

Impulse aus Technik und Wissenschaft

Referat vom 26. April 2002 von Pascal Schuppli

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Einleitung | 2 |
| 2 | Übersicht | 3 |
| 2.1 | Prime Movers | 3 |
| 2.2 | Fortschritte in der Industrie | 4 |
| 2.3 | Naturphilosophie und Wissenschaft | 5 |
| 3 | Invention | 6 |
| 3.1 | Wer waren die Erfinder? | 6 |
| 3.2 | Was waren ihre Motive? | 6 |
| 3.3 | Das wissenschaftlich-technische Umfeld | 7 |
| 4 | Der Prozess der Innovation - Wie funktioniert der Technologietransfer? | 8 |
| 4.1 | Wirtschaftliche Faktoren - Der "Motor" der Nachfrage | 8 |
| 4.2 | Innovationsträger | 9 |
| 4.3 | Staatliche Intervention und Förderung | 10 |
| 4.3.1 | Staatliche Förderung | 10 |
| 4.3.2 | Staatliche Kontrolle | 12 |
| 4.4 | Widerstand gegen Innovation | 12 |
| 5 | Fazit | 12 |
| 6 | Bibliographie | 14 |

1 Einleitung

Zwischen den ungefähren Eckdaten 1750 und 1900 kam es in Europa zu einem gewaltigen Wachstum in der Technikbranche. Rückkoppelungseffekte und Synergien mit der Wirtschaft führten zu immer neuen Innovationen.

Ich will im Folgenden beleuchten, wie sich die Impulse aus Technik und Wissenschaft manifestierten und wie neue Technologie auf die Wirtschaft übertragen und von ihr aufgenommen wurde. Dafür ist es auch nötig zu verstehen, woher diese neue Technologie kam, also wer sie *erfand* und wie sie für die praktische Anwendung verwendbar wurde.

Dabei ist der Begriff des *Technologietransfers* zentral. Er beschreibt den Vorgang der Übertragung von Technologie von einem Gebiet auf ein anderes, hier von der *Invention*, also der ursprünglichen Erfindung, zur *Innovation*, der praktischen Verwendung der Technologie im wirtschaftlichen Produktionsprozess. Oft wird Innovation weiter aufgespalten in Innovation und *Diffusion*. Innovation in diesem Sinne bezeichnet die erste Anwendung in der Wirtschaft, Diffusion den Prozess, der die Technologie zum allgemein akzeptierten und verwendeten Mittel der Wirtschaft macht.

Wie bereits im Titel ersichtlich wurde, befasse ich mich mit *Technik* und *Wissenschaft*. Die Unterscheidung ist nicht ganz trivial; viele Forscher definieren diese Begriffe unterschiedlich. Ich halte mich an die Definition im Brockhaus:

Technik Alle Massnahmen, Verfahren und Einrichtungen zur Beherrschung und zweckmässigen Nutzung der Naturgesetze und der von der Natur gebotenen Energien und Rohstoffe.

Die Betonung liegt hier auf der *zweckmässigen Nutzung*. Andere Definitionen richten sich viel stärker auf diesen Aspekt aus, indem einen direkten Bezug zur wirtschaftlichen Anwendung herstellen. Sprechen wir jedoch von den Verfahren in einem Produktionsprozess, sprechen wir von *Technologie*. Diese Unterscheidung werde ich im weiteren vernachlässigen.

Wissenschaft Inbegriff dessen, was überlieferter Bestand des Wissens einer Zeit ist, sowie v.a. der Prozess methodisch betriebener Forschung und Lehre als Darstellung der Ergebnisse und Methoden der Forschung mit dem Ziel, fachliches Wissen zu vermitteln und zu wissenschaftlichem Denken zu erziehen. Die Wissenschaft beginnt mit dem Sammeln, Ordnen und Beschreiben ihres Materials. Weitere Schritte sind die Bildung von Hypothesen und Theorien. Sie müssen sich am Material bestätigen (Verifikation) oder bei Widerlegung (Falsifikation) durch neue ersetzt werden. [...]

Wissenschaft wird in angewandte ("applied") und reine ("pure") unterschieden. Die Grenzen zwischen angewandter Wissenschaft und Technik sind fließend.

Die Datenbasis der Technikgeschichte ist recht gross. Wichtige Erfindungen wurden bereits von den Zeitgenossen als solche erkannt und häufig dementsprechend gewürdigt. Biographisches Material zu den Erfindern ist vorhanden. Firmenarchive enthalten wertvolle Daten zu verwendeter Technologie. Aufzeichnungen von Patentämtern lassen uns die Anzahl der Inventionen (mit einiger

Unsicherheit wegen der Dunkelziffer bei Geheimhaltung von Erfindungen) quantitativ wenigstens relativ vergleichen.

