

MODELLSTUDIE KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG FA. ZIMMER ZÄUNE, NOVIAND

Vergleichende Bewertung zwischen Holzgas-MHKW und Holz-Stirlingmotor

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

Auftragnehmer Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH
Leiter: Prof. Dr. G. Schaumann
Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz
 Telefon: 06721 / 409 229
 Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs
 Telefon: 06721 / 409 218
Telefax: 06721 / 409 129
Homepage: <http://www.tsb.fh-bingen.de>

Projektnummer: 825

Datum: 19.01.2004

Inhalt

Einleitung.....	3
1 Ist-Analyse	4
2 Wärmebedarf für die geplante Erweiterung des Betriebs.....	6
3 Wärmeversorgungsanlagen für den erweiterten Betrieb.....	7
3.1 Thermoölkessel mit Heizölföuerung.....	7
3.2 Holzhackschnitzelkessel	8
3.3 Holzvergasung und BHKW	11
3.4 Biomassekessel + Stirlingmotor	15
4 Energiebilanz.....	16
5 Kohlendioxid-Emissionsbilanz.....	20
6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	23
7 Sensitivitätsbetrachtung	34
8 Verbesserungsmöglichkeiten der Produktionsbedingungen	36
8.1 Abluftbelastung durch Imprägnierung	36
8.2 Brennstofftrocknung.....	36
9 Zusammenfassung.....	37
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	39

Einleitung

Die Firma Zimmer Zäune GmbH betreibt am Standort Novian an der Mosel ein Holzimprägnierwerk. Die Wärmeversorgung des Thermoölkessels für die Imprägnierbäder sowie die Gebäudeheizung erfolgt derzeit auf der Basis von Heizöl. Aufgrund des geplanten Neubaus einer Trockenkammer ist ein Ausbau der Wärmeversorgungskapazität erforderlich.

Die in der Produktion anfallenden naturbelassenen Holzreste müssen bisher entsorgt werden. Um die Kosten für die Wärmeversorgung zu optimieren und die Entsorgungskosten einzusparen, ist geplant, die Energieerzeugung auf Basis der im Betrieb anfallenden Holzreste aufzubauen. Hierzu wird die Variante Biomassekessel untersucht.

Zur verbesserten Brennstoffausnutzung im Vergleich zur reinen Wärmeerzeugung ist von der Firma Zimmer Zäune GmbH angedacht, eine Anlage zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) auf dem Betriebsgelände zu errichten. Der so erzeugte Strom kann zu einer im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) festgelegten Einspeisevergütung ins öffentliche Netz eingespeist werden.

Als KWK-Anlage, die auf der Biomasse Holz basiert, kommt hier das Holzvergasungsverfahren in Frage, da es im Vergleich zu anderen KWK-Anlagen auf Basis von Holz die höchsten elektrischen Wirkungsgrade erreicht. Es sind auf dem Markt noch keine standardisierten Holzvergasungsanlagen erhältlich, sodass sich diese Technologie als Pilotanlage für die Firma Zimmer Zäune GmbH als ein entsprechendes Wagnis darstellt. Außerdem wird zur Strom- und Wärmeerzeugung ein Biomassekessel mit einem Stirlingmotor untersucht.

Zunächst werden die benötigten Daten und die spezifischen Randbedingungen bei der Firma Zimmer Zäune GmbH ermittelt und in der Ist-Analyse zusammengefasst.

Die unterschiedlichen Techniken zur Holzvergasung werden vorgestellt und hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten für dieses Projekt bewertet. Im Sinne einer möglichst optimalen Brennstoffausnutzung wird eine Dimensionierung der KWK-Anlage vorgenommen und entsprechende Energie- sowie Kohlendioxid-Emissionsbilanzen erstellt.

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet für die verschiedenen Wärmeerzeugungs- und KWK-Anlagen die jährlichen Kosten aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten sowie Einnahmen aus der Stromeinspeisevergütung. Zusätzlich wird der jeweilige Wärmepreis, der die Jahresgesamtkosten auf den Jahreswärmebedarf bezieht, berechnet.

In einem weiteren Schritt wird geprüft, ob und in welchem Umfang, die bei der Produktion belastete Abluft als Verbrennungsluft eingesetzt werden kann und somit die Geruchsemissionen reduziert werden können. Außerdem wird untersucht, wie und in welchem Umfang die zur Verfügung stehende Abwärme zur Brennstofftrocknung eingesetzt werden kann.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, die in einer abschließenden Zusammenfassung dargestellt sind, können als Grundlage für die weiterführenden Planungen zur Umsetzung einer KWK-Anlage auf der Basis von Holz bei der Firma Zimmer Zäune GmbH genutzt werden.

1 Ist-Analyse

Das Steinkohleteeröl zur Holzimprägnierung wird zurzeit in drei Imprägnierbädern durch einen mit Heizöl befeuerten Thermoölkessel auf 110°C erwärmt. Der Thermoölkreislauf wird mit einer Vorlauftemperatur von 270°C und einer Rücklauftemperatur von 240°C betrieben.

Thermoölkessel	
Fabrikat	Fa. Heiler Reilingen
Nennwärmeleistung	232 kW _{th}
Thermoöltemperatur	300 °C
Volumenstrom	18 m ³ /h
Brenner	
Fabrikat	Weishaupt
Bezeichnung	L3Z-A
Baujahr	1987
Brennstoffdurchsatz	9 - 30 kg/h

Tabelle 1-1 Daten zur installierten Heizungsanlage

Der Jahresheizwärmebedarf berechnet sich wie folgt:

Heizölverbrauch	100.000 l/a
Heizwert	10,03 kWh _{Hu} /l
Jahresnutzungsgrad	75 %
Heizwärmebedarf	752.250 kWh _{th} /a
installierte Nennwärmeleistung Thermoölkessel	232 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	3.242 h/a

Aus einem durchschnittlichen Heizölverbrauch von 100.000 l/a ergibt sich unter Annahme eines Jahresnutzungsgrads des Thermoölkessels von 75 % ein Wärmebedarf von ca. 752 MWh_{th}/a. Die Vollbenutzungsstunden berechnen sich bezogen auf die Nennwärmeleistung des Thermoölkessels mit 232 kW_{th} zu 3.242 h/a.

Es fallen zur Zeit etwa 19.200 Sm³/a Restholz in Form von Säge- bzw. Schälspänen an. Dieses Restholz hat einen Wassergehalt von ca. 50 % mit einer Schüttdichte von rund 200 kg/Sm³. Daraus resultiert eine anfallende Holzmenge von rund 3.840 t/a. Bei aktueller Holzfeuchte hat das Restholz einen Heizwert von ungefähr 2,3 kWh_{HU}/kg. Es stehen somit rund 8.725 MWh_{HU}/a Brennstoffenergie in Form von Holzspänen zur Verfügung.

Restholzmenge pro Tag	80 Sm ³ /d
Restholzmenge pro Jahr	19.200 Sm ³ /a
Wassergehalt w	50 %
Schüttdichte (w = 50 %)	200 kg/Sm ³
Restholzmenge	3.840 t/a
Heizwert (w = 50 %)	2,3 kWh _{HU} /kg
Brennstoffenergie	8.725 MWh _{HU} /a

Zusätzlich fallen etwa 144 t/a Kappstücke an, die bei Bedarf auch energetisch verwertet werden können.

Der jährliche Stromverbrauch der Firma Zimmer Zäune GmbH beträgt nach vorliegenden Daten von 2000 und 2001 durchschnittlich 252.000 kWh_{el}/a. Die durchschnittliche Monatshöchstleistung liegt bei etwa 130 kW_{el}.

2 Wärmebedarf für die geplante Erweiterung des Betriebs

Derzeit befinden sich drei Imprägnierbäder im Betrieb, die durch zwei weitere ergänzt werden sollen. Um den dazugehörigen Wärmebedarf abdecken zu können, ist ein Thermoölkessel mit einer höheren thermischen Leistung erforderlich.

Zur Steigerung der Effizienz ist der Bau einer Trockenkammer zur Holz Trocknung vorgesehen. Durch den geplanten Neubau einer Trockenkammer kann die vorhandene Heizanlage den höheren Wärmebedarf nicht mehr abdecken, sodass eine neue Wärmeversorgung erforderlich wird. Da bisher das Restholz in Form von Sägespänen und Kappstücken unter finanziellem Aufwand entsorgt wird, entstand die Überlegung, die neue Wärmeversorgung auf dem zur Verfügung stehenden Restholz aufzubauen.

Für die Auslegung einer neuen Heizanlage wird der Wärmebedarf nach der Erweiterung benötigt. Hierzu wurde in Absprache mit der Firma Zimmer Zäune GmbH der Wärmebedarf wie folgt ermittelt.

Zur Erwärmung des Teeröls ist eine etwas höhere Wärmeleistung des Thermoölkessels von ca. 400 kW_{th} vorgesehen, um den Wärmebedarf zur Teerölaufheizung mit 1.000 MWh_{th}/a abdecken zu können. Die Thermoöltemperatur beträgt auch hier 300°C.

Die Trockenkammer benötigt in der Aufheizphase eine maximale Wärmeleistung von etwa 500 kW_{th}. Während der Trocknung ist eine Wärmeleistung von ca. 100 kW_{th} erforderlich, um das notwendige Temperaturniveau in der Trockenkammer zu halten.

Da die Teerölerwärmung tagsüber und die Trockenkammer vor allem nachts und am Wochenende betrieben wird, reicht eine Gesamtwärmeleistung von 500 kW_{th} aus. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die Trockenkammer im Auslegungsfall tagsüber maximal 100 kW_{th} zur Haltung der Trockenkammertemperatur benötigen wird.

Wärmebedarf Teerölaufheizung	1.000 MWh _{th} /a
Wärmeleistungsbedarf Teerölaufheizung	400 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden Teerölaufheizung	2.500 h/a
Wärmeleistungsbedarf Aufheizung Trockenkammer	500 kW _{th}
Wärmeleistungsbedarf Trocknung Trockenkammer	100 kW _{th}
durchschnittliche Vollbenutzungsstunden Trockenkammer	3.900 h/a
Wärmebedarf Trockenkammer	1.950 MWh _{th} /a
Wärmeleistungsbedarf gesamt	500 kW _{th}
Wärmebedarf gesamt	2.950 MWh _{th} /a

3 Wärmeversorgungsanlagen für den erweiterten Betrieb

Für die Wärmeversorgung des Betriebs nach der Erweiterung wird ein heizölfuehrter Thermoölkessel mit der entsprechenden Wärmeleistung untersucht.

Im Vergleich dazu wird ein Thermoölkessel zur Verfeuerung von Holzhackschnitzel betrachtet, in dem die Sägespäne zur Wärmeversorgung verfeuert werden können. Zur Teerölerwärmung wird ein Biomassekessel mit ca. 400 kW_{th} betrachtet, während für die Wärmeerzeugung zur Teerölerwärmung und für die Trockenkammer ein Biomassekessel mit etwa 500 kW_{th} zu Grunde gelegt wird.

Zur effizienteren Brennstoffausnutzung im Vergleich zur reinen Wärmeerzeugung ist von der Firma Zimmer Zäune GmbH angedacht, eine KWK-Anlage (Kraft-Wärme-Kopplungsanlage) auf dem Betriebsgelände zu errichten. Verhältnismäßig hohe elektrische Wirkungsgrade weist eine Holzvergasung in Verbindung mit einem BHKW auf. Außerdem wird ein Stirlingmotor betrachtet, der die benötigte Wärme aus einer Holzfeuerung erhält.

3.1 Thermoölkessel mit Heizölfuehrung

Da für die bisherige Wärmeversorgung ein heizölfuehrter Thermoölkessel installiert ist, werden für die beiden Erweiterungen mit einem höheren Wärmebedarf ebenfalls heizölfuehrte Thermoölkessel betrachtet.

Diese Wärmeversorgungen dienen als Vergleichsgrundlage für die weiteren Varianten in der Kohlendioxid-Emissionsbilanz und der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

3.2 Holzhackschnitzelkessel

In der Regel wird ein Biomassekessel bivalent mit einem konventionellen Heizkessel betrieben. Dazu wird der Biomassekessel zur Abdeckung einer Grund- und Mittellast ausgelegt, während ein Kessel zur Verfeuerung von fossilem Brennstoff als Spitzenlastkessel eingesetzt wird. Dieser kann eine Notversorgung gewährleisten. Da in der Firma Zimmer Zäune GmbH der Brennstoff vor Ort ist, kann der Biomassekessel monovalent betrieben werden. Außerdem kann der Kessel zusätzlich mit einem aufschwenkbaren Heizölbrenner ausgestattet werden, sodass die Wärmeversorgung gewährleistet ist. Da bisher Heizöl als Brennstoff für den Thermoölkessel eingesetzt wurde, stehen Heizöltanks für den Ölbrenner zur Verfügung. Allerdings ist es nicht erforderlich, die derzeitige Heizölmenge zu bevorraten.

