

WAS KÖNNEN WIR AUS DER ENTWICKLUNG DER WASSERMÜHLE IM FRÜHEN MITTELALTER ÜBER DIE ZUKUNFT DER ENERGIEVERSORGUNG LERNEN?

Thomas Hamacher

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching

1. Einleitung: Technologischer Wandel

Die nachfolgende Darstellung beruht zum Teil auf Vorträgen, die im Sommer 2000 in einer kleinen Konferenz über die Geschichte der Energie mit dem Titel "Das Feuer des Prometheus" im Teilinstitut des Max-Planck-Institutes für Plasmaphysik in Greifswald abgehalten wurde [prometheus].

Das Wechselspiel zwischen Mensch, Umwelt und Technologie prägt nicht erst seit der Industrialisierung das Bild des Planeten Erde nachhaltig. Der Mensch besass schon vor 40000 Jahren die Technologie, seine Umwelt zu verändern. Die Besiedlung Australiens durch den Menschen hat zum Beispiel die Flora des Kontinents nachweislich drastisch durch die Technik der Brandrodung verändert [pyne].

Im Zentrum dieser Betrachtungen soll aber vornehmlich die Entwicklung der Technik und die Frage, wie Mensch und Umwelt darauf Einfluss genommen haben, stehen. Vorab möchte ich eine Definition des Wortes Technik geben, da ,wie wir später sehen werden, Technik weit mehr umfasst als Bauteile aus Stahl und Glas:

"... Technik bezeichnet also nicht nur die vom Menschen gefertigten Gegenstände, sondern auch deren Entstehungs- und Verwendungszusammenhänge und die dafür erforderlichen besonderen Fertigkeiten. Technik ist in diesem Sinne kein isolierter, selbstständiger Bereich, sondern eng mit Wirtschaft, Gesellschaft, Politik und Kultur verflochten." [Brockhaus]

Worin liegt nun die besondere Bedeutung einer solchen Rückschau. Es soll der Versuch unternommen werden, Strukturen zu identifizieren, die es möglich machen, die Bedingungen zukünftiger Technologiewechsel besser zu verstehen und gegebenenfalls zu modellieren. Die Ökonomie tut sich bekanntlich von wenigen Ausnahmen abgesehen sehr schwer damit, Technik in ihre Modell aufzunehmen und neben Produktionsfaktoren wie Kapital und Arbeit zu stellen [Kümmel].

Ein Blick auf die Agenda dieser Tagung zeigt, dass hier um den Technologiewechsel gestritten wird. Die Begründung für den notwendigen Wechsel stellt die Problematik des Klimawandels dar; mögliche Techniken sind Brennstoffzelle, Spiegelsystem zur Warmwassererzeugung oder Kernfusion. Eine andere Verfahrensweise, die ich hier gleich auch als Technik bezeichnen möchte, ist die Einführung von Emissions-Handelsrechten. Sie ist natürlich ein

wirtschaftliches Lenkungsinstrument und überlässt die Wahl der Primärenergie und Wandlungstechniken dem Markt.

Nach einer kurzen Einführung, in der mit wenigen Worten noch einmal die gesamte Menschheitsgeschichte im Schnelldurchlauf vorbeiziehen wird, werden zwei bedeutende Energietechnologien in ihrer Entstehung und Ausbreitung beleuchtet: zuerst die Wasserkraft, die bis heute eine Stütze der Energieversorgung, aber insbesondere der Stromversorgung ist, und die Elektrifizierung, die heute mit ihren langen Armen auch ins letzte Kinderzimmer – in der industrialisierten Welt – reicht.