Es gibt allerdings in der heutigen Forschung noch sehr viele Lücken in der Interpretation dieser Daten. Während das "was" und "wann" klar ist, gibt es keine einheitlichen Antworten auf das "wie" und "warum". Mehr oder weniger einfache Erklärungen, welche die industrielle Revolution vereinfacht gesagt als eine direkte Konsequenz von technischen Neuerungen, beispielsweise der Dampfmaschine, gesehen haben, sind seit längerer Zeit überholt. Die Neubewertung der Rolle, welche die Technik in Bezug auf das anhaltende Wirtschaftswachstum spielte, ist noch nicht abgeschlossen. Die neueren Theorien messen der Technik unterschiedliche Bedeutung zu, von einem integralen Bestandteil des sozialen und ökonomischen Wandels bis zum reinen Produkt des freien Marktes. Um diese Fragen zu klären, hat sich der Blick auf die Funktionsweise des Technologietransfers gerichtet. Wir können Invention, Innovation und Technologietransfer in Einzelstudien erfassen und zufriedenstellend erklären, das Bindeglied zu den übergreifenden Theorien jedoch fehlt weiterhin. Dementsprechend gibt es noch erhebliche Lücken in unserem Verständnis sowohl vom Ursprung des technischen Fortschrittes wie auch den Interdependenzen zwischen Technik und Wirtschaft.

2 Übersicht

Ich will versuchen, zuerst eine allgemeine Übersicht über den technischen Fortschritt zwischen 1750 und 1900 zu geben, bevor ich mich den Phänomenen der Invention und Innovation widme. Dabei zeige ich die Fortschritte auf drei Sektoren - im Bereich der Verwendung von Energie, welche nicht von Arbeitstieren und Menschen stammt, im Bereich der Industrie, und im Bereich der sich entwickelnden Wissenschaft.

2.1 Prime Movers

Unter einem Prime Mover verstehe ich den Hauptlieferanten von Arbeitskraft. 1750 standen davon, abgesehen von Muskeln, die sicher nicht zu vernachlässigen sind, vor allem drei Methoden zur Verfügung:

- Das Wasserrad
- Die Windmühle
- Die Dampfmaschine

Dabei spielten Wasserräder und Windmühlen zu dieser Zeit eine ungleich wichtigere Rolle als die Dampfmaschine, die noch nicht einmal in den Kinderschuhen steckte, sondern eher noch auf Knien auf dem Boden kroch. Es ist allerdings ein klarer Trend in Richtung Dampfmaschine auszumachen, vor allem in Gebieten, die mit billiger Kohle beliefert werden konnten. Dies trifft insbesondere auf England zu und weniger auf Frankreich und die Schweiz. Während Wasserrad und Windmühle durch das ganze 18. Jh. die Hauptarbeit leisteten - und der erste angetriebene Webstuhl 1795 wurde von einem Neufundländer-Hund betrieben - begann die Dampfmaschine zu Beginn des 19. Jh. aufzuholen. In der 2. Hälfte des 19. Jh. war sie mehr als konkurrenzfähig.

Im 18. Jh. allerdings wurden die ersten Dampfmaschinen nicht als Energiequelle für Maschinen in Betracht gezogen. Stattdessen wurden sie als Pumpen für Minenschächte benutzt oder allenfalls dazu, Wasser zu heben, das dann ein Wasserrad antrieb. Wasserkraft wurde jedoch gegen Ende des 18. Jh. immer knapper (in GB). Fabriken mussten an einem Fluss liegen, und Flüsse konnten nur eine begrenzte Anzahl Fabriken mit Energie beliefern. Es fand also ein Wettbewerb um Wasserkraft statt, der sich eigentlich positiv auf die Dampfmaschine hätte auswirken sollen. Auch waren Wasserräder und Windmühlen direkt vom vorherrschenden Wetter abhängig. Zudem lieferten Wasserräder ca 10 PS, 5 im Durchschnitt. Windmühlen brachten es auf durchschnittliche auf 10 PS und konnten ohne Konstruktionsänderung auf 30 PS gesteigert werden.¹ Um 1800 sprachen Watt und Boulton ihrer Dampfmaschine eine Leistung von 20 PS zu.

