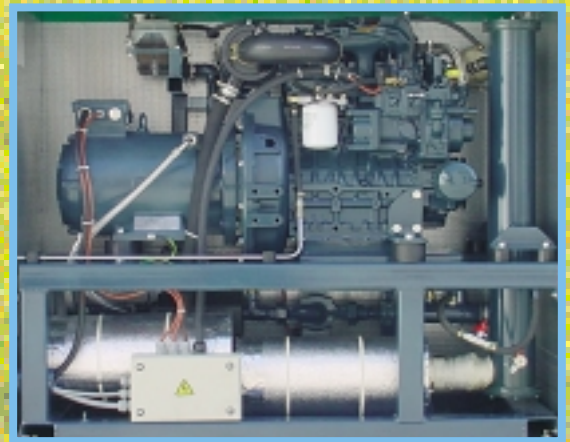


Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke



Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke

Impressum:

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg
Tel.: (0821) 90 71- 0
Fax: (0821) 90 71- 55 56
Internet: <http://www.bayern.de/lfu>

Inhalt: Diese Broschüre basiert auf den folgenden vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (früher: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen) herausgegebenen Materialienbänden:

Materialien 170: „Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Leitfaden“
Materialien 171: „Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Teil 1; Emissionsverhalten von pflanzenölbetriebenen BHKW-Motoren in Abhängigkeit von den Inhaltsstoffen und Eigenschaften der Pflanzenölkraftstoffe sowie Abgasreinigungssystemen – Literatur- und Technologieübersicht, Datenbank“
Materialien 172: „Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Teil 2; Untersuchung der limitierten und nichtlimitierten Abgasemissionen von regenerativ betriebenen Verbrennungsmotoren“
Materialien 175: „Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Abschlussbericht; Betriebs- und Emissionsverhalten ausgewählter bayerischer Anlagen, Schwachstellenanalyse und Bewertung“

Die Materialienbände sind Ergebnis dreier vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz finanzierter Forschungsvorhaben, die das Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe in Straubing (TFZ) (früher: Bayerische Landesanstalt für Landtechnik, Weihenstephan) (Materialien 170, 171, 175) und die Technische Universität München, Lehrstuhl für Energie- und Umwelttechnik der Lebensmittelindustrie (LEU) (Materialien 172) durchgeführt haben.

Inhaltliche Umsetzung: Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk, C.A.R.M.E.N. e.V.
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
Schulgasse 18
94315 Straubing

und Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Layout: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Druck: Druckerei Schmid, Kaisheim

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz gehört zum Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV).

© Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 2003.

INHALT

1	Einführung .....	.5
2	Beispielprojekt Coburger Hütte .....	.5
3	Planung .....	.5
4	Wirtschaftliche Aspekte .....	.5
5	Rahmenbedingungen .....	.7
6	Pflanzenöleigenschaften und Kraftstoffqualität .....	.7
7	Aufbau eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes .....	.8
8	Kraftstofflagerung, -system und -vorwärmung .....	.9
9	Einspritzsystem .....	.9
10	Pflanzenölmotor .....	.10
11	Abgasreinigung .....	.11
12	Wartung .....	.11
13	Weiterführende Informationen .....	.12

1 Einführung

Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke (Pflanzenöl-BHKW) zeichnen sich durch eine Reihe von Umweltvorteilen aus. Die gleichzeitige Nutzung von Strom und Wärme (Kraft-Wärme-Kopplung) ermöglicht einen effizienten Energieeinsatz und damit einen geringen Ausstoß des Treibhausgases Kohlendioxid. Die Verwendung von Pflanzenöl schont fossile Ressourcen und trägt zur nachhaltigen Energiebereitstellung bei. Für den Boden- und Gewässerschutz sind die schnelle biologische Abbaubarkeit und geringe Ökotoxizität entscheidend.

Aus Sicht des Umweltschutzes sind daher die optimalen Einsatzgebiete für Pflanzenöl-BHKW vorrangig dort, wo gleichzeitig Strom und Wärme auf niedrigem Temperaturniveau ($<100\text{ °C}$) zur Deckung des Brauchwasser-, Heiz- oder Prozesswärmebedarfs benötigt werden. Sinnvoll sind sie auch dort, wo beim Austritt von Dieselkraftstoff oder Heizöl z.B. durch Hochwasser oder Leckagen bei Lagerung bzw. bei Transportunfällen erhebliche Umweltschäden entstehen würden. Dies ist beispielsweise bei der Wärme- und Stromversorgung von Wanderhütten der Alpenregion oder anderer Gebäude in Natur- oder Wasserschutzgebieten gegeben.

Der vorliegende Leitfaden informiert über den technischen Stand pflanzenölbetriebener Blockheizkraftwerke und soll eine Hilfestellung zu Fragen der Planung, Ausgestaltung und des Betriebs von Pflanzenöl-BHKW geben.

2 Beispielprojekt Coburger Hütte

Daten zum Pflanzenöl-BHKW der Coburger Hütte

Motor	4 Zylinder Wirbelkammer Dieselmotor
Hubraum	3,30 dm ³
Nenn Drehzahl	1500 U/min
Elektrische Leistung	24 kW
Thermische Leistung	38 kW

Der Deutsche Alpenverein hat seit 1993 bereits 25 Berghütten mit Pflanzenöl-BHKW ausgerüstet. Eines davon befindet sich auf der Coburger Hütte im Wettersteingebirge auf einer Höhe von 1920 Meter über NN. In der Alpenregion kommt dem Schutz vor möglicher Verunreinigung von Boden und Gewässern durch den Transport des Kraftstoffes zu den Hütten eine besondere Bedeutung zu. Insbesondere hier kommen die spezifischen Vorteile von Pflanzenöl-BHKW gut zur Geltung. Das BHKW wurde im Jahr 1998 in Betrieb genommen. Nicht zuletzt ist das Engagement des Hüttenwirtes Grundlage für den erfolgreichen Betrieb.



