

10

Stationäre Nutzung von Pflanzenölen

Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke (BHKW) zeichnen sich durch eine Reihe von Umweltvorteilen aus. Zusätzlich zur effizienten Energieumwandlung durch Kraft-Wärme-Kopplung wirkt sich die Verwendung von Pflanzenöl als Kraft- und Heizstoff positiv auf die Schonung von Ressourcen und den Schutz des Klimas aus. Darüber hinaus kann Pflanzenöl durch dessen schnelle biologische Abbaubarkeit und geringe Ökotoxizität einen entscheidenden Beitrag zum Boden- und Gewässerschutz leisten. Deshalb eignet sich der Einsatz von Pflanzenöl-BHKW vor allem in umweltsensiblen Gebieten, wie etwa dem Alpenraum oder in hochwassergefährdeten Gebieten, wo beim Austritt von Heizöl oder Dieselkraftstoff beträchtliche Schäden entstehen können. Ein weiterer wichtiger Einsatzbereich von pflanzenölbetriebenen BHKW sind ländliche Gebiete, in denen bei regionaler Produktion und Nutzung des Pflanzenöls (vor allem Rapsöl) sowie des Pressrückstands durch den niedrigen Transportaufwand eine hohe Ausnutzung des Energiegehaltes des Pflanzenölkraftstoffs erzielt wird und positive Impulse auf die Strukturentwicklung im ländlichen Raum ausgehen. Durch die Förderung der Stromeinspeisung im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes – EEG /10-9/, die Mineralölverknappung sowie das gestärkte Umweltbewusstsein werden pflanzenölbetriebene BHKW insbesondere im Leistungsbereich von ca. 5 bis 500 kW elektrischer Leistung zunehmend nachgefragt. In Deutschland gibt es derzeit mindestens 36 Hersteller von pflanzenöлтаuglichen BHKW (vgl. Anhang), insgesamt waren im Jahr 2005 mehr als 700 mit Pflanzenöl betriebene BHKW im Einsatz /10-11/. Etwa 50 % dieser Anlagen besitzen eine elektrische Leistung bis 10 kW_{el}, 43 % bis 100 kW_{el}, 5 % bis 1.000 kW_{el} und 2 % größer als 1.000 kW_{el}. Die gesamte installierte elektrische Leistung beträgt ca. 60 MW_{el}, etwa 70 % davon entfallen auf Anlagen größer 1.000 kW_{el}, 15 % auf Anlagen bis 1.000 kW_{el}, 8 % auf Anlagen bis 100 kW_{el}

und 7 % auf Anlagen bis 10 kW_{el} /10-11/. Pflanzenöl-BHKW mit geringer Leistung werden meist mit Rapsölkraftstoff betrieben, bei leistungsstärkeren BHKW kommen seit dem Jahre 2005 vermehrt auch Soja- oder Palmöl zum Einsatz. Da in diesem Handbuch vorwiegend Kleinanlagen betrachtet werden, wird nachfolgend die Gewinnung und Nutzung von Rapsöl als Kraft- und Heizstoff in stationären Anlagen der unteren Leistungsklassen vorgestellt.

10.1 Ölgewinnung und -reinigung

In Mitteleuropa kommen hauptsächlich Raps und Sonnenblumen als Ölsaaten für die Produktion von Kraftstoffen auf Pflanzenölbasis in Frage. Raps beispielsweise enthält im lagerfähigen Zustand etwa 43 % Öl, 40 % Rohprotein und Extraktstoffe, 7 % Wasser, 5 % Rohfaser und 5 % Asche. Ziel der verschiedenen Ölgewinnungsverfahren ist es, den Ölanteil aus der Saat möglichst effizient abzutrennen, wobei unerwünschte Bestandteile aus dem Samenkorn nicht in das Öl überführt bzw. aus diesem entfernt werden sollen.

Ölgewinnung. Für die Gewinnung von Rapsöl gibt es zwei verschiedene gängige Produktionsverfahren, das Abpressen und Extrahieren der Ölsaaten in industriellen Ölmühlen mit Tagesleistungen von maximal 4.000 t Ölsaate und das ausschließlich mechanische Abpressen in kleineren dezentralen Ölmühlen mit etwa 0,5 bis 25 t/Tag und mehr /10-27/.

Die Verfahrensschritte bei der Rapsölgewinnung in zentralen Großanlagen sind:

- Vorbehandlung der Ölsaaten (Reinigung, Trocknung, evtl. Schälung, Zerkleinerung, Konditionierung),
- Ölgewinnung (mechanische Vorpressung, Pressrückstand wird durch Lösungsmittelextraktion weiter entölt),

- Nachbehandlung des Extraktionsschrots (Entfernen und Rückgewinnung des Lösungsmittels),
- Raffination (Entfernen der bei der Vorpressung und Extraktion eingetragenen unerwünschten Begleitstoffe durch Entschleimung, Entsäuerung, Bleichung, Desodorierung).

In dezentralen kleineren Anlagen wird auf viele dieser Verfahrensschritte verzichtet. Hier sind bei der Ölgewinnung die folgenden Prozessschritte zu nennen:

- Vorbehandlung der Ölsaart (Reinigung, Trocknung, evtl. Schälung oder Walzung),
- Ölgewinnung durch Kaltpressung (ausschließlich mechanische Entölung, meist durch Schneckenpressen),
- Ölreinigung (Abscheidung von Trubstoffen durch Sedimentation, Filtration oder Zentrifugation).

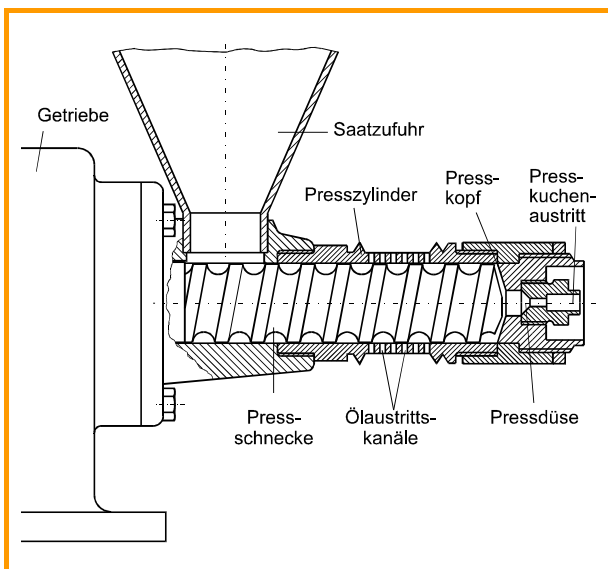


Abb. 10.1: Schnitt durch eine Schneckenpresse mit perforiertem Presszylinder /10-27/

Während die Ölausbeute in Großanlagen bei etwa 99 % liegt kommen dezentrale Anlagen lediglich auf ca. 80 % Ölausbeute. Anders als bei den Großanlagen werden hier fast ausschließlich Schneckenpressen verwendet (Abb. 10.1). Bei einer Tageskapazität von ca. 0,4 bis 0,7 t Rapssaart/Tag ist mit Anschaffungskosten für die Schneckenpresse (ohne Fördertechnik, Lagerung, Ölreinigung etc.) von ca. 5.000 bis 8.000 € zu rechnen.

Ölreinigung. Das gewonnene Rapsöl enthält etwa 0,5 bis 6 Gew.-% Feststoffe (ölfrei), die aus den festen Bestandteilen des Ölsamens bestehen. Die Feststoffe müssen möglichst vollständig aus dem Öl entfernt werden, da die Ölreinheit, d. h. der als „Gesamt-

verschmutzung“ bezeichnete Gehalt an Feststoffen sowie deren Korngrößenverteilung, ein wichtiges Qualitätsmerkmal für die Nutzung in Verbrennungsmotoren ist. Die Ölreinigung sollte immer über mindestens zwei Reinigungsstufen, nämlich eine Hauptreinigung (Grobklärung) und eine nachgeschaltete Sicherheitsfiltration (Endfiltration) erfolgen. In kleineren dezentralen Anlagen mit Tageskapazitäten bis zu ca. 1 t Ölsaart/Tag ist für die Grobklärung der Einsatz einer einfachen und relativ kostengünstig zu betreibenden Sedimentationsanlage möglich (Abb. 10.2). Für größere Verarbeitungskapazitäten ist eine Hauptreinigung durch Filtration (zum Beispiel Kammerfilterpresse, Vertikal-Druckplattenfilter oder Vertikal-Druckkerzenfilter) zu bevorzugen. Bei der Sicherheitsfiltration von Rapsölkraftstoff haben sich in bisherigen Untersuchungen Filterkerzen aus gewickelter Baumwolle oder Tiefenfiltermodule bewährt. Diverse Beutelfilter hingegen haben sich als nur bedingt oder nicht geeignet erwiesen. Neben „festen“ Verunreinigungen können in Pflanzenölen, zum Teil erst nach längerer Lagerzeit, sogenannte Trübungsstoffe sichtbar werden, die sich absetzen und beispielsweise einen weißlichen Bodenbelag bilden können. Treten Trübungsstoffe auf, müssen diese Ölchargen nochmals sorgfältig gefiltert werden.

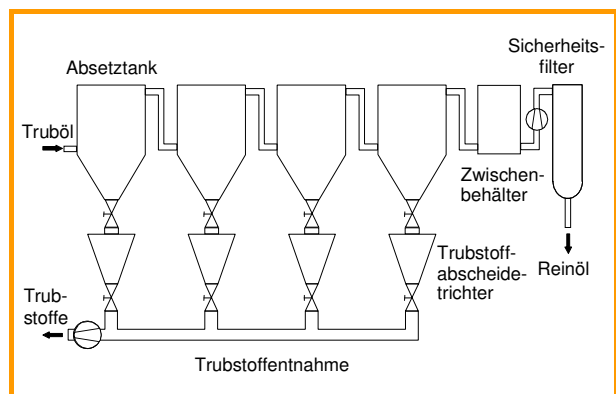


Abb. 10.2: Kontinuierliche Sedimentation für Pflanzenöl /10-27/

10.2 Kraftstoffeigenschaften

Um Rapsöl als Kraftstoff in Motoren einsetzen zu können, werden zwei Wege beschritten, die Anpassung des Kraftstoffs an den Motor oder die Anpassung des Motors an den (weitgehend naturbelassenen) Kraftstoff. Bei der Anpassung des Kraftstoffs wird versucht, das Rapsöl durch chemische Veränderungen (z. B. Umesterung zu Rapsölmethylester, d. h.

„RME“ oder „Biodiesel“) so zu verändern, dass dessen kraftstofftechnische Eigenschaften dem Dieselmotorkraftstoff ähnlich werden; das Gleiche ist auch durch Verarbeitung in Mineralö Raffinerien möglich /10-27/. Da solche umgewandelten Kraftstoffe vornehmlich für den Transportbereich (Verkehrssektor) hergestellt werden, sollen sie hier nicht betrachtet werden. Statt dessen werden nachfolgend nur die Eigenschaften des naturbelassenen Rapsöls vorgestellt.

Zusammensetzung und Merkmale. Naturbelassenes Rapsöl besteht zu 77 bis 78 Gew.-% aus Kohlenstoff (C), zu 11 bis 12 % aus Wasserstoff (H) und zu 10 bis 11 % aus Sauerstoff (O). Rapsöl ist schnell biologisch abbaubar und weist eine geringe aquatische Toxizität im Vergleich zu Diesel- oder Ottokraftstoff auf. Bei der Lagerung können Umsetzungsvorgänge stattfinden, sie sind abhängig von der Vorgeschichte des Öls und den herrschenden Lagerungsbedingungen (u. a. Tankmaterial, Temperatur, Sauerstoff, Licht, Wasser). Es finden sogenannte Autoxidations- und Polymerisierungsprozesse statt, die durch geeignete Produktions- und Lagerbedingungen vermindert werden können (vgl. Kapitel 10.4). Unter günstigen Bedingungen (Dunkelheit, Lagertemperatur: 5 °C) ist naturbelassenes Rapsöl etwa 6 bis 12 Monate lagerfähig.

Die Eigenschaften von Rapsölkraftstoff weichen in einigen wesentlichen Punkten von den gültigen Normen für Dieselmotorkraftstoffe (DIN EN 590) und Biodiesel bzw. Fettsäure-Methylester (FAME) (DIN EN 14214) ab. Vor allem die hohe „Zähflüssigkeit“, ausgedrückt durch die um den Faktor 10 höhere Viskosität (Tabelle 10.1), ist häufig dafür verantwortlich, dass in herkömmlichen vor allem direkt einspritzenden Dieselmotoren beim Betrieb mit Rapsöl die Zerstäubungsqualität während des Einspritzvorgangs sowie die Verbrennungsgüte unzureichend ist und Ablagerungen im Bereich der Zylinderbuchsen, Kolben, Ventile und Einspritzdüsen auftreten. Deshalb ist naturbelassenes Rapsöl – anders als beispielsweise Biodiesel – nicht als Kraftstoff für konventionelle direkteinspritzende Dieselmotoren geeignet. Ähnlichkeit mit Diesel besteht aber im Heizwert (bezogen auf das Volumen). Dieselmotorkraftstoff besitzt zwar auf die Masse bezogen einen höheren Heizwert als naturbelassenes Pflanzenöl, beim volumenbezogenen Heizwert wird dieser aber durch die niedrigere Dichte nahezu kompensiert, so dass der Kraftstoffverbrauch eines Motors in etwa gleich bleibt (Tabelle 10.1). Rapsöl weist somit gegenüber Diesel bzw. extra leichtem Heizöl nur einen um ca. 4 %, Biodiesel einen um etwa 9 % geringeren volumenbezogenen Heizwert auf.

