

Landtech

Rapsölkraftstoff – die krisensichere Ökoenergie vom eigenen Acker

Martin Meyer, Feld 14, 3045 Meikirch

Auskünfte: Martin Meyer, E-Mail: m46meyer@gmx.ch, Tel. +41 31 829 26 84

Zusammenfassung

Ende 2008 konnte das KTI-Projekt «Pflanzenöl-Blockheizkraftwerk» des Bereiches Agrartechnik der SHL und seiner Wirtschafts- und Förderpartner erfolgreich abgeschlossen werden. Mit der Verarbeitung von NawaRo-Raps aus dem Lyssbachtal hat das Referenzvorhaben den geschlossenen Nischenenergiekreislauf zur Förderung der ländlichen Region exemplarisch verwirklicht und hinterlässt zwei bleibende Werte: Eine ausgefeilte Klein-Ölmühle zur Gewinnung des Rapsölkraftstoffes (RK), in der *AGRAR-Forschung* 15 (8) vorgestellt, und ein modernes Pflanzenöl-Blockheizkraftwerk (BHKW), Thema des vorliegenden Beitrages. Das Herz des BHKW ist ein vier-Zylinder Dieselmotor von Liebherr, Bulle, aus der neu entwickelten 930er Serie. In einem 24-tägigen Dauerlauf im Oktober 08 und der anschliessenden Heizsaison 09 haben sich die hohen Erwartungen an seine Pflanzenöлтаuglichkeit bestätigt. Die Gesamteinheit des kompletten BHKW als saubere Containerlösung stammt von Projektpartner Senergie, D-Heitersheim und die Abgasaufbereitung von Hug Engineering, Elsau. Mit gut 39 % elektrischem Anlagenwirkungsgrad konnte die Mindestzielgrösse von 37 % bereits vor den noch möglichen Optimierungsschritten überboten werden. Vor dem Praxiseinsatz in Suberg durchliefen Motor und Abgasaufbereitung in identischer Konfiguration ein über zehnmonatiges Messprogramm auf dem Prüfstand der Abgasprüfstelle der Berner Fachhochschule Technik und Informatik in Biel. In den umfangreichen Vergleichsmessungen mit einer breiten Palette klassischer und alternativer Kraftstoffe für das Projekt einerseits und die Erdölvereinigung andererseits, schloss Rapsölkraftstoff bei Generatorbedingungen durchwegs sehr positiv ab, bezüglich spezifischem Verbrauch, Wirkungsgrad und Partikel sogar mit Bestwerten. Ölmühle und BHKW geniessen national und international den Ruf besonders gut gelungener Referenzbeispiele und können konkrete Interessenten an unseren Verfahren - namentlich auch aus Jatrophagebieten - ausweisen.

Unsere 2005 realisierten Vorabklärungen zum Projekt ergaben eine deutlich erkennbare Marktlücke für Pflanzenöl-BHKW im Bereich 50 bis 500 kW. Mit der Darstellung einer Anlage der 110

kW-Klasse wollten wir dieses für den dezentralen, ländlichen Sektor interessante Segment erschliessen und eine lokale Erfahrungsreferenz für die stationäre Gewinnung von Strom und Wärme aus dem er-

neuerbaren und CO₂-entlastenden Energieträger Pflanzenöl verfügbar machen.

Das Pflanzenöl-Blockheizkraftwerk

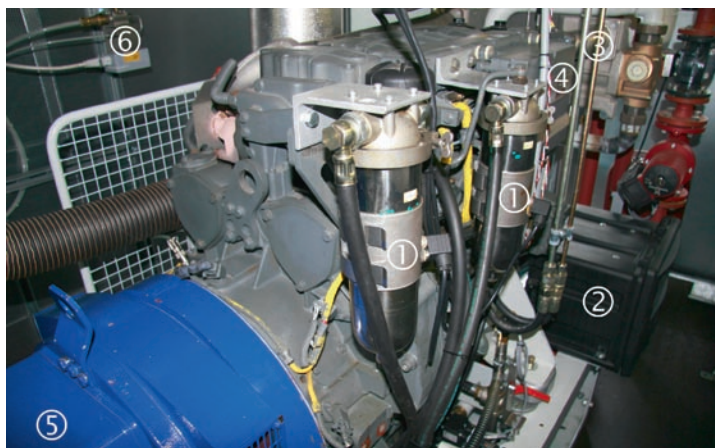
Die aufwendige Ausführung der Anlage als Containerlösung sollte ihren Nucleus-Charakter zur Demonstration und Förderung einer eigenständigen, transportablen Einheit für den dezentralen Energiebeitrag im geschlossenen Kreislauf betonen (Abb. 2).

