

Wasserkraft und Frühindustrialisierung Regionen spezifischer Lagegunst

Miculáš Teich hat 1996 gemeinsam mit Roy Porter den letzten Band der 1981 begonnenen und späterhin so erfolgreichen „in national context“-Reihe der „Cambridge University Press“ herausgebracht. Er ist dem Thema „The Industrial Revolution in National Context. Europe and the USA“ gewidmet.¹ Einleitend formulieren die Herausgeber: „What this book has in common with the preceding volumes is that we perceive in the Industrial Revolution a historical phenomenon of the same order as the Renaissance, Reformation, Scientific Revolution, Enlightenment and Romanticism”.² Und die Bedeutsamkeit ihres Themas umreißen sie mit einem Zitat von Eric Hobsbawm: „In Eric Hobsbawm’s striking characterization the Industrial Revolution marks the most fundamental transformation of human life in the history of the world recorded in written documents”.³

Beim Thema Industrielle Revolution erweist sich die für die ganze Publikationsreihe gewählte Zugangsweise „in national context“ als besonders fruchtbar. Eine Vielfalt von „Sonderwegen“ des Industrialisierungsverlaufs wird so sichtbar. Grundsätzliche Unterschiede treten in Erscheinung, die neue Probleme der Erklärung aufwerfen. Insgesamt betont die gewählte Darstellungsform regionale Besonderheiten. Dazu tragen auch die zahlreichen Karten bei, die dem Band beigegeben sind. An diese regionale Differenzierung soll hier angeschlossen werden – und zwar mit der Analyse eines spezifischen Faktors, der in besonderer Weise räumlich gebunden ist: der Bedeutung der Wasserkraft für frühe Prozesse der Industrialisierung.

Vier unterschiedliche Befunde des genannten Bandes sollen einander gegenübergestellt werden, um das Spannungsfeld anzudeuten, in dem solche Überlegungen stehen. Phyllis Deane vertritt für England jenen Standpunkt, der so häufig für die Industrielle Revolution insgesamt verallgemeinert wird:⁴ „In the long term, technical progress in the production of iron and steam power was to prove crucial in maintaining the momentum of British industrialization generally“. Für Frankreich hält Francois Crouzet dagegen:⁵ „As for water power, France relied upon it to much greater extent than did her coal-rich neighbours. In the cotton industry, water was overwhelming dominant, steam marginal, up to the mid-nineteenth century. In 1861/5, of 100.163 industrial establishments, outside Paris and Lyons, 60 per cent used water power, 31 per cent steam. This was less a sign of backwardness than a function of the relative abundance of water...“. Noch pointierter arbeitet diesen Gegensatz William N. Parker für die USA heraus:⁶ „In Britain for this period (1830/50), steam power also was being introduced, and the metal trades, thickly clustered at Birmingham, and the smelters at the Yorkshire, Scottish and Welsh coalfields formed an integral part of the whole history. But in southern New England in these decades, the water-wheel furnished nearly all the factory power...“. Das Verhältnis von hydraulisch angetriebenen Maschinen zu

¹ Mikuláš Teich und Roy Porter (Hg.), The Industrial Revolution in national context. Europe and the USA, Cambridge 1996.

² Teich und Porter, Introduction, in: Teich und Porter, The Industrial Revolution (wie Anm. 1), S. 1.

³ Teich und Porter, Introduction, in: Teich und Porter, The Industrial Revolution (wie Anm. 1), S. 3.

⁴ Phyllis Deane, The British Industrial Revolution, in: Teich und Porter, The Industrial Revolution (wie Anm. 1), S. 17.

⁵ François Crouzet, France, in: Teich und Porter, The Industrial Revolution (wie Anm. 1), S. 41.

⁶ William N. Parker, Revolutions and continuities in American development, in: Teich und Porter, The Industrial Revolution (wie Anm. 1), S. 355.

Dampfmaschinen wird für Italien noch 1880 auf 450 000 PS zu 35 000 PS geschätzt.⁷ Dabei war Italien gewiss nicht ein „late-comer“. Zu Recht geben Carlo Poni und Giorgio Mori ihrem Beitrag zum Sammelband den bezeichnenden Untertitel „the return of an old first-comer“. In einigen Regionen Italiens reicht der Einsatz von Wasserkraft zum Antrieb von Maschinen als Grundlage großbetrieblicher Entwicklung und industrieller Produktion besonders weit zurück. Die Bedeutung von Wasserkraft für Prozesse der frühen Industrialisierung ist deshalb durch diesen Beitrag in besonderer Weise angesprochen – auch deren regional-spezifische Voraussetzungen.

Der Einsatz von Wasserkraft verbindet gewerblich-industrielle Entwicklungen mit Gegebenheiten der Landwirtschaft. Die entscheidende Mittlerstellung kommt dabei der Wassermühle zu. Das Wasserrad in seinen vielfältigen historischen Erscheinungsformen erscheint als die Basis der Energiegewinnung aus dem Wasser. Und seine für die technologische Entwicklung wichtigste Form ist das Mühlrad. Die Geschichte der Mühlentechnologie hat seitens der Technikgeschichte große Beachtung gefunden.⁸ Weniger berücksichtigt wurden Zusammenhänge zwischen Mühlengeschichte und Agrargeschichte. Für die Entwicklung frühindustrieller Regionen haben sie Bedeutung. Andere gewerblich-industrielle Betriebe auf der Basis von Wasserkraft sind in der Regel nur dort entstanden, wo es zuvor Getreidemühlen gab. Die meisten frühindustriellen Regionen haben Wurzeln in Mühlenregionen. Sie entwickelten sich, wo Wasserkraft einsetzbar war. Und diese wurde am frühesten zur Deckung des Mehl- und damit des Brotbedarfs genutzt. So ergeben sich zwei wesentliche regionale Voraussetzungen – zunächst Verbreitungsgebiete von Brotgetreide als Nahrungsgrundlage, dann – innerhalb derselben – hydrologisch-klimatische Bedingungen, die den Betrieb von Wassermühlen erlauben. Es ist ein Sekundärphänomen, wenn von der Wassermühle abgeleitete industrielle Formen ohne solche agrarischen Grundlagen die Basis frühindustrieller Entwicklungsprozesse bilden.

Aufgrund ihrer Eignung als Brotgetreide kamen vor allem zwei Getreidearten für die Verbreitung von Mühlen in Frage – der Weizen und der Roggen. Der Weizen gehört zu den ältesten Kulturpflanzen. Vom „Fruchtbaren Halbmond“ ausgehend erstreckte sich sein Anbaugebiet über den größten Teil der Alten Welt – vom Atlantik bis zum Pazifischen Ozean.⁹ Er ist die beherrschende Nahrungsgrundlage im Imperium Romanum ebenso wie im Perserreich. Im Chinesischen Reich hingegen kann er sich nur im Norden durchsetzen – hier gegen die ältere Vorherrschaft der Hirse. Im Süden Chinas bildet seit alters der Reis die entscheidende Ernährungsbasis. Insgesamt entwickelt sich China zur Reiskultur.¹⁰ Der Reis ist kein Brotgetreide. Er braucht die Wassermühle nicht. Dadurch kommt es zu anderen

⁷ Carlo Poni und Giorgio Mori, Italy in the *longue durée*: the return of an old first-comer, in: Teich und Porter, The Industrial Revolution (wie Anm. 1), S. 168, nach: V. Elena, La statistica di alcune industrie italiane, Rom 1880, S. 50.

