

Klaus Hartmann

## **Risiken und Chancen der Renaissance „vergessener“ Technologien (am Beispiel fossiler Kohlenstoffträger)**

### **1. Aspekte des Vergessens von Technologien**

Technologien, d.h. Wissen, wie man etwas macht, d.h. Produkte herstellt, transportiert oder anwendet usw. können tatsächlich vergessen werden – denken wir an die Bautechnik der Pyramiden in Ägypten, oder an den Damasener Stahl: die berühmte Schmiedetechnik für diesen Stahl ist seit Ende des 18. Jh.s in Vergessenheit geraten.

Andere vergessene Technologien wie die Nutzung der Windenergie haben eine rasante Renaissance erlebt.

Gründe für das „Vergessen“ von Technologien sind verschiedener Natur – der Untergang von Zivilisationen, die Erschöpfung der Rohstoffbasis, bestimmte Produkte werden nicht mehr benötigt oder erweisen sich als schädlich oder umweltbelastend und sind verboten bzw. werden durch andere Produkte abgelöst. Neue, billigere Rohstoffquellen erfordern neue Technologien, neue Bewertungskriterien, oft sind es auch eine restriktive Patentpolitik und Patentsperren, firmenpolitische Geheimhaltungen, Verlust der gesellschaftlichen Akzeptanz der Technologien; politische Präferenzen oder gesellschaftliche Präferenzen u.a. Dabei muss dieses „Vergessen“ nicht global sein, sondern kann sich auf bestimmte Länder oder Regionen (oder auch zeitlich) beschränken. Zahlreiche alte Technologien erfahren im Rahmen der Nachhaltigkeit, der „grünen“ Technologien und der weißen Biotechnologie ihre Renaissance bzw. erhalten neue Chancen. Es existieren aber auch alte bewährte Technologien, die „nachhaltig“ ignoriert werden – durch langfristig einseitige Orientierungen auf vermeintliche bessere Alternativen.

### **2. „Vergessene“ Technologien der Kohlenstoffträgernutzung**

Einige Technologien der Stoffwirtschaft, die beginnend mit der Metall- und Salzgewinnung Zeiträume von Jahrtausenden umfasst und Tausende von