Die Sägespäne sollten in einem Lager, das möglichst nahe am Biomassekessel anzulegen ist, gelagert werden, um durch den vorhandenen Brennstoff die Wärmeversorgung sicherzustellen.

Das Lager der Holzhackschnitzel wird nach dem gewählten Austragungssystem, der Brennstofffeuchte und die zu lagernde Menge bestimmt. Außerdem sind die örtlichen Gegebenheiten für die Anforderungen an das Lager zu berücksichtigen. Neben Silos (z. B. Fahr- bzw. Tunnelsilo) und Bunker kann der Brennstoff in einem Gebäude gelagert werden. Unterschiedliche Austragungssysteme transportieren die Holzhackschnitzel aus dem Lager zur Brennstoffzuführung des Biomassekessels. Zur automatischen Austragung werden Schubböden, Teleskopfräsen oder Austragungsschnecken eingesetzt. Diese beschicken die Förderschnecke oder den Kratzkettenförder zum Kessel.

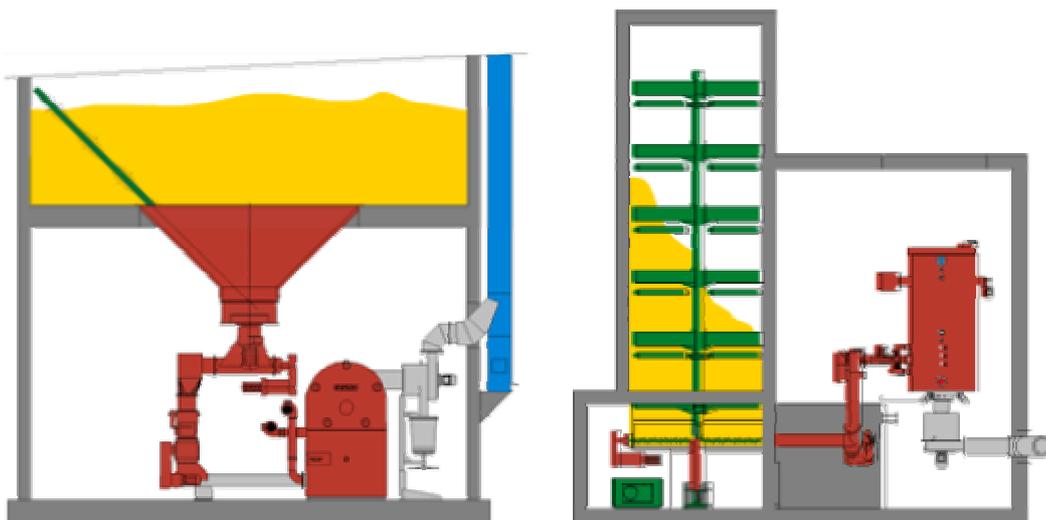


Abbildung 3-1 Austragung mit Pendelschnecke und Schubstangenaustragung
 (Quelle: Mawera Holzfeuerungsanlagen GmbH & CoKG, A-Hard)

Die Dosierschnecke oder Hydraulikzylinder fördert die Holzhackschnitzel in die Brennstoffmulde bzw. auf den Brennstoffrost, wo sie unter Luftzufuhr Holzgas bilden. Unter Zugabe von Sekundärluft verbrennt das Holzgas und die dabei erzeugte Wärme wird über Wärmetauscher

an das Heizmedium Thermoöl abgegeben, das ebenfalls eine Thermoöltemperatur von 300°C beträgt. Eine Rostfeuerung ermöglicht dagegen eine Vortrocknung von Holzhackschnitzeln mit einer etwas höheren Restfeuchte, indem der zugeführte Brennstoff von den Brenngasen, die über den Rost geführt werden, getrocknet wird.

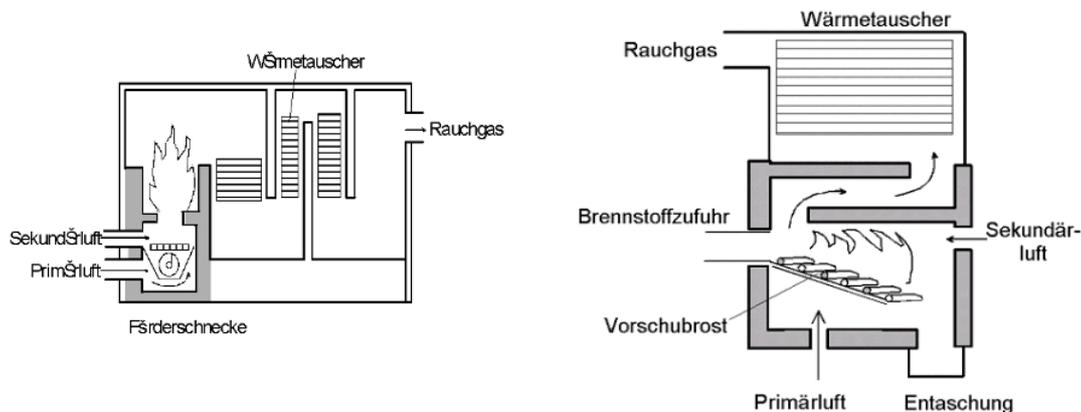


Abbildung 3-2 Untersubfeuerung und Rostfeuerung
(Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.)

Moderne Holzfeuerungsanlagen sind mit einer Leistungsregelung zur Anpassung der Wärme-
produktion auf den benötigten Wärmebedarf ausgestattet. Außerdem ist eine Verbrennungs-
regelung notwendig, die durch Minimierung der Emissionen von unverbrannten Gasen eine
Wirkungsgraderhöhung der Feuerungsanlage ermöglicht.

Die Staubabscheidung erfolgt je nach Leistungsgröße des Kessels mit einem oder mehreren
Zyklonen. Zur Rauchgasreinigung bei Anlagen mit einer Kesselleistung ab etwa 500 kW_{th}
werden zusätzlich Gewebe-, Elektrofilter oder eine Rauchgaskondensation eingesetzt.

Da die Kesselleistung der Biomassekessel zwischen 30 % und 100 % seiner Nennleistung
regelbar ist, kann eine Teillast kleiner als 30 % der Nennleistung nur mit einem Pufferspeicher
abgedeckt werden. Dadurch reduziert sich die sonst notwendige Schalhäufigkeit und die
Holzfeuerungsanlage wird effizienter genutzt. Für die Firma Zimmer Zäune GmbH ist kein
Pufferspeicher erforderlich, da durch die Imprägnierbäder ein gleichmäßig hoher Wärmebe-
darf vorliegt und diese im Prinzip auch als Puffer verwendet werden können.

Aufgrund des geringen Platzangebots neben den Produktionshallen bietet sich als Standort der Heizzentrale mit Brennstofflager das vorhandene Sägespänelager an.



Abbildung 3-3 Produktionshalle mit Sägespänelager im Hintergrund

In einem Heizhaus kann der Biomassekessel installiert werden. Daran angrenzend ist das Brennstofflager zu errichten, um möglichst kurze Transportwege zu realisieren.

Auf den beiden Bildern ist das vorhandene Spänelager dargestellt. Da das Lager nicht überdacht ist und ein Brennstoffaustragungssystem zu installieren ist, wird der Neubau einer Heizzentrale mit Lager betrachtet.

Das Spänelager kann mit dem vorhandenen Transportsystem befüllt werden. Eine Schubbo-
denaustragung, die einen Kratzkettenförderer zum Biomassekessel beschickt, bietet sich für
das Brennstofflager an.



Abbildung 3-4 Standort des vorhandenen Sägespänelagers

Zur Wärmeversorgung der Imprägnierbäder ist die Anbindung der Heizzentrale an den vorhandenen Heizungsverteiler in der Produktionshalle über eine Nahwärmeleitung erforderlich.

3.3 Holzvergasung und BHKW

Als KWK-Anlage wird eine Holzvergasung in Kombination mit einem BHKW untersucht. Solche Anlagen erreichen im Vergleich zu anderen KWK-Anlagen auf Basis von Biomasse die höchsten elektrischen Wirkungsgrade. Da am Markt noch keine standardisierten Holzvergasungsanlagen erhältlich sind, ist für die Firma Zimmer Zäune GmbH der Einsatz dieser Technologie als Pilotanlage ein entsprechendes Wagnis.

Als Brennstoff für das Blockheizkraftwerk wird Holzgas eingesetzt, das in einem Holzvergaser entsteht. Dazu werden Holzstücke, Sägespäne, Holzhackschnitzel oder brikettiertes Feinmaterial unterstöchiometrisch oxidiert. Die Vergasung läuft in mehreren Schritten ab. Zuerst verdampft das Wasser. Bei zunehmender Temperatur entweichen die flüchtigen Bestandteile im Holz. Die nicht verbrannte Holzkohle wird bei Temperaturen oberhalb von 1.100°C vergast. Aus dem Vergasungsprozess werden die übrig gebliebenen Holzkohlepartikel ausgetragen. Für den Einsatz in einem Blockheizkraftwerk ist eine Aufbereitung des Rohgases notwendig. Dazu wird das Rohgas gekühlt, entstaubt und getrocknet. Technische Schwierigkeiten bestehen noch durch den Teergehalt bei der Holzvergasung.

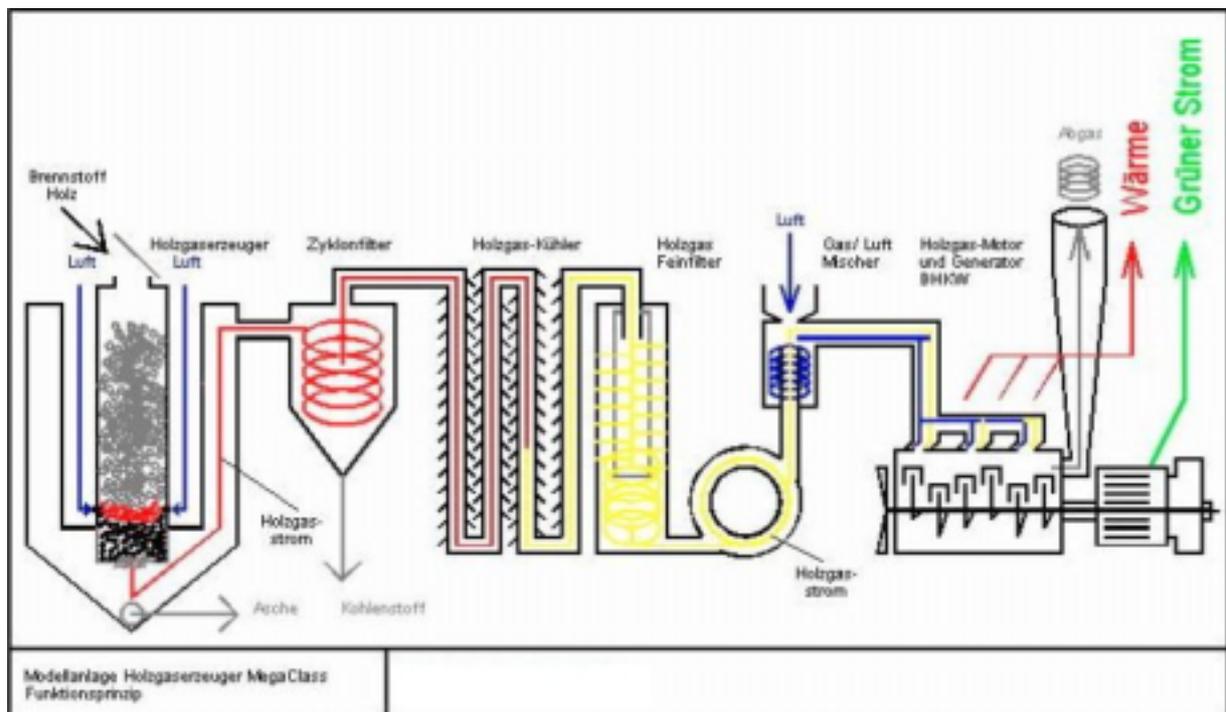


Abbildung 3-5 Schema einer Holzvergasung in Verbindung mit einem MHKW
(Quelle: Die Holzgasexperten)

Für den Einsatz in einem Motorheizkraftwerk sollte weniger als 50 mg Teer in einem m³ Holzgas enthalten sein. Um dies zu erreichen, werden moderne Vergasungsverfahren zur Reduzierung der Teerbildung eingesetzt. In der Regel wird dem Holzvergaser noch eine Reinigung nachgeschaltet.