2. Blick in die Vergangenheit: ein erster Überblick über die Geschichte der Energie

Als erste Energiequelle außerhalb seiner eigenen Arbeitskraft hat der Mensch das Feuer genutzt. Wie der Mensch zum Feuer gekommen ist, können wir leider nur sehr unvollkommen rekonstruieren [Kaiser]. Es gibt nur wenige archäologischen Funde, die nur begrenzte Schlüsse zulassen. Die Wiege der Menschheit liegt in Afrika und hier finden sich auch die ersten Beweise für die Nutzung des Feuers durch den Menschen. Vor etwa 1.8 Mio. Jahren haben Hominiden – genauer Homo ergaster – in den Höhlen von Swartkrans im südlichen Afrika Feuer genutzt. An Knochenüberresten konnten Feuerspuren nachgewiesen werden, die kaum von einem Steppen- oder Waldbrand herrühren konnten. Wahrscheinlich hatten die Hominiden zu diesem Zeitpunkt noch keine Technik, um Feuer zu machen, sie waren auf Brände angewiesen, die aber in den afrikanischen Savannen- und Steppenlandschaften keine Seltenheit sind. Regelmässig kommt es nach Gewittern zu Bränden. Sicherlich war eine erste Aufgabe des Feuers die Verteidigung gegen wilde Tiere – vor allem Hyänen – die insbesondere in der Mittagszeit wie die Hominiden Höhlen aufsuchten, um Schutz vor der Hitze und der Fliegenplage zu erlangen. Die Nutzung des Feuers zur Nahrungsmittelbereitung ist erst vor 500 000 Jahren belegt. Quasi zeitgleich mit der ersten nachgewiesenen Nutzung des Feuers durch Hominiden kommt es zu Auswanderungswellen der Hominiden aus Afrika. Die Vermutung liegt nahe, dass der Mensch durch die Nutzung des Feuers eine ganz neue Unabhängigkeit von seinen natürlichen Feinden und vom Klima gewonnen hat. Zudem konnte er seine Ernährung auf eine breitere Grundlage stellen, da er jetzt rohes Fleisch braten konnte und es dadurch auch für den Mensch mit dem "schwachen" Essapparat geniessbar wurde. Trotzdem konnte diese Spekulation bis heute nicht eindeutig belegt werden.

In der Antike kennt der Mensch schon eine Reihe von Energiequellen: Biomasse, Tiere, Wind für Segelboote, Geothermie in Form von warmen Quellen, Wasserkraft (siehe weiter unten) und Öl. Trotzdem war die zentrale Energiequelle nach wie vor die menschliche Arbeitskraft.

Die Antike brachte dem Menschen auch die Fortschrittsdebatte – auch wenn dies natürlich eine nachträgliche Deutung ist. Aufgehängt hat sich diese Debatte nicht zuletzt an der Figur

des Titanen Prometheus. Dieser zeichnete letztlich dafür verantwortlich, dass der Mensch Feuer machen konnte. Schon die Antike kannte Verächter und Freunde des Feuers.

Freunde des Prometheus waren Aischylos und Platon. In den Texten dieser Autoren wird der Mensch ohne Technik als nackt (ohne Fell) und hilflos (ohne Klauen) dargestellt. Erst durch Technik (Nahrungsbereitung, Kleidung, Feuernutzung) schafft der Mensch sich eine angenehme Lebensgrundlage. (Hier sei angemerkt, dass die Entwicklungsgeschichte des Menschen diese These unterstützt; der Mensch, von den Bäumen auf den Boden gekommen, sah sich vielen übermächtigen Feinden ausgesetzt: die Beherrschung des Feuers bot hier einen einmaligen Schutz und hat wahrscheinlich erst das langfristige Überleben der Gattung Mensch ermöglicht).

Einer der prominentesten Verächter war der antike Kyniker Diogenes¹. Er hielt den Befürwortern entgegen, dass die ersten Menschen auch ohne Technik ausgekommen wären und nur die Verweichlichung den Einsatz der Technik heute herausfordere, bzw. fördere. Die Nachfolger des Diogenes tragen heute zum Teil massgeschneiderte Anzüge und ziehen Stuttgarter Automobile der Tonne vor.

Das Mittelalter führt dann zur massiven Verbreitung der Wasserkraft. Erst als Getreidemühle, dann, nach Entdeckung der Nockenwelle, in Schmieden usw. Auch im Mittelalter verbreitete sich die Windmühle, aber in keiner Weise so diversifiziert wie die Wassermühle. Zentrale Aufgaben waren das Mahlen des Getreides und das Schöpfen von Wasser. Letzteres war eine der Schlüsseltechnologien bei der Besiedlung Hollands [Kaijser]. Beide Technologien sind dabei stark an geographische Gegebenheiten gebunden. Die Windmühle entwickelte sich insbesondere mit der Blüte der Flämischen und Holländischen Hafenstädte, die keinen Zugang zur Wasserkraft hatten.

Die Grundlagen für die Dampfmaschine wurden im achtzehnten und die der Elektrifizierung im neunzehnten Jahrhundert gelegt. Verständnis von Mechanik, Thermodynamik und Elektrodynamik entwickelt sich zwar im gleichen Zeitraum, stand den Erfindern aber nicht immer zur Verfügung. Im zwanzigsten Jahrhundert traten dann Kernkraft und Photovoltaik als neue Techniken hinzu.