Abb. 1: Coburger Hütte (Quelle: Technologie- und Förderzentrum)

3 Planung

Für die Planung und Auslegung von Pflanzenöl-Blockheizkraftwerken gelten prinzipiell die gleichen Grundsätze wie für Aggregate, die mit Dieselkraftstoff betrieben werden. Dazu zählen insbesondere die Voruntersuchung, Bedarfsanalyse und Bestandsaufnahme sowie die Überprüfung der Wirtschaftlichkeit des Konzeptes. Hierbei kann die Strom- oder die Wärmeerzeugung im Vordergrund stehen. Als Richtgröße für eine effektive Gesamtausnutzung (Strom und Wärme) sollte ein BHKW etwa 30 % der erforderlichen thermischen Spitzenleistung des Heizsystems liefern. Dadurch können etwa 60 - 80 % des Jahreswärmebedarfs bei 4000 bis 6000 Jahresbetriebsstunden abgedeckt werden.

4 Wirtschaftliche Aspekte

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit eines Pflanzenöl-BHKW ist es entscheidend, ob dieses vorrangig zur Wärme- oder zur Stromerzeugung genutzt werden soll und welche alternativen Systeme zur Energiebereitstellung jeweils in Betracht gezogen werden.

Die Kosten für Planung, bauliche Maßnahmen, Abgasanlage sowie thermische und elektrische Einbindung sind etwa gleich hoch wie bei konventionellen Diesel-BHKW. Für das Aggregat müssen aber in der Regel höhere **Investitionskosten** veranschlagt werden, da Pflanzenöl-BHKW in geringeren Stückzahlen gefertigt werden und teilweise andere (z.B. Kraftstofftanks, Kraftstoffleitungen, Förderpumpen, Einspritzdüsen) bzw. zusätzliche Bauteile (z.B. Vorwärmeinrichtungen) eingesetzt werden. Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die leistungsabhängigen spezifischen Investitionskosten für Pflanzenöl-BHKW-Module.

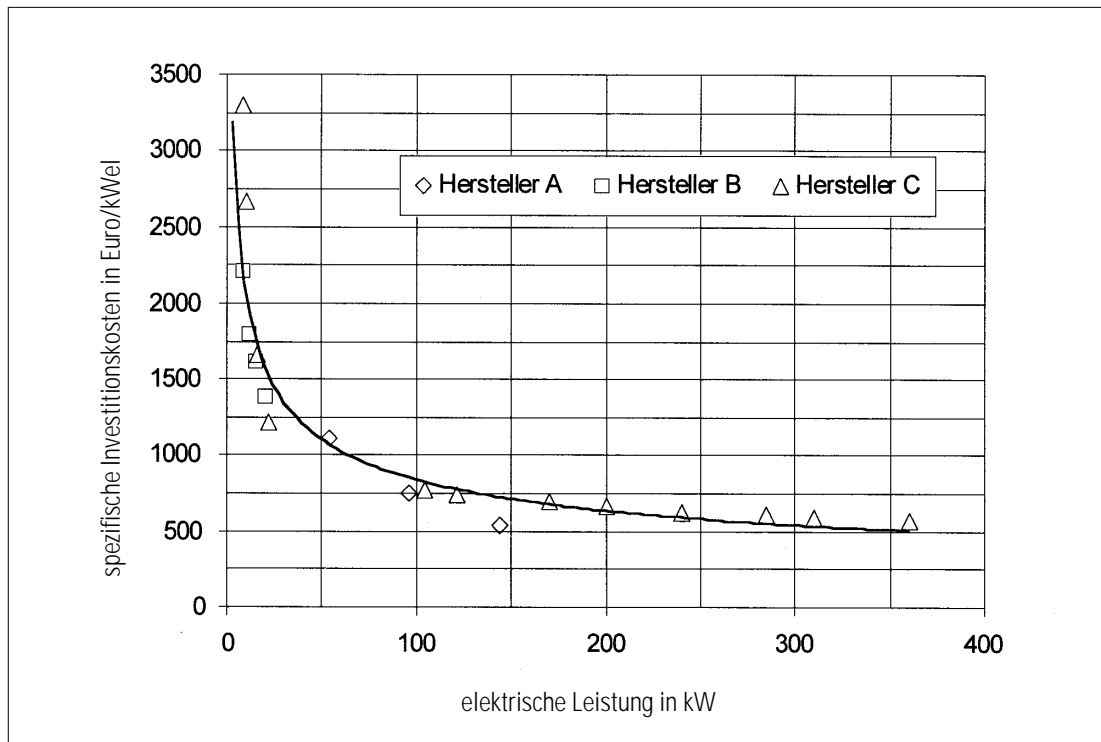


Abb. 2: Leistungsabhängige spezifische Investitionskosten für Pflanzenöl-BHKW-Module im Netzparallelbetrieb (ohne Planung, Gebäude, Kamin, Kraftstofftank) (Quelle: Technologie- und Förderzentrum)

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sollte die **Abschreibungsdauer** der Pflanzenöl-BHKW sorgfältig kürzer angesetzt werden als bei Diesel-BHKW, da aufgrund der noch geringen Verbreitung bei insgesamt relativ kurzen Laufzeiten bisher errichteter Pflanzenöl-BHKW hierzu kaum Erfahrungen vorliegen. Bei Diesel-BHKW wird von Gesamtlaufrzeiten von 12-15 Jahren ausgegangen.