Die Hauptelemente des Pflanzenöl-BHKW in Suberg sind:

- Der 4-Zylinder-Liebherrmotor in der Langhub-Version, mit Stahlkolben (Abb. 1).
- Der 3-Phasen Stamford Synchrongenerator, horizontalachsig, 400 V, mit 175 kVA Nennleistung, Rückleistungsschutz, automatischen Phasen für Warmlauf nach Start und Abkühlung bei Normalabstellung, sowie der BHKW-Peripherie zu Wärmekraftkoppelung, Steuerung und Notkühlung, von Senergie GmbH.
- Die Abgasaufbereitung mit Dieselpartikelfilter und SCR-Denox-Anlage mit Harnstofflösung 40% von Hug (Abb. 2, 4 und 5).

Obwohl die Übernahme und Weiternutzung des BHKW durch Projektpartner Peter Stähli von Beginn an geplant war, stand bei der Dimensionierung der Forschungsanlage bewusst der anvisierte Leistungsbereich bis 300 kW im Vordergrund. Mit Liebherr hatten wir den motorseitigen Wunschpartner gewinnen können und der Vierzylinder aus der neuentwickelten 930er Serie erfüllte den Anspruch einer bereits vorhandenen, hohen Pflanzenöлтаuglichkeit und geringen Umrüst-

Abb. 1. Liebherr Motor D 934 L, mit Kraftstoffvorwärmung über beheizte Filter 1 und Kühlwasserwärmetauscher 2; Kraftstoffkühlung im Rücklauf 3; kraftstoffgekühltem Steuerggerät 4; Generator 5 und Harnstoffinjektor der Denox-Anlage 6.



ansprüchen geradezu ideal. Selbst als «kleinster» der Baureihe kann er allein mit dem Wärmebedarf von Lohnunternehmer-Halle und «Seeland Beizli» thermisch bei weitem nicht ausgelastet werden. Im Zusammenhang mit dem Erwerb der alten Landi Suberg und der dazugehörigen Trocknungsanlage durch Projektpartner Peter Stähli, sehen wir indessen nicht nur die vorläufige Überkapazität sondern ebenfalls eine Reserve, die durch zukünftige Bedürfnisse rasch relativiert werden kann.

Unser BHKW verzichtet auf die aufwendige Nutzung von Abstrahlungsenergie und ist auf den in dieser Ausführung üblichen, sehr ansprechenden Gesamtwirkungsgrad von 89 % ausgelegt. Bei Generatorbedingungen (110 kW el., 1'500 min⁻¹) liegt der mittlere Verbrauch an Rapsölkraftstoff (RK) sowohl im Prüfstands-, als auch im Praxisbetrieb bei 26,60 kg/h, bzw. rund 231 g/kWh spezifisch. RK enthält 37,5 MJ/kg. 26,60 kg/h entsprechen einem Primärenergieeinsatz von 997 MJ/h, oder der addierten thermischen und mechanischen Gesamtleistung von 277 kW. Es ergibt sich folgende gerundete Bilanz: 110 kW oder 39,7 % wandelt der Generator in elektrische Leistung und gut 136 kW oder 49,3 % fallen als nutzbare thermische Leistung an. 31 kW oder 11 % sind thermisch nicht genutzte Leistung. Der Generator arbeitet im günstigen Auslastungsbereich von 63 % seiner Nennleistung und erreicht 95,5 % Wirkungsgrad. Zur Abgabe von 110 kW elektrischer sind demnach am generatorantreibenden Motorschwungrad 115 kW mechanische Leistung erforderlich, 5 kW gehen in Reibungswärme. Nach Abzug dieser 115 kW mechanischer Antriebsleistung für den Generator bleiben 162 kW «anzapfbare» thermische Leis-

tung. Davon sind 136 kW aus Abgasen, Kühlwasser, Ladeluft- und Motorölkühlung über Wärmetauscher an den Wärmeverbund von Projektpartner Peter Stähli übertragbar. Das BHKW speist einen 3'570 Liter Pufferspeicher, der von Josef Jenni, Oberburg, dem Projekt in grosszügiger Weise zu Selbstkosten überlassen wurde! Ab Speicher erfolgt die Wärmeversorgung der Werkstattbereiche von Peter Stähli und Ueli Brauen in der rund 7'000 m³ umfassenden Lohnunternehmerhalle über fünf Heizlüfter und des «Seeland Beizli» über Zentralheizung. Die verbleibenden knapp 31 kW werden als Restenergie mit den Abgasen, sowie als Motor- und Komponentenabstrahlung via Containerentlüftung abgeführt. Zwei Notkühlaggregate auf dem Containerdach stellen die Abgabe der nicht genutzten Wärme sicher. Während des Dauerlaufes von 559 h im Oktober 08 wurden 16'740 Liter RK in 60'756 kWh el. Wirkenergie – das sind 3,63 kWh el./Liter RK – umgesetzt. Die Dichte von RK bei den gewünschten 70° C Einspritztemperatur wurde mit 0,89 kg/dm³ gemessen. Daraus ergibt sich eine Energiedichte bei Einspritzbedingungen von 37,5 MJ/kg x 0,89 kg/dm³ = 33,4 MJ/dm³, oder knapp 9,3 kWh/l. Mit 3,63 kWh el./l RK lagen wir bei 39 % elektrischem Anlagenwirkungsgrad, d.h. leicht unter den oben erwähnten 39,7 %. Hauptursachen für diese kleine Abweichung dürften die nicht geeichte Verbrauchsmessung und die geringere Ladeluftkühlung im Betrieb sein, die in Suberg vorläufig noch mit dem Motorkühlwasser (ca. 84° C) erfolgt, während auf dem Prüfstand ein separat gekühlter Wasserkreis mit ca. 40° C verfügbar war.