Die Kohlenminen, Eisenindustrie und die technischen Verbesserungen, vor allem die Entdeckung, wie man das auf-und-ab des Zylinders in eine Rotationsbewegung umwandeln konnte, machten einen Erfolg der Dampfmaschine möglich. Um 1800 gab es 496 Watt-Maschinen in England, 308 rotierende, 164 pumpende, und 24, die für Heissluft in Hochöfen sorgten. Schaut man sich den Kohle-Verbrauch an, ist die Progression eindeutig: 1700 wurden 3 Mio Tonnen Kohle in Grossbritannien gefördert, 1800 doppelt so viel, 1850 20 mal so viel. Allerdings verzeichnet die führende Dampfkraft-Industrie Baumwolle selbst 1830 noch 1/4 wassergetriebene Maschinen.

Den Maschinenbauern fehlte es an fähigen "Ingenieuren", und Präzisionsarbeit, wie sie für die Konstruktion von Dampfmaschinen nötig war, war nur sehr schwer herzustellen, wenn nicht unmöglich. Die eigentliche Entwicklung, welche die Dampfmaschine salonfähig machte, fand zwischen 1800 und 1850 statt. Dies ist erstaunlich, wenn man bedenkt, dass die erste einigermaßen funktionsfähige Dampfmaschine bereits 1718 gebaut war - die sogenannte Newcomen-Maschine - und dass bereits im vorausgehenden Jahrhundert mit der Idee einer Dampfmaschine gespielt worden war.

2.2 Fortschritte in der Industrie

Es ist nicht einfach, den technischen Entwicklungen, die für die Industrie relevant waren, eine Richtung zuzuschreiben. Eine verbreitete Meinung ist, dass Technologie sich von den mechanischen Industrien, wie Textilverarbeitung und Maschinenbau, zu Prozess-Industrien, wie der Chemie und der Metall- bzw Stahlherstellung - bewegte.

Es ist einleuchtend, dass technischer Fortschritt in der Industrie sich in der zweiten Hälfte des 18. Jh vor allem auf den Textilsektor konzentrierte. Diese Industrie war *die* Industrie schlechthin.

Konkret zeigten sich die technischen Impulse in der zunehmenden Mechanisierung der Spinnereien und Webereien, welche ungefähr um 1830 abgeschlossen war (sofern man bei einem solchen Prozess von einem Ende sprechen kann). Dabei bestanden natürlich gegenseitige Abhängigkeiten zwischen der Textilindustrie, dem Maschinenbau, und der Suche nach Arbeitslieferanten. Das Sprichwort *Necessity is the mother of invention* ist hier wohl nicht ganz fehl am Platz, obwohl ich diese Aussage später noch genauer betrachten werde.

¹Dickinson 1958, S. 155ff

Die Mechanisierung in der Textilindustrie hatte direkte Konsequenzen in anderen Industriezweigen. Der vergrößerte Ausstoss musste von den Bleichern und Färbern irgendwie verkraftet werden. Das Bleichen jedoch war ein Prozess, der Licht und mehrere Wochen Zeit erforderte, er konnte kaum beschleunigt werden. Innovationen in der Chemie führten zum Bleichpulver und zu synthetischen Farbstoffen. Diese Entwicklungen sind mit der chemischen Revolution - einer Neubewertung wissenschaftlicher Theorien - in Verbindung zu setzen, welche sich im letzten Jahrzehnt des 18. Jh. durch Lavoisier und ähnlich gesinnte Chemiker vollzog.

Ungefähr ab 1850 ist auch festzustellen, dass Inventionen nicht mehr eher zufällig durch Experimentieren gemacht wurden, sondern vermehrt durch systematisches Anwenden von wissenschaftlichen Erkenntnissen.

2.3 Naturphilosophie und Wissenschaft

Ich verwende den Begriff *Naturphilosophie*, um die vorherrschende Stimmung des 18. Jh. besser zu treffen, was wissenschaftliches Denken betrifft. Von Wissenschaft nach unserem heutigen Verständnis sollte in Bezug auf diese Zeitspanne eben Abstand genommen werden. Unser Verständnis von einer Naturwissenschaft, die systematisch beobachtet, Hypothesen aufstellt und sie durch falsifizierbare Experimente überprüft, begann sich erst gerade zu entwickeln.

Es ist wohl sicher zu behaupten, dass die reine Wissenschaft im 18. Jh. nicht viel für die Wirtschaft getan hat und auch auf technische Neuerungen nur einen marginalen Einfluss ausgeübt hat. Wir befinden uns im 18. Jh. noch in der Phase der empirischen Datensammlung - technischer Fortschritt setzte die Akademiker in einen Erklärungsnotstand. So wird oft behauptet²

The steam-engine did more for science than science did for the steam engine.