⁸ Die umfassende Literatur zur Geschichte des Mühlenwesens kann hier nur andeutungsweise Erwähnung finden. Wegweisend zunächst Marc Bloch, Avènement et conquêtes du moulin à eau, in: Annales d'histoire économique et sociale 7, 1935, S. 538-63. Universal vergleichend Joseph Needham (in Zusammenarbeit mit Wang Ling), Science and Civilization in China 4/2, Cambridge 1965. Auf solche Vergleiche aufbauend die Verbindung zu Industrialisierungsprozessen herstellend Terry S. Reynolds, Stronger than a Hundred Men. The History of the Vertical Water Wheel, Baltimore 1983. Aus den letzten Jahren: Paolo Squatriti (Hg.), Working with Water in Medieval Europe, Leiden 2000, Paola Galetti und Pierre Racine (Hg.), I mulini nell' Europa medievale (Atti del Convegno di San Quirico d'Orcia 21-23 settembre 2000, Bologna 2003, Simonetta Cavaciocchi (Hg.), Economia e energia secc. XIII-XVIII (Atti della Settimana di Studio 34), Prato 2003, Adam Robert Lucas, Industrial Milling in the Ancient and Medieval Worlds. A Survey of the Evidence for an Industrial Revolution in Medieval Europe, in: Technology and Culture 2005, S. 1-30.

⁹ Jacques Bertin, Jean-Jacques Hermadinquer, Michael Keul und W. L. G. Rendles; Atlas des cultures vivrières, Paris 1971, Karte „Triticum“.

¹⁰ Jacques Gernet, Die Chinesische Welt, Frankfurt a.M. 1988, S. 272 f. Zu den wirtschaftlichen Folgewirkungen verschiedener Ernährungsweisen im interkulturellen Vergleich: Michael Mitterauer, Roggen, Reis und Zuckerrohr. Drei Agrarrevolutionen des Mittelalters im Vergleich, in: Saeculum 52, 2001, S. 245-65.

Formen der Wassertechnologie. Es handelt sich - agrarisch grundgelegt - um einen alternativen Entwicklungspfad, der nicht zur Industrialisierung führt. Sehr deutlich wird hingegen der Zusammenhang zwischen Brotgetreidebau, Mühlenwesen und industrieller Entwicklung in europäischen Siedlungskolonien – insbesondere in Nordamerika, wo seit dem 17. Jahrhundert der Weizen mit großem Erfolg angebaut wurde.

Der Roggen ist als Kulturpflanze weit jünger als der Weizen.¹¹ Erst seit dem Frühmittelalter dürfte er sich in Europa weithin verbreitet haben. Als Ausgangspunkt wird der Nordwesten Mitteleuropas angenommen.¹² Im Mittelmeerraum konnte er sich nicht durchsetzen. Zu sehr war sein Anbau an kühl-humides Klima gebunden. So verbreitete sich dieses Brotgetreide vor allem in nordalpinen Regionen, wo es auch für den Einsatz verschiedener Mühlenformen viel an zusätzlichem Raum erschloss. Mit den Anbauzonen des Weizens kam es zu Überschneidungen. Bis nach Ostasien expandierte der Roggen allerdings nicht. Dafür folgte er dem Weizen in der Neuzeit in die Siedlerkolonien der Neuen Welt. Seit dem 17. Jahrhundert verbreitete sich auch dieses Brotgetreide - von den europäischen Kolonialmächten ausgehend - in Kolonialgebiete mit ähnlichen klimatischen Bedingungen jenseits des Atlantiks.

Im ganzen Großraum der Verbreitung von Brotgetreide bestand seit alters der Bedarf, Mühlen einzusetzen. Mühlen unterschiedlichster Art wurden dazu verwendet¹³: Handmühlen vom Menschen betrieben, Tiermühlen von Haustieren bewegt – von Eseln, Ochsen oder Pferden -, Windmühlen, die die Energie bewegter Luft nutzten, und vor allem Wassermühlen verschiedenster Art – solche mit horizontalem Wasserrad und solche mit vertikalem, von unterschlächtig geführtem Wasser angetrieben oder von overschlächtigem. Die Letzteren waren hinsichtlich der Energieleistung die weitaus effektivsten, aber auch von der Konstruktion her die weitaus kompliziertesten und von den Kosten die weitaus teuersten. Als Vorstufe zu frühindustriellen Entwicklungen kommt der Wassermühle mit vertikalem Rad besondere Bedeutung zu.¹⁴ Man darf sie aber sicher nicht als eine spät erreichte Stufe besonders hoher Leistungsfähigkeit sehen, durch die andere Mühlenformen an Bedeutung verloren hätten. Im Grundprinzip war sie schon in römischer Zeit bekannt und wurde bereits damals in großem Maßstab eingesetzt. Das ganze Mittelalter und die frühe Neuzeit hindurch bestanden vielfältige Mühlenformen nebeneinander. Über ihre jeweiligen Einsatzmöglichkeiten entschieden unterschiedlichste Faktoren – nicht zuletzt solche der jeweils zur Verfügung stehenden Wasserkraft. Deutlich wird das an Mühlentypen erkennbar, wie sie in Siedlerkolonien zum Einsatz kamen, in die europäische Brotgetreidesorten transferiert wurden.

Seit der Siedlungsgründung der Niederländischen Ostindienkompagnie in Südafrika um die Mitte des 17. Jahrhunderts war Weizen – jedenfalls für die städtische Bevölkerung – das Hauptnahrungsmittel.¹⁵ Die erste Mühle, die 1658 zur Produktion von Mehl angelegt wurde, war eine Rossmühle. 1660 wurde dann erstmals mit einer Wassermühle experimentiert. Die meisten Flüsse boten jedoch nur periodisch Wasserkraft. In einigen Gebieten konnten sich Horizontalwassermühlen halten, die Mühlsteine waren bei ihnen aber kaum größer als bei Handdrehmühlen. Windmühlen hatten vornehmlich in der südlichen Küstenregion eine Chance. In Trockengebieten - vor allem im Landesinneren - wurden Mühlen mit Tierkraft betrieben. Schon 1836 – im internationalen Vergleich betrachtet also

¹¹ Bertin u. a., Atlas (wie Anm. 9), Karte „Secale“.

¹² Karl-Ernst Behre, The history of rye cultivation in Europe, in: Vegetation History and Archeobotany 1992, S. 141-156.

¹³ Verschiedene historische Mühlenformen im Überblick etwa bei K. Elmsäuser u. a., „Mühle, Müller“, in Lexikon des Mittelalters 6, Stuttgart 1999, Sp. 885 ff.

¹⁴ Diesen Zusammenhang betont vor allem Reynolds, Stronger (wie Anm. 8).

¹⁵ Joanna Marx, Getreidemühlen in Südafrika: Der Einfluss von Klima, Fortschritt und Gesetzgebung, in: International Molinology 66, 2003, S. 3.

bereits sehr früh – wurde die erste Dampfmühle errichtet. Die umweltbedingte Mühlennot konnte nun auf der Basis eines ortsunabhängigen Energieeinsatzes behoben werden.

Am Swann River in Westaustralien kamen die ersten Siedler 1829 an. Bald waren nun die ersten Weizenernten zu mahlen. Zunächst behalf man sich mit stählernen Handmühlen, später mit Pferdemühlen. 1832 wurde eine Pferdemühle durch eine Windmühle ersetzt. Der Einsatz von Wasserkraft war möglich. Ein englischer Ingenieur, der in Pisa studiert hatte, schuf zunächst die notwendigen Kanalanlagen und dann die erste Wassermühle mit horizontalem Rad nach toskanischem Vorbild.¹⁶ Auf die Möglichkeit, Dampfkraft einzusetzen, musste hier nicht gewartet werden.