Ursprünglich hatten wir auch die Stromversorgung als Insellösung für die Eigenversorgung des Be-



triebes Stähli geplant. Mit der Annahme des Stromversorgungsgebietes und der kostendeckenden und damit höheren Einspeisevergütung für erneuerbare Energien, liess sich dies jedoch nicht mehr realisieren. Der auf rein biogener Basis gewonnene Strom aus unserem BHKW erfüllt die Bedingungen für die erhöhte Einspeisevergütung (gegenwärtig 39 Rp./kWh). Die Energie Seeland AG, als stromabnehmender Partner, verlangte indessen die klare Trennung von Netzeinspeisung und Netzbezug über separate Leitungen und separate Zähler. In unserem Fall bedeutete dies das Verlegen einer Speiseleitung (4 x 95 mm²) vom BHKW zur 75 m entfernten Transformatorstation, die mit der alten Landi ebenfalls an Peter Stähli übergang, und von dieser eine 90 m lange Bezugsleitung (4 x 50 mm²) zum gebäudeseitigen Anschlussverteiler zurück. Der Strom muss also ab BHKW zuerst über die gezahlte Netzeinspeisung fließen und erst von dort kann der Bezug zum entsprechenden Tarif erfolgen. Alleine der Aufwand für diese zusätzlichen Elektroinstallationen für Einspeisung, Bezug und Messung belief sich auf über

Abb. 2. Blick auf Ta-gestank 1; Zusatzför-derpumpe für Pflan-zenöl 2; Partikelfilter 3; SCR-Katalysator 4 und Harnstoffinjektion vor Mischstrecke 5.

CHF 10'000.--, Erdarbeiten, Verteilschächte und Kabelschutzrohre nicht gerechnet.

Die Pflanzenöleignung des Motors bestätigt sich

Im Vergleich zu Fahrzeugmotoren müssen BHKW-Aggregate - selbst bei hauptsächlich Winternutzung - für wesentlich höhere Jahreslaufleistungen und Dauerbetrieb ausgelegt sein. Ludwig Elsbett, der geniale Pionier der dieselmotorischen Pflanzenölnutzung, hat bereits in den 1970er Jahren sorgfältiges Vermeiden von Wandanspritzung und Erhaltung der relativen Wärmedichtheit des Brennraumes als Grundgesetze der Pflanzenölverbrennung definiert. Verständlich deshalb der Wunsch nach möglichst grossen Zylindereinheiten, gleichen Wandabständen aller Einspritzlöcher, maximalen Einspritzdrücken und wärmeerhaltenden und robusteren Stahlkolben. Eigenschaften, die mit dem neu entwickelten Liebherrmotor D 934 L allesamt verwirklicht wurden. Damit kommt das Konzept dieses Dieselmotors, bei dem auch Ausgleichswellen nicht fehlen, den Idealvorstellungen für Pflanzenölteauglichkeit sehr nahe.

Wie geschaffen für den störungsfreien Pflanzenöleinsatz sind namentlich das Vierventilkonzept mit Einzelzylinderköpfen, eine mit dem höherviskosen Alternativkraftstoff kompatible, «steife» PLD-Einspritzanlage, die Vorwärmung des alternativen Kraftstoffes durch seine Führung im Motorblock und die vertikal-zentrale Hochdruckeinspritzung, mit

typischen Einspritzdrücken von 1'265 bar bei Generatorbedingungen (732 Nm, 1'500 min⁻¹, 115 kWmech). Vor einem jeweiligen Kaltstart wird der Rapsölkraftstoff während einer frei programmierbaren Zeitdauer im Niederdruckkreis über die beiden beheizbaren Filter (Abb. 1) zirkuliert.