Dies ist wahrscheinlich richtig, jedenfalls bis ungefähr 1850. Zwar fand bei der Entwicklung von Watts Dampfmaschine eine gewisse Zusammenarbeit zwischen ihm und Professor Joseph Black und anderen Wissenschaftlern statt, die ich nicht herabsetzen will. Es bleibt aber doch festzustellen, dass der Begriff der physikalischen Arbeit als messbare Grösse, das damit zusammenhängende Konzept der Energie und das Prinzip der Energieerhaltung einen Löwenanteil den Bemühungen verdanken, eine Dampfmaschine zu bauen. Die Thermodynamik hat enorm von diesem Bestreben profitiert.

Dieses "Erklärungsverhalten" der Wissenschaft änderte sich mit der Zeit. Im Bereich der Chemie geschah dies früher als in anderen Bereichen, vielleicht ausgelöst durch den vermehrten Druck, welcher die Textilindustrie auf sie ausübte. Die chemische Revolution, welche der Phlogiston-Theorie abschwor³ und den Grundstein der heutigen Chemie inklusive Vielzahl der Elemente und Nomenklatur legte, ermöglichte beispielsweise die Herstellung von synthetischen Farben, Bleichmitteln, die Massenherstellung von bestimmten Säuren und Salzen und später die gezielte Entwicklung von Sprengstoffen.

²Forbes 1958, S. 165.

³*Phlogiston-Theorie*: Lehre, dass es ein "feuriges" Element - das Phlogiston - gibt, das für die Brennbarkeit von Materialien verantwortlich ist. Bei der Verbrennung verbrennt das Phlogiston und lässt unbrennbare Rückstände zurück. Diese Theorie wurde durch die Entdeckung des Sauerstoffs und seiner zentralen Rolle beim Verbrennungsprozess widerlegt.

Nach dieser zugegeben sehr oberflächlich gehaltener und generalisierter Übersicht soll nun vertiefter auf die die beiden Prozesse der Invention und der Innovation eingegangen werden.

3 Invention

Dieser Abschnitt befasst sich mit der Invention, also der eigentlichen Erfindung einer neuen Technik. Wie ich später erklären werde, ist die Unterscheidung von Invention und Innovation von zentraler Bedeutung.

3.1 Wer waren die Erfinder?

Wer machte eine Erfindung? Leider gibt es hier keine Möglichkeit zu generalisieren. Die Antwort muss lauten: Jedermann. Ich konnte keinen eindeutigen Trend ausmachen.

So erfand beispielsweise ein Konditor den Vorläufer der Konservendose. Der erste von Dampf bewegte Zylinder wurde von Papin dem Assistenten eines Wissenschaftlers erfunden, Watt, der die Dampfmaschine entscheidend verbesserte, war Instrumentenmacher, ein Handwerker also, wie auch Smeaton. Der Mann, welcher das Längengrad-Problem löste, war Uhrmacher. Telford, ein Steinmetz, hat markante Beiträge zum Mörtel geleistet. John Marshall war industrieller Flachspinner. Zwar verbindet diese Menschen alle ein Interesse für die Wissenschaft und Verbindungen zu ihr. Diese Gemeinsamkeit kann sich aber nicht aufrechterhalten. Im Bereich der Mechanisierung der Baumwollindustrie beispielsweise verfügten nur wenige Leute über eine wissenschaftliche Bildung, die meisten waren einfache Handwerker. Crompton bildete sich an Abendschulen weiter. Cartwright, Erfinder des maschinellen Webstuhls, war Doktor der Theologie und verfügte über keine Ausbildung in Mechanik.⁴

3.2 Was waren ihre Motive?

Ebenso wie die Erfinder differieren, sind auch ihre Motive sehr unterschiedlich. So muss die *Unvermeidlichkeitstheorie*⁵ - Necessity is the mother of invention -, die davon ausgeht, dass eine Erfindung praktisch automatisch gemacht wird, sobald die wirtschaftliche Nachfrage nach einem Fortschritt auf einem bestimmten Gebiet gross genug ist, doch stark angezweifelt werden, weil man eben *nicht* zeigen kann, dass alle Erfinder durch wirtschaftliche Motive getrieben waren. Zudem wurden Erfindungen oft gemacht, lange bevor sie als Innovationen in der Wirtschaft aufgingen. Tatsächlich scheint die einfache Neugier und das Verlangen nach persönlichem *Wissenszuwachs* oft eine übergeordnete Rolle gespielt zu haben. Andererseits kann man Unternehmern, welche einer Erfindung machten, sehr wohl das Motiv unterstellen, sie hätten ihren Produktionsprozess verbessern wollen. Es ist sicherlich auch richtig, dass eine gewisse Basis vorhanden sein muss, bevor eine Erfindung gemacht wird - es dürfte kaum möglich sein, eine Atombombe zu erfinden, wenn man nicht einmal von der Existenz von

⁴Für detailliertere "Lebensläufe" siehe Musson, 1977, S.113-130.

