



Moderne Dampfmaschinen

K. Brinkmann
FernUniversität Hagen, Elektrische Energietechnik
Feithstraße 140, 58084 Hagen
Tel.: (02331) 987-1182, Fax: (02331) 987-357
e-mail: klaus.brinkmann@fernuni-hagen.de

1 Einleitung und Zielsetzung

Ein Energieversorgungssystem welches sich in zunehmendem Maße auf regenerative Energieträger stützt, muss sich aufgrund des natürlichen Verfügbarkeitscharakters auf eine fortschreitende Dezentralisierung einstellen. Dies wird auch den Dampfkraftprozess betreffen, der sich in besonderem Maße für die Nutzung von Biomasse jeglicher Art anbietet. Da Dampfmaschinen bei den dabei erforderlich werdenden Leistungsstufen Vorteile gegenüber Turbinen aufweisen können, ist damit zu rechnen, dass die Nutzung solcher Maschinen zunehmend attraktiver wird, insbesondere bei Kraft-Wärme-Kopplungen.

Aber auch aus einem zunächst vielleicht nicht zu vermutenden Bereich kommen ungeahnte moderne interessante Impulse für technische Weiterentwicklungen der Dampfmaschine, nämlich aus dem Automobilsektor, initiiert durch die amerikanische Abgasgesetzgebung.

Im Folgenden wird das Prinzip des Dampfmotors erläutert und anhand ausgewählter Beispiele gezeigt, welche rege Entwicklungsaktivitäten derzeit stattfinden, um die Vorteile des Dampfkraftprozesses auch in Zukunft unter veränderten Rahmenbedingungen effektiv und vielfältig nutzen zu können. Dabei wird sowohl auf die konzeptionellen Fortschritte gegenüber der 'klassischen' Dampfmaschine eingegangen, als auch auf moderne technische Details.

Die abschließenden Ausführungen sollen ein Gefühl dafür vermitteln, durch welche ein hohes Maß an Flexibilität sich die Einsatzmöglichkeiten moderner Dampfmaschinen auszeichnen. Möglicherweise gelingt es Phantasien und Motivationen für weiterführende Innovationen zu erwecken, insbesondere zur Nutzung von (fester) Biomasse.



2 Historische Entwicklung der Dampfmaschine

Die Erkenntnis, dass Dampfkraft zur Bewegungserzeugung genutzt werden kann ist schon sehr alt. Schon vor 2000 Jahren gab es erste Versuche, Wasserdampf als Arbeitsmedium zur Bewegung allerlei Vorrichtungen zu benutzen. Es dauerte jedoch bis zum Ende des 18. Jahrhunderts, ehe die ersten Dampfmaschinen in der uns heute bekannten Wirkungsweise entstanden.

Im Jahre 1695 hat Dionys Papin ein Modell einer Dampfmaschine ausgeführt, wobei ein Dampfvolumen unter Zugabe von kaltem Wasser kondensierte. 1699 wurde dieses Prinzip zur Hebung von Wasser durch Savery genutzt.

Die erste eigentliche Dampfmaschine wurde 1705 von Newcomen konstruiert. James Watt führte viele Verbesserungen in der Dampfmaschinentechnik ein. Unter anderem automatisierte er das bisher von Hand vorgenommene Öffnen und Schließen der Hähne auf mechanischem Wege. Weiterhin baute er einen besonderen Kondensator. So realisierte Watt 1768 die erste für verschiedene Zwecke geeignete Dampfmaschine, eine sogenannte Balanciermaschine mit 1,3 bar. Um 1802 wurden dann Maschinen gebaut, die mit einem Dampfdruck von 3 bis 4 bar arbeiteten. Später wurde ein Bereich von 4 bis 6 bar bevorzugt. Diese Entwicklung war eng mit dem Fortschritt beim Kesselbau verknüpft, um die erforderlichen Druckbehälter bauen zu können.

Weitere Drucksteigerungen gingen mit der Entwicklung mehrstufiger Maschinen einher (9 bis 12 bar). Man erreichte damit um das Jahr 1900 mechanische Wirkungsgrade von etwa 15%.

Um 1930 konnte man die Dampfmaschinen grob nach der Anzahl der Expansionsstufen klassifizieren.

Tabelle 1: Klassifizierung von Dampfmaschinen um 1930

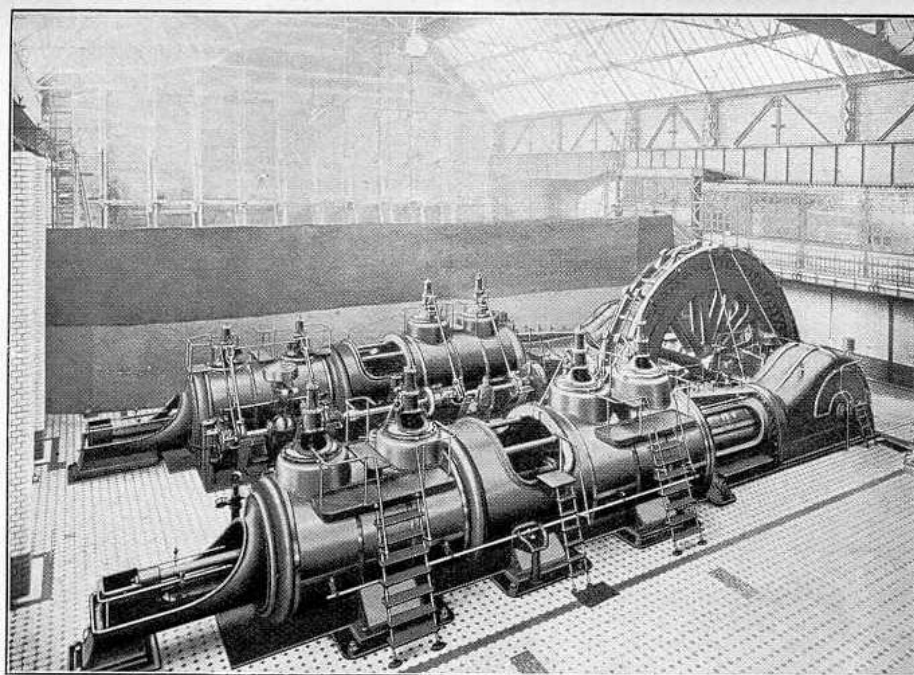
Druck [bar] absolut	Eintrittsdruck	Austrittsdruck	Austrittsdruck
		Auspuffbetrieb	Kondensation
Einfachexpansion	8 - 12	1,0	0,25 – 1,0
Zweifachexpansion	10 - 15	1,0	0,25 – 1,0
Dreifachexpansion	12 - 18	1,0	0,25 – 1,0



Beginnend mit der Nutzung zur Entwässerung von Tiefschächten, fanden sich für die Dampfmaschine schnell vielfältige Einsatzmöglichkeiten als Zug- und Antriebsmaschine in der Industrie (z.B. Textilindustrie) und im Transportwesen (Lokomobile, Dampfschiff, Dampflokomotive).