Tabelle 10.1: Ausgewählte Kennwerte von Kraftstoffen gemäß den entsprechenden Normen

Parameter	Dieselmotorkraftstoff (DIN EN 590)	Biodiesel (FAME) (DIN EN 14 214)	Rapsölkraftstoff (DIN V 51605)
Dichte (15 °C) in kg/m ³	820–845	860–900	920–930
Viskosität ^a (40 °C) in mm ² /s	2,0–4,5	3,5–5,0	max. 36
Flammpunkt in °C	über 55	über 101	min. 220
Heizwert massebezogen (MJ/kg)	43,0 ^b	37,6 ^b	ca. 37,6 ^b
volumetrisch (MJ/l)	ca. 36,2 ^b	ca. 33,1 ^b	ca. 34,6 ^b

a. kinematische Viskosität
b. Literaturwerte

Tabelle 10.2: Auswahl von Anforderungen an Rapsölkraftstoff gemäß Vornorm DIN V 51605

Eigenschaften/Inhaltsstoffe	Einheit	Grenzwert
Jodzahl	g Jod/100 g	95 bis 125
Koksrückstand	Gew.-%	max. 0,4
Schwefelgehalt	mg/kg	max. 10
Gesamtverschmutzung	mg/kg	max. 24
Oxidationsstabilität (110 °C)	h	min. 6
Säurezahl	mg KOH/g	max. 2,0
Summengehalt an Magnesium und Calcium	mg/kg	max. 20
Phosphorgehalt	mg/kg	max. 12
Aschegehalt	Gew.-%	max. 0,01
Wassergehalt	Gew.-%	max. 0,075

Qualitätsanforderungen. Von entscheidender Bedeutung für einen langfristig störungsarmen Betrieb ist die Einhaltung gewisser Mindestanforderungen an die Qualität der Pflanzenöle für die Verwendung als Kraftstoff. Diese sind bislang nur für Rapsölkraftstoff definiert und in der DIN V 51605 festgelegt /10-6/. Die DIN V 51605 wurde auf Basis des „RK-Qualitätsstandards 05/2000“ (sogenannter „Weihenstephaner Standard“) erarbeitet. Ähnlich wie in den Normen für Heizöl (DIN 51603-1), Dieselmotorkraftstoff (DIN EN 590) sowie Fettsäure-Methylester als Heizöl (DIN EN 14213) und als Kraftstoff für Kraftfahrzeuge (DIN EN 14214) /10-5/) sind hier alle wichtigen Produkteigenschaften von Rapsöl für die Verwendung als Kraft- und Heizstoff in dafür geeigneten Motoren oder Heizungsanlagen mit den entsprechenden Prüfmethode und Grenzwerten zusammengestellt (Tabelle 10.2).

10.3 Energetische Nutzung

10.3.1 Pflanzenölmotoren

Seit etwa 20 Jahren werden vermehrt Dieselmotoren für den Einsatz von naturbelassenem Pflanzenöl angeboten. Spezielle Pflanzenölmotoren, wie der Elsbett-Motor werden heute nicht mehr gebaut. Vielmehr werden Serien-Dieselmotoren nachträglich für den Betrieb mit Pflanzenöl umgerüstet. Bedingt durch die stark angestiegene Nachfrage, gibt es derzeit eine Vielzahl von Firmen, die eine Motorenumrüstung auf den Betrieb mit Pflanzenöl (überwiegend Rapsölkraftstoff) anbieten. Die Umrüstkonzeppte lassen sich in Ein- und Zweitanksysteme bzw. Ein- und Zweikraftstoffsysteme unterscheiden.

Beim Zweitanksystem wird das Aggregat bzw. Fahrzeug mit einem zusätzlichen Kraftstofftank ausgestattet, der den Motor mit einem im Vergleich zum Pflanzenöl bei niedrigerer Temperatur besser zündenden Kraftstoff (zumeist Heizöl bzw. Diesel) für die Start- und Warmlaufphase versorgt. Sobald die Motorbetriebstemperatur erreicht ist, erfolgt die Kraftstoffversorgung aus dem Haupttank mit Pflanzenöl. Vor dem Abstellen des Motors ist wieder auf die Versorgung mit dem Zusatzkraftstoff umzustellen, damit die Einspritzleitungen und Düsen gespült werden und leicht zündender Kraftstoff für den neuen Startvorgang zur Verfügung steht. Derartige Zweitanksysteme sind oft zusätzlich mit einer Kraftstoffvorheizung und elektronischer Steuerung der Kraftstoff-Umschaltung ausgestattet. Für BHKW, die nach dem 31.12.2006 in Betrieb genommen worden sind, erlischt jedoch die Verpflichtung zur Vergütung des Stroms nach EEG, wenn für Zwecke der Zünd- und Stützfeuerung nicht ausschließlich Biomasse oder Pflanzenölmethylester verwendet wird (vgl. Kapitel 10.5.5).

Eintanksysteme kommen hingegen ohne zweiten Kraftstoffkreislauf aus. Die Anpassungen sind daher insbesondere bei modernen direkt einspritzenden Motoren meist aufwändiger, da auch im kalten Betriebszustand eine gute Zerstäubung und Zündung des zähflüssigeren Pflanzenöls gewährleistet werden muss. Durch Veränderungen am Kraftstoffsystem, im Brennraum sowie durch Eingriffe in das Motormanagement können indirekt und direkt einspritzende Serien-Dieselmotoren mit Eintanksystemen entsprechend den Anforderungen des Pflanzenölkraftstoffs umgerüstet werden. Einige dieser Umrüstmaßnahmen, die je nach Motortyp und Umrüstkonzeppt durchgeführt und kombiniert werden, sind im Fol-

genden aufgeführt (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- Kraftstoffvorwärmung an Leitungen, Filtern, Pumpen, Düsen,
- Vorwärmung des Zylinders/Motorkühlwassers,
- Verwendung alternativer beständigerer Materialien für Kolben und Zylinderkopf,
- Modifikationen der Vorglüheinrichtung, der Einspritzdüsen, des Brennraumes,
- Eingriff in das Motormanagement, Veränderung von Einspritzdruck und -zeitpunkt.

Bei allen Umrüstungen ist darauf zu achten, dass die am Motor vorhandenen kraftstoffführenden Komponenten (vor allem Kraftstoffförderpumpe, Einspritzpumpe, Dichtungen, Leitungen etc.) zum einen ausreichend dimensioniert und zum anderen beständig gegenüber dem Langzeiteinsatz von Pflanzenöl sind. Die Auswahl von technisch ausgereiften Motorbauteilen in hoher Verarbeitungsqualität ist in Hinblick auf die allgemein stärkere Beanspruchung der Materialien (höhere Viskosität und höhere Verbrennungstemperatur des Pflanzenöls) empfehlenswert. Unbedingt zu vermeiden sind die Verwendung von katalytisch wirksamen Materialien wie z. B. Kupfer, bzw. kupferhaltige Legierungen (z. B. Messing).

10.3.2 Pflanzenöl-BHKW

Ein Blockheizkraftwerk besteht aus einem oder mehreren BHKW-Modulen mit den notwendigen Hilfseinrichtungen, Schalt- und Steuerungseinrichtungen, Schallschutzdämmung, Abgasabführung sowie dem Aufstellraum. Hauptbestandteil eines BHKW-Moduls ist das BHKW-Aggregat, das sich aus dem Verbrennungsmotor und dem Generator mit den entsprechenden Kraftübertragungs- und Lagerungselementen zusammensetzt (vgl. Abb. 10.3). Weitere wesentliche Bestandteile eines Moduls sind die Wärmeübertrager sowie Einrichtungen zur Steuerung, Regelung und Überwachung. Hinzu kommen Komponenten des Ansaug- und Abgassystems, der Kraftstoffzuführung, Anlasser und dergleichen /10-24/.

Die mechanische Energie des Motors wird im Generator in elektrische Energie umgewandelt. Die entstehende Abwärme aus den Kühlkreisläufen und dem Motorabgas wird über Wärmeübertrager und das Wärmeverteilungsnetz dem Verbraucher zugeführt.

Blockheizkraftwerke sind meist auf den Wärmebedarf ausgelegt und werden parallel zum elektrischen Netz betrieben. Daneben können sie auch stromgeführt zur völligen oder teilweisen Inselversorgung



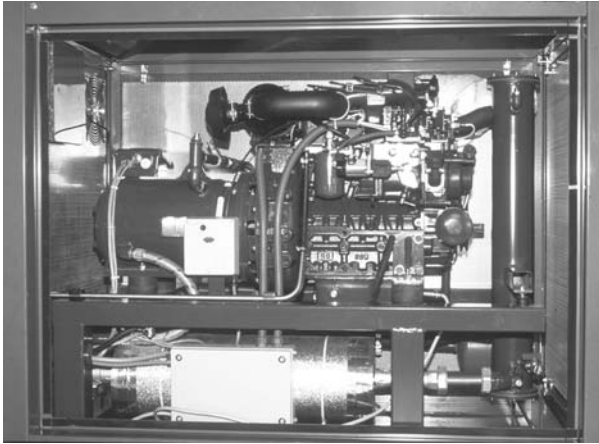


Abb. 10.3: Pflanzenöl-BHKW mit Schallschutzgehäuse
(8 kW_{el}, 16 kW_{th})

eingesetzt werden, wo sie andere Stromaggregate ersetzen oder ergänzen. Entscheidend für einen wirtschaftlichen Betrieb ist eine sorgfältige Einbeziehung der Wärmeverbraucher in das Gesamtsystem. Bei zu groß dimensionierten Anlagen führt eine unzureichende Wärmenutzung zu bedeutenden ökonomischen Einbußen.

Kraftstoffsystem. Der Kraftstoff wird für leistungsstärkere BHKW meist in größeren Lagerbehältern, die entweder unter- oder oberirdisch aufgestellt sind, bevorratet. Je nach den örtlichen Gegebenheiten kann auch eine Zwischenlagerung des benötigten Kraftstoffs in einem Tagestank in Aggregatsnähe erfolgen. Die Befüllung des Tagestanks wird dann automatisch über eine entsprechende Füllstandsregelung mit Pumpeinrichtung vorgenommen. Bei BHKW mit geringem Kraftstoffverbrauch dienen oft transportable Tankbehälter mit bis zu 1.000 l Fassungsvermögen wechselweise zur Kraftstofflagerung und -versorgung.

Die Kraftstoffzuführung besteht im Wesentlichen aus Rohr- und Schlauchleitungen, Druckregelventilen, Kraftstoffvorfilter, Förderpumpe, Kraftstofffilter, Einspritzpumpe und Einspritzdüsen. Hier sind die spezifischen Anforderungen des Pflanzenöls an die Dimensionierung und an das Material der Komponenten zu berücksichtigen (Rohrleitungen und Verschraubungen aus chromatiertem Stahl oder besser Edelstahl, flexible Schlauchleitungen aus weichmacherarmen oder -freiem NBR-Kautschuk).

Motor. Für BHKW-Anwendungen stehen derzeit mehrere pflanzenölaugliche Motortypen zur Verfügung. Die Verbrennungsluft wird entweder von au-

ßen oder aus dem BHKW-Gebäude (gute Belüftung vorausgesetzt) dem Motor über einen Luftfilter zugeführt. Je nach Größe und Konzeption sind BHKW-Motoren entweder als Saugmotoren oder als aufgeladene Motoren mit Turbolader ausgeführt.

Kleinere BHKW mit einer Leistung bis zu etwa 25 kW_{el} werden meist mit umgerüsteten herkömmlichen Stationärdieselmotoren betrieben. Bewährt haben sich unter anderem 3- und 4-Zylinder-Vorkammermotoren des Herstellers Kubota in einem Leistungsspektrum von ca. 8 bis 35 kW mechanische Leistung. Pflanzenölmotoren für mittlere und größere BHKW bis zu einer elektrischen Leistung von ca. 500 kW werden mittlerweile von mehreren Firmen oft auf Basis von Scania-, Deutz- oder MAN-Motoren angeboten. Eine Auswahl von Anbietern für Pflanzenöl-BHKW ist im Anhang aufgelistet.

Emissionsminderung. Zur Minderung der Abgasemissionen können verschiedene Techniken oder Verfahren eingesetzt werden. Hierzu zählen die Abgasrückführung und Abgasreinigungssysteme wie Oxidationskatalysatoren, Entstickungskatalysatoren und Partikelabscheider (d. h. Rußfilter).

Bei der Abgasrückführung wird dem Abgas des Motors ein definierter Teilstrom entnommen und der Ansaugluft beigemischt. Dies führt zu einer Verminderung des Sauerstoffgehalts und niedrigeren Temperaturen im Brennraum, wodurch Stickstoffoxid-Reduktionsraten zwischen 40 und 80 % erreicht werden können. Mit zunehmender Abgasrückführungsrate bewirkt jedoch der geringere Sauerstoffanteil bei der Verbrennung einen Anstieg der Rußemissionen.

Oxidationskatalysatoren setzen die Energieschwelle für die Einleitung von Oxidationsreaktionen herab und erhöhen gleichzeitig die Reaktionsgeschwindigkeit. Dem Beginn solcher Reaktionen geht die Anlagerung der oxidierbaren Stoffe wie Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffe (HC) und des Sauerstoffs an der katalytisch aktiven Schicht voraus, an der die Molekülbindungen gelockert werden. Der optimale Arbeitsbereich für die bis zu mehr als 90 %ige Umsetzung der CO- und HC-Emissionen liegt bei ca. 200 bis 350 °C.