⁵Für eine eingehendere Diskussion siehe Musson 1977, S. 61ff. Das Gegenstück ist die *Heroentheorie*, welche sämtliche Inventionen genialen Menschen zuschreibt und den aufbauenden Effekt vorheriger Erfindungen und Entdeckungen grossteils ignoriert. Siehe dazu auch O'Brian 1991, S. 6-17.

Uran weiss, geschweige denn von der Nuklearphysik. Eine Invention benötigte und benötigt in den allermeisten Fällen einen Nährboden; ich zweifle auch nicht an, dass Druck aus der Wirtschaft eine Invention durchaus begünstigen konnte. Ein schönes Beispiel stellt der Uhrenmacher John Harrison dar: Zwar schrieb das englische Parlament einen Preis von mehreren Millionen (nach heutigem Massstab) aus für denjenigen, dem es gelang, das Längengradproblem mittels eines Chronometers zu lösen - sicherlich eine starke Motivation. Aber kann es erklären, weshalb ein Mensch sein ganzes Leben lang, trotz zahlreicher Rückschläge und Widrigkeiten, hartnäckig an diesem Problem arbeitete?

Als Merkpunkt sollte man mitnehmen, dass es kein klar erkennbares System hinter Person und Motivation der Inventoren gibt und dass deshalb die Theorien, welche Invention allein durch Wirtschaftswachstum respektive Marktfaktoren erklären, mit grösster Vorsicht zu geniessen sind. Allerdings ist das Angebot an aussagekräftigen besseren Theorien sehr gering.

3.3 Das wissenschaftlich-technische Umfeld

Inventoren operierten nicht im leeren Raum. Zwar können Erfinder durchaus einzelne Erfindungen in "splendid Isolation" machen. Diese Erfindungen bringen aber nicht viel, wenn niemand davon erfährt. Wenn Wissen nicht auf breiter Basis verbreitet werden kann, wird der Grundstock an Wissen, über den die Menschheit verfügt, nur sehr langsam grösser.

Mitte des 18. Jh. herrschten glücklichere Umstände. Eine Unmenge von Gesellschaften hatten sich gebildet, die häufig aufklärerische Ziele verfolgten. Damit einher ging oft ein tiefes Interesse für die Wissenschaft oder die praktische Anwendung von gewonnenem Wissen. In Bern existierte die ökonomische Gesellschaft, die beispielsweise Preise verlieh für Arbeiten, welche auf dem Feld der Agrarwirtschaft praktische Verbesserungen fanden. In England waren die zwei berühmtesten Gesellschaften die Royal Society und die Lunar Society in Birmingham. Mitglieder dieser Gesellschaften waren eine glückliche Mischung aus Leuten, die in der Politik, der Wirtschaft und der Wissenschaft tätig waren, und es wurden auch Leute aufgenommen, welche sich durch praktische Arbeit hervorgetan hatten. Die Gesellschaften sahen ihre Aufgaben meist ähnlich wie die Royal Society:

The business of the Royal society is: To improve the knowledge of natural things, and all usefull Arts, Manufacturers, Mechanick practices, Engynes and Inventions by Experiment.

Einher mit diesen Gesellschaften ging die Publikation von mehr oder weniger wissenschaftlich orientierten Zeitschriften, in welchen jeweils neue Erkenntnisse vorgestellt wurden.

Zudem wurden von einzelnen Mitgliedern der Gesellschaften richtige Bibliotheken mit Werken der reinen und angewandten Wissenschaft aufgebaut. Diese Bibliotheken wurden mitunter den Gesellschaften gespendet. Es bleibt also festzuhalten, dass durch die Gesellschaften, Zeitschriften und Bibliotheken erstmals Wissen gesammelt, in grossem Stil publiziert und in ganz Europa verbreitet wurde. Lavoisiers *traité élémentaire de chimie* wurde 1789 publiziert. Es erschien bereits 1790 auf Englisch und 1792 auf Deutsch und wurde auch ins Holländi-

sche, Italienische und Spanische übersetzt.⁶

Die Publikation statt früherer Verheimlichung von Entdeckungen scheint ein Bruch mit der Vergangenheit zu sein, abgesehen einmal von dem "Wirtschaftswunder Holland". Positiv auf die Publikation wirkten sich wahrscheinlich das Patentsystem und die damit zusammenhängende Idee des geistigen Eigentums auf.⁷

Zeitgenossen, welche sich für technische oder wissenschaftliche Neuerungen interessierten, hatten also ab der zweiten Hälfte des 17. Jh. ausserordentlich gute Chancen, sich breites Wissen auf dem Gebiet anzueignen, egal, ob sie reine Wissenschaft betrieben, praktisch arbeiteten oder als Unternehmer sich über den neusten Stand der Technologie auf ihrem Produktionssektor informieren wollten.