Ab 1866 entstand eine erhebliche zusätzliche Nachfrage nach Dampfmaschinen, denn Werner von Siemens hatte den Generator zur Stromerzeugung erfunden.

Im Jahre 1884 nahm die Deutsche Edison Gesellschaft, aus der später die Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft (AEG) hervorging, in Berlin die erste Blockstation in Betrieb und leitete damit die flächendeckende Stromversorgung ein. Vier Dampfmaschinen mit einer Leistung von jeweils 65 PS trieben jeweils einen Gleichstromgenerator zur elektrischen Versorgung von 1800 Glühlampen und 18 Bogenlampen an.



Kolbendampfmaschine mit Drehstromgenerator von 6000 PS
Berliner Elektrizitätswerke, Moabit (Maschinenfabrik Augsburg-Münchberg).

Abb. 1: Dampfkolbenmaschine um 1905 /<www.maschinenmuseum.de/>

Die Erfindung der Dampfturbine in den Jahren 1893 und 1894 durch Gustav de Laval und Charles Algeron Parsons leitete das Ende der Dampfmaschinenzeit ein.



Für die angestrebten immer größeren Leistungen erwiesen sich die Dampfturbinen eindeutig als vorteilhaft gegenüber den Kolbendampfmaschinen, sowohl vom Materialeinsatz als auch bezüglich ihrer Effizienz. Dampfturbinenanlagen leisteten schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts bis zu ein Megawatt. Die Firma Brown, Boveri & Cie (BBC) stattete 1914 das Kraftwerk Elverlingsen in Westfalen mit dem damals bei 30 Megawatt stärksten Turbomaschinensatz überhaupt aus.

Bei diesen Größenordnungen erwies sich die Dampfmaschine als zu teuer und zu schwerfällig, um bei der Stromerzeugung mithalten zu können. In der Industrie und im Gewerbe wurde sie in Folge immer mehr durch Elektro- und Benzinmotoren verdrängt.

Trotzdem hat sich die Kolbendampfmaschine in Nischenbereichen bis heute behauptet und sogar weiterentwickelt. Auf dem Gebiet der ehemaligen DDR haben sich noch einige Maschinen aus vergangener Zeit erhalten. So versahen zum Beispiel in der Zuckerrübenfabrik Oldisleben, heute zur Fa. Südzucker gehörend, noch sechs Dampfveteranen unterschiedlicher Typen ihren Dienst /BETON 1994/.

Heutzutage gibt es kommerziell erhältliche Dampfmaschinen für Frischdampf bis zu 500°C bei Drücken von 6 bis 60 bar. Der übliche Leistungsbereich liegt zwischen 40 kW und 2500 kW, dies sowohl für einen Direktantrieb als auch zur Stromerzeugung. Aktuelle Entwicklungen von Dampfmaschinen zielen gar auf einen Druck von maximal 100 bar und eine Temperatur von bis zu 900°C zur Energiewandlung an, damit diese auch als Kraftfahrzeugantrieb dienen können /IAV 2000/. Der heutige Stand der Technik wird in Abschnitt 4 beschrieben.

Zum Abschluss dieses Abschnitts findet sich eine interessante Betrachtungsweise des Industriehistorikers Artur Fürst aus dem Jahre 1927 zur Dampfkraft:

"Feuer und Wasser sind Gegensätze, die einander ausschließen wie Gut und Böse oder Hell und Dunkel. Das Wasser vernichtet das Feuer.... Wer hätte ahnen können, dass gerade Feuer und Wasser, in einem gemeinsamen Behältnis zusammengespart, nur durch eine dünne Wand voneinander getrennt, der Menschheit die mächtigsten Helfer sein würden..." /BETON 1994/.

3 Dampfkraftprozesse

Ein Kreisprozess zeichnet sich dadurch aus, dass sich ein System anfangs und nach dem Ablauf des Prozesses im selben Gleichgewichtszustand befindet. Dies gilt auch für den "Clausius-Rankine-Prozess", der bei Dampfkraftmaschinen, wie Kolbendampfmaschinen und Dampfturbinen, durchlaufen wird, um Wärmeenergie in mechanische Energie umzuwandeln. Hierbei wird im allgemeinen Wasser verdampft bis zu einem defi-



nierten Arbeitsdruck und meist anschließend überhitzt, um dann in der Arbeitsmaschine entspannt zu werden. Danach wird der Abdampf in einem Wärmetauscher kondensiert und dem Prozess erneut zugeführt.

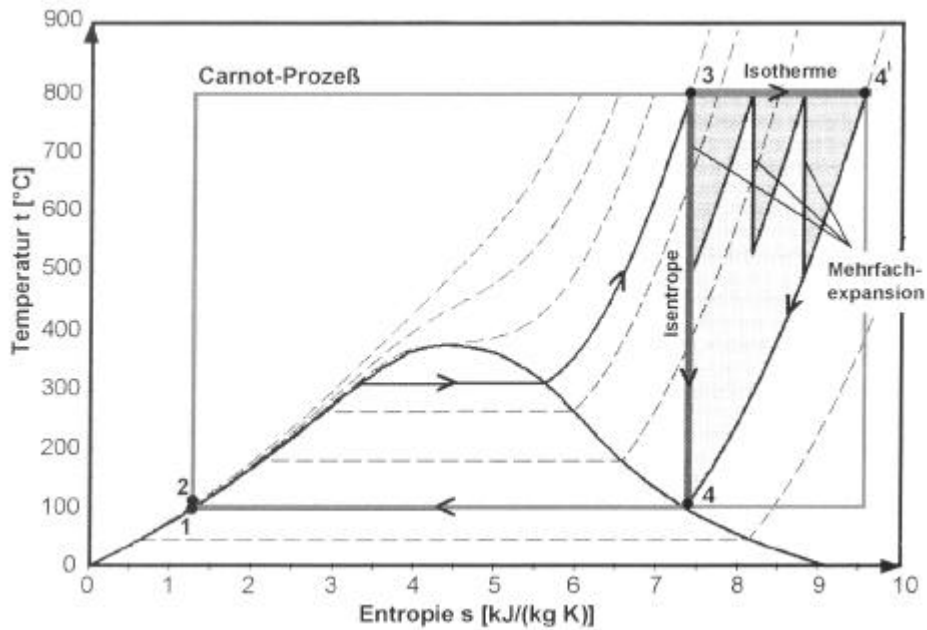
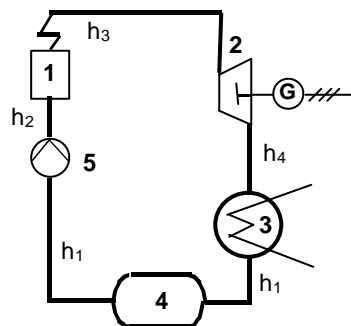