Oxidationskatalysatoren eignen sich besonders gut für Pflanzenölmotoren, weil Pflanzenöl nahezu schwefelfrei ist und dadurch die katalytische Beschichtung der Katalysatoren nicht beeinträchtigt wird. Durch Oxidationskatalysatoren werden insbesondere auch Aldehyde, die für den pflanzenötypischen Geruch verantwortlich sind, um über 80 %

reduziert. Der Einsatz von Oxidationskatalysatoren ist daher für alle pflanzenölbetriebenen BHKW unbedingt zu fordern.

Mit Hilfe eines Entstickungskatalysators können Stickstoffoxide (NO_x) wirkungsvoll reduziert werden. Dabei wird vor dem Katalysator ein Reduktionsmittel (Ammoniak-, bzw. Harnstoff-Wasser, ggf. auch Kohlenwasserstoffe) in flüssigem oder gasförmigem Zustand dem Rauchgasstrom über ein Düsensystem zugeführt. Derartige „SCR-Katalysatoren“ werden bislang jedoch nur bei größeren Motoren (ca. > 1.000 kW Feuerungswärmeleistung) eingesetzt.

Mit Partikelfiltern lassen sich bei Selbstzündungsmotoren Partikel-Abscheideraten von 90 % und mehr erreichen. Insbesondere können auch die als stark gesundheitsgefährdend einzustufenden Feinstaubpartikel deutlich reduziert werden. Mit zunehmender Betriebszeit verringern die zurückgehaltenen Partikel den Filterquerschnitt und erhöhen den Abgasgedruck. Damit der Filter nicht verstopft, ist von Zeit zu Zeit oder bei Erreichen eines bestimmten Abgasgedrucks eine Regenerierung des Rußfilters notwendig. Bei Stationärmotoren erfolgt die Regeneration oft durch aktives Abbrennen des Rußes z. B. durch Eindüsung von Propangas in den Abgasstrom. Darüber hinaus sind im Rußfiltereinsatz abgelagerte nicht-brennbare Inertanteile des Abgasstroms von Zeit zu Zeit durch Waschen bzw. Ausblasen mit Druckluft zu entfernen.

Abgasleitung. Die Abgasableitung wird durch einen sogenannten Kompensator mit dem Abgasrohr des BHKW verbunden. Dadurch wird verhindert, dass Schwingungen übertragen werden und Temperaturschwankungen zu Materialschäden (z. B. Rissen an den Abgasrohren, Schalldämpfern und Wärmeübertragern) führen. Der Abgasstrom kann – sofern dies nach der jeweiligen Landesbauordnung und der Feuerungsverordnung (FeuV) zulässig ist – in einen bestehenden Kamin eingeleitet werden. Ansonsten ist eine möglichst isolierte Abgasableitung zur Vermeidung von Kondensatbildung entsprechend den Vorgaben der TA Luft bis über Firsthöhe vorzusehen. Werden Abgasrohre zur Abgasableitung verwendet, so sollten diese aus Edelstahl sein, um Korrosion zu verhindern. Eine Kondensatsammelstelle mit Ablassschraube zur Entfernung von Kondensat und eingedrungenem Regenwasser ist an der tiefsten Stelle des Abgasstrangs vorzusehen.

Generator und elektrische Einbindung. Die mechanische Energie des Motors wird im Generator zu

Strom umgewandelt. Um ein BHKW unabhängig von einem Stromnetz z. B. als Notstromaggregat betreiben zu können, ist ein Synchrongenerator erforderlich. Eine Synchronisierungseinrichtung sorgt dafür, dass vor dem Aufschalten auf das Netz Spannung, Frequenz und Phase von Generator und Netz weitgehend übereinstimmen.

Im Gegensatz zu Synchrongeneratoren sind Asynchrongeneratoren meist robuster, wartungsärmer und im unteren Leistungsbereich auch kostengünstiger. Da Asynchrongeneratoren induktive Blindleistung aus dem Netz benötigen, sind sie nicht im Inselbetrieb einsetzbar.

Die elektrische Netzanbindung kann bis zu einer installierten elektrischen Leistung von ca. 1 MW an das vorhandene Niederspannungsnetz erfolgen. Bei größeren Anlagen wird meist in ein Mittelspannungsnetz eingespeist. Nur in seltenen Fällen ist eine eigene Leitung zum nächsten Netzknotenpunkt oder eine Trafostation notwendig, da die vorhandenen Kapazitäten in der Regel ausreichen. Die Bedingungen werden für den jeweiligen Fall von dem zuständigen Energieversorgungsunternehmen festgelegt.

Wärmeübertrager. Neben diskontinuierlich durchflossenen Wärmeübertragern (Regeneratoren) kommen bei BHKW vorwiegend kontinuierlich durchflossene Wärmeübertrager, sogenannte Rekupatoren, zum Einsatz. Rekupatoren unterscheiden sich nach ihrer Arbeitsweise in Gegenstrom-, Gleichstrom- und Kreuzstromwärmeübertrager. Je nach Anforderung werden verschiedene Bauarten wie Rohrbündel-, Platten-, Taschen- und Spiralrohrwärmeübertrager verwendet. Bei BHKW kann die Wärmeenergie der Ladeluft (bei aufgeladenen Motoren), des Generatorkühlwassers, des Motorkühlwassers, des Motorenöls oder des Motorabgases durch in Reihe geschaltete Wärmeübertrager ins Heizwasser übertragen werden. Daneben findet die Wärmeauskopplung auch manchmal in zwei getrennten Heizkreisen statt, um z. B. in einem Heizkreislauf ein höheres Temperaturniveau zu realisieren.

Betriebsbedingte Ablagerungen an den Wärmeübertragern (z. B. Ruß im Abgas-Wärmeübertrager, Kalk im Kühlwasser-Wärmeübertrager) erfordern von Zeit zu Zeit eine Reinigung der Wärmetauscherflächen, um einen ungehinderten Wärmeübergang zu gewährleisten. Bei manchen Abgaswärmeübertragern ist ein regelmäßiges Abkehren der Tauscherflächen mit einer Rußbürste (z. B. alle 1.000 Betriebsstunden) erforderlich; es gibt aber auch selbstreinigende Systeme (z. B. Kugelregen- bzw. Kettenzugsysteme



oder Dampfblasen), die zum Teil sogar kontinuierlich arbeiten (z. B. durch eine im Abgasstrom vibrierende Metallwendel). Der Reinigungsaufwand des nachgeschalteten Abgaswärmeübertragers reduziert sich deutlich, wenn ein Rußfilter mit hohem Partikelabscheidegrad verwendet wird.

In den geschlossenen oder halboffenen Kühl- bzw. Heizwasserkreisläufen ist der Einsatz von korrosionshemmenden Inhibitoren erforderlich, da die gleichzeitige Anwesenheit von Stahl, Kupfer, Kupferlegierungen und Aluminium begünstigend auf die Korrosion wirkt. Bei diesen Zusätzen handelt es sich meist um kombinierte Frost- und Korrosionsschutzmittel. Die geforderte untere Konzentrationsgrenze im Wasser darf dabei nicht unterschritten werden, um die Wirksamkeit der Additive nicht zu gefährden. Anlagen, bei denen häufig Kühlwasser nachgefüllt werden muss, sind daher regelmäßig zu kontrollieren, um eine zu starke Verdünnung zu vermeiden. Die Frostschutzeigenschaften werden im Allgemeinen über eine Dichtemessung (Spindel) ermittelt, der Korrosionsschutz kann mit speziellen Testkits überprüft werden.

Um nach Abstellen des Motors einen Hitzestau am Aggregat zu vermeiden, ist ein Pumpennachlauf erforderlich, durch den überschüssige Wärme abgeführt wird. Gleiches gilt entsprechend für die Ventilatoren der Kabinenbelüftung.

Spitzenlastkessel. Wird neben dem BHKW noch ein Spitzenlastkessel betrieben, so ist darauf zu achten, dass der Wasserkreislauf des BHKW durch entsprechende Ventile geschützt ist, um bei Stillstand des Aggregats einen Wasserdurchfluss zu verhindern. Sonst könnte eine erhebliche Wärmemenge des Kesselheizwassers über die Wärmeübertrager an das BHKW abgegeben werden und verloren gehen. Außerdem führt dies zu einer unnötigen thermischen Belastung des Aggregats.

BHKW werden meist wärmegeführt betrieben und dienen zur Deckung des Grundwärmebedarfs. Zusätzlich installierte Spitzenlastkessel werden zugeschaltet, wenn die eingetauschte Motorabwärme nicht mehr die nötige Vorlauftemperatur im Heizkreislauf liefert. Um tageszeitliche Schwankungen zwischen Strom- und Wärmebedarfsspitzen ausgleichen zu können, wird ein Wärmespeicher eingesetzt. Aus diesem „Pufferspeicher“ heraus decken die Wärmeverbraucher ihren Wärmebedarf. Erst wenn die eingestellte Temperatur des Speichers nicht mehr mit dem

BHKW gedeckt werden kann, schaltet sich der Spitzenlastkessel zu. Die Auslegung des Wärmespeichers hängt von der thermischen Leistung des BHKW, vom Wärmebedarf und von der nutzbaren Temperaturdifferenz ab. Letztere wird vor allem durch die Rücklauftemperatur zum BHKW begrenzt. Damit eine ausreichende Motorkühlung in jedem Fall gewährleistet ist, liegt diese Rücklauftemperatur je nach Anlage bei maximal etwa 60 bis 70 °C.

10.3.3 Thermische Nutzung in Ölbrennern

Neben der kombinierten Kraft- und Wärmeerzeugung im Blockheizkraftwerk (BHKW) lässt sich naturbelassenes Pflanzenöl oder auch Pflanzenölmethylester (z. B. RME) auch als Brennstoff in Feuerungsanlagen einsetzen. Mit RME können in der Regel alle konventionellen Heizölfeuerungen betrieben werden, sofern diese RME-beständig ausgeführt sind. Dagegen lässt sich naturbelassenes Rapsöl in modernen Heizölfeuerungsanlagen nur in Beimischungen von 10 bis 20 % zum Heizöl (extra leicht) verwenden, wobei es sich auch dann um eine Anlage mit Ölvorwärmung und „heißer Brennkammer“ handeln muss. In Anlagen, die diese Merkmale nicht aufweisen, können bereits bei einem Beimischungsanteil von 5 % Verkokungen an der Düse und der Stauscheibe auftreten /10-27/.

In jüngster Zeit werden von verschiedenen Herstellern auch rapsöлтаugliche Ölbrenner für Zentralheizungskessel angeboten. Hierbei handelt es sich entweder um spezielle Brennerbauarten oder um herkömmliche Heizölbrenner mit mehr oder weniger starken Modifikationen an der Ölzuführung bzw. mit zusätzlichen Komponenten zur Ölaufbereitung. Eine Liste der hierfür in Frage kommenden Hersteller findet sich im Anhang.

Im Allgemeinen ist die Verwendung von Pflanzenölen als Ersatz für Heizöl in Ölbrennern nur in wenigen Ausnahmefällen sinnvoll, da hierfür biogene Festbrennstoffe (z. B. Scheitholz, Hackschnitzel) aus Kostengründen und wegen des höheren flächenbezogenen Energieertrags vorrangig einzusetzen sind. Lediglich wenn diese nicht verfügbar sind oder aus Boden- und Gewässerschutzgründen kein Heizöl verwendet werden soll (z. B. für Berghütten) kann ein alleiniger Heizzweck auch mit Pflanzenöl sinnvoll sein. Für die nachfolgenden Ausführungen ist dies jedoch nicht relevant und wird daher nicht weiter betrachtet.



10.4 Planungs- und Betriebshinweise

Für die Planung und Auslegung von Pflanzenöl-BHKW gelten prinzipiell die gleichen Grundsätze, wie für Aggregate, die mit Heizöl oder Dieselmotoren betrieben werden. Diese Grundsätze werden in der VDI-Richtlinie 3985 „Grundsätze für Planung, Ausführung und Abnahme von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Verbrennungskraftmaschinen“ beschrieben /10-24/. Lediglich bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung sind hinsichtlich Investitions- und Brennstoffkosten sowie bei den erzielbaren Erlösen der Stromeinspeisung abweichende Annahmen gegenüber Heizölaggregate zu treffen. Diese werden in Kapitel 10.7 näher erläutert.

Die einzelnen Aufgaben der Planung lassen sich wie folgt auflisten:

- Durchführung einer Voruntersuchung, Bedarfsanalyse und Bestandsaufnahme,
- Erstellung von BHKW-Konzepten (Modulvorauswahl, Betriebsweise),
- Überprüfung der Wirtschaftlichkeit der Konzepte,
- Vorplanung und Entwurfsplanung auf Grundlage einer Vorentscheidung,
- ggf. das Führen von Vorgesprächen mit der Genehmigungsbehörde (Kreisverwaltungsbehörde),
- Ausführungsplanung und Erstellung von Ausschreibungsunterlagen sowie Leistungsverzeichnissen,
- ggf. die Einholung eines immissionsschutztechnischen Gutachtens.

Hinweise und Grundlagen für eine solche Planungsphase werden in den nachfolgenden Kapiteln gegeben.

