

Öle für energetische Nutzung (Biokraftstoffe oder Biodiesel):

Zusammensetzung, Anwendungen und analytische Aspekte

Dr. Laura Giannelli, Forscherin am CDR Chemielabor "Francesco Bonicolini" und Customer Care CDR FoodLab® Division

P2613

Einleitung

Biokraftstoffe sind erneuerbare Kraftstoffe, die aus biologischen Ressourcen wie Nutzpflanzen, Pflanzenölen, tierischen Fetten und organischen Abfällen gewonnen werden. Ihre Entwicklung wurde durch internationale Maßnahmen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen, zur Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und zur Förderung eines nachhaltigeren Energiesystems stark vorangetrieben. Im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen, die aus uralter organischer Substanz entstanden sind, sind Biokraftstoffe Teil des kurzfristigen Kohlenstoffkreislaufs, da das bei der Verbrennung freigesetzte Kohlendioxid teilweise durch das während des Biomassewachstums aufgenommene CO₂ ausgeglichen wird.

Unter den verschiedenen Kategorien stellen Bioethanol und biobasierter Diesel die größten Anteile der weltweiten Biokraftstoffproduktion dar. Biobasierter Diesel umfasst Biodiesel und erneuerbaren Diesel, wobei Biodiesel eine der am weitesten verbreiteten Alternativen zu konventionellem fossilem Diesel im Transportsektor, in der Energieerzeugung und in industriellen Anwendungen ist. Die wachsende Nachfrage nach Biokraftstoffen hat den Einsatz von Pflanzenölen als wichtigste Rohstoffe deutlich erhöht, insbesondere in den Vereinigten Staaten und in Europa.

Chemische Zusammensetzung

Biodiesel wird durch einen chemischen Prozess hergestellt, der als **Transesterifizierung** bezeichnet wird. Dabei reagieren die in **Pflanzenölen oder tierischen Fetten** enthaltenen Triglyceride mit einem **Alkohol**, in der Regel Methanol, wodurch Fettsäuremethylester, allgemein als **FAME** (Fatty Acid Methyl Esters) bezeichnet, sowie Glycerin als Nebenprodukt entstehen. Die chemische Zusammensetzung von Biodiesel spiegelt daher das Fettsäureprofil des ursprünglichen Rohstoffs wider.

Zu den am häufigsten verwendeten Pflanzenölen für die Biodieselproduktion zählen Sojaöl, Rapsöl, Canolaöl, Sonnenblumenöl und Palmöl. Auch Abfallrohstoffe wie gebrauchte Speiseöle, freie Fettsäuren und tierische Fette werden zunehmend eingesetzt, insbesondere im Rahmen nachhaltigkeitsorientierter regulatorischer Vorgaben.

Der Anteil an gesättigten und ungesättigten Fettsäuremethylestern spielt eine entscheidende Rolle für die Eigenschaften des Kraftstoffs. Gesättigte Ester bieten in der Regel eine höhere Oxidationsstabilität, weisen jedoch aufgrund höherer Kristallisationstemperaturen ungünstigere Tieftemperatureigenschaften auf. Ungesättigte Ester hingegen verbessern das Kältefließverhalten, sind jedoch anfälliger für oxidativen Abbau.

Aus diesem Grund ist die Qualität von Biodiesel eng mit der Verteilung der Fettsäuren verbunden und muss internationalen Normen wie ASTM D6751 und EN 14214 entsprechen.

Eigenschaften und Anwendungen

Biodiesel ist ein biologisch abbaubarer und sauber verbrennender Kraftstoff, der im Vergleich zu fossilem Diesel – abhängig vom verwendeten Rohstoff und vom Produktionsverfahren – die Treibhausgasemissionen deutlich reduzieren kann. Er enthält keinen fossilen Kohlenstoff und kann in verschiedenen Mischungsverhältnissen mit konventionellem Diesel verwendet werden. In vielen europäischen Märkten liegt die übliche Beimischung bei bis zu 7 Prozent, während in geeigneten Motoren auch höhere Beimischungen oder sogar reiner Biodiesel eingesetzt werden können.

Neben geringeren Emissionen von Partikeln, Kohlenmonoxid und Schwefelverbindungen weist Biodiesel im Vergleich zu schwefelarmem Diesel (Ultra-Low Sulfur Diesel) eine höhere Schmierfähigkeit auf, was zu einer geringeren Motorabnutzung beiträgt. In der Regel kann er in bestehenden Dieselmotoren ohne größere technische Modifikationen eingesetzt werden, wodurch er eine technisch praktikable und skalierbare Alternative darstellt.

