

D G M K

Forschungsbericht

811

Brandverhalten von Mineralölprodukten
mit Flammpunkt > 55 °C



Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft
für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.

Die DGMK und die Bearbeiter haben das Vorhaben mit wissenschaftlicher Genauigkeit und Sorgfalt durchgeführt. Es wird keine Gewähr für die Anwendbarkeit der in diesem Bericht mitgeteilten Ergebnisse übernommen.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des auszugsweisen Nachdrucks, der Herstellung von Mikrofilmen und der fotomechanischen Wiedergabe, nur mit ausdrücklicher schriftlicher Genehmigung der DGMK.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of DGMK.

Als Manuskript gedruckt.

ISSN 0937-9762
ISBN 978-3-941721-94-4

Preis: EUR 75,00
(DGMK-Mitglieder 50 %)
zzgl. ges. MwSt.

Verbreitung und Verkauf nur durch:



Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft
für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.

Überseering 40, 22297 Hamburg
Telefon: 040 639004 0
Telefax: 040 639004 50
Bankverbindung:
Postbank Hamburg
IBAN: DE22 2001 0020 0071 1272 06
BIC: PBNKDEFF

Amtsgericht Hamburg 69 VR 6898



Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft
für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.

Weitere DGMK-Forschungsberichte aus dem Themenkreis „Lagerung, Transport und Verteilung“

- 616-2 AdBlue als Reduktionsmittel für die Absenkung der NOX-Emissionen aus Nutzfahrzeugen mit Dieselmotor, Teil 2: AdBlue-Erprobung in Labor- und Feldtesten, AdBlue-Logistik
(AdBlue as a Reducing Agent for the Decrease of NOX Emissions from Diesel Engines of Commercial Vehicles, Part 2: Laboratory and Field Testing of AdBlue, AdBlue-Logistik)
erhältlich in deutsch und englisch
EUR 50,00 (DGMK-Mitglieder 50 %) zzgl. ges. MwSt.
- 617 Untersuchung zur Zoneneinstufung in Leichtflüssigkeitsabscheidern
(Investigation into the zone classification in light liquid separators)
Autor: Dr. Dirk-Hans Frobese, 2006
EUR 40,00 (DGMK-Mitglieder 50 %) zzgl. ges. MwSt.
- 643 Leichtflüssigkeitsabscheider und Biokraftstoffe
(Separator systems for light liquids and biofuels)
EUR 50,00 (DGMK-Mitglieder 50 %) zzgl. ges. MwSt.
- 659 Gefahrgut-Risikobetrachtung bei Tankfahrzeugen mit höheren Nutzlasten in der Tankstellenversorgung
(Consideration on the risk for the use of tank vehicles with higher gross mass in site delivery)
Autoren: Dr. Michael Pöttsch, Andreas Würsig, Jörg Ludwig, 2006
EUR 30,00 (DGMK-Mitglieder 50 %) zzgl. ges. MwSt.
- 699 Leichtflüssigkeitsabscheider und Bioethanol
(Separator Systems for Light Liquids and Bioethanol)
Autoren: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter, Dipl.-Ing. Elmar Brüggling M.Sc., 2008
EUR 100,00 (DGMK-Mitglieder 50 %) zzgl. ges. MwSt.
- 668 Band 668-1 Dichtheit von Eisenbahnkesselwagen und
Band 668-2 Dichtheit von Eisenbahnkesselwagen – Bewertung von
und Lösungsvorschlägen aus DGMK-Forschungsbericht 668-1 und Umsetzbarkeit in die
Band 668-2) Praxis
(Band 668-1 Leakproofness of rail tank wagons and
Band 668-2 Leakproofness of rail tank wagons - Evaluation of suggestions made in
DGMK-Research Report 668-1 and their implementation)
Band 668-1: Autoren: Dr.-Ing. Michael Pöttsch, Frank Jochems, Jan Werner
71 Seiten, 24 Abbildungen, 37 Literaturstellen, 7 Anlagen
Band 668-2: Autor: Dr. Matthias Schmidt, 2009
EUR 150,00 (DGMK-Mitglieder 50 %) zzgl. ges. MwSt.
- 727 Überdrucksicherung an Tankfahrzeugen
(Over-pressure in road tankers)
Autoren: Dr. Dirk-Hans Frobese, Harald Pape, 2011
EUR 75,00 (DGMK-Mitglieder 50 %) zzgl. ges. MwSt.
- 786 Sicherheitstechnische Untersuchung der Zündgefahren beim Einsatz von Mobiltelefonen an Tankstellen
(Safety related investigation of the ignition danger caused by the use of mobile phones at petrol filling stations)
Autor: Dr.-Ing. Ulrich Johannsmeyer, Hamburg 2016
EUR 75,00 (DGMK-Mitglieder 50 %) zzgl. ges. MwSt.



Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft
für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.

DGМК-Forschungsbericht 811

Brandverhalten von Mineralölprodukten mit Flammpunkt > 55 °C

Kurzfassung

Die Brandgefahr in Tanklagern, die Produkte mit einem Flammpunkt oberhalb von 55 °C lagern, wurde anhand von Messungen an einer Auswahl von repräsentativen Proben beurteilt. Die mit verschiedenen Methoden bestimmten Flammpunkte, Unteren Explosionspunkte und Brennpunkte konnten dazu herangezogen werden. Es wurde ein Mindestabstand von 16,5 K zwischen Flammpunkt und darüberliegendem Brennpunkt ermittelt. Des Weiteren liegen die unteren Explosionspunkte maximal 8K unterhalb des Flammpunktes nach DIN EN ISO 2719. Auf Basis der Ergebnisse wird die Schlussfolgerung gezogen, dass im Rahmen der separaten Lagerung der zuvor untersuchten Produktgruppen in Tanklagern und Raffinerien im Gebiet NW Europa bezüglich Explosionsgefahr und Brandgefahr im bestimmungsgemäßen Betrieb keine Risiken zu befürchten sind, sofern die Produkttemperatur in der Flüssigphase die Temperatur von 40 °C nicht überschreitet.

Berichtsumfang:	24 Seiten, 5 Abbildungen, 10 Tabellen
Laufzeit:	2017 bis 2018
Autoren:	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig: Dr. Sabine Zakel Thomas Stolz Dr. Elisabeth Brandes Dr. Maria Mitu Dr. Dirk-Hans Frobese
Projektbegleitung:	E. Bernhardt, MEW Mittelständische Energiewirtschaft Deutschland e.V. M. Blohm, Raffinerie Heide GmbH O. Drechsel, ExxonMobil Production Deutschland GmbH O. Hein, PCK Raffinerie GmbH T. Herzig, TanQuid GmbH & Co.KG R. Jüngerhans, H&R ChemPharm GmbH T. Klapprath, VARO Energy Tankstorage GmbH G. Kolm, OMV Deutschland GmbH T. Lindner, Nynas GmbH & Co. KG A. Paffrath, Ruhr Oel GmbH BP Gelsenkirchen M. Pankow, TOTAL Bitumen Deutschland GmbH H. Pätchinsky, Gunvor Raffinerie Ingolstadt GmbH Dr. R. Peschla, MiRO Mineraloelraffinerie Oberrhein GmbH & Co. KG R. Sachse, TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland GmbH F. Schaper, UTV Unabhängiger Tanklagerverband e.V. A. Suscha, BP Europa SE BP Lingen V. Wilms, Oiltanking Deutschland GmbH & Co. KG H. Wekenborg, WeBUS GmbH & Co. KG Dr. M. Winkler, Mineralölwirtschaftsverband e. V.
Projektkoordination:	J. Ludzay, DGМК, Hamburg
DGМК-Fachausschuss:	Prozesssicherheit
DGМК-Fachbereich:	Verarbeitung und Anwendung
Veröffentlichung:	Hamburg, August 2018

Freiexemplar für Ihre ehrenamtliche Mitarbeit in der Projektbegleitung



German Society for Petroleum and Coal
Science and Technology

DGМК-Research Report 811

Burning Behavior of Petroleum Products with Flashpoint > 55 °C

Abstract

The fire hazard in tank farms storing products with a flash point above 55 °C was assessed on the basis of measurements on a selection of representative samples. The flash points, lower explosion points and fire points determined by various methods could be used for this purpose. A minimum distance of 16.5 K between flash point and higher fire point was determined. Furthermore, the lower explosion points are no more than 8K below the flash point according to DIN EN ISO 2719. Based on the results, the conclusion is drawn that in the context of the separate storage of the previously investigated product groups in tank farms and refineries in the northwestern European region, no risks regarding explosion hazard and fire hazard are to be feared in intended operation, provided that the product temperature does not exceed 40 °C in the liquid phase.

Length of the report:	24 pages, 5 figures, 10 tables
Duration:	2017 bis 2018
Authors:	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig: Dr. Sabine Zakel Thomas Stolz Dr. Elisabeth Brandes Dr. Maria Mitu Dr. Dirk-Hans Frobese
Projectadvisors:	E. Bernhardt, MEW Mittelständische Energiewirtschaft Deutschland e.V. M. Blohm, Raffinerie Heide GmbH O. Drechsel, ExxonMobil Production Deutschland GmbH O. Hein, PCK Raffinerie GmbH T. Herzig, TanQuid GmbH & Co.KG R. Jüngerhans, H&R ChemPharm GmbH T. Klappprath, VARO Energy Tankstorage GmbH G. Kolm, OMV Deutschland GmbH T. Lindner, Nynas GmbH & Co. KG A. Paffrath, Ruhr Oel GmbH BP Gelsenkirchen M. Pankow, TOTAL Bitumen Deutschland GmbH H. Pätschinsky, Gunvor Raffinerie Ingolstadt GmbH Dr. R. Peschla, MiRO Mineraloelraffinerie Oberrhein GmbH & Co. KG R. Sachse, TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland GmbH F. Schaper, UTV Unabhängiger Tanklagerverband e.V. A. Suscha, BP Europa SE BP Lingen V. Wilms, Oiltanking Deutschland GmbH & Co. KG H. Wekenborg, WeBUS GmbH & Co. KG Dr. M. Winkler, Mineralölwirtschaftsverband e. V.
Project Coordination:	J. Ludzay, DGМК, Hamburg
DGМК Committee:	Process Safety
DGМК Division:	Refining and Product Application
Published:	Hamburg, August 2018

