

## Temperatur-Mengenbewertung von Biokraftstoff-Mineralkraftstoff- Gemischen und Biokraftstoff-Heizöl-Gemischen

Um die Durchführung gesetzlich geforderter Temperatur-Mengenbewertung auch bei Biokraftstoffen und Gemischen von Biokraftstoffen und konventionellen Mineralkraftstoffen zu ermöglichen, hat die PTB erste Untersuchungen des Temperatur-Dichte-Verhaltens dieser Flüssigkeiten durchgeführt.

Der Gebrauch von Biokraftstoff oder die Zumischung von Biokraftstoff zu konventionellen Kraftstoffen nimmt bedingt durch gesetzliche Vorschriften schnell zu.

Allerdings sind in diesem Zusammenhang für die in einigen EU-Mitgliedsstaaten vorgeschriebene Temperatur-Mengenbewertung notwendigen Parameter bei unterschiedlichen Mischungsverhältnissen von Biokraftstoff und Mineralkraftstoff unbekannt.

Daher hat die PTB damit begonnen, das Temperatur-Dichteverhalten ausgewählter Gemische experimentell zu bestimmen.

Ziel der Untersuchungen ist die Abdeckung eines Temperaturbereichs von -15 °C bis +50 °C und der Mischungsverhältnisse von 100/0 (100 % Biokraftstoff zu 0 % Mineralkraftstoff) bis 0/100 (0 % Biokraftstoff zu 100 % Mineralkraftstoff).

Die experimentelle Bestimmung der temperaturabhängigen Dichte erfolgt mit Messgeräten, die nach dem Schwinger-Prinzip arbeiten. Die Messunsicherheit beträgt 0,05 kg/m<sup>3</sup> (k=2). Die diskreten Messwerte werden mittels eines Polynoms dritten Grades approximiert.

$$\rho(T) = \rho_0 \{1 + [A_1 (T - T_0) + A_2 (T - T_0)^2 + A_3 (T - T_0)^3]\}$$

$T_0$  steht für die Basistemperatur (15 °C) und  $\rho_0$  für die Dichte bei der Basistemperatur. In den nachfolgenden Tabellen sind approximierete Ergebnisse und die Koeffizienten der Approximation dargestellt. Die relativen Abweichungen der approximierten Daten von den experimentell ermittelten Werten sind kleiner als  $5 \cdot 10^{-5}$ .

Die Approximation durch ein Polynom 3. Grades ist eine pragmatische, mathematisch einfache Beschreibung. Nutzern der Daten steht es frei, eine andere als die von uns gewählte Approximationsmethode zu verwenden.

Die Tabellen werden erweitert, wenn neue Messdaten vorliegen.

Ansprechpartner:

H. Wolf, FB 3.3, AG 3.32, [henning.wolf@ptb.de](mailto:henning.wolf@ptb.de),  
M.Rinker, FB 1.5, AG 1.51, [michael.rinker@ptb.de](mailto:michael.rinker@ptb.de)

Stand: 2010-03-01

## Temperature conversion of biofuel-mineral fuel mixtures and biofuel-heating oil mixtures

In order to enable legally required temperature conversion also for biofuels and mixtures of biofuels with conventional mineral fuels PTB carried out first investigations of the temperature-density behaviour of these liquids.

Due to legal requirements the use of biofuels or the use of mixtures of biofuels and conventional mineral fuels increases rapidly.

However the parameters necessary for temperature conversion, required in some EC member states, are unknown for different mixtures of biofuels and conventional fuels.

That's why PTB starts with the experimental determination of the temperature-density behaviour of selected mixtures.

Aim of the investigations is to cover a temperature range from -15 °C to +50 °C and a range of the mixing ratios from 100/0 (100 % biofuel and 0 % mineral fuel) to 0/100 (0 % biofuel and 100 % mineral fuel).

The temperature dependent density variation is experimentally determined using oscillation-type density meters. The measurement uncertainty is 0,05 kg/m<sup>3</sup> (k=2).

The single measurement values are approximated by a 3<sup>rd</sup> degree polynomial.

$T_0$  is the base temperature (15 °C) and  $\rho_0$  the density at base temperature. In the following tables approximated results and the coefficients of the approximation are presented.

The relative deviations of the approximated data from the experimental values are smaller than  $5 \cdot 10^{-5}$ .

The approximation by a 3<sup>rd</sup> degree polynomial is a pragmatic, mathematical easy description. Users of the data are free to apply a different method of approximation.

