

Gutachter-Daten-Auswertung von der BHKW-Vorführung vom 28.9.2019 in B. bei Schwabach

editiert von A. Schneider

<http://heizkostenrechner.eu/heizwert-brennwert-tabelle.html>

04.10.2019

3	Heizwert Biodiesel	9,02 kWh/l	laut K.M.	laut G.L.	laut B.F.	Updates:	t5.10.2019
4	Heizwert Diesel	10,00 kWh/l	Testzeit/Min.	10	10	10:00 min.	7.10.2019, 7.10.2019 (I),
5	Heizwert Rapsöl	9,43 kWh/l	Testzeit/Min.	12	10	06:49 min. *	7.10.2019 (II), 20.20.2019
6	Heizwert Emulgator	10,00 kWh/l (?)	Gutachter (freiwillige)			B.F. = Bernhard Foltz, Physiker	
7	Heizwert Heizöl	10,00 kWh/l				K.M. = Karl Meyer, KFZ-Meister	
						G.J. = Gelia Lerche, Dipl.-Ing.	
						F.A.N. = Frank Arbol N.	

Zusammenstellung der Messergebnisse beim BHKW-Betrieb mit Diesel und mit Emulsion vom 28.9.2019

(Zum Emulsionsbetrieb: Mögliche Anteile von Diesel im Emulsions-Rücklauf von der Einspritzanlage sind hier nicht berücksichtigt, siehe hierzu die Anmerkungen in den Zeilen 51-53, 57-62, 64-69, 76-77, 87-88).

Angaben von B.F. (per E-Mail vom 3.10.2019)

Test mit Diesel als Treibstoff

Diesel in l	H2O in l	Rest in l	Verbrauch in l	Heizwert in kWh	Produz. el. kWh	Effizienz	Verbrauch in l/kWh
6		2	4,00	40,00	13,5	33,75 %	0,30

Test mit Rapsöl-Wasser-Emulsion

Rapsöl in l	H2O in l	Emulgator in l	Rest in l	Verbrauch Emulsion in l	Emulgator + Rapsöl in l	Verbr. chem. Energie in kWh	Produz. el. kWh	Effizienz in % *	Verbrauch in l/kWh
1,5	6	0,17	1	6,67	1,45	13,78	6,73	48,84 %	0,22

Angaben von K.M. (per E-Mail vom 3.10.2019)

Test mit Rapsöl-Wasser-Emulsion

Rapsöl in l	H2O in l	Emulgator in l	Rest in l	Verbrauch Emulsion in l	Emulgator + Rapsöl in l	Verbr. chem. Energie in kWh	Produz. el. kWh	Effizienz in %	Verbrauch in l/kWh
1,5	6	0,15	1	6,65	1,43	13,60	6,73	49,49 %	0,21

Angaben von Dipl.-Ing. G.L. (per E-Mail vom 2.10.2019)

Test mit Diesel als Treibstoff

Diesel in l	H2O in l	Rest in l	Verbrauch in l	Heizwert in kWh	Produz. el. kWh	Effizienz	Verbrauch in l/kWh
6		2	4,00	40,00	13,52	33,80 %	0,30

	Rapsöl in l	H2O in l	Emulgator in l	Rest in l	Verbrauch Emulsion in l	Emulgator + Rapsöl in l	Verbr. Energie Rapsöl im kWh	Produz. el. kWh	Effizienz in %	Verbrauch in l/kWh
29 Test mit Rapsöl-Wasser-Emulsion										
30	1,5	4,5		1	5	1,25	11,79	8,7	73,81 %	0,14
32 Angaben von F.A.N. (per E-Mail vom 29.9.2019)										
33 Test mit Diesel als Treibstoff										
34	6									
35				2		4,00	40,00	13,5	33,75 %	0,30
36 Test mit Rapsöl-Wasser-Emulsion										
37	1,5	5	0,17	1	5,67	1,42	13,47	6,73	49,96 %	0,21
38										
39										
40										

41 **Kommentare:**

42 Die **Angaben zum Dieseleinsatz**, die produzierte Energie, die errechnete Effizienz und der spezifische Dieserverbrauch **stimmen gut überein**.
43 **Angaben zur verwendeten Menge an Rapsöl** beim Test mit der Emulsion wurden einheitlich mit 1,5 L angegeben, **sie stimmen auch überein**.
44 **Diskrepanzen gab es beim zugemischten Wasseranteils bei der Emulsion**. G.L. spricht von 4,5 l, F.A.N. von 5 l. Ich selbst (AS) hatte mir ein Verhältnis von 4:1 notiert. **In der folgenden Zusammenstellung** der Ergebnisse mit Emulsion wird **einheitlich mit 6 l Wasseranteil** gerechnet.