Besonders kontrastreich gestaltete sich das Nebeneinander sehr unterschiedlicher Mühlentypen in den neu erschlossenen Getreideanbaugebieten Nordamerikas. In New Salem in Illinois kann man bis heute eine altertümliche Ochsenmühle bewundern. Mit solchen Geräten hatten die frühen Siedler in den Ebenen von Illinois und Iowa bis zum Aufkommen der Dampfmühle ihr Getreide bearbeiten müssen. Nicht dass es an Wasser gefehlt hätte. Die Flüsse und Bäche hatten hier aber ein zu geringes Gefälle, um geeignete Positionen für den Einsatz von Wassermühlen zu finden.¹⁷ Die Siedler an der Ostküste – Engländer, Holländer und andere – mahlten ihr Getreide hingegen von vornherein mit Wassermühlen. Wasserläufe mit dem nötigen Gefälle standen hier in ausreichendem Maß zur Verfügung. Kleine Getreidemühlen entstanden für den lokalen Bedarf, später größere für den überregionalen.¹⁸ Die verschiedenen Mühlentypen der Herkunftsgebiete wurden übernommen – unter ihnen auch technologisch fortgeschrittene Formen großer Wasserräder mit hoher Energieleistung. Neben dem Transfer aus Europa kam es in den Vereinigten Staaten auch zu einer sehr eigenständigen Weiterentwicklung der Mühlentechnologie. Großmühlen von bisher nicht gekannten Dimensionen wurden hier errichtet. In Minneapolis entsteht im späten 19. Jahrhundert das größte Mühlenzentrum der Welt.¹⁹ Es überrundet Budapest, das mit Dampfkraft arbeitet. In Minneapolis hingegen wird die Wasserkraft der St. Anthony Falls des Mississippi genutzt.²⁰ Die Wassermassen großer Flüsse mit starkem Gefälle zur Energiegewinnung einzusetzen, treibt in den Vereinigten Staaten die Entwicklung der Mühlenindustrie, aber auch der mit Wasserkraft betriebenen Industrie insgesamt voran. Die hydrologischen Voraussetzungen dafür sind bei der so genannten „Fall line“ besonders günstig, die durch die Neu-England-Staaten parallel zur Atlantikküste verläuft. Ihr entlang sind zahlreiche Industriestädte entstanden – unter ihnen an den Fällen des Merrimack River Manchester mit seinen mit Wasserkraft betriebenen Textilfabriken – zu Beginn des 20. Jahrhunderts den größten der Welt.²¹ Wie der schon 1807 festgelegte Name der Siedlung zeigt, sollte die Baumwollproduktion und deren Technologie nach dem Vorbild der Alten Welt in die Neue verpflanzt werden. Das enorme industrielle Wachstum der Region ist aus diesem Zusammenhang zu erklären. Die Industrieentwicklung im Nordosten der Vereinigten Staaten deutet jedoch darauf hin, dass in den Kolonialgebieten mit europäischem Getreidebau zunächst nur jene eine solche Chance besaßen, die in hohem Maß über Wasserkraft verfügten.

Die Verhältnisse in der Neuen Welt setzen Prozesse fort, die in der Alten schon sehr weit zurückreichen. Solchen Entwicklungszusammenhängen zwischen Wasserkraft und

¹⁶ Keith Preston, A „Horizontal Watermill“ in Western Australia, in: International Molinology 65, 2002, S. 4, sowie: Revele, Henry Willey (1788-1875) (www.adb.online.anu.edu.au/biogs/A020331b.htm, 10.02.2008).

¹⁷ Carter Litchfield, The Oxpowered Inclined Treadwheel at New Salem, Illinois, in: International Molinology 55, 1997, S. 2.

¹⁸ Reynolds, Stronger (wie Anm. 8), S. 6, Louis C. Hunter, Waterpower in the Century of Steam Engine (A History of Industrial Power in the United States, 1780-1930, 1) Charlottesville 1979.

¹⁹ Arnold J. Bauer, Millers and Grinders: Technology and Household Economy in Meso-America, in: Agricultural History 64, 1990, S. 2.

²⁰ Saint-Anthony-Fälle (<http://de.wikipedia.org/wiki/Saint-Anthony-F%C3%A4lle>, 10.02.2008)

²¹ Tamara K. Hareven, Amoskeag. Life and Work in an American Factory City, Hanover NH 1978; Fall line (en.wikipedia.org/wiki/Fall_line, 08.02.2008).

Frühindustrialisierung soll am Beispiel ausgewählter Regionen nachgegangen werden. Einerseits soll nach spezifischen hydrologischen Voraussetzungen gefragt werden. Wo gab es Wasserläufe mit entsprechendem Gefälle und ausreichender Wasserführung, die den notwendigen Energieeinsatz für frühindustrielle Betriebe ermöglichten? Andererseits gilt es zu untersuchen, wann und in welchen Bereichen der Produktion industrielle Entwicklungsschübe erreicht wurden. Bei der Auswahl der behandelten Regionen geht es nicht um allgemeine Beispielhaftigkeit. Vielmehr soll sie die Unterschiedlichkeit möglicher Sonderwege illustrieren.

In Italien sind die Gegensätze zwischen industrialisierten und nicht industrialisierten Regionen sehr ausgeprägt. Diese Unterschiede finden sich bis in die Moderne und sie haben offenbar weit zurückreichende Wurzeln. Um die Mitte des 20. Jahrhunderts werden zwei hauptsächliche Industriegebiete ausgewiesen – einerseits die Toskana nördlich des Arno mit einem Verbindungsgebiet entlang der Küste nach Ligurien, andererseits die Lombardei und Venetien nördlich des Po²². Beides sind zugleich Regionen, die – anders als die Apenninenhalbinsel sonst – über ausreichende Möglichkeiten für den Einsatz von Wasserkraft verfügten. Zum Unterschied von nord- und osteuropäischen Ländern gab es aufgrund der Klimaverhältnisse kaum die Gefahr eines Einfrierens der Wasserläufe, die als Energiequellen genutzt wurden. Dafür war – wie in anderen Gebieten des Mittelmeerraumes – die Bedrohung durch Sommertrockenheit groß.²³ Nicht die großen Flüsse, aber viele der kleineren Bäche, die Wasserräder antreiben konnten, versiegten. Für das Mahlen der Getreideernten mögen solche saisonalen Ausfälle nicht so dramatisch gewesen sein. Industrielle Anlagen ließen sich jedoch nur mit gleichmäßiger Wasserführung ohne größere Schwankungen betreiben. Die zwei skizzierten Industriezonen erfüllten diese Bedingungen. Im Vergleich zum übrigen Italien werden im Apennin und in den Alpen die höchsten Niederschlagssummen gemessen.²⁴ Die Gebirgsstöcke speichern das Wasser. Ihre Abflüsse zum Arno und zum Po hin zeichnen sich durch reichliche wie auch halbwegs regelmäßige Wasserführung aus. So waren in diesen beiden Regionen – sehr zum Unterschied von benachbarten Gebieten – exzeptionell günstige Gegebenheiten für den Einsatz von Wasserkraft gegeben.