Nach dem Start stellen die Filterheizungen automatisch ab, weil nun der Wärmetauscher Kühlwasser/Kraftstoff und die starke Erwärmung des Kraftstoffes aus Niederdruckkreis und Rücklauf wirksam werden. Diese «Selbsterwärmung» auf ca. 65° C bei Generatorbetrieb ist nicht nur völlig ausreichend für die Konditionierung des RK, sondern erfordert im Dauerbetrieb eine zusätzliche Kühlung des Rücklaufes vor dem Tagestank, weil sich sonst die Kraftstofftemperatur über diesen wirksamen Wärmespeicher derart aufschaukelt, dass sie an den Einspritzdüsen 75° C übersteigt und entsprechende Fehlermeldungen an die Motorsteuerung auslöst, welche dann das Notprogramm aktiviert. Der Kraftstoffkühler auf dem Containerdach wird erst nach der Warmlaufphase zugeschaltet. Den Kühlwasser-Kraftstoff-Wärmetauscher werden wir bei diesem Motor zukünftig weglassen. Über die serielle Schnittstelle RS 232 des Motorsteuergerätes und die Kundensoftware Sculi von Liebherr haben wir die Möglichkeit, Kraftstofftemperatur und sämtliche wichtigen Motorparameter online zu überwachen. Ziel ist das möglichst rasche Erreichen und Konstanthalten von 70° C des Rapsölkraftstoffes. Mit dieser Viskositätskalibrierung korrigieren wir die unerwünschte, tiefe Brennraumdurchdringung des Kraftstoffstrahls in der Warmlaufphase und gewährleisten eine ausreichend dieselöl-ähnliche Spraybildung im Dauerbetrieb. Wunschzustand ist stets der Übergang des Treibstoffes in die Verbrennung, bevor es zu Wandanlagerungen kommt. Weil die erhöhte Einspeisevergütung nur für biogene Energieträger gilt, betreiben wir unseren Motor ausschliess-

lich mit Pflanzenöl. Oberstes Ziel war stets, unsere beiden Anlagen möglichst mit heimischem NawaRo-Raps auszulasten. Leider wird die Etablierung dieses krisensicheren Versorgungsbeitrages durch widersprüchliches Verhinderungspotential und die hohen Schweizerpreise stark gefährdet. Eine nachhaltige Störung der noch 2006 mit dem Prix Evenir ausgezeichneten Aufbauarbeit zur Erschliessung dezentraler Nischenenergie ging vom Papier «Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen» der EMPA St. Gallen aus. Der lediglich selektive Beizug der agrarökologischen Experten der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART (<http://www.art.admin.ch/>) und ihrer Datenbank (SALCA), die Ausklammerung der transportgebundenen, ökotoxikologischen Langzeitbelastungen der Erdölprodukte von Quelle zu Raffinerie (siehe Literatur), aber eine akribische Erfassung sämtlicher Negativparameter bei den landwirtschaftlichen Energieträgern, führte zu einer eigentlichen Verunglimpfung des einheimischen Rapsanbaus im Vergleich zur endlichen Referenz «Benzin schwefelarm». Bereits die redaktionelle Erscheinung der EMPA-Studie hatte beim Autor ein ungutes Gefühl ausgelöst und er empfindet es als bedenklich, dass anlässlich der Expertenrunde vom 13.08.07 beim Bafu grundsätzliche agronomische Mängel bei der Bewertung des Rapsanbaus in der Schweiz definiert wurden, das Bafu eine von ihm getragene Nachbearbeitung wünschte, eine für die Kaltpresser ersichtliche Korrektur durch die EMPA St. Gallen indessen bisher ausgeblieben ist.

Der vorübergehend hohe Rapsölpreis von CHF 1.80/l im Winter 08/09 erlaubte keinen rentablen Einsatz des BHKW alleine für die Stromproduktion. Während wir für die Ernte 2009 noch die im Vorjahr vertraglich vereinbarten CHF 100.--/dt neu verhandeln müssen, wird bereits wieder Importraps zu CHF 42.--/dt angeboten! Die vorerwähnte, vor-

Steckbrief des Projektmotors von Liebherr

Motorentyp	Liebherr, D 934 L
Nennleistung	140 kW bei 2000 min ⁻¹
Einspritzung	Pumpe Leitung Düse
Anzahl Spritzlöcher	7, symmetrisch
Spritzlochdurchmesser	0.191 mm
Hubvolumen	7.01 l
Bohrung x Hub	122 x 150 mm
Pleuellänge	237 mm
Zündfolge	1-3-4-2
Verdichtungsverhältnis	17.0 : 1