Zwei technische Veränderungen sollen im Detail besprochen werden, die Verbreitung der Wassermühle und die Elektrifizierung.

¹ Diogenes von Sinope, genannt der Kyniker, geboren um 400, gestorben zwischen 328 und 323 v.u.Z. Der Diogenes in der Tonne, der Alexander den Großen aufforderte, ihm aus der Sonne zu gehen, als dieser ihm anbot, ihm einen Wunsch zu erfüllen. Er kritisierte in seinem provokatorisch einfachen und asketischen Leben unreflektierte Bedürfnisbefriedigung und, unvernünftige Konventionen und gesellschaftliche Zwänge.

3. Die Wassermühle

Die Anfänge der Wassermühle liegen wahrscheinlich in Kleinasien. Die erste heute bekannte Beschreibung findet sich bei Vitruv (10,5,2) [Hägermann, 1997]:

Nach demselben Prinzip werden auch Wassermühlen getrieben, bei denen sonst alles ebenso ist, nur ist an dem einen Ende der Achse ein Zahnrad angebracht. Dies ist senkrecht auf die hohe Kante gestellt und dreht sich gleichmässig mit dem Rad in derselben Richtung. Anschliessend an dieses ist ein grösseres horizontal angebracht, das in jenes eingreift. So erzwingen die Zähne jenes Zahnrades, das an der Achse angebracht ist, dadurch, dass sie die Zähne des horizontalen Zahnrades in Bewegung setzen, eine Umdrehung der Mühlsteine. Bei dieser Machina führt ein Trichter, der darüber hängt, das Getreide zu, und durch dieselbe Umdrehung wird das Mehl erzeugt.

Wenn auch die in der älteren Literatur vertretene Annahme, dass die Wassermühle in der Antike gar keine Verbreitung gefunden, heute als nicht mehr haltbar gilt, zahlreiche Quellen und auch archäologische Funde beweisen das Gegenteil (wie die Mühlen in Barbegal in Südfrankreich), so bleibt doch festzuhalten, dass ihre Verbreitung im Vergleich zum Frühmittelalter klein war [Hägermann, 1997; Hägermann, 2001]. Seit Mitte des 7. Jahrhunderts lässt sich eine deutlich Zunahme der Mühlen nachweisen. Dieser Umstand hat schon früh zu Spekulationen geführt. Laut Karl Marx hat das Übermass an billigen Arbeitskräften in der römischen Sklavengesellschaft die frühe Verbreitung der Technik verhindert.

Wie kam es nun zur Verbreitung der Wassermühle im Frühmittelalter und wie konnte diese "elegante" Technik so an den Bedürfnissen der Antike vorbeigehen. Die Antwort lässt sich mit einem Bild aus der Biologie umschreiben. Bestimmte Tiere und Pflanzen können nur in einem bestimmten "Öko-System" bestehen. Genauso ist es mit verschiedenen Technologien. Der Übergang von der antiken, mediterranen Welt in die mittelalterliche, fränkische Welt stellt einen solchen Wechsel des "Öko-Systems" dar.

Die beiden Welten unterschieden sich in vieler Hinsicht. Zunächst einmal siedelten die Franken als ehemalige Viehzüchter in der Nähe von Flüssen, während die römische Villa vornehmlich auf Hügeln ohne direkten Zugang zu fliessenden Gewässern errichtet wurde. Hinzu kam eine deutliche Ausweitung des Getreideanbaus als Antwort auf die zunehmende demographische Kurve, sowie ein Wandel in der Technik der Landwirtschaft hin zu Pflügen, die von Ochsen gezogenen wurden. Als Folge nahm die Bedeutung des Getreides zu und damit wurden mehr Mühlen gebraucht. Eine weitere wichtige Veränderung war die Ausweitung des Lehnswesens mit ausgedehnten Herrengütern, umgeben von kleinen Höfen der Hörigen. Die Grundherrschaft verfügte über die Wasserrechte. Die Grundherrschaft verfügte über das nötige Kapital zum Bau von Wassermühlen und über die notwendigen "Genehmigungsrechte". Im Zentrum vieler Grundherrschaften lag oft ein Kloster. Die Verbindungen zwischen den Klöstern der einzelnen Orden führte zu einer raschen Verbreitung der Technik.

