgaskessel	h/a	-	2.390	-	-
Holzhackschnitzelanlage	h/a	-	-	2.390	5.300
Erdgas-Spitzenlastkessel	h/a	1.490	1.490	1.490	1.490
Wärmeerzeugung					
Erdgas-BHKW	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	3.710.000	-	-	-
Biogas-BHKW, gesamt	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	-	4.520.000	4.520.000	-
Biogas-BHKW, für Moby Dick nutzbar Anteil	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	-	2.994.000	2.994.000	-
Erdgaskessel	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	-	716.000	-	-
Holzhackschnitzelanlage	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	-	-	716.000	3.710.000
Erdgas-Spitzenlastkessel	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	1.714.000	1.714.000	1.714.000	1.714.000
Wärmeerzeugung gesamt	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	5.424.000	5.424.000	5.424.000	5.424.000
Stromerzeugung					
Erdgas-BHKW	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$	2.438.000	-	-	-
Biogas-BHKW	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$	-	3.758.000	3.758.000	-

4.2 Wärmetechnisch saniertes Bad

Tab. 4-2: Energiebilanz im Variantenvergleich, sanierter Zustand

		Basisvariante	Variante 1	Variante 2
Elektrische Leistung				
Erdgas-BHKW	kW _{el}	460	-	-
Biogas-BHKW	kW _{el}	-	470	-
Thermische Leistung				
Erdgas-BHKW	kW _{th}	700	-	-
Biogas-BHKW, gesamt	kW _{th}	-	565	-
Biogas-BHKW, für Moby Dick nutzbarer Anteil	kW _{th}	-	400	-
Holzhackschnitzelanlage	kW _{th}	-	-	700
Erdgas-Spitzenlastkessel	kW _{th}	770	1.070	770
Thermische Leistung gesamt	kW_{th}	1.470	1.470	1.470
Brennstoffbedarf				
Erdgas, Erdgas-BHKW	kWh _{Ho} /a	6.005.000	-	-
Biogas, Biogas-BHKW	kWh _{Ho} /a	-	11.268.000	-
Substratbedarf Maissilage	t _{FM} [*] /a	-	10.800	-
Brennstoffbedarf HHS	Sm ³ /a	-	-	4.370
Erdgas, Spitzenlastkessel	kWh _{Ho} /a	759.000	1.249.000	759.000
Vollbenutzungsstunden				
Erdgas-BHKW	h/a	4.240	-	-
Biogas-BHKW	h/a	-	8.000	-
Holzhackschnitzelanlage	h/a	-	-	4.240
Erdgas-Spitzenlastkessel	h/a	850	1.010	850
Wärmeerzeugung				
Erdgas-BHKW	kWh _{th} /a	2.968.000	-	-
Biogas-BHKW, gesamt	kWh _{th} /a	-	4.520.000	-
Biogas-BHKW, für Moby Dick nutzbarer Anteil	kWh _{th} /a	-	2.545.000	-
Holzhackschnitzelanlage	kWh _{th} /a	-	-	2.968.000
Erdgas-Spitzenlastkessel	kWh _{th} /a	656.000	1.079.000	656.000
Wärmeerzeugung gesamt	kWh_{th}/a	3.624.000	3.624.000	3.624.000
Stromerzeugung				
Erdgas-BHKW	kWh _{el} /a	1.950.000	-	-
Biogas-BHKW	kWh _{el} /a	-	3.758.000	-

5 Wirtschaftlichkeit

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die verschiedenen Varianten gegenübergestellt und deren Wärmepreis ermittelt.

Der Erdgaspreis ergibt sich aus dem Arbeitspreis und dem Grundpreis. Der Arbeitspreis beträgt z.Z. 3,44 Ct/kWh_{Ho}, der Grundpreis wurde mit 7,71 €/kW*a angesetzt. Der Strompreis für Moby Dick beträgt 6,1 Ct/kWh_{el}.

Für die einzelnen Anlagen werden unterschiedliche Abschreibungsdauern angesetzt. Während Erdgas- und Holzhackschnitzelkessel mit 20 Jahren kalkuliert werden, wird für die BHKW mit einer Abschreibungsdauer von 15 Jahren gerechnet.