Tab. 1: Beispielberechnung der Wärmekosten einer kombinierten Wärme- u. Stromerzeugung in Pflanzenöl-BHKW (Quelle: Technologie- und Förderzentrum)

	Jährliche Kosten/Erlöse eines Pflanzenöl-BHKW (8 kW _{el} , 15 kW _{th}) [Euro/a]	
	Szenario 1 (günstig) ¹⁾	Szenario 2 (ungünstig) ²⁾
Annuität (Zins + Tilgung) ³⁾	2 150	3 465
Wartungskosten	960	1 800
Brennstoffkosten	9 300	8 060
sonstige Kosten (Versicherung, Personal, Verwaltung, Hilfsenergie)	90	1 455
Gesamtkosten	12 500	14 780
Erlöse (Stromgutschrift)⁴⁾	5 400	3 200
Differenz (= Wärmekosten)⁵⁾	7 100	11 580

¹⁾ BHKW-Modul 18 320 Euro; Gebäude, Tanks, Kamin, usw. 1 600 Euro; Brennstoffkosten 0,50 Euro/l; Betriebsstunden 6 000/a
²⁾ BHKW-Modul 18 320 Euro; Gebäude, Tanks, Kamin, usw. 10 000 Euro; Brennstoffkosten 0,65 Euro/l; Betriebsstunden 4 000/a
³⁾ Zins: 7 %; Abschreibungsdauer für baulichen Teil: 25 Jahre, für BHKW-Modul: Szenario 1: 15 Jahre, Szenario 2: 10 Jahre
⁴⁾ Szenario 1: 50 % Netzeinspeisung (0,10 Euro/kWh) + 50 % Eigenverbrauch (0,125 Euro/kWh), Szenario 2: 100 % Netzeinspeisung
⁵⁾ entspricht 0,079 Euro/kWh (Szenario 1) bzw. 0,193 Euro/kWh (Szenario 2)

Die **Wartungskosten** von Pflanzenöl-BHKW sind vor allem aufgrund der kürzeren Ölwechselintervalle höher als bei Diesel-BHKW. Nach den bisher vorliegenden Erfahrungen betragen sie mindestens 0,02 Euro/kWh Strom (siehe auch Kapitel 12 Wartung).

Die mittleren Rapsöl-**Brennstoffkosten** betragen zwischen 0,50 und 0,65 Euro/l zzgl. MwSt. Auf der Erlösseite ist für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Pflanzenöl-BHKW insbesondere der Anteil der Stromeinspeisung in das öffentliche Stromnetz zu berücksichtigen. Dieser wird gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) (siehe Kapitel 5 Rahmenbedingungen) mit einer erhöhten **Einspeisevergütung** (bis zu 0,10 Euro/kWh; Stand: 10/03) gefördert. Der erzeugte Strom kann auch alternativ zur völligen oder teilweisen Abdeckung des Eigenstromverbrauchs eingesetzt werden. Dann sind die **eingesparten Strombezugskosten** bzw. die bei Vergleichsrechnungen für alternative Systeme der Energiebereitstellung zugrunde zu legenden Preise für Strom und Wärme zu berücksichtigen (Tab. 1).

Können für den erzeugten Strom höhere Erlöse angesetzt werden, sinken die Wärmekosten. So stünde beispielsweise die erzeugte Wärme dann „kostenlos“ zur Verfügung, wenn Stromerlöse von 0,26 Euro/kWh (Szenario 1) oder 0,44 Euro/kWh (Szenario 2) erzielt werden.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sollte im Einzelfall nach der Richtlinie VDI 2067 durchgeführt werden, insbesondere wenn Umweltaspekte nicht allein im Vordergrund stehen. Bei größeren Anlagen mit einer elektrischen Leistung ab ca. 40 kW sollte die Planung zudem durch ein erfahrenes Ingenieurbüro erfolgen.

5 Rahmenbedingungen

Die Errichtung und der Betrieb von stationären Verbrennungsmotoranlagen fallen in den Geltungsbereich des **Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG)**. Gemäß Nr. 1.4 Spalte 2 des Anhangs zur 4. BImSchV sind Verbrennungsmotoranlagen beim Einsatz von naturbelassenem Pflanzenöl ab 1 MW (= 1000 kW) Feuerungswärmeleistung (FWL), dies entspricht ca. 350 kW elektrischer Leistung, immissionsschutzrechtlich genehmigungspflichtig. Für diese Anlagen, die in dieser Größe bisher jedoch nur vereinzelt errichtet wurden, gelten die Anforderungen der **Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)**. Häufiger werden Pflanzenöl-BHKW mit einer FWL kleiner 1 MW errichtet (z.B. Pflanzenöl-BHKW der Coburger Hütte ca. 60 kW FWL). Für diese Anlagen liegen derzeit keine allgemeingültigen Vorschriften zur Emissionsbegrenzung vor. Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz empfiehlt die in Tabelle 2 aufgeführten Emissionsbegrenzungen.

Tab. 2: Empfohlene Emissionsbegrenzungen (derzeitige Orientierungswerte) für immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftige Anlagen (d.h. Gesamtfeuerungswärmeleistung < 1MW)

Schadstoff	Anforderung
Kohlenmonoxid (CO)	≤ 0,30 g/Nm ³ *)
Staub	≤ 20 mg/Nm ³ *) (unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit)
Stickstoffoxide (NO _x), angegeben als NO ₂	≤ 2,5 g/Nm ³ *) (durch motorische Maßnahmen) ≤ 3,0 g/Nm ³ *) (bei einer FWL von unter 500 kW)
Gerüche/HC	Einsatz von Oxidationskatalysatoren

*) bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 5 Vol.-%

Bei Bau und Betrieb von Blockheizkraftwerken müssen Lärmbelastigungen für die Nachbarschaft ausgeschlossen werden. Dies wird durch die **Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm)** geregelt. Als Maßnahme zur Verringerung der Lärmemissionen werden BHKW schwingungsisoliert aufgestellt und mit einer Schallschutzkapselung umgeben. Besondere Bedeutung gewinnt die Schallisolierung, wenn das BHKW in einem Wohnhaus platziert wird.

