

Bodennutzung in den kommenden Jahrzehnten eine große Herausforderung darstellen. Daher kommt es darauf an, die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen und sich bereits heute den unterschiedlichen, potenziell gegensätzlichen Anforderungen an den Boden zu stellen, ohne seine Nutzung und Verfügbarkeit für künftige Generationen zu gefährden.

#### Literatur

1. Europäische Umweltagentur, Die Umwelt in Europa: Der zweite Lagebericht. Bodendegradation (Kapitel 11). [Электронный ресурс]. — Режим доступа: reports.de.eea.eu.int/92-828-3351-8/de/11.de.pdf (дата обращения 05.11.16)
2. Hochspringen nach: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: Welt im Wandel, 2000.
3. Hochspringen. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: Die Gefährdung der Böden, 2000.
4. Europäische Umweltagentur: Auf dem Boden: Bodendegradation und nachhaltige Entwicklung in Europa. Umwelt Series No.16, 2002.
5. Oldeman L. R. Gewinn und Verlust - Bodendegradation als eine Bedrohung für die Lebensmittelversorgung. In: Kummerer, K. / Schneider, M. / Held, M. (Hrsg.): Bottomless - zur nachhaltigen Boden. Politische Ökologie 15, Sonderheft 10, München: ökom, S. 23-26.1997.

### FISCHER-TROPSCH-SYNTHESE

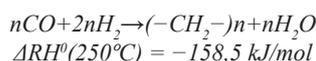
M.M. Grigoryeva

Wissenschaftliche Betreuerinnen Dozentin N.V. Usheva, Dozentin S.W. Kogut  
Nationale Wissenschaftliche Tomsker Polytechnische Universität, Tomsk, Russland

Die Erzeugung von synthetischen Kohlenwasserstoffen aus Biomasse über den Weg der Vergasung und Fischer-Tropsch Synthese (FTS) ist ein möglicher Weg flüssige Kraftstoffe aus biogenen Rohstoffen herzustellen. Anreiz ist dabei, fossile Rohstoffe zu substituieren und gleichzeitig höchste Kraftstoff-Qualitäten zu erzeugen, wobei die erzeugten Kraftstoffe gute Entwicklungsperspektiven für die Motortechnik und zur heutigen Verteilungs-Infrastruktur passen. Da Biomasse geographisch gleichmäßiger verteilt ist als fossile Rohstoffe, eröffnet dieser Weg neue Möglichkeiten zur Versorgungssicherheit für organische Kohlenstoff-Träger zur Stützung von Land- und Forstwirtschaft sowie zur Minderung fossiler CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die vorliegende Arbeit zeigt aktuelle F&E-Forschungsansätze auf und stellt Ergebnisse aus einem laufenden Forschungsvorhaben im Rahmen des Netzwerkes Re-FuelNet zum Thema Anwendung einer H<sub>2</sub>O-selektiven Membran zur Verbesserung von Produktausbeute und Kohlenstoff-Nutzung vor.

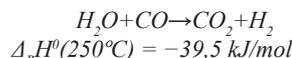
Die nach ihren Erfindern benannte Fischer-Tropsch-Synthese (kurz FTS) ist die an Übergangsmetallen – vor allem Eisen, Cobalt, Nickel und Ruthenium – heterogen katalysierte Hydrierung von Kohlenmonoxid zu gesättigten und ungesättigten, vornehmlich unverzweigten Kohlenwasserstoffen der homologen Reihe.

Die Hauptreaktion der Fischer-Tropsch-Synthese besteht in der Bildung aliphatischer Kohlenwasserstoff-Ketten:



Die Methylengruppe (-CH<sub>2</sub>-) bezeichnet ein Kettenglied eines Kohlenwasserstoffmoleküls.

Je nach Katalysator (insbesondere an Eisenkatalysatoren) und Reaktionsbedingungen kann das gebildete Wasser mit noch nicht umgesetztem CO reagieren (Konvertierung):



Die Fischer-Tropsch-Synthese ist stark exotherm (siehe Reaktionsgleichungen). Die freigesetzte Reaktionswärme beträgt ca. 25 % der Verbrennungswärme des eingesetzten Synthesegases. Für die Reaktionsführung der Synthese im technischen Maßstab ist deshalb die Abfuhr der Reaktionswärme von hoher Bedeutung, um

- eine irreversible Schädigung des Katalysators zu verhindern,
- eine gleichbleibende Produktselektivität zu gewährleisten
- und ein mögliches „Durchgehen“ der Reaktion zu vermeiden.

Eisen, Cobalt, Nickel und Ruthenium sind aktiv Katalysator für die Fischer-Tropsch-Synthese. Von diesen kommen gegenwärtig nur Eisen und Cobalt zum technischen Einsatz. Nickel ist instabil (Nickelcarbonylbildung) und neigt zu hoher Methanbildung. Ruthenium, obwohl äußerst aktiv, findet aufgrund seines hohen Preises keine kommerzielle Anwendung.