läufige Überkapazität der Anlage bezüglich Heizungsbedarf für Projektpartner Stähli zwang deshalb zu einem lediglich alternierenden, wärmegeführten Betrieb, mit häufigen Kaltstarts. Trotzdem kann das BHKW mittlerweile rund 700 völlig störungsfreie Betriebsstunden ausweisen. Der Autor sieht einen direkten Zusammenhang zwischen diesem Erfolg und der Bereitschaft des Motorenpartners, wichtige Veränderungen zugunsten des Pflanzenölbetriebes vorzunehmen. Die erforderlichen Grundlagen dazu wurden als eminente Beiträge in umfassenden Prüfstandsversuchen und 3D-Simulationen der Einspritz- und Verbrennungsabläufe mit Diesel- und Rapsölkraftstoff von der Abgasprüfstelle der Berner Fachhochschule Technik und Informatik TI Biel und dem Institut für Energietechnik der ETHZ erarbeitet (Czerwinski *et al.* 2007). Die beiden Haupteingriffe waren die Vorverlegung des Förderbeginns von 7° auf 13° vor OT bei Generatorbedingungen und die Elimination der internen Abgasrückführung mit einer umgebauten Nockenwelle. Alle diese Massnahmen zielen auf eine möglichst heisse, rückstandsfreie Verbrennung, mit hohem thermodynamischem Wirkungsgrad ab. Für die Reduktion der damit verbundenen, höheren NOx-Emissionen sind wir mit der Denox-Anlage mit SCR-Katalysator von Hug Engineering gut gewappnet. Auf Wunsch der Erdöl Vereinigung stellten wir den Projektmotor für ein zusätzliches, sechs monatiges Messprogramm mit sieben Kraftstoffen (Dieselöl, Gas To Liquid, Rapsmethylester, Rapsölkraftstoff und deren Mischungen mit jeweils 10 % Dieselöl) zur Verfügung, von dessen Resultaten ebenfalls das Projekt profitierte. In diesen sehr breit angelegten Versuchen, mit einem Schwerpunkt «Nanopartikel-Analytik», hat Rapsölkraftstoff **bei Generatorbedingungen** durchwegs sehr gut, oder mit Bestwerten abgeschlossen. Davon ausgenommen sind die NOx – obwohl unerwünscht, die eigentliche «Referenz für die Güte der Kraft-

Tab. 1. Die charakteristischen Eigenschaften von Diesel- und Rapsölkraftstoff

	Dieseldkraftstoff	Rapsölkraftstoff
Dichte (bei 15°C) [kg/m³]	830	920
Kinematische Viskosität (bei 40°C) [mm²/s]	2,5	35
Spez. Heizwert [MJ/kg]	43,0	37,5
Cetanzahl [-]	51	~43
Isothermer Verdichtungskoeffizient [1/GPa]	0,625	0,52
Referenztreibstoff (für 3D-Simulat. der Verbrenn.)	C ₁₂ H ₂₆	C ₁₈ H ₃₄ O ₂

stoffumsetzung» - die wir in der Denox-Anlage zu Stickstoff und Wasser konvertieren und ihre Absenkung nicht - wie im Fahrzeugmotor - mit einer Verschlechterung der Verbrennungsbedingungen erzwingen müssen. Die Hauptkenntnisse im Pflanzenölbetrieb, im Vergleich zum Dieseldbetrieb, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Leistung, effektiver Wirkungsgrad und spezifischer Verbrauch: Vorteile bei belastetem Motor
- Partikelmasse: massive Vorteile bei belastetem Motor
- Einspritzdrücke: höher. Einspritzverzug: tiefer
- Zündverzug: leicht grösser (tiefere Cetanzahl, aber Kompensation durch O₂-Anteil in RK)
- Verbrennungstemperatur: höher. Brenndauer: kürzer
- Vorverlegung des Förderbeginns erhöht Verbrennungstemperatur und damit die NOx, verbessert aber alle anderen Parameter bei Generatorbedingungen.

Der Energiegehalt von Rapsölkraftstoff liegt dank seiner höheren Dichte lediglich 3 bis 4 % hinter demjenigen von Dieseldkraftstoff zurück. Ansonsten unterscheiden sich diese beiden Energieträger hingegen beträchtlich (Tab. 1). Die 3D-Schnitte durch die Achse des Sprays und die Kraftstoffkonzentration im gleichen Zeitpunkt betrachtet zeigten, dass die lokale Kraftstoffkonzentration bei Rapsöl kurz nach OT an der Sprayspitze leicht höher ist und verdampftes Rapsöl infolge des grösseren Impulses seiner grösseren und schwereren Tröpfchen tiefer in den Brennraum penetriert, als Dieseldöl. Gegen Ende der Expansion wurde zudem im Rapsölbe-

trieb ein merklich höherer Restanteil nicht verdampfter Tropfen ausgewiesen, als im Dieseldbetrieb. Kleinste Anteile dieser Fraktion gelangen bei jedem Arbeitsspiel über die Zylinderwand in das Motorenöl und führen hier zu einer langsamen Anreicherung, weil Rapsölkraftstoff mit seinem hohen Siedepunkt von über 240° C nicht wieder verdampft, wie das bei den fossilen Kraftstoffen der Fall ist. Aus den Untersuchungen des Technologie- und Förderzentrums für Nachwachsende Rohstoffe TFZ im bayerischen Straubing ist bekannt, dass Pflanzenölkraftstoffe mit niedrigen Sättigungsgraden, beziehungsweise hohen Jodzahlen und vielen Doppelbindungen das Motorenöl stärker belasten, als solche mit hohem Sättigungsgrad und niedrigen Werten für Doppelbindungen respek-

Abb. 3. Vergleich von NOx, PM und eff. Wirkungsgrad für 3 verschiedene Kraftstoffe und 4 Lastpunkte.