Reines unbehandeltes Pflanzenöl hat eine geringe aquatische Toxizität und baut sich schnell ab. Es wird daher gemäß der **Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe (VwVwS)** als „nicht wassergefährdend“ eingestuft.

Unter gefahrgutrechtlichen Gesichtspunkten gilt Pflanzenöl z.B. aufgrund seines hohen Flamm-

punktes von mehr als 220 °C nicht als Gefahrgut. Im Gegensatz zu z.B. Heizöl unterliegt es damit nicht dem **Gefahrgutbeförderungsgesetz (GGBefG)** und kann in unbegrenzten Mengen auf deutschen Straßen transportiert werden.

Ziel des **Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG)** ist es, „im Interesse des Klima- und Umweltschutzes eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen und den Beitrag Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung deutlich zu erhöhen“. Das Gesetz regelt die Abnahme und die Vergütung von Strom aus regenerativen Energieträgern und damit auch aus Pflanzenöl. Die Vergütung beträgt 2003 für Strom von neu in Betrieb genommenen Anlagen bis zu einem Leistungsanteil von einschließlich 500 kW_{el} 0,10 Euro/kWh. Die Mindestvergütungen werden jährlich um jeweils ein Prozent gesenkt. Das EEG wird derzeit überarbeitet. Die Höhe der Vergütungssätze wird ggf. neu geregelt werden.

6 Pflanzenöleigenschaften und Kraftstoffqualität

Prinzipiell sind bei entsprechender Anpassung der Motorentechnik eine Vielzahl pflanzlicher Öle für eine motorische Nutzung einsetzbar. Mit Abstand die meisten Erfahrungen liegen aber bei der Verwendung von Rapsöl vor. Darüber hinaus ist Rapsöl mit einem geringen Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Vergleich zu anderen einheimischen Ölen wie Sonnenblumenöl relativ stabil gegenüber Oxidations- und Alterungsprozessen. Im Vergleich zu Dieselkraftstoff unterscheidet sich Rapsöl im Wesentlichen hinsichtlich seiner Viskosität und seines Flammpunktes (der Flammpunkt gibt Auskunft, ab welcher Temperatur sich ein entflammbares Dampf-Luft-Gemisch bildet).



Tab. 3: Vergleich wichtiger Eigenschaften von Dieselkraftstoff und Rapsöl (typische Werte) (Quelle: Technologie- und Förderzentrum)

Kenngröße	Einheit	Dieselmkraftstoff	Rapsöl
Dichte (15°C)	kg/m ³	840	920
kinematische Viskosität (20°C)	mm ² /s	4,9	78,7
kinematische Viskosität (40°C)	mm ² /s	3,2	33,1
Flammpunkt nach P.-M.	°C	68	230
CFPP-Wert (Maß für Kaltebeständigkeit)	°C	-7	+5 ¹⁾
Schwefelgehalt	mg/kg	35	<10
Cetanzahl (Maß für Zündwilligkeit)		51,5	-39 ¹⁾
Heizwert Hu	kJ/kg	42 700	38 200

¹⁾ für Pflanzenöl ungeeignete Prüfmethode

Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften von Dieseldieselkraftstoff und Rapsöl ist eine Anpassung der Technik wie der Einbau eines leistungsfähigen Kraftstofffördersystems und eines Rapsöl-Vorwärmsystems (zur Erniedrigung der Viskosität des Kraftstoffs) dringend erforderlich, um einen dauerhaften störungsfreien Betrieb der Rapsöl-BHKW zu ermöglichen. Zudem sollte nur Pflanzenöl von **gesicherter hoher Qualität** eingesetzt werden. Auch hier ist eine Standardisierung mit festgeschriebenen Mindestanforderungen mit dem Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff (Tab. 4) im Vergleich zu anderen pflanzlichen Ölen am weitesten fortgeschritten. Der Qualitätsstandard wurde von einem Experten-Arbeitskreis unter der Federführung des Technologie- und Förderzentrums (früher: Bayerische Landesanstalt für Landtechnik) entwickelt.

Die Parameter des Qualitätsstandards für Rapsöl als Kraftstoff sind in **charakteristische** und **variable Eigenschaften** unterteilt.




Ein Nicht-Einhalten der angegebenen Grenzwerte der charakteristischen Eigenschaften (insbeson-

dere **Dichte, Flammpunkt** und **Heizwert**) deutet auf eine mögliche Vermischung mit anderen Kraftstoffen hin. Durch eine Vermischung mit z.B. 10 % Dieseldieselkraftstoff oder mit weniger als 1 % Benzin würde der Rapsöl-Flammpunkt von 220 °C auf 100 °C reduziert. Dies würde die Lagerungs- und Transportsicherheit herabsetzen und zusätzlich den Umweltvorteil der Nicht-Wassergefährdung aufheben.

Die Parameter der variablen Eigenschaften können z.B. aufgrund der Art der Ölgewinnung (Presstemperatur, Raffination, Ölreinigung) stark variieren. Ein Nicht-Einhalten der angegebenen Grenzwerte, insbesondere der **Gesamtverschmutzung**, der **Neutralisationszahl** und des **Phosphorgehalts**, kann zu technischen Störungen führen. Dazu gehören beispielsweise Verstopfungen von Filtern, Korrosion, Reaktionen mit dem Motoröl und dadurch abnehmende Schmierwirkung oder Ablagerungen an der Einspritzpumpe oder im Brennraum.

Rapsöl von ungewisser Herkunft und mit unbekanntem Eigenschaften sollte daher nicht verwendet werden. Betreibern von Rapsöl-BHKW wird dringend empfohlen die Einhaltung des RK-Qualitätsstandards in ihren Liefervereinbarungen festzuschreiben und regelmäßig Rückstellproben zu nehmen, um bei Bedarf Rapsölanalysen durchführen lassen zu können.