Die Eigenschaften von Biodiesel können jedoch stark von der Zusammensetzung des Ausgangsrohstoffs abhängen. Kraftstoffe mit einem hohen Anteil an ungesättigten Estern können eine geringere Oxidationsstabilität aufweisen und erfordern häufig den Einsatz von Antioxidantien. Biodiesel mit höherem Anteil an gesättigten Estern kann hingegen Herausforderungen hinsichtlich des Cold Filter Plugging Point (CFPP) und des Cloud Points aufweisen, insbesondere in kälteren Klimazonen.

Aus diesem Grund sind strenge Qualitätskontrollen und eine kontinuierliche Stabilitätsüberwachung erforderlich, um die Einhaltung regulatorischer Standards sowie eine zuverlässige Motorleistung sicherzustellen.

Wesentliche Parameter zur Charakterisierung von Ölen für die Verwendung als Biokraftstoffe

Die Qualität von Pflanzenölen und abfallbasierten Rohstoffen, die für die Biodieselproduktion vorgesehen sind, muss sorgfältig kontrolliert werden, um die Einhaltung regulatorischer Standards und eine zuverlässige Motorleistung sicherzustellen. Zu den wichtigsten Parametern für die Charakterisierung der Rohstoffe gehören der Gehalts an **freien Fettsäuren** (Free Fatty Acids, FFA), die **Iodzahl** (Iodine Value) und die **Peroxidzahl** (Peroxide Value). Diese Parameter liefern grundlegende Informationen über die chemische Stabilität, die Eignung für den Transesterifizierungsprozess sowie über das zu erwartende Verhalten des Kraftstoffs.

Freie Fettsäuren (Free Fatty Acids, FFA)

Der Gehalt an **freien Fettsäuren (FFA)** ist einer der wichtigsten Parameter bei der Bewertung von Ölen, die für die Biodieselproduktion bestimmt sind. Freie Fettsäuren entstehen hauptsächlich durch die Hydrolyse von Triglyceriden, ein Prozess, der durch Zeit, Temperatur und Feuchtigkeit während Lagerung und Handhabung beeinflusst wird. Ein hoher FFA-Gehalt weist auf Abbauprozesse und eine verringerte Lagerstabilität hin, da freie Fettsäuren gegenüber Oxidation anfälliger sind als neutrale Triglyceride. Aus verfahrenstechnischer Sicht beeinflusst ein erhöhter FFA-Gehalt die alkalisch katalysierte Transesterifizierung, die am häufigsten eingesetzte Methode zur Biodieselherstellung, erheblich. Überschreitet der FFA-Gehalt etwa 1 %, kommt es in Gegenwart alkalischer Katalysatoren zur Seifenbildung, wodurch die Biodieselausbeute verringert und die nachgeschaltete Aufreinigung erschwert wird. Die offizielle Bestimmung der freien Fettsäuren erfolgt mittels Säure-Base-Titration, üblicherweise nach standardisierten Verfahren wie ASTM D664 zur Bestimmung der Säurezahl. Dabei wird die Ölprobe in neutralisiertem Alkohol gelöst und mit einer standardisierten Kaliumhydroxid-Lösung (KOH) titriert. Die Ergebnisse werden als mg KOH pro Gramm Öl oder als Prozentanteil freier Fettsäuren angegeben. Dieser Parameter ist auch für die Qualitätskontrolle von Biodiesel von entscheidender Bedeutung, da verbleibende freie Fettsäuren Korrosion, thermische Instabilität und oxidative Zersetzung verursachen können.

Iodzahl (Iodine Value, IV)

Die **Iodzahl** misst den Grad der Ungesättigtheit eines Öls und wird als Gramm Iod, die von 100 Gramm Probe aufgenommen werden, angegeben. Da Doppelbindungen reaktive Stellen darstellen, die anfällig für Oxidation und Polymerisation sind, steht die Iodzahl in direktem Zusammenhang mit der oxidativen Stabilität.

Öle mit hohen Iodzahlen enthalten größere Anteile polyungesättigter Fettsäuren und sind daher stärker anfällig für Autoxidation, Gummibildung und langfristige Instabilität. Während ein höherer Grad an Ungesättigtheit die Fließfähigkeit bei niedrigen Temperaturen verbessert, verringert er gleichzeitig die Beständigkeit gegenüber oxidativem Abbau. Daher ist ein ausgewogenes Maß an Ungesättigtheit entscheidend, um optimale Eigenschaften von Biodiesel zu erreichen. Die konventionelle Bestimmung der Iodzahl erfolgt mittels Halogenadditionsverfahren, in der Regel nach der Wijs-Methode, gefolgt von der Titration des überschüssigen Iods mit Natriumthiosulfat. Obwohl die Norm ASTM D6751 keinen festen Grenzwert für die Iodzahl von Biodiesel festlegt, bleibt dieser Parameter von großer Bedeutung für die Auswahl geeigneter Rohstoffe und die Bewertung der oxidativen Stabilität.