Die Einspeisevergütung für den von den BHKW produzierten Strom unterscheidet sich nach Art des BHKW. Der im **Erdgas-BHKW** (Basisvariante) produzierte Strom wird nach den Bestimmungen des Kraft-Wärmekopplungs-Gesetzes vergütet (s. Tab. 5-1).

Tab. 5-1: Vergütungssatz nach dem KWK-Gesetz

Stromvergütung Erdgas-BHKW, 2x 230 kW_{el}	Ct/kWh _{el}
EEX	3,5 ⁽¹⁾
Vermiedene Netznutzung	1,0
KWK	2,1
gesamt	6,6

⁽¹⁾ Mittelwert über die letzten 4 Quartale; Stand: November 2007

Der Strom aus dem **Biogas-BHKW** wird nach den Kriterien des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG) vergütet (s. Tab. 5-2). Der Grundvergütungssatz staffelt sich nach der Anlagengröße und ist um 1,5 % degressiv, d.h. bei Inbetriebnahme der Anlage im Jahr 2008 liegt die Grundvergütung um 1,5% niedriger als bei Inbetriebnahme im Jahr 2007. Im vorliegenden Fall wurde mit dem Vergütungssatz für das Jahr 2008 kalkuliert. Derzeit wird an einer Novellierung des EEG gearbeitet, welches voraussichtlich zum 1.1.2009 in Kraft treten wird. Dadurch ist auch mit einer Änderung der derzeitigen Vergütungssätze zu rechnen.

Der Zuschlag für Kraft-Wärme-Kopplung, also die Nutzung der entstehenden Abwärme, beträgt nach dem aktuellen EEG 2 Ct/kWh_{el}. Dieser Bonus fällt aber nur für den Teil der Wärme an, die tatsächlich genutzt wird, und zudem nur für den Anteil, dessen Nutzung außerhalb der Biogasanlage erfolgt. Für die Fermenterheizung (Planungswert: ca. 25 bis 28 % Eigenbedarf an der Wärmeproduktion) kann er also nicht geltend gemacht werden. Hinzu kommt ein Bonus für die Verwendung nachwachsender Rohstoffe, der ebenfalls nach der Größe der Anlage gestaffelt ist. Der Vergütungssatz ist ab dem Jahr der Inbetriebnahme für 20 Jahre garantiert.

Tab. 5-2: Einspeisevergütung für Biogas-BHKW (NawaRo-Biogasanlage)

Einspeisevergütung nach EEG 2004	Inbetriebnahme 2008 Ct/kWh _{el}
Grundvergütung	
...bis 150 kW	10,83
...bis 500 kW	9,32
...bis 5 MW	8,38
Zuschlag für Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	2,00
Zuschlag für Einsatz nachwachsender Rohstoffe, Gülle und Schlempe aus bäuerlichen Brennereien	
...bis 500 kW	6,00
...bis 5 MW (nicht Holz)	4,00

Die Vergütung berechnet sich nicht nach der Nennleistung der Anlage, sondern anhand der theoretisch möglichen Vollbenutzungstunden ($24 \text{ h/d} * 365 \text{ d/a} = 8.760 \text{ h/a}$). Z.B. wird für die Grundvergütung der Anteil der Stromproduktion von $150 \text{ kW} * 8.760 \text{ h/a} = 1.314.000 \text{ kWh/a}$ nach dem Vergütungssatz bis 150 kW vergütet.

Aus Gründen der Vereinfachung wurde davon ausgegangen, dass in der Biogasanlage Silomais als Substrat eingesetzt wird. Durch Biogasanlagen sollen jedoch keinesfalls Mais-Monokulturen gefördert werden. Eine Vielzahl anderer Substrate wie z.B. Getreideganzpflanzensilage, Futterrüben, Ackergras etc. eignen sich ebenso für den Einsatz in der Biogasanlage. Zudem kann die Gülle aus umliegenden Viehhaltungsbetrieben eingesetzt werden, für die im Allgemeinen keine Substratkosten anfallen. Für den Silomais wurde mit einem Preis von $28 \text{ €/t}_{\text{FM}}$ kalkuliert. Im Gegenzug für den fairen Preis kann in den Lieferverträgen mit den Landwirten festgelegt werden, dass diese die Gärreste wieder zurücknehmen. Dadurch entstehen für den Betreiber keine Entsorgungskosten und auch die Nährstoffkreisläufe werden weitgehend geschlossen. Zu beachten ist aber, dass der Getreidepreis in letzter Zeit stark gestiegen ist, und daher auch der Preis für Silomais zukünftig noch ansteigen kann.