Tab. 4: Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff (RK-Qualitätsstandard)

		LTV-Arbeitskreis Dezentrale Pflanzenölgewinnung, Weihenstephan		in Zusammenarbeit mit:	
		Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff (RK-Qualitätsstandard)		 	
		05/2000			
Eigenschaften / Inhaltsstoffe	Einheiten	Grenzwerte		Prüfverfahren	
		min.	max.		
für Rapsöl charakteristische Eigenschaften					
Dichte (15 °C)	kg/m ³	900	930	DIN EN ISO 3675 DIN EN ISO 12185	
Flammpunkt nach P.-M.	°C	220		DIN EN 22719	
Heizwert	kJ/kg	35000		DIN 51900-3	
Kinematische Viskosität (40 °C)	mm ² /s		38	DIN EN ISO 3104	
Kälteverhalten				Rotationsviskosimetrie (Prüfbedingungen werden erarbeitet)	
Zündwilligkeit (Cetanzahl)				Prüfverfahren wird evaluiert	
Koksrückstand	Masse-%		0,40	DIN EN ISO 10370	
Iodzahl	g/100 g	100	120	DIN 53241-1	
Schwefelgehalt	mg/kg		20	ASTM D5453-93	
variable Eigenschaften					
Gesamtverschmutzung	mg/kg		25	DIN EN 12662	
Neutralisationszahl	mg KOH/g		2,0	DIN EN ISO 660	
Oxidationsstabilität (110 °C)	h	5,0		ISO 6886	
Phosphorgehalt	mg/kg		15	ASTM D3231-99	
Aschegehalt	Masse-%		0,01	DIN EN ISO 6245	
Wassergehalt	Masse-%		0,075	pr EN ISO 12937	

7 Aufbau eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) besteht aus einem oder mehreren BHKW-Modulen mit den notwendigen Hilfseinrichtungen (z.B. Kraftstoffflager und Kraftstoffsystem), Schalt- und Steuerungseinrichtungen, Schallschutzdämmung, Abgasabführung sowie Luftzuführung und Belüftung. Hauptbestandteil eines BHKW-Moduls ist das BHKW-Aggregat, das sich aus dem Verbrennungsmotor und dem Generator mit den entsprechenden Kraftübertragungs- und Lagerungselementen zusammensetzt. Die mechanische Energie des Motors wird im Generator in elektrische Energie umgewandelt. Die Wärme aus dem Kühlkreislauf und Motorabgas wird mit Hilfe des Wärmeträgers Wasser z.B. zur Gebäudeheizung genutzt.

Wie bereits erwähnt erfordern die spezifischen Eigenschaften von Rapsöl im Vergleich zu Dieseldiesel-BHKW angepasste Anlagenkomponenten, insbesondere hinsichtlich Kraftstofflagerung, -system, -vorwärmung, Einspritzsystem und Motorentechnik.



Abb. 3: Pflanzenöl-BHKW (Quelle: KW-Energietechnik)

8 Kraftstofflagerung, -system und -vorwärmung

Pflanzenöle sind im Gegensatz zu Heizöl und Dieselkraftstoff nicht additiviert und daher auch stärker **Alterungsvorgängen** ausgesetzt (oxidativer Verderb, Bildung freier Fettsäuren). Die Oxidationsvorgänge von Ölen und Fetten werden begünstigt durch Sauerstoffzutritt, Licht und Wärme sowie durch katalytisch wirkende Metalle (z.B. Kupfer). Gealterter Kraftstoff kann Rückstände in Kraftstoffleitungen und Verharzungen an den Einspritzdüsen bilden. Gelangt der Kraftstoff in das Motoröl, kann es zu einer Eindickung des Motoröls kommen, die die Schmierfähigkeit stark beeinträchtigen und Motorschäden hervorrufen kann. Um beschleunigte Alterungsvorgänge zu vermeiden, sollten im **Kraftstofflager und -system** nur Tanks und Leitungen aus Stahl oder besser Edelstahl verwendet werden und z.B. auf Kupferleitungen verzichtet werden. Zur Kraftstofflagerung sind bei dunkler Aufstellung auch Kunststofftanks z.B. aus Polyamid geeignet.

Auf eine ausreichende Frostsicherheit der Lagerbehälter sollte geachtet werden, da Pflanzenöl bei tiefen Temperaturen zähflüssig und bei andauernden Minustemperaturen in Kraftstoffleitungen auch zu Verstopfungen führen kann. Im Gegensatz zu Dieselkraftstoff wird es allerdings bei Temperaturerhöhung wieder rückstandslos flüssig. Bestehende intakte **Tankanlagen**, die zur Lagerung von Heizöl benutzt werden, können nach vollständiger Entleerung und Reinigung in der Regel auch für Pflanzenöl verwendet werden, sofern sie die oben genannten Materialanforderungen erfüllen.

Aufgrund der höheren Viskosität von Pflanzenöl sollten v.a. die Komponenten der **Kraftstoffzuführung** großzügig dimensioniert werden, damit der Motor ausreichend mit Kraftstoff versorgt wird.

Vorgewärmtes Pflanzenöl altert schneller und neigt bei weiterer Lagerung zum Verharzen. Eine **Kraftstoffvorwärmung** sollte daher erst unmittelbar vor der Einspritzung z.B. in Durchlauferhitzungssystemen erfolgen. Der Kraftstoffrücklauf des Motors sollte nicht wieder zurück in den Tank, sondern durch eine Rückführeinrichtung in die Saugleitung des Kraftstoffördersystems erfolgen. In Lagerbehältern oder während Stillstandszeiten des Motors sollte der Kraftstoff keinesfalls über Raumtemperaturniveau hinaus vorgewärmt werden. In der Praxis führte dies z.T. zu erheblichen Schäden an BHKW-Anlagen.