The tables will be expanded if there are new data available.

Contact

H. Wolf, FB 3.3, AG 3.32, [henning.wolf@ptb.de](mailto:henning.wolf@ptb.de),  
M.Rinker, FB 1.5, AG 1.51, [michael.rinker@ptb.de](mailto:michael.rinker@ptb.de)

Last update: 2010-03-01

**Tabelle 1: Daten für Benzin (Super, Sommer) und Bioethanol**  
 E5 bedeutet 5 % Ethanol (volumetrisch, bezogen auf 15 °C)  
*Data for petrol (super, summer) and bioethanol*  
*E5 means 5 % ethanol (volumetric, based on 15°C)*

Temperatur	Benzin/Petrol	Ethanol	E5	E10	E80	E85
°C	Dichte/Density in kg/m <sup>3</sup>					
-15	768,980	819,548	771,885	775,437	809,279	811,696
-10	764,575	815,316	767,457	771,004	804,998	807,427
-5	760,157	811,092	763,011	766,555	800,717	803,161
0	755,725	806,869	758,544	762,084	796,432	798,891
5	751,275	802,642	754,054	757,589	792,137	794,613
10	746,807	798,408	749,536	753,066	787,827	790,322
<b>15</b>	<b>742,318</b>	<b>794,159</b>	<b>744,989</b>	<b>748,511</b>	<b>783,497</b>	<b>786,012</b>
20	737,806	789,893	740,409	743,921	779,141	781,679
25	733,269	785,604	735,794	739,293	774,756	777,317
30	728,705	781,286	731,141	734,622	770,335	772,922
35	724,111	776,935	726,446	729,906	765,873	768,488
40	719,487	772,547	721,706	725,141	761,366	764,010
45	714,829	768,115	716,920	720,324	756,808	759,484
50	710,137	763,635	712,083	715,450	752,195	754,904
$A_1/K^{-1}$	-1,2125E-03	-1,0719E-03	-1,2250E-03	-1,2215E-03	-1,1083E-03	-1,0994E-03
$A_2/K^{-2}$	-6,1861E-07	-4,5941E-07	-8,7452E-07	-9,3637E-07	-6,4267E-07	-5,9697E-07
$A_3/K^{-3}$	-3,6782E-09	-8,3272E-09	-5,2263E-09	-6,2386E-09	-8,6845E-09	-8,5529E-09

**Tabelle 2: Daten für Benzin (Super, Winter) und Bioethanol**  
 E5 bedeutet 5 % Ethanol (volumetrisch, bezogen auf 15 °C)  
*Data for petrol (super, winter) and bioethanol*  
*E5 means 5 % ethanol (volumetric, based on 15°C)*

Temperatur	Benzin/Petrol	Ethanol	E5	E10	E80	E85
°C	Dichte/Density in kg/m <sup>3</sup>					
-15	760,764	819,336	765,889	768,536	807,227	810,254
-10	756,332	815,105	761,442	764,079	802,94	805,981
-5	751,887	810,88	756,975	759,603	798,654	801,711
0	747,425	806,657	752,486	755,106	794,363	797,438
5	742,944	802,431	747,972	750,584	790,062	793,157
10	738,443	798,197	743,43	746,032	785,746	788,862
<b>15</b>	<b>733,919</b>	<b>793,949</b>	<b>738,858</b>	<b>741,447</b>	<b>781,410</b>	<b>784,549</b>
20	729,371	789,684	734,251	736,826	777,048	780,212
25	724,795	785,395	729,608	732,164	772,656	775,846
30	720,19	781,079	724,924	727,458	768,228	771,447
35	715,554	776,729	720,198	722,705	763,759	767,009
40	710,884	772,342	715,426	717,901	759,244	762,526
45	706,179	767,912	710,605	713,041	754,677	757,995
50	701,437	763,434	705,732	708,123	750,054	753,409
$A_1/K^{-1}$	-1,2361·10 <sup>-3</sup>	-1,0720·10 <sup>-3</sup>	-1,2422·10 <sup>-3</sup>	-1,2415·10 <sup>-3</sup>	-1,1129·10 <sup>-3</sup>	-1,1023·10 <sup>-3</sup>
$A_2/K^{-2}$	-6,7788·10 <sup>-7</sup>	-4,5474·10 <sup>-7</sup>	-9,1811·10 <sup>-7</sup>	-9,8669·10 <sup>-7</sup>	-6,5049·10 <sup>-7</sup>	-6,0110·10 <sup>-7</sup>
$A_3/K^{-3}$	-3,8516·10 <sup>-9</sup>	-8,3383·10 <sup>-9</sup>	-5,3906·10 <sup>-9</sup>	-6,6332·10 <sup>-9</sup>	-8,8556·10 <sup>-9</sup>	-8,7249·10 <sup>-9</sup>