Das Holzgas wird zur Strom- und Wärmeerzeugung einem Motorheizkraftwerk zugeführt. Da für die Zündung eine bestimmte Menge Heizöl benötigt wird, erfolgt die Verbrennung des Holzgases in einem Zweistoffmotor. Alternativ kann auch ein Gas-Otto-Motor, der die Zündfähigkeit des Holzgases voraussetzt, zum Einsatz kommen. Die vom Motor gelieferte mechanische Arbeit wird im Generator in elektrische Arbeit umgewandelt. Der erzeugte Strom kann entweder ins öffentliche Netz eingespeist oder zum Eigenverbrauch verwendet werden.

Die Wärme der Abgase und des Motorkühlwassers ist über Wärmetauscher zu Heizzwecken einsetzbar. Außerdem kann ein Teil der Abwärme zur Brennstofftrocknung eingesetzt werden. Da hier Vorlauftemperaturen von maximal 110°C erreicht werden und das Steinkohleteeröl bisher mit einer Vorlauftemperatur des Thermoölkessels von etwa 300°C aufgeheizt wird, sind neue Wärmetauscher für die niedrigere Vorlauftemperatur auszulegen.

Als Nebenprodukt trägt der Vergasungsreaktor Holzkohlekoks aus, aus der die Industrie Holzpresskohle herstellt.



Abbildung 3-6 Pilotanlage in Oberhausen mit 0,5 MW Feuerungswärmeleistung
(Quelle: Fraunhofer Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT)

Um das Wagnis einer Pilotanlage für die Firma Zimmer Zäune GmbH zu minimieren und die Versorgungssicherheit zu erhöhen, bietet es sich an, die Abwärme des Motorheizkraftwerks nur zur Trocknung des Brennstoffs einzusetzen und den Wärmebedarf mit einem zusätzlichen Biomassekessel abzudecken.

Vorstellung unterschiedlicher Techniken zur Holzvergasung

Zur Gaserzeugung existieren verschiedene, technische Verfahren, die im folgenden kurz erläutert werden. Grundsätzlich unterscheiden sie sich durch ein bewegtes und ein fluidisiertes Brennstoffbett.

Festbettvergaser:

Der Festbettvergaser besteht aus einem stehenden Schachtreaktor, in dem sich der Brennstoff als wandernde Schüttung befindet. Dieses Brennstoffbett wird vom Vergasungsmittel durchströmt. Die verschiedenen Bautypen werden nach den unterschiedlichen Strömungsrichtungen der Stoffströme (Brennstoff und Vergasungsmittel) unterschieden.

Im **Festbett-Gleichstromvergaser** sind die Stoffströme des Brennstoffs und des Vergasungsmittels gleichgerichtet. Wenn die Stoffströme am Reaktorkopf zugegeben werden, wird dies als **abströmende Gleichstromvergasung** bezeichnet. Eine **aufströmende Gleichstromvergasung** liegt bei einer Unterschubzuführung des Brennstoffs vor.

Während der Vergasung durchläuft der Brennstoff verschiedene Zonen. Die Verbrennungsluft wird im unteren Drittel des Reaktors zugeführt, wo sich eine Oxidationszone mit hohen Temperaturen bildet. Darunter befindet sich das Holzkohleglutbett, was die Reduktionszone darstellt. Alle Pyrolyseprodukte durchströmen die Oxidations- und Reduktionszone. Dadurch bildet sich unter Voraussetzung einer homogenen Oxidationszone ein teearmes Generatorgas.

Im **Festbett-Gegenstromvergaser** sind die Stoffströme entgegengesetzt. In der Regel wird der Brennstoff von oben aufgegeben und wandert durch die Schwerkraft nach unten. Das Vergasungsmittel wird von unten zugeführt. Auch hier erfolgt die Vergasung in verschiedenen Zonen. Dieser Vergasungstyp stellt konstruktiv die einfachste und robusteste Variante dar. Das Generatorgas weist einen hohen Teergehalt und dadurch einen hohen Heizwert auf, da die in der Reduktionszone gebildeten Gase die Pyrolyse- und Trocknungszone durchströmen.

Wirbelschichtvergaser:

Der Wirbelschichtvergaser besteht aus einem senkrecht stehenden Reaktorrohr, in dem sich über dem Düsenboden ein inertes, wirbelfähiges Material befindet. Die feinstückig aufbereiteten Brennstoffe werden in die wirbelnde Schicht des Bettmaterials eingebracht. Das Vergasungsmittel strömt diese Schicht von unten an. Mit entsprechender Strömungsgeschwindigkeit fluidisiert der Brennstoff und es stellt sich eine **stationäre Wirbelschicht**. Der Wärmetransport erfolgt so über das ideal durchmischte und verteilte Bettmaterial. Die stationäre Wirbelschicht weist ein günstigeres Teillastverhalten auf.

Eine **zirkulierende Wirbelschicht** stellt sich mit zunehmender Gasgeschwindigkeit ein. Die Wirbelschicht dehnt sich aus, sodass Feststoffpartikel ausgetragen werden. Diese werden über einen Zyklon vom Gasstrom getrennt und wieder in den Reaktor zurückgeführt. Die zirkulierende Wirbelschicht ist für eine bessere und gleichmäßigere Gasqualität geeignet.

Durch den Kontakt mit dem heißen Bettmaterial wird die Teerbildung stark vermindert. Wirbelschichtvergasungsanlagen werden in größeren Leistungsbereichen angewendet. Die Mindestleistung liegt zwischen 2 und 3 MW_{BS}.

Die folgende Tabelle nennt die Anforderungen an den einsetzbaren Brennstoff in den verschiedenen Vergasertypen.

	Brennstoffgröße	Wassergehalt
Festbettvergaser		
abströmender Gleichstrom	grobe, stückige Brennstoffe mit möglichst gleichgroßen Partikeln	bis 20 Massen-%
aufströmender Gleichstrom	etwas feinkörnigere Brennstoffe mit möglichst gleichgroßen Partikeln	
Gegenstrom	weniger scharfe Anforderungen an Stückigkeit	30 - 40 Massen-%
Wirbelschicht	< 40 mm	

In der folgenden Abbildung sind Kenndaten für die beschriebenen Vergasertypen abgebildet.

	Teergehalt im Gas	Staubgehalt im Gas	Gleichmäßigkeit der Gaserzeugung (Heizwert + Menge)	Scale-up-Möglichkeit	typ. Leistung [MW _a] min. max.	
Festbett Gleichstrom	sehr gering	mäßig	u. U. schlecht (Anlagengröße!)	schlecht	0,05	0,5
Festbett Gegenstrom	sehr hoch	mäßig	mäßig	mäßig	0,5	10
Wirbelschicht, stationär	mäßig	hoch	sehr gut	gut	0,5	20
Wirbelschicht, zirkulierend	gering	sehr hoch	sehr gut	sehr gut	1	100

Abbildung 3-7 Eigenschaften verschiedener Vergasertypen

(Quelle: Fraunhofer Institut für Umwelt- Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen, Dipl.-Ing. Markus Ising: Vergasung fester Biomasse - Bereits Stand der Technik)

3.4 Biomassekessel + Stirlingmotor

Als weitere KWK-Anlage mit Holz als Brennstoff wird die Kombination aus Biomassekessel und Stirlingmotor betrachtet.

Der Stirlingmotor arbeitet mit einem Arbeitsgas in einem geschlossenen Kreisprozess, das vom Verdichtungszyylinder und Arbeitszylinder unter Wärmeabfuhr und Wärmezufuhr hin- und hergeschoben wird. Da es sich um ein geschlossenes System handelt, wird die Wärme im Gegensatz zu Otto- und Dieselmotoren von außen zugeführt, sodass unterschiedliche Wärmequellen einsetzbar sind. Eine Biomassefeuerung liefert die notwendige Wärme, wie es im Kapitel „Holzhackschnitzelkessel“ beschrieben ist. Da nicht die vollständige Wärme des Biomassekessels zum Antrieb des Stirlingmotors genutzt wird, steht die übrige Wärme zusammen mit der Abwärme des Stirlingmotors zu Heizzwecken zur Verfügung.

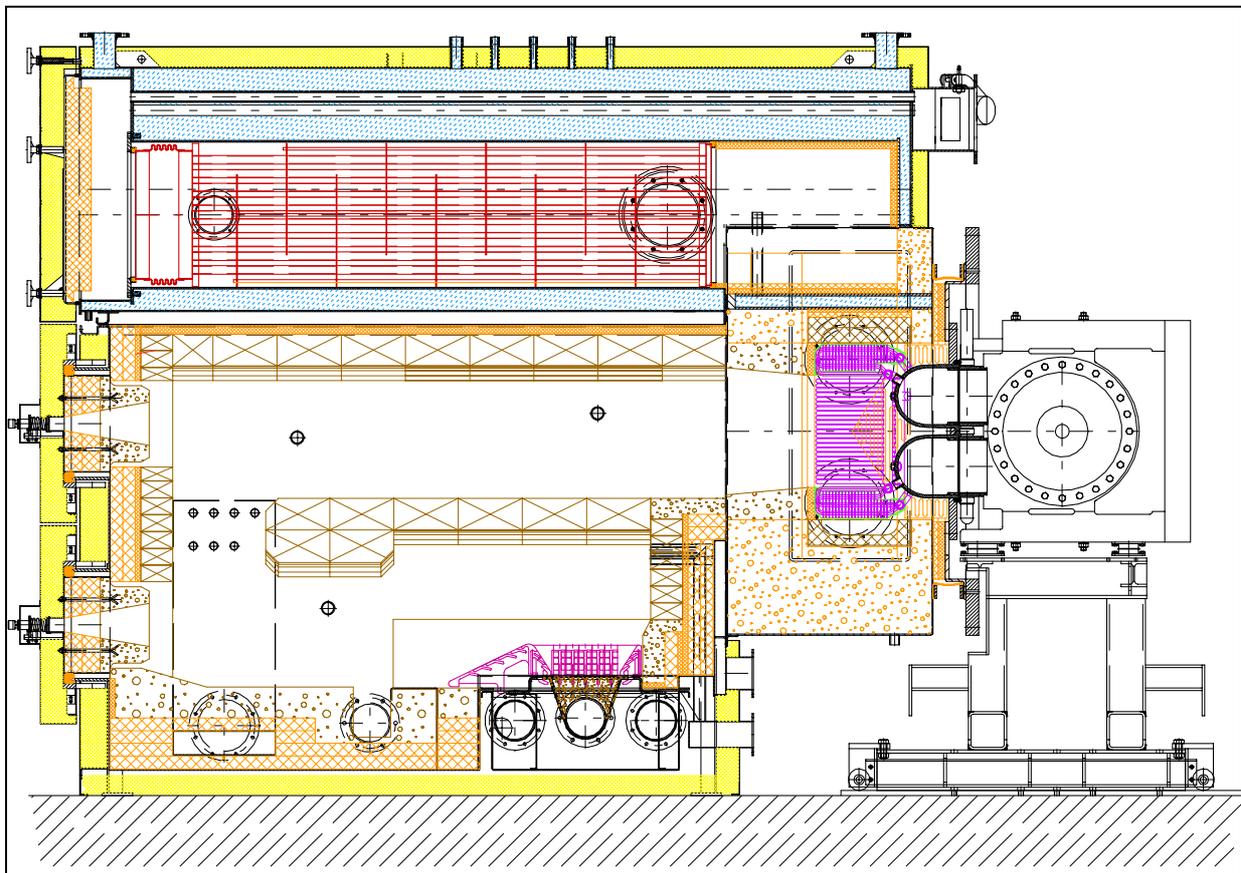


Abbildung 3-8 Biomassekessel mit Stirlingmotor (Quelle: Mawera)

Technische Probleme der Materialbeanspruchung und die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen sind noch zu verbessern. Zur Zeit werden Pilotprojekte untersucht. Aufgrund dessen stellt der Einsatz dieser Technologie ein entsprechendes Wagnis für die Firma Zimmer Zäune GmbH dar.

4 Energiebilanz

Die Energiebilanzen für die verschiedenen Technologien beruhen auf den Werten des zuvor ermittelten Wärmebedarfs. Sie berechnen die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen, die als Ergebnisse in den Tabellen aufgeführt sind.