Freiexemplar für Ihre ehrenamtliche Mitarbeit in der Projektbegleitung

Inhalt

1	Zusammenfassung	1
2	Summary	2
3	Einleitung	3
3.1	Brandschutz	3
3.2	Explosionsschutz	3
3.3	Blitzschutz	4
3.4	Flammpunkt	4
3.5	Unterer Explosionspunkt	5
3.6	Brennpunkt	5
3.7	Ziel des Projektes	6
4	Material und Methoden	7
4.1	Produktportfolio	7
4.2	Messreihen	8
4.3	Messunsicherheit	9
5	Ergebnisse	10
5.1	Flammpunkte	10
5.2	Brennpunkt	11
5.3	Unterer Explosionspunkt	12
6	Schlussfolgerungen	14
7	Anhang	16
8	Referenzen	22

Freiexemplar für Ihre ehrenamtliche Mitarbeit in der Projektbegleitung

1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Projektes sollte die Brandgefahr in Tanklägern beurteilt werden, die Produkte mit einem Flammpunkt oberhalb von 55 °C lagern. Nach früherer Bezeichnung handelt es sich dabei um AIII Produkte, die heute als brennbar und bei Flammpunkten bis 60 °C als entzündbar eingestuft sind. Anhand von Messungen wurde eine wissenschaftlich fundierte Grundlage als eine Erkenntnisquelle für die Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung im Sinne der TRGS 509 und der TRGS 800 geschaffen. Die Ergebnisse können darüber hinaus in die mittelfristige Überarbeitung von Regelwerken wie beispielsweise der TRGS 509 einfließen.

An einer Auswahl repräsentativer Mineralölproben wurden unter Anwendung verschiedener Methoden die Flammpunkte, die Unteren Explosionspunkte und die Brennpunkte bestimmt. Für diese der PTB bereitgestellten Proben wurde nachgewiesen, dass die Flammpunkte eine Temperatur von 55 °C nicht unterschreiten. Die Proben von Dieselkraftstoff B0, Dieselkraftstoff B7 und Heizöl EL verhalten sich ähnlich hinsichtlich ihrer Kenngrößen Flammpunkt, Unterer Explosionspunkt und Brennpunkt. Alle bestimmten Flammpunkte dieser Gruppe halten einen Mindestabstand von 16,5 K zum darüberliegenden Brennpunkt ein. Des Weiteren haben alle nach DIN EN ISO 2719 ermittelten Flammpunkte dieser Gruppe einen Maximalabstand von 8 K zum darunterliegenden Unteren Explosionspunkt. Bis zu einer Produkttemperatur von 75 °C wird der Brennpunkt nicht erreicht, so dass die Weiterbrennbarkeit der Flüssigkeit bei 40 °C Produkttemperatur (Flüssigphase) auszuschließen ist.

Der zur Verfügung gestellte Bunkerkraftstoff hat nach DIN EN ISO 2719 einen Flammpunkt um die 75 °C und einen Mindestabstand von über 25 K zum darüberliegenden Brennpunkt. Der Untere Explosionspunkt liegt 7 K unterhalb des Flammpunktes. Bunkerkraftstoff ist damit hinsichtlich der Bildung explosionsgefährlicher Dampf/Luft-Gemische oder der Weiterbrennbarkeit der Flüssigkeit bei 40 °C Produkttemperatur (Flüssigphase) als weniger gefährlich einzuschätzen als die zuerst genannte Gruppe. Die Biodieselproben B100 liegen mit den Temperaturwerten ihrer Kenngrößen deutlich oberhalb der anderen Proben. Der Brennpunkt der Biodieselproben liegt auch nach DIN EN ISO 3679 mindestens 24 K oberhalb des Flammpunktes.

Zusammenfassend kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass im Rahmen der separaten Lagerung der zuvor untersuchten Produktgruppen in Tanklägern und Raffinerien im Gebiet NW Europa bezüglich Explosionsgefahr und Brandgefahr im bestimmungsgemäßen Betrieb keine Risiken zu befürchten sind, sofern die Produkttemperatur in der Flüssigphase die Temperatur von 40 °C nicht überschreitet. In der vom Arbeitgeber nach der Gefahrstoffverordnung durchzuführenden Gefährdungsbeurteilung kann dieses Ergebnis als Erkenntnisquelle herangezogen werden, wobei der Arbeitgeber die örtlichen Bedingungen der Lageranlage berücksichtigen muss.

2 Summary

Within the scope of this project, the fire hazard in tank farms storing products with a flash point above 55 °C should be assessed. According to the former designation, these are AIII products which are now classified as combustible and flammable at flash points up to 60 °C. On the basis of measurements, a scientifically sound basis was created as a source of knowledge for the preparation of a risk assessment in the sense of TRGS 509 and TRGS 800. The results can also be incorporated into the medium-term revision of regulations such as TRGS 509.

At a selection of representative mineral oil samples, the flash points, the lower explosion points and the fire points were determined using different methods. For these samples provided to PTB it was proven that the flash points do not fall below a temperature of 55 °C. The samples of diesel fuel B0, diesel fuel B7 and domestic fuel oil EL behave similarly with regard to their parameters flash point, lower explosion point and fire point. All specified flash points in this group maintain a minimum distance of 16.5 K from the higher fire point. Furthermore, all flash points of this group determined according to DIN EN ISO 2719 have a maximum distance of 8 K to the lower explosion point, which lies below. Up to a product temperature of 75 °C, the fire point is not reached, so that the sustained combustibility of the liquid at 40 °C product temperature (liquid phase) can be excluded.

According to DIN EN ISO 2719, the bunker fuel provided has a flash point of around 75 °C and a minimum distance of more than 25 K to the higher combustion point. The lower explosion point is 7 K below the flash point. Bunker fuel is thus to be regarded as less dangerous than the first group mentioned with regard to the formation of explosive vapour/air mixtures or the sustained combustibility of the liquid at 40 °C product temperature (liquid phase). The safety characteristic temperature values of the B100 biodiesel samples are significantly higher than those of the other samples. The fire point of the biodiesel samples is also at least 24 K above the flash point according to DIN EN ISO 3679.

In summary, it can be concluded that within the frame of the separate storage there are no risks of explosion hazards and fire hazards of the previously investigated product groups in the intended operation in tank farms and refineries in the NW Europe area, provided that the product temperature in the liquid phase does not exceed 40 °C. In the risk assessment to be carried out by the employer in accordance with the Hazardous Substances Ordinance, this result can be used as a source of information, whereby the employer must take into account the local conditions of the storage facility.

3 Einleitung

In der Mineralölindustrie werden brennbare Flüssigkeiten in der Regel in ortsfesten Tanks gelagert. Die Anforderungen an die Bauausführung sowie die Betriebsweise von Lageranlagen mit ortsfesten Tanks sind in Deutschland in der TRGS 509 geregelt [1]. Gemäß dieser TRGS 509 haben brennbare Flüssigkeiten einen Flammpunkt, der bis zu 370 °C betragen kann.

Brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt bis 60 °C werden nach Verordnung (EG) 1272/2008 zusätzlich als entzündbar eingestuft [2], brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt über 60 °C dagegen nicht. Zu den brennbaren Flüssigkeiten, die als entzündbar eingestuft werden, gehören die Massenprodukte Dieselmotorkraftstoffe gemäß DIN EN 590 [3] als auch Heizöle EL gemäß DIN 51603-1 [4], die nach Norm einen Flammpunktbereich von 55 °C bis 75 °C haben dürfen.

Bei der Lagerung brennbarer Flüssigkeiten sind gemäß TRGS 509 grundsätzlich Brandschutzmaßnahmen im Sinne der TRGS 800 [5] erforderlich. Deshalb soll im Rahmen dieses Projektes die Brandgefahr im bestimmungsgemäßen Betrieb ermittelt werden, die von Tanklagern ausgeht, die Produkte mit einem Flammpunkt oberhalb von 55 °C lagern (Alle Produkte nach früherer Bezeichnung). Im Folgenden wird zunächst auf die verschiedenen Aspekte des Brand-, Explosions- und Blitzschutzes eingegangen, bevor im Anschluss die für die Beurteilung relevanten Sicherheitstechnischen Kenngrößen und das Projektziel erläutert werden.

3.1 Brandschutz

Es sind geeignete Brandschutzmaßnahmen zu treffen, um die Auswirkungen eines Brandes in der Umgebung auf die Lagerbehälter für entzündbare und brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt von mehr als 55 °C zu minimieren. Bislang ist es üblich, die in der TRGS 509 genannten Brandschutzanforderungen im Sinne der TRGS 800 umzusetzen. Es stellt sich aber die Frage, ob diese Anforderungen, die aus den früheren Technischen Regeln für brennbaren Flüssigkeiten (TRbF) übernommen wurden, noch dem Stand der Technik entsprechen.

3.2 Explosionsschutz

In Anlagen zur Lagerung und Abfüllung von brennbaren Flüssigkeiten sind explosionsgefährdete Bereiche festzulegen, wenn mit der Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre gerechnet werden muss. Unter den in Deutschland vorherrschenden klimatischen Bedingungen können die Umgebungstemperaturen nur selten und dann auch nur für Stunden über 40 °C liegen. Die TRGS 509 legt fest, dass bei den in Deutschland üblichen klimatischen Verhältnissen Explosionsschutzmaßnahmen in einer Lageranlage nur für entzündbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt von höchstens 55 °C erforderlich sind. Für entzündbare und brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt von mehr als 55 °C ist nicht mit dem Auftreten einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre zu rechnen, sofern diese Flüssigkeiten nicht erwärmt werden und solange deren Flüssigkeitstemperatur also

immer ausreichend unterhalb 55 °C liegt. Als ausreichend wird bei Flüssigkeiten, die als Gemisch aus mehreren einzelnen Komponenten vorliegen, demnach ein Abstand von 15 K angesehen. Damit ergibt sich eine maximal zulässige Temperatur von 40 °C in der Flüssigphase des gelagerten Produkts. Sofern kein erwärmtes Produkt eingelagert wird, ist im bestimmungsgemäßen Betrieb die vorgenannte Bedingung für entzündbare und brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt von mehr als 55 °C erfüllt und es ist nicht mit der Ausbildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre zu rechnen. Auf Grund dieser Festlegung in der TRGS 509 sind für die oben genannten entzündbaren Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt über 55 °C keine Explosionsschutzmaßnahmen vorzusehen. Ebenso sind an diesen Lageranlagen keine explosionsgefährdeten Bereiche festzulegen.