47 **Unterschiede gab es auch bei der Angabe der generierten elektrischen Energie**. Teils wurde nichts vermerkt, teils wurden Pauschalwerte angegeben. **Die zuverlässigsten Aufzeichnungen hat B.F. gemacht**. Daher werden im weiteren diese Werte verwendet. Interessenten können die Detailaufzeichnungen bei B.F. per E-Mail anfordern über: mail@bernhard-foltz.de.

51 **B.F. wies vor allem darauf hin, dass es schwierig war bzw. ist, die generierte elektrische Energie in gewissen Zeitabschnitten den damit korrespondierenden Emulsions-Verbräuchen zuzuordnen, weil schon bei dem langwierigen Umschalten von Diesel auf Emulsion über Hähne ein wesentlicher Teil der Emulsion verbraucht wurde und über den Rückfluss Diesel in die Emulsion gelangte**.

55 **Lt. K.M. war dies der Stand von 2010**. Heute würde er dies mit 2 Hähnen realisieren, die über Schrittmotoren gesteuert werden.

56

57 **Zur Frage, ob** beim Umschalten von Diesel auf Emulsion nicht **eventuell Diesel aus dem Rücklauf in den Emulsionstank geflossen sein könnte,**
 58 **erläuterte K.M., dass er in der Umschaltphase** bewusst **den Rücklauf noch in den Dieseltank zurückführte** und **erst bei korrektem Lauf des Mo-**
 59 **tors** mit Emulsion auch den Rücklauf in den Emulsionstank umschaltete *. Diese Massnahme hat wohl zu etwas erhöhtem Emulsionsverbrauch
 60 geführt. D.h., der Motor ist dadurch eigentlich mit etwas weniger Emulsion und damit auch Pflanzenöl gefahren, wodurch der Wirkungsgrad
 61 etwas nach oben korrigiert werden müsste. **Allerdings ist der Prozentsatz schwer abzuschätzen** (E-Mail von K.M. an AS am 6.10.2019).
 62 **Ein gebildeter Kommentar** von B.F., K.M. und AS findet sich unter: www.borderlands.de/Links/Umschaltvorgang_am_28.9.2019.pdf

63
 64 Andererseits hat eine visuelle Auswertung der restlichen Emulsionsmenge von 1 l im Emulsionstank durch B.F. * ergeben, dass ca. 50% Wasser
 65 **darin gewesen sein könnten.** In der Start-Emulsion war der Wasser-Anteil $6/(1,5+6+0,17) = 78\%$ Dies deutet darauf hin, dass beim
 66 mehrmaligen Umschalten auf Diesel (um den Motor nach einem Stop wieder zügig starten zu können) doch einige Anteile Diesel in den Emul-
 67 sionstank geflossen sind. **Genaueren Aufschluss könnte eine Analyse** der Restemulsion, z.B. **bei Intertek** <https://www.intertek.de>
 68 **ergeben. B.F. konnte** in einer Simulation **aufzeigen, dass der Fall, dass eine Menge von 1,5 l Diesel, die über den Rücklauf in den Emulsions-**
 69 **tank geflossen wäre, zu einer vergleichbar (niedrigen) Effizienz wie bei reinem Dieselbetrieb geführt hätte.**
 70 **Es wird daher empfohlen, derartige Messungen mit einer Treibstoff-Wasser-Emulsion an einem kleineren BHKW, z.B. mit 10 kW elektrischer**
 71 **Leistung, durchzuführen und vielleicht mit einem kleineren Mischungsverhältnis, z.B. 1:3, in einem ersten Testlauf anzufangen. Wichtig ist,**
 72 **dass die Maschine mit der Emulsion stabil läuft, so dass der Verbrauch der Emulsion und die damit produzierte elektrische Energie in einer**
 73 **definierten Zeiteinheit eindeutig bestimmt und zugeordnet werden kann. Es wäre auch sinnvoll, mit verschiedenen Mischungsverhältnissen**
 74 **zu arbeiten, um herauszufinden, welche Mischung zu optimalen Ergebnissen führt und gleichzeitig einen stabilen Motorlauf garantiert.**