Die italienische Literatur hat für gewerblich-industrielle Betriebe, die Wasserkraft einsetzen, den ausdrucksstarken Begriff der „*opifici andanti ad acqua*“ kreiert.²⁵ Nicht die Energie folgt dem Rohstoff, sondern der Rohstoff und seine Verarbeitung den Orten der Energiegewinnung. „Zum Wasser gehen“ – das ist im frühindustriellen Zeitalter die einzige Möglichkeit, um diese damals höchstwertige Energieform zu nutzen. Hydraulische Energie ist in hohem Maß durch geographische Faktoren gebunden. Im Zusammenhang mit den „*opifici andanti ad acqua*“ wird dementsprechend auch von einer „*tirannia delle leggi geografico-economiche*“ gesprochen. Diese „*opifici andanti ad acqua*“ waren in der nördlichen Toskana sehr vielfältig. Sie umfassten Getreide- und Ölmühlen, Walk- und Papiermühlen, Lohmühlen, Sägemühlen, vor allem auch Eisenmühlen. Erhebungen aus dem frühen 19. Jahrhundert zeigen uns solche Betriebe dicht gedrängt nebeneinander an den nördlichen Nebenflüssen des Arno vom Bisenzio im Westen bis zur Pescia Maggiore im Osten, ebenso benachbart am Serchio und seinen Zuflüssen um Lucca. Dieses Bild des frühen 19. Jahrhunderts ist das Ergebnis eines langen Wachstumsprozesses, der bis ins Frühmittelalter zurückreicht. Wir können in diesem Prozess vielfach Phasen der Beschleunigung und der Ausweitung

²² Italien 4, Wirtschaft, in: Der Grosse Brockhaus 5, Wiesbaden 1954, Hauptindustriegebiete Karte S. 770.

²³ Zu den grundsätzlichen Problemen des Einsatzes von Wasserkraft in der mediterranen Klimazone Reynolds, Stronger (wie Anm 8), S. 34.

²⁴ Michael Thiel, Klima und Hydrographie der Binnengewässer Nord- und Mittelitaliens, S. 3 (http://boden.univ-trier.de/Lehrveranstaltungen/Skripte/Italien2002/Datei_02_Klima.pdf).

²⁵ Leonardo Rombai, Per una geografia storica degli „*opifici andanti ad acqua*“ della Toscana pre-industriale e paleoindustriale (<http://archeologiamedievale.inisi.it/NEWPAGES/COLLANE/TESTQDS/22/01/pdf>).

beobachten. Insgesamt gesehen hat er der Frühindustrialisierung in Europa wichtige Impulse vermittelt.

In der nördlichen Toskana erweist sich vor allem Lucca als ein bedeutendes altes Zentrum der Wasserwirtschaft.²⁶ Die älteste Mühlennennung stammt hier bereits von 726. Zahlreiche weitere folgen. Man darf annehmen, dass der Einsatz des Wasserrades in dieser Region Kontinuität bis in die Antike zurück hat. Die dominante Form der Getreidemühle war hier - wie auch sonst in der Toskana - die Mühle mit horizontalem Wasserrad. Aber auch die Vertikalmühle lässt sich früh nachweisen – sowohl oberflächlich wie unterschlächtig betrieben. Für den Raum von Florenz kann für das Spätmittelalter die Verteilung verschiedener Mühlentypen sehr gut mit Wasserläufen bestimmter Größe in Zusammenhang gebracht werden.²⁷ Die Vertikalmühle wird in der Toskana „molendinum francescum“ genannt – ein deutlicher Hinweis auf europaweite Verteilungsmuster von Mühlenformen.

Eine spezifische Form der Vertikalmühle, nämlich die Walkmühle, hat für die gewerblich- industrielle Entwicklung der Toskana größte Bedeutung gewonnen.²⁸ Ohne sie ließe sich der enorme Aufschwung von Florenz als europaweit bedeutsames Tuchmacherzentrum seit dem 13. Jahrhundert nicht erklären.²⁹ Vielleicht ist die Walkmühle in der Toskana entwickelt worden. Älteste Belege reichen hier bis in die zweite Hälfte des 10. Jahrhunderts zurück, in der Lombardei bis ins frühe 11. Jahrhundert.³⁰ In Florenz wird 1062 ein „gualcator“, also ein Walker, genannt.³¹ Bezeichnungen wie „gualchiera“ für die Walkmühle bzw. „gualcator“ für den Walker weisen etymologisch allerdings eher in den Norden.³² Auch in Nordwesteuropa sind Walkmühlen auf der Basis von Vertikalmühlen schon seit dem 11. Jahrhundert in Verwendung. Die entscheidende Neuerung dieser Mühlentechnologie ist die Nockenwelle, die die rotierende Bewegung in eine lineare übersetzt. Die Walkmühle wurde zur Wurzel einer Vielzahl diversifizierter Produktionsprozesse auf der Basis des Einsatzes von Wasserkraft. Bis ins 19. Jahrhundert sind zahlreiche solcher „opifici andanti ad acqua“ nach dem Prinzip der Walkmühle in der nördlichen Toskana anzutreffen. Die wichtigsten unter ihnen waren wohl die Papiermühlen, die sich in den Tälern der Pescia Maggiore bzw. Minore konzentrierten.³³ Das aber sind sekundäre Phänomene. Den Anfang machte die Wollindustrie im Raum von Florenz. Die hydrologischen Voraussetzungen für die Errichtung großer Walkmühlen waren hier besonders günstig, insbesondere am Bisenzio bei Prato. Bei Prato gab es auch die für den Walkprozess erforderliche Walkererde.³⁴ Der Aufstieg Pratos als einer neuen städtischen Kommune seit dem 12. Jahrhundert spiegelt gut die industrielle Aufwärtsentwicklung der Region in dieser Zeit. Auf der Grundlage lokaler Wollproduktion lässt sie sich keinesfalls erklären. Die örtliche Schafwolle war minderwertig. Die Florentiner importierten systematisch

²⁶ Paolo Squatriti, Water, nature, and culture in early medieval Lucca, in: Early Medieval Europe 4, 1995, S. 34, derselbe, Water and society in early medieval Italy. AD 400-1000, Cambridge 1998.

²⁷ Karte bei: John Muendel, The Horizontal Mills of Medieval Pistoia, in: Technology and Culture 15, 1974, S. 218.

²⁸ Über diesen Mühlentyp allgemein: Lukas Clemens und Michael Matheus, Die Walkmühle, in: Uta Lindgren (Hg.), Technik im Mittelalter 800-1400, Berlin 1998, S. 233 f; Elmshäuser u.a., „Mühle, Müller“ (wie Anm. 13), Sp. 888.

²⁹ Zu diesem Gene Brucker, Florenz in der Renaissance. Stadt, Gesellschaft, Kultur. Reinbek 1990, S. 78 ff.

³⁰ Pierre Racine, Du moulin antique au moulin medieval, in: Galetti und Racine, I mulini (wie Anm. 8), S. 6, George Comet, Pour une histoire des moulins entre technoque et idèologie, ebenda, S. 26.

³¹ Robert Davidsohn, Geschichte von Florenz 1, Berlin 1896, S. 783.

³² Clemens und Matheus (wie Anm.28), S. 233.

³³ Wolfgang von Stromer, Gewerbereviere und Protoindustrien im Spätmittelalter und Frühneuzeit, in: Hans Pohl (Hg.), Gewerbe- und Industrielandschaften vom Spätmittelalter bis ins 20. Jahrhundert, Stuttgart 1986, S. 106-109.

³⁴ Iris Origo, „Im Namen Gottes und des Geschäfts“. Lebensbild eines toskanischen Kaufmanns der Frührenaissance, Berlin 1997, S. 57.

Qualitätswolle über größere Distanzen. Im 13. Jahrhundert ging man dazu über, englische Wolle zu verarbeiten.³⁵ Die Qualität des aus englischer Wolle gewobenen Tuches war so sehr jeder anderen Sorte überlegen, dass sich die Transportkosten von England und der flandrischen Küste zu den tyrrhenischen Häfen und von dort nach Florenz lohnten. Keiner dieser Hafenstädte gelang es, die Textilproduktion ihrerseits unter ihre Kontrolle zu bringen. Florenz setzte sich durch. Es verfügte über den großen Standortvorteil von Wasserkraft in seinem nächsten Umfeld.