In den Investitionskosten der Biogas-Varianten sind die Investitionskosten für eine Fernwärmetrasse von 1.000 m inbegriffen, deren Abschreibungsdauer mit 30 Jahren angesetzt wurde.

Für die **Holzhackschnitzelanlagen** wurde mit Brennstoffkosten von $2,5 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$ kalkuliert. Dieses Verfahren ist genauer als ein Preis je Schüttkubikmeter, da die Hackschnitzelqualität recht unterschiedlich sein kann (z.B. schwankender Wassergehalt im Brennstoff). In den Lieferantenverträgen wird üblicherweise vereinbart, dass die Holzhackschnitzel über einem Wärmemengenzähler hinter dem Holzhackschnitzelkessel abgerechnet werden.

5.1 Wärmetechnisch unsaniertes Bad

Die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Varianten ist in Tab. 5-3 gegenübergestellt. Alle Angaben verstehen sich ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer von 19%. Die Investitionskosten sind inklusive Planungs- und Montagekosten, und im Fall der Holzhackschnitzelkessel inklusive der benötigten Lagercontainer.

Im Falle der Biogasanlage sind etwaige Grundstückskosten nicht mit berücksichtigt. Für alle Varianten wurde ein Erdgaskessel zur Spitzenlastabdeckung (1.150 kW_{th}) eingesetzt, so dass sich die Kosten nur im Grundlastbereich (700 kW_{th}) unterscheiden.

Tab. 5-3: Wirtschaftlichkeit der Wärmebereitstellungsvarianten

		Basisvariante	Var. 1	Var. 2	Var. 3
Grundlast		Erneuerung BHKW	Biogas	Biogas	HHS
			Erdgaskessel	HHS	
Spitzenlast		Erdgaskessel			
Investitionskosten					
Erdgas-BHKW	€	461.300	-	-	-
Erdgaskessel	€	-	36.400	-	-
Biogasanlage mit BHKW + Fernwärmeleitung	€	-	2.363.300	2.363.300	-
Holzhackschnitzelanlage + Lager; Containerbauweise	€	-	-	271.700	434.500
Spitzenlastkessel (Erdgas)	€	60.900	60.900	60.900	60.900
Investitionskosten gesamt	€	522.200	2.460.600	2.695.900	495.400
Kapitalkosten	€/a	49.500	226.200	243.500	37.700
Verbrauchskosten	€/a	348.100	436.500	418.100	175.400
Betriebskosten	€/a	36.200	100.300	105.000	11.100
Jahresgesamtkosten	€/a	433.800	763.000	766.600	224.200
Gutschrift Stromvergütung	€/a	160.900	649.600	649.600	-
Rückerstattung Energiesteuer	€/a	41.300	-	-	-
Jahresgesamtkosten abzügl. Einnahmen aus Stromvergütung	€/a	231.600	113.400	117.000	224.200
Jahreswärmeverbrauch	kWh _{th} /a	5.424.000	5.424.000	5.424.000	5.424.000
Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	4,3	2,1	2,2	4,1

Es wird deutlich, dass die Basisvariante, die Erneuerung der Erdgas-BHKW, die teuerste Variante darstellt. Die Investitionskosten liegen für beide BHKW zusammen bei

ca. 461.300 €. Die Jahresgesamtkosten aus Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten belaufen sich auf 433.800 €/a vor Abzug der Stromeinspeisevergütung. Bei den Verbrauchskosten schlagen insbesondere die Erdgaskosten zu Buche. Nach Abzug der Einspeisevergütung für den erzeugten Strom in Höhe von 160.900 €/a sowie der Energiesteuerrückerstattung von 41.300 €/a betragen die Jahresgesamtkosten noch 231.600 €/a, so dass der Wärmepreis von 4,3 Ct/kWh_{th} im Variantenvergleich am höchsten liegt.