75
 76 **Hinweis:** B.F. hat in seinen Berechnungen als verbrauchte Emulsion 6 l angegeben. Andererseits stimmen alle anderen darin überein, dass die
 77 Restmenge 1 l betragen hat. Folglich muss der Emulsionsverbrauch 6,67 l betragen haben, weshalb dieser Wert auch bei B.F. verwendet wird.

	Effizienz	Verbrauch
	in %	l/kWh
79 Die Testergebnisse mit reinem Dieselbetrieb decken sich mit den Angaben im Werkstattbuch S. 49 des BHKW-Motors		
80 MWM D226-6, laut dem im Nennbetrieb 78 kW erzielt werden bei einem Dieserverbrauch von 23 l. Dies entspricht:	33,91 %	0,29

81
 82 Wie unter www.borderlands.de/Links/BHKW-Daten.pdf in der 2. Tabelle nachzulesen ist, hat ein **BHKW mit 78 kW** elektrischer Leistung
 83 typischerweise einen **elektrischen Wirkungsgrad von 35,5**, also 1,7% mehr als bei der Demo bei Schwabach im Dieselbetrieb gemessen.

84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112

Fazit (von AS):

Der Betrieb des BHKW mit der Rapsöl-Wasser-Emulsion ergab eine Effizienz 49%, mit Diesel 33,8%. Der spezifische Verbrauch bei Rapsöl liegt bei 0,22 l/kWh, mit Diesel bei 0,30 l/kWh. Der "Hebel" zu Diesel beträgt $49\%/33,80\% = 1,45$ Hier ist allerdings der Vorbehalt zu machen, dass im Fall, dass beim Test am 28.9.2019 Diesel im Rücklauf war, diese Angaben möglicherweise nicht stimmen (siehe oben).

Laut Aussage von Horst Kirsten sollen beim Testlauf am Vortag, den 27.9.2019, in Anwesenheit von ca. 40 Personen und 2 Test-Gutachtern von potenziellen Investoren bessere Werte erzielt worden sein, die näher an den früher erzielten Ergebnissen liegen.

Vergleich zu früheren Ergebnissen

Effizienz in %	Verbrauch l/kWh
115,27	0,092
93,02	0,114
89,11	0,119
78,55	0,135

Bei der Demo am 27. Juli 2019 wurden laut Horst Kirsten Verbrauchswerte von Rapsöl erreicht von:

Im Gutachten von DEKRA (2010, Horst Kirsten: Der GFE-Skandal, S. 89) wurde ein höherer Wert angegeben:

Im Gutachten von TÜV Süd (2010, Horst Kirsten: Der GFE-Skandal, S. 89) betrug der Wert:

In der Prospektangabe von GFE (2010, Horst Kirsten: Der GFE-Skandal, S. 89) stand:

Sofern Rapsöl weniger als das 1,45fache von Heizöl kostet, ist ein BHKW mit Emulsionsbetrieb auf jeden Fall wirtschaftlich interessant.

Der "Hebel" bei Betrieb mit Emulsion gegenüber Diesel beträgt optimal (gemäss Test 27.7.2019) $115,27\%/33,8\% = 3,41$

Wie unter www.borderlands.de/Links/BHKW-Daten.pdf in der 2. Tabelle nachzulesen ist, hat ein BHKW mit 78 kW elektrischer Leistung typischerweise einen elektrischen Wirkungsgrad von 35,5. Die thermische Leistung liegt typischerweise bei 102 kW und der thermische Wirkungsgrad bei 46,4%.

