

## Was versteht man unter Kohlenveredlung?

Jörg Schmalfeld

Der weltweite Vorrat an Weich- und Hartbraunkohlen und von Steinkohlen hat selbst bei steigendem Verbrauch noch eine Reichweite von mehreren hundert Jahren. Nach einer Studie der IEA<sup>1</sup> wird der weltweite Kohleverbrauch gegenüber dem Referenzjahr 2006 bis 2030 um rd. 50% auf rd. 10 Gt SKE<sup>2</sup> pro Jahr anwachsen.

Die Kohle ist Energie- und Rohstoffträger zugleich. Dies zeigt deutlich der sehr hohe Kohlenstoffgehalt, beginnend mit rd. 65% für Braunkohlen und endend bei Steinkohlen mit über 90% C-Gehalt<sup>3</sup>, und einem komplementär fallendem Wasserstoffgehalt von rd. 5% auf 2%. Der Rest ist Sauerstoff. Wenn Kohle nicht nur als Energielieferant durch Verbrennung Verwendung findet - was nicht Gegenstand der Betrachtung ist – bringt sie bei Einsatz zu Rohstoffzwecken in immer ausreichendem Maße diejenige Energie mit, die für den Einsatz als Rohstoffträger über erforderliche Umwandlungsprozesse benötigt wird. Es ist die Kunst der Verfahrenstechnik, die für die Umwandlungsprozesse erforderliche Energie möglichst gering zu halten, also hohe Wirkungsgrade zu erzielen, um den Gehalt an Kohlenstoff aus der Kohle möglichst nutzbringend als Rohstoff verwenden zu können.

Als Primärverfahren der Kohleumwandlung, auch als Kohlenveredlung bezeichnet, gelten die Pyrolyse, teilweise auch als Schwelung oder Verkokung bezeichnet, die Vergasung und die Verflüssigung. Die Pyrolyse ist ein rein thermochemischer Vorgang, mit dem ausschließlich unter Temperatureinfluss gas-/dampfförmige Produkte aus der Einsatzkohle abgespalten werden und ein fester Koks zurückbleibt. Bei der Vergasung werden bei hoher Temperatur reaktiv wirkender Sauerstoff, Wasserdampf oder Wasserstoff zusätzlich zugesetzt, so dass im Idealfall der gesamte Kohlenstoff der Einsatzkohle in Gasform übergeht. Die direkte Verflüssigung der Kohle arbeitet dagegen in einer Feststoff-Flüssig-Gasphase unter moderaten Temperaturbedingungen aber sehr hohen Drücken unter Zugabe eines im Kreislauf geführten wasserstoffspendenden, organischen Lösungsmittels und Wasserstoff. Hierbei bildet sich das sog. Kohleöl und ein Kohleschlamm, der wiederum vergast oder verschwelt wird, um den Wasserstoffbedarf abzudecken. Für die Auswahl eines geeigneten Primärverfahrens ist nicht nur die Zielsetzung sondern auch die Herkunft der Kohle, die Feuchte, der Gehalt an Mineralstoffen (Aschegehalt) und unerwünschter Heteroatome (z.B. S, Cl) von Wichtigkeit. Nicht zu unterschätzen ist häufig auch der technische Aufwand, die Kohle für einen bestimmten Einsatz in einem der gewählten Primärverfahren aufzubereiten. Durch diese Zusammenhänge wird die große Vielzahl bekannt gewordener Technologien unter den Primärverfahren erklärlich.

Eine Besonderheit in der Kohlenveredlung stellt die Extraktion von sog. Montanwachs aus bitumenreicher Braunkohle über Toluol dar. Montanwachse werden heute in der Gußtechnik, in Pflagemitteln und im Straßenbau verwendet.

Die großtechnische Bedeutung der Pyrolyse beschränkt sich heute weltweit im Wesentlichen auf die Hochtemperatur-Kammerverkokung. Aber auch andere Pyrolyseverfahren unter Verwendung der Wirbelschicht, im Drehrohr, im Flugstrom oder mit umlaufenden Wärmeträgern haben ihre Bedeutung – teilweise unter Zugabe von Vergasungs- und Hydriermitteln - wenn es darum geht die Teerausbeute zu optimieren, leichte reaktionsfähige Kokse zu erhalten oder kohlestoffhaltige Adsorbentien für Reinigungs- und Trennzwecke herzustellen. Eine andere Verwendung des Kokes in Verbindung mit gebranntem Kalk ist die Herstellung von Carbid in Elektroschmelzöfen. Aus Carbid und Wasser wird Acetylen gewonnen, das nicht nur in der Schweiß- und Schneidetechnik von Bedeutung ist, sondern Ausgangspunkt einer ganz eigenen Reihe von Grundstoffen wie Lösungsmitteln, Kunststoffen und dem synthetischen Kautschuk ist. Bedeutende Carbidanlagen gibt es in China. Die direkte Herstellung von Acetylen aus Kohle im Lichtbogen ist ebenfalls möglich, ist aber noch ohne technischen Einsatz.