Auslegung. Ob ein BHKW wirtschaftlich betrieben werden kann, hängt entscheidend von der gewählten Leistung ab. Bei Aggregaten, die nicht vorwiegend zur netzunabhängigen Stromversorgung eingesetzt werden, sollte die Auslegung so erfolgen, dass die anfallende Wärme in großem Umfang genutzt werden kann. Grundlage für die Auslegung bildet somit eine Analyse eines Jahresverlaufs des Wärmeleistungsbedarfs. In einer geordneten thermischen „Jahresdauerlinie“, wie sie in Kapitel 6 beispielhaft dargestellt ist, wird aufgetragen, wie viele Stunden pro Jahr eine bestimmte thermische Leistung (in kW) benötigt wird. Als Richtgröße sollte die thermische Gesamtleistung des BHKW im Allgemeinen bei etwa 30 % der notwendigen thermischen Maximalleistung liegen. So wird sichergestellt, dass durch das BHKW etwa 60 bis 80 % des Jahreswärmebedarfs bei 4.000 bis 6.000 Jah-

resstunden abgedeckt sind /10-8/. Zusätzlich zu erfassende Tagesganglinien des Strom- und Wärmeleistungsbedarfs geben Aufschluss darüber, inwieweit diese beiden Bedarfsfälle zeitlich übereinstimmen.

Betriebsweise. BHKW werden entweder wärmegeführt, stromgeführt oder in einer Kombination beider Möglichkeiten betrieben.

Ein wärmegeführtes BHKW wird nach dem Wärmebedarf der Verbraucher ausgelegt. Zusätzliche Wärmeerzeuger können das Aggregat bei der Deckung des momentanen Wärmebedarfs unterstützen. Der produzierte elektrische Strom wird ganz oder teilweise (abzüglich des Eigenverbrauchs) in das Stromnetz eingespeist.

Stromgeführte BHKW arbeiten entweder im Netzparallelbetrieb, d. h. sie decken den eigenen Strombedarf – z. T. unterstützt durch das öffentliche Netz – ab, oder im Inselbetrieb, in dem sie den Leistungsbedarf der Verbraucher allein abdecken. Auch beim stromgeführten Betrieb sollte ein möglichst großer Teil der anfallenden Wärme genutzt werden. Mit entsprechenden Wärmespeichern können zeitliche Verschiebungen von Strom- und Wärmebedarf zumindest teilweise ausgeglichen werden.

Bei einer kombinierten Betriebsweise wird das Aggregat z. B. wärmegeführt betrieben und zusätzlich zur Spitzenstromabdeckung eingesetzt. Die Wahl der Betriebsweise erfolgt in erster Linie nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

Kraftstoffbeschaffung. Rapsölkraftstoff kann kaltgepresst oder raffiniert direkt von den Ölproduzenten (Ölmühlen oder Kleinerzeuger), Großhändlern, Landhändlern oder auch direkt von speziellen Pflanzenöltankstellen bezogen werden. Aktuelle Verzeichnisse von Bezugsquellen sind im Internet zu finden; entsprechende Web-Adressen werden im Anhang zusammengestellt. Um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, ist bei kleineren z. B. regionalen Anbietern oft der Abschluss längerfristiger Lieferverträge sinnvoll.

Die Anlieferung erfolgt bei kleineren Mengen häufig in Kunststoff- oder Stahlblechbehältern auf Paletten mit ca. 800 bis 1.000 l Inhalt. Diese können dann auch als Lagerbehälter beim BHKW-Betreiber dienen. Bei größeren BHKW mit hohem Kraftstoffverbrauch und guter Auslastung ist es sinnvoll, einen Kraftstofftank mit entsprechenden Befüll- und Entleerungseinrichtungen sowie Druckausgleichsventilen und Füllstandsanzeige zu installieren. Zur Anlieferung des Pflanzenöls werden dann meist Tanklastzüge einge-



setzt. Dabei ist es wichtig, dass die Ladebehälter sauber und frei von Restmengen zuvor transportierter Güter sind. Derartige Rückstände können zum Teil zu erheblichen Schäden und Störungen führen (Filterverstopfungen, Reinigung und Austausch des gesamten Kraftstoffsystems etc.).

Von entscheidender Bedeutung ist, dass der Kraftstoff die vom BHKW-Hersteller geforderte Qualität (z. B. Rapsölkraftstoff nach DIN V 51605) aufweist. Diese sollte auf dem Lieferschein vermerkt sein. Die Lieferscheine sind als Nachweis zusammen mit einem Einsatzstofftagebuch, in dem über die Mengen und die Qualität der eingesetzten Kraftstoffe Buch geführt wird, aufzubewahren (vgl. Kapitel 10.5.5).

Qualitätssicherung beim Kraftstoff. Bei den pflanzenölbetriebenen BHKW liegen die mit Abstand umfangreichsten Einsatzerfahrungen mit Rapsöl vor. Hierfür ist auch die Standardisierung, d. h. die Festbeschreibung von Mindest-Qualitätsanforderungen durch die Veröffentlichung der Vornorm DIN V 51605, am weitesten fortgeschritten (siehe Kapitel 10.2). Das Rapsöl sollte entweder aus einer kalten Pressung stammen oder als Vollraffinat verwendet werden. Die Verwendung von nicht näher spezifiziertem Pflanzenöl oder Teilraffinaten sollte vermieden werden.

Eine erste Qualitätsbeurteilung durch Sicht- und Geruchskontrolle einer repräsentativen Ölprobe sollte bei jedem Betankungsvorgang erfolgen. Frisches Rapsöl ist durchsichtig und hat eine goldgelbe Farbe. Bei einer Sichtkontrolle ist insbesondere auf feste Fremdstoffe im Öl, auf Trübungen, Verfärbungen (vor allem grünliche Verfärbungen), Phasentrennungen (z. B. durch freies Wasser) zu achten. Beim Geruchstest sollten keine stechenden Gerüche (z. B. durch Verunreinigung mit mineralischen Kraftstoffen oder Lösungsmittelrückständen) oder ranzige Gerüche (z. B. durch stark oxidativ vorbelastete Öle) festgestellt werden. Diese einfachen Tests ersetzen aber nicht eine Ölanalyse entsprechend der vorgeschriebenen Prüfmethode /10-15/. Im Verdachts- oder Schadensfall sollte eine solche Analyse durchgeführt werden.

Insbesondere bei der Annahme großer Mengen Rapsölkraftstoff empfiehlt es sich, bei der Betankung an der Zapfanlage drei Rückstellmuster zu entnehmen. Die Probenflaschen werden im Beisein des Lieferanten und Kunden beschriftet und mit Originalitätsverschlüssen verschlossen oder versiegelt. Die Beschriftung sollte folgende Angaben enthalten und sowohl vom Rapsölkraftstoffproduzenten als auch

vom Kunden unterzeichnet werden: Adresse des Rapsölkraftstoffproduzenten, Adresse des Kunden, Proben-Nummer, Ort und Stelle der Probenahme, Art der Probenahme, Ort, Datum, Zeit, Unterschriften. Je eine Flasche verbleibt beim Kunden und beim Rapsölkraftstoffproduzenten bzw. -lieferanten für Schiedsanalysen, eine Flasche wird bei Bedarf an ein Prüflabor zur Analyse gegeben. Als Probengefäße haben sich Flaschen mit einem Volumen von 1 l aus HDPE bewährt. Diese sollten dicht verschließbar sein und vollständig befüllt werden. Die Lagerung von Proben und Rückstellmustern sollte dunkel und kühl (ungefähr 5 °C) zum Beispiel in einem Kühlschrank erfolgen.

Kraftstofflagerung. Rapsölkraftstoff ist im Gegensatz zu Heizöl und Dieselmotorkraftstoff im Normalfall nicht additiviert und ist daher auch stärker Alterungsvorgängen ausgesetzt (oxidativer Verderb, Bildung freier Fettsäuren). Die Oxidationsvorgänge von Ölen und Fetten werden begünstigt durch Sauerstoffzutritt, Licht und Wärme und durch katalytisch wirkende Schwermetallionen (z. B. Eisen, Kupfer). Negative Auswirkungen auf die Eignung als Kraftstoff (z. B. erhöhte Viskosität, verstärkte korrosive Wirkung) sind die Folge. Bei der motorischen Nutzung kann es außerdem zu Rückstandsbildungen in Kraftstoffleitungen, Verharzungen an den Einspritzdüsen und zur Beeinträchtigung der Schmierfähigkeit des Motorenöls kommen.

Für die Lagerung gelten folgende Empfehlungen:

- möglichst konstant niedrige Lagerungstemperaturen (ca. 5 bis 10 °C), am besten durch Erdtanks oder zumindest durch kühle Tankaufstellung (Keller),
- keine Tankheizungen verwenden (Die Verbesserung der Fließ- und Pumpfähigkeit sollte statt dessen durch vergrößerte Querschnitte der Kraftstoffleitungen oder leistungsstärkere Förderpumpen erreicht werden; bei evtl. dennoch benötigter Tankheizung sollte das Öl – auch lokal – keinesfalls über 25 °C aufgeheizt werden.),
- dunkler Aufstellungsort ohne direkte Sonneneinstrahlung,
- Zutritt von Sauerstoff gering halten (Auch bei Tank- und Pumpvorgängen sollte ein „Plätschern“ durch geringe Fallhöhen oder durch „Abfließenlassen“ an den Tankinnenwänden vermieden werden, eine Entlüftungseinrichtung zur Vermeidung von Druckschwankungen beim Befüllen und Entleeren ist jedoch immer erforderlich.),
- Tankbehälter sollten dicht verschlossen sein,



- Eintrag von Wasser vermeiden (z. B. Kondenswasserbildung bei Befüllung eines kalten Tanks mit warmen Pflanzenöl), gegebenenfalls ist die Tankbelüftung mit einem Wasser abscheidenden Filter auszustatten,
- Eintrag von Verschmutzungen ausschließen,
- Tank und kraftstoffführende Teile dürfen nicht aus Kupfer oder Messing sein (vor allem Kupferionen wirken stark katalytisch auf die Öloxidation),
- Kraftstoffentnahmestelle nicht unmittelbar am Tankboden anbringen (Sedimententnahme vermeiden),
- Lagertanks sollen vollständig und einfach entleerbar sowie leicht zu reinigen sein (eine regelmäßige Tankreinigung ca. alle 1 bis 3 Jahre ist empfehlenswert).
- Maximale Lagerdauer: ca. 12 Monate (keine überdimensionierten Lagertanks)

Als ortsfeste ober- und unterirdische Lagerbehälter ab einem Fassungsvermögen von etwa 1.000 l eignen sich vor allem ein- und doppelwandige Stahl- oder Kunststoffbehälter mit Füll- und Entlüftungsleitungen, sowie Leckanzeigergeräten, Füllstandsanzeiger und Befüllsicherungseinrichtungen. Bestehende intakte Tankanlagen, die zur Lagerung von Heizöl benutzt werden, können nach vollständiger Entleerung und Reinigung auch für Pflanzenöl verwendet werden, sofern die oben genannten Punkte berücksichtigt werden.

Kraftstoffzuführung. Prinzipiell gelten die für die Lagerung von Pflanzenöl aufgeführten Empfehlungen entsprechend auch für die Kraftstoffzuführung. Im Einzelnen sind zu nennen:

- Kraftstoffführende Leitungen und Verschraubungen sollten nicht aus Kupfer oder Messing beschaffen sein (besser: chromatierter Stahl oder Edelstahl),
- flexible Schlauchleitungen aus pflanzenölbeständigem Material, wie z. B. Nitril-Kautschuk – NBR (Perbunan) oder Fluor-Kautschuk – FPM (Viton) verwenden,
- Rohrleitungsquerschnitte ausreichend dimensionieren (zähflüssiger Kraftstoff!); beispielsweise bei kleineren BHKW mit Innendurchmesser von ca. 10 bis 12 mm (für Kraftstoffdurchflüsse bis ca. 30 l/h),
- Probenahmeverrichtung (Entnahmehahn in Kraftstoffzulaufleitung) und Schauglas zur Kontrolle vorsehen,
- leistungsstarke und leicht zugängliche Kraftstoffförderpumpe verwenden (konventionelle Kraftstoffförderpumpen sind oft nicht ausreichend, daher sollte eine aggregat-externe Elektro-Förder-

pumpe nahe dem Kraftstoffvorratsbehälter angebracht sein; das Fördervolumen sollte ca. 50 bis 100 % über dem maximalen Kraftstoffverbrauch des BHKW liegen.),

- kurze Leitungsführung und geringe Saughöhe vorsehen,
- Leitungen nicht unter Putz oder im Boden verlegen,
- Leitungsverbindung zum BHKW flexibel und schwingungstolerant ausführen,
- Kurzschlusskreislauf von Kraftstoffrücklauf- und Leckkraftstoffleitung zum Vorlauf (Einstrangsystem) einrichten (zur Vermeidung von Rückflüssen des thermisch vorbelasteten Pflanzenöls in den Tank),
- Verwendung von Filtereinrichtungen (Feinfilter), bei größerem Schmutzanfall auch zusätzlich gröbere Vorfilter (meist Siebfilter). Die Verwendung von Motorenölfiltern als Kraftstofffilter ist möglich und oft sinnvoll (bessere Eignung wegen hoher Viskosität des Pflanzenöls), sofern eine ausreichende Filterleistung gewährleistet ist. Die notwendige mittlere Filterfeinheit beträgt für Reiheneinspritzpumpen etwa 5 µm und für Verteilereinspritzpumpen etwa 10 µm /10-13/. Zur Minimierung von Standzeiten sind parallelgeschaltete Kraftstoffbypassfilter empfehlenswert.
- auf Kraftstoffvorwärmung zur Vermeidung von Verharzungen möglichst verzichten (außer bei sehr kurzer Förderdauer bis zur Einspritzung, jedoch nicht im Tank und bei Motorstillstand),
- nur geeignete hoch belastbare Einspritzpumpe verwenden (stärkere Belastungen als bei Dieselbetrieb),
- Vermeidung von Verkokungen und Ablagerungen an den Einspritzdüsen u. a. durch gute Kraftstoffqualität mit niedrigem Koksrückstand (vgl. Kapitel 10.2) aber auch durch eine geeignete Düsengeometrie, die einer Rückstandsbildung vorbeugt. Ablagerungen behindern das Schließen der Düsenadel und beeinträchtigen die Zerstäubungsqualität, so dass es zum Nachtröpfeln verbunden mit erhöhten HC- und Rußemissionen kommt; unverbrannter Kraftstoff gelangt außerdem an die Zylinderwände und kann auf diese Weise in das Motoröl eingetragen werden, was unter bestimmten Bedingungen zu dessen Eindickung und zum Ausfall der Schmierfähigkeit (Motorschaden) führt.