Es sind also eine Vielzahl von Veränderungen, die der Wassermühle die Möglichkeit zur Verbreitung bot. Wirtschaftsform, Siedlungsform, Ernährungsgewohnheiten usw.

Die Bedeutung der Wassermühle wuchs schnell über das reine Getreidemahlen hinaus. Durch die Verbindung des Wasserrades mit einer Nockenwelle bot sich die Möglichkeit auch auf und ab Bewegungen, wie z.B. beim Schmieden notwendig, durch ein Wasserrad anzutreiben. Die Wassermühle wurde zum nicht weg zu denkenden Kern der späteren industriellen Entwicklung. Manche Dampfmaschine pumpte anfangs nur Wasser für ein Wasserrad hoch, das dann die eigentlichen Maschinen antrieb.

Die Dampfmaschine ist das unbestrittene Symbol der industriellen Revolution. Sie war aber nicht der Auslöser dieser Revolution, sondern eine erste Folge. Eine sich drehende Dampfmaschine führt zu keiner Revolution.

5. Die Elektrifizierung

Die Bedeutung der Elektrifizierung für die modernen Volkswirtschaften lässt sich wahrscheinlich kaum unterschätzen. Als einfache Illustration soll ein Vergleich zwischen Wirtschaftswachstum und Wachstum der Stromnachfrage gezogen werden. Abbildung 1 zeigt diese Entwicklungen für Westeuropa und Indien. In Westeuropa geht Wirtschaftswachstum und Wachstum der Stromnachfrage Hand in Hand. In Indien wächst die Stromnachfrage sogar noch stärker als die Wirtschaft.

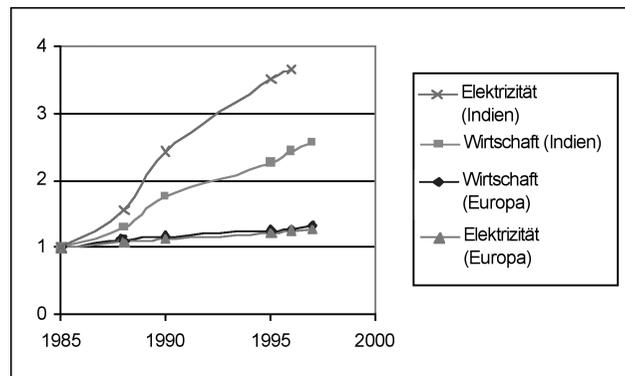


Abbildung 1: Die Entwicklung der Stromnachfrage und des Wirtschaftswachstums für Europa und Indien [EU].

Das Wort Elektrizität ist von dem griechischen Wort für Bernstein "Elektron" abgeleitet. Schon sechshundert Jahre vor Christus kannten die Griechen das Phänomen der Aufladung eines Nichtleiters durch Reibung. Die physikalischen Grundlagen der Elektrizitätsversorgung

wurden dann im achtzehnten und neunzehnten Jahrhundert gelegt. Meilensteine dürften die Entdeckung von Gray, dass Metalle Strom leiten, von Oersted, dass von Strom durchflossene Leiter ein Magnetfeld um sich aufbauen und insbesondere die Arbeiten von Faraday zur Induktion gewesen sein.

Damit waren die Grundlagen zum Bau von Stromgeneratoren gelegt. Generatoren waren zuerst noch kompliziert und fanden nur in Nischen eine Anwendung: Strom für Leuchtturmlampen, Strom in galvanischen Prozessen, Strom für therapeutische Zwecke. Generatoren waren teuer, weil sie entweder einen teuren Permanentmagneten oder einen zweiten Stromanschluss zum Betrieb eines Elektromagneten brauchten [König].

Der Durchbruch zu einer wirtschaftlichen Stromerzeugung gelang 1866 Werner von Siemens. Mit der Entdeckung des "Dynamoelektrischen Prinzips" machte er es möglich, dass in Generatoren auf die teuren Permanentmagnete oder auf eine zusätzliche Stromversorgung für Elektromagnete verzichtet werden konnte.