---

<sup>1</sup> IEA 2006, IEA 2006a

<sup>2</sup> 1t SKE = 29,308 GJ = 8,14 MWh = 0,7t RÖE (Rohöleinheit)

<sup>3</sup> Sämtliche Gehalt-Angaben sind auf wasser-/aschefreie Substanz bezogen

Die gängigen Kohlevergasungsverfahren werden überwiegend nach dem fluiden Zustand im Vergasungsreaktor unterschieden. Für die Vergasung im Festbett steht beispielhaft die Lurgi-Druckvergasung, für die Vergasung in der Wirbelschicht beispielhaft das Hochtemperatur-Winkler-Verfahren (HTW) und für die Vergasung im Flugstrom stehen das Texaco/GE-Verfahren, das Gaskombinat Schwarze Pumpe Verfahren (GSP), das Shell- und Prenflo Kohlevergasungsverfahren. Diese Verfahren sind großtechnisch-kommerziell verfügbar und im Einsatz. Die Verfahren haben jeweils ihre spezifischen Vorteile, wobei erkennbar die Flugstromvergasungsverfahren wegen ihrer breitesten Einsatzmöglichkeit zunehmend bevorzugt werden. Allen Verfahren ist gemeinsam, dass der Energiebedarf zur Vergasung aus dem Kohlenstoffgehalt der Einsatzkohle unter Bildung von  $\text{CO}_2$  erfolgt. Leider haben bisher die Entwicklungen für allotherme Vergasungstechniken, bei denen der Energiebedarf aus anderen Quellen (Kernenergie, über Wärmeträger) gedeckt werden kann, noch keine technische Bedeutung erlangt. Dies könnte wünschenswert werden, wenn die  $\text{CO}_2$ -Problematik der Kohlevergasung noch mehr in den Vordergrund rückt.

Bei der direkten Kohleverflüssigung haben die deutschen Verfahrensentwicklungen aus den 1970er bis 1990er Jahren, basierend auf Grundlagen aus den 1920er und 1930er Jahren, Bedeutung erlangt. Erwähnenswert sind das DT-Verfahren und dessen Weiterentwicklung mit integrierter Raffination, das sog. IGOR-Verfahren der Bergbauforschung/Ruhrkohle/VEBA, und das IG-Neu Verfahren der Saarbergwerke. Weitestgehend fußend auf diesem Know-How ist in China eine Anlage mit 5.000 t/d Kohleeinsatz zur Herstellung von Dieselmotorkraftstoff derzeit in der Inbetriebnahme. Die Anlage ist das einzige großtechnische Beispiel für die direkte Kohleverflüssigung<sup>4</sup>.

Die Produkte (Gas, Teer, Kohleöl) aus der primären Kohlenveredlung – eine Ausnahme bildet der aus Hochtemperatur-Verkokung stammende Koks, der zu Reduktionszwecken direkt in der Eisen- und Stahlindustrie Verwendung findet – müssen zur weiteren Verwendung in Sekundärverfahren zu den gewünschten Chemischen Grundstoffen aufgearbeitet werden.

Das aus der Pyrolyse oder Vergasung nach Teer- und Staubabtrennung kommende Gas ist ein Gemisch aus  $\text{C}_1$  bis  $\text{C}_4$  Kohlenwasserstoffen,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$  und Verunreinigungen wie  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$  oder Halogenen. Zur Verwendung als Rohstoffbasis für Synthesen von Basis-Grundstoffen der Chemie muss das Gas durch spezielle Wäschen (z.B. Rectisol, DEA) und Konversionen (z.B. CO-Shift) zunächst auf ein reines  $\text{CO}/\text{H}_2$ -haltiges Gas in einem bestimmten Verhältnis gebracht werden. Danach folgt die Synthese als das eigentliche Sekundärverfahren. Bekannte Synthesen sind die Fischer-Tropsch-Synthese zu Kraftstoffen, Paraffinen und Schmierölen, die Methanol-Synthese als Grundstoff für eine Reihe von Chemie-Rohstoffen und leichten Kraftstoffen, die Oxo-Synthese zur Herstellung von Alkoholen, Aldehyden und organischen Säuren und die Ammoniak-Synthese. Teilweise werden die Synthesen auch mit indirekter Kohleverflüssigung bezeichnet. Reaktionsführung und die Wahl geeigneter Katalysatoren bestimmen dabei die Qualität und Quantität der gewünschten Produkte, wofür erhebliches Know-How erforderlich ist. Beispiele für Synthesenanlagen sind weltweit sehr zahlreich, wenn auch überwiegend nicht auf Basis Kohlegas.