**Tabelle 3: Daten für Diesel (Sommer), RME (Rapsölmethylester) und SME (Sojaölmethylester)**

B7(RME) bedeutet 7 % RME (volumetrisch, bezogen auf 15 °C)

Unterhalb 0 °C beginnen Verfestigungsprozesse

*Data for Diesel (summer), RME (rape seed oil methyl ester), and SME (soy bean oil methyl ester)*

*B5(RME) means 5 % RME (volumetric, based on 15°C)*

*Below 0°C solidification starts*

Temperatur	Diesel	B100(RME)	B5(RME)	B7(RME)	B100(SME)	B5(SME)	B7(SME)
°C	Dichte/Density in kg/m <sup>3</sup>						
0	855,047	894,257	856,898	857,638	896,270	856,976	857,753
5	851,566	890,601	853,408	854,146	892,604	853,486	854,259
10	848,089	886,954	849,922	850,657	888,945	849,999	850,769
<b>15</b>	<b>844,615</b>	<b>883,314</b>	<b>846,439</b>	<b>847,171</b>	<b>885,292</b>	<b>846,515</b>	<b>847,282</b>
20	841,142	879,681	842,959	843,688	881,645	843,034	843,798
25	837,672	876,054	839,480	840,206	878,003	839,555	840,315
30	834,201	872,430	836,002	836,724	874,365	836,075	836,833
35	830,731	868,810	832,523	833,243	870,729	832,596	833,350
40	827,259	865,192	829,044	829,760	867,095	829,115	829,866
45	823,784	861,575	825,562	826,275	863,463	825,633	826,380
50	820,307	857,958	822,078	822,787	859,831	822,148	822,892
$A_1/K^{-1}$	-8,2239·10 <sup>-4</sup>	-8,2330·10 <sup>-4</sup>	-8,2261·10 <sup>-4</sup>	-8,2258·10 <sup>-4</sup>	-8,2450E-04	-8,2271E-04	-8,2274E-04
$A_2/K^{-2}$	5,1745·10 <sup>-8</sup>	1,4698·10 <sup>-7</sup>	5,5270·10 <sup>-8</sup>	5,4729·10 <sup>-8</sup>	1,2578E-07	5,4274E-08	5,5409E-08
$A_3/K^{-3}$	-1,3703·10 <sup>-9</sup>	-1,6545·10 <sup>-9</sup>	-1,3289·10 <sup>-9</sup>	-1,3921·10 <sup>-9</sup>	-1,3253E-09	-1,3453E-09	-1,3781E-09

**Tabelle 4: Daten für Diesel (Winter), RME (Rapsölmethylester) und SME (Sojaölmethylester)**

B7(RME) bedeutet 7 % RME (volumetrisch, bezogen auf 15 °C)

Unterhalb 0 °C beginnen Verfestigungsprozesse

*Data for Diesel (winter), RME (rape seed oil methyl ester), and SME (soy bean oil methyl ester)*

*B5(RME) means 5 % RME (volumetric, based on 15°C)*

*Below 0°C solidification starts*

Temperatur	Diesel	B100(RME)	B5(RME)	B7(RME)	B100(SME)	B5(SME)	B7(SME)
°C	Dichte/Density in kg/m <sup>3</sup>						
0	833,227	894,511	836,189	837,365	896,652	836,290	837,509
5	829,710	890,856	832,666	833,840	892,984	832,767	833,982
10	826,196	887,208	829,145	830,317	889,324	829,245	830,458
<b>15</b>	<b>822,682</b>	<b>883,568</b>	<b>825,626</b>	<b>826,795</b>	<b>885,671</b>	<b>825,725</b>	<b>826,934</b>
20	819,169	879,935	822,107	823,274	882,024	822,205	823,412
25	815,655	876,306	818,588	819,752	878,381	818,685	819,889
30	812,140	872,682	815,067	816,229	874,742	815,163	816,365
35	808,622	869,061	811,544	812,704	871,106	811,639	812,839
40	805,101	865,443	808,018	809,176	867,472	808,113	809,310
45	801,576	861,825	804,489	805,644	863,838	804,583	805,778
50	798,047	858,207	800,955	802,108	860,204	801,048	802,241
$A_1/K^{-1}$	-8,5411E-04	-8,2315E-04	-8,5246E-04	-8,5183E-04	-8,2428E-04	-8,5258E-04	-8,5202E-04
$A_2/K^{-2}$	4,5773E-09	1,4332E-07	9,4749E-09	8,9827E-09	1,3046E-07	7,6385E-09	1,4309E-08
$A_3/K^{-3}$	-1,3268E-09	-1,5872E-09	-1,3250E-09	-1,2942E-09	-1,4987E-09	-1,2495E-09	-1,3568E-09