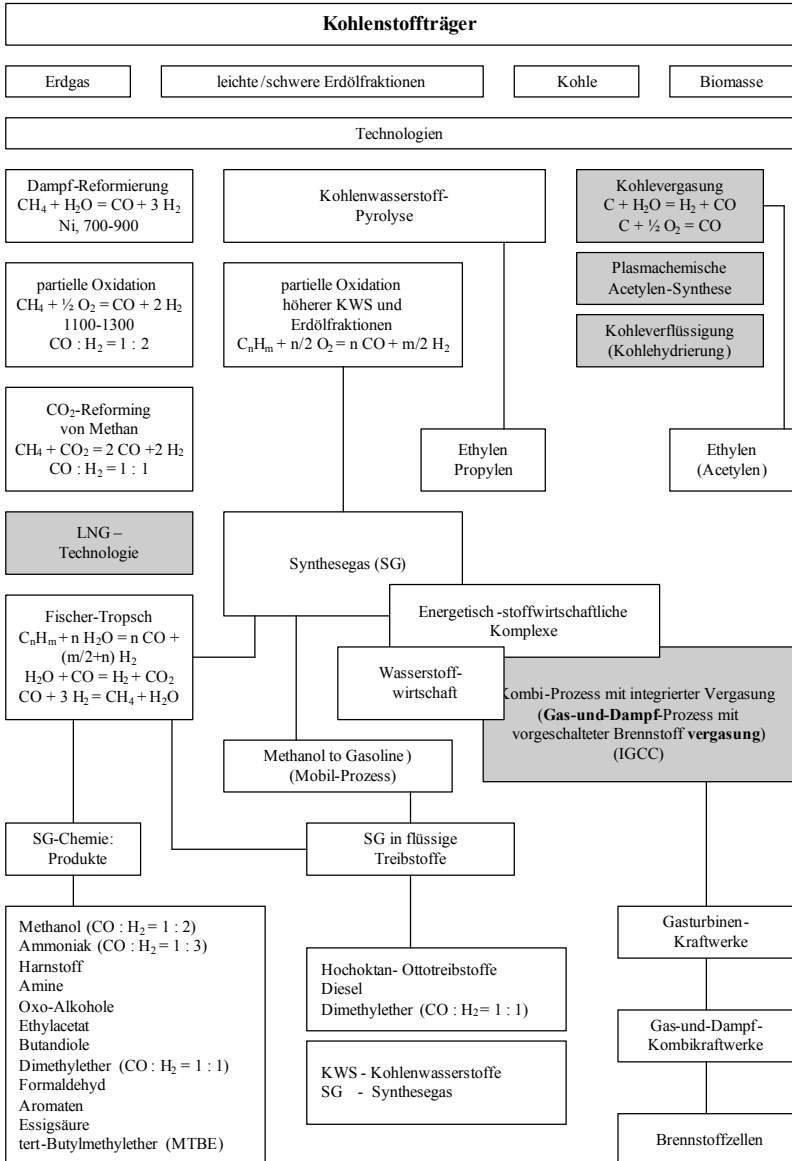


Abbildung 1: Technologiefelder Kohlenstoffträgernutzung  
 Quelle: nach Hartmann 2006

Stoffen in Mengen von mehr als 1000 t/a herstellt, sollen in diesem Diskussionsbeitrag im Mittelpunkt stehen und zwar solche auf der Grundlage fossiler Kohlenstoffträger, hauptsächlich auf der Basis von Kohle (Stein- und Braunkohle), aber auch Biomassen, die schon Jahrzehnte erfolgreich betrieben worden sind bzw. in einigen Ländern seit Jahrzehnten im Einsatz sind, aber in unserer Gesellschaft durch „Verfemung“ vergessen sind bzw. durch billigere fossile Kohlenstoffträger wie Erdgas und Erdöl verdrängt oder nie zur großtechnischen Reife und Wirtschaftlichkeit entwickelt worden sind.

Kohle war von den Anfängen der chemischen Industrie bis zur Mitte des 20. Jh.s Hauptrohstoffquelle und wurde dann rasch durch preisgünstigere Ausgangsstoffe, insbesondere Erdöl und Erdgas, abgelöst, die Kohlereserven in Deutschland haben eine Reichweite von mehreren Hundert Jahren.

Übereinstimmend geht man davon aus, dass der Anteil fossiler Kohlenstoffträger am Energiemix der nächsten Jahrzehnte zwischen 40 und 50% beitragen wird (vgl. DPG 2010). In Abbildung 1 sind wichtige stoffliche und energetische Zusammenhänge (Technologien und Stoffe bzw. Stoffgruppen) der Nutzung von Kohle, Erdöl, Erdgas und Biomasse zusammengefasst.

Abbildung 2 zeigt die Kohlepfade detaillierter.

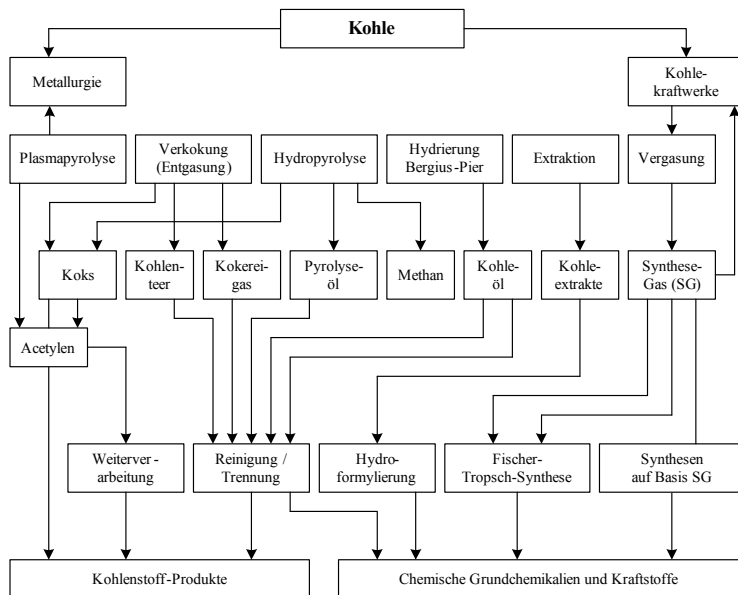


Abbildung 2: Technologiefelder der auf Kohle aufbauenden Prozessketten

Quelle: nach DECHEMA 2009

Einige der „vergessenen“ Technologien, auf die eingegangen wird, sind in Abbildung 1 dunkel unterlegt:

- Kohleverflüssigung;
- Kohlevergasung;
- Plasmachemische Synthesen (auf Kohlebasis).