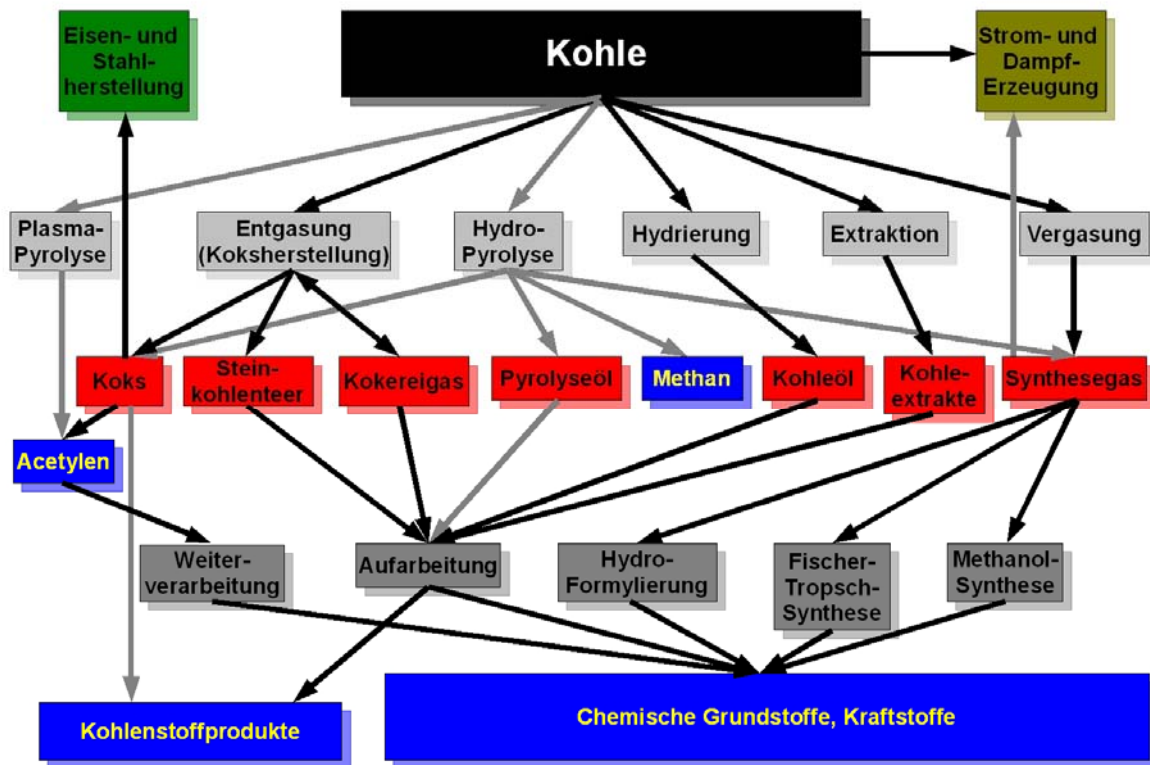
In den aus Pyrolyse und aus Vergasung gewonnenen Teeren steckt ein anderes, sehr hohes Potential für die Verwendung als Chemie-Rohstoff. Über verschiedene Verfahrensschritte lassen sich Aromaten, Phenole, Naphthalin, Anthracen, Kresole, Peche, Harze, Pyridine u.a. separieren, die wiederum Basisstoff für Farben, Kunststoffe, Pharmazeutika, Lösungsmittel, Elektroden und Spezialöle sind. Die erforderlichen Verfahrensketten sind bzw. waren Stand der Technik.

Eine ähnliche Produktpalette wie aus der Teerverarbeitung ist aus der Weiterverarbeitung von Kohleöl möglich, wenn auch mit anderen Verfahrensschritten. Im Mittelpunkt der Weiterverarbeitung des Kohleöls steht aber die Herstellung von Benzin- und Dieselfractionen, die hauptsächlich motorischer Verwendung zugeführt werden, aber auch für sich wieder Basisstoff sein können, beispielsweise um Olefine herzustellen.

---

<sup>4</sup> Die Veredlung und Umwandlung von Kohle, Technologien und Projekte 1970 bis 2000 in Deutschland, DGMK 2008, ISBN 978-3-936418-88-0

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit Kohle als Rohstoff praktisch alle organisch basierten Grundstoffe der Chemie herstellen lassen. Die folgende Übersicht zeigt nochmals die hierfür auf der Kohle aufbauenden Primär- und Sekundärverfahren<sup>5</sup>.



Februar 2009

<sup>5</sup> Positionspapier des DGMK/DECHEMA-Initiativkreises „Kohlenveredlung“, 2009