

Strategie der Energieversorgung in der Papier- und Kartonindustrie

Vereinigter Papierfachverband München e.V.
48. Jahreshauptversammlung Regensburg 18. bis 21. Oktober 2007
Veröffentlicht in Wochenblatt für Papierfabrikation 23-24/2007

Friedrich Hutter *

Das vorliegende Essay betrachtet die makroökonomischen Zusammenhänge der vorherrschenden überregionalen Energieszenarien, die betriebswirtschaftlichen Aspekte und die aus beiden abgeleitete technische Konzeption der Heizkraftwerkstechnik für ein Industrieunternehmen mit einem Dreischichtbetrieb in Deutschland.

Vorwort zur Auflage 2010

Die in 2007 erstellte Ausarbeitung geht von den damals erkennbaren Szenarien aus. Diese wurden in 2010 überprüft mit dem Ergebnis, daß Ereignisse dieser Szenarien bereits eingetroffen sind. Die Szenarien sind nach wie vor noch aktuell.

1 Wachstumsgrenzen

Zwei Themenkreise bestimmten bisher die unternehmerische Bewertung für eine werkseigene Energieversorgung eines Unternehmens. Das waren und sind heute noch Elektrizität und Primärenergie. Hinzu gekommen ist der industrielle Einfluß auf klimatische Regelkreise, der uns laufend unter dem Begriff Klimaveränderung und CO₂- Ausstoß seit einer Dekade begleitet. Aus der Situation der heute übersehbaren Energieszenarien leitet sich die Versorgungsstrategie der privatwirtschaftlich geführten Unternehmen ab. Deshalb wird hier kurz und zusammenfassend auf die wichtigsten Szenarien eingegangen.

1.1 Primärenergie

20 Jahre lang, nämlich bis 2004, hielt die Organisation erdölexportierender Staaten OPEC den Rohölpreis auf einem Niveau unter 28 US\$ pro Barrel. Die damaligen fast normalen Schwankungen des Ölpreises am Rotterdamer Spotmarkt unterlagen dem jeweils aktuellen Stand der Vorratshaltung und der daraus resultierenden Nachfrage. Mit Aufstreben der Wirtschaftsmächte in Asien änderte sich das Marktverhalten. Nicht mehr die Nachfrage aus USA sondern aus China und Indien beeinflussen den Preis des Rohöls, der durch Spekulationsgeschäfte zusätzlich eine unsichere Komponente erhält. Nach der Verstaatlichung der Förderanlagen in Venezuela sind 80 % der Rohölproduktion in staatliche Hände gelangt, die in der Regel eine zurückhaltende Investitionspolitik betreiben. Es ist der Energiepolitik der 80-iger Jahre, ausgelöst durch den Ölpreisschock 1974 der OPEC, zu verdanken, daß das heute notierte Rohölpreisband von über 70 US\$ pro Barrel keine spürbare Störung der Wirtschaft verursacht. Das damalige Konzept der Bundesrepublik war: „Weg vom Heizöl“ als Brennstoff für die Elektrizitätswirtschaft und Ausbau der Kernenergie. Die Erschließung der Gas- und Ölvorkommen in der Nordsee war zum damaligen Zeitpunkt ebenfalls lukrativ geworden.

Deutschland verringerte tatsächlich sein Primärenergiewachstum. Seit 1995 ist der Anstieg rückläufig. Der Primärenergieverbrauch sank zwischen 1995 und 2006 um 1,0 %, während das Bruttoinlandsprodukt um ca. 24 % und der Elektrizitätsverbrauch ebenfalls um ca. 12,5 % stieg. Bruttoinlandsprodukt und Elektrizitätsverbrauch stehen nach weltweiter Statistik in einem kausalen Zusammenhang.

Erdgas stellt für eine absehbare Zeit keinen Versorgungsengpaß dar. Der Preis für einen Erdgasbezug aus Norwegen und Rußland ist allerdings noch auf Jahre durch Vertragsbindung mit diesen Staaten an den Erdölpreis gebunden. Der heutige Rohölpreis, als Grundlage der Preisberechnung für Erdgas, ist vornehmlich durch weltweite Krisen beeinflusst. Die zunehmende Bedrohung der Weltgemeinschaft ist dabei schwer einzuschätzen. Diese Preisfestlegung wird voraussichtlich durch Diversifikation der Versorgung aus zusätzlichen Lieferstaaten gebrochen werden. Dafür sollen neue Projekte sorgen, wie der Bau der Ostsee- Pipeline North Stream und weitere Vorhaben, wie die Planung der Blue Stream und Nabucco- Pipeline aus dem iranischen und kasachstanschen Raum (*Bild 1*). Erdgas bleibt nach wie vor der ideale Brennstoff für die Industrie. Es verbrennt zu 45 Gewichtsprozente zu Wasser und zu 55 Gewichtsprozente zu CO₂; Erdgas ist ein umweltfreundlicher fossiler Brennstoff.

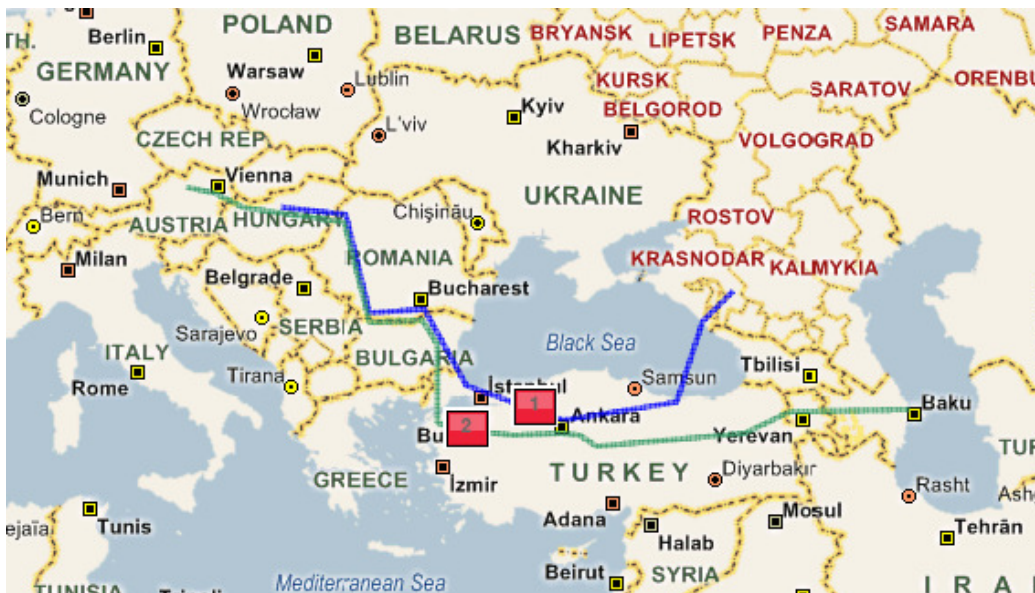


Bild 1 oben: Neu gebaute Erdgas Pipeline North Stream

Bild 1 unten: Neu geplante Erdgas Pipelines (1 = Blue Stream; 2 = Nabucco Pipe Line)