Bemerkung: Die Daten zu Ethanol in den Tabellen 1 und 2, B100(RME) und B100(SME) in den Tabellen 3 und 4 sind an jeweils derselben Charge, aber zu unterschiedlichen Zeiten gemessen, sie zeigen Alterungseinflüsse, die die Dichte verändern.

Note: The data concerning ethanol in tables 1 and 2, B100(RME) and B100(SME) in tables 3 and 4 are measured using the same charges in each case, but at different times, indicating aging processes which are affecting the density.

**Tabelle 5: Daten für Heizöl und RME (Rapsölmethylester)**

B10(RME) bedeutet 10 % RME (volumetrisch, bezogen auf 15 °C)

Unterhalb 0 °C beginnen Verfestigungsprozesse

*Data for heating oil and RME (rape seed oil methyl ester)*

*B10(RME) means 10 % RME (volumetric, based on 15 °C)*

*Below 0 °C solidification starts*

Temperatur	Heizöl	B10(RME)	B20(RME)	B50(RME)
°C	Dichte/Density in kg/m <sup>3</sup>			
0	845,428	850,206	855,061	869,925
5	841,937	846,698	851,537	866,349
10	838,450	843,194	848,016	862,779
<b>15</b>	<b>834,964</b>	<b>839,693</b>	<b>844,498</b>	<b>859,214</b>
20	831,481	836,193	840,982	855,651
25	827,998	832,695	837,468	852,092
30	824,514	829,196	833,954	848,534
35	821,030	825,697	830,441	844,978
40	817,544	822,197	826,926	841,421
45	814,056	818,694	823,409	837,863
50	810,564	815,187	819,890	834,304
<hr/>				
$A_1/K^{-1}$	-8,3462E-04	-8,3372E-04	-8,3283E-04	-8,2954E-04
$A_2/K^{-2}$	3,5792E-08	4,4091E-08	5,2649E-08	8,4072E-08
$A_3/K^{-3}$	-1,2859E-09	-1,3364E-09	-1,2619E-09	-1,4103E-09

**Tabelle 6: Direkter Vergleich der thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Diesel (Sommer), Heizöl und Diesel (Winter) und deren Blends mit 20 % RME (Rapsölmethylester)**

*Direct comparison of the thermal expansion coefficients of Diesel (summer), heating oil, and Diesel (winter), and their blends with 20 % RME (rape seed oil methyl ester)*

	Diesel (Sommer)	Heizöl	Diesel (Winter)		B20 Diesel (Sommer)	B20 Heizöl	B20 Diesel (Winter)
Thermischer Ausdehnungskoeffizient / thermal expansion coefficient							
$A_1/K^{-1}$	$-8,2239 \cdot 10^{-4}$	-8,3462E-04	-8,5411E-04		-8,2315E-04	-8,3283E-04	-8,4787E-04
$A_2/K^{-2}$	$5,1745 \cdot 10^{-8}$	3,5792E-08	4,5773E-09		6,8379E-08	5,2649E-08	2,3121E-08
$A_3/K^{-3}$	$-1,3703 \cdot 10^{-9}$	-1,2859E-09	-1,3268E-09		-1,3901E-09	-1,2619E-09	-1,1454E-09

Bemerkung: Die Beimischung von RME hat deutlich weniger Einfluss auf den thermischen Ausdehnungskoeffizienten als der Übergang von Sommer- auf Winterdiesel. Heizöl liegt innerhalb dieses Intervalls.

Note: The blending with RME influences the thermal expansion coefficient much less than the change-over from summer quality to winter quality of Diesel. Heating oil is located inside this interval.