Abb. 2: Rankine-Prozess (3 @ 4) / Isotherme Expansion (3 @ 4') /IAV 2000/



- 1: Dampfkessel mit Überhitzer
- 2: Dampfmotor (oder Turbine)
- 3: Kondensator
- 4: Speisewasserbehälter
- 5: Druckerhöhungspumpe
- $h \equiv$ spezifische Enthalpie [kJ/kg]

Abb. 3: Verfahrensschema zum Rankine-Prozess

Der Rankine-Prozess ist ein Isobaren-Isentropen-Vergleichsprozess. Bei diesem Prozess durchläuft das Wasser verschiedene thermodynamische Zustandsbereiche. Diese sind 'heißes Wasser', 'Druck-Heißwasser', 'Nassdampf', 'Sattdampf' und 'Heißdampf'.

Aktuellere Entwicklungsarbeiten zu Dampfmaschinen zielen darauf ab, eine Modifikation des klassischen Rankine-Prozesses (isentrope Entspannung) zu nutzen. Diese stellt die sogenannte 'Isotherme Expansion' dar, bei welcher während des Entspannungsvorgangs Wärme zugeführt wird, um bei möglichst gleichbleibender Temperatur die umspannte Fläche des Kreisprozesses in Abb. 2 zu vergrößern. Dies ist gleichbedeutend mit einer Steigerung des Arbeitsvermögens.

Würde es gelingen bei einem Druck von 100 bar und 800°C die in Abb. 2 dargestellten Prozesse ideal durchzuführen, so ergibt sich für den Rankine-Prozess ein Wirkungsgrad von 36,8%, im Fall der isothermen Entspannung von 50,3%. Dabei markiert der zum Vergleich eingezeichnete ideale Carnot-Prozess mit einem Wirkungsgrad von 65,2% das dabei maximal überhaupt erreichbare obere Limit.

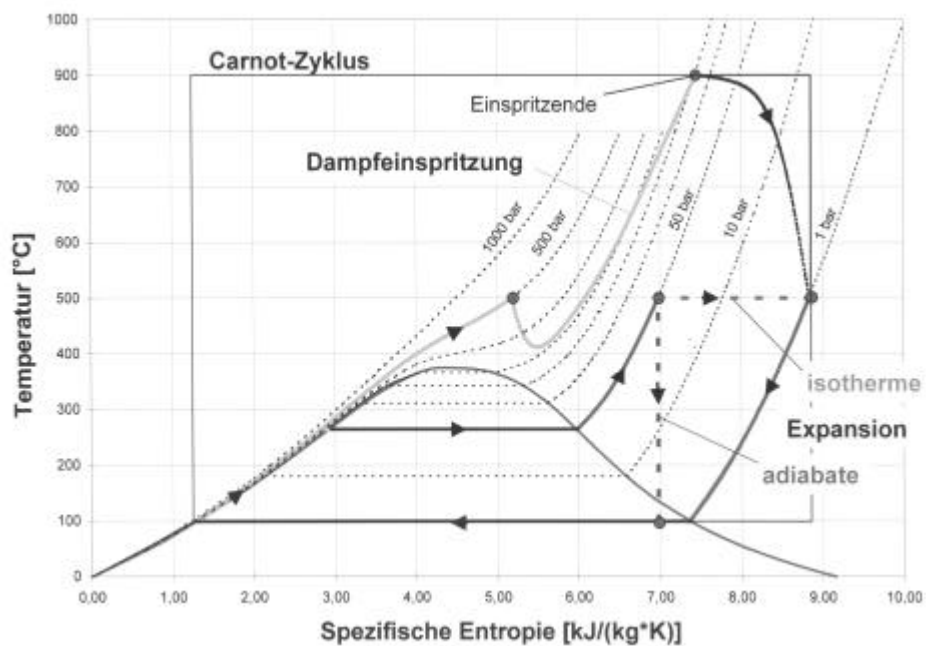


Abb. 4: Modifikation mit Dampfeinspritzung /ENGINION 2001/



Diese angestrebten Temperatur- und Druckbereiche stellen hohe Anforderungen an die Beständigkeit der einzusetzenden Materialien, so dass moderne Hochleistungswerkstoffe zum Einsatz kommen müssen. Mit einem Forschungsmotor ist bisher erfolgreich ein Betrieb bei 500°C und 50 bar getestet worden /IAV 2000/. Um bis zu 900°C und 100 bar vordringen zu können, wird derzeit an einer Dampfeinspritzung mit Hilfe speziell entwickelter Injektoren gearbeitet. Der dabei zugrunde zu legende Kreisprozess ist in Abb. 4 dargestellt /ENGINION 2001/.

Aus der Sicht eines Maschinenbauers stellt der Dampfmotor eine Kolbenmaschine dar, der dadurch gekennzeichnet ist, dass potentielle Energie in mechanische Energie umgewandelt wird.

Waren die ersten Dampfmaschinen noch sogenannte Volldruckmaschinen, bei denen der Dampf während der ganzen Zeit des Kolbenhubs durch einen geöffneten Schieberkanal in den Zylinder strömte, so erkannte man doch recht bald die energetischen und wirtschaftlichen Vorteile des Expansionsprinzips (Abb. 5).