Neue Erdgas-Pipelines sowie zusätzliche Flüssiggas-Entladestationen sollen die Erdgas-Versorgung Europas langfristig sichern.

1.2 Elektrizität

Elektrizitätsbereitstellung ist die elementare Grundlage für die Erzeugung des Bruttoinlandsproduktes (BIP) und folglich auch des Wohlstandes eines Landes. Genauer gesagt, hochverfügbare, frequenzgenaue und kostengünstige elektrische Stromgestehung. Auf dem Sektor der Elektrizitätswirtschaft haben sich innerhalb der letzten zwei Legislaturperioden und kurz davor einschneidende Veränderungen abgespielt. Die Liberalisierung des Strommarktes in 1998/99 in Deutschland führte zunächst zu einem kurzfristigen Preisverfall mit Ansätzen eines Wirtschaftswachstums. Der Preiseinbruch bei elektrischem Strom verursachte auch eine Umstrukturierung des Elektrizitätsmarktes.

Heute haben wir es mit privatwirtschaftlich geführten Großkonzernen zu tun, deren Preisgestaltung (inklusive hoher staatlicher Belastungen) Angebot und Nachfrage unterliegen, was marktwirtschaftlich nicht zu beanstanden ist. Die Konstellation öffentlicher Energiepolitik ist leider von kontroversen Strömungen geprägt. Ausstieg aus der weltwirtschaftlich stabilisierenden Kernenergie und Substitution von verfügbaren Energieressourcen (wie Uran) durch Energien, die einem statistischen Zufall unterliegen (wie Wind), sind nur zwei der wirtschaftlich unverträglichen Szenarien.

Eine Substitution der Kernenergie durch Windkraftanlagen, als politische Zielvorgabe seit zwei Legislaturperioden, ist bis heute trotz einer gigantischen installierten Leistung in Windkraftgeneratoren (27 Gigawatt Ende 2010) nicht gelungen. Auf dem Land installierte Windräder können nur 10 bis 20 % der installierten Leistung eines Windgenerators, bedingt durch statistische Häufigkeit der Windgeschwindigkeit, im Jahresmittel für die Erzeugung der elektrischen Arbeit genutzt werden. Dieser Anteil beträgt bei Off-shore-Windräder ca. 40 – 50 % und für sämtliche Windräder in Deutschland ca. 15 – 20 %. Die durch Windenergie bereitgestellte Arbeit hat allerdings einen Vorteil: Der Bau von Windkraftanlagen hatte bisher eine Mangelsituation verhindert, die durch Stagnation des öffentlichen Kraftwerkbaus entstanden wäre. Auch wenn wir heute die Windkraft wegen der CO₂-mindernden Elektrizitätsbereitstellung akzeptieren, lösen diese versorgungstechnische Verwerfungen aus, die darin bestehen, daß die vorhandene elektrische Netzstruktur den Lastanforderungen, die aus dieser Technik resultieren, nicht folgen kann. Stürme verursachen flächenweite Schutzabschaltungen bei Windkraftanlagen, die zwar durch die rotierenden Reserven konventioneller Spitzenlastkraftwerke technisch noch abgefangen werden können, jedoch besitzen die Überlandnetze nicht die Kapazitäten, den sprunghaft sich verändernden Elektrizitätsfluß störungsfrei zu beherrschen. Die Abschaltung einer Überlandleitung am 4. November 2006 bei einer Schiffsüberführung an der Ems, knapp ein Jahr nach dem Schneechaos im Münsterland, zeigt die Anfälligkeit der Elektrizitätsverteilung, deren Auswirkung bis nach Spanien zu spüren war.

Weitere Installationen in die Windkrafttechnik erfordern wegen deren wetterabhängigen, zufälligen Verfügbarkeit zusätzlich Kraftwerksleistung auf der Basis einer sicheren Primärenergieverfügbarkeit für Reservehaltung und einen elektrischen Netzausbau, der die plötzlich auftretenden Asymmetrien des Elektrizitätsflusses ausgleichen kann. Diese Lasten hätte die Windenergiebranche nach wirtschaftstheoretischen Grundsätzen zu tragen, was sie allerdings nicht tut. Für dringend benötigte Investitionen in Netze, Hochspannungsleitungen und Koppelstellen zu Nachbarländern fehlen die Planungssicherheit und die energiepolitischen Rahmenbedingungen.

Netzinvestitionen sehen wir ebenso als vorrangig an, wie die ebenfalls anstehende Leistungssteigerung bei konventionellen Kraftwerken. England und Frankreich haben sich zu einem Ausbau der Kraftwerksleistung bekannt. Eon und RWE investieren mehrere Milliarden Euro in Großbritannien in neue Kraftwerke. Der Kapitalfluß für neue Kraftwerksbauten geht auch nach Skandinavien und möglicherweise nach Rußland. Zwar sind einige Kohlekraftwerke (Grevenbroich, Hamm u. a.) ebenfalls in Deutschland, vorwiegend als Ersatz für Altanlagen, im Bau; für ihre Klimaverträglichkeit gibt es noch keinen nachhaltigen Lösungsansatz, geschweige denn einen akzeptierten Stand der Technik.