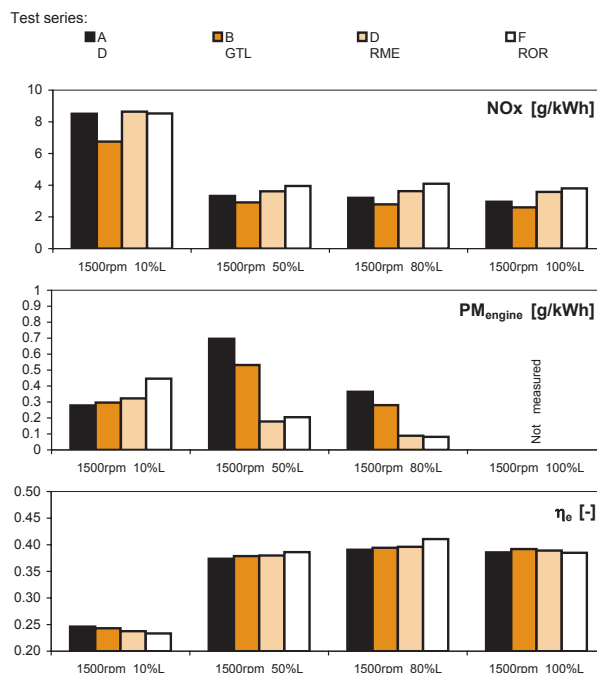
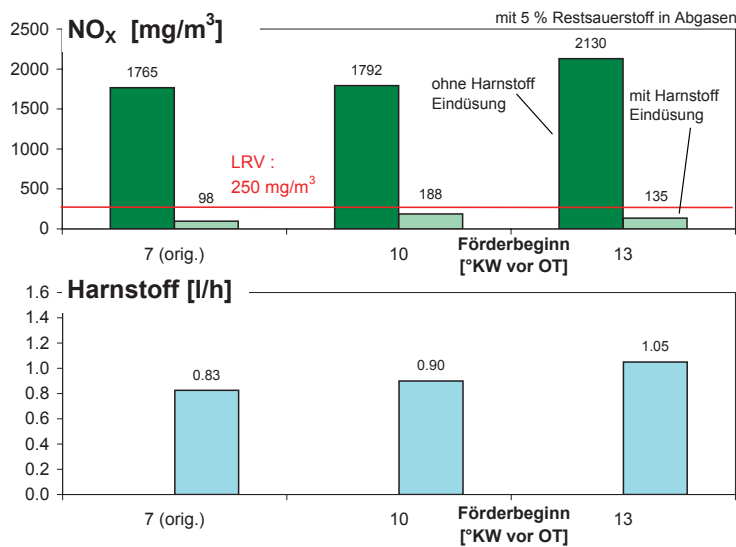


Abb. 4. Aufwand und Ertrag bei der NO_x-Umwandlung.



tive Jodzahlen (Widmann und Remmele 2008). Entsprechend schneidet Palmöl (JZ 56) am günstigsten ab, gefolgt von Erdnussöl (JZ 100), Sesamöl (JZ 110), Rapsöl, (JZ 115) und den ungünstigeren Soja- und Sonnenblumenölen, mit Jodzahlen über 130. Leider ist auch Leindotteröl aus den ökologisch hochbewerteten Mischkulturen mit einer Jodzahl von 160 als Kraftstoff wenig geeignet. Die Bedeutung der definierten und gleich bleibenden Qualität des eingesetzten Rapsölkraftstoffes, wie sie nun in der DIN V 51605 festgelegt ist, kann auch aus dieser Sicht nicht genug betont werden. Als sicherer Grenzwert gelten

10 bis 12 % Pflanzenölanteile im Motorenöl. Üblicherweise führt der konsequente Bezug des Motorenöls beim gleichen Lieferanten zum kostenlosen Angebot der Begleitanalysen. Den genannten Gefahren von Motorölverdünnung und Polymerisation begegnet die erfahrene Senergie mit einem zusätzlichen Motoröltank in der Aggregatewanne. Eine eigene Elektropumpe fördert daraus geringe Mengen zusätzliches Motorenöl zum stirnseitigen Steuerrädertrieb, das dort in die Drucklaufschmierung eingeht. Eine Siphonierung von der Ölwanne zurück zum Zusatztank regelt den korrekten Ölstand. Auf

diese Weise wird die Motorölmenge von 30 Litern um weitere 80 Liter aus dem Zusatztank auf insgesamt 110 Liter erhöht.