Hinweis zur kalorimetrischen Messung, d.h zur Erfassung der thermischen Leistung bzw. thermischen Effizienz am 28.9.2019

Die für den Test am 28.9.2019 ebenfalls angekündigten kalorimetrischen Messungen wurden nicht bzw. nur zum Teil durchgeführt. Insbesondere wurde das Kühlwasser nicht durch den neben der Maschine stehenden Boiler geführt bzw. die Temperatur am Boiler nicht erfasst. Es standen dagegen zwei grosse nach oben offenen Fässer mit je 145 l Wasserinhalt zur Verfügung in die der erwähnte 10-kW-Heizstab eingetaucht war. Wahrscheinlich hätte der Heizstab beim einen Test mit Diesel in ein Fass hineingetaucht werden sollen, und beim Test mit der Emulsion in das andere Fass.

113 Vom Versuchsleiter wurde am Anfang eine Temperatur auf einem Thermometer von 15,1 Grad abgelesen, irgendwann später eine Tempera-
114 tur von 42,6 Grad. Wenn man von einem Wirkungsgrad von 90% ausgeht (10% gehen durch Wärmeabstrahlung verloren), kommt man auf eine
115 Zeit von 30 Minuten, die zur Aufheizung mit einem 10-kW-Heizstab erforderlich ist.

116 Die Berechnung erfolgt nach der Formel in: <https://rechneronline.de/kueche/wasser-kochen.php>

117

118 **Schluss-Resumé (von AS)**

119 Sofern beim Emulsionsbetrieb mindestens das 1,5 fache oder mehr an elektrischer Energie gewonnen werden kann, dürfte auch der Gesamt-
120 wirkungsgrad unter Einbezug des (gleich bleibenden) thermischen Wirkungsgrads um einen Faktor 1,5 höher liegen.

121

122 **Wenn somit beim Betrieb eines BHKWs mit Einzeltreibstoff ein Gesamtwirkungsgrad von 90% erreichbar ist, könnte dieser bei Emulsions-
123 betrieb auf 135 % gesteigert werden, siehe auch:** www.borderlands.de/Links/BHKW-Daten.pdf

124 **Wenn also auch die Wärme genutzt werden kann, ergeben beide Komponenten - Strom und Wärme - zusammen eine deutlich höhere
125 Amortisation und Wirtschaftlichkeit von BHKWs mit Emulsionsbetrieb im Vergleich zu BHKWs, die nur mit Heizöl laufen.**

126

127 **Hinweis von B.F.:** Das Wasser kann die Umsetzung der Explosion in Bewegung verbessern, also den elektrischen Wirkungsgrad erhöhen,
128 aber nicht die Wärme vermehren!

129

130 **Ergänzung von AS:** Möglicherweise sinkt der thermische Wirkungsgrad bei Emulsionsbetrieb sogar, wie dies auch bei Wassereinspritzung
131 der Fall ist, weil beim Verbrennungsprozess die Temperatur abgesenkt wird, siehe:

132 <https://www.springerprofessional.de/motorenteknik/ottomotor/kampf-der-klopfneigung/6560910>

133 **Bezogen auf den Energieinhalt im Treibstoff entsteht somit weniger Wärme, die ja im BHKWs ebenfalls energetisch genutzt werden soll.**

134

135 **Theoretischer Hintergrund einer möglichen Effizienzerhöhung**

136 Bei Wassereinspritzung, wie beim BMW M4 GTS, wird die Zusatzenergie zum Verdampfen aus der Umgebungsluft bezogen, siehe:

137 <https://www.bmw-m.com/de/topics/magazine-article-pool/5-liter-wasser-fuer-500-pferde.html>

138 Weitere Hinweise zur Deutung des erhöhten Energieeintrages durch Zusatz von Wasser finden sich am Schluss des Links:

139 <http://www.borderlands.de/Links/Aqua-Fuel.pdf>

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28

Zeit vom endgültigen Umschalten auf Emulsion bis Motorstopp: 07:46 min.

Zeit von B.F. mit Zählerablesung erfasst: 06:49 min.

Hinweise in Grün von Bernhard Foltz (7.10.2019, 15:03)

Hinweise in Violett: Karl Meier, KFZ-Meister

Hinweise in Dunkelrot: Gelia Lerche, Dipl.-Ing.