Es war aber nicht Siemens, der den Anstoß zur grossflächigen Stromversorgung gab, sondern der Amerikaner Thomas Alva Edison [Hughes]. Ihn verbinden wir natürlich insbesondere mit der Entdeckung der Glühbirne, bei denen die Form der Gewinde bis heute auf Edison zurückgeht. Aber Edison war nicht so sehr nur eine Erfinder von einer Komponente, sondern hat ganze Systeme erfunden. Er hat also nicht nur die Glühbirne, sondern auch die Halterung, die Schalter und das gesamte System der Stromversorgung, bis hin zu Stromzählern durchdacht. Mit der Glühbirne war also das Gegenstück zum Generator erfunden. Und beide zusammen ergaben ein neues System der Beleuchtung. Aber selbst die Erfindung der Glühbirne setzte neue Massstäbe. Die Idee der Glühbirne stammte dabei gar nicht von Edison, nur war es vor Edison niemanden gelungen, ein geeignetes Material für die Glühwendel mit hinreichender Lebensdauer und ausreichender Leuchtkraft – sprich Temperatur – zu entwickeln. Edison liess sechstausend verschiedene Materialien untersuchen, bis er in verkohlten Bambusfäden das geeignete Material gefunden hatte. Mit Recht darf man in dieser Untersuchung die Anfänge der systematischen, grossflächigen, industriellen Produktforschung sehen.

Nun kommen wir aber wieder zu unserem eigentlichen Thema, nämlich dem Wandel von Technologie. Im beginnenden neunzehnten Jahrhundert hatte sich – zumindest in großen Städten – die Versorgung der Gebäude mit Stadtgas durchgesetzt. Es gab also schon eine ausgereifte Beleuchtungstechnik. Stadtgas wurde durch trockene Destillation aus Kohle gewonnen. Während diese Technik erst nur in einzelnen Fabriken, insbesondere in der Textilindustrie, mit gesonderten Anlagen Einsatz fand, setzte sie sich in den zwanziger Jahren des neunzehnten Jahrhunderts in vielen Großstädten als flächendeckende Versorgung mit zentralen Produktionsstätten und weitmaschigem Leitungsnetz durch. Diese Entwicklung wurde auch zu dieser Zeit schon von Sicherheits- und Umweltdiskussionen begleitet. Schließlich kam es zu Explosionen und Bränden in den Anlagen und die Rückstände der Stadtgasproduktion un-

ter anderem Teer wurden einfach in die Gewässer geschüttet. Letzteres Problem löste sich als weitere Verwendungen des Teers in der Industrie gefunden wurden.

Warum und wie sollte sich die neue, aus Strom und Glühbirne bestehende, Beleuchtungstechnik durchsetzen. Sicherlich bot das elektrische Licht Vorteile: es entstanden keine Verbrennungsprodukte in den Räumen, die Wärmeentwicklung war moderater, man konnte das Licht mit einem Schalter an oder ausschalten. Aber – und dies schien einer raschen Ausbreitung entgegen zu stehen – die Kosten waren deutlich höher. Insgesamt hat die Entwicklung, wie am Beispiel Berlin (Abbildung 2) weiter unten gezeigt wird, eben deshalb mehr als fünfzig Jahre gedauert. Erst dann waren fast alle Haushalte an die Stromversorgung angeschlossen. Global ist die Elektrifizierung auch heute noch lange nicht abgeschlossen. Ein Blick auf die Kundenstruktur im Jahre 1886 zeigt, wer zuerst Strom nachfragte: je ein Viertel nahmen Theater, Banken, Geschäfte und die Gruppe der Gaststätten, Hotels usw. ab. Neben den sachlichen Vorteilen des elektrischen Lichtes spielt also insbesondere das Prestige eine Rolle. Lern- und Skaleneffekte führten letztlich zu Kostenreduktionen und damit zu einer Verstärkung des Wachstums. Auch die Entwicklung des Stadtgases wurde zuerst in den reichen Vierteln der Städte vorangetrieben, auch hier war die Verbindung mit Luxus und Prestige nicht unbedeutend.