9 Einspritzsystem

Das gesamte Einspritzsystem, insbesondere Einspritzpumpen und Einspritzdüsen, wird durch die höhere Viskosität von Pflanzenöl meist stärker belastet als bei Dieselbetrieb. Zusätzlich sind beim Betrieb mit Pflanzenöl oft höhere Düsen einspritzdrücke erforderlich, um eine feine Kraftstoffzerstäubung zu erreichen. Die Einspritzsysteme sollten deshalb von hoher Qualität hinsichtlich Werkstoffauswahl und Verarbeitung sein, um einem dauerhaften Betrieb standzuhalten.

Die dieselmotorische Verbrennung hängt entscheidend von einer guten Gemischbildung ab. Deshalb ist es wichtig, dass das Pflanzenöl bei der Einspritzung fein zerstäubt und mit der Luft

im Brennraum stark verwirbelt wird. Einspritzdüsen mit spezieller Düsengeometrie, veränderte Einspritzwinkel und die Erhöhung des Einspritzdrucks können zu einer besseren Zerstäubung des Pflanzenöls beitragen. Eine Vorwärmung des Kraftstoffs unmittelbar vor der Einspritzung an den Einspritzdüsen verringert die Viskosität des Pflanzenöls und führt somit zu einer verbesserten Zerstäubung.

Beim Betrieb des Motors kann es in Abhängigkeit von der Düsenbauart, der Betriebsweise und nicht zuletzt der Kraftstoffqualität zu Verkokungen an den Düsenöffnungen kommen. Die vor allem in Vor- und Wirbelkammer verwendeten Zapfendüsen sind durch einen gewissen Selbstreinigungseffekt besser geeignet und daher Motoren mit Mehrloch-Einspritzdüsen vorzuziehen.

Insbesondere bei Motoren mit direkter Kraftstoffeinspritzung in den Zylinder, ohne Vor- oder Wirbelkammer, können schlecht arbeitende Düsen oder eine schlechte Gemischbildung (z.B. aufgrund häufigerer Kaltstarts) dazu führen, dass unverbrannter Kraftstoff über die Zylinderwände in das Motoröl gelangt. Unter bestimmten Bedingungen kann es dann zu einer Eindickung des Motoröls kommen, die einen vorzeitigen Ölwechsel erforderlich macht. Sollte der Ölwechsel nicht rechtzeitig erfolgen, kann dies zum Ausfall des Motors führen.

10 Pflanzenölmotor

Wie bei konventionellen Dieselmotoren werden auch bei Pflanzenölmotoren indirekt einspritzende Verfahren mit Vor- oder Wirbelkammer und direkt einspritzende Verfahren unterschieden.

Beim **Vor- und Wirbelkammerverfahren** verläuft die Verbrennung in zwei Stufen. Zunächst wird der Kraftstoff in der Nebenkammer teiloxidiert. Durch den dabei entstehenden Druck strömt der Kammerinhalt in die Hauptkammer. Dort wird das Gemisch mit der sich darin befindlichen Luft stark verwirbelt, wodurch sich die Verbrennung fortsetzt. Aufgrund der starken Verwirbelung des Kraftstoff/Luft-Gemisches und der bei diesen Motoren verwendeten Zapfendüsen sind Vor- und Wirbelkammermotoren besser für die Verbrennung von Pflanzenöl geeignet als herkömmliche direkteinspritzende Motoren. Speziell für Pflanzenöl entwickelte oder weiterentwickelte **direkteinspritzende** Motoren gewährleisten durch einen besonders gestalteten Brennraum, z.B. durch Brennmulden im Kolben, eine verbesserte Brennstoff/Luft-Verteilung. Der hier wohl bekannteste pflanzenöлтаugliche Motor wurde von Ludwig Elsbett bereits zu Beginn der 80-iger Jahre entwickelt.

Neben den speziell für Pflanzenöl konstruierten Motoren sind derzeit immer mehr **Umrüstungen** von Serienmotoren mit Direkteinspritzung für den Einsatz von Pflanzenöl erhältlich. Die angebotenen Umrüsttechnologien sind sehr vielfältig und