1.3 Klimatische Regelkreise

Seit 2004 unterliegt Europa, ausgelöst durch das Kyoto-Protokoll, einer Emissionsbegrenzung bei CO₂ emittierenden Produkten und Anlagen, die alleine keine Einbuße des Wohlstandes bedeuten müssen. Es ist ein unbestrittenes Ziel, daß die Erde von Spurengasen und nicht mehr ausregelbaren CO₂-Emissionen, die einen Treibhauseffekt auslösen, entlastet werden muß. Wir werden nicht umhin kommen, die Erwärmung der Erdatmosphäre weltweit zu mindern.

Die heute manifestierten Zielvorgaben im Klimaschutz – 40 % Minderung des CO₂-Ausstoßes bis 2020 – ist durchaus zu bewältigen. Sie verlangt allerdings eine Umstellung konventioneller, in der Vergangenheit wirtschaftlich begründeter kostengünstiger Technik durch bestmögliche Technik. Die Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades bei reiner Stromerzeugung, die im landesweiten Durchschnitt bei ca. 41 % liegt, ist inzwischen unter dem Begriff „Effizienzsteigerung“ eine anerkannte Zielvorgabe. Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) hat in den letzten zwei Dekaden mit dazu beigetragen, den Primärenergieeinsatz bei steigender Stromerzeugung bundesweit konstant zu halten. Der Einsatz der KWK-Technologie für eine landesweite Versorgung ist natürlich auch begrenzt. KWK kann nur das Potential des vorhandenen Wärmebedarfs ausschöpfen. Da der Elektrizitätsverbrauch der Bundesrepublik um ein vielfaches, etwa Faktor 2,5 - 3, höher ist als das erschließbare KWK-Potential der Industrie und der Fernwärmewirtschaft, werden immer Kondensationskraftwerke (zum Beispiel kohlegefeuerte Kraftwerke), neben Systemen der regenerativen Elektrizitätserzeugung, für die Hauptversorgung eines Industriestaates in bestmöglicher Technik benötigt werden.

1.4 Résumé der Energieszenarien

Zusammenfassend lassen sich aus heutiger Sicht folgende Strömungen prognostizieren:

- Die öffentliche Elektrizitätsbereitstellung in Deutschland, insbesondere in Süddeutschland, steuert auf eine Mangelsituation mit marktbedingt (Angebot und Nachfrage) steigenden Strompreisen und
- auf eine rückläufige Verfügbarkeit der elektrischen Netze zu.
- Abhängig von der Schnelligkeit und vom Ausmass des Ausbaus der alternativen Elektrizitätserzeugungs-Technologien im Vergleich zum Ausbau der elektrischen Netze wird es Zeiten geben, in denen nicht die gesamte erzeugte Elektrizität im Norden von Deutschland in den Süden von Deutschland übertragen werden kann, ohne die ausländischen Stromnetze zu nutzen.
- Steigende Kapazität der Primärenergieversorgung durch Erdgas mit einer Reichweite von mehreren Jahrzehnten ist dabei positiv zu werten.

2 Strategie

Für die unternehmerische Entscheidung für oder gegen eine Eigenstromerzeugung sind Faktoren wie Liquidität, Verfügbarkeit, Kostensensitivität der Einsatzenergien u. a. von Bedeutung. Eine wesentliche Kennzahl, welche die Preiskonstellation beschreibt, ist das Verhältnis Strompreis zu Brennstoffpreis (bezogen auf den unteren Heizwert). Diese Kennzahl hat sich für den Brennstoff Erdgas seit 1990 von der Zahl 4, natürlich mit Schwankungen, auf die Zahl von ca. 2,6 vermindert. Die heutige Preiskennzahl ist geprägt durch die Eskalation der Rohölnotierungen an den internationalen Börsen kurz vor Beginn des Irak- Krieges.

Für die Karton und Papier herstellende Industrie, die ebenso wie die chemische Industrie und den Bergbau äußerst elektrizitätsorientiert ist, stellt sich die Frage nach einem zukünftig gegen Preisschwankungen unempfindlichen (unsensitiven) Energiekonzept.

2.1 Bestmögliche Technik (Beste Verfügbare Technik)

Unter dem Druck der in Zukunft voraussichtlich eingeschränkten Strombereitstellung gilt es, das KWK- Potential, das vorwiegend in der Privatwirtschaft liegt, noch weiter zu nutzen. Jede unnötig Primärenergie vergeudende Anlage oder Verzicht auf KWK mit bestmöglicher Technik ist volkswirtschaftlich ein Nachteil, der letztendlich das Wirtschaftswachstum in der Bundesrepublik zusätzlich belastet. Die Mechanismen eines freien Marktes werden auch hier in Zukunft unter dem Druck der Preiseskalation bei der Stromerzeugung ordnend wirken.

Für das weitere Verständnis sei der Begriff der Stromkennzahl kurz erläutert. Das Verhältnis elektrisch erzeugter Leistung zu Nutzwärmeleistung bezeichnen wir als Anlagen-Stromkennzahl, sie ist dimensionslos. Eine Tonne pro Stunde Prozeßdampf wird über das Wärmeäquivalent 650 KWh/t (gilt für Sattedampf oder wenig überhitzten Dampf mit 2,5 bis 5 bar) in Wärmeleistung umgerechnet.

Unter Brennstoffnutzungsgrad verstehen wir das Verhältnis von der Summe der erzeugten bzw. abgegebenen Nutzenergien (hier Elektrizität und Prozeßdampf) und dem Energieeinsatz in die Anlage (Feuerungswärmeleistung).

In diesem Zusammenhang verstehen wir unter bestmöglicher Technik bei KWK- Anlagen nicht nur Anlagen mit höchstmöglicher Zeit-Zuverlässigkeit und anderen geforderten Merkmalen, sondern insbesondere Anlagen, die höchste Primärenergieeinsparung gegenüber vergleichbaren Anlagen mit gleicher Nutzenergieerzeugung erreichen und deren Schadstoff-Emissionen durch Primärmaßnahmen mit emissionstechnisch bester Technik minimiert sind.

Für turbinen-basierte KWK- Anlagen bedeutet bestmögliche Technik hochwertige Heizkraftwerke mit höchst möglichem Brennstoffnutzungsgrad und erhöhter Stromkennzahl, wie sie Heizkraftwerke mit kombiniertem Gasturbinen- und Dampfturbinenprozeß (Kombi-Heizkraftwerke oder GuD- Heizkraftwerke) mit Strahlungsdampferzeuger und emissionsarmer Dampferzeugerfeuerung bieten.