Zur Wärmebedarfsabdeckung der erweiterten Teerölerwärmung wird eine Kesselleistung von ca. 400 kW_{th} betrachtet. Die Ergebnisse für einen heizölbefeuerten Thermoölkessel und einen Thermoölkessel mit Biomassefeuerung sind in der Tabelle aufgelistet.

erweiterte Teerölerwärmung		heizölbefuenerter Thermoölkessel	holzbefuenerter Thermoölkessel
Heizleistungsbedarf	kW _{th}	400	400
Wärmebedarf Teerölaufheizung	MWh _{th} /a	1.000	1.000
Jahresnutzungsgrad	%	80	80
Brennstoffbedarf	MWh _{HU} /a	1.250	1.250
Brennstoffmenge Heizöl	l/a	124.626	
Brennstoffmenge Sägespäne	t/a		550
(Wassergehalt w = 50 %)	Sm ³ /a		2.750
Restmenge Sägespäne	t/a		3.290

Tabelle 4-1 Energiebilanz der Thermoölkessel für die erweiterte Teerölerwärmung

Das Vorratsvolumen der Sägespäne wird nach dem Brennstoffbedarf des Biomassekessels während eines fünf- bis zehntägigen Volllastbetriebs ausgelegt. Für einen fünftägigen Volllastbetrieb ergibt sich eine Lagergröße von mindestens 330 m³, um ca. 250 Sm³ lagern zu können.

Zur Abdeckung des Wärmebedarfs für die Teerölerwärmung und die Trockenkammer werden ebenfalls ein heizölbefuehrter und ein holzbefuehrter Thermoölkessel mit einer Nennwärmeleistung von etwa 500 kW_{th} untersucht.

erweiterte Teerölerwärmung		heizölbefuehrter Thermoölkessel	holzbeuehrter Thermoölkessel
Heizleistungsbedarf	kW _{th}	500	500
Wärmebedarf Teerölaufheizung	MWh _{th} /a	1.000	1.000
Wärmebedarf Trockenkammer	MWh _{th} /a	1.950	1.950
Gesamtwärmebedarf	MWh _{th} /a	2.950	2.950
Jahresnutzungsgrad	%	80	80
Brennstoffbedarf	MWh _{HU} /a	3.688	3.688
Brennstoffmenge Heizöl	l/a	367.647	
Brennstoffmenge Sägespäne	t/a		1.623
(Wassergehalt w = 50 %)	Sm ³ /a		8.115
Restmenge Sägespäne	t/a		2.217

Tabelle 4-2 Energiebilanz der Thermoölkessel für den erweiterten Betrieb

Für einen fünftägigen Vollastbetrieb des Biomassekessel ergibt sich eine etwa 400 m³ großes Lager, in dem ca. 300 Sm³ Sägespäne bevorratet werden können.

Als KWK-Anlage wird eine Kombination aus Holzvergasung und MHKW zur Teeölerwärmung und Aufheizung der Trockenkammer mit gleichzeitiger Stromerzeugung untersucht. Die Energiebilanz unterscheidet hier zwischen einem wärmegeführten Betrieb der KWK-Anlage und den vollständigen Verbrauch der Restholzmenge.

erweiterte Teeölerwärmung + Trockenkammer		Holzvergasung + MHKW	Holzvergasung + MHKW	Holzvergasung + MHKW + Biomassekessel
		wärmegeführt	vollständiger Restholzeinsatz	vollständiger Restholzeinsatz
Heizleistungsbedarf	kW _{th}	500	500	500
Wärmebedarf Betrieb	MWh _{th} /a	2.950	2.950	2.950
max. Wärmebedarf Holzrock- nung Vergasung	MWh _{th} /a	1.203	1.203	1.203
Gesamtwärmebedarf	MWh _{th} /a	4.153	4.153	4.153
thermische Leistung MHKW	kW _{th}	915	915	458
elektrische Leistung MHKW	kW _{el}	500 ¹	500 ¹	250 ²
Wärmeleistung Kessel	kW _{th}			500
elektr. Wirkungsgrad MHKW	%	27,5	27,5	27,5
therm. Wirkungsgrad MHKW	%	47,5	47,5	47,5
Jahresnutzungsgrad Kessel	%			80
Vollbenutzungsstunden MHKW	h/a	4.537	4.889	5.317
Vollbenutzungsstunden Kessel	h/a			5.900
Wärmebereitstellung	MWh _{th} /a	4.153	4.476	5.343
Überschusswärme	MWh _{th} /a	0	323	1.190
Stromerzeugung	MWh _{el} /a	2.268	2.445	1.329
Brennstoffbedarf Heizöl	MWh _{HU} /a	683	739	800
Brennstoffbedarf Sägespäne	MWh _{HU} /a	8.072	8.725	8.725
Brennstoffmenge Heizöl	l/a	68.049	73.655	79.757
Brennstoffmenge Sägespäne	t/a	3.553	3.840	3.840
(Wassergehalt w = 50 %)	Sm ³ /a	17.739	19.200	19.200
Restmenge Sägespäne	t/a	287	0	0
Holzkohlekoksmenge	t/a	91	98	53

Tabelle 4-3 Energiebilanz der Holzvergasung + MHKW bzw. mit zusätzlichem Biomassekessel

¹ Elektrische Leistung gesamt: 530 kW_{el} davon intern 30 kW_{el} für Stromversorgung der KWK-Anlage, sodass 500 kW_{el} zur Verfügung stehen.

² Elektrische Leistung gesamt: 265 kW_{el} davon intern 15 kW_{el} für Stromversorgung der KWK-Anlage, sodass 250 kW_{el} zur Verfügung stehen.

Eine Lagergröße von etwa 400 m³ ist erforderlich, um ca. 300 Sm³ Sägespäne für einen dreitägigen Volllastbetrieb lagern zu können.

Als Nebenprodukt entsteht Holzkohlekoks im Vergasungsreaktor, der von der Industrie zu Holzpresskohle weiter verarbeitet wird.

Zur Teerölerwärmung und für die Trockenkammer wird ein Biomassekessel zusammen mit einem Stirlingmotor zur Wärmeabdeckung und gleichzeitigen Stromerzeugung betrachtet. Die Energiebilanz unterscheidet zwischen einem wärme- und stromgeführten Betrieb der Anlage.

erweiterte Teerölerwärmung + Trockenkammer		Biomassekessel + Stirlingmotor wärmegeführt	Biomassekessel + Stirlingmotor stromgeführt
Heizleistungsbedarf	kW _{th}	500	500
Gesamtwärmebedarf	MWh _{th} /a	2.950	2.950
Nennwärmeleistung Biomassekessel	kW _{th}	500	500
elektrische Leistung Stirlingmotor	kW _{el}	70	70
thermische Leistung Biomassekessel	kW _{th}	286	286
thermische Leistung Stirlingmotor	kW _{th}	210	210
thermische Leistung gesamt KWK-Anlage	kW _{th}	496	496
elektrischer Wirkungsgrad Gesamtanlage	%	10,8	10,8
thermischer Wirkungsgrad Gesamtanlage	%	76,2	76,2
Vollbenutzungsstunden	h/a	5.954	8.000
Wärmebereitstellung	MWh _{th} /a	2.950	3.964
Überschusswärme	MWh _{th} /a	0	1.014
Stromerzeugung	MWh _{el} /a	417	560
Brennstoffbedarf Sägespäne	MWh _{H₂O} /a	3.870	5.200
Brennstoffmenge Sägespäne	t/a	1.703	2.289
(Wassergehalt w = 50 %)	Sm ³ /a	8.516	11.443
Restmenge Sägespäne	t/a	2.137	1.551

Tabelle 4-4 Energiebilanz des Biomassekessels + Stirlingmotor

Auch hier beträgt die Lagergröße etwa 400 m³, um rund 300 Sm³ Sägespäne für einen fünftägigen Volllastbetrieb lagern zu können.

5 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Die ökologische Bewertung der untersuchten Wärmeversorgungsvarianten erfolgt anhand einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz.

Unter Anrechnung der CO₂-Neutralität der Biomasse Holz werden für die Sägespäne in der Firma Zimmer Zäune GmbH eine spezifische Kohlendioxid-Emission von 0 g CO₂/kWh_{BS} angesetzt, da sie nicht zur Verfeuerung hergestellt werden sondern als Produktionsabfall bisher entsorgt werden. Für Heizöl betragen die spezifischen CO₂-Emissionen 318 g CO₂/kWh_{BS}. Durch die Stromerzeugung wird Strom aus Kraftwerken verdrängt, sodass dort Brennstoff und die zugehörigen Kohlendioxid-Emissionen vermieden werden.

Die folgenden Tabellen stellen die Ergebnisse der verschiedenen Varianten dar.

		heizölbefuenerter Thermoölkessel	holzbefuenerter Thermoölkessel
Brennstoffbedarf Heizöl	MWh _{Hu} /a	1.250	
Brennstoffbedarf Sägespäne	MWh _{Hu} /a		1.250
spez. CO ₂ -Emission Heizöl	kg CO ₂ /MWh _{Hu}	317,7	
spez. CO ₂ -Emission Sägespäne	kg CO ₂ /MWh _{Hu}		0
CO ₂ -Emission	t CO ₂ /a	397	0

Tabelle 5-1 Kohlendioxid-Emissionsbilanz der Thermoölkessel für die erweiterte Teerölerwärmung

		heizölbefuenerter Thermoölkessel	holzbefuenerter Thermoölkessel
Brennstoffbedarf Heizöl	MWh _{Hu} /a	3.688	
Brennstoffbedarf Sägespäne	MWh _{Hu} /a		3.688
spez. CO ₂ -Emission Heizöl	kg CO ₂ /MWh _{Hu}	317,7	
spez. CO ₂ -Emission Sägespäne	kg CO ₂ /MWh _{Hu}		0
CO ₂ -Emission	t CO ₂ /a	1.172	0

Tabelle 5-2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz der Thermoölkessel für den erweiterten Betrieb

Durch den Einsatz eines holzbefeuerten Thermoölkessels können die Kohlendioxid-Emissionen eines heizölbefeuerten Thermoölkessels eingespart werden.

Für die KWK-Anlagen stellen sich die Kohlendioxid-Emissionsbilanzen wie folgt dar.

		Holzvergaser + MHKW wärmegeführt	Holzvergaser + MHKW vollständiger Restholzeinsatz	Holzvergaser + MHKW + Biomassekessel vollständiger Restholzeinsatz
Brennstoffbedarf Heizöl	MWh _{Hu} /a	683	739	800
Brennstoffbedarf Sägespäne	MWh _{Hu} /a	8.061	8.725	8.725
Stromerzeugung	MWh _{el} /a	2.268	2.445	1.329
spez. CO ₂ -Emission Heizöl	kg CO ₂ /MWh _{Hu}	317,7	317,7	317,7
spez. CO ₂ -Emission Sägespäne	kg CO ₂ /MWh _{Hu}	0	0	0
spez. CO ₂ -Emission Strom	kg CO ₂ /MWh _{el}	682,6	682,6	682,6
CO ₂ -Emission	t CO ₂ /a	-1.332	-1.441	-653

Tabelle 5-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz der Holzvergasung + MHKW
bzw. mit zusätzlichem Biomassekessel

		Biomassekessel + Stirlingmotor wärmegeführt	Biomassekessel + Stirlingmotor stromgeführt
Brennstoffbedarf Sägespäne	MWh _{Hu} /a	3.870	5.200
Stromerzeugung	MWh _{el} /a	417	560
spez. CO ₂ -Emission Sägespäne	kg CO ₂ /MWh _{Hu}	0	0
spez. CO ₂ -Emission Strom	kg CO ₂ /MWh _{el}	682,6	682,6
CO ₂ -Emission	t CO ₂ /a	-284	-382

Tabelle 5-4 Kohlendioxid-Emissionsbilanz des Biomassekessels + Stirlingmotor

Aufgrund der Verdrängung der Stromerzeugung in Kraftwerken und der CO₂-Neutralität der Biomasse Holz wird global betrachtet mehr Kohlendioxid-Emissionen eingespart, als von der jeweiligen KWK-Anlage vor Ort emittiert wird.

Zur Veranschaulichung sind die Ergebnisse in dem Diagramm dargestellt.