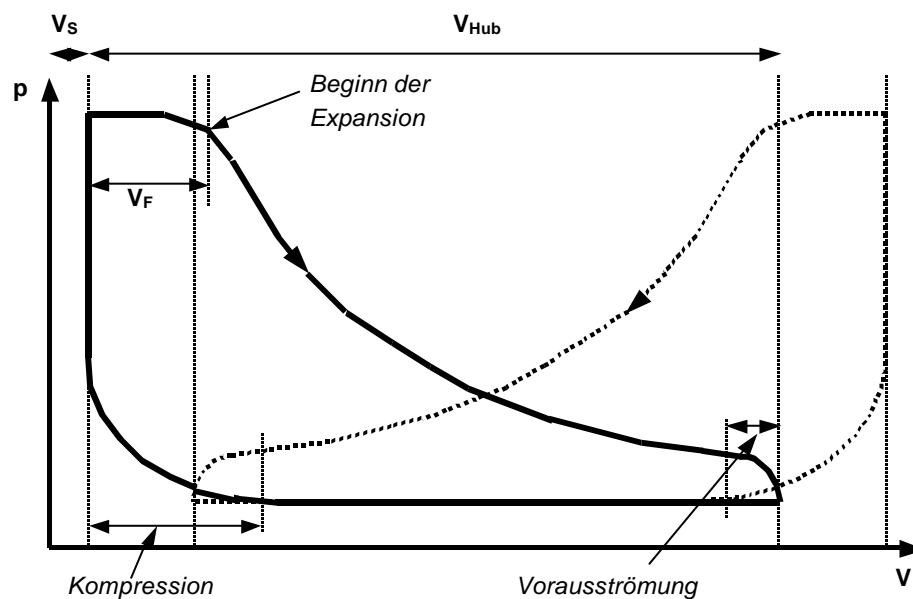


Abb. 5: Indikator- bzw. p,V-Diagramm eines Dampfmotors

Ein Hubkolben, der bei Dampfmaschinen häufig beidseitig im Wechsel mit Dampf beaufschlagt werden kann, bewegt sich in einem druckfesten Zylinder periodisch hin und her. Dadurch sind zwei Füllungen bei jeder Periode möglich (1-Takt-Motor).



Bei mehrstufigen Expansionen wird der aus einem Hochdruckzylinder ausströmende Dampf in einen nachgeschalteten Niederdruckzylinder weitergeleitet. Der Niederdruckzylinder hat dabei einen größeren Durchmesser. Bei einer sogenannten Tandemmaschine wirken beide Kolben auf eine gemeinsame Kolbenstange. Auch eine dreifache Expansion kann eingesetzt werden, wobei ein Mitteldruckzylinder zusätzlich integriert ist. Derartige Dampfmaschinen, bei denen mehrere Zylinder unterschiedlicher Größe zusammenarbeiten, bezeichnet man als Verbundmaschinen bzw. Compoundmaschinen /BETON 1994/. Diese Maschinenarten sind auch heute noch relevant.

Aber man findet heute auch Konstruktionen mit 2-Takt-Motoren sowie Kreiskolbenmotoren, Schraubenmotoren und etliche neue phantasievolle innovative Ansätze.

Der Kondensator entzieht dem Abdampf seine verbliebene thermische Energie, welche wenn möglich genutzt werden sollte. Die Kraft-Wärme-Kopplung mit Hilfe eines Dampfmotors hat je nach Wärmeauskopplung über Dampf oder Wasser einen Einfluss auf den Druck des Abdampfes und somit auf den Anteil an erzeugter mechanischer Energie. Dieser Umstand ist bei der Planung von KWK-Anlagen zu berücksichtigen.

Vorteilhaft ist, dass eine Dampfmaschine bis zu einem Viertel der Nennleistung heruntergefahren werden kann, ohne nennenswerte Effektivitätseinbußen /KWK 1996/.

4 Dampfmaschinen heute und aktuelle Entwicklungen

Die folgende Zusammenstellung zeigt eine Auswahl an heute verfügbaren Dampfmaschinen sowie einige moderne Entwicklungen. Da diese Aufstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben kann, wird um Nachsicht gebeten, wenn die eine oder andere Firma bzw. Entwicklung hier nicht berücksichtigt wird und nicht alle Details genannt werden können.

Zu den derzeit auf dem Markt erhältlichen Kolbendampfmaschinen gehören die Motoren der Firma SPILLINGWERK aus Hamburg. Die 1890 gegründete Firma hat ihre Wurzeln im Schiffsbau und zunächst Kolbendampfmaschinen für den Schiffsantrieb konstruiert und gebaut. Weiterentwicklungen ihrer Dampfmaschinen hin zum Baukastendampfmotor führten ab 1950 zum weltweiten Einsatz dieser Motoren.

Der 'Spillingmotor' ist ein modular aufgebaute Kolbenexpander. Er ist speziell für den Einsatz in kleinen und mittleren Dampfkraftanlagen konzipiert, die in erster Linie als Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen betrieben werden.



Die Motorenleistung dieser Maschinen wird mit 20 bis 1200 kW angegeben mit Dampfeintrittsdrücken von 6 bis 60 bar bei möglichen Gegendrücken von 0 bis 25 bar, und die Antriebsdrehzahlen für Generatoren betragen 750 bis 1500 min^{-1} /SPILLING/.

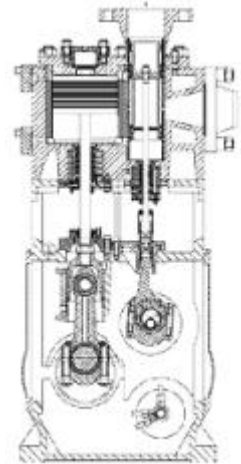
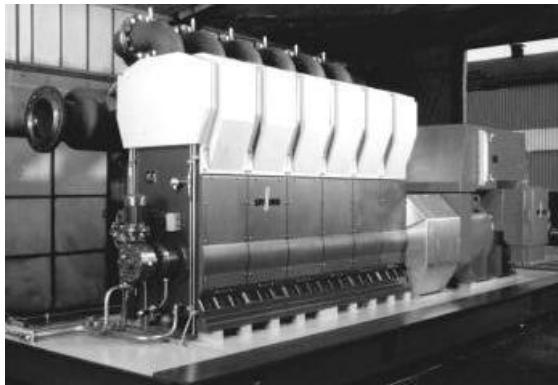


Abb. 6: Spilling-Dampfmotor und Schnittbild /SPILLING/

Der Motor ist sowohl für Heißdampf als auch für Sattdampf erhältlich. Eine wesentliche Neuerung der letzten Jahre ist die Umstellung auf ölfreie Trockenlauftechnik. Dies hat zur Folge, dass kein Öl mehr in den Dampf eingespritzt werden muss, um Kolben und Schieber zu schmieren. Das Kondensat braucht nicht mehr aufbereitet zu werden.

Eine innovative grundlegende Neuentwicklung mit Hilfe moderner Werkstoffe stellte im vergangenen Jahr die Firma IAV (Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr) aus Berlin vor. Seit Mitte der 90er Jahre wurde dort unter der Projektbezeichnung 'ZEE – Zero Emission Engine' an der Entwicklung eines Dampfkolbenmotors gearbeitet. Mit derartigen Maschinen, die mit der Zielsetzung eines besonders niedrigen Schadstoffausstoßes konzipiert wurden, könnten sowohl Kraftfahrzeuge als auch stationär arbeitende Blockheizkraftwerke ausgerüstet werden /IAV 2001/.