Peroxidzahl (Peroxide Value, PV)

Die **Peroxidzahl** ist ein wichtiger Indikator für primäre Oxidationsprozesse und gibt die Konzentration von Peroxiden und Hydroperoxiden an, die in den frühen Stadien der Lipidoxidation entstehen. Wenn ungesättigte Fettsäuren mit Sauerstoff reagieren, entstehen Peroxide als erste Abbauprodukte, die schließlich zu Ranzigkeit, Verfärbungen und Veränderungen der physikalischen Eigenschaften führen. Bei Rohstoffen, die zur Biodieselproduktion bestimmt sind, weist eine hohe Peroxidzahl auf eine fortschreitende oxidative Zersetzung und eine verringerte Eignung für die Kraftstoffherstellung hin. Obwohl die Peroxidzahl besonders in den frühen Phasen der Oxidation aussagekräftig ist, bleibt sie ein wichtiger Parameter zur Bewertung der Lagerbedingungen und Haltbarkeit von Ölen. Öle mit einer Peroxidzahl von unter etwa 10 meq O₂/kg gelten in der Regel als frisch, während deutlich höhere Werte auf Abbauprozesse hinweisen. Die offizielle Bestimmung der Peroxidzahl erfolgt durch iodometrische Titration, wie sie in standardisierten Verfahren wie ISO 3960 oder AOCs Cd 8b-90 beschrieben ist. Dabei oxidieren die im Öl vorhandenen Peroxide Iodid-Ionen zu Iod, das anschließend mit einer

standardisierten Natriumthiosulfat-Lösung titriert wird. Die Ergebnisse werden als Milliequivalente aktiven Sauerstoffs pro Kilogramm Öl angegeben.

CDR FoodLab® System zur Qualitätskontrolle von Ölen und Fetten: einfach, schnell und industriegerecht

Das CDR FoodLab® System stellt eine praktische und effiziente Lösung für die Qualitätskontrolle von Ölen und Fetten dar, die in der Biokraftstoffproduktion eingesetzt werden. Im Gegensatz zu herkömmlichen Titrationsmethoden, die eine aufwendige Probenvorbereitung, den Umgang mit Lösungsmitteln und qualifiziertes Laborpersonal erfordern, arbeitet **CDR FoodLab®** mit minimaler Probenvorbereitung und gebrauchsfertigen Reagenzien, wodurch die analytische Komplexität und die Analysezeit deutlich reduziert werden. Das System liefert Ergebnisse innerhalb weniger Minuten und ermöglicht so eine schnelle Entscheidungsfindung bei der Annahme von Rohstoffen, der Überwachung der Lagerung und der Prozesskontrolle. Der photometrische Ansatz gewährleistet zuverlässige und reproduzierbare Messungen, deren Ergebnisse mit Referenzmethoden korrelieren, während gleichzeitig die Exposition des Bedienpersonals gegenüber gefährlichen Chemikalien begrenzt wird. Dank seiner kompakten Bauweise und der Eignung sowohl für Labor- als auch für Produktionsumgebungen erfüllt CDR FoodLab® die Anforderungen der Industrie nach schnellen, präzisen und normkonformen Analysen und trägt so zu einer verbesserten Prozesseffizienz, Kostenkontrolle und konstanten Kraftstoffqualität bei.

Literaturnachweise

- American Oil Chemists' Society (AOCS). (n.d.). *Official Method Cd 8b-90: Peroxide Value, Acetic Acid-Isooctane Method*. Champaign, IL, USA: AOCS.
- ASTM International. (n.d.). *ASTM D664 – Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International.
- ASTM International. (n.d.). *ASTM D6751 – Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International.
- European Committee for Standardization (CEN). (n.d.). *EN 14214 – Liquid petroleum products – Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines – Requirements and test methods*. Brussels, Belgium.
- International Organization for Standardization (ISO). (n.d.). *ISO 3960 – Animal and vegetable fats and oils – Determination of peroxide value – Iodometric (visual) endpoint determination*. Geneva, Switzerland: ISO.
- Canesin, E. A., Oliveira, C. C., Matsushita, M., Dias, L. F., Pedrão, M. R., & Souza, N. E. (2014). Characterization of residual oils for biodiesel production. *Electronic Journal of Biotechnology*, 17(1).
<https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2013.11.001>
- Kumar, M., & Sharma, M. P. (2016). Selection of potential oils for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 1129–1138.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.032>
- Umeh, S. I., & Okonkwo, P. A. (2025). The essential properties of oils for biodiesel production. IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.1008694>