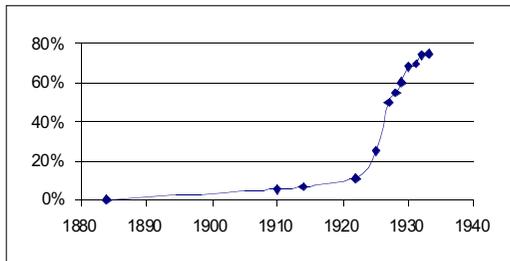


Abbildung 2: Anteil der Berliner Haushalte mit Stromanschluß [König]

Das erste Elektrizitätswerk wurde von Edison 1882 in New York gebaut und betrieben. Von dort verbreitete sich die Technik im Lande und auch in die Welt. Berlin und Chicago waren bei der weiteren Entwicklung Vorreiter. Die ungünstige Laststruktur der Elektrizitätswerke in den Anfangsjahren – Spitzenlast in den Abendstunden – führte zu einer forcierten Diversifikation der Kunden. Neben die Beleuchtung traten bald auch stationärer Elektromotoren und Straßenbahnen. Bereiche, die bald mehr Bedeutung als die Beleuchtung hatten. Hinzu kam die Ausweitung der Hausgeräte mit elektrischem Antrieb.

Bevor sich die Elektrizitätsgesellschaften in der Form konsolidierten, wie wir sie auch heute zum Teil noch vorfinden, gab es am Ende des neunzehnten Jahrhunderts eine sogenannte "Schlacht der Systeme". Hierbei handelte es sich die um Frage, ob Gleich- oder Wechselstrom Anwendung finden sollte. Gleichstrom mit Spannungen um hundert Volt konnte nicht über

weite Strecken transportiert werden. Hochgespannter Wechselstrom bot sich als Alternative an. Die etablierten Kräfte – auch Edison – setzten auf den Gleichstrom, unterlagen aber letztlich den Systemvorteilen des Wechselstroms.

6. Ausblick: Technik in einer bestimmten Umwelt

Wichtig für den Wechsel der Technologie ist die Veränderung der Rahmenbedingungen und das Entstehen einer "Nachfrage" nach dem neuen Produkt oder der neuen Technologie. Bei der Wassermühle wurde die Verbreitung durch einen Wechsel des Systems ermöglicht, die Elektrifizierung wurde von der "Nachfrage" nach sauberem und "luxuriösen" Licht vorangetrieben.

Die hier gemachten Ausführungen können natürlich nicht mehr als ein erstes Schlaglicht auf die spannende Geschichte der Energie werfen und dabei die Muster des technologischen Wandels diskutieren. Die Ausführung soll aber insbesondere dafür werben, die Geschichte nicht achtlos zu ignorieren, sondern sie zu nutzen, um unsere Konzepte der Modellierung und Beschreibung des technischen Wandels zu hinterfragen.

Technik und Technikentwicklung lässt sich nur durch eine Analyse der gesamten Umwelt, einschließlich Ordnungsrahmens usw. bestimmen. Wir müssen sozusagen das Öko-System einer jeden Technik analysieren, wenn wir Aussagen über die weitere Verbreitung machen wollen. Bei der Bewertung und Entwicklung neuer Energiemodelle sollte vermehrt die Frage gestellt werden, ob die Modelle vergangene Entwicklungen beschreiben können. Streng wissenschaftstheoretisch ist damit noch kein hinreichender Beweis ihrer Gültigkeit erbracht, aber ein erster wichtiger Schritt dahin.

Literatur:

[prometheus] www.ipp.mpg.de/prometheus (ab Dezember 2001)

[Brockhaus] Der Brockhaus in fünfzehn Bänden, F.A. Brockhaus Gm.bH, Leipzig-Mannheim 1997

[pyne] Pyne, S. J., World Fire, The Culture of Fire on Earth, 1997 by the University of Washington Press

[Kümmel] Kümmel, R., Energie und Kreativität, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart, Leipzig, 1998

[Kaiser] Kaiser, T., Das Feuer und die Evolution des Menschen, in [prometheus]

[Kaijser] Kaijser, A., Technological Systems in the Natural World: Water and Windmills in the Netherlands, in Technological and Systemic Changes and Economic Theories, 1998, ISSN 0348-3991

[Hägermann,1997] Hägermann, in Propyläen Technik Geschichte, Propyläen Verlag, Berlin 1997

[Hägermann,2001] Hägermann, Einfluß der gesellschaftsform auf technologische Entwicklungen am Beispiel des Einsatzes der Wasserkraft im Frühmittelalter: Getreidemühle und Grundherrschaft, to be published in autumn 2001 in [prometheus]

[EU] Energy in Europe, 1999 - Annual Energy Review, European Communities, 2000

[Hughes] Hughes, T., Networks of Power, The John Hopkins University Press, Baltimore, 1983

[König] König, in Propyläen Technik Geschichte, Propyläen Verlag, Berlin 1997