3.3 Blitzschutz

Wie in Kapitel 3.2 ausgeführt, ist bei der Lagerung von brennbaren Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt > 55 °C, die nicht über 40 °C erwärmt werden, nicht mit der Ansammlung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen. Die TRGS 509 sieht daher vor, dass Lageranlagen mit ortsfesten, oberirdischen Tanks im Freien und unterirdischen Tanks für entzündbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt ≤ 55 °C, die nicht allseitig von Erde, Mauerwerk oder Beton oder mehreren dieser Stoffe umgeben sind, durch geeignete Einrichtungen gegen Zündgefahren durch Blitzschlag geschützt sein müssen. Dies gilt auch für oberirdische Tanks im Freien, die dem Lagern von brennbaren Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt < 100 °C dienen, wenn diese Flüssigkeiten zusammen mit entzündbaren Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt ≤ 55 °C in einem Auffangraum gelagert werden. Für eine separate Lagerung von entzündbaren und brennbaren Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt > 55 °C sind keine detaillierten Anforderungen in der TRGS 509 genannt.

3.4 Flammpunkt

Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur einer brennbaren Flüssigkeit, korrigiert auf den atmosphärischen Normaldruck von 101,3 kPa, bei der sich ein Dampf/Luft-Gemisch über der Flüssigkeit bildet, das unter festgelegten Bedingungen in einem Tiegel mit einer Zündquelle entzündet werden kann. Dabei ist die Menge an Dampf, die aus einer Flüssigkeit verdampft, abhängig vom Dampfdruck der Flüssigkeit. Die Flamme an der Oberfläche der Flüssigkeit muss nicht notwendigerweise selbstständig weiterbrennen, sondern darf nach der Ausbreitung über die Oberfläche wieder erlöschen.

Es gibt eine Vielzahl von genormten Flammpunktbestimmungsverfahren, die sich hauptsächlich darin unterscheiden, wie sehr die Dampfphase mit der Flüssigphase im Gleichgewicht steht. Dabei sind sowohl die Rate der Temperaturerhöhung während des Erwärmens und das Testintervall von Bedeutung, als auch die Größe und der Verschluss des Tiegels. Verschiedene Normen gelten deshalb für verschiedene Temperaturbereiche und/oder Substanzklassen. Auf die verschiedenen, in diesem Projekt angewandten Flammpunktmethoden wird im Abschnitt „Material und Methoden“ vergleichend eingegangen. Der Flammpunkt ist die Grundlage für die

Einstufung brennbarer Flüssigkeiten als Gefahrgut nach dem Transportrecht und dem Umgangsrecht.

3.5 Unterer Explosionspunkt

Der untere Explosionspunkt (UEP) ist die Temperatur, bei der die Konzentration eines gesättigten Dampf/Luft-Gemisches der unteren Explosionsgrenze entspricht. Dementsprechend bezeichnet der obere Explosionspunkt die Temperatur, bei der die Konzentration des gesättigten Dampf/Luft-Gemisches der oberen Explosionsgrenze entspricht (Abbildung 1). Der obere Explosionspunkt ist im Gegensatz zum unteren Explosionspunkt im Rahmen dieses Projekts nicht von Bedeutung.

Bei der Bestimmung des unteren Explosionspunktes nach DIN EN 15794 [6] wird das Temperatur- und Konzentrationsgleichgewicht zwischen Flüssigkeit und Dampfphase eingestellt. Dies ist bei der Bestimmung des Flammpunktes nicht vollständig der Fall. Deshalb liegt der UEP in der Regel niedriger als der Flammpunkt und seine Anwendung führt zu einer genaueren sicherheitstechnischen Beurteilung. Die Bestimmung des UEP ist jedoch zeitaufwändig, so dass eine vorhergehende Flammpunktbestimmung zur Abschätzung der Starttemperatur sinnvoll ist.

3.6 Brennpunkt

Der Brennpunkt ist die niedrigste Temperatur einer Probe, korrigiert auf einen Luftdruck von 101,3 kPa, bei der unter definierten Prüfbedingungen die Dampfphase der Probe durch die Prüf Flamme entzündet wird und weiterbrennt [7]. Der Brennpunkt kann deutlich über dem Flammpunkt liegen. Nach Erreichen des Flammpunktes wird deshalb die Probe weiter erwärmt, so dass ihre Temperatur mit einer Geschwindigkeit von 5 K/min bis 6 K/min steigt. Die Prüf Flamme wird alle 2 K angewandt, bis sich die Dampfphase der Probe entzündet und mindestens fünf Sekunden lang weiterbrennt. Die Temperatur an diesem Punkt ist der ermittelte Brennpunkt der Probe, der anschließend rechnerisch auf Umgebungsdruck korrigiert und auf das nächste Grad Celsius gerundet wird. In der Praxis entspricht eine Druckerhöhung von 4 kPa einer Erhöhung des Flamm- oder Brennpunktes von 1 K.

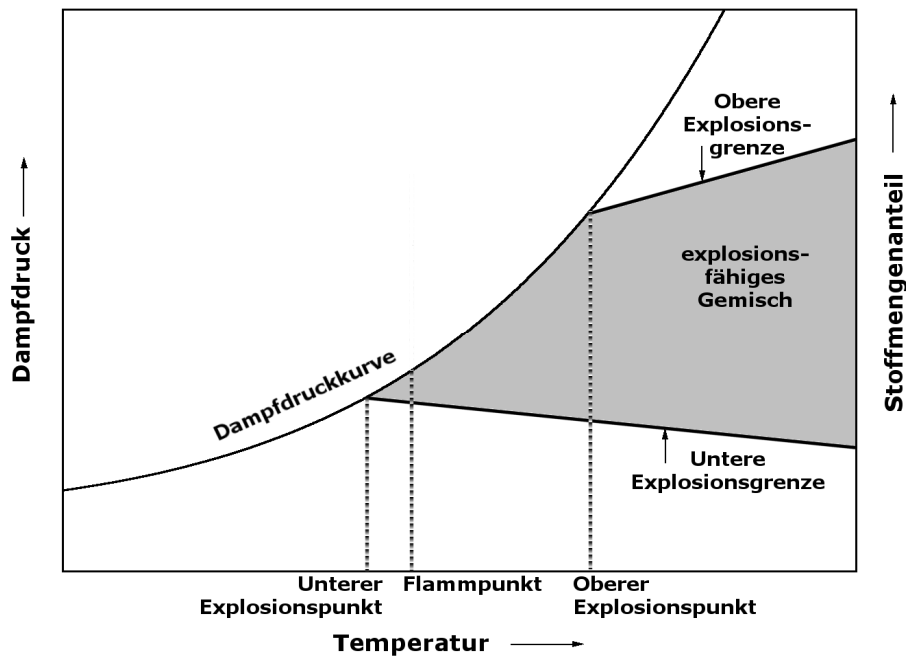


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Explosionspunkten, Flamm- und Dampfdruckkurve und Explosionsgrenzen.

3.7 Ziel des Projektes

Mit diesem Projekt wird eine wissenschaftlich fundierte Grundlage als Erkenntnisquelle zur Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung im Sinne der TRGS 509 und der TRGS 800 erarbeitet. Die Gefährdungsbeurteilung nach der Gefahrstoffverordnung ist vom Arbeitgeber durchzuführen, wobei er die örtlichen Bedingungen der Lageranlage zu berücksichtigen hat. Die Erstellung der Gefährdungsbeurteilung ist nicht Gegenstand dieses Forschungsberichtes.

Die Ergebnisse des Forschungsberichtes können darüber hinaus in die mittelfristige Überarbeitung von Regelwerken wie beispielsweise der TRGS 509 einfließen.

- An einer Auswahl repräsentativer Mineralölproben sollten Flammpunkt, Unterer Explosionspunkt und Brennpunkt bestimmt werden.
- Anhand dieser Proben soll nachgewiesen werden, dass die Flammpunkte eine Temperatur von 55 °C nicht unterschreiten.
- Der Abstand des Flammpunktes zum Unteren Explosionspunkt wird ausgewertet, um die Stichhaltigkeit der 15 K-Regel (TRGS 721 [8]) als notwendige Unterschreitung des Flammpunktes zur Vermeidung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre zu validieren und sie auf eine maximale Produkttemperatur (Flüssigphase) von 40 °C für repräsentative Proben anzuwenden.
- Die Differenz von Brennpunkt und Flammpunkt respektive Unterem Explosionspunkt wird ermittelt, um hinsichtlich des Weiterbrennbarkeit der Flüssigkeiten eine Aussage treffen zu können.

4 Material und Methoden

4.1 Produktportfolio

Folgende Proben wurden untersucht:

- Winterdiesel B0: Nr.1 - 7
- Winterdiesel B7: Nr. 8 - 14
- Heizöl EL: Nr.15 - 21
- Bunkerkraftstoff: Nr. 22 - 24, Nr. 25 - 28: nicht zugewiesen
- Biodiesel B100: Nr. 29 - 35 (Fettsäure-Methylester [FAME] gem. DIN EN 14214 [9])
- Ergänzende Proben: Dieselkraftstoff B7 (Nr. 36 - 38)
- Ergänzende Proben: Biodiesel B100 (Nr. 39 - 41)

Die Produkte Winterdiesel B0, Winterdiesel B7, Heizöl EL und Biodiesel wurden im Frühjahr 2017 der PTB übergeben (Nr. 1 - 21; 29 - 35). Die Tests begannen mit Projektstart im September 2017. Das Produkt Bunkerkraftstoff wurde Ende September 2017 zur Verfügung gestellt (Nr. 22 - 24).

Im November 2017 stellte sich bei der Analyse durch ein externes Labor heraus, dass die unteren Grenzwerte der Oxidationsstabilität beim Winterdiesel B7 (Nr. 12) und Biodiesel B100 (Nr. 29) unterschritten waren. Als Ersatz wurden je drei zusätzliche Proben dieser Produkte zur Vermessung durch die PTB in den Projektumfang aufgenommen (Nr. 36 - 41). Dabei handelt es sich jeweils um B7 und B100 aus drei verschiedenen Raffinerien. Die Proben wurden vor Beginn der Tests durch ein externes Labor analysiert und entsprechen den Qualitätsvorgaben der DIN EN Normen. Die Ergebnisse der extern durchgeführten Analytik sind enthalten in Tabelle 6 bis Tabelle 10.