Diese vergessenen Technologien werden näher beschrieben und Nutzungschancen werden diskutiert.

Die in Deutschland total „vergessene“ Technologie des Transports von Erdgas, die LNG-(liquefied natural gas, Flüssig-Erdgas-)Technologie, gestattet es, billiges Erdgas von sogenannten LNG-Spotmärkten, auf denen Angebot und Nachfrage den Preis bilden, zu importieren. Die LNG-Technologie ist in Abbildung 1 dunkel unterlegt. Bei der Flüssig-Erdgas-Technologie ist der Gaspreis vom Ölpreis abgekoppelt und wird nicht durch sehr langfristige Lieferverträge festgelegt, und Gasproduzenten ohne Pipelineverbindung haben ebenfalls Marktzutritt (vgl. DBT 2009).

Verflüssigtes Erdgas wird noch auf dem Schiff regasifiziert und dann in das Erdgasnetz eingespeist. Die geringeren Kapitalkosten dieses Verfahrens im Vergleich zu herkömmlichen LNG-Anlagen sind vor allem vor dem Hintergrund der derzeit niedrigen Gaspreise auf dem Spotmarkt vorteilhaft. 2010 waren die Spotmarktpreise 10-20 % niedriger als der Preis für das Erdgas, das über Erdgasleitungen aus Russland importiert wurde. Deutschland besitzt kein einziges Anlandeterminal für LNG (ein seit 30 Jahren in Wilhelmshaven geplantes Terminal wurde nie realisiert). 12 Terminals gibt es derzeit in Europa und 200 LNG-Tanker sind verfügbar.

### **3. Kohleverflüssigung (Kohlehydrierung)**

Das Bergius-Pier-Verfahren (Hydrierung von Kohle mit Wasserstoff) wurde von Friedrich Bergius 1913 als Verfahren zur Herstellung von flüssigen oder löslichen organischen Verbindungen aus Steinkohle und dergleichen patentiert, für das er 1931 mit dem Chemie-Nobelpreis ausgezeichnet wurde (siehe Abbildungen 1 und 2). Matthias Pier führte grundlegende Forschungsarbeiten über katalytische Hochdrucksynthesen durch und entwickelte das Verfahren von Bergius zur technischen Reife (vgl. DECHEMA 2009). Die Gesamtkapazität der in Deutschland ab 1935 gebauten Kohlehydrierungsanlagen lag bei 4 Mio. t Kohlenwasserstoffe im Jahr. Die letzten Anlagen wurden 1970 außer Betrieb gesetzt.

Dass moderne Anlagen der Kohlehydrierung wirtschaftlich betrieben werden können, zeigt Sasol (Südafrika). 1955 wurde dort die erste moderne

CtL(Coal-to-liquid)-Anlage in Betrieb genommen, 1980 und 1982 folgten Sasol II und Sasol III mit einer Gesamtkapazität von 104 000 barrel/Tag. Trotz des ab den neunziger Jahren für Südafrika verfügbaren Erdöls wurden 1995 und 1998 weitere Kapazitäten für 124.000 barrel/Tag CtL- und GtL-Kraftstoffe errichtet und wirtschaftlich betrieben. Alle zwischen 1970 bis 1985 in Deutschland neu errichteten Versuchsanlagen (als Folge der Erdölkrise 1973) wurden später stillgelegt, am Institut für Chemische Technologie der AdW wurden bis 1990 umfangreiche Forschungsarbeiten zur Modellierung und Optimierung dieses Verfahrens durchgeführt. In Japan, den USA und China wird weiterhin an Verfahrensverbesserungen der Kohleverflüssigung gearbeitet.

#### **4. Kohlevergasung**

Die Überführung von Kohlenstoff aus fossilen Kohlenstoffträgern und Biomasse in brennbare gasförmige Verbindungen, speziell Wassergas (Synthesegas), Generatorgas und Stadtgas wird Kohlevergasung genannt. Dabei wird Kohle mit Sauerstoff oder Luft und Wasserdampf bei sehr hohen Temperaturen (über 1.000 °C) zu einem Synthesegas (SG) umgesetzt (vgl. DECHEMA 2009). Prinzipiell kann jedes kohlenstoffhaltige Material eingesetzt werden. Je nach Verfahren und Betriebsbedingungen kann die Zusammensetzung des Synthesegases unabhängig von der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials in gewissen Grenzen variiert werden und ist damit Grundlage für ein breites Spektrum von Synthesen (siehe in Abbildung 1, SG-Chemie: Produkte, und Abbildung 2). Das Verfahren der Kohlevergasung wurde von Franz Fischer und Hans Tropsch in den Jahren bis 1925 zur Industriereife entwickelt (Fischer-Tropsch-Verfahren).