Die Schadstoffemissionen sollen die amerikanische 'SULEV'-Abgasnorm erfüllen. SULEV bedeutet 'Super Ultra Low Emission Vehicle', welche im Jahr 2003 in 23 Staaten der USA in Kraft tritt. Sie besagt, dass Automobilhersteller dort zehn Prozent ihrer Neuwagen mit Motoren anbieten müssen, die praktisch kaum noch Schadstoffe produzieren.

Den Schlüssel zu einem dafür erforderlichen extrem schadstoffarmen Brenner zur Dampferzeugung lieferten hierbei Entwicklungen zum sogenannten 'Porenbrenner' des Erlanger Lehrstuhls für Strömungsmechanik (LSTM). Ein Porenbrenner arbeitet nicht mit einer offenen Flamme, sondern die Verbrennung findet in den Hohlräumen der Porenstruktur des Brenners statt. Damit ist in gut formbarer kompakter Bauweise, bei gut kontrollierbarer Temperaturbilanz im Brenner, eine besonders effektive und gut regulierbare Nutzung der thermischen Energie möglich /DURST 1998/.

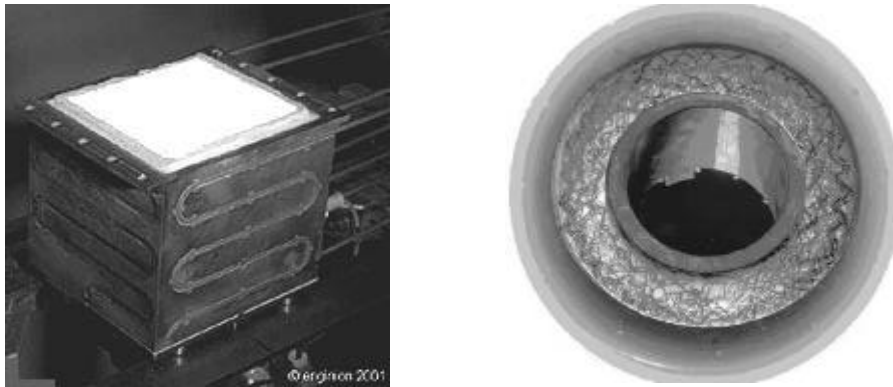


Abb. 7: Porenbrenner für den Dampfmotor /IAV 2000/, /ENGINEION 2001/

Die Verbrennung innerhalb poröser Medien mit Hilfe eines Porenbrenners ist erst ein junger Zweig der Verbrennungstechnik. Die Verbrennungsreaktionen finden hierbei in den Hohlräumen statt, deren Oberflächen/Volumen-Verhältnis so groß ist, dass ein ausreichender Wärmeübergang zwischen Fest- und Gasphase stattfinden kann, aber eine Ausbreitung der einzelnen Flammenfronten unterbunden wird. Dieser Zusammenhang kann mit Hilfe der dimensionslosen Péclet-Zahl Pe beschrieben werden. Diese Porenbrenner eignen sich prinzipiell zum Einsatz von gasförmigen und verdampfungsfähigen Brennstoffen.

Die erreichbaren niedrigen Schadstoffemissionen von zum Beispiel Kohlenmonoxid und Stickoxiden sind das Resultat der guten Wärmetransporteigenschaften des porösen Materials und der damit verbundenen Homogenisierung des Temperaturfeldes im Brennerraum. Die Maximaltemperatur der Verbrennung kann mit dieser Technik um einige hundert Kelvin erniedrigt werden /DURST 1998/.

Ein Dampfmotorbetrieb entsprechend der Kreisprozesse, wie sie in Abb. 2 und Abb. 4 dargestellt sind, stellt erhebliche tribologische Anforderungen an die eingesetzten Materialien. Um eine ausreichende Reib- und Verschleißfestigkeit zu erreichen, wählte



rialien. Um eine ausreichende Reib- und Verschleißfestigkeit zu erreichen, wählte man bei der IAV die Zylinderlaufbuchse aus Stahl und den Kolben aus Kohlenstoffkeramik. Damit ist es möglich die klassische Ölschmierung durch eine Wasserschmierung zu ersetzen, womit außerdem eine Verunreinigung des Speisewassers vermieden wird. Aufgrund seiner Emissionseigenschaften wird dieser Motor als Zero Emission Engine (ZEE) bezeichnet /IAV 2001/.

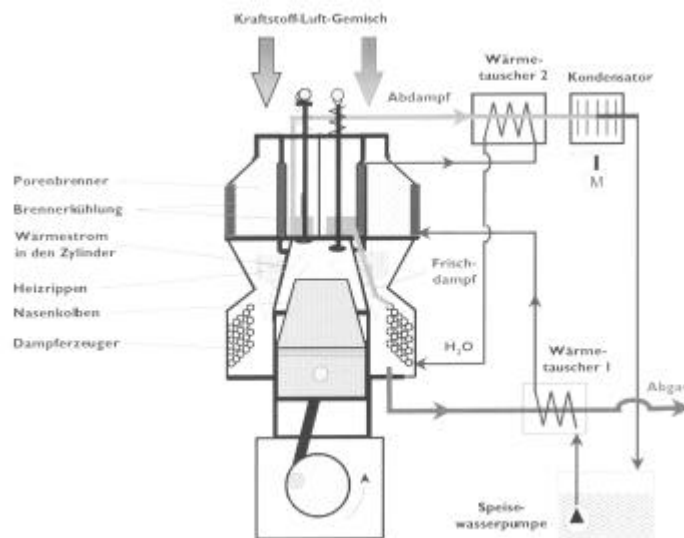


Abb. 8: Schema des Forschungsmotors ZEE 02/ IAV 2000/

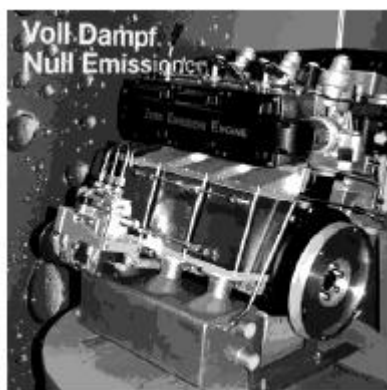


Abb. 9: ZEE 03 mit Überhitzer /ENGINION 2001/, /IAV 2001/



Die Abb. 8 zeigt das Schema eines Forschungsmotors, der für das Prinzip der Isothermen Expansion (Abb. 2) ausgelegt und getestet wurde. Abb. 9 stellt das weiterentwickelte Nachfolgemodell dar, welches mit Injektoren sowie Überhitzer ausgestattet ist.

Nach den Angaben der IAV ist der 3-Zylinder-Motor ZEE03 mit einem Hubraum vom 992 cm^3 für eine Nennleistung von 50 kW projektiert.