Günstig erscheinen hingegen die Biogas-Varianten 1 und 2. Darin wurde eine Biogasanlage mit einer elektrischen Leistung von 470 kW_{el} betrachtet. Die thermische Leistung beträgt 565 kW_{th}, wovon (aufgrund des Eigenbedarfs der Biogasanlage von ca. 23% und Leitungsverlusten in der Fernwärmeleitung von ca. 8 %) etwa 400 kW_{th} zur Beheizung des Freizeitbads zur Verfügung stehen. In Variante 1 werden die verbleibenden 300 kW_{th} über einen Erdgaskessel realisiert, in Variante 2 über einen Holzhackschnitzelkessel. In Variante 1 liegen zwar die Investitionskosten niedriger als in Variante 2, dafür ist aber der Betrieb des Erdgaskessels mit höheren Brennstoffkosten verbunden als der Betrieb des Holzhackschnitzelkessels. Daher unterscheidet sich der Wärmepreis beider Varianten letztendlich nur geringfügig. Die Kombination von Biogasanlage und Erdgaskessel läuft auf einen Wärmepreis von 2,1 Ct/kWh_{th} hinaus, bei der Kombination aus Biogasanlage und Holzhackschnitzelkessel beträgt er 2,2 Ct/kWh_{th}.

Der ausschließliche Betrieb eines Holzhackschnitzelkessels für den Grundlastbereich von 700 kW_{th} liegt mit Investitionskosten von 434.500 € für die Kesselanlage in Containerbauweise inklusive 3 Lagercontainern mit Austragungsrichtungen in einer ähnlichen Größenordnung wie die Erdgas-BHKW in der Basisvariante. Aufgrund der geringeren Verbrauchskosten bedingt durch den vergleichsweise günstigen Brennstoff Holzhackschnitzel liegt der Wärmepreis letztendlich jedoch nur bei 4,1 Ct/kWh_{th}. Verglichen mit den beiden Biogas-Varianten ist der Wärmepreis für die reine Holzhackschnitzel-Variante zwar höher, insgesamt aber noch günstiger als der Betrieb der Erdgas-BHKW.

Zu beachten ist, dass in allen Varianten auch noch der Betrieb des Erdgas-Spitzenlastkessels verrechnet ist. Ohne diesen würden die Biogas-Varianten sogar noch positiver abschneiden. Allerdings wird Moby Dick nicht selbst Betreiber der Biogasanlage sein, und daher nicht von den Einnahmen durch die Stromerzeugung profitieren, sondern nur von dem individuell ausgehandelten günstigen Wärmepreis. Dadurch wird der tatsächliche Wärmepreis vermutlich von dem hier ermittelten abweichen.

Alternative: Geothermie

Langfristig kann die Wärmeversorgung in Rülzheim mittels Geothermie erfolgen. Der Wärmepreis hierfür kann individuell sehr unterschiedlich sein, und wird nach betriebs-

wirtschaftlichen Gesichtspunkten vom Kraftwerksbetreiber festgelegt. Um konkurrenzfähig zu sein, muss der Preis niedriger liegen, als der aktuelle Wärmepreis, für Moby Dick also bei weniger als 3,68 Ct/kWh, bzw. niedriger noch als eine evtl. zwischenzeitlich gefundene alternative Wärmequelle.

5.2 Wärmetechnisch saniertes Bad

Tab. 5-4: Wirtschaftlichkeit der Wärmebereitstellungsvarianten, sanierter Zustand