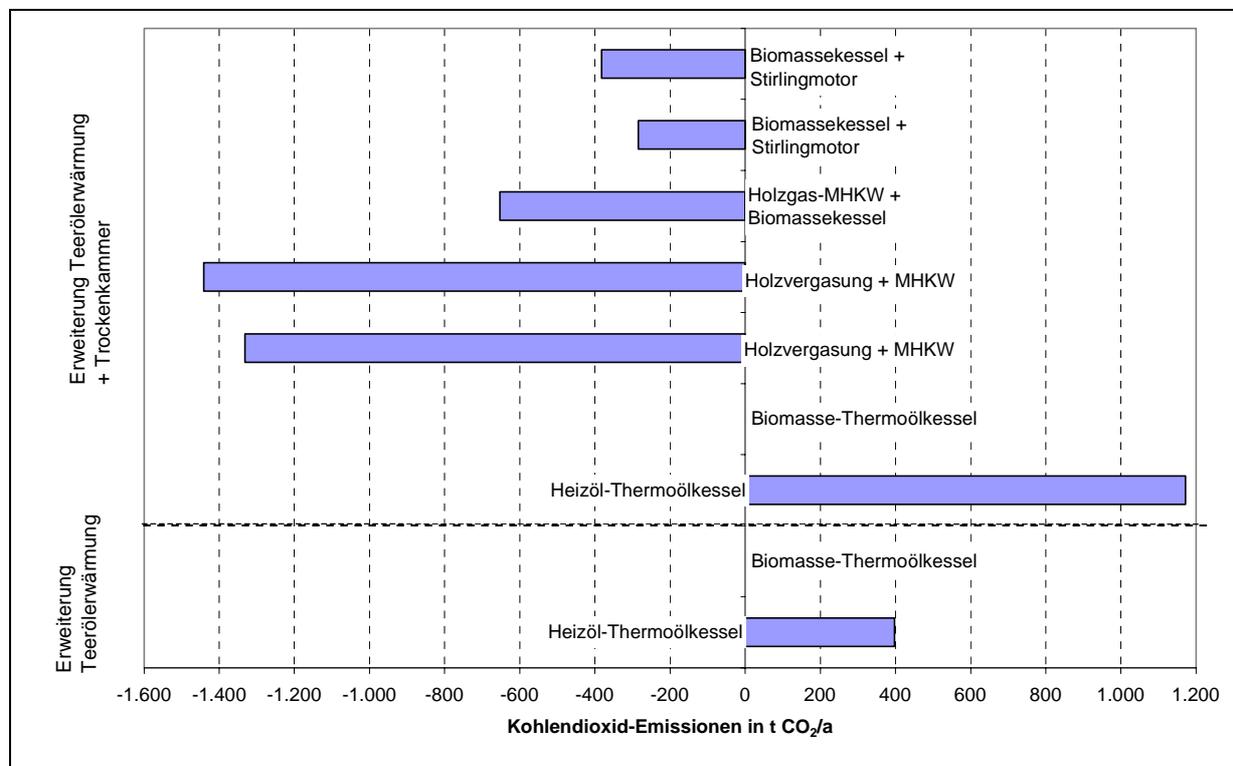


Abbildung 5-1 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten und die Wärmepreise der Anlagenvarianten anhand von Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Zusätzlich zu den Kosten ergeben sich für die KWK-Anlagen Einnahmen durch die Stromvergütung. Die Jahresgesamtkosten berechnen sich aus den jährlichen Kosten und den Einnahmen. Der Wärmepreis gibt das Verhältnis der Jahreskosten in Bezug auf den Wärmebedarf wieder.

Es besteht die Möglichkeit, einen zinsgünstigen Kredit im „Programm zur Förderung Erneuerbarer Energien“ der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) zu beantragen. In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird dazu ein Zinssatz von 4,0 % zu Grunde gelegt, der für die ersten 10 Jahre fest ist. Die Laufzeit des zinsgünstigen Kredits beträgt maximal 20 Jahre mit maximal 3 tilgungsfreien Anlaufjahren.

Zusätzlich kann auf automatisch beschickte Biomasseanlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW_{th} eine Förderung von 55 €/je kW_{th} und maximal 250.000 €/je Einzelanlage nach dem „Marktanreizprogramm Erneuerbare Energien“ des Bundesministeriums als Teilschulderlass gewährt werden. Für Biomasseanlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung ist keine Gewährung eines Teilschulderlasses vorgesehen.

Abhängig vom rheinland-pfälzischen Haushalt können nach der Verwaltungsvorschrift „Förderung erneuerbarer Energien“ für die Errichtung von Anlagen zur energetischen Nutzung fester Biomasse für Heizungsanlagen mit einer installierten Nennwärmeleistung von mehr als 20 kW_{th} Fördermittel in Höhe von 75 €/kW_{th} und maximal 50.000 €/je Anlage beantragt werden. Die Fördermittel für KWK-Anlagen, die feste Biomasse energetisch nutzen, betragen 275 €/kW_{el} und maximal 300.000 €/je Anlage bzw. 20 % der förderfähigen Kosten.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten:

Zinssatz	6 %
Zinssatz (KfW-Programm Erneuerbare Energien)	4 %
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	15 Jahre
Abschreibungsdauer Versorgungstechnik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	30 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten:

spezifischer Heizölpreis	33,00 Ct/l (inkl. MwSt.)
spezifischer Heizölpreis (ohne Mineralölsteuer)	25,88 Ct/l (inkl. MwSt.)
spezifischer Sägespänp Preis	0 €/Sm ³ (inkl. MwSt.)
Allgemeiner Strompreis (Jahresrechnung 07.01 - 06.02)	9,64 Ct/kWh _{el} (inkl. MwSt.)

Bestimmung betriebsgebundene Kosten:

Wartung / Instandhaltung Heizkessel	2 % der Investition (Heisanlage)
Wartung / Instandhaltung Holzvergasung + MHKW	2 Ct/kWh _{el}
Wartung / Instandhaltung Stirlingmotor	2 Ct/kWh _{el}
Personalkosten	20 €/h

Bestimmung Stromvergütung:

Nach dem EEG (Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien) erhalten KWK-Anlagen für Strom aus Biomasse bis einschließlich einer installierten elektrischen Leistung von 500 kW_{el} mindestens 10,0 Ct/kWh_{el} Stromvergütung. Die Mindestvergütung wird ab dem 01. Januar 2002 für mit diesem Zeitpunkt neu in Betrieb genommene Anlagen jährlich um jeweils einen Prozentpunkt herabgesetzt.

Nach dem Entwurf zur Novellierung des EEG Stand 12.08.2003 beträgt die Vergütung von KWK-Anlagen mit Biomassefeuerung bis 75 kW_{el} 12,5 Ct/kWh_{el}, während Anlagen mit 200 bis 500 kW_{el} 9,9 Ct/kWh_{el} erhalten. Die Mindestvergütung erhöht sich um 2,5 Ct/kWh_{el} für diese Anlagen, wenn der Strom ausschließlich aus Biomasse erzeugt wird. Weiterhin erhöht sich die Mindestvergütung um 1 Ct/kWh_{el}, wenn die Biomasse durch thermochemische Vergasung umgewandelt oder der Strom mit Brennstoffzellen, Gasturbinen, Dampfmotoren, Organic-Rankine-Anlagen, Kalina-Cycle-Anlagen oder Stirlingmotoren erzeugt wird. Die Mindestvergütung wird ab dem 1. Januar 2005 für mit diesem Zeitpunkt neu in Betrieb genommene Anlagen jährlich um jeweils ein Prozent des Vorjahreswertes gesenkt. Anlagen, die ab dem 1. Januar 2006 in Betrieb genommen werden und keine Biomasse für eine Zünd- und Stützfeuerung einsetzen, erhalten keine Mindestvergütung.

technisches System	EEG Stand 2003	Entwurf EEG Novellierung
Holzvergasung + MHKW	10 Ct/kWh _{el}	10,9 Ct/kWh _{el}
Stirlingmotor	10 Ct/kWh _{el}	16,0 Ct/kWh _{el}

Bestimmung Erlöse Holzkohlekoksverkauf:

spez. Preis Holzkohlekoks	100 €/t (inkl. MwSt.)
---------------------------	-----------------------

Investition heizölbefuerter Thermoölkessel

Für die Abdeckung des Wärmebedarfs zur Erweiterung der Teerölerwärmung wird ein heizölbefuerter Thermoölkessel mit einer Nennwärmeleistung von ca. 400 kW_{th} betrachtet. Um den Wärmebedarf für die Teerölerwärmung und die Trockenkammer abdecken zu können, wird ein Thermoölkessel mit einer Nennwärmeleistung von etwa 500 kW_{th} untersucht.

	heizölbefuerter Thermoölkessel (400 kW _{th})	heizölbefuerter Thermoölkessel (500 kW _{th})
Maschinentchnik heizölbefuerter Thermoölkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	40.000 €	50.000 €
Bautechnik Demontage heizölbefuerter Thermoölkessel	1.200 €	1.200 €
Planung, Unvorhergesehenes Planung, Unvorhergesehenes (15%)	6.200 €	7.700 €
Gesamtinvestition	47.400 €	58.900 €

Tabelle 6-1 Investition heizölbefuerte Thermoölkessel

Investition holzbefuerter Thermoölkessel

Anstatt der heizölbefuerten Thermoölkessel werden in denselben Leistungsgrößen jeweils ein holzbefuerter Thermoölkessel betrachtet.

	holzbefuerter Thermoölkessel (400 kW _{th})	holzbefuerter Thermoölkessel (500 kW _{th})
Maschinentchnik Biomassekessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	201.800 €	231.800 €
Versorgungstechnik Anbindung	13.100 €	13.100 €
Bautechnik Demontage heizölbefuerter Thermoölkessel Heizhaus mit Brennstofflager	1.200 € 116.900 €	1.200 € 135.900 €
Planung, Unvorhergesehenes Planung, Unvorhergesehenes (15%)	49.900 €	57.300 €
Gesamtinvestition	382.900 €	439.300 €
Teilschulderlass	22.000 €	27.500 €
Gesamtinvestition inkl. Förderung	360.900 €	411.800 €

Tabelle 6-2 Investition holzbefuerter Thermoölkessel

Investition Holzvergasung + MHKW bzw. mit Biomassekessel

Als KWK-Anlage wird eine Kombination aus Holzvergasung und MHKW sowie in Verbindung mit einem Biomassekessel zur Teeölerwärmung und Aufheizung der Trockenkammer mit gleichzeitiger Stromerzeugung untersucht.

	Holzvergasung + MHKW (915 kW _{th} + 500 kW _{el})	Holzvergasung + MHKW + Biomassekessel (458 kW _{th} + 250 kW _{el} + 500 kW _{th})
Maschinentechnik		
Holzvergasung + BHKW mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	956.500 €	434.800 €
Biomassekessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme		231.800 €
Versorgungstechnik		
Anbindung	13.100 €	13.100 €
Bautechnik		
Demontage heizölbefeuertes Thermoölkessel	1.200 €	1.200 €
Heizhaus mit Brennstofflager	173.900 €	87.000 €
Planung, Unvorhergesehenes		
Planung, Unvorhergesehenes (15%)	171.700 €	115.200 €
Gesamtinvestition	1.316.400 €	883.100 €
Teilschulderlass		27.500 €
Gesamtinvestition inkl. Förderung		855.600 €

Tabelle 6-3 Investition Holzvergasung + MHKW bzw. mit zusätzlichem Biomassekessel

Bei der Variante Holzvergasung + MHKW müssen die Wärmetauscher der Steinkohleteerölbäder erneuert werden, da bei dieser Variante nur Vorlauftemperaturen von maximal 110°C erreicht werden können. Die Investitionskosten für die Umrüstung sind hier nicht berücksichtigt.

Bei der Variante Holzvergasung + MHKW + Biomassekessel kann der Thermoölkreislauf mit einer Vorlauftemperatur von etwa 300°C weiter betrieben werden.

Investition Biomassekessel + Stirlingmotor

Zur Teerölerwärmung und für die Trockenkammer wird ein Biomassekessel zusammen mit einem Stirlingmotor zur Wärmeversorgung und gleichzeitigen Stromerzeugung betrachtet.