Bei der Probenauswahl handelt es sich somit um spezifikationskonforme Qualitäten gemäß DIN EN Normen, die somit als repräsentativ für die Produktgruppen Dieselkraftstoff, Heizöl EL, Biodiesel sowie Bunkerkraftstoff DMA betrachtet werden können.

4.2 Messreihen

Folgende fünf Messreihen wurden an den Proben durchgeführt:

- Bestimmung des Flammpunktes im geschlossenen Gefäß nach dem schnellen Ja/Nein-Gleichgewichtsverfahren (DIN EN ISO 3679 [10]). Werden FAME vermessen, ist ein Detektor einzusetzen. Der auf den Standardluftdruck korrigierte Flammpunkt wird auf 0,5 °C auf- oder abgerundet.
- Bestimmung des Flammpunktes im geschlossenen Gefäß im Nichtgleichgewichtsverfahren nach Pensky-Martens (DIN EN ISO 2719 [11])
 - Verfahren A (5.5 °C/min) für Destillatkraftstoffe
 - Verfahren C (3 °C/min) für FAME (B100)
- Bestimmung des Flammpunktes im offenen Gefäß nach Cleveland (DIN EN ISO 2592 [7])
- Bestimmung des Brennpunktes nach Cleveland (DIN EN ISO 2592 [7])
- Bestimmung des unteren Explosionspunktes (DIN EN 15794 [6]) bei einem Füllgrad von 50 %

Die drei verschiedenen Flammpunktverfahren unterscheiden sich hinsichtlich der in Tabelle 1 aufgeführten Anforderungen.

Tabelle 1: Anforderungen Flammpunktverfahren

Verfahren	Temperaturbereich [°C]	Heizrate [K/min]	Testintervall [K]	Tiegel	Gleichgewicht	Flüssigkeitsvolumen
DIN EN ISO 3679	-30 °C bis 300	-	1	geschlossen	nahezu	2 ml
DIN EN ISO 2719 (A)	40 °C bis 370	5-6	1	geschlossen	nein	75 ml
DIN EN ISO 2719 (C: FAME)	100°C bis 370	2,5-3,5	2	geschlossen	nein	75 ml
DIN EN ISO 2592	79 °C bis 400	5-6	2	offen	nein	100 ml

4.3 Messunsicherheit

Ergänzend zu den Anforderungen der Normen, die eine Einfachbestimmung vorsehen, erfolgte die experimentelle Bestimmung der Flammpunkte und Brennpunkte im Rahmen dieses Projektes jeweils mindestens dreifach. Die einzelnen Bestimmungen wurden zunächst auf den atmosphärischen Normaldruck korrigiert. Im Anschluss erfolgte die Mittelwertbildung. Der Mittelwert wird entsprechend den Vorgaben der Normen gerundet auf 0,5 °C für DIN EN ISO 3679 und DIN EN ISO 2719 sowie 1 °C für DIN EN ISO 2592. In den Ergebnistabellen ist der gerundete Mittelwert aus den korrigierten Einzelmessungen und die Streubreite der Präzision aus diesen drei Bestimmungen angegeben. Laut Normen erfolgt die Bestimmung des Flammpunktes mit den folgenden Unsicherheitsangaben:

Wiederholbarkeit (Wiederholpräzision, repeatability): Der Unterschied zwischen zwei Ergebnissen, die von demselben Beobachter mit demselben Gerät unter konstanten Arbeitsbedingungen an derselben Probe ermittelt werden, würde auf die Dauer bei üblicher und korrekter Anwendung des Verfahrens nur in einem von zwanzig Fällen die Werte r in Tabelle 2 überschreiten. Für dieses Konfidenzniveau von 95 % wird die Standardabweichung der Einzelergebnisse mit einem Faktor von 2,83 multipliziert. Die Standardabweichung der Einzelergebnisse ergibt sich entsprechend durch Division mit diesem Faktor.

Vergleichbarkeit (Vergleichspräzision, reproducibility): Der Unterschied zwischen zwei einzelnen und unabhängigen Ergebnissen, die von verschiedenen Beobachtern in verschiedenen Laboratorien an gleichen Proben ermittelt werden, würde auf die Dauer bei üblicher und korrekter Anwendung des Verfahrens nur in einem von zwanzig Fällen die Vergleichbarkeit R in Tabelle 2 überschreiten (% Konfidenzniveau).

Tabelle 2: Wiederholbarkeit r und Vergleichbarkeit R der Messverfahren nach Norm

Kenngröße	Norm	r	R
Flammpunkt	DIN EN ISO 3679	$0,01520(X+110) \text{ °C}$	$0,02561(X+100) \text{ °C}$
Flammpunkt	DIN EN ISO 3679 (FAME)	1,9 °C	15,0 °C
Flammpunkt	DIN EN ISO 2719 (A)	$0,029 X \text{ °C}$	$0,071 X \text{ °C}$
Flammpunkt	DIN EN ISO 2719 (C: FAME)	8,4 °C	14,7 °C
Flammpunkt	DIN EN ISO 2592	8 °C	18 °C
Brennpunkt	DIN EN ISO 2592	8 °C	14 °C
X: Mittelwert der zu vergleichenden Prüfergebnisse			

5 Ergebnisse

Die Zahlenwerte der Messreihen sind im Anhang in Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5 wiedergegeben. In den Tabellen sind jeweils die Streubreite der Präzision und die Standardabweichung nach Norm angegeben, um die Qualität der Messungen beurteilen zu können. Des Weiteren enthält der Anhang in Tabelle 6 bis Tabelle 10 die Analyseergebnisse zu den verwendeten Proben.

5.1 Flammpunkte

In Tabelle 3 und Tabelle 4 sind die Messwerte der drei Flammpunktmessreihen wiedergegeben. In Abbildung 2 findet sich eine gemeinsame graphische Auftragung.

- Die Proben BO, B7, Heizöl EL (Nr. 1 - 21) und B7 (Nr. 36 - 38) haben ähnliche Flammpunkte.
- Nur eine B7-Probe hat einen Flammpunkt $< 60\text{ °C}$ (Nr. 36). Bei dieser Probe handelt es sich um eine einzelne Nachlieferung einer einzelnen Raffinerie.
- Die Ergebnisse der beiden Verfahren im geschlossenen Tiegel (DIN EN ISO 3679 und DIN EN ISO 2719) sind für die Proben Nr. 1 - 21 und Nr. 36 - 38 im Rahmen der Messunsicherheit als gleich anzusehen.
- Der im offenen Tiegel bestimmte Flammpunkt nach Cleveland (DIN EN ISO 2592) ist verfahrensbedingt immer höher als die Werte nach DIN EN ISO 3679 und DIN EN ISO 2719, da der Wert im offenen Tiegel gemessen wird.
- Bunkerkraftstoff DMA zeigt bis auf den höheren Flammpunktlevel von 75 °C ähnliches Verhalten wie die bisher diskutierten Proben.
- Die Flammpunkte von Biodiesel B100 liegen deutlich über 100 °C .
- Die Probenreihe B100 Nr. 29 – 35 gliedert sich in zwei Gruppen. Eine Gruppe mit Flammpunkt nach DIN EN ISO 2719 um 106 °C und eine Gruppe mit Flammpunkten über 170 °C .
- Bei der ersten Gruppe (Nr. 29-31 und 33) zeigt sich eine deutliche Vergrößerung des Abstandes zwischen den Flammpunktmethoden. Die zweite Gruppe streut zwar stark, zeigt aber diese Auffälligkeit nicht systematisch. Zur zweiten Gruppe gehört die B100 Nachlieferung.

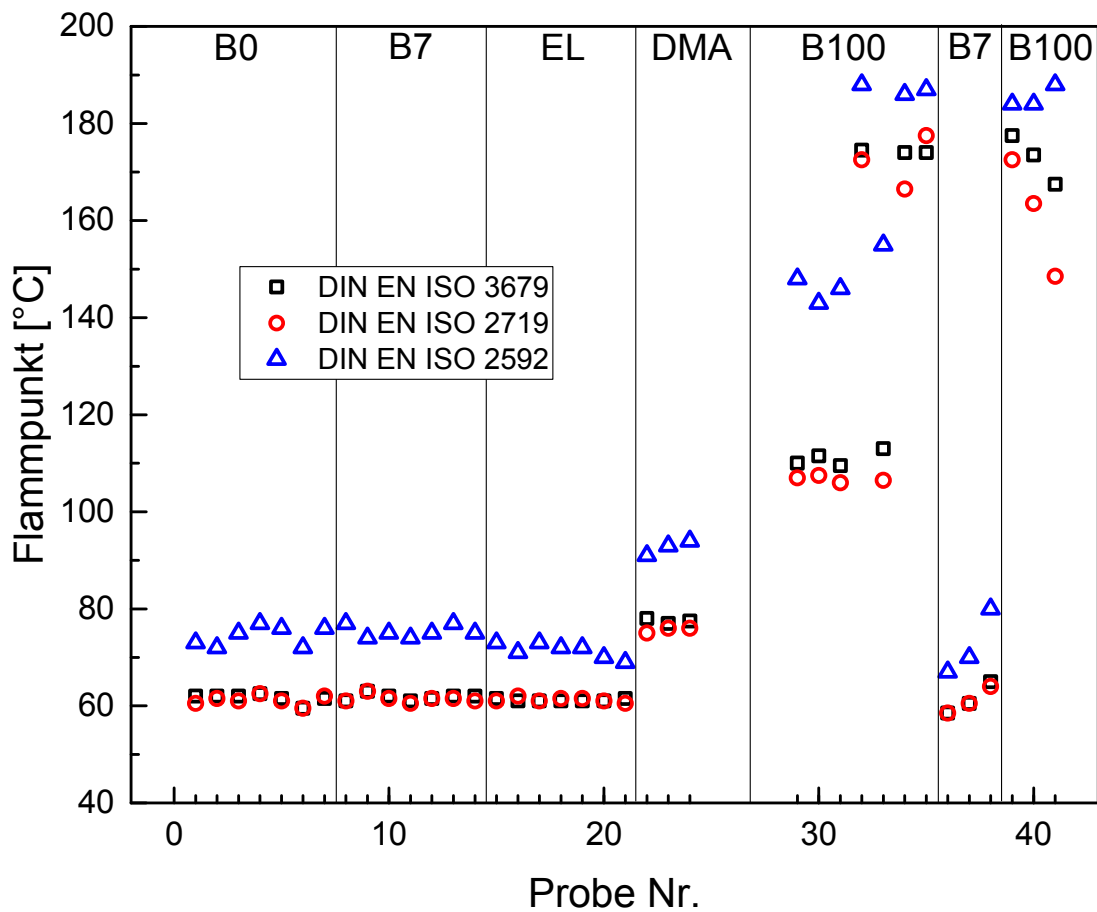


Abbildung 2: Ergebnisse der Flammpunktmessungen mit drei verschiedenen Methoden.