Angaben zu Versuchsergebnissen, bei dem bisherigen Entwicklungsstand des ZEE-Projektes, weisen Emissionswerte auf, welche die SULEV-Grenzwerte um mehr als 75% unterbieten. Dabei liegen Kohlenwasserstoffe und CO unter der Nachweisgrenze. Der Wirkungsgrad wird derzeit im Bestbereich mit 24% beziffert, bei einer Dampftemperatur von 500°C und 50 bar Dampfdruck. Die Entwicklungspotentiale dieses Dampfmotorprojektes gelten als noch nicht völlig ausgeschöpft /IAV 2001/.

Zuständig für die Entwicklungsarbeiten und die Vermarktung der ZEE-Ergebnisse bei der IAV ist TEA, das 'Technologiezentrum Emissionsfreie Antriebe' /<www.iav.de>/.

Während das TEA sich auf den Fahrzeugantrieb konzentriert, soll die neu gegründete unabhängige ENGINION AG in Berlin die Vermarktung der sogenannten 'Auxiliary Power Units' (APU) übernehmen. Derzeitiges Kernprodukt dieser Gesellschaft ist eine 'Zero Emission Micro Power Unit' (Zero Emission MPU) /<www.enginion.com>/.

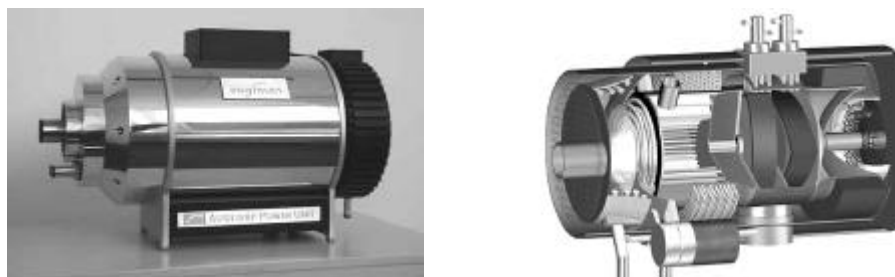


Abb. 10: Zero Emission Micro Power Unit /ENGINION 2001/

Es handelt sich dabei um einen Kreiskolben-Dampfmotor für einen ölfreien Betrieb im kleinen Leistungsbereich. Damit kann sowohl Strom als auch Wärme in einem steuerbarem Verhältnis bereitgestellt werden. Ein derartiger Motor, für zum Beispiel max. 6 kW elektrisch und max. 25 kW thermisch, wiegt 32 kg und hat die Maße L: 470 mm, H: 280 mm und D: 280 mm. Garant für die 'Zero Emission' ist auch hier das Porenbrennerprinzip /ENGINION 2001/.



An einer weiteren andersartigen Entwicklung eines Dampfmotors wird an der UNIVERSITÄT DORTMUND gearbeitet, den das Fachgebiet Fluidenergiemaschinen (FEM) in das dortige Blockheizkraftwerk der Universität integriert hat /KAUDER 2001/.

Hierbei handelt es sich um einen selbst entworfenen und gebauten dampfbetriebenen Schraubenmotor. Der dafür erforderliche Dampf wird mit der Abwärme des BHKW's gewonnen.

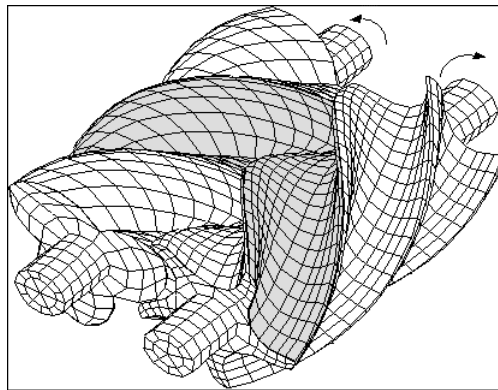


Abb. 11: Expansionsvorgang beim Schraubenmotor /KAUDER 2001/

Dieses Konzept zielt auf den unteren Leistungsbereich bei mittlerem bis niedrigem Temperaturniveau. Ein wesentlicher Vorteil dieser Konstruktion ist die Fähigkeit auch mit Nassdampf betrieben zu werden. Als Nachteil wird die Begrenzung des Dampfdrucks angegeben.

In Dänemark wird an einem Prototyp eines modernen zweistufigen Dampfmotors gearbeitet. Diese Entwicklung nutzt derzeit einen Dampfdruck von 24 bar bei einer Dampftemperatur von 380°C. Die Kolbenringe bestehen aus ölfreien Kohlefasern und die Ventile werden hydraulisch gesteuert. Das Projekt wird von dk-TEKNIK sowie der Ingenieurfirma MILTON ANDERSEN durchgeführt und von der dänischen Energiebehörde sowie der EU bezuschusst.

Bei erfolgreichem und zufriedenstellendem Probeablauf soll ein Dampfmotor für 70 bar und 550°C gebaut werden. Ein kommerziell verfügbares Produkt in der Größenordnung von 1 MW_{el} und einem Nettostromwirkungsgrad von 20% kann dann zwischen 2000 und 2005 auf den Markt gebracht werden /dk-TEKNIK/.



Leider ist es hier nicht möglich alle modernen Dampfmotor-Entwicklungen darzustellen. In der Literatur und den internationalen Internetpräsentationen findet man eine Vielzahl von interessanten Entwicklungen und Produkten aufgeführt, welche veranschaulichen, wie vielschichtig und vielseitig die Entwicklungsaktivitäten zu modernen Dampfmotoren derzeit sind und welche Ideenreichtum dabei zum Tragen kommt.

5 Einsatzmöglichkeiten für moderne Dampfmaschinen

Derzeit werden Dampfmotoren hauptsächlich in Blockheizkraftwerken eingesetzt. Das Prinzip der externen Verbrennung erlaubt einen maximalen Freiheitsgrad bezüglich der Brennstoffauswahl. Daher eignet sich ein Dampfmotor insbesondere vorzüglich für den Einsatz von (fester) Biomasse in Kraft-Wärme-Kopplungen, wobei diesem Nutzungsprinzip in Zukunft eine gewisse steigende Bedeutung zukommen wird.

Wenn das Ziel der Europäischen Kommission, bis zum Jahre 2010 einen Anteil von 12% des Bruttoinlandenergieverbrauchs durch erneuerbare Energien zu decken, erreicht werden soll, beliefe sich der Beitrag von Biomasse auf 56,8%, was für diesen Energieträger einen Zuwachs von etwa 75% bedingt.

Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) mit Hilfe von Biomasse ist eine überaus sinnvolle Ergänzung zur Sonnen- und Windenergie. Der prinzipiell steuerbare Einsatz von Biomasse kann zukünftig den stochastischen Angebots- und Verfügbarkeitscharakter von PV-Systemen und Windkraftanlagen ausgleichen, in der Form von geschickt abgestimmten, hybridsystemartigen komplexeren Stromversorgungsstrukturen. Dabei ist es je nach Verbrauchscharakteristik und Auslegung nicht unbedingt erforderlich, allzu hohe Anforderungen an den elektrischen Wirkungsgrad der KWK mit Biomasse zu stellen /BRINKMANN 2000/.

Dampfkolbenmaschinen, insbesondere von der Firma SPILLING, werden heute schon in einem nennenswerten Umfang bei der Verwertung von Biomasse eingesetzt. Dabei liegt der Schwerpunkt eindeutig bei der Nutzung von fester Biomasse wie zum Beispiel Restholz. Aber auch Stroh und ähnliche feste Stoffe aus der Landwirtschaft kommen in Frage, wie zum Beispiel Entwicklungen in Dänemark zeigen /dk-TEKNIK/.

Derzeit werden in Bayern immerhin um die 40% aller Kraft-Wärme-Kopplungen für Holzbrennstoffe mit Dampfkolbenmotoren betrieben. Dabei werden elektrische Wirkungsgrade bis zu 16% erreicht /HARTMANN 1996/.

Der elektrische Wirkungsgrad hängt natürlicherweise stark von den Dampfparametern und von den Auskopplungsbedingungen für die Wärmeversorgung ab.



Spillingmotoren erreichen bei Holzverbrennungen in einem Regelbereich von 50-100% elektrische Nettowirkungsgrade von 5% bis 11% /FINK 2000/.

Aber Dampfkolbenmotoren haben sich auch bei der Nutzung von industrieller Abwärme aus Produktionsanlagen bewährt. Auch für einen GUD-Betrieb im unteren Leistungsbereich lassen sich diese Maschinen durchaus sinnvoll einsetzen.

Eine weitere Nutzungsmöglichkeit besteht in einer Funktion als Gasentspannungsmotor, wie zum Beispiel über das Druckgefälle in der Erdgasversorgung zwischen Pipeline und Verbrauchernetz /SPILLING/. Ein Prinzip, das in gedanklicher Vorausschau auch eine Option für zukünftige Biogasversorgungen darstellen könnte.

Auch die Entwicklung des Schraubenmotors von der UNIVERSITÄT DORTMUND zielt auf Kraftwärmekopplung mit Biomasse, wie es am Beispiel des Thermie-Projekts im österreichischen Sachsenburg deutlich wird. Dort sollen in einem Sägewerk mit 24 bar Sattdampf über 700 kW_{el} erzeugt werden /BioMatNet 1998/.

Im kleinen Leistungsbereich unter 20 kW gibt es bisher nur wenig Ansätze für eine Nutzung von Kolbendampfmaschinen, um zum Beispiel in dezentralen Energieversorgungen für private Haushalte eingesetzt werden zu können. Wie Forschungsarbeiten an der FERNUNIVERSITÄT HAGEN zeigen, ist es durchaus möglich einen durchschnittlichen Privathaushalt in Deutschland mit Hilfe eines Hybridsystems, bestehend aus einer Photovoltaikanlage mit einem Dampfmotor als komplexes KWK-System, autark mit Strom und Wärme ganzjährig zu versorgen /BRINKMANN 1999/.

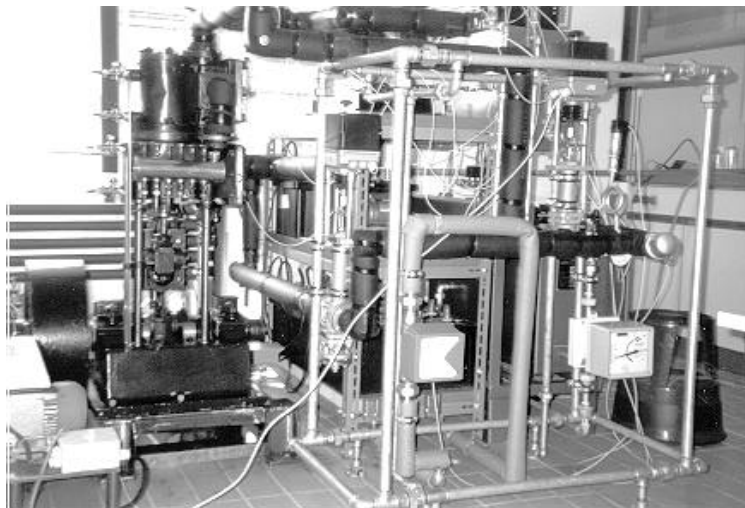


Abb. 12: Versuchsaufbau FernUni Hagen /BRINKMANN 1999/



Abb. 12 zeigt einen experimentellen Versuchsaufbau der FernUniversität Hagen, der zur systemtechnischen Analyse eines PV-Dampfmotor-KWK-Hybridsystems dient. Aufgrund der zu Beginn dieses Projektes fehlenden Verfügbarkeit eines marktreifen modernen Dampfmotors unter 5 kW, wurde auf eine klassische ältere Dampfmaschine zurückgegriffen, welche links im Bild erkennbar ist. Dabei konnte gezeigt werden, dass ein elektrischer Wirkungsgrad von 10% durchaus ausreichend ist. Eine Ergänzung durch eine Stromversorgung mit Hilfe einer Windkraftanlage reduziert die Anforderungen je nach Anlagenauslegung in den Bereich von 5%. /BRINKMANN 1999, /BRINKMANN 2000/.

Für derartige Anwendungsbeispiele im häuslichen Bereich, zeigen die Ansätze und Entwicklungen der Firma IAV zur Zero Emission Engine und insbesondere die 'Micro Power Unit' von der ENGINION AG hoffnungsvolle Perspektiven. Im Rahmen des Zero-Emission-Projektes hat die IAV auch ein KWK-Aggregat mit Dampfmotor entwickelt, wie es die Abb. 13 zeigt /IAV 2000/



Abb. 13: ZEE als BHKW /IAV 2000/

Außer der Nutzung von Biomasse oder Abwärmenutzung industrieller Prozesse sind aber auch noch weitere stationäre Einsatzmöglichkeiten moderner Dampfmotoren denkbar, wie zum Beispiel in solarthermischen Dampfkraftanlagen oder in der Geothermie. Für Anwendungen im niederen Temperaturbereich kann man auch statt Wasser einen anderen Stoff nutzen, wie dies in den sogenannten ORC-Prozessen (Organic-Rankine-Cycle) bereits geschieht.