Motor. Neben fremdstoffbeladenen Pflanzenölen zählen Schmieröleindickung und Motorüberhitzung zu den wichtigsten Ursachen für Schäden an Pflanzenölmotoren. Der Wahl des geeigneten Kraftstoffs (z. B. Rapsölkraftstoff nach DIN V 51605, vgl. Kapitel 10.2)

und des Motors kommt deshalb eine hohe Bedeutung bei. Hitzeschäden werden durch eine ausreichende Wärmeabfuhr, durch eine leistungsfähige Belüftung des Motors und saubere Wärmetauscherflächen sichergestellt. Überschüssige Wärme ist auch nach Abstellen des Aggregats durch entsprechende Nachlaufzeiten von Wasserpumpen und Lüftern abzutransportieren.

Unbedingt einzuhalten sind die vorgegebenen Wartungsintervalle. Eine hohe Bedeutung kommt dem Wechsel des Motoröls zu, da dieses z. B. infolge häufigerer Kaltstarts oder bei fehlerhaften bzw. verkochten Einspritzdüsen mit Pflanzenöl verunreinigt sein kann (auf Grund der höheren Verdampfungstemperatur von Pflanzenöl erfolgt oft kein Absinken des Schmierölpegels im Motor). Mit Pflanzenöl verunreinigtes Motoröl kann durch Verharzungen und Eindickungen die Motorschmierung beeinträchtigen.

Aufstellort. Im Aufstellungsraum des BHKW ist für eine ausreichende Verbrennungsluftversorgung und Abgasabführung zu sorgen. Die dafür geltenden Richtlinien sind in den Feuerungsverordnungen der Länder bzw. der TA Luft aufgeführt (Kapitel 10.5). Schallschutzmaßnahmen sind bei der Aufstellung ebenso zu berücksichtigen wie Maßnahmen zur Vibrations- und Schwingungsdämpfung. Das Aggregat sollte rutschfest auf tragfähigem Boden stehen. Neben einer ausreichenden Raumbelüftung ist auch für die Abfuhr der durch die Motorabwärme aufgeheizten Kabinenluft zu sorgen, um ein Überhitzen des Motors und/oder des Aufstellungsraums zu vermeiden. Bei Bedarf kann diese Warmluft zur Raumbeheizung dienen. Des Weiteren ist eine möglichst allseitige gute Zugänglichkeit des Aggregats für Wartungs- und Reparaturmaßnahmen sicherzustellen.

Wartung und Überwachung. Der vom Anlagenbauer vorgegebene Wartungsplan ist unbedingt einzuhalten. Abweichungen davon sollten mit dem Motorenhersteller oder Anlagenbauer abgestimmt werden.

Kleinere und häufig wiederkehrende Wartungsarbeiten wie z. B. Kraftstofffilterwechsel und Motoröl- bzw. Motorölfilterwechsel können üblicherweise von einem ortsansässigen Kundendienst nach entsprechender Einweisung durchgeführt werden. Motoröl- und Kraftstofffilter sind je nach Aggregat etwa alle 300 bis 1.000 Betriebsstunden, d. h. bei gut ausgelasteten BHKW ca. alle 2 bis 6 Wochen, zu wechseln. Inspektionen – vor allem innerhalb der Garantiezeit von meist einem Jahr oder einer bestimmten Betriebs-

stundenzahl – sollten dem Anlagenbauer oder einem von ihm beauftragten Fachkundendienst überlassen werden.

Neben den üblichen Wartungsintervallen sollten regelmäßige, am besten tägliche, Routinekontrollen am BHKW von einer eingewiesenen fachkundigen Person stattfinden. Hierbei ist vor allem die Dichtigkeit von kraftstoff-, öl-, wasser- und gasführenden Komponenten zu überprüfen, regelmäßig der Motoröl- und Kühlwasserstand zu kontrollieren, ebenso sind die an der Anlage installierten Mess- und Überwachungseinrichtungen abzulesen. Zusätzlich sollte auf unübliche Geräusche, eine abweichende Abgasfahne (bei Rußschwärzung ggf. Einspritzsystem warten), den Festsitz aller Bauteile und einen ausreichenden Kraftstoff- und Motorölvorrat geachtet werden. Das Führen eines Anlagenbuches ist empfehlenswert. Darin werden wichtige Daten wie der Betriebsstundenzählerstand, Zustand des Aggregats, angezeigte Fehlermeldungen, eventuell beobachtete Auffälligkeiten sowie durchgeführte Instandhaltungsmaßnahmen (z. B. letzter Einspritzdüsenwechsel) und weitere Ereignisse (z. B. Kraftstofflieferung) mit Datum und Namen des Beobachters oder Ausführenden festgehalten. Auch Betriebsdaten wie Motor- und Abgastemperatur werden darin notiert. Dadurch wird eine frühere Erkennung von Störungen und deren Ursachen ermöglicht und der Nachweis über die ordnungsgemäße Durchführung der Wartungsarbeiten erbracht.

10.5 Anforderungen und Vorschriften

Nachfolgend werden die relevanten rechtlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz von pflanzenölbetriebenen BHKW vorgestellt. Diese Rahmenbedingungen unterliegen – bedingt durch die fortschreitende nationale und europäische Gesetzgebung – fortlaufenden Änderungen, es ist deshalb empfehlenswert sich über die jeweils gültige aktuelle Gesetzeslage zu informieren.

10.5.1 Genehmigung

Blockheizkraftwerke benötigen entweder eine baurechtliche Genehmigung nach dem Baugesetzbuch (BauGB) sowie der jeweiligen Landesbauordnung (z. B. BayBO) oder eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG).



Baurechtliche Genehmigung. Blockheizkraftwerke sind Anlagen, die zur Raumbeheizung oder zur Brauchwassererwärmung dienen und fallen demnach in den Anwendungsbereich der jeweiligen Landesbauordnung. Zudem fallen Blockheizkraftwerke in den Geltungsbereich der Verordnung über Feuerungsanlagen, Wärme- und Brennstoffversorgungsanlagen (Feuerungsverordnung – FeuV), in denen ebenfalls länderweise zum Teil unterschiedliche Regelungen festgelegt wurden.

Unter bestimmten Bedingungen sind die Anlagen jedoch von der Genehmigungspflicht befreit. Nach der Bayerischen Landesbauordnung (Art. 63 BayBO) gilt dies beispielsweise, wenn es sich um die Errichtung oder Änderung einer Feuerstätte mit einer Nennwärmeleistung bis zu 50 kW handelt.

Die generellen Forderungen einer Landesbauordnung lassen sich für BHKW wie folgt zusammenstellen (hier am Beispiel der Bayerischen Bauordnung /10-2/):

- Die Aufstellung sollte nur in Räumen erfolgen, bei denen nach Lage, Größe, baulicher Beschaffenheit und Benutzungsart keine Gefahren entstehen.
- Abgase sind so ins Freie zu führen, dass keine Gefahren oder unzumutbare Belästigungen entstehen.
- Brennstoffe sind so zu lagern, dass keine Gefahren oder unzumutbare Belästigungen entstehen.
- Für Schall-, Schwingungs- und Erschütterungsschutz ist zu sorgen, so dass keine Gefahren, vermeidbare Nachteile oder vermeidbare Belästigungen entstehen.

Neben der Landesbauordnung sind die Bestimmungen der jeweiligen Länder-Feuerungsanlagenverordnung (FeuV) zu beachten, z. B.:

- Eine Aufstellung in Räumen mit Anlagen zur Luftabsaugung darf nur erfolgen, wenn die Abgasabführung durch entsprechende Maßnahmen überwacht bzw. sichergestellt wird.
- Bauteile mit brennbaren Baustoffen und Einbaumöbel müssen so weit von der Feuerstätte (BHKW) entfernt oder so abgeschirmt sein, dass keine höheren Temperaturen als 85 °C auftreten können.
- Für eine ausreichende Verbrennungsluftversorgung im Aufstellraum ist zu sorgen.
- Die Verbrennungsabgase sind über eigene dichte Leitungen über das Dach abzuführen.
- Abgasanlagen sind so zu bemessen, dass die Abgase sicher ins Freie abgeführt und bestimmte Mindestabstände zu brennbaren Baustoffen eingehalten werden.

Immissionsschutzrechtliche Genehmigung. Eine Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ist bei BHKW für den Einsatz von naturbelassenem Pflanzenöl erst ab 1.000 kW Feuerungswärmeleistung (entspricht ca. 400 kW_{mech}) erforderlich (Nr.1.4, Spalte 2 des Anhangs zur 4. BImSchV, Fassung vom 14.03.97, zuletzt geändert am 15.07.2006). Einzelheiten zum Genehmigungsverfahren sollen daher hier nicht erörtert werden.

Generell gelten aber auch bei immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen (d. h. lediglich baurechtlich zu genehmigende Anlagen) die Minimierungsgrundsätze des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (§ 22, BImSchG). Demnach müssen

- schädliche Umwelteinwirkungen, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind, verhindert werden,
- nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden und
- die beim Betrieb der Anlagen entstehenden Abfälle ordnungsgemäß beseitigt werden können.

10.5.2 Emissionsbegrenzungen

Schadstoffemissionen. Für immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungspflichtige Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von weniger als 1.000 kW wurden bislang keine allgemeingültigen Vorschriften zur Emissionsbegrenzung festgelegt, und es finden auch keine regelmäßigen Überprüfungen statt. Allerdings werden einige Orientierungswerte genannt, die für die Beurteilung der jeweiligen Anlage nützlich sein können (Tabelle 10.3).

Anforderung an Lärm- und Erschütterungsschutz.

Um Lärmbelästigungen für die Nachbarschaft auszuschließen, sind die Forderungen der technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm /10-16/) zu erfüllen. Zur Beurteilung des für die Nachbarschaft zumutbaren Lärms wurden darin Immissionsrichtwerte festgelegt. Diese betragen für Orte außerhalb von Gebäuden:

- | | | |
|---|--------|-------|
| - in Industriegebieten: | | 70 dB |
| - in Gewerbegebieten: | tags | 65 dB |
| | nachts | 50 dB |
| - in Kern-, Dorf- und Mischgebieten: | tags | 60 dB |
| | nachts | 45 dB |
| - in allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten: | tags | 55 dB |
| | nachts | 40 dB |



- in reinen Wohngebieten: tags 50 dB
nachts 35 dB
- in Kurgebieten, für Krankenhäuser tags 45 dB
und Pflegeanstalten: nachts 35 dB

Tabelle 10.3: Empfohlene Emissionsbegrenzungen (derzeitige Orientierungswerte) für immissionschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftige Anlagen (d. h. Gesamtfeuerungswärmeleistung, FWL < 1 MW) /10-28/

Schadstoff	FWL	Anforderung ^a
Kohlenmonoxid (CO)	< 1 MW	≤ 0,65 g/Nm ³
Staub	< 1MW	Zielwert: 20 mg/Nm ³ durch Einsatz von Rußfiltern unter Beachtung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit
Stickstoffoxide (NO _x), angegeben als NO ₂	≥ 500 kW	≤ 2,5 g/Nm ³ (durch motorische Maßnahmen analog EURO II)
	bis 1 MW	≤ 3,0 g/Nm ³ (Zielwert 2,5 g/Nm ³ , durch motorische Maßnahmen analog EURO II)
Gerüche/HC	< 1 MW	Einsatz von Oxidationskatalysatoren

a. angegeben in Milligramm pro Normkubikmeter (mg/Nm³), bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 5 Vol.-%

Als Maßnahmen zur Verringerung der Lärmemissionen werden BHKW schwingungsisoliert aufgestellt und mit einer Schallschutzkapselung umgeben. Bei relativ geringem Abstand zur Wohnbebauung ist meist die Erstellung eines Schallschutzgutachtens erforderlich. Darin sollten nicht nur der sogenannte „A-bewertete Beurteilungspegel“ (Die A-Bewertung bildet näherungsweise die frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs nach.) ermittelt werden, sondern auch die tieffrequenten Geräuschteile der Motoren gemäß TA Lärm untersucht bzw. beurteilt werden.

10.5.3 Vermeidung von Gefährdungen

Die von Kraftstoffen ausgehende Gefährdung betrifft einerseits die Brand- bzw. Explosionsgefahr und andererseits die Gefährdung des Grundwassers und die Gewässergefährdung.