5.2 Brennpunkt

In Tabelle 4 im Anhang sind die Zahlenwerte der Brennpunktmessungen nach DIN EN ISO 2592 [7] im Vergleich mit der Flammpunktbestimmung in der gleichen Apparatur aufgeführt. Abbildung 3 zeigt den Brennpunkt auch im Vergleich mit den anderen Flammpunktmethoden.

- Der Flammpunkt nach DIN EN ISO 2592, der im offenen Tiegel unmittelbar vor dem Brennpunkt gemessen wird, hat den kleinsten Abstand zum Brennpunkt. In den meisten Fällen liegt er zwischen 4 K und 20 K.
- Die im geschlossenen Tiegel ermittelten Flammpunkte nach DIN EN ISO 2719 und DIN EN ISO 3679 haben einen ein Mindestabstand von 16,5 K zum Brennpunkt.
- Der Maximalabstand beträgt 25,5 K für Mineralölschnitte mit einem Flammpunkt nach DIN EN ISO 2719 von 58,8 °C bis 64 °C.

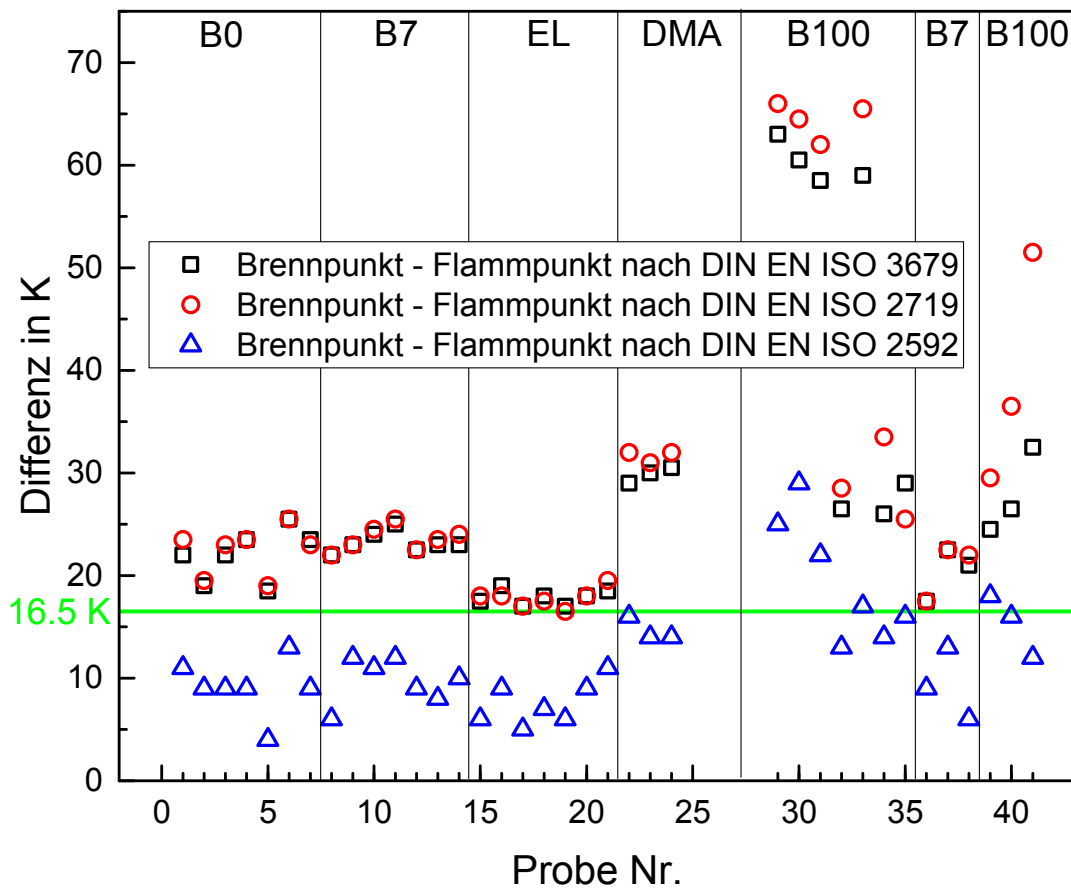


Abbildung 3: Ergebnisse der Brennpunktmessung nach DIN EN ISO 2592 als Darstellung der Differenz zu den drei verschiedenen Flammpunktmethoden.

5.3 Unterer Explosionspunkt

In Tabelle 5 im Anhang sind die Zahlenwerte der Messung des unteren Explosionspunktes wiedergegeben. Explosionspunkte über 105 °C konnten aufgrund technischer Limitierung der Anlage nicht gemessen werden. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis im Vergleich mit den Flammpunkten und dem Brennpunkt durch Differenzbildung.

- Die Differenz zwischen Unterem Explosionspunkt und Flammpunkt nach DIN EN ISO 3679 und DIN EN ISO 2719 beträgt bei den meisten Proben höchstens 8 K. Die B100-Biodieselprouben Nr. 30, 31 und 33 stellen mit ihren vergleichsweise niedrigen Flammpunkten einen Sonderfall dar, aber auch hier beträgt die maximale Abweichung 13 K.
- Die Differenz zwischen Unterem Explosionspunkt und Flammpunkt nach DIN EN ISO 2592 ist deutlich größer, da hier ein Gleichgewichtsverfahren im geschlossenen Gefäß mit einem Nichtgleichgewichtsverfahren im offenen

Tiegel verglichen wird. Auch hier zeigen die B100-Biodieselproben Nr. 30, 31 und 33 auffälliges Verhalten.

- Die Differenz zwischen Brennpunkt und Unterem Explosionspunkt beträgt für alle Proben, die gemessen werden konnten, mindestens 19 K. Mit Ausnahme der auffälligen Biodieselproben liegt sie höchstens bei 38 K.
- Aufgrund technischer Limitierung der Anlage kann keine Aussage über den UEP von Biodieselproben mit einem Flammpunkt über 113 °C getroffen werden.

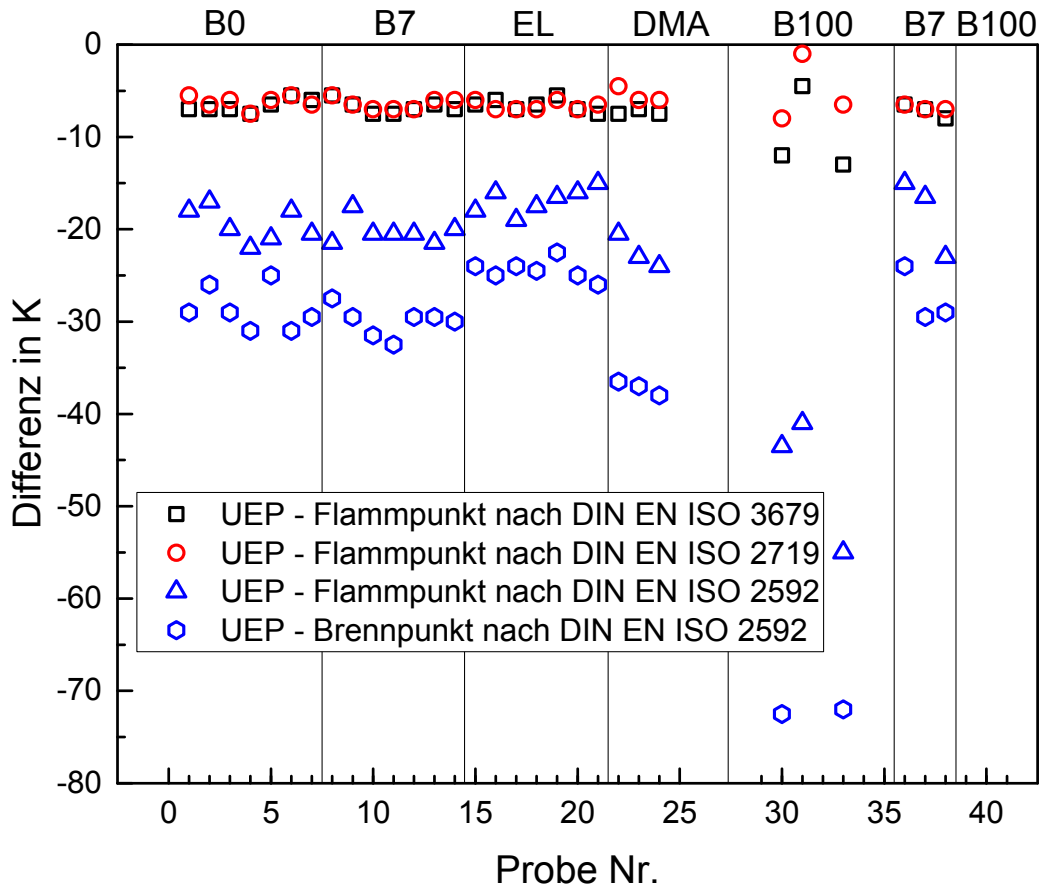


Abbildung 4: Abstände der Flammpunkte und des Brennpunktes vom Unterem Explosionspunkt nach DIN EN ISO 15794.