Der Einsatz von modernen Dampfmotoren bleibt, wie schon die o.g. Entwicklung in der Autoindustrie zeigt, natürlich nicht auf stationäre Anwendungen beschränkt.



Was bei PKWs möglich ist, gilt natürlich auch für die Antriebe von Zügen und Schiffen, wie es auch früher schon der Fall war. Auch auf diesem Gebiet wird an einer Weiterentwicklung der klassischen Dampfmaschine gearbeitet. Diese Antriebe sind selbstverständlich ebenfalls potentiell für den Einsatz von Biomasse geeignet.

Als stellvertretendes Beispiel sei hier für Lokomotiven und Dampfboote die Firma DLM AG (Dampflokomotiv- und Maschinenfabrik) in der Schweiz genannt, welche Mitte letzten Jahres neu gegründet aus dem Sulzer Konzern hervorgegangen ist. Ziel dieser neuen Firma ist die Weiterentwicklung der modernen Dampftechnik./DLM 2001/.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Beginnend mit einem kurzen historischen Rückblick zur Entwicklung der Dampfmaschinen und deren Nutzung zur Industrialisierung, soll die darauffolgende Abhandlung zu Dampfkraftprozessen die auch heute noch gültigen potentiellen Möglichkeiten aufzeigen, welche der Energieträger Dampf bietet. Daraus lassen sich die modernen, heute aktuellen Dampfmaschinen und technischen Entwicklungen mit 'High-Tech'-Anspruch ableiten. Die einerseits zwingend notwendige fortschreitende Integration von Biomasse in thermische Kraftprozesse, und andererseits der technologische Fortschritt bei der Minimierung von Schadstoffemissionen bei Verbrennungsprozessen lässt auch die Nutzung von Dampfkraftprozessen in einem neuen Licht erscheinen. Dies und die der Nutzung erneuerbarer Energiequellen natürlicherweise innewohnende dezentrale Charakter erzeugt auch für einen modernen Dampfmaschine ein attraktives Einsatzfeld. Aus diesen Gründen wird in Zukunft mit Sicherheit auch der Dampfmaschine seinen Platz finden, in der sich abzeichnenden Vielfalt innovativer Energiewandler.

7 Literatur

- /BETON 1994/ Mattner, Dörich, Schaffer-Hartmann: Dampfmaschinen, Motor der Industriellen Revolution. Beton-Verlag, Düsseldorf 1994
- /IAV 2000/ Buschmann, Clemens, Hoetger, Mayr: Zero Emission Engine – Der Dampfmaschine mit isothermer Expansion. MTZ Motorentechnische Zeitschrift 61 (2000) Heft 5, Vieweg, Wiesbaden 2000 / <<http://www.iav.de>>: Tech. Veröffentlichungen 2000
- /IAV 2001/ Buschmann, Clemens, Hoetger, Mayr: Der Dampfmaschine – Entwicklungsstand und Marktchancen. MTZ Motorentechnische Zeitschrift 62 (2001) Heft 5, Vieweg, Wiesbaden 2001 / <<http://www.iav.de>>: Tech. Veröffentlichungen 2001



- /ENGINION 2001/ <http://www.enginion.com>: Ezee Technology, Equal Zero Emission Engine Technology. White Paper, enginion March 2001. / Zero Emission Micro Power Unit. enginion, August 2001
- /KWK 1996/ Schmitz, Koch: Kraft-Wärme-Kopplung, Anlagenauswahl – Dimensionierung – Wirtschaftlichkeit – Emissionsbilanz. VDI Verlag, Düsseldorf 1996
- /SPILLING/ Spilling Energiesysteme: Energy Systems. / T.S. Dampfmotor. / DAMPF KRAFT. Spilling Firmenprospekte 2000 / <<http://www.spilling.de>> 2000
- /DURST 1998/ Durst et al.: Porenbrennertechnik in der Energie- und Wärmetechnik. Bulletin SEV/VSE 21/98 / Der Porenbrenner in der Ölheizung. Wärmetechnik Versorgungstechnik 1/1998 / <<http://www.istm.uni-erlangen.de>> 2001
- /KAUDER 2001/ <<http://www.fem.mb.uni-dortmund.de/forschung/projekte>>: Stromerzeugung mit Schraubenmotoren. Uni Dortmund 2001
- /dk-TEKNIK/ <<http://www.videncenter.dk/uk/index.htm>>: Publications: Straw for Energy Production – Technology - Environment – Economy / Stroh als Energieträger. Center für Biomassetechnologie 1998 / <<http://www.dk-technik.com>> 2001
- /BRINKMANN 1999/ K. Brinkmann: Systemtechnische Untersuchung eines Hybridsystems bestehend aus Photovoltaikanlage und Dampfmaschine mit Kraft-Wärme-Kopplung. Dissertation 1999, FernUniversität Hagen, Fachbereich Elektrotechnik / <http://www.dissertation.de/html/brinkmann__klaus.htm>
- /BRINKMANN 2000/ K. Brinkmann: Dimensioning Principles of Hybridsystems Based on Renewable Energies including Wind Turbines and Combined Heat and Power. Wind Power for the 21st Century, Proceedings of the International Conference held at Kassel 2000, / <<http://www.wip-munich.de>> 2001
- K. Brinkmann; Dimensioning of Hybridsystems consisting of a PV-Generator and a Steam Engine with Combined Heat and Power for Private Households. 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Proceedings of the International Conference held at Glasgow UK 2000, / <<http://www.wip-munich.de>> 2001



- K. Brinkmann: Combined Heat and Power with Biomass and Solar Energy for Private Households with a Hybridsystem consisting of a PV-Generator linked to a Steam Engine. 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Proceedings of the International Conference held at Sevilla Spain 2000, / <<http://www.wip-munich.de>> 2001
- /HARTMANN 1996/ Hartmann: Energie aus Biomasse. Landtechnik-Bericht Heft 18, Landtechnik Weihenstephan TU München 1996
- /FINK 2000/ M. Fink (Spilling Werk GmbH Hamburg): Biomasse-Kraft-Wärmekopplungsanlagen mit Spilling-Dampfmaschinen. Protokoll der AG Biomasse vom 18.05.2000, TOP 2, Landesinitiative Zukunftsenergien NRW
- /BioMatNet 1998/ THERMIE BM./0059/98: Biomass fired CHP plant based on a steam screw-type engine cycle in Sachsenburg (Austria) / <<http://www.nf-2000.org/secure/Ec/S892.htm>> 2001
- /DLM 2001/ DML AG (Dampflokotiv- und Maschinenfabrik AG), Weisslingen Schweiz, Internetpräsentation 2001: <<http://www.dlm.ag/index2.htm>>