		Basis-variante	Var. 1	Var. 2
Grundlast		Erneuerung BHKW	Biogas	HHS
Spitzenlast		Erdgaskessel		
Investitionskosten				
Erdgas-BHKW	€	461.000	-	-
Biogasanlage mit BHKW + Fernwärmeleitung	€	-	2.363.000	-
Holzhackschnitzelanlage + Lager; Containerbauweise	€	-	-	434.000
Spitzenlastkessel (Erdgas)	€	50.000	57.000	50.000
Investitionskosten gesamt	€	511.000	2.420.000	484.000
Kapitalkosten	€/a	48.600	222.800	36.800
Verbrauchskosten	€/a	250.500	374.000	110.300
Betriebskosten	€/a	28.800	97.900	9.500
Jahresgesamtkosten	€/a	327.900	694.700	156.600
Gutschrift Stromvergütung	€/a	128.700	641.500	-
Rückerstattung Energiesteuer	€/a	33.000	-	-
Jahresgesamtkosten abzügl. Einnahmen aus Stromvergütung	€/a	166.200	53.200	156.600
Jahreswärmeverbrauch	kWh _{th} /a	3.624.000	3.624.000	3.624.000
Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	4,6	1,5	4,3

Im sanierten Zustand verbleiben nur noch drei Varianten, da anders als im unsanierten Bad-Zustand zusätzlich zu der Biogasanlage kein weiterer Grundlastkessel (Erdgas, HHS) eingesetzt wird. Im direkten Variantenvergleich wird deutlich, dass auch hier die Biogas-Variante (Variante 1) mit einem Wärmepreis von 1,5 Ct/kWh_{th} am günstigsten abschneidet. Den Jahresgesamtkosten von 694.700 €/a für Biogasanlage mit Biogas-BHKW inkl. Fernwärmeleitung zu Moby Dick von ca. 1 km sowie Erdgas-

Spitzenlastkessel stehen Einnahmen durch die Stromeinspeisevergütung nach dem EEG Investitionskosten in Höhe von ca. 641.500 €/a gegenüber. Insgesamt belaufen sich die Jahresgesamtkosten nach Abzug der Einnahmen nur noch auf 53.200 €/a.

Da bei dem sanierten Freizeitbad die nach Abzug des Prozesswärmebedarfs verfügbare Nahwärme nur zu ca. 85% genutzt werden kann, müssen die restlichen 15% über den Notkühler bei der Biogasanlage weggekühlt werden. Der KWK-Bonus wird nur für den tatsächlich genutzten Wärmeanteil gezahlt, so dass die Stromvergütung hier etwas niedriger ist als im unsanierten Zustand von Moby Dick.

In Variante 2, dem Betrieb einer Holzhackschnitzelanlage mit einem Erdgas-Spitzenlastkessel, entstehen Jahresgesamtkosten von 156.600 €/a. Bei dem Gesamtwärmeverbrauch von ca. 3,6 MWh_{th}/a beträgt der Wärmepreis 4,3 Ct/kWh_{th}.

Der Betrieb der Erdgas-BHKW (Basisvariante) wird im sanierten Badzustand unwirtschaftlicher als ohne Sanierung des Moby Dick, da zwar im Grundlastbereich die selbe Leistung benötigt wird, die BHKW aber gleichzeitig aufgrund des gesunkenen Wärmebedarfs weniger Vollbenutzungsstunden haben und damit auch geringere Einnahmen aus der Stromvergütung erzielen. Die Jahresgesamtkosten für die Erdgas-BHKW-Variante in Kombination mit einem Erdgas-Spitzenlastkessel betragen 327.900 € und liegen nach Verrechnung mit den Einnahmen aus der Stromvergütung und der Energiesteuerrückerstattung noch bei 166.200 €/a, so dass der Wärmepreis mit 4,6 Ct/kWh_{th} noch etwas höher ist als der der Holzhackschnitzelvariante.

6 Ausbau der Fernwärme

Eine eigenständige Wärmeversorgung des Freizeitbades bedeutet für die Gemeindewerke Rülzheim einen Umsatzrückgang von ca. 177.500 €, so dass anstelle von Moby Dick neue Kunden für das bestehende Nahwärmenetz gefunden werden müssen. Da aber bisher ohnehin nur öffentliche Gebäude an das Nahwärmenetz angeschlossen sind, verfügt Rülzheim über zahlreiche potentielle Neukunden. Bei einem angenommenen Wärmeenergieverbrauch im Altbaubestand von ca. 180 kWh/m²*a und einer Fläche von 120 m² entsprechen die durch Moby Dick entfallenden 5.145 MWh/a ca. 238 Haushalten.