6 Schlussfolgerungen

Die der PTB übermittelten Proben von Dieselkraftstoff B0, Dieselkraftstoff B7 und Heizöl EL verhalten sich ähnlich hinsichtlich ihrer Kenngrößen Flammpunkt, Unterer Explosionspunkt und Brennpunkt (Abbildung 5). Die Ergebnisse, die für den Flammpunkt nach den Bestimmungsmethoden DIN EN ISO 3679 und DIN EN ISO 2719 erzielt wurden, waren für diese Proben vergleichbar. Nur eine B7-Probe hatte einen Flammpunkt nach DIN EN ISO 2719 von 58,5 °C, die anderen lagen im Bereich zwischen 60 °C und 63 °C. Alle bestimmten Flammpunkte dieser Gruppe haben einen Mindestabstand von 16,5 K zum ebenfalls ermittelten Brennpunkt. Des Weiteren haben alle nach DIN EN ISO 2719 ermittelten Flammpunkte dieser Gruppe einen Maximalabstand zum Unteren Explosionspunkt von 8 K. Demnach kann ausgeschlossen werden, dass es für diese Gruppe im bestimmungsgemäßen Betrieb bei einer Produkttemperatur (Flüssigphase) von 40 °C über der Flüssigkeit zur Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre kommen kann. Bis zu einer Produkttemperatur von 75 °C wird der Brennpunkt nicht erreicht, so dass auch eine Weiterbrennbarkeit der Flüssigkeit bei 40 °C Produkttemperatur (Flüssigphase) auszuschließen ist.

Der zur Verfügung gestellte Bunkerkraftstoff hat nach DIN EN ISO 2719 einen Flammpunkt um die 75 °C und ebenfalls einen Mindestabstand von über 25 K zum darüberliegenden Brennpunkt. Der Untere Explosionspunkt liegt ca. 7 K unterhalb des Flammpunktes. Bunkerkraftstoff ist damit hinsichtlich der Bildung explosionsgefährlicher Dampf/Luft-Gemische oder der Weiterbrennbarkeit der Flüssigkeit bei 40 °C Produkttemperatur (Flüssigphase) als weniger gefährlich einzuschätzen als die zuerst genannte Gruppe.

Die Biodieselp Proben B100 liegen mit den Temperaturen Ihrer Kenngrößen deutlich oberhalb der anderen Proben. Die Flammpunkte der nachgelieferten Proben Nr. 39-41 liegen im Bereich oberhalb von 148 °C. Allerdings traten bei der ersten Probelieferung auch Flammpunkte um die 110 °C bei den Proben Nr. 29 - 31 und 33 auf. Die Analyse zeigte für Probe 29 verminderte Oxidationsstabilität.

Die Methode DIN EN ISO 3679 scheint im Gegensatz zu den erstgenannten Produktgruppen bei der Bestimmung des Flammpunktes von Biodiesel tendenziell niedrigere Werte zu ergeben als DIN EN ISO 2719. Der Brennpunkt der Biodieselp Proben liegt jedoch auch nach DIN EN ISO 3679 mindestens 24 °C oberhalb des Flammpunktes. Über den Unteren Explosionspunkt kann keine Aussage getroffen werden, da die Maximaltemperatur der Anlage technisch limitiert ist.

Zusammenfassend kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass im Rahmen der separaten Lagerung der zuvor untersuchten Produktgruppen in Tanklagern und Raffinerien im Gebiet NW Europa bezüglich Explosionsgefahr und Brandgefahr im bestimmungsgemäßen Betrieb keine Risiken zu befürchten sind, sofern die Produkttemperatur in der Flüssigphase die Temperatur von 40 °C nicht überschreitet. In der vom Arbeitgeber nach der Gefahrstoffverordnung durchzuführenden Gefährdungsbeurteilung gemäß TRGS 509 und TRGS 800 kann dieses Ergebnis als Erkenntnisquelle herangezogen werden, wobei der Arbeitgeber die örtlichen Bedingungen der Lageranlage berücksichtigen muss.

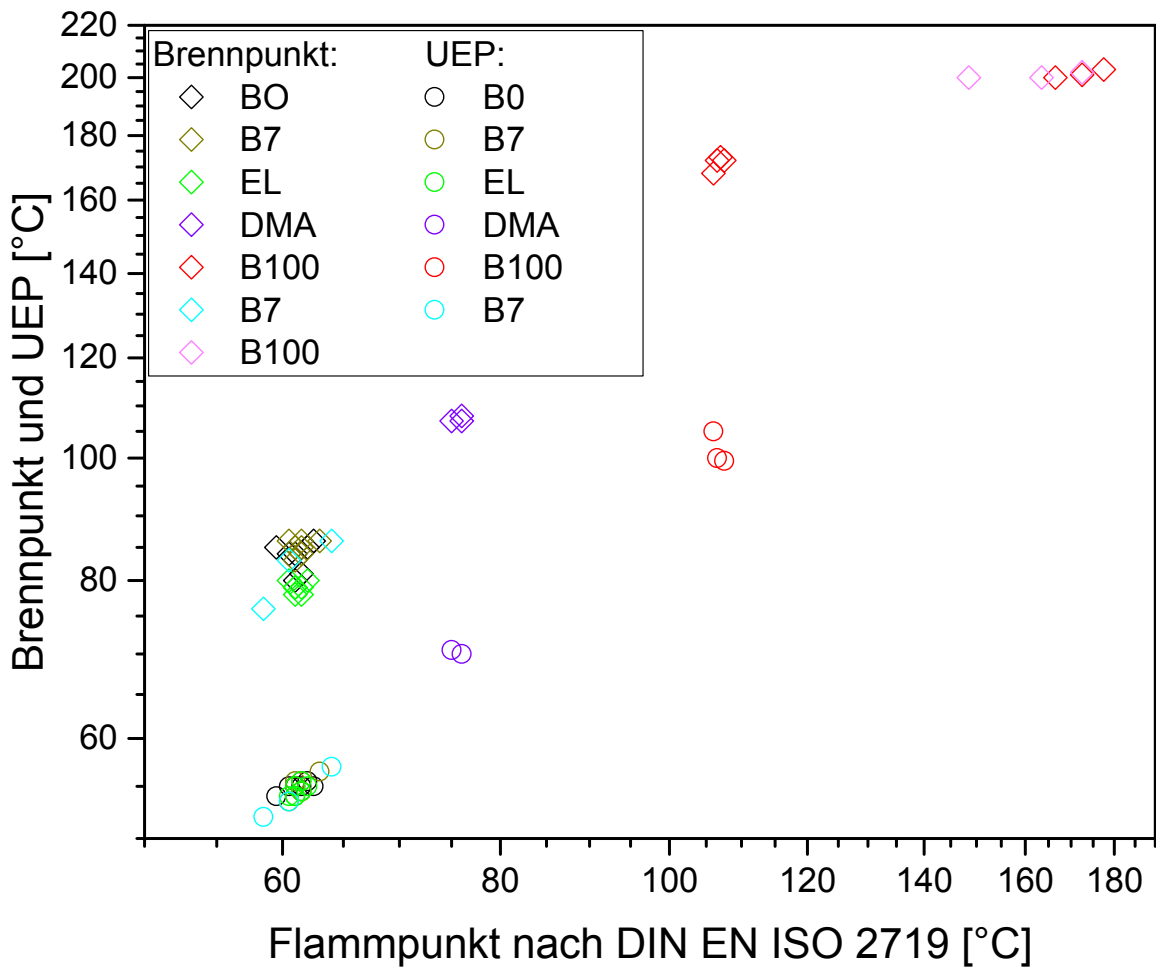


Abbildung 5: Vergleich des Brennpunktes und des unteren Explosionspunktes mit dem Flammpunkt gemessen nach DIN EN ISO 2719.

7 Anhang

Tabelle 3: Ergebnisse der Flammpunktmessung nach DIN EN ISO 3679 und DIN EN ISO 2719. X: Mittelwert der Einzelmessungen, $u_{\text{gem}}(X)$: gemessene Streubreite der Präzision, $u_{\text{Norm}}(X)$: Standardabweichung nach Norm (*: Analytik im November 2017, #: Analytik im Januar 2018).

Probe Nr.	DIN EN ISO 3679 Ja/Nein-Verfahren im Gleichgewicht			DIN EN ISO 2719 Pensky-Martens		
	X in °C	$u_{\text{gem}}(X)$ in °C	$u_{\text{Norm}}(X)$ in °C	X in °C	$u_{\text{gem}}(X)$ in °C	$u_{\text{Norm}}(X)$ in °C
Dieselkraftstoff B0 Winterware						
1	62,0	0,6	0,9	60,5	0,6	0,6
2*	62,0	0,5	0,9	61,5	0,0	0,6
3	62,0	0,0	0,9	61,0	0,0	0,6
4#	62,5	0,0	0,9	62,5	0,6	0,6
5	61,5	0,0	0,9	61,0	0,6	0,6
6#	59,5	0,6	0,9	59,5	0,6	0,6
7	61,5	0,6	0,9	62,0	0,0	0,6
Dieselkraftstoff B7 Winterware						
8	61,0	0,0	0,9	61,0	0,6	0,6
9	63,0	0,0	0,9	63,0	0,0	0,7
10	62,0	0,0	0,9	61,5	0,0	0,6
11	61,0	0,0	0,9	60,5	0,0	0,6
12*	61,5	0,6	0,9	61,5	0,0	0,6
13	62,0	0,0	0,9	61,5	0,0	0,6
14	62,0	0,0	0,9	61,0	0,6	0,6
Heizöl EL						
15	61,5	0,6	0,9	61,0	0,5	0,6
16	61,0	0,5	0,9	62,0	0,0	0,6
17#	61,0	0,0	0,9	61,0	0,0	0,6
18	61,0	0,0	0,9	61,5	0,0	0,6
19	61,0	0,0	0,9	61,5	0,3	0,6
20*	61,0	0,3	0,9	61,0	0,3	0,6
21#	61,5	0,0	0,9	60,5	0,6	0,6
Bunkerkraftstoff DMA						
22*	78,0	0,0	1,0	75,0	0,3	0,8
23#	77,0	0,0	1,0	76,0	1,1	0,8
24#	77,5	0,6	1,0	76,0	0,6	0,8
Biodiesel B100						
29*	110,0	0,9	0,7	107,0	1,2	3,0
30	111,5	0,5	0,7	107,5	0,6	3,0
31	109,5	0,6	0,7	106,0	0,6	3,0
32	174,5	0,0	0,7	172,5	0,0	3,0
33	113,0	0,0	0,7	106,5	0,5	3,0
34	174,0	0,0	0,7	166,5	0,0	3,0
35	174,0	0,0	0,7	177,5	1,2	3,0
Dieselkraftstoff B7 Winterware						
36	58,5	0,0	0,9	58,5	0,6	0,6
37	60,5	0,0	0,9	60,5	0,6	0,6
38	65,0	0,0	0,9	64,0	0,0	0,7
Biodiesel B100						
39	177,5	1,2	0,7	172,5	0,5	3,0
40	173,5	1,2	0,7	163,5	1,7	3,0
41	167,5	1,2	0,7	148,5	1,7	3,0

Tabelle 4: Ergebnisse der Flammpunktmessung und Brennpunktbestimmung nach DIN EN ISO 2592. X , BrP : Mittelwert der Einzelmessungen, $u_{gem}(X, BrP)$: gemessene Streubreite der Präzision, $u_{Norm}(X, BrP)$: Standardabweichung nach Norm (*: Analytik im November 2017, #: Analytik im Januar 2018).