Technische Katalysatoren können durch eine Vielzahl von Möglichkeiten modifiziert und an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden, z.B. durch die Verwendung von:

- Trägern (z.B. SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>)
- Strukturellen Promotoren (schwer reduzierbare Metalloxide, wie z.B. ThO<sub>2</sub>, MgO, ZrO<sub>2</sub>, MnO)
- Reduktionspromotoren (z.B. Cu, Pt, Ru; erleichterte Reduktion des Katalysatorvorläufers bei Vorbehandlung)
- Chemischen Promotoren (Reaktionsgeschwindigkeitsbeschleunigung, z.B. Kalium bei Eisenkatalysatoren)

Die Herstellung technischer Katalysatoren erfolgt durch:

- Schmelzen aus den Katalysatorbestandteilen („Eisenschmelzkatalysatoren“)
- chemische Fällung aus den Metallsalzlösungen
- Imprägnierung von Trägern mit Metallsalzlösungen

Letztere Methode zielt auf größtmögliche Dispersion des aktiven Metalls und findet vor allem mit Cobalt, dem gegenüber Eisen wesentlich teureren Metall (250-fach), Anwendung. Cobaltkatalysatoren zeichnen sich durch vergleichsweise höhere Aktivität und längere Lebensdauer aus. Sie eignen sich jedoch nicht zum Einsatz bei hohen Reaktionstemperaturen (Hochtemperatur-FTS)

Ein technischer Fischer-Tropsch-Prozess besteht aus drei Teilschritten:

1. Synthesegaserzeugung und -reinigung (Entfernung von Schwefelverbindungen)
2. Fischer-Tropsch-Synthese
3. Produkttrennung und -aufarbeitung nach Siedefraktion und Funktionalität

Die eigentliche Fischer-Tropsch-Synthese wird bei Drücken zwischen 20 und 40 bar durchgeführt. Je nach Temperaturniveau unterteilt man Fischer-Tropsch-Prozesse in Tieftemperatur- und Hochtemperaturverfahren:

- **Tieftemperaturverfahren** (210-250 °C) zielen auf ein im Mittel langkettigeres Produkt (hohe Kettenwachstumswahrscheinlichkeit) und dienen vornehmlich der Herstellung von Mitteldestillat (Diesel) und Wachs.
- **Hochtemperaturverfahren** (320-350 °C) erzeugen ein wesentlich kurzkettigeres Produkt, welches hauptsächlich zur Benzinherstellung dient; weiterhin werden wichtige Wertprodukte für die chemische Industrie, wie  $\alpha$ -Olefine und sauerstoffhaltige Verbindungen, erhalten [1].

*Таблица*

*Typische Produktzusammensetzungen (auf Kohlenstoffbasis) der beiden Verfahren*

Produkt	Tieftemperaturverfahren	Hochtemperaturverfahren
CH <sub>4</sub>	4	7
C <sub>2</sub> -C <sub>4</sub> -Olefine	4	24
C <sub>2</sub> -C <sub>4</sub> -Paraffine	4	6
Benzin	18	36
Mitteldestillat	19	12
Schweröl und Wachse	48	9
Sauerstoffhaltige Verbindungen	3	6

Produkte wie Methan oder kurzkettige gasförmige Paraffine, die keine Wertstoffe darstellen, können zurückgeführt und erneut zu Synthesegas umgesetzt werden. Zur Erhöhung der Mitteldestillatausbeute kann die bei der Tieftemperatur-FTS erhaltene Schweröl- und Wachsfraction durch mildes hydrierendes Cracken in Mitteldestillat überführt werden.

Eine ökonomische Durchführbarkeit des Fischer-Tropsch-Verfahrens hängt von vielen Randbedingungen ab, die häufig auch politischer Natur sind. Als Einsatzstoffe kommen vor allem folgende Rohmaterialien in Frage:

- preiswerte Kohle
- Erdölbegleitgas, welches nicht abgefackelt werden darf
- entlegene Erdgasfelder (stranded gas reserves)
- Teer- und Ölsande
- Biomasse

Die Reserven vieler dieser möglichen Einsatzstoffe, insbesondere Kohle, übersteigen die gewinnbaren Erdölvorräte bei weitem

Synthese von Kohlenwasserstoffen aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff betrifft Mehrkomponenten -Verfahren. Die Komplexität der Reaktionen in der Synthese, und eine große Anzahl von Faktoren, die einen Einfluss auf sie hat (Druck, Temperatur, Kontaktzeit, etc.) ist es schwierig, ein kinetisches Modell des Prozesses zu erstellen.

#### Literatur

1. Fischer-Tropsch-Synthese:[Электронный ресурс].—Режим доступа: URL: [http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/10/fischer\\_tropsch/fischer\\_tropsch.vlu.html](http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/10/fischer_tropsch/fischer_tropsch.vlu.html) (дата обращения: 19.11.16)