Die wichtigste Entwicklungslinie früher Industrie auf der Basis von Wasserkraft, die in die nördliche Toskana führt, betrifft wohl die Seidenproduktion. Nach dem vermutlichen Ort ihrer Entstehung wird die Seidenzwirnmühle als „Luccheser Filatorium“ bezeichnet.³⁶ Lucca war seit dem 11., vielleicht schon seit dem 10. Jahrhundert ein bedeutendes Zentrum des Seidengewerbes. Die Ansiedlung von Seidenwebern erfolgte wahrscheinlich als höfisches Luxusgewerbe durch die Markgrafen von Tuszien, die hier residierten.³⁷ Der kostbare Rohstoff wurde durch den Fernhandel bereitgestellt – aus dem Orient, aus Süditalien, erst Jahrhunderte später dann auch aus der näheren Umgebung. Um die Seidenfasern zu Fäden zu verdrillen, kam es schon im 13. Jahrhundert zu einem wichtigen Mechanisierungsschritt. Das „Luccheser Filatorium“ konnte 200 bis 240 Spindeln zur gleichen Zeit in Bewegung setzen. Ob diese komplizierten Maschinen von Anfang an mit Wasserkraft betrieben wurden, ist nicht bekannt. Zu dem nach Lucca benannten Prototyp gehört jedenfalls späterhin das vertikale Wasserrad.³⁸ Die Produktionstechnik wurde streng geheim gehalten. Durch Emigranten gelangte sie 1314 nach Bologna, dann auch in andere oberitalienische Städte. Bologna schließt unmittelbar an die wasserreiche Zone der nördlichen Toskana an. In der Stadt und ihrer Umgebung wurden Wasserräder in einem Ausmaß als Energiequelle eingesetzt wie kaum anderwärts. Auch die Seidenindustrie blühte hier auf. 1683 waren in der Stadt 353 Seidenzwirnmaschinen mit hydraulischem Antrieb im Einsatz.³⁹ Allerdings hat keine dieser Bologneser Seidenmühlen mehr als 100 Arbeiter beschäftigt. Die großen Seidenfabriken, wie sie nach Bologneser Vorbild im 17. Jahrhundert in der Lombardei und in Piemont entstanden – in Varese, in Como, in Racconigi - erreichten die dreifachen Arbeiterzahlen.⁴⁰ Der Grund für diese Schwerpunktverlagerung bzw. diese größeren Dimensionen der Betriebe dürften die besonderen Möglichkeiten des Wasserkrafteinsatzes gewesen sein.⁴¹ Der Weg von Lucca nach Racconigi verweist auf die Lagegunst des Voralpengebietes. Die Entwicklungslinie führt allerdings weiter. Die Technik der Seidenproduktion wurde auch im Königreich Sardinien-Piemont streng geheim gehalten. Trotzdem gelang es dem Engländer John Lombe in einer spektakulären Aktion früher Werksspionage, Pläne einer der Seidenfabriken dieser Region anzufertigen. Auf dieser Grundlage gründete er mit seinem Bruder 1716 eine große, mit Wasserkraft betriebene Fabrik in Derby im Derwent-Tal mit Hunderten von Beschäftigten⁴² - Jahrzehnte bevor der herrschenden Meinung nach in England mit den neuen Baumwollspinnereien das „factory system“ Einzug hielt.

Die „opifici andanti ad acqua“ dürften im oberitalienischen Voralpengebiet nicht weniger vielfältig gewesen sein wie in der nördlichen Toskana. Als spezifischer Beitrag dieser Region zu frühindustriellen Produktionsprozessen ist wohl der Einsatz von Wasserkraft in der Eisenbearbeitung zu nennen. Gegenüber älteren Formen von Rennöfen stellte der Antrieb von

³⁵ Edith Ennen, *Die europäische Stadt des Mittelalters*, Göttingen 1972, S. 157.

³⁶ Almut Bohnsack, *Spinnen und Weben. Entwicklung von Technik und Arbeit im Textilgewerbe*, Reinbek 1981, S. 125 ff.

³⁷ Michael Mitterauer und John Morrissey, *Pisa. Seemacht und Kulturmetropole*, Essen 2007, S. 60-65.

³⁸ Bohnsack, *Spinnen* (wie Anm. 36), S. 127.

³⁹ Poni und Mori, *Italy* (wie Anm. 7), S. 154.

⁴⁰ Ebenda, S. 155.

⁴¹ Ebenda, S. 154.

⁴² David Landes, *Wohlstand und Armut der Nationen. Warum die einen reich und die anderen arm sind*, Berlin 1998, S. 224 f., Poni und Mori (wie Anm. 7), S. 155.

Blasebalg und Hammer durch das Wasserrad eine revolutionäre Neuerung dar. Wo diese Innovation genau erfolgte, lässt sich nicht eindeutig feststellen. Vieles spricht für das Eisenrevier von Bergamo und Brescia.⁴³ Eisenerz und Wasserkraft gab es hier in unmittelbarer Nachbarschaft. So konnte eine leistungsfähige Eisenindustrie entstehen. Sie bildete die Basis für den hohen Entwicklungsstand der Eisenverarbeitung in der Lombardei – etwa der Waffenproduktion in und um Mailand.⁴⁴ Ganz anders war die Situation in der Toskana. Mit der Eiseninsel Elba verfügte man hier über hochwertiges Eisenerz. Eine Bearbeitung mit hydraulischer Energie war aber in der näheren Umgebung nicht möglich. Man musste das Erz in komplizierten Transportaktionen nach Ligurien oder in die Montagna Pistoiese bringen, wo es wasserreiche Flüsse mit entsprechendem Gefälle gab, um es dort zu verhütten – ein anschauliches Beispiel für „opifici andanti ad acqua“.⁴⁵ Vom Hochmittelalter bis weit in frühindustrielle Zeiten hinein waren europäische Reviere der Eisenproduktion und Eisenverarbeitung an hydrologisch geeignete Gewässersysteme gebunden.⁴⁶

Anders als in Italien mit seinem dominant mediterranen Klima erscheint in den atlantischen Klimazonen Westeuropas der Einsatz von Wasserkraft zunächst für das Mühlengewerbe und dann darauf aufbauend für frühindustrielle Entwicklungsprozesse im Wesentlichen nicht durch naturräumliche Faktoren beschränkt. Die Niederschlagsmengen sind hoch – etwa im Nordwesten Frankreichs bei 1000 mm und an den Wetterseiten der Hügelländer noch darüber.⁴⁷ Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse im Westen und Norden Englands – auch hier mit größeren Regenmengen in hohen Lagen als in den Ebenen.⁴⁸ Die Gefahr eines Austrocknens von Wasserläufen war in solchen Gegenden gering – zumal sich die Niederschläge nicht auf eine bestimmte Jahreszeit konzentrierten, sondern sich einigermaßen regelmäßig über das Jahr verteilten. Sieht man von den mediterran beeinflussten Zonen im Süden Frankreichs ab, stellte sich in Westeuropa das Problem der Sommertrockenheit kaum. Auch das für den Betrieb von Wasserrädern so bedenkliche Problem der Vereisung im Winter war unter ozeanischem Klimaeinfluss von geringer Bedeutung. Der Golfstrom sorgte in Westeuropa für geringere Temperaturschwankungen, als sie in Zentraleuropa auftraten. Gerade in den nordwestlichen Regionen Frankreichs bzw. im Westen und Norden Englands kam es kaum zu Frösten. Die für die Entwicklung von der Wassermühle zum wasserbetriebenen Industriebetrieb so wichtige Kontinuität der Arbeit das ganze Jahr über schien also gewährleistet. Sehr unterschiedlich waren jedoch auch in Westeuropa die für den Antrieb von Wasserrädern erforderlichen Bedingungen des Gefälles der genutzten Wasserläufe. Die vielen Getreidemühlen die schon in den Güterverzeichnissen nordfranzösischer Klöster aus karolingischer Zeit genannt werden, sowie die vielen tausend Mühlen, die das Domesday Book 1086 für England aufzählt, waren diesbezüglich wohl noch

⁴³ Der Einsatz von Wasserkraft in der Eisenproduktion ist jedenfalls hier besonders früh belegt. Vgl. dazu Rolf Sprandel, Die oberitalienische Eisenproduktion im Mittelalter, in: Vierteljahrschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte 52, 1965, S. 289-325.