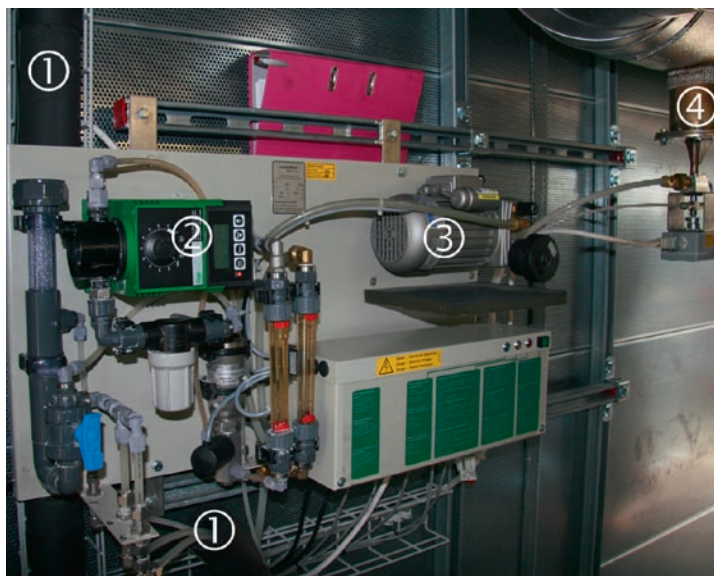
Die Wirksamkeit dieser Massnahme ist eminent. Nach einem Dauerlauf von 416 Betriebsstunden erreichte der Pflanzenölanteil im Schmieröl lediglich 2.1 %. Beim genannten Betriebsregime dürfen demnach Motorölstandzeiten von deutlich über 1'000 h erwartet werden – bei 110 Litern pro Wechsel wirtschaftlich relevant. Eine zunehmende Kaltstartfrequenz wirkt verständlicherweise intervallverkürzend.

Pflanzenöl-BHKW erfüllt die Luftreinhalteverordnung (LRV)

Die beim Dieselmotor hauptsächlich interessierenden Emissionskomponenten sind die NO_x (Stickstoffmonoxid NO und Stickstoffdioxid NO₂) sowie die Partikelmasse. Für unser Pflanzenöl-BHKW in der Leistungsklasse 110 kW gelten die Grenzwerte 250 mg/Nm³ für NO_x und 50 mg/Nm³ für die Partikelmasse. Abbildung 3 zeigt die Emissionsanteile an NO_x und Partikelmasse sowie den effektiven Wirkungsgrad, für die vier Kraftstoffe Dieselöl, GTL (Gas To Liquid), Rapsmethyl ester und Rapsöl, (hier ROR genannt). Im für uns relevanten Generatorbetrieb (1'500 min⁻¹, knapp 80 % Last), emittiert Rapsöl am meisten NO_x, erreicht aber in den anderen drei Positionen die Bestwerte.

Abbildung 4 dokumentiert die hohe Umwandlungsrate der SCR Anlage von Hug. Bei Generatorbedingungen veranlasst der von 7° auf 13° vorverlegte Förderbeginn einen NO_x-Anstieg von 1'765 auf 2'130 mg/Nm³. Mit 1.1 l/h Harnstofflösung 40 % und einer Konvertierungsrate von über 90 %, wird der LRV-Grenzwert mit solider Reserve eingehalten. In Abbildung 5 sind Harnstoffdosierung und -eindüsung abgebildet. Der 1'000 Liter Tank mit der Harnstofflösung, der Jenni-Heizungsspeicher mit 3'570 l Inhalt und das Expansionsgefäß sind auf dem Podest des Hallenabschnittes von Lohnunter-

Abb. 5. Harnstoffdosierung und -eindüsung, mit den isolierten und beheizten Speise- und Rücklaufleitungen 1; Harnstoffpumpe 2; Luftpumpe 3 und Harnstoffinjektor 4.



nehmer Ueli Brauen aufgebaut, der an das BHKW angrenzt.

Fazit

Das technisch und finanziell erfolgreich abgeschlossene Projekt vereinte beste, sich ergänzende Erfahrungen aus allen erforderlichen Sektoren. Die Projektwerte sind Ausdruck eines aussergewöhnlichen Engagements aller Förder- und der Industriepartner, die ihre zugesagten Leistungen um mehr als CHF 440'000.-- aufgestockt haben und die dem Projekt weiterhin verbunden bleiben. Das Beispiel ist als Referenz geeignet - und wird als solche auch genutzt - für den autarken Nischenbeitrag an Energie- und Nahrungssouveränität aus der Region, abseits jeglicher Teller – Tank- und Regenwaldproblematik. Der Ausgang der vor der Tür stehenden Wiedererwägungen (Aufrechterhaltung des erst anderthalbjährigen BR-Entschei-

des zur Mineralölsteuerbefreiung oder Einknicken gegenüber Motoriumsforderungen, Bejahung oder Ablehnung der einstweilen noch entscheidenden Stützungen seitens BLW, Verhalten der Stiftung Klimarappen, Handhabung der Rückspeisetarife) wird über den weiteren Erfolg oder das Abwürgen unserer bisher als Pionierarbeit eingestuft und öffentlich geförderten Anstrengungen im Gesamtwert von über CHF 1,5 Millionen entscheiden.