Der großtechnische Einsatz der Vergasungstechnologien wird gut beherrscht. Weltweit werden gegenwärtig rund 45 Mio t Kohle pro Jahr durch Vergasung umgesetzt. Weltweit sind mehr als 25 Anlagen in Betrieb, keine davon in Deutschland. Das Synthesegas eignet sich auch zur Herstellung von Methanol und Wasserstoff. Methanol ist Grundlage für die GtL(Gas to liquid)-Verfahren zur Herstellung von flüssigen Kraftstoffen, z.B. den Mobil-Process (Methanol to gasoline).

Umweltfreundliche kohlebasierte Kraftwerke der Zukunft sind energetisch-stoffwirtschaftliche Komplexe, in denen Kohle über die Vergasung mit Luft bzw. teilweise mit reinem oder angereichertem Sauerstoff aus Luftzerlegungsanlagen in wasserstoffreiche Brenngase umgewandelt und aus denen das Kohlendioxid bereits vor der Verbrennung in den Gasturbinen abgetrennt

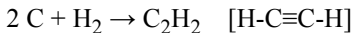
wird und nicht in die Atmosphäre gelangt (vgl. Hartmann 2008). Durch die Verwendung von Sauerstoff wird die „Verdünnung“ der Verbrennungsgase durch den Luft-Stickstoff vermieden und die Abtrennung des in höheren Konzentrationen vorliegenden Kohlendioxids ist wirtschaftlicher.

GUD-Kraftwerke mit integrierter Kohlevergasung (IGCC) sind praktisch Chemie-Betriebe mit Energiebereitstellung. Es existieren unterschiedliche Strukturen moderner Kohlekraftwerke, einige Varianten sind in Abbildung 1 aufgezählt.

Der in den energetisch-stoffwirtschaftlichen Komplexen erzeugte Wasserstoff kann auch mit hohen Wirkungsgraden in modernen Brennstoffzellen genutzt werden.

## 5. Hochtemperatur-Pyrolyse

Ein fast idealer Ausgangsstoff für eine große Palette chemischer Stoffe ist Acetylen (Äthin). Auf Grund seiner Dreifachbindung ist Acetylen sehr reaktiv und reagiert leicht und mit hoher Geschwindigkeit und ist Grundlage für die Reppe-Chemie. Eine Alternative Technologie zu der energetisch extrem aufwendigen Herstellung von Acetylen über Kalziumkarbid könnte großtechnisch die direkte Herstellung aus Wasserstoff und Kohlenstoff (Kohlenstaub) im Plasmareaktor sein. So entsteht im Lichtbogen aus Kohlenstaub und Wasserstoff ab ungefähr 2.500°C über die Reaktion



ein kompliziertes Gemisch unterschiedlicher Kohlenwasserstoffe darunter Acetylen. Voraussetzung ist preiswerter Wasserstoff. Die Reaktion erfolgt im Plasmareaktor (z.B. Flammrohr), in dem ein Gleichstromplasma erzeugt wird. Die Reaktanden strömen verwirbelt mit Überschall-Geschwindigkeit durch das Plasma. Durch Abschreckung (Quenchung) der Produkte der teilweisen Verbrennung wird das Gleichgewicht bei einer möglichst hohen Konzentration des Zielprodukts Acetylen eingefroren und das Produktgemisch anschließend getrennt. Ein wertvolles Nebenprodukt dieses Verfahrens ist außerdem wertvoller (aktiver) Ruß. Obwohl bei der Degussa als auch an der TH Leuna-Merseburg viele Jahre Versuchsanlagen zur Plasmapyrolyse betrieben wurden, ist bis jetzt kein großtechnisches Verfahren vorhanden. Eine Variante dieses Verfahrens ist das HTP-Verfahren, bei dem Benzin (Prozesstemperatur 1.500 °C) oder Methan (Prozesstemperatur über 2.000 °C) thermisch gespalten und in ein Kohlenwasserstoffgemisch mit hohem Acetylenanteil umgesetzt wird. Die erforderlichen Energien werden durch

Verbrennung von Heizgasen oder durch einen elektrischen Lichtbogen zugeführt.