Entsprechend kann man auch eine Zusammenarbeit der Wissenschaft mit den eigentlichen Inventoren feststellen. Eine Zusammenarbeit von Watt mit Professor Joseph Black, der Mitglied der Lunar Society war, ist belegbar. Ebenso gibt es weitere Zeugnisse für ähnlichen Gedankenaustausch.

Während im 18. Jh. der Aspekt der Autodidaktik bei Inventoren vorherrschte, verschob sich der Schwerpunkt im 19. Jh. immer stärker auf die Ingenieurschulen, die in der ersten Hälfte des 19. Jh. aus dem Boden zu spriessen begannen. Wer nun eine technische Ausbildung geniessen wollte und über die Mittel verfügte, musste sie sich nicht mehr selbst aneignen, sondern wurde *ausgebildet*.

4 Der Prozess der Innovation - Wie funktioniert der Technologietransfer?

Um den Wissens- und Technologietransfer überhaupt betrachten zu können, muss klar sein, dass er existiert. Gäbe es keinen Unterschied zwischen Invention und Innovation - würde also jede Erfindung gleich im wirtschaftlichen Produktionsprozess angewandt - wäre kein Wissenstransfer nötig. Dem ist jedoch nicht so. Der Wissenstransfer existiert und kann für verschiedene Inventionen nachgewiesen werden. Was allerdings variiert, ist die Zeitspanne, die zwischen Invention und Innovation liegt. Es kommt vor, dass Invention und Innovation von der gleichen Person gemacht werden; in diesem Fall ist die Zeitspanne meistens sehr klein. Gerhard Mensch hat Zahlen zur Zeitspanne zwischen Invention und Innovation gesammelt, welche für sich selbst sprechen.⁸

4.1 Wirtschaftliche Faktoren - Der "Motor" der Nachfrage

Es besteht ein deutlicher, zeitlich abgrenzbarer Unterschied zwischen Invention und Innovation. Die Frage ist: Wodurch ist diese zeitliche Verzögerung erklärbar, und warum gibt es für unterschiedliche Inventionen unterschiedlich lange Verzögerungen?

Während bei der Invention die Rolle des Marktes meiner Meinung nach wenn nicht nebensächlich, so wenigstens nicht von zentraler Bedeutung war, spielen

⁶Cohen 1994, S. 346

⁷Ubbelohde 1958, S. 670f.

⁸Mensch 1975, S. 176, S. 195ff

Marktkräfte bei der Innovation - also der Übernahme und Anwendung neuer Technik in der Wirtschaft - eine ganz entscheidende Rolle.⁹

Einerseits wird Innovation durch Nachfrage gefördert. So geht Peter Dudzik davon aus, dass kluge Unternehmer in neue Technologie investieren, wenn sie sich daraus einen Vorteil versprechen - beispielsweise, wenn sie durch ihren Einsatz kurzfristig eine Monopolstellung sichern können. Er nimmt an, dass innovationsfreudige Unternehmer besonders in Perioden des Konjunkturaufschwungs erfolgreich sind (waren), während sie in Stagnationsperioden ihren eher kaufmännisch orientierten Kollegen unterliegen. Er verdeutlicht dies am Beispiel der Baumwollspinnereien in der Schweiz im 19. Jh.

Mensch ist anderer Ansicht: Für ihn wird Innovation zwar auch durch Druck aus der Wirtschaft begünstigt, aber er spricht vom technologischen Patt: Wenn eine technische Basis erst einmal existiert, werden Unternehmer sich scheuen, in risikoreiche, neue Technologie zu investieren. Innovation geschieht erst dann, wenn die Wirtschaft - durch Unterlassungssünden im Bereich der Innovation - sich in eine Rezession und Depression hineinmanövriert. Dies wird Kapital freisetzen (Investition in stagnierende Sektoren lohnt sich nicht mehr), und verzweifelte Unternehmer werden risikofreudiger sein. Innovation ist nach Mensch also vor allem in stagnierenden Wirtschaftssystemen festzustellen, und er versucht dies auch aufgrund von empirischen Untersuchungen zu belegen.