Literatur

■ Czerwinski J., Zimmerli Y., Neubert T. & Meyer M., 2007. Untersuchung des Betriebes eines Baumaschinenmotors Liebherr D 934 L für den Einsatz im Blockheizkraftwerk mit Rapsöl. Laboratory for Exhaust Emission Control of the University of Applied Sciences, Biel-Bienne, CH, report B201, Apr. /June.

■ Widmann B. & Remmele E., 2008. Biokraftstoffe - Fragen und Antworten. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, D-Straubing, Mai, 16 S.

■ Zah R., 2007. Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen. Empa, Abt. Technologie und Gesellschaft, St. Gallen.

■ Pozo-Rodríguez, F., 2007. Prolonged Respiratory Symptoms in Clean-up Workers of the Prestige Oil Spill. Department of Respiratory Medicine and Clinical Epidemiology Unit, University Hospital 12 de Octubre, Madrid, Spain; American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine Vol. 176 (2007) pp. 610-616.

■ Schmidt, Ch. 18.11.07. Helfer leiden noch heute. NZZ am Sonntag, S. 78.

RÉSUMÉ

L'huile de colza - carburant sûr et écologique produit à la ferme

Fin 2008, le projet CTI «Centrale de cogénération à base d'huile végétale» de l'équipe de technologie agricole de la HESA et ses partenaires économiques et industriels a pu être achevé avec succès. La transformation du colza NawRo en provenance du Lyssbachtal peut, comme prévu, servir de référence pour la production de niche énergétique en cycle fermé, un excellent exemple pour la promotion des régions rurales. Ce projet laisse par ailleurs deux installations d'avenir importantes : un petit moulin à huile perfectionné servant à produire l'huile de colza, présenté dans le n°15 (8) d'AGRARForschung et une centrale de cogénération à base d'huile végétale, sujet de cette contribution. Le cœur de la centrale est un moteur diesel Liebherr de Bulle, venant de la nouvelle série 930. Un essai longue durée en octobre 2008 et la saison de chauffage 2009 ont confirmé son aptitude à fonctionner sans problèmes avec des huiles végétales. Le conteneur, unité globale de la centrale, a été fourni par notre partenaire allemand Senergie à Heitersheim et le système de traitement des gaz d'échappement par Hug Engineering à Elsau. Avant mêmes les optimisations possibles, le rendement électrique de l'installation a été atteint de 39%, surpassant ainsi l'objectif fixé à 37%. Avant l'introduction dans la pratique à Suberg, moteur et dispositif de traitement des gaz d'échappement ont été testés pendant plus de 10 mois en configuration identique sur le banc d'essai de la Haute école spécialisée bernoise technique et informatique à Bienne. D'importantes mesures de comparaison avec de nombreux carburants classiques et alternatifs ont montré - sous le mode de fonctionnement génératrice - des résultats très positifs en faveur de l'huile de colza, résultats qui se sont même révélés être les meilleurs en ce qui concerne la consommation spécifique, le coefficient de rendement et l'émission de particules. Le moulin à huile et la centrale de cogénération jouissent d'une renommée nationale et internationale et ont suscité des demandes concrètes, avant tous aussi dans les régions d'origine de culture du jatropha.

SUMMARY

Rapeseed oil fuel - the crisis-proof home-made eco-fuel

End of 2008 the CTI-project «Vegetable Oil Combined Heat and Power Unit» - completed by Agricultural Machinery department of SCA in close cooperation with its governmental funding and private industry partners - could successfully be completed. With the supply of locally produced Renewable Resources Rape Seed Oil and its conversion to power and heat, the reference project aiming for the peripheral and rural region promoting niche energy contribution came true exemplarily and leaves two consistent values: a sophisticated small oil mill for the production of rape seed oil fuel, presented in AGRARForschung 15 (8) and a modern vegetable oil Combined Heat and Power Unit, topic of this article. The heart of the CHP is a 4-cylinder diesel engine of Liebherr, Bulle, representing the newly developed 930 series. Endurance test in October 08 and subsequent heating season confirmed impressively its high prospects to vegetable oil suitability. The complete CHP has been arranged as a compact container-unit by Senergie GmbH, D-Heitersheim. Hug Engineering Ltd., Elsau, contributed with the exhaust gas treatment. With 39 % electrical line efficiency the minimum target value of 37 % could already be exceeded before any implementation of still possible optimization measures. Prior to the start of operation at Suberg engine and exhaust gas treatment assembly - in identical configuration - underwent a 10-month bench testing procedure at Laboratory for IC-Engines and Exhaust Emission Control (AFHB), University of Applied Sciences, Biel. In extensive comparative measurements, covering a wide range of classic and alternative fuels, rape seed oil fuel completed very advantageous, with respect to specific consumption, effective engine efficiency and particulate matter - in generator operation mode - even with the best values. Oil mill and cogeneration unit enjoy national and international reputation of successful references and account for concrete interest as role models, namely also in jatropha producing regions.

Key words: Combined heat and power plant, rapeseed oil fuel, decentralised bioenergy generation, self-supply, denox catalytic converter, Diesel particulate filter