	Biomassekessel (500 kW_{th}) + Stirlingmotor (70 kW_{el})
Maschinentechnik	
Biomassekessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	231.800 €
Stirlingmotor mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	180.000 €
Versorgungstechnik	
Anbindung	13.100 €
Bautechnik	
Demontage heizölbefuerter Thermoölkessel	1.200 €
Heizhaus mit Brennstofflager	140.000 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes (15%)	84.900 €
Gesamtinvestition	651.000 €

Tabelle 6-4 Investition Biomassekessel + Stirlingmotor

Die folgende Tabelle führt die Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Wärmeversorgung in der Erweiterung der Teerölerwärmung auf.

		heizölbefuerter Thermoölkessel	holzbefeuerter Thermoölkessel
Wärmeleistungsbedarf	kW _{th}	400	400
Investition inkl. MwSt.	€	47.400	382.900
<i>Teilschulderlass</i>	€		22.000
Investition inkl. Teilschulderlass und MwSt.	€		360.900
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	4.844	30.432
<i>Kapitalkosten inkl. Teilschulderlass und MwSt.</i>	€/a		28.166
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	42.091	1.928
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	2.714	5.804
Jahresgesamtkosten inkl. MwSt.	€/a	49.649	38.164
Jahresgesamtkosten inkl. Teilschulderlass u. MwSt.	€/a		35.989
Jahresheizwärmebedarf	kWh _{th} /a	1.000.000	1.000.000
Wärmepreis inkl. MwSt.	Ct/kWh _{th}	5,0	3,8
Wärmepreis inkl. Teilschulderlass und MwSt.	Ct/kWh _{th}		3,6

Tabelle 6-5 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung für die erweiterte Teerölerwärmung

Für einen heizölbefeuerten Thermoölkessel betragen die Jahreskosten ca. 49.600 €/a, mit denen sich ein Wärmepreis von 5,0 Ct/kWh_{th} ergibt.

Im Vergleich dazu erreicht ein holzbefeuerter Thermoölkessel rund 38.200 €/a Jahreskosten bzw. etwa 36.000 €/a unter Berücksichtigung eines Teilschulderlasses. Daraus resultiert ein Wärmepreis von 3,8 Ct/kWh_{th} bzw. 3,6 Ct/kWh_{th} (mit Teilschulderlass).

In der Tabelle sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Wärmeversorgung der Teerölerwärmung und der Trockenkammer aufgelistet.

		heizölbefuerter Thermoölkessel	holzbefeuerter Thermoölkessel
Wärmeleistungsbedarf	kW _{th}	500	500
Investition inkl. MwSt.	€	58.900	439.300
<i>Teilschulderlass</i>	€		27.500
Investition inkl. Teilschulderlass und MwSt.	€		411.800
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	6.028	34.894
<i>Kapitalkosten inkl. Teilschulderlass und MwSt.</i>	€/a		32.062
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	124.167	5.688
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	3.293	6.739
Jahresgesamtkosten inkl. MwSt.	€/a	133.488	47.321
Jahresgesamtkosten inkl. Teilschulderlass u. MwSt.	€/a		44.489
Jahresheizwärmebedarf	kWh _{th} /a	2.950.000	2.950.000
Wärmepreis inkl. MwSt.	Ct/kWh _{th}	4,5	1,6
Wärmepreis inkl. Teilschulderlass und MwSt.	Ct/kWh _{th}		1,5

Tabelle 6-6 Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgung für die Teerölerwärmung und Trockenkammer durch Thermoölkessel

Zur Abdeckung des Wärmebedarfs für die Teerölerwärmung und Trockenkammer ergeben sich für einen heizölbefeuerten Thermoölkessel Jahreskosten von rund 133.500 €/a. Durch den deutlich höheren Jahresheizwärmebedarf liegt der Wärmepreis mit 4,5 Ct/kWh_{th} etwas niedriger im Vergleich zur kleineren Variante.

Die Jahreskosten für einen holzbefeuerten Thermoölkessel betragen ca. 47.300 €/a und unter Einbeziehung eines Teilschulderlasses etwa 44.500 €/a. Es ergibt sich ein Wärmepreis von 1,6 Ct/kWh_{th} bzw. 1,5 Ct/kWh_{th} (mit Teilschulderlass).

Die folgende Tabelle stellt die Wirtschaftlichkeit der KWK-Anlagen aus Holzvergasung und MHKW für unterschiedliche Betriebsweisen dar, um Wärme sowohl für die Teerölerwärmung als auch die Trockenkammer bereitzustellen.

		Holzvergasung + MHKW wärmegeführt	Holzvergasung + MHKW vollständiger Restholzeinsatz	Holzvergasung + MHKW + Biomassekessel vollständiger Restholzeinsatz
Heizleistungsbedarf	kW _{th}	500	500	500
Wärmebedarf Betrieb	MWh _{th} /a	2.950	2.950	2.950
max. Wärmebedarf Holztrocknung Vergasung	MWh _{th} /a	1.203	1.203	1.203
Gesamtwärmebedarf	MWh _{th} /a	4.153	4.153	4.153
thermische Leistung MHKW	kW _{th}	915	915	458
elektrische Leistung MHKW	kW _{el}	500	500	250
Wärmeleistung Biomassekessel	kW _{th}			500
Investition inkl. MwSt.	€	1.316.400	1.316.400	883.100
inkl. Teilschulderlass und MwSt.	€			855.600
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	112.562	112.562	76.380
<i>inkl. Teilschulderlass und MwSt.</i>	€/a			73.548
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	17.613	18.012	32.019
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	52.927	57.040	42.187
Summe Kosten inkl. MwSt.	€/a	183.102	187.614	150.586
inkl. Teilschulderlass und MwSt.	€/a			147.754
Gutschrift Stromvergütung	€/a	226.831	244.459	132.929
Gutschrift Holzkohlekoksverkauf inkl. MwSt.	€/a	9.073	9.778	5.317
Summe Gutschrift inkl. MwSt.	€/a	235.904	254.237	138.246
Jahresüberschuss inkl. MwSt.	€/a	52.802	66.623	
Jahresgesamtkosten inkl. MwSt.	€/a			12.340
inkl. Teilschulderlass und MwSt.	€/a			9.508
Jahresheizwärmebedarf	kWh _{th} /a	2.950.000	2.950.000	2.950.000
Wärmepreis inkl. MwSt.	Ct/kWh _{th}	-1,8	-2,3	0,4
inkl. Teilschulderlass und MwSt.	Ct/kWh _{th}			0,3
statische Amortisation	a	8,0	7,3	13,4

Tabelle 6-7 Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgung für die Teerölerwärmung und die Trockenkammer durch Holzvergasung + MHKW bzw. mit zusätzlichem Biomassekessel

Durch die Stromeinspeisevergütung erwirtschaftet die Holzvergasung + MHKW im wärmegeführten Betrieb einen Jahresüberschuss von etwa 52.800 €/a, sodass sich ein negativer Wärmepreis von -1,8 Ct/kWh_{th} ergibt. Wenn alle Sägespäne energetisch genutzt werden stellt sich ein Jahresüberschuss von rund 66.600 €/a ein mit einem Wärmepreis von -2,3 Ct/kWh_{th}. Der Einsatz eines zusätzlichen Biomassekessel zur Abdeckung des Wärmebedarfs in Verbindung mit der Holzvergasung + MHKW ergeben sich Jahreskosten in Höhe von ca. 12.300 €/a, während die Einbeziehung des Teilschulderlasses etwa 9.500 €/a vorliegen. Die entsprechenden Wärmepreise betragen 0,4 Ct/kWh_{th} bzw. 0,3 Ct/kWh_{th}. Trotz einer vergleichsweise ungünstigeren Wirtschaftlichkeit kann die Anlagenkombination eine höhere Versorgungssicherheit für niedrigere Investitionskosten gewährleisten.

Nach der Einbeziehung der im Entwurf zur EEG Novellierung vom 12.08.2003 genannten Einspeisevergütungen beträgt der Jahresüberschuss für den wärmegeführten Betrieb des Holzgas-MHKWs ca. 73.200 €/a und für den gesamten Restholzeinsatz rund 88.600 €/a. Die zugehörigen Wärmepreise liegen bei -2,5 Ct/kWh_{th} und bei -3,0 Ct/kWh_{th}. In Verbindung mit einem Biomassekessel ergibt sich ebenfalls ein Jahresüberschuss etwa 67.400 €/a bzw. mit Teilschulderlass rund 70.300 €/a. Die zugehörigen Wärmepreise betragen -2,3 bzw. -2,4 Ct/kWh_{th}.

Für die KWK-Anlage aus Biomassekessel und Stirlingmotor zur Wärmeversorgung der Teerölerwärmung und der Trockenkammer sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nachfolgend aufgeführt.

		Biomassekessel + Stirlingmotor wärmegeführt	Biomassekessel + Stirlingmotor stromgeführt
Heizleistungsbedarf	kW_{th}	500	500
Gesamtwärmebedarf	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	2.950	2.950
Nennwärmeleistung Biomassekessel	kW_{th}	500	500
elektrische Leistung Stirlingmotor	kW_{el}	70	70
Investition inkl. MwSt.	€	651.000	651.000
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	53.803	53.803
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	€/a	5.688	7.643
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	12.504	16.802
Summe Kosten inkl. MwSt.	€/a	71.995	78.248
Gutschrift Stromvergütung	€/a	41.675	56.000
Summe Gutschrift inkl. MwSt.	€/a	41.675	56.000
Jahresgesamtkosten inkl. MwSt.	€/a	30.320	22.248
Jahresheizwärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	2.950.000	2.950.000
Wärmepreis inkl. MwSt.	Ct/kWh_{th}	1,0	0,8
statische Amortisation	a	27,7	20,6

Tabelle 6-8 Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgung für die Teerölerwärmung und die Trockenkammer durch Biomassekessel + Stirlingmotor

Die Jahreskosten für den wärmegeführten Betrieb des Biomassekessels + Stirlingmotors betragen ca. 30.300 €/a. Daraus ergibt sich ein Wärmepreis von 1,0 Ct/kWh_{th}. Im stromgeführten Betrieb erreicht die KWK-Anlage Jahreskosten von rund 22.200 €/a mit einem Wärmepreis von 0,8 Ct/kWh_{th}.

Mit den Stromeinspeisevergütungen nach dem Entwurf zur EEG Novellierung vom 12.08.2003 ergeben sich Jahreskosten für den wärmegeführten Betrieb in Höhe von etwa 5.300 €/a, während im stromgeführten Betrieb ein Jahresüberschuss von rund 11.400 €/a erwirtschaftet wird. Die entsprechenden Wärmepreise betragen 0,2 Ct/kWh_{th} und -0,4 Ct/kWh_{th}.

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse sind diese in Diagrammen abgebildet.

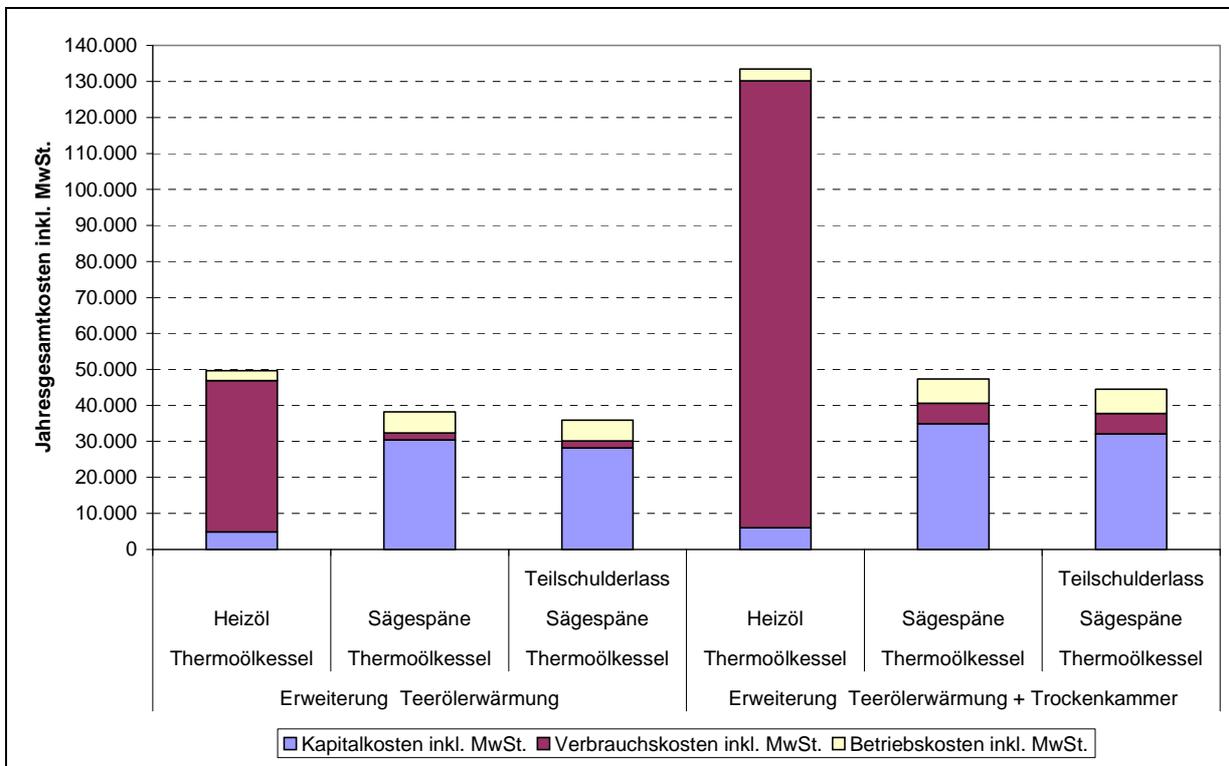


Abbildung 6-1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der unterschiedlichen Thermoölkessel