Dem „Fernwärmekonzept für eine geothermische Wärmeversorgung in der Gemeinde Rülzheim“ (TSB, 2006) ist die folgende Aufstellung zu vorhandenen Heizkesseln in Rülzheim entnommen:

Tab. 6-1: Altersstruktur und Leistungsverteilung der messpflichtigen Feuerstätten

Baujahr	bis 78	79 - 82	83 - 88/90	88/90 - 97	98 - 03	04	Summe
11 – 25 kW	30	60	194	588	226	13	1.111
25 – 50 kW	117	108	81	119	65	9	499
50 - 100 kW	19	6	5	10	8	2	50
Über 100 kW	8	1	2	8	1	1	21
Summe	174	175	282	725	300	25	1.681

Demnach sind in der Gemeinde Rülzheim ohnehin zahlreiche Heizkessel sanierungsbedürftig. Ausgehend vom Stand 2006 sind ca. 1/3 der Anlagen älter als 20 Jahre, ca. 1/5 sogar älter als 25 Jahre, so dass eine Kesselerneuerung ansteht.

Für diese Haushalte bietet sich der Anschluss an das Nahwärmenetz (s. Abb. 6-1) besonders an.

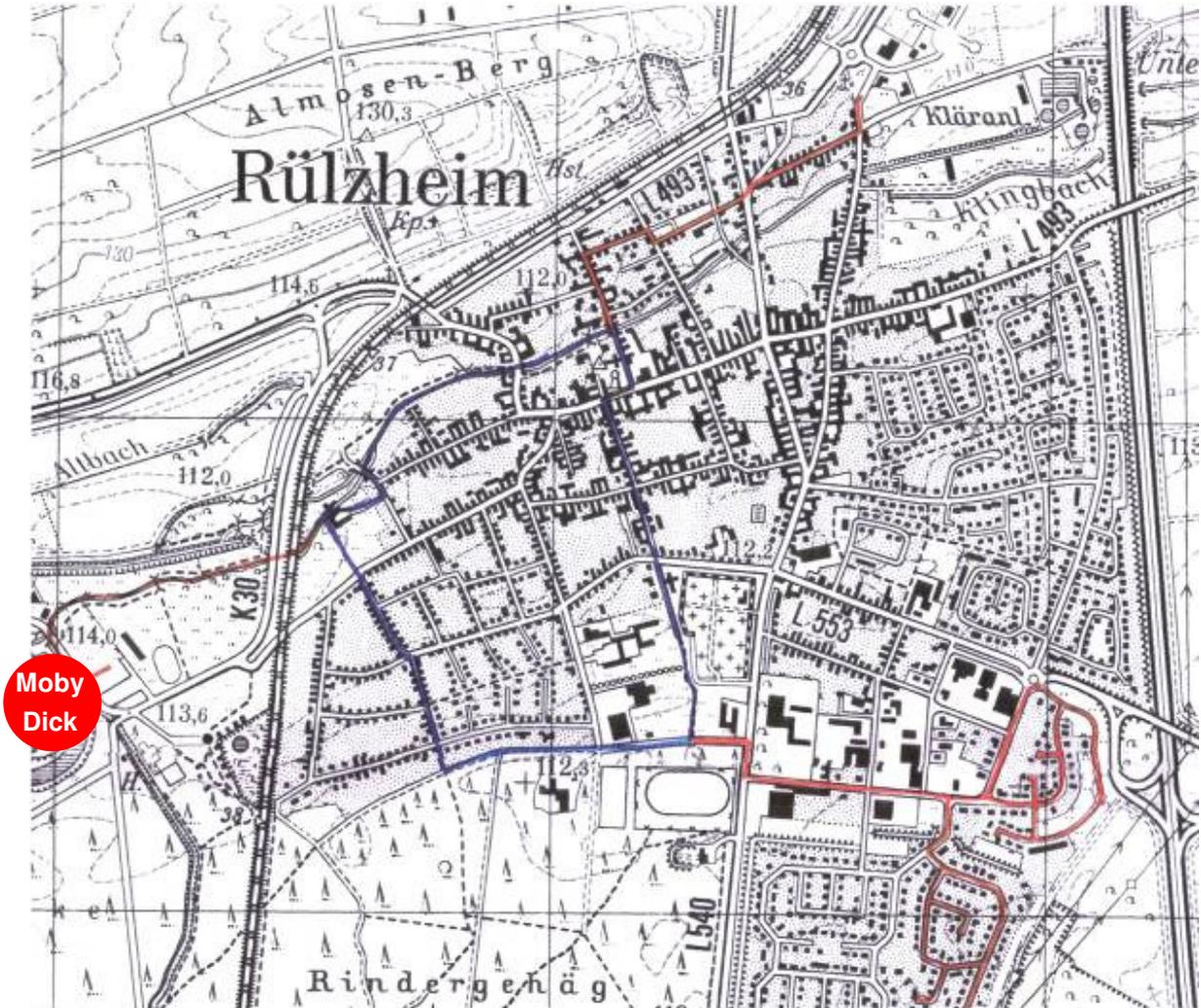


Abb. 6-1: Katastrauszug von Rülzheim mit Fernwärmeleitungsverlauf
(rote Linien: Nahwärme Zweirohr-System, blaue Linien: Nahwärme Einrohr-System)

7 Fazit

Der Energiebedarf des Freizeitbades Moby Dick liegt im Vergleich mit Literaturwerten im mittleren Bereich. Dennoch verfügt das Freizeitbad noch über deutliche Einsparpotentiale. Bevor über günstigere Wärmebereitstellungsmöglichkeiten nachgedacht wird, sollten daher die Möglichkeiten für eine Energieeinsparung in dem Freizeitbad genutzt werden. Zu empfehlen ist insbesondere die Erneuerung der Lüftungsanlage, da sie derzeit noch weitgehend ohne Wärmerückgewinnung läuft.

Nach Ermittlung von Kannewischer lässt sich allein durch neue Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ca. $\frac{1}{3}$ des aktuellen Wärmebedarfs einsparen, und somit Betriebskosten von ca. 66.000 €/a.