## **6. Thermochemische Kreisprozesse**

Thermochemische Kreisprozesse beruhen auf der Ausnutzung (günstiger) Energiequellen, um durch ein- oder mehrstufige chemische Reaktionen Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu zerlegen. Kreisprozesse werden diese Technologien deshalb genannt, weil der Arbeitsstoff – ein System chemischer Verbindungen – nach Ablauf der Reaktionen wieder in den Ausgangszustand zurückgeführt wird. Die erforderliche Enthalpie muss bei Temperaturem um 1000 K (und höher) zugeführt werden. Neben konzentrierter Sonnenenergie könnten auch Hochtemperaturreaktoren diese Wärme liefern.

Es wurden Hunderte von möglichen Kreisprozessen thermodynamisch untersucht und eine Dutzend experimentell geprüft. Die Europäische Union fördert das HYDROSOL-Projekt, Catalytic Monolith Reactor for Hydrogen Generation from Solar Water Splitting (vgl. Hydrosol 2010). Als Arbeitskörper kommen bei diesem Projekt eisenoxidbasierte Redox-Materialien zum Einsatz. Die Gewinnung billigen Wasserstoffs würde für zahlreiche Verfahren der Kohlechemie eine Renaissance bedeuten.

## **7. Konsequenzen**

In Deutschland werden keine Verfahren der klassischen „Kohlechemie“ mehr betrieben, Forschungsarbeiten werden nur in sehr kleinem Maßstab durchgeführt. In einem Positionspapier der DECHEMA zur Kohlenveredlung wird festgestellt:

„Wenn nicht prinzipiell gegengesteuert wird, verschwinden auch noch die letzten Überreste der Wissensgesellschaft „Kohlechemie“, d.h. das Wissen, die praktische Erfahrung und die Kenntnis zum Bau von Anlagen zur Nutzung von Kohle im Kraftwerks-, Kraftstoff- und Rohstoffbereich aus Deutschland. Aus Sicht der damit verbundenen verstärkten Abhängigkeit von Rohstoffquellen außerhalb Deutschlands, nicht nur für die chemische Industrie, wäre der Verlust dieser Kernkompetenz nicht mehr zu kompensieren. Mittel- und langfristig wäre es ein großer Fehler, wenn Deutschland das Know-how im Umgang mit dem einzigen nennenswerten verbliebenen Rohstoff verlieren würde“ (DECHEMA 2009).

In einer Analyse zu dieser Situation wird im CHEManager kommentiert:

„In einer risikoaversen Gesellschaft ist es sehr schwer, Neues durchzusetzen. So ist eine immobile Sicherheits-Gesellschaft entstanden, die in Immobilien statt in Zukunfts-technologien investiert“ (CHEManager 2004).

## Literatur

- CHEManager (2004): Redaktionskommentar „Innovationsklima in Deutschland“, Nr. 22, S. 8
- DECHEMA (2009): Diskussionspapier „Kohlenveredlung“. Erarbeitet durch den gemeinsamen Initiativkreis „Kohlenveredlung“ von DGMK e.V. und DECHEMA e.V. – URL: [www.dechema.de](http://www.dechema.de)
- DPG – Deutsche Physikalische Gesellschaft (2010): Elektrizität: Schlüssel zu einem nachhaltigen und klimaverträglichen Energiesystem, Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. Bad Honnef. – URL: [www.dpg-physik.de](http://www.dpg-physik.de)
- DBT – Deutscher Bundestag (2009): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Oliver Krischer, Hans-Josef Fell, Bärbel Höhn, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 17/95 – Die Rolle von Flüssigerdgas (Liquid Natural Gas – LNG) für die Versorgungssicherheit Deutschlands. Drucksache 17/311 vom 18.12.
- Hartmann, K. (2006): Systemaspekte der Kohlenstoffträgernutzung. Vorlesungsskript. Technologische Hochschule – TU Sankt Petersburg (russ.)
- Hartmann, K. (2008): Verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen – Grundlagen für die Analyse und Synthese technologischer Systemmodelle, In: Banse G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. Berlin, S. 105-125 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 99)
- Hydrosol – Catalytic Monolith Reactor for Hydrogen Generation by Solar Water Splitting (2010): Project funded by European Commission: Community Research Energy; Environment and Sustainable Development Programme. Ergebnisse. – URL: [www.hydrosol-project.org](http://www.hydrosol-project.org)