Die ordnenden Kräfte eines Marktes betreffen vor allem weniger effiziente KWK- Anlagen, deren Brennstoffnutzungsgrad vielfach im Bereich um 75 % liegt. Diese Anlagen hatten in Zeiten billiger Erdgaspreise einen Aufschwung zu verzeichnen, der in dem Moment zusammenbrach, als das Preisverhältnis Strom zu Erdgas den Wert 3,6 unterschritt. Bei heutigen Energiepreisen erreichen einfache Erzeugungsanlagen keinen ausreichenden Geldrückfluß mehr. Durch Umrüstung beispielsweise von Gasturbinen mit Niederdruck-Abhitzedampferzeuger auf Kombi- Heizkraftwerke mit Strahlungsdampferzeuger und zusätzlicher Dampfturbine können ältere Gasturbinen- Heizkraftwerke bis zu 20 % ihres gegenwärtigen Verbrauches an Primärenergie einsparen, sofern entweder bei Verwendung der gleichen Gasturbine die Höhe des Wärmebedarfes auch mit dem Einsatz des Strahlungsdampferzeugers eine Kondensation des Dampfes unnötig macht oder aber die Gasturbine in ihrer Größe verkleinert wird.

Ein Vergleich der Kosten der Elektrizitäts-Eigenerzeugung eines Industriebetriebes bei Einsatz verschiedener KWK- Technologien (*Bild 2*) zeigt, daß Anlagen, deren Dampferzeugung in Strahlungsdampferzeugern erfolgt -- das sind Dampfturbinen-Heizkraftwerke und Heizkraftwerke mit kombiniertem Gasturbinen- und Dampfturbinenprozeß (Kombi- Heizkraftwerke) mit Strahlungsdampferzeugern -- eine wirtschaftliche Überlegenheit besitzen. Hinzuzufügen ist allerdings, daß Dampfturbinen-Heizkraftwerke mit reinen Gegendruck-Dampfturbinen im industriellen Einsatz lediglich Stromkennzahlen von ca. 0,2 erreichen; fehlende Elektrizität muß dann noch hinzugekauft werden. Bei einer Mischkalkulation fallen dadurch höhere Energiekosten an, als sie Bild 2 vermitteln. Für die Papier- und Kartonindustrie, die Stromkennzahlen zwischen 0,3 und 0,65 (ohne Holzschliff) benötigt, sind Heizkraftwerke mit kombiniertem Gasturbinen- und Dampfturbinenprozeß mit Strahlungsdampferzeugern und emissionsarmen Dampferzeugerfeuerungen wie z.B. das SYSTEM HUTTER die bessere Wahl.

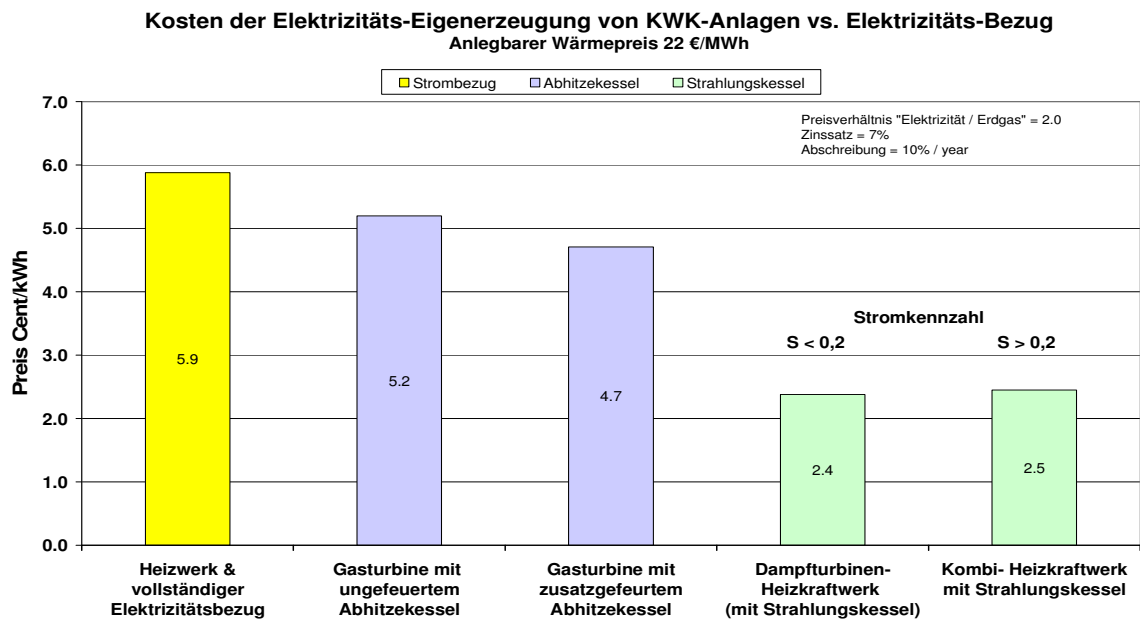


Bild 2: Dampfturbinen- Heizkraftwerke und Heizkraftwerke mit kombiniertem Gasturbinen- und Dampfturbinenprozeß (GuD- Heizkraftwerke) mit Strahlungsdampferzeugern haben die niedrigsten Kosten der Elektrizitäts-Eigenerzeugung

2.2 Wirtschaftliche Anforderungen

Der verwirklichte Brennstoffnutzungsgrad bei industriellen turbinen-basierten KWK-Anlagen unterliegt physikalischen Grenzen; und zwar in Abhängigkeit der gewählten elektrischen Leistungserzeugung je Tonne pro Stunde Dampf. Die Begrenzung des Wirkungsgrades bei turbinen-basierten KWK- Anlagen hängt zum einen mit der Höhe des Abgasmassenstromes und zum anderen mit einem Temperaturengpaß innerhalb des Dampferzeugers zusammen, den der Fachmann Pinch Point nennt. Der Pinch Point ist der Wert der kleinsten Temperaturdifferenz zwischen dem Abgasmedium und dem Wasser-Dampf-Medium im Dampferzeuger. Der Ort des Auftretens des Pinch Points im Dampferzeuger sowie dessen Wert bestimmen maßgeblich die minimal erreichbare Abgastemperatur vor dem Schornstein. Bei Gasturbinen mit Abhitzedampferzeugern liegt der Pinch Point beim Verdampfer und damit sind die minimal erreichbaren Abgastemperaturen vor Schornstein bei kleineren und mittleren Zusatzfeuerungsleistungen im Dampferzeuger auf höhere Temperaturwerte limitiert. Bei Gasturbinen mit Strahlungsdampferzeugern liegt der Pinch Point am Ende des Dampferzeugers, womit die Abgastemperatur vor Schornstein

nur durch die Wassereintrittstemperatur in den Dampferzeuger und durch die Grädigkeit des letzten Dampferzeuger-Wärmetauschers bestimmt ist und damit tiefe Werte erreichen kann.