Probe Nr.	DIN EN ISO 2592 Cleveland					
	X in °C	$u_{gem}(X)$ in °C	$u_{Norm}(X)$ in °C	BrP in °C	$u_{gem}(BrP)$ in °C	$u_{Norm}(BrP)$ in °C
Dieselkraftstoff B0 Winterware						
1	73	1,4	2,8	84	0,0	2,8
2*	72	0,0	2,8	81	1,4	2,8
3	75	1,2	2,8	84	2,3	2,8
4#	77	3,5	2,8	86	0,0	2,8
5	76	2,8	2,8	80	0,0	2,8
6#	72	2,0	2,8	85	4,1	2,8
7	76	4,0	2,8	85	1,2	2,8
Dieselkraftstoff B7 Winterware						
8	77	1,4	2,8	83	1,4	2,8
9	74	0,0	2,8	86	0,0	2,8
10	75	1,4	2,8	86	0,0	2,8
11	74	2,8	2,8	86	1,4	2,8
12*	75	1,4	2,8	84	0,0	2,8
13	77	1,4	2,8	85	1,4	2,8
14	75	1,4	2,8	85	1,4	2,8
Heizöl EL						
15	73	4,2	2,8	79	1,2	2,8
16	71	1,4	2,8	80	2,8	2,8
17#	73	1,4	2,8	78	0,0	2,8
18	72	0,0	2,8	79	1,4	2,8
19	72	0,0	2,8	78	0,0	2,8
20*	70	1,9	2,8	79	1,9	2,8
21#	69	2,3	2,8	80	2,0	2,8
Bunkerkraftstoff DMA						
22*	91	1,4	2,8	107	1,4	2,8
23#	93	1,4	2,8	107	1,4	2,8
24#	94	5,7	2,8	108	2,0	2,8
Biodiesel B100						
29*	148	12	2,8	173	3,1	2,8
30	143	4,6	2,8	172	3,5	2,8
31	146	6,9	2,8	168	2,0	2,8
32	188	3,3	2,8	201	1,0	2,8
33	155	2,3	2,8	172	2,3	2,8
34	186	4,2	2,8	200	2,3	2,8
35	187	0,0	2,8	203	3,5	2,8
Dieselkraftstoff B7 Winterware						
36	67	1,2	2,8	76	2,0	2,8
37	70	0,0	2,8	83	1,2	2,8
38	80	1,2	2,8	86	2,0	2,8
Biodiesel B100						
39	184	1,2	2,8	202	3,0	2,8
40	184	0,2	2,8	200	2,3	2,8
41	188	0,0	2,8	200	0,2	2,8

Tabelle 5: Ergebnisse der Bestimmung des Unteren Explosionspunktes. (*: Analytik im November 2017, #: Analytik im Januar 2018)

Probe Nr.	UEP in °C	UEP -FLP (DIN EN ISO 3679) in °C	UEP -FLP (DIN EN ISO 2719) in °C
Dieselkraftstoff B0 Winterware			
1	55,0	-7,0	-5.5
2*	55,0	-7,0	-6.5
3	55,0	-7,0	-6
4#	55,0	-7,5	-7.5
5	55,0	-6,5	-6
6#	54,0	-5,5	-5.5
7	55,5	-6,0	-6.5
Dieselkraftstoff B7 Winterware			
8	55,5	-5,5	-5.5
9	56,5	-6,5	-6.5
10	54,5	-7,5	-7
11	53,5	-7,5	-7
12*	54,5	-7,0	-7
13	55,5	-6,5	-6
14	55,0	-7,0	-6
Heizöl EL			
15	55,0	-6,5	-6
16	55,0	-6,0	-7
17#	54,0	-7,0	-7
18	54,5	-6,5	-7
19	55,5	-5,5	-6
20*	54,0	-7,0	-7
21#	54,0	-7,5	-6.5
Bunkerkraftstoff DMA			
22*	70,5	-7,5	-4.5
23#	70,0	-7,0	-6
24#	70,0	-7,5	-6
Biodiesel B100			
29*	x	-	-
30	99,5	-12	-8
31	105,0	-4,5	-1
32	x	-	-
33	100	-13	-6.5
34	x	-	-
35	x	-	-
Dieselkraftstoff B7 Winterware			
36	52,0	-6,5	-6.5
37	53,5	-7	-7
38	57,0	-8	-7
Biodiesel B100			
39	-	-	-
40	-	-	-
41	-	-	-

Tabelle 6: Analytik Dieselkraftstoff B0 Winterware [11]

Parameter	Methode	Einheit	2	4	6
Dichte (15 °C)	DIN EN ISO 12185	kg/m ³	834,4	832,8	832,2
FAME-Gehalt	DIN EN 14078	% (V/V)	<0,1	<0,1	<0,1
Oxidationsstabilität	DIN EN 15751	h	19,3	23,5	26,1
Kin. Viskosität (40 °C)	DIN EN ISO 3104	mm ² /s	2,734	2,571	2,608
CFPP	DIN EN 116	°C	-29	-30	-30
Oxidationsstabilität	DIN EN 16091	min	78,28		
Volumen bei 250 °C	DIN EN ISO 3924	% (V/V)	35,8	40,4	36,3
Volumen bei 350 °C	DIN EN ISO 3924	% (V/V)	94,5	95,6	95,9
95 %-Punkt	DIN EN ISO 3924	°C	351,7	348,0	346,9
Destillationsbeginn	DIN EN ISO 3924	°C	173,4	174,3	168,9
Siedeendpunkt	DIN EN ISO 3924	°C	365,1	360,2	361,3

Tabelle 7: Analytik Dieselkraftstoff B7 Winterware [11]

Parameter	Methode	Einheit	12	36	37	38
Dichte (15 °C)	DIN EN ISO 12185	kg/m ³	832,7	831,1	832,9	839,6
FAME-Gehalt	DIN EN 14078	% (V/V)	2,9	6,65	5,1	6,98
Oxidationsstabilität	DIN EN 15751	h	17,2	76,7		64
Kin. Viskosität (40 °C)	DIN EN ISO 3104	mm ² /s	2,596	2,244		2,7
CFPP	DIN EN 116	°C	-30	-30	-30	-29
Volumen bei 250 °C	DIN EN ISO 3924	% (V/V)	38,8			
Volumen bei 350 °C	DIN EN ISO 3924	% (V/V)	96,0			
95 %-Punkt	DIN EN ISO 3924	°C	347,2			
Destillationsbeginn	DIN EN ISO 3924	°C	174,6			
Siedeendpunkt	DIN EN ISO 3924	°C	359,0			
Gesamtverschmutzung	DIN EN 12662	mg/kg		13,5	9,8	3
Cetanindex	DIN EN ISO 4264			49,8		
Siedebeginn	DIN EN ISO 3405	°C		166,6		
5% Punkt	DIN EN ISO 3405	°C		184		
10% Punkt	DIN EN ISO 3405	°C		190,8	197	
20% Punkt	DIN EN ISO 3405	°C		204,4	214	
30% Punkt	DIN EN ISO 3405	°C		218,6		
40% Punkt	DIN EN ISO 3405	°C		234,7		
50% Punkt	DIN EN ISO 3405	°C		252,5	263	
60 % Punkt	DIN EN ISO 3405	°C		271,6		
70 % Punkt	DIN EN ISO 3405	°C		292,6		
80 % Punkt	DIN EN ISO 3405	°C		314,5		
90 % Punkt	DIN EN ISO 3405	°C		335,4	330	
95 % Punkt	DIN EN ISO 3405	°C		348,9	349	345
Siedeende	DIN EN ISO 3405	°C		359,3	359	
Ausbeute bei 250 °C	DIN EN ISO 3405	% (V/V)		48,9	42	37,6
Ausbeute bei 340 °C	DIN EN ISO 3405	% (V/V)		92,3		
Ausbeute bei 350 °C	DIN EN ISO 3405	% (V/V)		95,6	96	97
Ausbeute bei 360 °C	DIN EN ISO 3405	% (V/V)		95,6		
Schwefelgehalt	DIN EN ISO 20884	mg/kg		7,8	7	7,2
Wassergehalt	DIN EN ISO 12937	mg/kg			51	52

Tabelle 8: Analytik Heizöl EL [11]

Parameter	Methode	Einheit	17	20	21
Dichte (15 °C)	DIN EN ISO 12185	kg/m ³	828,9	828,8	828,9
Kin. Viskosität (40 °C)	DIN EN ISO 3104	mm ² /s	2,695	2,698	2,695
Volumen bei 250 °C	DIN EN ISO 3924	% (V/V)	39,4	39,2	39,3
Volumen bei 350 °C	DIN EN ISO 3924	% (V/V)	91,4	91,2	91,4
95 %-Punkt	DIN EN ISO 3924	°C	359,4	359,8	359,4
Destillationsbeginn	DIN EN ISO 3924	°C	173,5	174,3	173,7
Siedeendpunkt	DIN EN ISO 3924	°C	369,5	369,8	369,5
Schwefelgehalt	DIN EN ISO 20884	mg/kg	31,7	31,9	30,7

Tabelle 9: Analytik Bunkerkraftstoff DMA [11]