Wasserrechtliche Einordnung. Entsprechend ihrer Gefährlichkeit werden Chemikalien nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) gemäß § 19g, Abs. 5 in Verbindung mit der Verwaltungsvorschrift wasserge-

fährdender Stoffe (VwVwS) in eine von drei Wassergefährdungsklassen (WGK) eingestuft. Die Stoffe gelten entweder als „stark wassergefährdend“ (WGK 3), „wassergefährdend“ (WGK 2) oder als „schwach wassergefährdend“ (WGK 1) /10-1/.

Reines unbehandeltes Rapsöl ist im Anhang 1 (Nicht wassergefährdende Stoffe) der VwVwS als Kenn-Nummer 760 (Triglyceride) aufgeführt und gilt daher als „nicht wassergefährdend“. Das bedeutet, dass keine der oben genannten Gefährdungsklassen zutrifft. Ein Zusatz von Additiven kann jedoch die Einstufung in eine der drei genannten Wassergefährdungsklassen zur Folge haben.

Bei dieser günstigen Einordnung von naturbelasstem Rapsöl handelt es sich jedoch nicht um eine bindende Vorschrift. Im Einzelfall sind daher abweichende Beurteilungen möglich, so dass weitere Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes für wassergefährdende Stoffe (z. B. bei Lagerung und Umschlag) beachtet werden müssen.

Brand- und Explosionsschutz. Naturbelassenes Rapsöl weist mit durchschnittlich ca. 231 °C /10-15/ einen deutlich höheren Flammpunkt auf, als mineralischer Dieselkraftstoff (ca. 64 °C) oder Benzin (unter -20 °C). Es ist somit vergleichbar mit Rapsölmethylester (ca. 172 °C) /10-10/. Beide Kraftstoffe unterlagen nicht der bisherigen Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF), wonach eine Einstufung als Gefahrgut erst bei einem Flammpunkt von weniger als 100 °C gegeben war. Als zum 1. Januar 2003 die Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF) außer Kraft getreten ist, ist auch die Einstufung nach VbF-Klassen weggefallen. Die Einstufung erfolgt nun nach der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) bzw. der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV). Demnach weist Rapsölkraftstoff keine Gefährlichkeitsmerkmale gemäß § 4 GefStoffV auf /10-23/.

Werden andere Kraftstoffe mit Rapsöl gemischt, kann sich schon bei geringen Beimischungsanteilen eine Einstufung als gefährlicher Stoff ergeben.

10.5.4 Steuerliche Regelungen

Energiesteuer. Mit der Einführung des Energiesteuergesetzes (EnergieStG) am 01. August 2006 wurde das Mineralölsteuergesetz außer Kraft gesetzt. Nach § 1 EnergieStG sind tierische und pflanzliche Öle und Fette Energieerzeugnisse und unterliegen dem Energiesteuergesetz, wenn sie als Kraft- oder Heizstoff verwendet werden /10-7/. Mit dem Energiesteuergesetz werden die Regelungen der EU-Energiesteuerrichtlinie



2003/96/EG zur Harmonisierung der Besteuerung von Energieerzeugnissen in nationales Recht umgesetzt. Danach sollen alle Energieerzeugnisse in Europa möglichst gleichmäßig besteuert, Wettbewerbsverzerrungen abgebaut und größere Anreize für einen effizienten Energieverbrauch geschaffen werden. Die Herstellung von Rapsölkraftstoff und die Zweckbestimmung „Kraft- oder Heizstoff“ ist demnach eine Herstellung von Energieerzeugnissen (§ 6 EnergieStG) und bedarf einer Erlaubnis. Diese Erlaubnis kann beim zuständigen Hauptzollamt beantragt werden (www.zoll.de/service/dienststverz/index.html).

Nach § 2, Abs. 3, Nr. 1 (EnergieStG) ist Biodiesel und Pflanzenöl (ebenso wie Heizöl extra leicht), das für Heizzwecke z. B. als Ersatz für Heizöl in Ölfeuerungen oder in begünstigten Anlagen nach § 3 Verwendung findet (hierzu zählen ortsfeste Anlagen deren mechanische Energie ausschließlich zur Stromerzeugung dient sowie Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung mit einem Jahresnutzungsgrad von mindestens 60 %, deren mechanische Energie nicht ausschließlich zur Stromerzeugung dient), steuerbegünstigt. Allerdings sind nach § 50, Abs.1 Biodiesel und Pflanzenöl für Heizzwecke bis Ende 2009 vollständig steuerentlastet und fallen nicht in die Teilbesteuerung bei Verwendung als Kraftstoff nach § 50, Abs. 2. Ab dem 01.01.2010 wird dann auch für Bioheizstoffe nach dem so genannten Ähnlichkeitsprinzip grundsätzlich der Energiesteuersatz für Heizöl extra leicht in Höhe von 6,135 Cent/Liter erhoben. Als Ausnahme werden für die als Heizstoff versteuerten Energieerzeugnisse (z. B. Pflanzenöl), die zur Stromerzeugung in ortsfesten Anlagen mit einer elektrischen Nennleistung von mehr als 2 Megawatt sowie zur gekoppelten Erzeugung von Kraft und Wärme in ortsfesten Anlagen (Betrieb von Blockheizkraftwerken) mit einem Monats- oder Jahresnutzungsgrad von mindestens 70 % nach § 53 zeitlich unbegrenzt eine Steuerentlastung gewährt.

Monats- oder Jahresnutzungsgrad ist dabei der Quotient aus der Summe der genutzten erzeugten mechanischen und thermischen Energie und der Summe der zugeführten Energie aus Energieerzeugnissen (Heizstoff) in einem Monat bzw. Kalenderjahr.

Nach § 2 Abs. 4 Energiesteuergesetz unterliegen Rapsölkraftstoff und andere pflanzliche Öle für den **mobilen** Einsatz grundsätzlich der gleichen Steuer wie Dieselkraftstoff, da sie diesem in ihrer Beschaffenheit und in ihrem Verwendungszweck am nächsten kommen. Jedoch ist nach § 50 EnergieStG eine Steuerbegünstigung von Pflanzenöl als Reinkraftstoff bis 31. Dezember 2011 festgeschrieben. Die Höhe der

Steuerbegünstigung wird ab 1. Januar 2007 (bis dahin Steuerbefreiung) schrittweise verringert. Um diese Steuerbegünstigung in Anspruch nehmen zu können, muss das Pflanzenöl den Anforderungen der DIN V 51605 genügen, was nur durch die Verwendung von Rapsöl als Kraftstoff erreicht werden kann. Als Voraussetzung für die Gewährleistung der Steuerbegünstigung von Rapsölkraftstoff müssen die Rapsölkraftstoffhersteller ihre Tätigkeit beim zuständigen Hauptzollamt anzeigen und die Energiesteuerentlastung beantragen.

Weiterhin werden seit dem 01. Januar 2007 Hersteller von Energieerzeugnissen (z. B. Pflanzenöl) nach § 37a BImSchG ordnungsrechtlich verpflichtet, einen wachsenden Mindestanteil ihres jährlichen Absatzes an Otto- oder Dieselmotorkraftstoff für den **mobilen** Einsatz durch Biokraftstoffe zu ersetzen (Biokraftstoffquote). Für den Biokraftstoff zur Erfüllung dieser Verpflichtung kann nach § 50 EnergieStG keine Steuerentlastung in Anspruch genommen werden.

Unter Einbeziehung dieses nicht steuerbegünstigten Anteils am Absatz von Biokraftstoffen ergeben sich folgende effektive Steuersätze für Pflanzenöl im mobilen Bereich:

0 Cent/l	ab 01. August 2006
2,07 Cent/l	ab 01. Januar 2007
9,86 Cent/l	ab 01. Januar 2008
18,46 Cent/l	ab 01. Januar 2009
26,44 Cent/l	ab 01. Januar 2010
33,33 Cent/l	ab 01. Januar 2011
45,06 Cent/l	ab 01. Januar 2012

Abweichend von diesen Steuersätzen wird nach § 57 EnergieStG Pflanzenöl, welches als Reinkraftstoff in der Land- und Forstwirtschaft Verwendung findet, auf Antrag vollständig von der Steuer entlastet. Diese Entlastung wird ohne zeitliche Einschränkung gewährt.

Stromsteuer. Der in pflanzenölbetriebenen Blockheizkraftwerken erzeugte Strom kann von der Stromsteuer befreit sein. Diese Befreiung ergibt sich aus § 9 Abs. 1 des Stromsteuergesetzes (StromStG) /10-17/, sie gilt unter anderem für Strom

- aus erneuerbaren Energieträgern, sofern dieser aus einem ausschließlich mit Strom aus erneuerbaren Energieträgern gespeisten Netz oder einer entsprechenden Leitung entnommen wird,
- der zur Stromerzeugung entnommen wird, z. B. Strom, der für Neben- und Hilfsanlagen der Stromerzeugungseinheit,
- aus Anlagen mit einer elektrischen Nennleistung von bis zu 2 Megawatt, der in räumlichem Zusam-



menhang zu dieser Anlage zum Selbstverbrauch oder vom Anlagenbetreiber für einen Letztverbraucher entnommen wird,

- aus Notstromanlagen.

Der Erlass, die Erstattung oder die Vergütung der Steuer ist gemäß § 18 der Verordnung zur Durchführung des Stromsteuergesetzes (Stromsteuer-Durchführungsverordnung – StromStV) beim zuständigen Hauptzollamt zu beantragen.

10.5.5 Stromeinspeisung und -vergütung

Die Abnahme und Vergütung von elektrischem Strom aus Pflanzenöl-BHKW ist im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) geregelt /10-9/. Das Gesetz verpflichtet den Netzbetreiber, entsprechende Anlagen zur Erzeugung von Strom aus regenerativen Energiequellen an das Netz anzuschließen, den gesamten angebotenen Strom aus diesen Anlagen vorrangig abzunehmen und den eingespeisten Strom zu vergüten. Die Vergütung hängt von der installierten elektrischen Leistung und vom Jahr der Inbetriebnahme ab.

Gemäß EEG betragen die Grundvergütungssätze für in 2007 in Betrieb genommene Anlagen bis einschließlich 150 kW_{el} mindestens 10,99 Cent/kWh, für Anlagen bis einschließlich 500 kW_{el} mindestens 9,46 Cent/kWh, für Anlagen bis einschließlich 5 MW mindestens 8,51 Cent/kWh und für Anlagen bis einschließlich 20 MW_{el} mindestens 8,03 Cent/kWh (vgl. Tabelle 10.4).

Die Mindestvergütungen erhöhen sich gemäß § 8 Abs. 2 EEG unter anderem für Strom, der „...ausschließlich aus Pflanzen oder Pflanzenbestandteilen, die in landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben oder im Rahmen der Landschaftspflege anfallen und die keiner weiteren als der zur Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurden...“ um 6 Cent/kWh für Anlagen bis einschließlich 500 kW_{el} und um 4 Cent/kWh für Anlagen bis einschließlich 5 MW_{el}. Die meisten Energieversorger sehen diese Bedingung bei kaltgepresstem Rapsölkraftstoff erfüllt. Des Weiteren wird dieser sogenannte Nawaro-Bonus nur gewährt, wenn die Anlage ausschließlich für Nawaro-Bonus fähige Brennstoffe genehmigt ist oder wenn dies nicht der Fall ist, „...dass der Anlagen-Betreiber durch ein Einsatzstoff-Tagebuch mit Angaben und Belegen über Art, Menge und Herkunft der eingesetzten Stoffe den Nachweis führt, dass keine anderen Stoffe eingesetzt werden.“

Tabelle 10.4: Mindestvergütungssätze in Cent/kWh für die Einspeisung von elektrischem Strom aus neu in Betrieb genommenen Pflanzenöl-BHKW (nach /10-9/)

elektrische Leistung Vergütungsart	Vergütung (Ct/kWh) bei Inbetriebnahmejahr:				
	2006	2007	2008	2009	2010
<i>bis 150 kW_{el}</i>					
Grundvergütung	11,16	10,99	10,83	10,67	10,51
NawaRo-Bonus	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
KWK-Bonus	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<i>Gesamt:</i>	19,16	18,99	18,83	18,67	18,51
<i>bis 500 kW_{el}</i>					
Grundvergütung	9,60	9,46	9,32	9,18	9,04
NawaRo-Bonus	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
KWK-Bonus	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<i>Gesamt:</i>	17,60	17,46	17,32	17,18	17,04
<i>bis 5 MW_{el}</i>					
Grundvergütung	8,64	8,51	8,38	8,25	8,13
NawaRo-Bonus	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
KWK-Bonus	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<i>Gesamt:</i>	14,64	14,51	14,38	14,25	14,13
<i>bis 20 MW_{el}</i>					
Grundvergütung	8,15	8,03	7,91	7,79	7,67
NawaRo-Bonus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
KWK-Bonus	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<i>Gesamt:</i>	10,15	10,03	9,91	9,79	9,67

Gemäß § 8 Abs. 3 erhöht sich die Mindestvergütung zusätzlich um 2 Cent/kWh für alle Anlagen bis einschließlich 20 MW_{el}, sofern es sich um Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung im Sinne § 3 Abs. 4 des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes handelt. Dieser sogenannte „KWK-Bonus“ wird nur gewährt, wenn „...dem Netzbetreiber ein entsprechender Nachweis nach dem von der Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft – AGFW – e. V., herausgegebenen Arbeitsblatt FW 308 – Zertifizierung von KWK-Anlagen – Ermittlung des KWK-Stromes vom November 2002 (BAnz. Nr. 218a vom 22. November 2002) vorgelegt wird.“ oder „...für serienmäßig hergestellte KWK-Anlagen mit einer Leistung von bis zu 2 Megawatt geeignete Unterlagen des Herstellers vorgelegt werden, aus denen die thermische und elektrische Leistung sowie die Stromkennzahl hervorgehen.“

Gemäß § 8 Abs. 5 verringert sich die Grundvergütung (in 2007: 10,99 Cent/kWh_{el}) für neu in Betrieb

genommene Anlagen jährlich um 1,5 % des für die im Vorjahr neu in Betrieb genommenen Anlagen maßgeblichen Werts (auf zwei Stellen hinter dem Komma gerundet). Die Zusatzvergütungen von 6 bzw. 4 Cent/kWh und 2 Cent/kWh bleiben davon ausgenommen.

