



Die Zündwilligkeit als Charakteristik für die Verwendung
von Pflanzenöl als Kraftstoff in Verbrennungsmotoren

Matthias J. Plank

Die Zündwilligkeit als Charakteristik für die Verwendung von Pflanzenöl als Kraftstoff in Verbrennungsmotoren

Matthias J. Plank



Herausgegeben von:
Prof. Dr.-Ing. Georg Wachtmeister
LVK - Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen
Technische Universität München

Zugleich:
Dissertation, München, Technische Universität München, 2019

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben - auch bei nur auszugsweiser Verwendung - vorbehalten.

Layout und Satz: Matthias J. Plank
Copyright © Matthias J. Plank 2019
ISBN: 978-3-943813-27-2

Technische Universität München

Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen

**Die Zündwilligkeit als Charakteristik für die
Verwendung von Pflanzenöl als Kraftstoff
in Verbrennungsmotoren**

Dipl.-Ing. (Univ.) Matthias Josef Plank

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen
Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp

Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr.-Ing. Georg Wachtmeister

2. Prof. Dr.-Ing. Matthias Gaderer

Die Dissertation wurde am 03.07.2018 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 30.10.2018 angenommen.

Kurzfassung

Pflanzenöle bieten eine Alternative für den Einsatz als Kraftstoff in Selbstzündungsmotoren. Für den ordnungsgemäßen Motorbetrieb werden Anforderungen an die Qualität und Eigenschaften von Pflanzenölkraftstoff gestellt. Während eine Vielzahl der Anforderungen bereits in nationalen Standards spezifiziert wurde, ist die Bewertung der Zündwilligkeit von Pflanzenölkraftstoff offen. Im Rahmen dieser Arbeit wird deshalb das Zündverhalten von Pflanzenölkraftstoffen in einem Messgerät mit konstantem Brennkammervolumen analysiert. Aufbauend darauf wird eine Methode definiert, die Zündwilligkeit von Pflanzenölen im direkten Vergleich zu den primären Referenzkraftstoffen der Cetanzahl-Skala zu bewerten. Dabei werden die Zusammenhänge zwischen dem Fettsäuremuster eines Pflanzenöls, den Randbedingungen unter welchen der Selbstzündungsvorgang stattfindet und der Zündwilligkeit aufgezeigt. Anhand der ermittelten Zündwilligkeit ist es letztlich möglich, Pflanzenöle für die Verwendung als Kraftstoff zu charakterisieren.

Abstract

Vegetable oils offer an alternative to fossil fuels used in compression ignition engines. To ensure proper engine operation, requirements are made on the quality and properties of vegetable oil fuel. While many of the requirements have already been specified in national standards, the evaluation of the ignition quality of vegetable oil fuel is open. Therefore, the ignition behavior of vegetable oils is analyzed in a constant volume combustion chamber. Further, a method is defined to evaluate the ignition quality of vegetable oils in direct comparison to the primary reference fuels of the cetane number scale. The relationships between the fatty acid composition of a vegetable oil, the boundary conditions under which the self-ignition process takes place and the ignition quality are also shown. Finally, the ignition quality determined make it possible to characterize vegetable oils for use as fuel.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis.....	XII
Abkürzungsverzeichnis	XIV
1 Einleitung und Problemstellung	1
2 Stand des Wissens.....	3
2.1 Dieselmotorische Verbrennung	3
2.1.1 Kraftstoffe zur Anwendung in Selbstzündungsmotoren	3
2.1.2 Brennverfahren und Gemischbildung	4
2.1.3 Zündverzug und Verbrennung.....	6
2.2 Reaktionsmechanismen der Oxidation von Kohlenwasserstoffen	8
2.2.1 Reaktionsmechanismen von Carbonsäureestern	10
2.2.2 Negativer-Temperatur-Koeffizient	11
2.3 Methoden zur Bestimmung der Zündwilligkeit	12
2.3.1 Cetanzahl-Skala	13
2.3.2 Bestimmung der Cetanzahl im Prüfmotor	14
2.3.3 Bestimmung der Cetanzahl in Messgeräten mit konstantem Brennkammervolumen	18
2.4 Pflanzenöle	21
2.4.1 Chemischer Aufbau und Charakterisierung von Pflanzenölen.....	21
2.4.2 Physikalische Eigenschaften von Pflanzenölen.....	24
2.5 Pflanzenöl als Kraftstoff für Selbstzündungsmotoren	26
2.5.1 Pflanzenöлтаugliche Motoren	27
2.5.2 Anforderungen an Pflanzenölkraftstoff	27
2.6 Zündverhalten und Zündwilligkeit von Pflanzenöl	29
2.6.1 Einfluss der physikalischen Stoffeigenschaften von Pflanzenöl auf die Gemischbildung.....	29
2.6.2 Einfluss der Fettsäurezusammensetzung auf das Zündverhalten von Pflanzenöl	31
2.6.3 Bestimmung der Cetanzahl von Pflanzenöl im Prüfmotor.....	32
2.6.4 Alternative Ansätze zur Bestimmung der Cetanzahl von Pflanzenöl	34
2.7 Bewertung der Erkenntnisse zum Zündverhalten von Pflanzenöl	36
3 Zielstellung	37
4 Methodisches Vorgehen bei den Untersuchungen am AFIDA	39
4.1 Auswahl und Eigenschaften der Pflanzenöle	39
4.1.1 Fettsäurezusammensetzung und Strukturkennzahlen.....	40
4.1.2 Kraftstoffspezifische Eigenschaften der Pflanzenöle	42