Parameter	Methode	Einheit	22	23	24
Dichte (15 °C)	DIN EN ISO 12185	kg/m ³	878,4	878,5	878,4
Kin. Viskosität (40 °C)	DIN EN ISO 3104	mm ² /s	4,079	4,091	4,09
Volumen bei 250 °C	DIN EN ISO 3924	% (V/V)	21,2	21,5	21,5
Volumen bei 350 °C	DIN EN ISO 3924	% (V/V)	80,6	80,9	80,9
95 %-Punkt	DIN EN ISO 3924	°C	402,2	401,7	401,8
Destillationsbeginn	DIN EN ISO 3924	°C	196,4	195,9	195,9
Siedeendpunkt	DIN EN ISO 3924	°C	418,5	418,1	418,3
Schwefelgehalt	DIN EN ISO 20884	% (m/m)	0,093	0,078	0,076
Sedimentgehalt	ISO 10307-1	% (m/m)	<0,01	0	<0,01
Oxidationsstabilität	DIN EN ISO 12205	g/m ³	5	7	11
filtrierbarer Alterungsrückstand	DIN EN ISO 12205	g/m ³	5	6	7
unfiltrierbarer Alterungsrückstand	DIN EN ISO 12205	g/m ³	<1	1	4
Koksrückstand (10% D.)	DIN EN ISO 10370	% (m/m)	<0,10	<0,01	0,02
Aschegehalt (775 °C)	DIN EN ISO 6245	% (m/m)	<0,001	<0,001	<0,001

Tabelle 10: Analytik Biodiesel B100 [11]

Parameter	Methode	Einheit	29	39	40	41
Dichte (15 °C)	DIN EN ISO 12185	kg/m ³	877,7	883,7	882,2	883
FAME-Gehalt	DIN EN 14078	% (V/V)		>99,5		
Kin. Viskosität (40 °C)	DIN EN ISO 3104	mm ² /s	4,242	4,311		5,4
Kin. Viskosität (40 °C)	ASTM D 7042	mm ² /s			4,498	
CFPP	DIN EN 116	°C			-10	-13
Gesamtverschmutzung	DIN EN 12662	mg/kg		<6	3	9
Schwefelgehalt	DIN EN ISO 20846	mg/kg		<3,0	3	3,7
Wassergehalt	DIN EN ISO 12937	mg/kg	412	140	226	188
Oxidationsstabilität	DIN EN 14112	h	2,8	11	10,3	10,7
Säurezahl	DIN EN 14104	mg KOH/g	0,450	0,34	0,34	
Jodzahl	DIN EN 14111	g Iod/100 g		118	101	111
FAME-Gehalt	DIN EN 14103	% (m/m)			97,3	
Linolensäure-Methylester	DIN EN 14104	% (m/m)		8,4	8	
Estergehalt	DIN EN 14103	% (m/m)	<90 (87,3)			
Methanolgehalt	DIN EN 14110	% (m/m)	0,02	0,02	0,06	0,06
Gehalt an freiem Glycerin	DIN EN 14105	% (m/m)	-	<0,01	<0,01	0,01
Monoglycerid-Gehalt	DIN EN 14105	% (m/m)	0,36	0,45	0,31	0,64
Diglycerid-Gehalt	DIN EN 14105	% (m/m)	0,12	0,08	0,11	0,16
Triglycerid-Gehalt	DIN EN 14105	% (m/m)	0,05	0,04	0,07	0,05
Gesamtglycerin-Gehalt	DIN EN 14105	% (m/m)	-	0,134	0,1	0,2

8 Referenzen

[1] **TRGS 509** „Lagern von flüssigen und festen Gefahrstoffen in ortsfesten Behältern sowie Füll- und Entleerstellen für ortsbewegliche Behälter“. GMBI 2014 S. 1346-1400 [Nr. 66-67], vom 19.11.2014, zuletzt berichtigt, geändert und ergänzt: GMBI 2017, S. 229 v. 06.04.2017 [Nr. 12].

[2] **Verordnung (EG) Nr. 1272/2008** des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006. Amtsblatt der Gemeinschaft L 353/1. berichtigt. 2011 ABI. L 16 S. 1), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 5. Mai 2017 (ABI. L 116, S. 1).

[3] **DIN EN 590:2017-10** „Kraftstoffe - Dieseldieselmotor - Anforderungen und Prüfverfahren“, Deutsche Fassung EN 590:2013+A1:2017.

[4] **DIN 51603-1:2017-03** Flüssige Brennstoffe - Heizöle - Teil 1: Heizöl EL, Mindestanforderungen, Beuth-Verlag Berlin.

[5] **TRGS 800** „Brandschutzmaßnahmen“. GMBI 2011 S. 33-42 [Nr. 2], vom 31.01.2011.

[6] **DIN EN 15794:2010-02** Bestimmung von Explosionspunkten brennbarer Flüssigkeiten; Deutsche Fassung EN 15794:2009.

[7] **DIN EN ISO 2592:2018-01** Mineralölerzeugnisse und verwandte Produkte - Bestimmung des Flamm- und Brennpunktes - Verfahren mit offenem Tiegel nach Cleveland (ISO 2592:2017); Deutsche Fassung EN ISO 2592:2017, Ausgabe 2002-09.

[8] **TRGS 721** Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Beurteilung der Explosionsgefährdung. Bekanntmachung vom 15.03.2006 (BAnz. Nr. 103a vom 02.06.2006)

[9] **DIN EN 14214:2014-06** Flüssige Mineralölerzeugnisse - Fettsäure-Methylester (FAME) zur Verwendung in Dieselmotoren und als Heizöl - Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 14214:2012+A1:2014

[10] **DIN EN ISO 3679:2015-06**: Bestimmung des Flammpunktes mit dem Ja/Nein-Verfahren - Nach dem schnellen Gleichgewichtsverfahren mit geschlossenem Tiegel (ISO 3679:2015); Deutsche Fassung EN ISO 3679:2015.

[11] **DIN EN ISO 2719:2016-11** Bestimmung des Flammpunktes - Verfahren nach Pensky-Martens mit geschlossenem Tiegel (ISO 2719:2016); Deutsche Fassung EN ISO 2719:2016.

[11] Literaturnachweise für die Tabellen 6 bis 10, Beuth Verlag, Berlin

ASTM D 7042 Standard Test Method for Dynamic Viscosity and Density of Liquids by Stabinger Viscometer (and the Calculation of Kinematic Viscosity).

DIN EN 116 Dieselkraftstoffe und Haushaltsheizöle - Bestimmung des Temperaturgrenzwertes der Filtrierbarkeit - Verfahren mit einem stufenweise arbeitenden Kühlbad.

DIN EN 12662 Flüssige Mineralölerzeugnisse - Bestimmung der Gesamtverschmutzung in Mitteldestillaten, Dieselkraftstoff und Fettsäure-Methylestern.

DIN EN 14078 Flüssige Mineralölerzeugnisse - Bestimmung des Gehaltes an Fettsäuremethylester (FAME) in Mitteldestillaten - Infrarotspektrometrisches Verfahren.

DIN EN 14103 Erzeugnisse aus pflanzlichen und tierischen Fetten und Ölen - Fettsäure-Methylester (FAME) - Bestimmung des Ester-Gehaltes und des Gehaltes an Linolensäure-Methylester.

DIN EN 14104 Erzeugnisse aus pflanzlichen und tierischen Fetten und Ölen - Fettsäure-Methylester (FAME) - Bestimmung der Säurezahl.

DIN EN 14105 Erzeugnisse aus pflanzlichen und tierischen Fetten und Ölen - Fettsäure-Methylester (FAME) - Bestimmung des Gehaltes an freiem und Gesamtglycerin und Mono-, Di- und Triglyceriden.

DIN EN 14110 Erzeugnisse aus pflanzlichen und tierischen Fetten und Ölen - Fettsäure-Methylester (FAME) - Bestimmung des Methanolgehaltes.

DIN EN 14111 Erzeugnisse aus pflanzlichen und tierischen Fetten und Ölen - Fettsäure-Methylester (FAME) - Bestimmung der Iodzahl.

DIN EN 14112 Erzeugnisse aus pflanzlichen und tierischen Fetten und Ölen - Fettsäure-Methylester (FAME) - Bestimmung der Oxidationsstabilität (beschleunigte Oxidationsprüfung).

DIN EN 15751 Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Kraftstoff Fettsäuremethylester (FAME) und Mischungen mit Dieselkraftstoff - Bestimmung der Oxidationsstabilität (beschleunigtes Oxidationsverfahren).

DIN EN 16091 Flüssige Mineralölerzeugnisse - Mitteldestillat- und Fettsäuremethylesterkraftstoffe und Mischungen - Bestimmung der Oxidationsstabilität mit beschleunigtem Verfahren und kleiner Probenmenge.

DIN EN ISO 10370:2014 Mineralölerzeugnisse - Bestimmung des Koksrückstandes - Mikroverfahren.

DIN EN ISO 12185:1996 Rohöl und Mineralölerzeugnisse - Bestimmung der Dichte - U-Rohr-Oszillationsverfahren.

DIN EN ISO 12205:1995 Mineralölerzeugnisse - Bestimmung der Oxidationsbeständigkeit von Mitteldestillaten.

DIN EN ISO 12937:2000 Mineralölerzeugnisse - Bestimmung des Wassergehaltes - Coulometrische Titration nach Karl Fischer.

DIN EN ISO 20846:2011 Mineralölerzeugnisse - Bestimmung des Schwefelgehaltes von Kraftstoffen für Kraftfahrzeuge - Ultraviolettfluoreszenz-Verfahren.

DIN EN ISO 20884:2011 Mineralölerzeugnisse - Bestimmung des Schwefelgehaltes in Kraftstoffen für Kraftfahrzeuge - Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie.

DIN EN ISO 3104 Mineralölerzeugnisse - Durchsichtige und undurchsichtige Flüssigkeiten - Bestimmung der kinematischen Viskosität und Berechnung der dynamischen Viskosität.

DIN EN ISO 3924:2016 Mineralölerzeugnisse - Bestimmung des Siedeverlaufs - Gaschromatographisches Verfahren.

DIN EN ISO 4264:2007 Mineralölerzeugnisse - Berechnung des Cetanindex von Mitteldestillat-Kraftstoffen aus der 4-Parameter-Gleichung.

DIN EN ISO 6245:2001 Mineralölerzeugnisse - Bestimmung der Asche.

ISO 10307-1 Mineralölerzeugnisse - Gesamtsediment in Rückstandsölen - Teil 1: Bestimmung durch Heißfiltrationsmethode.