„Die Mindestvergütungen sind vom Zeitpunkt der Inbetriebnahme an jeweils für die Dauer von 20 Kalenderjahren zuzüglich des Inbetriebnahmejahres zu zahlen“ (§ 12 Abs. 3). Für Anlagen die vor 2004 in Betrieb genommen worden sind, erhöht sich die Vergütung entsprechend § 8 Abs. 2 um bis zu 6 bzw. 4 Cent/kWh (§ 21 Abs. 1).

Nach § 8 Abs. 6 EEG entfällt die Pflicht zur Vergütung „...für Strom aus Anlagen, die nach dem 31. Dezember 2006 in Betrieb genommen worden sind, wenn für Zwecke der Zünd- und Stützfeuerung nicht ausschließlich Biomasse ... oder Pflanzenölmethylester verwendet wird. Bei Anlagen, die vor dem 1. Januar 2007 in Betrieb genommen worden sind, gilt der Anteil, der der notwendigen fossilen Zünd- und Stützfeuerung zuzurechnen ist, auch nach dem 31. Dezember 2006 als Strom aus Biomasse.“

Des Weiteren können nach § 8 Abs. 7 EEG Vorschriften erlassen werden, „...welche Stoffe als Biomasse im Sinne dieser Vorschrift gelten, welche technischen Verfahren zur Stromerzeugung angewandt werden dürfen und welche Umweltauflagen dabei einzuhalten sind.“

10.6 Emissionen und Wirkungsgrade

Emissionen pflanzenölbetriebener Motoren. Über den Schadstoffausstoß von Pflanzenölmotoren liegen verschiedene Studien vor, die sich zumeist auf den Einsatz in Fahrzeugen beziehen /10-18/, /10-19/, /10-10/. Sie zeigen, dass der Betrieb von herkömmlichen, nicht für Pflanzenöl optimierten Dieselmotoren bei den Abgaskomponenten Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffen (HC), Partikelmasse und Benzol im Mittel zu einer Erhöhung um etwa 50 %, bei den Aldehyden um ca. 120 % führt. Dies ist in erster Linie auf die nicht für Pflanzenöl geeigneten Motoren und die dadurch schlechtere Verbrennung zurückzuführen. Bei den Stickstoffoxiden (NO_x) und den polyzyklisch aromatischen Kohlenwasserstoffen treten dagegen keine nennenswerten Unterschiede auf.

Vergleicht man dagegen richtigerweise die Emissionen von pflanzenölbetriebenen pflanzenölauglichen Motoren mit dieselbetriebenen Motoren, so ergibt sich gemittelt über alle vorliegenden Untersuchungen für

CO und NO_x keine Veränderung; für HC und die Partikelmasse wird dagegen eine Halbierung des Emissionsniveaus gegenüber Dieselkraftstoff festgestellt.

Emissionen von Stationärmotoren (BHKW). Über Stationärmotoren in BHKW wurden weitaus weniger Untersuchungen angestellt. Für den hier betrachteten Bereich der kleineren Anlagenleistungen liegen jedoch einige belastbare Messergebnisse von drei pflanzenölbetriebenen BHKW unterschiedlicher Leistungsklassen (8, 60 und 110 kW_{el}) im Praxiseinsatz vor, wobei ein Vergleich mit Dieselkraftstoff- oder Heizölbetrieb nicht vorgenommen wurde, da es sich um Motoren handelt, die ausschließlich mit Pflanzenölkraftstoff betrieben werden /10-20/, /10-21/, /10-22/.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 10.5 dargestellt. Der darin aufgeführte Vergleich mit den Emissionsbegrenzungen dient nur der allgemeinen Orientierung, da es sich in allen drei Fällen um eine Feuerungswärmeleistung von weniger als 1 MW (ca. 400 kW_{el}) handelt und die Anlagen somit immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftig sind (Kapitel 10.5.1), das heißt, dass die TA Luft Grenzwerte für sie nicht gelten.

Gemäß Tabelle 10.5 ist bei Pflanzenöl-BHKW zwischen 8 und 110 kW_{el} mit Kohlenmonoxidemissionen (CO) von 20 bis ca. 200 mg/Nm³ zu rechnen. Diese vergleichsweise geringen CO-Emissionen sind ebenso wie die niedrigen Kohlenwasserstoffemissionen (HC) von ca. 4 bis 11 mg/Nm³ in erster Linie auf die Verwendung von Oxidationskatalysatoren bei allen drei untersuchten BHKW zurückzuführen. Derartige Katalysatoren erreichen Umsetzungsraten von ca. 70 bis 90 %, sie werden heute relativ häufig eingesetzt. Der Einsatz von Oxidationskatalysatoren ist bei Pflanzenölmotoren besonders geeignet, da sie auch zu einer deutlichen Verringerung von Aldehyden und Gerüchen beitragen und auf Grund des geringen Schwefelgehalts von Pflanzenöl eine hohe Langzeitwirksamkeit aufweisen.

Somit ließe sich die Emissionsbegrenzung der TA Luft für CO – wenn sie auch bei den kleineren BHKW einschlägig wäre – ohne weiteres einhalten. Anders wäre dies beim NO_x-Ausstoß, der mit den gemessenen 2.000 bis 3.500 mg/Nm³ deutlich über dem TA-Luft-Grenzwert liegt. Aggregate mit Wirbelkammer (vgl. BHKW 1 in Tabelle 10.5) weisen hier bekanntermaßen leichte Vorteile gegenüber den Motoren mit Direkteinspritzung (BHKW 2 und 3) auf. Eine deutliche Emissionsminderung kann voraussichtlich nur durch nachmotorische Maßnahmen (Entstickungskatalysatoren) erreicht werden.



Tabelle 10.5: Abgasemissionen von Pflanzenöl-BHKW bezogen auf trockenes Abgas unter Normbedingungen (0 °C, 1.013 mbar) und 5 % Bezugssauerstoffgehalt

Abgas- komponente (mg/Nm ³) ^a		BHKW 1 (IDI) ^b Nennlast: 8 kW _{el}	BHKW 2 (DI) ^c Teillast: 40 kW _{el}	BHKW 3 (DI) ^c mit Rußfilter Nennlast 110 kW _{el}		Emissionsbegrenzung TA Luft 2002 ^d (nicht bindend für diese Leistungsklasse)
				Modul 1	Modul 2	
CO	Mittelwert (Spanne)	23,6 (12,0–36,7)	38,8 (16,0–49,4)	55,8 (36,0–75,7)	183,4 (59,5–291)	300
NO _x	Mittelwert (Spanne)	2026 (1901–2295)	2793 (2220–3582)	3329 (3313–3345)	2791 (2691–2862)	1000
HC	Mittelwert (Spanne)	3,7 (2,0–6,0)	11,2 (9,2–12,5)	7,0 (6,7–7,3)	10,2 (6,5–15,3)	–
Partikelmasse (Staub)	Mittelwert (Spanne)	79,5 (60,0–136,0)	100,3 (68,8–166,0)	2,6 (1,7–3,5)	3,7 (2,4–5,0)	20
Anzahl Messtage:		6	4	2	3	
Anzahl Halbstundenmittelwerte:		25	16	6	12	

a. Angaben in Milligramm pro Normkubikmeter (mg/Nm³), trockenes Abgas, 0 °C, 1.013 mbar, 5 % Bezugssauerstoff

b. IDI = Motor mit indirekter Einspritzung, hier: Wirbelkammer

c. DI = Motor mit Direkteinspritzung

d. TA-Luft 2002 /10-3/, gilt nur für Anlagen > 1 MW Feuerungswärmeleistung (ca. 400 kW_{el})

Auch bei Staub zeigt sich, dass mit nachmotorischen Maßnahmen wie Partikelfiltern (BHKW 3) sehr niedrige Emissionswerte von ca. 3 mg/Nm³ erreichbar sind. Bei kleineren Anlagen (BHKW 1 und 2) werden derartige Filter jedoch aus Kostengründen und mangelnder Dauerbeständigkeit selten verwendet, so dass der Staubausstoß um ein Vielfaches darüber liegt.

Neben den besonders wirksamen nachmotorischen und den motorischen Emissionsminderungsmaßnahmen kommt auch der Qualitätssicherung beim eingesetzten Pflanzenöl eine gestiegene Bedeutung für den Emissionsschutz zu (vgl. Kapitel 10.4).

Wirkungsgrad. Der Gesamtwirkungsgrad setzt sich aus dem elektrischen und thermischen Wirkungsgrad zusammen, die aus den Quotienten der elektrischen und thermischen Leistung und der eingesetzten Brennstoffwärmeleistung gebildet werden. In der oben genannten Untersuchung über pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke der Leistungsklassen 8, 60 und 110 kW_{el} wurden elektrische Wirkungsgrade von 26, 32 und 36 % ermittelt. Vorkammermotoren weisen ebenso wie Aggregate im Teillastbetrieb einen schlechteren Wirkungsgrad auf als direkt einspritzende Motoren im Nennlastbetrieb. Die thermischen Wirkungsgrade der drei Aggregate betragen je nach Ausführung der Anlage und Sauberkeit der Wärmeübertragerflächen zwischen ca. 40 und 60 %. Daraus ergeben sich Gesamtwirkungsgrade zwischen ca. 70 und 90 %.

10.7 Kosten und Wirtschaftlichkeit

10.7.1 Berechnungsgrundlagen

Die für die Wirtschaftlichkeitsberechnung benötigten Jahreskosten eines BHKW ergeben sich aus der Summe der kapitalgebundenen, verbrauchsgebundenen und betriebsgebundenen Kosten. Deren Berechnung wird nachfolgend erläutert.

Kapitalgebundene Kosten. Die Kosten für das gebundene Kapital leiten sich aus den erforderlichen Investitionen für die gesamte BHKW-Anlage ab. Zusätzlich hat auch die Abschreibungsdauer und der zu Grunde gelegte Zinssatz entscheidenden Einfluss auf die Höhe der kapitalgebundenen Kosten.

Für die Berechnung der jährlichen Kosten der Gesamtinvestition wird gemäß VDI-Richtlinie 2067 die Annuitätenmethode angewendet; sie wird in Kapitel 9 näher beschrieben. Die Gesamt-Investitionssumme wiederum setzt sich zusammen aus den Investitionen der einzelnen BHKW-Komponenten. Bei einigen dieser Komponenten sind für Pflanzenöl-BHKW die gleichen Kosten wie bei heizölbetriebenen BHKW anzusetzen. Das betrifft die thermische und elektrische Einbindung, die Abgasanlage, bauliche Maßnahmen und die Planungskosten. Für den Motor ergeben sich allerdings in der Regel höhere Kosten, da spezielle Pflanzenölmotoren im Allgemeinen in gerin-

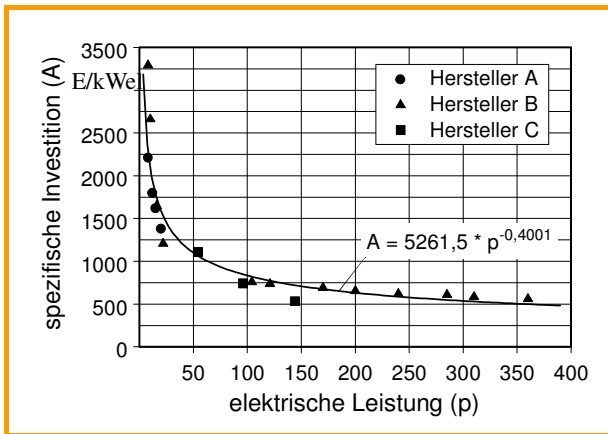


Abb. 10.4: Leistungsabhängige spezifische Investitionssumme (Anschaffungspreis) für ein Pflanzenöl-BHKW-Modul im Netzparallelbetrieb (ohne Planung, Gebäude, Kamin, Kraftstofftank) (nach Herstellerangaben)

ger Stückzahl gefertigt werden oder es sich um umgerüstete konventionelle Motoren handelt.

Zur überschlägigen Kostenberechnung lässt sich die Investitionssumme für ein BHKW-Modul aus Abb. 10.4 ableiten. Eine genauere Kalkulation sollte jedoch auf Basis detaillierter Kostenangebote erfolgen.

Bei den weiteren Investitionen für Kraftstofftank und Kraftstoffzuführung ist von annähernd gleichen Kosten wie bei Heizöl auszugehen. Geringfügig höhere Kosten ergeben sich lediglich wenn, höherwertige pflanzenölaugliche Komponenten verwendet werden sollen (z. B. Edelstahl tanks); diese Mehrkosten werden aber oft durch geringere Sicherheitsaufwendungen für den Boden- und Gewässerschutz kompensiert (z. B. keine regelmäßigen Tankprüfungen).