⁴⁴ Hermann Kellenbenz, Europäisches Eisen, in: derselbe (Hg.), Schwerpunkte der Eisengewinnung und –verarbeitung 1500-1650, Wien 1974, S. 430, Domenico Sella, The Iron Industry in Italy 1500-1650, in: Kellenbenz (Hg.), Schwerpunkte, S. 98 ff., Marco Tizzoni, Verso la crisi. La produzione siderurgica del Ducato di Milano, in: Rudolf Tasser und Ekkehard Westermann (Hg.), Der Tiroler Bergbau und die Depression der europäischen Montanwirtschaft im 14. und 15. Jahrhundert, Innsbruck 2004, S. 255-262.

⁴⁵ Marina Elena Cortese, L'acqua, il grano, il ferro. Opifici idraulici medievali nel bacino Farma-Merse, Firenze 1997, vor allem Karte S. 197, Michael Mitterauer, Standortfaktor Wasserkraft. Zwei europäische Eisenregionen im Vergleich, in: Michael Pammer u.a. (Hg.), Erfahrung der Moderne (Festschrift für Roman Sandgruber zum 60. Geburtstag), Stuttgart 2007, S. 64 ff.

⁴⁶ Besonders anschaulich etwa: von Stromer, Gewerbereviere (wie Anm. 33), S. 80, für die Oberpfalz.

⁴⁷ Geographie Frankreichs. Klima, S. 2 (http://wikipedia.org/wiki/Geographie_Frankreichs-44k, 08.02.2008).

⁴⁸ Klima des Vereinigten Königreichs, S. 3, (http://de.wikipedia.org/wiki/klima_des_Vereinigten_K%C3%B6nigreichs, 10.02.2008).

nicht sehr anspruchsvoll.⁴⁹ Die großbetrieblichen „mills“ des 18. und 19. Jahrhunderts stellten hinsichtlich hydraulischer Energie schon ganz andere Ansprüche.⁵⁰ Man hat für Frankreich eine Zweiteilung entlang einer Linie von Lyon nach La Rochelle angenommen. Südlich dieser Linie hätte die Horizontalmühle dominiert, nördlich davon die – von der Wasserführung her anspruchsvollere – Vertikalmühle. Diese Annahme hält freilich einer näheren Überprüfung nicht stand.⁵¹ Vielfach waren die Übergänge fließend. Die Benennung der Vertikalmühle als „molendinum francescum“, der wir in Italien begegnet sind,⁵² legt die Annahme nahe, dass diese mit der mittelalterlichen „Francia“ assoziiert wurde. Schwerpunkte der mit Wasserkraft angetriebenen Industrie waren in neuerer Zeit dann das Pariser Becken, die Normandie und das Elsass.⁵³ In England wurde ein nicht nur von der Höhe der Niederschläge und den geringen Temperaturschwankungen, sondern auch vom Gefälle seiner Wasserläufe her besonders geeignetes Gebiet zum Zentrum früher industrieller Entwicklung auf der Basis von Wasserkraft, nämlich Lancashire.⁵⁴ Der Halbkreis von Bergzügen, der Manchester im Norden und Osten umgibt, hat zur Folge, dass hier die vom Atlantik kommenden Wolken zu reichlichen Niederschlägen führen. Die Berge dienen als Auffangzone, die den Wasserabfluss reguliert. Auch wenn es gelegentlich zu Überschwemmungen kam, so war doch die Wasserführung der Bäche und Flüsse im Wesentlichen ausgeglichen. Für den Einsatz hydraulischer Energie bedeutete das eine günstige Voraussetzung. So entstanden – den Tälern der Wasserläufe folgend – im Umland von Manchester zahlreiche industrielle Siedlungen. Die entscheidende Bedeutung, die den Faktoren Wassermenge und Gefälle in der englischen Frühindustrialisierung zukam, illustriert eine Episode, die aus dem Jahr 1784 berichtet wird.⁵⁵ Richard Arkwright, der „Vater der Textilfabrik“, traf damals den Glasgower Unternehmer David Dale südlich von Lanark am Wasserfall des River Clyde, eines der größten Flüsse Schottlands. Er prophezeite, dass hier ein zweites Manchester entstehen werde. Schon 1786 wurde mit dem Bau von New Lanark begonnen – späterhin eine der größten englischen Textilfabriken. Auch in England war damals noch Wasserkraft der entscheidende Standortfaktor für eine Industrieansiedlung.

Nicht nur Frankreich, das aufgrund seines Wasserreichtums besonders lang im Zuge des Industrialisierungsprozesses an der Nutzung dieser Energiequelle festhielt, trieb die Entwicklung der Wassertechnologie systematisch auf wissenschaftlicher Ebene voran. Auch England leistete dazu bis weit ins 19. Jahrhundert hinein sehr wesentliche Beiträge. Es ging um größere Räder, um Räder deren Material nicht zu rasch abgenützt sein sollte, vor allem um Räder, deren Schaufeln den Aufprall des Wassers energetisch optimal nutzten. Der große englische Techniker John Smeaton, der Erfinder des „breastwheel“, steht für diese englische Linie des Fortschritts der Wasserradtechnologie.⁵⁶ Zumindest noch in den 30er Jahren des 19. Jahrhunderts wurde in England die Nutzung der Wasserkraft ausgebaut – nicht nur in der

⁴⁹ Adriaan Verhulst, *The Carolingian Economy*, Cambridge 2002, S. 68, Bloch, *Avènement* (wie Anm. 8), S. 538-63, Reynolds, *Stronger* (wie Anm. 8, S. 49-51).

⁵⁰ Reynolds, *Stronger* (wie Anm. 8), S. 54 ff.

⁵¹ Georges Comet, *Pour une histoire des moulins entre technique et idéologie*, in: Galetti und Racine (wie Anm. 8), S. 29. Zu einzelnen seit dem Mittelalter industriell hoch entwickelten Regionen auf der Basis des Einsatzes von Wasserkraft in Frankreich: Lucas, *Industrial Milling* (wie Anm. 8), S. 26.

⁵² Muendel (wie Anm. 27), S. 226, derselbe, *The 'French mill' in Medieval Tuscany*, in: *Journal of Medieval History* 10, 1984, S. 215 ff.

⁵³ Claude Fohlen, *Die Industrielle Revolution in Frankreich 1700-1914*, in: Carlo Cipolla und Knut Borchardt (Hg.), *Die Entwicklung der industriellen Gesellschaften (Europäische Wirtschaftsgeschichte 4)*, Stuttgart 1985, S. 119.

⁵⁴ Richard L. Hills, *Power in the Industrial Revolution*, Manchester 1970, S. 95-7.

⁵⁵ Spinnerei eines Sozialutopisten. Weltkulturerbe New Lanark in Schottland (www.newlanark.org.uk, 08.02.2008).

⁵⁶ Hills, *Power* (wie Anm. 54), S. 98 ff. Samuel Lilley, *Technischer Fortschritt und Industrielle Revolution*, in: Carlo Cipolla und Knut Borchardt (Hg.), *Die Industrielle Revolution (Europäische Wirtschaftsgeschichte 3)*, Stuttgart 1973, S. 130.