Mensch versucht auch die massive zeitliche Differenz zu erklären, welche in verschiedenen Bereichen zwischen Invention und Innovation herrscht. Er geht davon aus, dass Inventionen, welche in einem bereits bestehenden Wirtschaftszweig die Produktion verbessern könnten, rasch übernommen werden, da eine Investition in die Innovation relativ kleine Risiken birgt. Inventionen, welche völlig neue Wissens- und Wirtschaftszweige eröffnen, sind entsprechend träger beim Durchbruch zur Innovation.

Diese Theorie würde erklären, weshalb die Textilindustrie innerhalb weniger Jahrzehnte komplett mechanisiert wurde - es war die vorherrschende Industrie - während beispielsweise der Siegeszug der Dampfmaschine lange auf sich warten liess.

4.2 Innovationsträger

Von diesen unterschiedlichen Meinungen über die Ursachen von Innovation einmal abgesehen, wer war direkt für Innovation verantwortlich? Innovation geschieht ja nicht über Nacht, und sie wird nicht von Hezelmännchen vollbracht.

Eine differenzierte Antwort ist angebracht. Insbesondere in der Frühphase der industriellen Revolution - über das gesamte 18. Jh. - scheinen fähige Handwerker eine grosse Rolle gespielt zu haben, insbesondere Mühlenbauer und Uhrmacher.¹⁰ Mühlenbauer im 18. Jh. hatten Kenntnisse in Geometrie, Arithmetik, praktischer Mechanik, Vermessung und ein rudimentäres Verständnis von Arbeitsgeschwindigkeit, Leistung und Wirkungsgrad. Uhrmacher hatten ein gutes Verständnis von Maschinen, Zahnrädern und so weiter. Sie waren es, welche entweder direkt Verbesserungen für Maschinen fanden und umsetzten, oder aber die Verbesserungen, welche andere Leute erdachten, in die Praxis umsetzen konnten.

⁹Für eine Auswahl an Theorien dazu siehe O'Brian 1991, S. 6-17.

¹⁰Musson 1977, S. 113f

Dies ist nicht nur im Bereich des Wissenstransfers von der Invention zur Innovation der Fall, sondern auch im Bereich des Technologietransfers von einem Bereich der Wirtschaft in einen anderen.

Mit der Ausbildung von immer mehr technisch orientierten Schulen verlagerte sich die Rolle des Innovationsträgers stärker auf qualifizierte Ingenieure.

Als (vielleicht "indirekte") Innovationsträger müssen auch die technisch innovativen Unternehmer gelten, welche die Chance sahen, durch Innovationen in ihrem Produktionsprozess Einsparungen vorzunehmen respektive qualitativ hochwertige Produkte zu erzeugen und so nicht nur konkurrenzfähig zu bleiben, sondern führende Positionen einzunehmen. Obwohl längst nicht alle Unternehmer sich als Experimentierer betätigten, so gab es doch auch Unternehmer, welche die Wichtigkeit technischer Neuerung erkannten und entsprechendes Personal einstellten, welches dann Innovationen durchführte.

Es sollte allerdings auch hier differenziert werden: So hatten nach Christine Macleod diejenigen Unternehmer mehr Interesse an der *Verbreitung* von innovativen Techniken, welche sich mit dem Bau von Produktionsmitteln beschäftigten, also beispielsweise Maschinenbau-Unternehmen, während Unternehmer, welche innovative Techniken nur zur Herstellung ihrer eigenen Produkte benutzten, abgeneigt waren, innovative Techniken zu verbreiten und deshalb nur bedingt zu Trägern der Innovation gerechnet werden können.¹¹

4.3 Staatliche Intervention und Förderung

Welche Rolle spielte der Staat beim Übertragen von Wissen und Technik in den wirtschaftlichen Bereich?

Es kann grundsätzlich zwischen zwei Verhalten unterschieden werden - Förderung und kontrollierende Intervention.

4.3.1 Staatliche Förderung

Förderung schlägt sich vor allem in der Einrichtung von unterstützenden Institutionen nieder. Kurz eingehen möchte ich auf die Einrichtung von technischen Schulen und auf das Patentsystem, wie auch auf eine indirekte Förderung durch schwierig zu erfassende Aktionen in den Gesellschaften und auf militärische Bedürfnisse.