Bei Kombi- Heizkraftwerken und Gasturbinen- Heizkraftwerken gilt für Anlagenstromkennzahlen grösser als etwa 0,4, je höher die Stromerzeugung einer KWK- Anlage pro Tonne pro Stunde Prozeßdampflieferung, umso mehr bricht die bestmöglich verwirklichte Brennstoffnutzung ein. Bild 3 zeigt die Abhängigkeit des Brennstoffnutzungsgrades von der gewählten Stromkennzahl für ein Heizkraftwerk mit kombiniertem Gasturbinen- und Dampfturbinenprozeß (GuD- Heizkraftwerk) mit reiner Gegendruck-Dampfturbine für eine konstante Nenn- Prozeßdampflieferung von 100 Tonnen pro Stunde.

Es ist nun eine Frage der Bewertung der Investition in den Eigenstromerzeugungsanteil einer KWK- Anlage und des Wunsches einer Unabhängigkeit von öffentlichen elektrischen Netzen, welchen Gesamtwirkungsgradeinbruch man zuläßt. Das wirtschaftliche Optimum kann durchaus vom technischen Optimum abweichen und muß nicht zwangsweise mit diesem übereinstimmen. (Für die Fernwärmewirtschaft mit Heiß- bzw. Warmwasser als Nutzwärmeenergie gelten natürlich andere Zusammenhänge!)

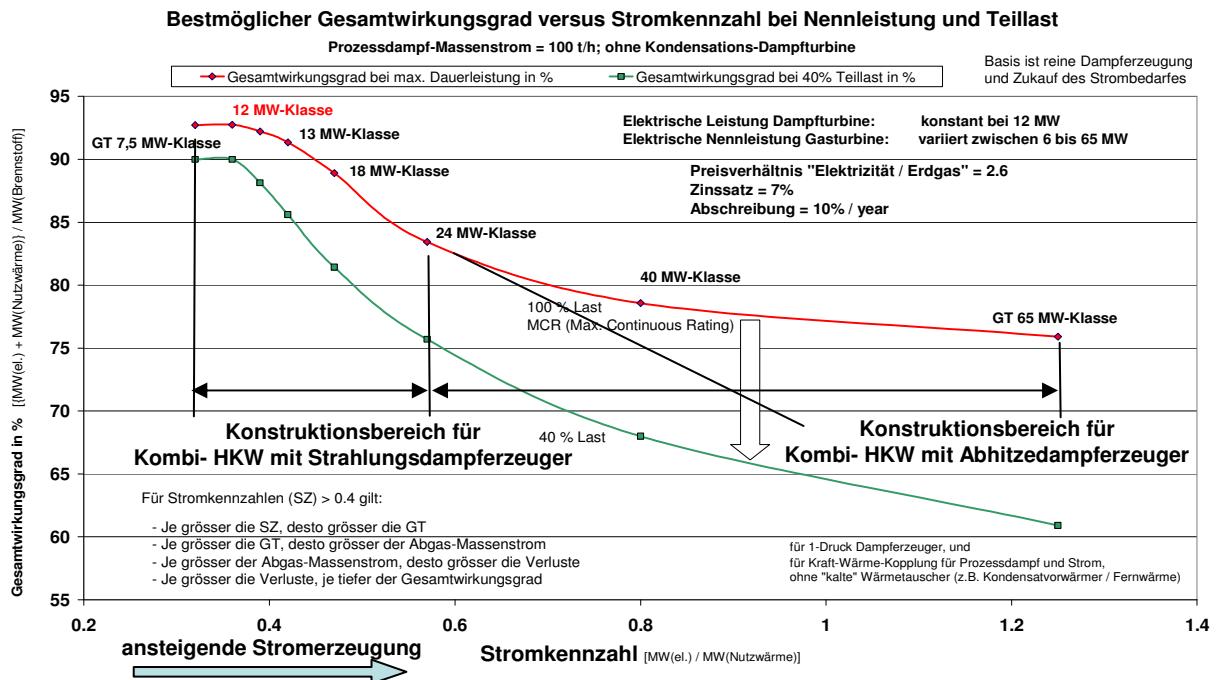


Bild 3: Bei Anlagen- Stromkennzahlen grösser als etwa 0,4 bricht der bestmögliche Gesamtwirkungsgrad und die Teillastfähigkeit von Kombi- HKWs bzw. Gasturbinen- HKWs ein

Die Herstellung von Karton und Papier benötigt Elektrizität und Nutzwärme in Form von Niederdruckdampf. Das Verhältnis von Elektrizität und Nutzwärme hängt vom Flächen- gewicht und dem Trocknungsverfahren der Papier- bzw. Kartonmaschine ab. Die erforderliche Stromkennzahl des Betriebes liegt bei der Papier- und Kartonherstellung in der Größenordnung zwischen 0,3 und 0,65. Holzschliff benötigt noch höhere Betriebs- Stromkennzahlen.

In Bezug auf die Energieversorgung ist für den Fall, dass genügend und geeignete Reststoffe aus der Papier- bzw. Kartonherstellung entstehen, die Wirtschaftlichkeit einer Reststoffverbrennungsanlage, die Frischdampf erzeugt, zu untersuchen. Die Reststoffverbrennungsanlage ist dabei zusammen mit der KWK- Anlage optimal zu konzipieren. Der Einsatz einer Reststoffverbrennungsanlage führt dazu, dass die KWK- Anlage eine höhere Anlagen- Stromkennzahl erbringen muß, da die Dampflieferung entsprechend der Reststoffverbrennungsanlage verringert ist.