Der aktuelle Wärmepreis von 3,68 Ct/kWh_{th} ist bereits stark subventioniert. Durch den Betrieb einer Biogasanlage ließe sich der Wärmepreis jedoch noch weiter senken.

Im Wirtschaftlichkeitsvergleich der Varianten ergaben sich für die Erneuerung der Wärmeversorgung auf Basis eines Erdgas-BHKW die höchsten Jahreskosten. Der Wärmepreis beträgt 4,3 Ct/kWh_{th}. Beim Einsatz eines Holzhackschnitzelkessels zur Grundlastabdeckung liegen die Jahreskosten etwas niedriger und der Wärmepreis beträgt 4,1 Ct/kWh_{th}. Die günstigsten Jahreskosten erzielen die Varianten auf Basis von Biogas, was vor allem auf die lukrative Stromeinspeisevergütung nach dem EEG zurückzuführen ist. Der Wärmepreis liegt hier bei 2,1 bzw. 2,2 Ct/kWh_{th}.

Für den sanierten Zustand des Bades ergibt sich dieselbe Rangfolge des Wärmepreises. Auch hier schneidet die Biogasanlage am günstigsten ab, mit einem Wärmepreis der mit 1,5 Ct/kWh_{th} nur ca. $\frac{1}{3}$ des Wärmepreises der Hackschnitzel- (4,3 Ct/kWh_{th}) bzw. der Erdgas-BHKW-Variante (4,6 Ct/kWh_{th}) beträgt.

Der Bau einer Biogasanlage steht auch einer zukünftigen Nutzung von Geowärme nicht entgegen, da das Biogas verschiedene Nutzungsmöglichkeiten bietet. Ein Thema, das zunehmend interessant wird, ist die Aufbereitung von Biogas in Erdgasqualität mit anschließender Einspeisung ins Erdgasnetz. Derzeit sind die Kosten für solche Aufbereitungsanlagen allerdings noch relativ hoch, dass sie sich vor allem für größere Anlagen rentieren. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, umliegende Biogasanlagen über Mikrogasleitungen zu vernetzen und das Biogas an zentraler Stelle aufzubereiten.

Abschließend lässt sich festhalten, dass der Bau einer Biogasanlage in jedem Fall wirtschaftlich interessant ist.