Textilindustrie, sondern auch für die Metallverarbeitung, die Holz-, Papier- und Mühlenindustrie.⁵⁷ Der Einsatz der Dampfkraft ist komplementär dazu zu sehen.⁵⁸ In vielen Produktionsbereichen stellte er damals noch keine Alternative zur Wasserkraft dar.

Für die mit Wasserkraft betriebenen Anlagen der nordfranzösischen Textilindustrie gilt schon im Hochmittelalter, dass die bearbeiteten Rohstoffe von weither kamen.⁵⁹ Wichtige Grundlage dieser alten Tuchmacherlandschaft bildete die besonders hochwertige Wolle aus dem Nordwesten Englands. Ein anschauliches Beispiel gibt die Entwicklung im Beavais nördlich von Paris.⁶⁰ Getreidemühlen gehen hier schon im 9. Jahrhundert voraus. Die älteste Walkmühle wurde 1162/75 errichtet – also nicht viel später als in der nördlichen Toskana. Dreißig weitere Walkmühlen – großteils auf Initiative des Bischofs von Beauvais errichtet – schlossen sich in den folgenden Jahren im Thérain-Tal an. So entstand hier ein Tuchmacherzentrum auf der Basis von Wasserkraft. Industrielle Impulse die von diesem Zentrum ausgingen, beeinflussten benachbarte Regionen, so die Normandie und Flandern. Der Ausbau einer Tuchmacherregion auf der Basis englischer Qualitätswolle in Nordfrankreich ist der in der Region von Florenz vorausgegangen.

Dass das Aufkommen der Walkmühle gewerblich-industrielle Standorte grundsätzlich veränderte, konnte auch für England gezeigt werden. In einem Aufsatz mit dem provokanten Titel „An industrial revolution of the thirteenth century“ ist Eleanora Carus Wilson 1941 solchen Standortproblemen nachgegangen.⁶¹ Die neuen Walkmühlen entstehen an klaren und schnellen Gewässern im hügeligen Gelände des Nordens und Westens – in den gleichen Regionen also, in denen auf der Basis des mechanisierten Spinnens Jahrhunderte später wassergetriebene Textilfabriken errichtet werden. Es wurde schon darauf hingewiesen, dass diesbezüglich die Seidenspinnerei der Baumwollspinnerei lange vorangegangen ist. Die Rohseide für die Fabrik in Derby kam aus dem Osmanischen Reich. Auch die Rohbaumwolle wurde zunächst aus der Levante ins nordwestliche England importiert. Nach verschiedenen Wegen der Zulieferung innerhalb des englischen Handelsimperiums konzentrierte sich schließlich die Rohstofflieferung auf die reichen Anbaugelände Nordamerikas. Wenn auch der rasante Aufstieg der englischen Baumwollindustrie u.a. aus solchen Zusammenhängen der Handels- und Kolonialpolitik zu erklären ist – der Standortfaktor Wasserkraft wirkte in der Lokalisierung der Textilfabriken bis weit in die Blütezeit der Industriellen Revolution nach.

In Russland hat sich die Frühindustrialisierung nicht aus bodenständigen Traditionen alter Mühlenlandschaften heraus entwickelt. Vielmehr wurden weitgehend auswärtige Fachleute herangezogen, um industrielle Anlagen zu schaffen bzw. an ausländische Vorbilder anzuschließen.⁶² Hauptziel war dabei der Aufbau einer Eisenindustrie, um die militärische Rüstung voranzutreiben. Die verschiedenen Versuche in diese Richtung zeigen nun deutlich, in welchem Ausmaß auch in Osteuropa frühe Industrialisierungsprozesse von den naturräumlichen Voraussetzungen für den Einsatz von Wasserkraft abhängig waren.

Während des Nordischen Krieges (1700-1725) versuchte Peter der Große zunächst in Karelrien, die dortigen Eisenerzlager für den Aufbau einer Waffenindustrie zu nutzen. 1703 begründete er die später nach ihm Petrozavodsk benannte Industriesiedlung am Lososinska-

⁵⁷ Walter Minchinton, Veränderungen der Nachfragestruktur von 1750 bis 1914, in: Cipolla und Borchardt, Die Industrielle Revolution (wie Anm. 56), S. 105.

⁵⁸ David S. Landes, Wohlstand und Armut der Nationen. Warum die einen reich und die anderen arm sind, Berlin 1998, S. 207.

⁵⁹ Die nordfranzösischen Tuchindustriebezirke im Überblick bei Ennen (wie Anm 35), S.166, vor allem Karte, Abb. 9.

⁶⁰ Philippe Bourguès, Une réussite économique: les moulins hydrauliques de Beauvaisis à la fin du XIIe siècle, in: Galetti und Racine, I mulini, S. 203-15.

⁶¹ Economic History Review 11, 1941, S. 39-60.

⁶² Gregory Grossman, Die Industrialisierung Rußlands und der Sowjetunion, in: Cipolla und Borchardt, Die Entwicklung (wie Anm. 53), S. 404.

Fluss.⁶³ Die Anlage ist im Zusammenhang mit dem Aufbau der baltischen Flotte, insgesamt mit der Schwerpunktverlagerung des Reichs in die Ostseeregion zu sehen. Für den Betrieb der Werke mit hydraulischer Energie dürfte die Lage allerdings nicht günstig gewesen sein. Karelien war eine Region, in der auch weiterhin viele Windmühlen zum Einsatz kamen – stets ein Indikator für allzu geringes Gefälle von Wasserläufen.⁶⁴ Petrozavodsk hat zwar einige Jahrzehnte später in der Eisenproduktion noch eine Rolle gespielt, unter Peter dem Großen wurde es jedoch als führende Region der Waffenproduktion aufgegeben. Um 1720 kam es zum Transfer der technischen Experten in das Ural-Gebiet. An die Stelle des hauptstadtnahen Karelien trat nun die verkehrsmäßig extrem abgelegene Ural-Region als Waffenschmiede des Reiches. Mit den hier erzeugten Waffen, heißt es, sei der Nordische Krieg entschieden worden.⁶⁵

Die hydrologischen Voraussetzungen für eine frühindustrielle Produktion auf der Basis von Wasserkraft waren im Ural-Gebiet äußerst günstig.⁶⁶ Das Ural-Gebirge hält die feuchten, vom Atlantik kommenden Luftmassen auf und bewirkt eine relativ starke Niederschlagstätigkeit. Die Wasserführung der Flüsse ist dementsprechend reichlich. Das bergige Profil schafft ausreichendes Gefälle. So konnte hier in ersten Ansätzen schon im 17., auf viel breiterer Basis aber dann im 18. Jahrhundert, eine bedeutende Industrielandschaft auf der Grundlage von hydraulischer Energie entstehen.⁶⁷ Die Schwerindustrie stand dabei stets im Vordergrund, obwohl sich auch andere Industriesparten anschlossen. Um 1790 war Russland mit 139.000 Tonnen pro Jahr der größte Eisenproduzent vor Schweden mit 75.000 Tonnen und England mit 68 000 Tonnen.⁶⁸ Und diese rasante Entwicklung der Eisenproduktion wurde ausschließlich auf der Basis von Betrieben mit Wasserradantrieb geleistet.