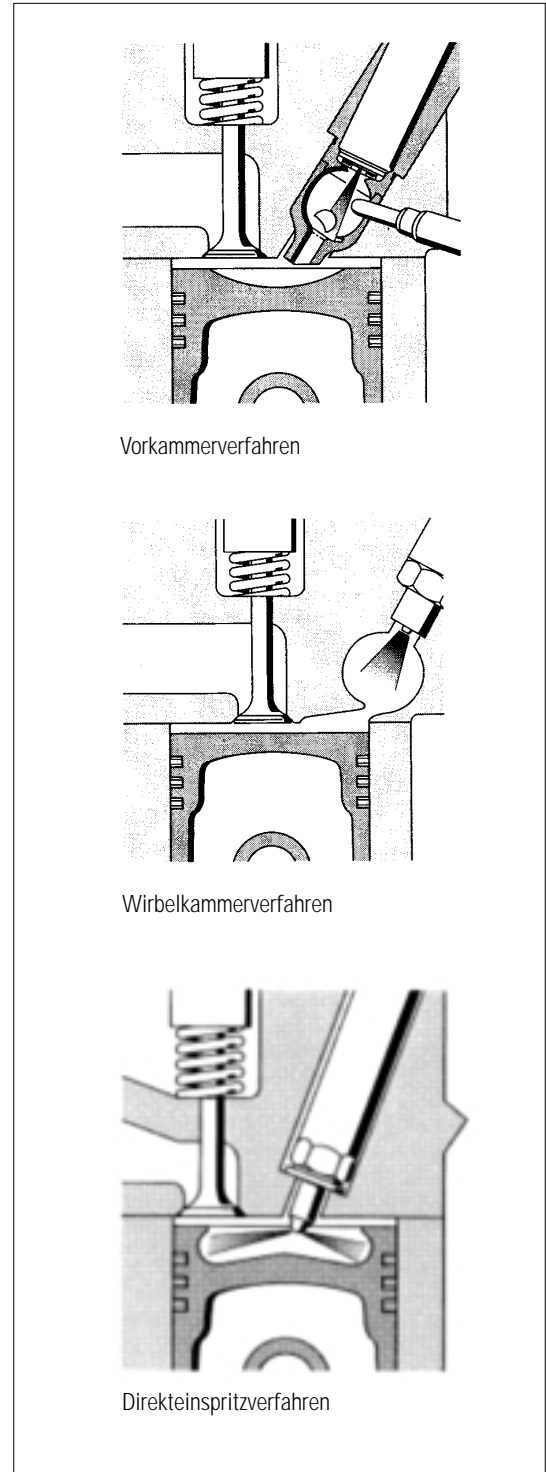


Abb. 4: Verbrennungsverfahren (Quelle: Bosch GmbH)

je nach Motortyp sowie Konzept der Umrüstung und Qualität der Ausführung mehr oder weniger aufwändig. Eine vergleichende Untersuchung und Bewertung mit belastbaren Ergebnissen zu Standzeiten von marktgängigen für Pflanzenölbetrieb umgerüsteten direkteinspritzenden Motoren liegt derzeit aber noch nicht vor.

Für BHKW-Anwendungen stehen am Markt mehrere pflanzenöлтаugliche Motoren zur Verfügung. Kleinere BHKW mit einer Leistung bis zu 25 kWel werden dabei meist mit umgerüsteten herkömmlichen Stationärdieselmotoren betrieben. Bewährt haben sich unter anderem 3- und 4-Zylinder-Vorkammermotoren in einem Leistungsspektrum

von 8 bis 35 kW mechanischer Leistung. Eine aktualisierte **Motorenherstellerliste** für Pflanzenöl-BHKW und auch für mobile Anwendungen kann unter der am Ende der Broschüre angegebenen Internetadresse von C.A.R.M.E.N. e.V. abgerufen werden.

Um Hitzeschäden zu vermeiden, sollten für die Pflanzenölmotoren thermisch hoch belastbare Bauteile verwendet werden. Zusätzlich muss eine ausreichende Wärmeabfuhr durch eine leistungsfähige Belüftung des Motors und saubere Wärmetauscherflächen sichergestellt sein. Überschüssige Wärme ist auch nach Abstellen des Aggregats durch entsprechende Nachlaufzeiten von Wasserpumpen und Lüftern abzutransportieren.

Grundsätzlich sollte ein BHKW gewählt werden, das durch seinen soliden und erprobten Aufbau den Anforderungen der hohen erwarteten Laufzeitbelastung gerecht wird und dessen Wartung und Ersatzteilversorgung über Jahre gesichert ist.

11 Abgasreinigung

Emissionsmessungen an Pflanzenöl-BHKW zeigten, dass die empfohlenen Emissionsbegrenzungen für NO_x , Staub und CO beim Einsatz von Oxidationskatalysatoren und Partikelfiltern in der Praxis gut eingehalten werden.

In Oxidationskatalysatoren findet eine Nachverbrennung der „Schadstoffe“ zu Kohlendioxid und Wasser statt. Insbesondere werden auch Stoffe, die für die pflanzenölytypischen Gerüche verantwortlich gemacht werden, um über 80 % reduziert. Der Einsatz von **Oxidationskatalysatoren** wird daher für alle pflanzenölbetriebenen BHKW empfohlen.

Ebenso wie bei Dieselmotoren kommt es auch bei Pflanzenölmotoren zu Staubemissionen. Für eine möglichst umweltverträgliche Energiebereitstellung empfiehlt das LfU eine Staubemissionsbegrenzung von 20 mg/Nm^3 einzuhalten. Bei Emissionsmessungen des Technologie- und Förderzentrums konnte dieser Zielwert durch den Einsatz eines **Partikelfilters** sogar deutlich unterschritten werden. Allerdings traten an dem untersuchten Filter häufiger Störungen auf. Das LfU lässt daher derzeit in einem weiteren Forschungsvorhaben untersuchen, inwieweit bzw. welche Partikelfilter sich für den dauerhaften Einsatz beim Pflanzenöl-BHKW eignen. Bei der Planung eines Pflanzenöl-BHKW sollte daher die Möglichkeit der Nachrüstung eines Partikelfiltersystems vorgesehen werden.

12 Wartung

Entscheidend für einen optimalen Betrieb ist die positive Einstellung des Betreuungspersonals zur Anlage. Regelmäßige, am besten **tägliche Routinekontrollen** am BHKW sollten von einer eingewiesenen fachkundigen Person durchgeführt wer-

den. Bei den Routinekontrollen sollte der Gesamtzustand der Anlage überwacht werden. Wichtige Aspekte hierbei sind die Überprüfung der Dichtigkeit aller Komponenten, die regelmäßige Kontrolle des Motoröl- und Kühlwasserstandes sowie das Ablesen der an der Anlage installierten Mess- und Überwachungseinrichtungen. Zusätzlich sollte auf unübliche Geräusche, auf den Festsitz aller Bauteile und die Trübung der Abgase geachtet werden. Bei sichtbarer Trübung sollte der Motor abgestellt und kontrolliert werden.