Die Abschreibungsdauer sollte entsprechend der üblichen Gesamtlaufzeit des BHKW festgelegt werden, sie liegt typischerweise bei ca. 15 Jahren /10-25/. Die technische Lebensdauer aller Komponenten dürfte bei Pflanzenöl-BHKW mit ausgereifter Technik ebenso hoch sein wie bei Diesellaggregaten, allerdings liegen bisher noch keine Daten in ausreichendem Umfang über die tatsächliche maximale Laufleistung der Motoren vor. Erfahrungen zeigen, dass auch Aggregate mit einer Laufzeit von bis zu ca. 35.000 Betriebsstunden keine außergewöhnlichen Verschleißerscheinungen aufweisen.

Verbrauchsgebundene Kosten. Hierzu zählen Brennstoffkosten und die Hilfsenergiekosten wie etwa für Pumpen. Für Rapsöl als Brennstoff kann ein fester Bezugspreis angenommen werden, der allerdings je

nach Lieferant, Bezugsmenge, Angebot und Nachfrage sowie der Jahreszeit Schwankungen unterworfen sein kann.

Die mittleren Preise für Rapsöl liegen derzeit zwischen ca. 0,60 €/l und 0,70 €/l (zzgl. MwSt.). Höhere Kraftstoffkosten innerhalb der Preisspanne können dann in Kauf genommen werden, wenn zuverlässig eine gesicherte hohe Rapsölqualität geliefert wird, wodurch Tankreinigungen, Kraftstofffilterwechsel oder andere Instandsetzungsmaßnahmen eingespart werden können.

Betriebsgebundene Kosten. Nach VDI-Richtlinie 2067 /10-25/ fallen als betriebsgebundene Kosten in erster Linie die Instandhaltungs- und ggf. Personalkosten an. Die jährlichen Instandhaltungskosten werden als Pauschalsätze in Prozent der Investitionskosten angenommen (von 3,0 bis 9,0 %). In Anbetracht der neueren Technologie und der geringeren Erfahrungen mit Rapsöl-BHKW ist die Verwendung der am oberen Rand der Bandbreite liegenden Kostenansätze sinnvoll. Damit wird auch den bei manchen Aggregaten kürzeren Wartungsintervallen (v. a. Motoröl- und Kraftstofffilterwechsel) oder dem teilweise vorgeschriebenen Einsatz teurerer Betriebsmittel (Motoröl) Rechnung getragen. Bei den Instandhaltungskosten durch einen Fachkundendienst (z. B. Anlagenbauer oder Motorenhersteller) muss berücksichtigt werden, dass dafür im Einzelfall höhere Fahrtkosten einzurechnen sind, weil erfahrene Fachwerkstätten für Pflanzenölmotoren noch wenig verbreitet sind.

Der Kostenansatz für das notwendige Personal zur Bedienung und Überwachung der Anlage hängt davon ab, ob vorhandene Kapazitäten ausreichen oder ob zusätzliches Personal eingestellt werden muss. Bei BHKW mit einer thermischen Leistung von weniger als 2 MW ist lediglich mit stundenweiser Beaufsichtigung der Anlage zu rechnen. Als Personalkosten können dafür als grober Anhaltswert etwa 3 bis 4 % der Investitionskosten (ohne Bauteil) veranschlagt werden /10-25/. Sonstige Kosten nach VDI 2067 (z. B. Verwaltung) werden ebenfalls in Prozent der Gesamtinvestitionssumme abgeschätzt und unterscheiden sich normalerweise nicht zwischen Pflanzenöl- und Heizölaggregaten.

Erlöse und Gutschriften. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit von BHKW sind vor allem die erzielbaren Preise oder die anrechenbaren Gutschriften für Strom und gegebenenfalls für Wärme.

Bei der Einspeisung von Strom aus Biomasse (Pflanzenöl) wird gemäß dem Erneuerbaren-Ener-

gien-Gesetz (EEG) eine gesetzlich festgeschriebene Mindestvergütung gewährt (vgl. Kapitel 10.5.5). Die Bewertung des Eigenverbrauchs der produzierten Elektrizität richtet sich dagegen nach den für den Nutzer relevanten Strompreisen, die sich für Tarifkunden (Niederspannungsebene) und Sondervertragskunden (vorrangig Mittelspannungsebene mit hohem Verbrauch) unterscheiden.

10.7.2 Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die beim Einsatz eines BHKW anfallenden Kosten werden entweder nur auf die produzierte Wärme oder nur auf den erzeugten Strom bezogen. Die spezifischen Wärmegestehungskosten beispielsweise ergeben sich aus den jährlichen Gesamtkosten abzüglich der Erlöse für die produzierte elektrische Energie, dividiert durch die jährlich erzeugte Wärmemenge. Sind diese Wärmegestehungskosten niedriger als die eines Vergleichssystems, so arbeitet das BHKW rentabel.

In Tabelle 10.6 werden die Wärmebereitstellungskosten für 3 Berechnungsbeispiele ermittelt. Dabei handelt es sich um eine Übersichtsrechnung; vereinfachend werden daher die in einem Gesamtenergiekonzept notwendigen Komponenten wie Spitzenlastversorgung, Pufferspeicher und Wärmeverteilung nicht berücksichtigt. Das Gleiche gilt für die Planungskosten. Insgesamt wurden drei Szenarien aufgestellt, die durch zwei verschiedene Anlagengrößen und durch unterschiedliche Rahmenbedingungen charakterisiert sind.

In Szenario 1 (BHKW mit 8 kW_{el}) und Szenario 3 (BHKW mit 110 kW_{el}) wurden Annahmen getroffen, die sich weitgehend nach der VDI-Richtlinie 2067 richten. Dabei wurden für Instandhaltung, Personal und Verwaltung durchweg die oberen Kostenansätze angenommen. In Szenario 2 werden dagegen besonders günstige Rahmenbedingungen vorausgesetzt.

Die spezifischen Investitionskosten für die BHKW-Module basieren in allen Fällen auf der Kurvengleichung in Abb. 10.4. Die Investitionsanteile für bauliche Aufwendungen, d. h. Gebäude, Grundstück, Abgasabführung und Kraftstofflagerung sind in hohem Maße von der Anlagengröße und den jeweiligen standörtlichen Voraussetzungen abhängig. Bei größeren BHKW-Anlagen werden für diesen baulichen Teil häufig Investitionskosten von ca. 160 bis 220 €/kW_{el} angesetzt /10-26/. Insbesondere bei kleineren pflanzenölbetriebenen BHKW (z. B. 8 kW_{el}) können aber im Einzelfall die spezifischen Investitionskosten ohne weiteres um ein Vielfaches höher

liegen /10-14/. In den hier betrachteten Szenarien 1 und 3 (Tabelle 10.6) wird eine mittlere spezifische Investition für die baulichen Aufwendungen (siehe oben) von 1.300 €/kW_{el} angenommen.

Die günstigeren Rahmenbedingungen in Szenario 2 betreffen im Wesentlichen die niedrigeren Kraftstoffkosten (z. B. bei eigener Rapsölproduktion), eine höhere Anlagenauslastung (Wärmebedarf auch im Sommer, z. B. für Trocknungsanlagen), geringere bauliche Investitionen (z. B. bei vorhandenem Aufstellraum und Lagertank) und, geringeren Wartungsaufwand (durch freie Kapazitäten vorhandener Arbeitskräfte bzw. Nichtanrechnung der eigenen Arbeitszeit).

Gemäß Tabelle 10.6 ergeben sich für das BHKW mit 8 kW_{el} in Szenario 1 Wärmegestehungskosten von 0,14 €/kWh und für das BHKW mit 110 kW_{el} (Szenario 3) 0,11 €/kWh. Unter günstigen Rahmenbedingungen (Szenario 2) können die Wärmegestehungskosten jedoch auch deutlich niedriger liegen (0,07 €/kWh).

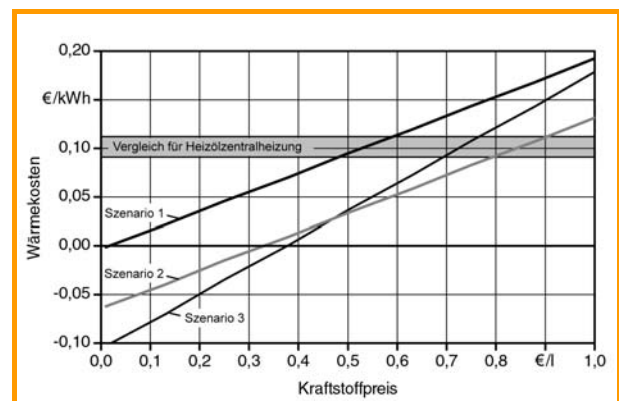


Abb. 10.5: Wärmekosten von rapsölbetriebenen BHKW in Abhängigkeit vom Kraftstoffpreis bei den drei untersuchten Szenarien (vgl. Tabelle 10.6) im Vergleich zu Heizölzentralheizungen im Leistungsbereich von 15 bis 60 kW_{th} (vgl. Kapitel 9)

Die Wärmegestehungskosten hängen entscheidend von den Kraftstoffkosten ab. In Abbildung 10.5 sind die Wärmegestehungskosten für die drei betrachteten Szenarien in Abhängigkeit von den Rapsölkraftstoffkosten dargestellt. Demnach führt unter den bestehenden Annahmen eine Zunahme des Rapsölkraftstoffpreises um 0,10 €/l zu einer Erhöhung der Wärmekosten in Szenario 1 und 2 um etwa 0,019 €/kWh und in Szenario 3 um ca. 0,028 €/kWh. Im günstigsten Fall ist erst ab einem Kraftstoffpreis von weniger als 0,40 €/l mit einer kostenlosen Bereitstellung der Wärme durch pflanzenölbetriebene Block-

heizkraftwerke zu rechnen. Beim Vergleich der Wärmekosten mit Heizölzentralheizungen im Leistungsbereich von 15 bis 60 kW_{th} (Gesamtnutzungsgrad: 85 %, Heizölpreis: 0,60 €/l, vgl. Kapitel 9) ist ein

Rapsölkraftstoffpreis in Szenario 1 von ca. 0,55 €/l, in Szenario 2 und 3 zwischen ca. 0,70 und 0,90 €/l notwendig um konkurrenzfähig zu sein.

Tabelle 10.6: Beispiel für die Berechnung der Wärmegestehungskosten in Pflanzenöl-BHKW

Annahme / Kostenart		Szenario 1 (Standard)	Szenario 2 (günstig)	Szenario 3 (Standard)
<i>Annahmen:</i>				
BHKW elektrische Leistung	kW _{el}	8	8	110
BHKW thermische Leistung	kW _{th}	16	16	110
Anschaffung BHKW-Modul komplett ^a	€	18.318	18.318	88.255
bauliche Investitionen (Gebäude anteilig, Tanks, Kamin) ^b	€	10.400	2.000	143.000
Gesamtinvestition	€	28.718	20.318	231.255
jährliche Instandhaltungskosten für BHKW-Modul	% d. Invest.	9,0	5,0	9,0
jährliche Instandhaltungskosten für bauliche Anlagen	% d. Invest.	1,5	0	1,5
jährliche Personal- und Verwaltungskosten (ohne Bau) ^c	% d. Invest.	6,0	0	6,0
jährliche Versicherungskosten	% d. Invest.	1,5	0	1,5
jährliche Hilfsenergiekosten, Anteilig an Kraftstoffkosten	%	1,0	1,0	1,0
Kraftstoffverbrauch bei Nennlast	l/h	3,1	3,1	31,0
Kraftstoffbezugskosten (inkl. Anlieferung)	€/l	0,75	0,70	0,75
Jahresauslastung BHKW bei Nennlast	h	4.000	6.000	4.000
<i>jährliche Kosten:</i>				
Annuität ^d	€/a	2.700	2.043	20.273
Wartung, Instandhaltung gesamt ^e	€/a	1.805	916	10.088
Versicherung	€/a	275	0	1.324
Personal, Verwaltung etc.	€/a	1.099	0	5.295
Hilfsenergie	€/a	93	140	930
Kraftstoff	€/a	9.300	13.020	93.000
<i>Jahresenergieertrag:</i>				
thermisch	kWh	64.000	96.000	440.000
elektrisch	kWh	32.000	48.000	440.000
<i>Erlöse (Stromgutschrift):</i>				
für Einspeisung nach EEG ^f	€/a	6.077	9.115	83.556
<i>Wärmekosten (inkl. Gutschriften):</i>				
bei Stromgutschrift nach EEG ^f	€/kWh	0,144	0,073	0,108

a. Investitionssummen für BHKW-Modul (A) in Abhängigkeit von der elektrischen Leistung (p): $A = p \cdot 5261,5 \cdot p^{-0,4001}$ (vgl. Abb. 10.4)

b. Investitionssumme für bauliche Anlagen: Szenario 1 und 3: 1.300 €/kW_{el}, Szenario 2: 250 €/kW_{el}

c. bezogen auf Gesamtinvestition abzüglich bauliche Investitionen (Gebäude, Tanks, Kamin)

d. Zinssatz: 6 %, angenommene Nutzungsdauer: 15 Jahre für BHKW-Modul, bzw. 25 Jahre für baulichen Teil

e. inklusive Motoröl (Ölwechselintervall 300 Betriebsstunden)

f. Stromeinspeisevergütung nach Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) für Inbetriebnahmejahr 2007: 0,1899 €/kWh (vgl. Kapitel 10.5.5)