Hinweise in Blau: Frank Arbold N.

Effizienz-Angabe nur gültig, wenn die Emulsion unverändert blieb.

Stattdessen ist jedoch aller Wahrscheinlichkeit Diesel in die Emulsion gelangt - siehe unten.

F.A.N.: Verbesserung zu Diesel 1,4472

Kommentar von AS: Die leicht höhere Effizienz ist durch die etwas niedrigere Angabe der Emulgatormenge bedingt.

F.A.N.: Verbesserung zu Diesel 1,4662

29

30

31 **Kommentar von AS:** Die hohe Effizienz ergibt sich, weil G.L. 8,7 kWh angab, was laut B.F. nicht stimmen kann.

32 **F.A.N.: Verbesserung zu Diesel** **2,1869**

33

34

35

36

37

38 **Kommentar von AS:** Die leicht höhere Effizienz ist durch die Angabe einer niedrigeren Wassermenge bedingt.

39 **F.A.N.: Verbesserung zu Diesel** **1,4804**

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59 * **Das ist leider nicht richtig! Beide Hähne wurden in etwa synchron bewegt. Siehe auch meine übermittelten Bilder.**

60 siehe hierzu links zwei Zeilen tiefer den Link zum "Umschaltvorgang"

61

62

63

64 * B.F. hatte AS bereits mitgeteilt, dass die Werte wegen des zurückgeflossenen Diesels sogar noch erheblich
65 nachkorrigiert werden müssen. Erste Begutachtungen der Rest-Emulsion ergaben nur noch 50% Wasser, was ca. 30%
66 Dieselmischung entspricht. Aber auch das ist bis jetzt ungesichert. Die Beobachtung hat B.F. nicht selbst
67 durchgeführt, sondern wurde ihm auf Umwegen mitgeteilt, weswegen sie eben ungesichert ist. Vielleicht kann noch
68 eruiert werden, wo die Proben geblieben sind und was bei der Auswertung (Wassergehalt) herauskam.

69

70 Tests mit anderen Mischungsverhältnissen sind sicher sinnvoll.

71 Im vorliegenden Demo-Versuch sollte jedoch die Lauffähigkeit mit 80% Wasser belegt werden!

72

73

74

75

76 **Irgendwie scheint das ja sehr schwer vermittelbar zu sein, deshalb unten nochmals erklärt.**

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86 **Kommentar von B.F.**

87 **Der 'Hebel' wird kleiner als 1, falls 1,5 L Diesel in der Emulsion waren!**

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118 **Abschliessender Kommentar von B.F. zum Testlauf am 28.9.2019**

119 **Nochmals Erklärung zu den Unwägbarkeiten der Mengenmessungen:**

120 a) Die Emulsion wird eingefüllt. 6 L Wasser + 1,5 L Rapsöl + 0,17 L Emulgator = 7,67 L Emulsion.

121 b) Der Motor wird gestartet, während der Hahn auf Diesel steht.

122 c) Über lange Zeit, länger als der eigentliche Test mit Emulsion, werden die Hähne langsam von Diesel nach Emulsion umgelegt und bei

123 Nachlassen der Motordrehzahl wieder in Richtung Diesel gedreht.

124 d) Von der Emulsion ist inzwischen ein Teil verbraucht und aller Wahrscheinlichkeit Diesel hineingeraten,

125 also X L Emulsion + Y L Diesel.

126 e) Erst jetzt wird vollständig auf Emulsion - oder eben das, was jetzt in dem Tank vorhanden ist - umgeschaltet!

127 f) Ab diesem Zeitpunkt läuft der Test, 7:46 Minuten.

128 g) Nach dem Test ist noch ca. 1 Liter Emulsion übrig.

129 Abschätzung:

130 X ist größer 0 und kleiner als $7,67-1=6,67$ L.

131 Y kann aus der Beobachtung, dass sich die Restflüssigkeit am nächsten Tag auf ca. 50%Öl+50%Wasser getrennt hatte, nur vage

132 abgeschätzt werden: $6-1,5-0,17 = 4,33$ L Diesel auf die 7,67 L Emulsion bezogen.

133

134

135

136

137

138

139