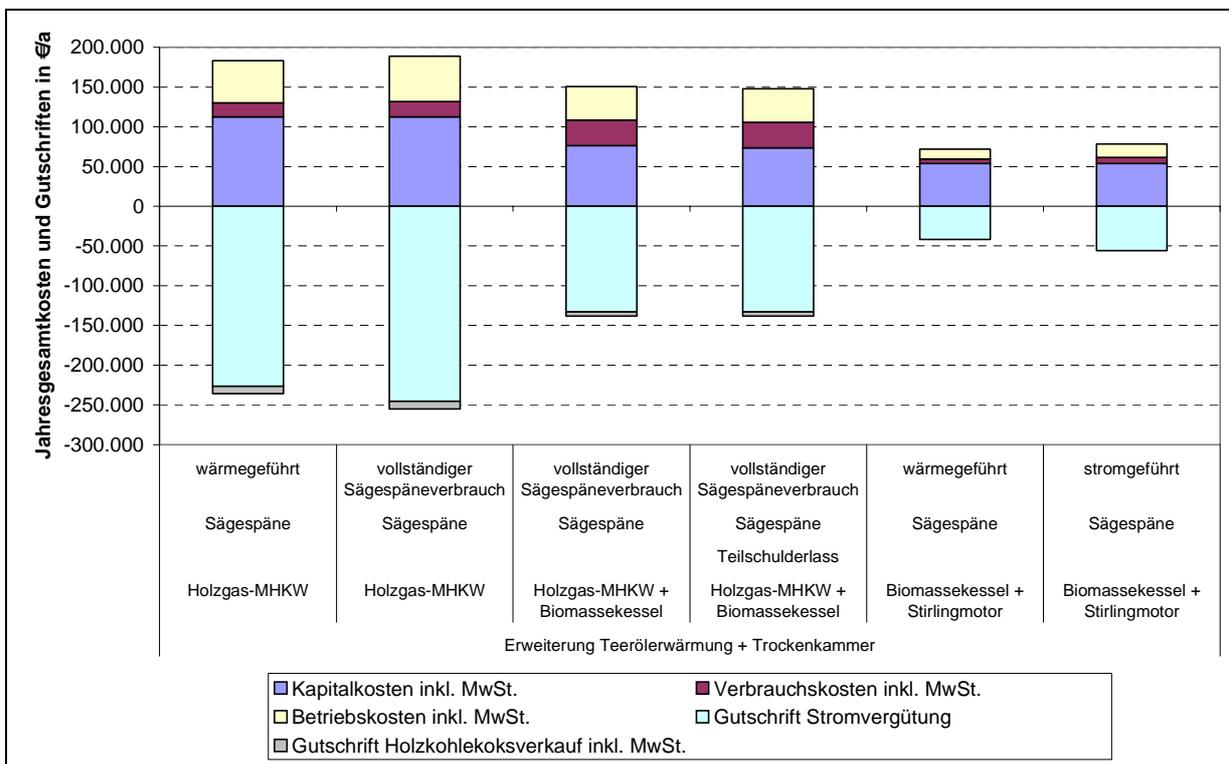


Abbildung 6-2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der unterschiedlichen KWK-Anlagen

7 Sensitivitätsbetrachtung

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden für die Sägespäne als Brennstoff keine Kosten angesetzt, da sie bisher als Produktionsabfall entsorgt werden. Um Kosten für die Entsorgung der Sägespäne und mögliche Einnahmen aus dem Verkauf der Sägespäne zu berücksichtigen, untersucht die Sensitivitätsbetrachtung für unterschiedliche Brennstoffpreise den daraus resultierenden Wärmepreis der verschiedenen Varianten.

Es wird eine Preisspanne von -5 €/Sm³ für die Entsorgung der Späne bis zu 5 €/Sm³ für den Verkauf der Sägespäne betrachtet.

Die Ergebnisse der Sensitivität werden in Diagrammen abgebildet, sodass für einen bestimmten Spänepreis der entsprechende Wärmepreis abgelesen werden kann und so Aufschluss über die Wirtschaftlichkeit gibt.

Sowohl für die Erweiterung der Teerölbäder als auch zusammen mit der Trockenkammer dient der jeweilig untersuchte, heizölbefeuerte Thermoölkessel als Vergleich.

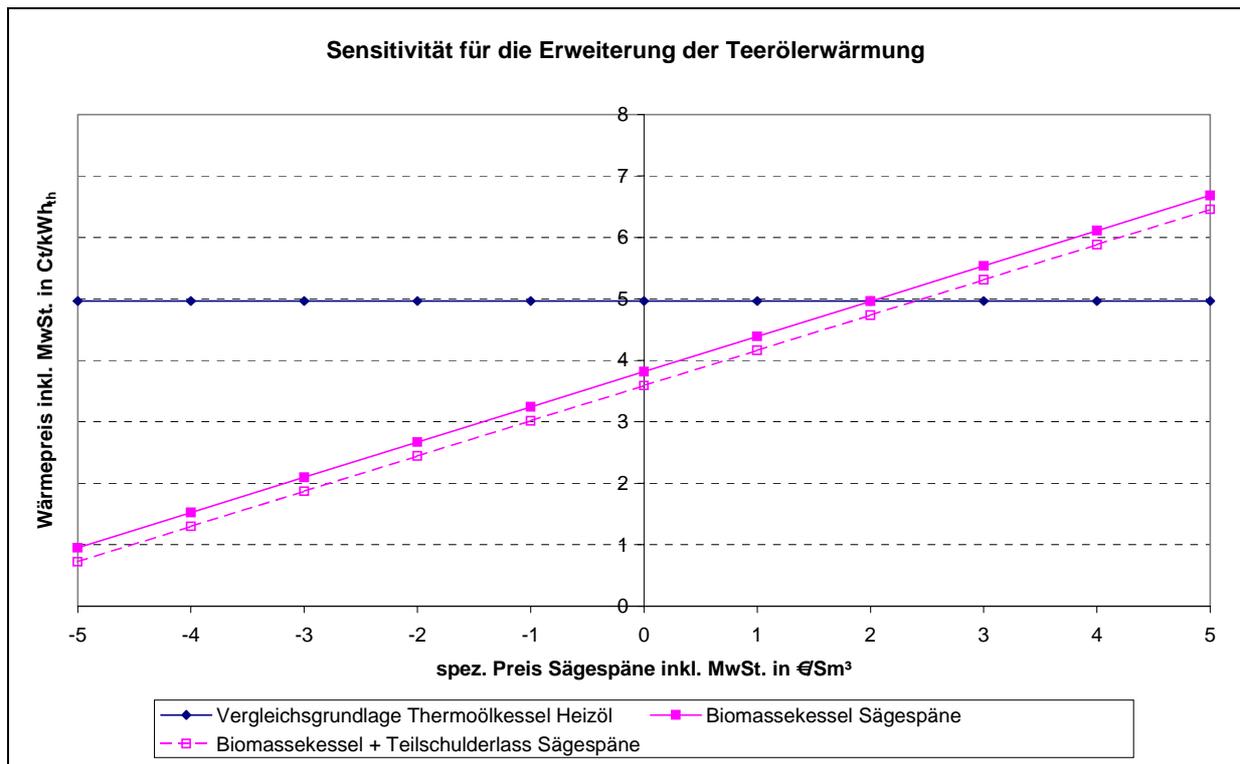


Abbildung 7-1 Sensitivität des Brennstoffpreises für die Erweiterung der Teerölerwärmung

Bis zu einem Brennstoffpreis für die Sägespäne von ca. 2,0 €/Sm³ liegt der Wärmepreis für einen biomassebefeuerten Thermoölkessel unter dem Wärmepreis für einen heizölbefeuerten Thermoölkessel.

Unter Berücksichtigung des Teilschulderlasses kann der Brennstoffpreis bis zu etwa 2,5 €/Sm³ betragen, um wirtschaftlicher als die Vergleichsgrundlage zu sein.

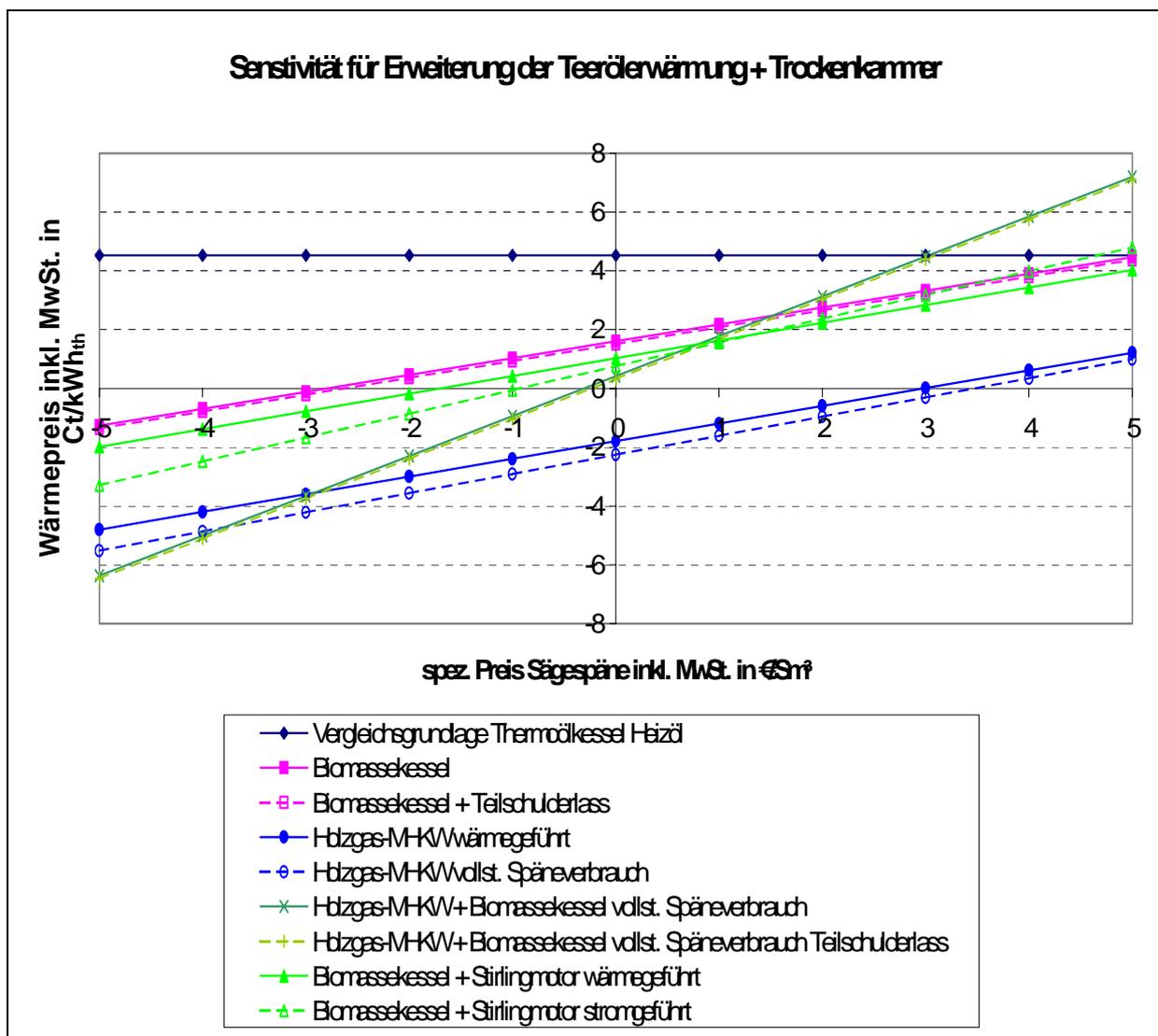


Abbildung 7-2 Sensitivität des Brennstoffpreises für die Erweiterung der Teerölerwärmung + Trockenkammer

Für den Biomassekessel kann der Brennstoffpreis bis zu etwa 5 €/Sm³ bzw. 5,2 €/Sm³ mit Teilschulderlass betragen, um einen niedrigeren Wärmepreis als die Vergleichsgrundlage zu erreichen. Die beiden Varianten zum Holzgas-MHKW sind für einen Spänepreis von bis zu ca. 10 €/Sm³ wirtschaftlicher als ein heizölbefuerter Thermoölkessel. Für die Kombination Holzgas-MHKW und Biomassekessel kann der Brennstoffpreis bis zu etwa 3 €/Sm³ betragen. Ein Stirlingmotor in Verbindung mit einem Biomassekessel im wärmegeführten Betrieb erzielt einen günstigeren Wärmepreis als die Vergleichsvariante mit einem Brennstoffpreis von bis zu etwa 5,8 €/Sm³ bzw. im stromgeführten Betrieb bis zu ca. 4,6 €/Sm³.