Im folgenden wird angenommen, dass keine Reststoffverbrennungsanlage installiert ist. Somit hat sich die Auslegung der KWK- Anlage am Bedarf der Papier- bzw. Kartonherstellung zu orientieren. Bild 4 stellt den Internen Zinsfuß IRR (Internal Rate of Return) -- berechnet nach einer dynamischen Kapitalwertmethode [4] -- in Abhängigkeit der Stromkennzahl dar. Die zugrunde gelegten Berechnungen basieren auf einer KWK- Anlage mit 100 Tonnen pro Stunde Nenn-Prozessdampflieferung und einer 12 MW- Gegendruck-Dampfturbine ohne Kondensationsprozeß. Die Datenpunkte auf der Kurve stellen nun verschiedene Gasturbinen-Modelle mit einer Nennleistung zwischen 6 und 60 MW dar. Jeder Datenpunkt entspricht demzufolge einer anderen KWK- Anlage mit unterschiedlicher Gasturbinen- Nennleistung, jedoch alle mit bestmöglicher Brennstoffnutzung gemäss Bild 3.

Das gewählte Beispiel mit einer Wärmeleistung von 100 t/h Nenn- Prozessdampflieferung kann für andere Prozessdampf- Nennleistungen prozentual abgeschätzt werden. Der gewählte Feldparameter für das Preisverhältnis Elektrizität zu Erdgas ist 2,6. Für jeden individuellen Betrieb muß selbstverständlich eine eigene Bewertung durchgeführt werden. Die Darstellung in Bild 4 zeigt, daß das wirtschaftliche Optimum einer KWK- Anlage mit kombiniertem Gasturbinen- und Dampfturbinenprozeß (GuD- Heizkraftwerk) im Bereich von Anlagen- Stromkennzahlen zwischen 0,3 und 0,45 liegt. Der Interne Zinsfuß reagiert extrem empfindlich auf die Stromkennzahl und gemäss Zusammenhang in Bild 3 auch auf den Brennstoff-nutzungsgrad. Eine Gesamtwirkungsgraddifferenz von weniger als 15 Prozentpunkten absolut bestimmt, ob eine KWK- Anlage lukrativ ist oder nicht. Fördermöglichkeiten und KWK- Subventionen gemäß KWK- Gesetzen sind in den Berechnungen nicht berücksichtigt; sie sind ab einer bestimmten Anlagengröße für den wirtschaftlichen Einsatz einer guten KWK- Technik auch nicht nötig.

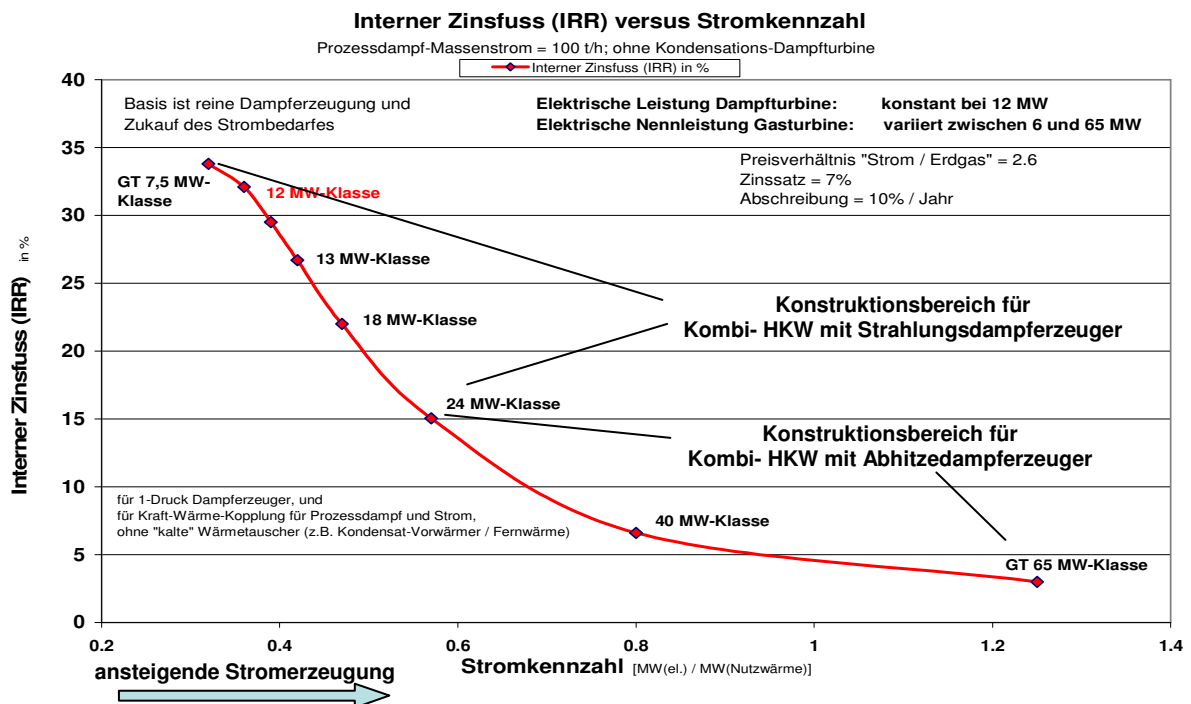


Bild 4: Hochwertige KWK- Anlagen mit hoher Brennstoffnutzung (Kombi- HKW mit Strahlungsdampferzeuger) erreichen eine hohe Rendite.