4.2	Auswahl und Eigenschaften der Referenzkraftstoffe	43
4.2.1	Primäre Referenzkraftstoffe	43
4.2.2	Referenzdieselmotorkraftstoff B0	44
4.3	Versuchsdurchführung am AFIDA	45
4.3.1	Advanced Fuel Ignition Delay Analyser AFIDA	45
4.3.2	Versuchsdurchführung	47
4.3.3	Versuchsauswertung	49
5	Methodisches Vorgehen bei den Untersuchungen am Vollmotor.....	53
5.1	Versuchskraftstoffe	53
5.2	Versuchsdurchführung am Vollmotor.....	54
5.2.1	Versuchsträger.....	54
5.2.2	Traktorenprüfstand.....	54
5.2.3	Versuchsdurchführung	56
5.2.4	Versuchsauswertung	59
6	Zünd- und Verbrennungsverhalten von Pflanzenölen.....	61
6.1	Zünd- und Verbrennungsverhalten in Abhängigkeit der Betriebsparameter	61
6.1.1	Einfluss der Brennkammertemperatur und der Brennkammerluftdichte	61
6.1.2	Einfluss des Einspritzdrucks	70
6.2	Verbrennungsbeginn in Abhängigkeit des strukturellen Aufbaus von Pflanzenöl.....	72
6.2.1	Verbrennungsbeginn in Relation zu den Strukturkennzahlen MD und MC..	72
6.2.2	Strukturbezogenes Modell zur Vorhersage des Verbrennungsbeginns.....	80
6.3	Schlussfolgerungen.....	81
7	Bestimmung der Zündwilligkeit von Pflanzenölen	83
7.1	Zündverhalten von Pflanzenöl im Vergleich zu Referenzkraftstoffen... ..	83
7.2	Erwartete Cetanzahl (ECZ) von Pflanzenöl	85
7.2.1	Bestimmung der Zündschwelle und Modell zur Berechnung der ECZ	89
7.2.2	Erwartete Cetanzahl der untersuchten Pflanzenöle	90
7.3	Validierung der ECZ am Vollmotor	95
7.3.1	Zündverzug in Abhängigkeit des effektiven Mitteldrucks	95
7.3.2	Korrelation der ECZ mit dem Zündverzug im Vollmotor	99
7.4	Charakterisierung von Pflanzenölen für die motorische Verwendung anhand der erwarteten Cetanzahl ECZ.....	100
7.5	Schlussfolgerungen.....	105
8	Zusammenfassung.....	107
	Quellenverzeichnis	111
	Anhang.....	125