Da die Entsorgungskosten der Späne als vermiedene Kosten in die Wirtschaftlichkeit eingehen, werden für negative Brennstoffpreise die niedrigsten Wärmepreise erzielt.

8 Verbesserungsmöglichkeiten der Produktionsbedingungen

Im Zuge einer Erneuerung der Wärmeerzeugungsanlage bietet es sich an, Verbesserungsmöglichkeiten für die Produktionsbedingungen zu prüfen.

8.1 Abluftbelastung durch Imprägnierung

In der Imprägnierung ist durch die Teerölbäder die Umgebungsluft mit Geruchsemissionen belastet. Zur Verbesserung der Arbeitsplatzqualität besteht die Möglichkeit, die Luft über den Imprägnierbädern abzusaugen und sie als Verbrennungsluft einem holzbefeuerten Thermoölkessel zu zuführen. Im Feuerungsraum können die brennbaren Stoffe in der Abluft verbrannt werden. Da eine Rauchgasreinigung dem Biomassekessel nachgeschaltet ist, wird auch die im Abgas enthaltene Abluft gereinigt.

8.2 Brennstofftrocknung

Die anfallenden Sägespäne in der Firma Zimmer Zäune GmbH weisen in der Regel eine Holzfeuchte von etwa 50 % auf.

Die Holzfeuchte beeinflusst sowohl die Dichte als auch den Heizwert des Holzes, sodass sie als Qualitätsmerkmal für die energetische Verwertung herangezogen wird. Um einen möglichst hohen Wirkungsgrad der Feuerungsanlage zu erreichen, ist eine niedrige Holzfeuchte notwendig.

Durch eine luftige und trockene Lagerung kann die Feuchte entzogen werden. Hierzu sollte das Brennstofflager überdacht sein.

Zur Verfeuerung von Holzhackschnitzel mit einer etwas höheren Restfeuchte in einem Biomassekessel wird in der Regel eine Rostfeuerung eingesetzt, die eine Trocknung des Brennstoffs ermöglicht. Dazu wird der zugeführte Brennstoff von den Brenngasen, die über den Rost geführt werden, getrocknet.

Die Anlagentechnik des betrachteten Holzgas-MHKWs sieht eine Holztrocknung vor. Dazu wird ein Teil der Abwärme, die bei der Stromerzeugung entsteht, eingesetzt.

9 Zusammenfassung

Die Firma Zimmer Zäune GmbH betreibt am Standort Novian an der Mosel ein Holzimprägnierwerk. Die Wärmeversorgung des Thermoölkessels ($232 \text{ kW}_{\text{th}}$) für die Imprägnierbäder sowie die Gebäudeheizung ($45 \text{ kW}_{\text{th}}$ und $2 \times 30 \text{ kW}_{\text{th}}$) erfolgt derzeit auf der Basis von Heizöl. Aufgrund des geplanten Neubaus einer Trockenkammer ist ein Ausbau der Wärmeversorgungs-kapazität erforderlich.

Die in der Produktion anfallenden naturbelassenen Holzreste in Form von Sägespänen müssen bisher entsorgt werden. Um die Kosten für die Wärmeversorgung zu optimieren und die Entsorgungskosten einzusparen, ist geplant die Energieerzeugung auf Basis der im Betrieb anfallenden Holzreste aufzubauen.

Anhand eines abgeschätzten Wärmebedarfs von $1.000 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{a}$ in Abstimmung mit der Firma Zimmer Zäune GmbH für die Erweiterung der Teerölerwärmung und $2.950 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{a}$ mit einer zusätzlichen Trockenkammer wurden die Wärmeversorgungsvarianten ausgelegt.

Für die Erweiterung der Teerölerwärmung wurde ein heizölbefuerter Thermoölkessel betrachtet. Alternativ dazu untersuchte die Studie einen holzbefeuerten Thermoölkessel mit einer Nennwärmeleistung von ca. $400 \text{ kW}_{\text{th}}$, in dem die Sägespäne verfeuert werden können. Um den Wärmebedarf sowohl für die Teerölerwärmung als auch für die geplante Trockenkammer abdecken zu können, wurden ein heizöl- und holzbefuerter Thermoölkessel mit etwa $500 \text{ kW}_{\text{th}}$ betrachtet.

Zur verbesserten Brennstoffausnutzung im Vergleich zur reinen Wärmeerzeugung ist von der Firma Zimmer Zäune GmbH angedacht, eine Anlage zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) auf dem Betriebsgelände zu errichten. Der so erzeugte Strom kann zu einer im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) festgelegten Einspeisevergütung von derzeit $10,0 \text{ Ct}/\text{kWh}_{\text{el}}$ (bis $500 \text{ kW}_{\text{el}}$) ins öffentliche Netz eingespeist werden. Hierzu wurde eine Holzvergasung in Verbindung mit einem MHKW mit einer thermischen Leistung von $915 \text{ kW}_{\text{th}}$ und einer elektrischen Leistung von $500 \text{ kW}_{\text{el}}$ angenommen. Als weitere KWK-Anlage wurde ein Biomassekessel ($500 \text{ kW}_{\text{th}}$) mit einem Stirlingmotor mit einer elektrischen Leistung von $70 \text{ kW}_{\text{el}}$ untersucht.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Varianten zur Deckung des Wärmebedarfs der erweiterten Teerölerwärmung sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Erweiterung Teerölerwärmung			
Varianten	Jahresgesamtkosten (mit Teilschulderlass) €/a	Jahresüberschuss €/a	Wärmepreis (mit Teilschulderlass) Ct/ kWh_{th}
heizölbefuerter Thermoölkessel	49.649		5,0
holzbefuerter Thermoölkessel	38.164 (35.989)		3,8 (3,6)

Tabelle 9-1 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Teil 1)

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Varianten zur Deckung des Wärmebedarfs der erweiterten Teerölerwärmung und der Trockenkammer sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Erweiterung Teerölerwärmung + Trockenkammer			
Varianten	Jahresgesamtkosten (mit Teilschulderlass) €/a	Jahresüberschuss €/a	Wärmepreis (mit Teilschulderlass) Ct/kWh _{th}
heizölbefuerter Thermoölkessel	133.488		4,5
holzbefuerter Thermoölkessel	47.321 (44.489)		1,6 (1,5)
Holzvergaser + MHKW wärmegeführt		52.802	-1,8
Holzvergaser + MHKW vollständiger Restholzeinsatz		66.623	-2,3
Holzvergaser + MHKW + Biomassekessel vollständiger Restholzeinsatz	12.340 (9.508)		0,4 (0,3)
Biomassekessel + Stirlingmotor wärmegeführt	30.320		1,0
Biomassekessel + Stirlingmotor stromgeführt	22.248		0,8

Tabelle 9-2 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Teil 2)

Eine Sensitivitätsbetrachtung zum Brennstoffpreis der Sägespäne zeigte, dass sich der Einsatz von Holz als Brennstoff sowohl für die erweiterte Teerölerwärmung bis zu einen spezifischen Brennstoffpreis von ca. 2 €/Sm³ als auch in Verbindung mit einer Trockenkammer bis zu einen Preis von etwa 3 bis 5 €/Sm³ bzw. ca. 10 €/Sm³ wirtschaftlich darstellen lässt.

Fazit:

Die energetische Verwertung der Sägespäne, die bisher entsorgt werden, stellt sich aufgrund der vermiedenen Kohlendioxid-Emissionen aus ökologischer Sicht als sinnvoll dar. Der Einsatz in einer KWK-Anlage erhöht das Einsparpotential der CO₂-Emissionen deutlich.

Für die erweiterte Teerölerwärmung lässt sich ein holzbefuerter Thermoölkessel (400 kW_{th}) wirtschaftlich darstellen. Die Wirtschaftlichkeit des holzbefueerten Thermoölkessels (500 kW_{th}) für die erweiterte Teerölerwärmung und die Trockenkammer verbessert sich durch die höhere Auslastung.

Durch den Einsatz einer effizienten KWK-Anlage können die Jahreskosten weiter deutlich reduziert werden. Dies liegt insbesondere an der EEG-Vergütung für den ins öffentliche Netz eingespeisten regenerativ erzeugten Strom. Wird der Thermoölkreislauf auf eine maximale Vorlauftemperatur von 110 °C umgerüstet, könnte sogar ein Überschuss bei der Energieerzeugung erwirtschaftet werden.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1 Austragung mit Pendelschnecke und Schubstangenaustragung (Quelle: Mawera Holzfeuerungsanlagen GmbH & CoKG, A-Hard)	8
Abbildung 3-2 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung (Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.)	9
Abbildung 3-3 Produktionshalle mit Sägespänelager im Hintergrund	10
Abbildung 3-4 Standort des vorhandenen Sägespänelagers	10
Abbildung 3-5 Schema einer Holzvergasung in Verbindung mit einem MHKW (Quelle: Die Holzgasexperten)	11
Abbildung 3-6 Pilotanlage in Oberhausen mit 0,5 MW Feuerungswärmeleistung (Quelle: Fraunhofer Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT)	12
Abbildung 3-7 Eigenschaften verschiedener Vergasertypen (Quelle: Fraunhofer Institut für Umwelt- Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen, Dipl.-Ing. Markus Ising: Vergasung fester Biomasse - Bereits Stand der Technik)	14
Abbildung 3-8 Biomassekessel mit Stirlingmotor (Quelle: Mawera)	15
Abbildung 5-1 Kohlendioxid-Emissionsbilanz	22
Abbildung 6-1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der unterschiedlichen Thermoölkessel	33
Abbildung 6-2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der unterschiedlichen KWK-Anlagen	33
Abbildung 7-1 Sensitivität des Brennstoffpreises für die Erweiterung der Teerölerwärmung ..	34
Abbildung 7-2 Sensitivität des Brennstoffpreises für die Erweiterung der Teerölerwärmung + Trockenkammer	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1 Daten zur installierten Heizungsanlage	4
Tabelle 4-1 Energiebilanz der Thermoölkessel für die erweiterte Teerölerwärmung	16
Tabelle 4-2 Energiebilanz der Thermoölkessel für den erweiterten Betrieb	17
Tabelle 4-3 Energiebilanz der Holzvergasung + MHKW bzw. mit zusätzlichem Biomassekessel	18
Tabelle 4-4 Energiebilanz des Biomassekessels + Stirlingmotor	19
Tabelle 5-1 Kohlendioxid-Emissionsbilanz der Thermoölkessel für die erweiterte Teerölerwärmung	20
Tabelle 5-2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz der Thermoölkessel für den erweiterten Betrieb ...	20
Tabelle 5-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz der Holzvergasung + MHKW bzw. mit zusätzlichem Biomassekessel	21
Tabelle 5-4 Kohlendioxid-Emissionsbilanz des Biomassekessels + Stirlingmotor	21
Tabelle 6-1 Investition heizölbefeuerte Thermoölkessel	25
Tabelle 6-2 Investition holzbefeuerte Thermoölkessel	25
Tabelle 6-3 Investition Holzvergasung + MHKW bzw. mit zusätzlichem Biomassekessel	26
Tabelle 6-4 Investition Biomassekessel + Stirlingmotor	27
Tabelle 6-5 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung für die erweiterte Teerölerwärmung	28
Tabelle 6-6 Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgung für die Teerölerwärmung und Trockenkammer durch Thermoölkessel	29
Tabelle 6-7 Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgung für die Teerölerwärmung und die Trockenkammer durch Holzvergasung + MHKW bzw. mit zusätzlichem Biomassekessel	30
Tabelle 6-8 Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgung für die Teerölerwärmung und die Trockenkammer durch Biomassekessel + Stirlingmotor	32
Tabelle 9-1 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Teil 1)	37
Tabelle 9-2 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Teil 2)	38