2.3 Technische Anforderung

Die spezielle Aufgabenstellung bei der Papier- und Kartonherstellung erfordert ein weites Teillastspektrum des Dampferzeugers, bei dem die Hochdruck- Dampfzustände über den möglichen Lastbereich des Kessels hinsichtlich Dampftemperatur und -Druck gehalten werden können. Gasturbinen- Heizkraftwerke mit Abhitzedampferzeuger haben eine eingeschränkte Teillastfähigkeit in Bezug auf die min. Frischdampferzeugung. Für Anwendungen mit Dampf als Nutzenergie (z.B. Prozessdampf) sind Heizkraftwerke mit hoher Brennstoffnutzung nur mit Strahlungsdampferzeugern zu verwirklichen. Konventionelle Strahlungsdampferzeuger in Kombi- Heizkraftwerken decken in Bezug auf die Frischdampferzeugung nur einen Lastbereich von ca. 60 bis 100 % ab. Unterhalb einer ca. 50 %- Dampferzeugungs-Last gehen dann die Dampfturbinen bekanntlich in Schutzabschaltung, wenn nicht besondere Maßnahmen, wie energievergeudendes Abblasen von Dampf oder Kondensation von Dampf, ergriffen werden. Aus Gründen der Energieeinsparung werden neue Anforderungen an das Teillastverhalten einer Anlage gestellt.

Bild 5 zeigt den Verlauf der Dampftemperatur nach Endüberhitzer bei einem modernen, neu entwickelten SYSTEM HUTTER Strahlungsdampferzeuger mit Frischdampfzuständen bei 90 bar und 470 °C. Während bei herkömmlichen Dampferzeugern in kombinierten Gas- und Dampfturbinen- Heizkraftwerken (GuD- Heizkraftwerke) in Teillast bei Unterschreiten einer ca. 410 °C HD-Dampftemperatur- Grenze die Dampfturbine in Schutzabschaltung geht, kann die moderne Anlage auch bei ausgeschalteter Dampferzeuger- Feuerung die Nenn-Frischdampftemperatur beinahe halten und die Dampfturbine bleibt in Betrieb. Es resultiert ein erweiterter regelbarer Lastbereich bis ca. 20 – 25 % der Nenn-Frischdampferzeugung.

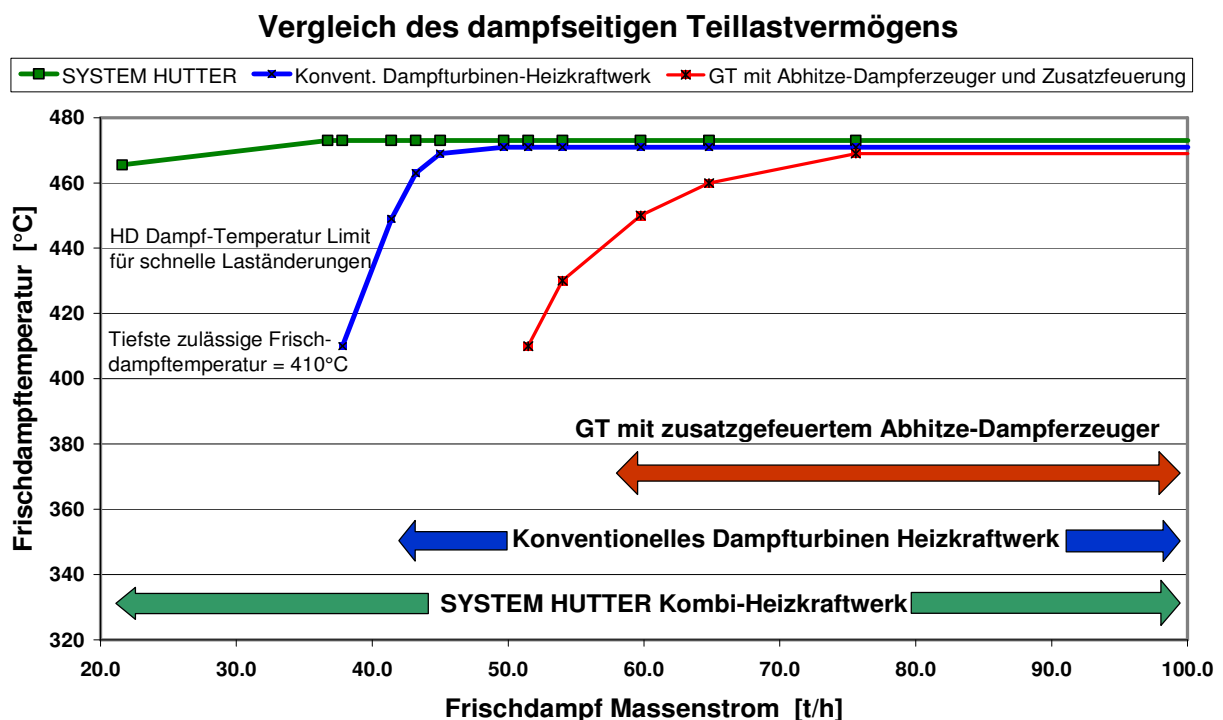


Bild 5: Dampfseitiges Teillastvermögen und Frischdampf-Temperaturverlauf bei einem modernen Kombi- Heizkraftwerk mit SYSTEM HUTTER Strahlungsdampferzeuger im Vergleich mit einem Dampfturbinen- Heizkraftwerk mit konventionellem Strahlungsdampferzeuger und mit einem Gasturbinen-Heizkraftwerk mit zusatzgefeuerten Abhitze-Dampferzeuger und Dampfturbine