Es ist empfehlenswert, wichtige Daten wie Betriebsstundenzählerstand oder eventuell beobachtete Auffälligkeiten mit Datum und Namen des Beobachters in einem **Betriebstagebuch** täglich festzuhalten. Ein lückenlos geführtes Betriebstagebuch ermöglicht in aller Regel eine frühere Erkennung von Störungen und deren Ursachen und trägt zu einer schnellen sowie kostengünstigen Fehlerbehebung bei. Zudem kann mithilfe eines „Logbuchs“ ein Nachweis über die ordnungsgemäß durchgeführten Wartungsarbeiten erbracht werden.

Ein Betriebstagebuch sollte folgende Daten enthalten:

- Datum und Uhrzeit
- Name der Kontrollperson
- Betriebsstunden
- Fehlermeldung / Auffälligkeit
- durchgeführte Arbeiten
- Parameter wie z.B. Motor-/ Abgastemperatur

Der Anlagenbauer gibt die Wartungsarbeiten, die in bestimmten Intervallen durchzuführen sind, in einem **Wartungsplan** vor. Dieser ist, um einen zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten und um eventuelle Garantieansprüche geltend zu machen, unbedingt einzuhalten.

Kleinere und häufig wiederkehrende Wartungsarbeiten wie Kraftstofffilterwechsel und Motoröl-/filterwechsel kann üblicherweise ein ortsansässiger fachkundiger Kundendienst nach entsprechender Einweisung durchführen. Dies mindert die Wartungskosten und Ausfallzeiten, die insbesondere bei längeren Wegstrecken zwischen dem Sitz des Anlagenbauers und dem BHKW-Standort anfallen können. Motoröl- und Kraftstofffilter sind je nach Aggregat etwa alle 300-600 Betriebsstunden, d.h. bei gut ausgelasteten BHKW ca. alle 2-4 Wochen, zu wechseln.

Größere Inspektionen und Inspektionen während der Garantiezeit (üblich: 1 Jahr, z.T. mit Stundenbegrenzung) sollten dem Anlagenbauer oder einem von ihm beauftragten Fachkundendienst überlassen werden. Der Abschluss eines **Wartungsvertrags** garantiert dem BHKW-Betreiber normalerweise einen zuverlässigen, fachkundigen und darüber hinaus besser kalkulierbaren Wartungsdienst. Bei den größeren Wartungen sollten insbesondere die richtige Einstellung und die Funktionstüchtigkeit des Einspritzsystems überprüft werden.

13 Weiterführende Informationen

Diese Broschüre soll einen ersten Einblick in die Rapsöl-BHKW-Technologie geben. Weitere Informationen zu dem Thema enthalten die nachfolgend angegebenen Internetseiten und Literaturstellen. Insbesondere der „**Leitfaden Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke**“ (DIN A4, 70 Seiten) geht vertieft auf das erforderliche Wissen für den dauerhaften störungsfreien Betrieb von Pflanzenöl-BHKW auf niedrigem Emissionsniveau ein.

Er steht kostenlos im Internetangebot des LfU unter <http://www.bayern.de/lfu/luft/veroeffentlich/umweltforsch> zum Download zur Verfügung.

Internet:

- <http://www.bayern.de/lfu/luft/veroeffentlich/umweltforsch>

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Umweltbegleitforschung zur energetischen Nutzung von Biomasse)

- <http://www.carmen-ev.de>
Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V. (Herstellerliste Pflanzenöl-BHKW, Bezugsquellen für Pflanzenöl)
- <http://www.tfz.bayern.de>
Technologie- und Förderzentrum (früher: Bayerische Landesanstalt für Landtechnik)
- <http://www.weihenstephan.de/blm/leu>
Lehrstuhl für Energie- und Umwelttechnik der



Lebensmittelindustrie der Technischen Universität München

- <http://www.fnr.de>
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
- <http://www.umweltstiftung.de>
Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- <http://www.pflanzenoelinitiative.de>
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe

Literatur

BOPP, G., KIEFER, K. und SAUER, U.: „Planungsleitfaden für Energiekonzepte von Berghütten“, Fraunhofer ISE, Freiburg Juli 2002 (veröffentlicht im Internet unter: <http://www.umweltstiftung.de/spunkte/schwer.php?id=berg&tit=Berghuetten>)

MEYER-PITTRROFF, R., DOBIASCH, A. und LACHENMAIER, J.: „Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Untersuchung der limitierten und nichtlimitierten Abgasemissionen von regenerativ betriebenen Verbrennungsmotoren“, Materialien 172, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München, Juni 2002

STREIT, A. und FRIEB, H.: „Emissionsuntersuchungen an einem stationären Rapsöl-BHKW“, Bayer. Landesamt für Umweltschutz (LfU), Augsburg, 1998 (veröffentlicht im Internet unter: <http://www.bayern.de/lfu/luft/rops-bhkw>)

THUNEKE, K., WIDMANN, B.A. und REMMELE, E.: „Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Leitfaden“, Materialien 170, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München, April 2002

THUNEKE, K., LINK, H., WIDMANN, B.A. und REMMELE, E.: „Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Betriebs- und Emissionsverhalten ausgewählter bayerischer Anlagen, Schwachstellenanalyse und Bewertung“, Materialien 175, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München, Juli 2002

THUNEKE, K. und KERN, C.: „Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Emissionsverhalten von pflanzenölbetriebenen BHKW-Motoren in Abhängigkeit von den Inhaltsstoffen und Eigenschaften der Pflanzenölkraftstoffe sowie Abgasreinigungssystemen – Literatur- und Technologieübersicht, Datenbank“, Materialien 171, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München, Juni 2002

WIDMANN, B.A. und THUNEKE, K.: „Erhebung des technischen Standes bei pflanzenölbetriebenen Blockheizkraftwerken im Alpengebiet“, Abschlussbericht im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Bayerische Landesanstalt für Landtechnik, Weihenstephan, März 2001



**Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz**
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg
Telefon 0821/90 71-0
Telefax 0821/90 71-55 56