Die starke räumliche Bindung von Prozessen der Frühindustrialisierung an Regionen, in denen hydraulische Energie eingesetzt werden konnte, macht eines deutlich: Die Industrielle Revolution muss in ihren Anfängen sehr stark von naturräumlichen Gegebenheiten abhängig gesehen werden. Es handelte sich nicht um einen Prozess, der regional beliebig einsetzen konnte. Vielmehr mussten ganz bestimmte geographische Voraussetzungen gegeben sein. Als weitester räumlicher Rahmen wurden die Anbaugelände von Brotgetreide hervorgehoben. Denn nur dort, wo Getreide zu Mehl vermahlen wurde, konnte die Getreidemühle und als ihre spezifische Sonderform die Wassermühle entstehen. Weltregionen mit einer anderen Ernährungsgrundlage fehlte die technologische Basis zur Mechanisierung im Anschluss an diese „älteste Maschine“.⁶⁹ Die Verfügbarkeit von Wasser zum Antrieb des Wasserrades bedeutet die nächste regionale Eingrenzung. In vielen Gebieten der Welt wurde nicht das Wasser sondern der Wind als Antriebskraft von Getreidemühlen

⁶³ Peter the First and Karelia (http://www.gov.karelia.ru/Different/peter1_e.html, 12.02.2008), The Role of Karelia in the Nordic War (<http://www.withirene/karelihi/karelihi10.html>, 12.02.2008), Jan M. Matley, Defense Manufactures of St.Petersburg 1703-1730, in: Geographical Review 71/4, 1981, S. 411-486.

⁶⁴ Yolt Ijzerman, North Russian Windmill, in: International Molinology 52, 1996, S. 2.

⁶⁵ Zu dieser kriegsentscheidenden Rolle der Eisenproduktion des Ural-Gebiets, das vor allem vom führenden Eisenindustriellen Nikita Demidoff erschlossen wurde: Nikita Demidoff. Un article de Wikipedia, l'encyclopédie libre (http://fr.wikipedia.org/wiki/Nikita_Demidoff, 12.02.2008).

⁶⁶ Die kurze Charakteristik der Naturbedingungen der Permer Region, S. 2. (<http://www.permecology.ru/DEU/geographical.php>, 12.02.2008).

⁶⁷ Jan Blanchard, Water- and Steam Power: Complementary or Competitive Sources of Energy, in: Cavaciocchi, Economia e energia (wie Anm. 8), S. 726, 788.

⁶⁸ Andrea Komlosy, Wirtschaftliche Entwicklungswege im Ostseeraum. Von der britischen Herausforderung zum Ende der Sowjetunion (19. und 20. Jahrhundert), in: Andrea Komlosy, Hans-Heinrich Nolte und Imbii Sooman (Hg.), Ostsee 700-2000, Gesellschaft-Wirtschaft-Kultur, S. 150 f.

⁶⁹ Uta Lindgren, Energie et Technologie au Moyen Age, in: Cavaciocchi, Economia e energia (wie Anm. 8), S. 143.

genutzt.⁷⁰ In Europa ist die Windmühle jünger als die Wassermühle.⁷¹ Sie wurde seit dem Mittelalter überall dort eingesetzt, wo die Wasserkraft nicht ausreichte – sei es, dass das Gefälle der Wasserläufe zu gering war, sei es dass in Trockenzeiten überhaupt kein Wasser zur Verfügung stand. Zwar gab es bei Windmühlen auch Ansätze zu alternativen gewerblichen Nutzungsformen⁷² – die Vielfalt frühindustrieller Produktionszweige, wie sie sich im Anschluss an die Wassermühle entwickelt hat, ist bei ihr jedoch nicht gegeben. Das „Europa der Windkraft“ wurde – sehr verallgemeinernd gesagt – nicht zum räumlichen Substrat von Industrialisierungsprozessen, wie wir sie im „Europa der Wasserkraft“ feststellen können. Die Vor- und Mittelgebirge mit ihren schnell fließenden Bächen, sind in der Regel die Gebiete, in denen sich frühe Gewerbe- und Industriereviere ausbilden, nicht die weiten Ebenen mit ihren langsam dahin fließenden Flüssen oder die wasserarmen Trockengebiete.⁷³ Wenn auch in vielen Großregionen sowohl Wasser- als auch Windmühlen vorkommen, ist die jeweils überwiegend genutzte Antriebskraft doch ein Indikator für unterschiedliche naturräumliche Bedingungen, die einmal diese, einmal jene Antriebskraft als vorteilhafter erscheinen ließen. Innerhalb des „Europa der Wasserkraft“ sind – wie erwähnt – sehr vielfältige Formen der Wassermühle entwickelt worden – solche mit horizontalem Wasserrad und solche mit vertikalem, diese wiederum unterschlächtig oder overschlächtig angetrieben. Im Wesentlichen kamen nur die Vertikalräder für eine technologische Weiterentwicklung in Richtung Frühindustrialisierung in Frage. In ihren hydrologischen Voraussetzungen waren sie auf ein zusätzlich eingeschränktes Verbreitungsgebiet begrenzt. Reichliche und regelmäßige Wasserführung, ausreichendes Gefälle und geringe Vereisungsgefahr sind immer wieder als entscheidende naturräumliche Voraussetzungen solcher frühindustrieller Anlagen begegnet.⁷⁴ So erscheint es nicht verwunderlich, dass die klimatisch so begünstigten Zonen Westeuropas von ihren besonderen Möglichkeiten des Einsatzes hydraulischer Energie her mit einem beträchtlichen Startvorteil in den Prozess der Industrialisierung eintraten.

⁷⁰ Im Überblick dazu Needham, Science (wie Anm. 8), S. 556 f., Fernand Braudel, Der Alltag, Sozialgeschichte des 15.-18. Jahrhunderts, München 1985, S. 386 ff.

⁷¹ Hans Pohl, Einleitung, in: Cavaciocchi, *Economia e energia* (wie Anm. 8), S. 19, Elmshäuser u.a., „Mühle/Müller“, in: Lexikon des Mittelalters 6, Stuttgart 1999, Sp. 886, Reynolds, Stronger (wie Anm. 8), S. 100, Hansjörg Küster, Geschichte der Landschaft in Mitteleuropa, München 1995, S. 263.

⁷² Über mit Windkraft betriebene Papiermühlen Günter Bayerl, Die Papiermühle, Frankfurt 1987, S. 321, 482, weiters Nick Kelly, Eine windbetriebene Papiermühle, in: *International Molinology* 66, 2003. Zu Verwendungszwecken von Windmühlen generell: Petra J. E. M. van Dam, Harnessing the wind. The history of Windmills in Holland, in: Galetti und Racine (wie Anm. 8), S. 34-54.

⁷³ Ebenso wie im Mittelmeerraum waren Windmühlen in weiten Gebieten Ost- und Südosteuropas stark verbreitet. In Polen betrug der Anteil der Windmühlen 1870 über 50% und noch 1923 40% mit besonderen Konzentrationen in den nördlichen Wojwodschaften (Zbigniew Chodyła, Les moulins à vent en Pologne, in: Galetti und Racine, *I mulini*, wie Anm. 8, S. 181 und 194). In Russland gab es 1913 mehr als 1 Million Windmühlen (Grigori Dmitriev, Wind energy in Russia, www.inforse.dk/europe/windrus/html). In Bulgarien waren zwar insgesamt die Wassermühlen in der Überzahl, Windmühlen gab es jedoch überall in der Dobrudja und nordwärts nach Bessarabien in Getreideanbaugebieten ohne geeignete Wasserläufe, aber mit ungehinderten Nordostwinden aus der russischen Steppe (Chris Gibbings, Bulgarische Windmühlen, in: *International Molinology* 66, 2003).

⁷⁴ Vielfältige positive und negative Einzelbedingungen für die Lagegunst von Mühlenbetrieben werden erwähnt bei Bayerl, Die Papiermühle (wie Anm. 72), S. 407, 411f., 418, 420, 429, 431f., 459. Auf die grundsätzlichen Schwierigkeiten, geeignete Mühlenstandorte zu finden, verweist Küster (wie Anm. 71), S. 263.