2.4 Résumé Versorgungsstrategie

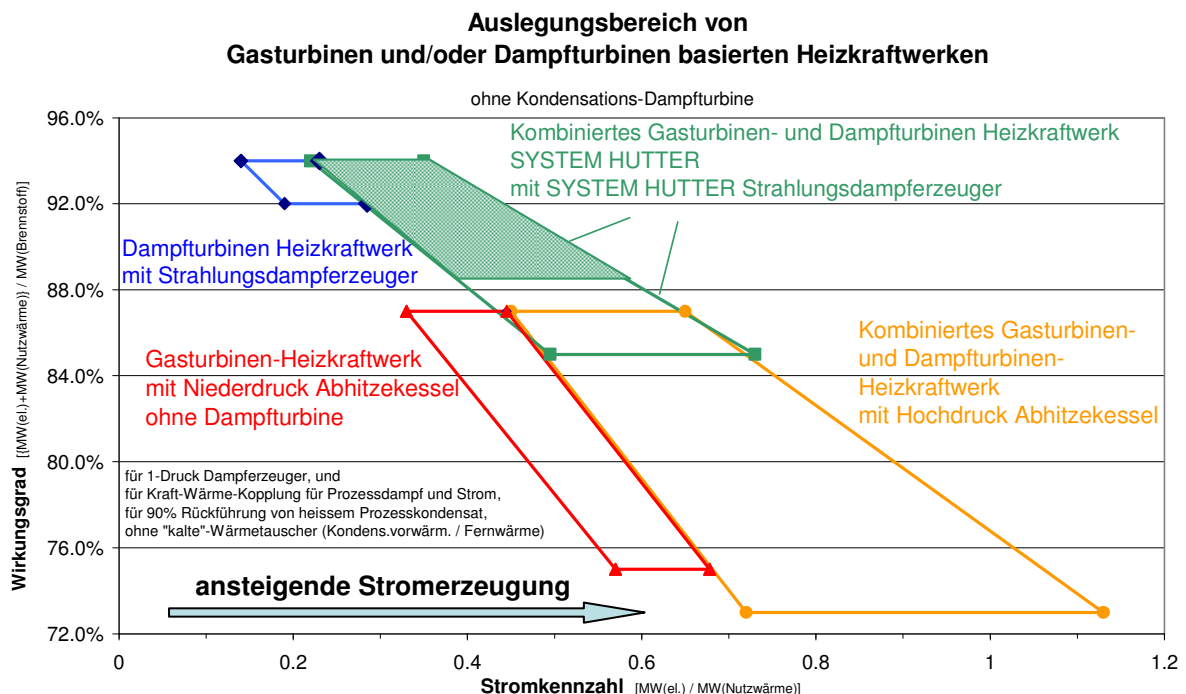
Aus den vorgenannten Erläuterungen ergibt sich nach unserem Kenntnisstand folgende Energieversorgungsstrategie für die Papier- und Kartonherstellung, die lautet:

- möglichst autarke Eigenversorgung mit Elektrizität und Wärme mit ausreichender Reserve.
- Investition in Eigen-Erzeugungsanlagen mit best möglichem Gesamtwirkungsgrad.
- Untersuchung einer Reststoffverbrennungsanlage mit optimaler Integration in die KWK- Anlage, wobei auch die Versorgung während den geplanten Stillständen der Reststoffverbrennung einzubeziehen ist.

Für eine Investitionsentscheidung ist eine hohe Wirtschaftlichkeit eine ausschlaggebende Voraussetzung für den Einsatz einer KWK- Technologie in der Papier- bzw. Kartonindustrie. Darüber hinaus spielen auch die technischen Fähigkeiten einer KWK- Anlage und die gewählte Technologie für die Unternehmensentscheidung eine ebenso wichtige Rolle.

Ein hoher Brennstoffnutzungsgrad ist, wie oben abgeleitet, eine Basisforderung an heutige Heizkraftwerke. Um sich in der Vielfalt der heute am Markt angebotenen turbinen-basierten KWK- Technologien orientieren zu können, möge das Diagramm in Bild 6 eine Hilfestellung geben. In Bild 6 sind in vereinfachter Darstellung über der Anlagen- Stromkennzahl Felder eingezeichnet, welche die Konstruktionsgrenze verschiedener Turbinen-basierter KWK- Technologien ausweisen. Der Brennstoffnutzungsgrad ist dabei auf der Ordinate angegeben.

Heizkraftwerke mit Strahlungsdampferzeuger, sowohl reine Dampfturbinen- Heizkraftwerke als auch Heizkraftwerke mit kombiniertem Gasturbinen- und Dampfturbinenprozeß mit Strahlungsdampferzeugern wie z.B. das SYSTEM HUTTER, die einen Brennstoffnutzungsgrad zwischen 88 und 93 % erreichen, stellen dabei die überlegene Technik dar.



Bemerkung: Dieses Diagramm zeigt den möglichen Bereich der 100% Lastpunkte, aber nicht den Betriebsbereich von einer bestimmten Anlage

Bild 6: Auslegungsbereich von turbinen-basierten Heizkraftwerken

3 Zusammenfassung

Privatwirtschaftlich geführte Unternehmen besitzen ca. 80 % des Wärmekraftpotentials der Bundesrepublik Deutschland [1]. Für die weitere Erschließung dieses Potentials stehen technisch hochwertige Kraft- Wärme- Kopplungsanlagen mit kombiniertem Gasturbinen- und Dampfturbinenprozeß (GuD- Heizkraftwerke) zur Verfügung, die höchste Brennstoffnutzungsgrade bis zu 93 % erreichen. Fachgerecht ausgelegte Heizkraftwerke sind eine Kapitalanlage mit einer Rendite (Internal Rate of Return) von über 25 bis 30 %. Sie tragen nicht nur zur Entlastung des landesweiten CO₂- Ausstoßes bei, sondern schaffen auch eine Unabhängigkeit von der öffentlichen Elektrizitätsversorgung, deren Zeitverfügbarkeit unter den herrschenden Versorgungsszenarien nur schwer sicherzustellen sein wird.

Abgesehen von Energieeinsparungen sind hochwertige erdgasbefeuerte Heizkraftwerke mit hohen Brennstoffnutzungsgraden für die industrielle Anwendung, Reststoffverbrennungsanlagen, Müllheizkraftwerke sowie eine großräumige Elektrizitätsversorgung auf der Grundlage von Wasserkraft, der Wasserstofftechnik und im gewissen Maß auch der Windenergie und inländischer Biomasse diejenigen Lösungsansätze, die es uns über Generationen erlauben werden, das lebenswichtige CO₂- Gleichgewicht zu erhalten und einen Wohlstand zu wahren.

Literatur:

- [1] Wirtschaftlichkeit und Potential der gekoppelten Kraft- und Wärmewirtschaft in der Bundesrepublik, F. Hutter et al., Resch Verlag 1986
- [2] Dachverband IGU international Gas Union; Auszug veröffentlicht in FAZ Nizza 06.06.2000
- [3] Erdöl Energie Informationsdienst, Auszug veröffentlicht in FAZ Hamburg 04.10.2000
- [4] National Economics Development Office, Investment Appraisal London, Her majesty's Stationary Office 1971

* Friedrich Hutter, Geschäftsführer von FRIEDRICH HUTTER GMBH, Klauflügelweg 6, D-88400 Biberach an der Riß, Telefon +49 7351 372541; und Geschäftsführer von HUTTER FREI POWER GMBH, Sonnhaldenweg 11, CH-5610 Wohlen (Schweiz)