Technische Schulen Die Ursprünge fallen bis ins 17. Jh zurück, als in Frankreich die *Académie Royale des Sciences* von Minister Colbert von Louis XIV gegründet wurde. Die Aufgabe der Akademiker war es, sich mit der Lösung von Problemen zu befassen, welche die Regierung ihnen stellte. 1703 entstand das *Corps des Ingenieurs de Génie Militaire*, und 1747 wurde die *École des ponts et Chaussées* gegründet, deren Abgänger ebenfalls zu einem grossen Teil Verbindungen zur Armee hatten. 1794 schliesslich entstand die *École Polytechnique de Paris*, deren Gründung ebenfalls militärisch angehaucht war. Frankreich verfügte so früh über ein Kader von systematisch ausgebildeten Ingenieuren. Telford, Präsident der 1818 gegründeten britischen *Institution of Civil Engineers*, sagte dazu¹²:

¹¹Macleod 1992

¹²Armytage 1961, S 178ff

In other countries [Frankreich und Deutschland], similar establishments are instituted by government, and their members and proceedings are under their control.

Nach Frankreichs Vorbild begannen auch andere Staaten mit der Gründung von technischen Schulen. In Deutschland geschah dies vor allem in den 1820er- und 30er Jahren. England scheinen die Schulgründung über die ersten zwei Drittel des 19. Jh. verstreut zu sein, allerdings mit weniger staatlich geförderten Gründungen als in Frankreich. Die USA zogen erst etwa ab Mitte des 19. Jh. nach. 1861 beschloss die Legislative von Massachusetts die Gründung des MIT. 1862 erliess das Federal Government den Morrill Act, der Colleges in der Art des MIT gratis Land zur Verfügung stellte. Auch die Schweiz ist mit der Gründung der ETH Zürich um 1854 eher ein Schlusslicht.

Impulse in Gesellschaften Wie bereits erwähnt waren Mitglieder von technisch interessierten Gesellschaften - jedenfalls in der 2. Hälfte des 18. Jh. - oft politisch als Beamte aktiv oder hatten wichtige wirtschaftliche Positionen (zum Teil bedingte das eine das andere). Obwohl hier der Einfluss des personifizierten "Staates" nicht klar gemessen werden kann, ist anzunehmen, dass ein gewisser Interessenaustausch stattgefunden hat.

Patente Der Staat stellte auch das Patentsystem zur Verfügung, obwohl hier nicht wirklich von einer Förderung gesprochen werden kann, da das Patentsystem in mehr oder weniger gleicher Form bereits lange existierte. Trotzdem war es eine staatliche Institution, welche nach Mensch zumindest während der Frühindustrialisierung, als Inventoren und Innovatoren noch mehrheitlich identisch waren, einen positiven Effekt auf die Inventions- und Innovationstätigkeit ausgeübt hat.¹³ Die fördernde Wirkung des Patentsystems im Allgemeinen wird allerdings häufig bezweifelt.¹⁴

Militär Innovation wurde auch durch das Militär vorangetrieben. Das Militär hat für die Wirtschaft verlockende Eigenschaften¹⁵:

- Geld spielt eine untergeordnete Rolle
- Vergrößerung der Armee benötigt Massenproduktion und Standardisierung
- Die Armee beauftragt häufig Privatfirmen

Der sogenannte *spin-off*, der Technologietransfer einer militärischen Innovation auf die zivilen Industrien, spielte aber nach Clive Terbilcock erst ab ca 1870 eine Rolle. Bis dahin gibt es nur sehr wenige Beispiele für spin-off-Technologie. Die prominentesten sind Fortschritte in den Giessereien (uniforme Kanonen) und die Erfindung und Produktion von Drehbänken (Aushöhlung der Kanonen). Ab 1870 gab es jedoch eine rapide Entwicklung der spin-off-Technologien, da das Staatsmonopol für Rüstungsaufträge aufgehoben und zuerst auf 1/2, dann um

¹³Mensch 1975, S. 239f.

¹⁴Nicht nur in Bezug auf die Vergangenheit, sondern noch viel mehr bezogen auf heutige Probleme. Die Debatte um Software-Patente beispielsweise ist brandheiss.

¹⁵Goodman/Honeyman 1988, S. 99f.

1900 auf 1/3 gesenkt wurde.¹⁶ Übertragene Technologien waren meistens im Bereich der Produktionstechniken einzuordnen auf den Gebieten der Massenproduktion, vollaustauschbaren Teilen, Maschinenbau, aber auch der Entwicklung von Explosivstoffen. Die Waffenindustrie wirkte sich positiv auf die Fahrrad- und Automobil-Industrie aus.

4.3.2 Staatliche Kontrolle

Der Staat griff jedoch nicht nur fördernd, sondern ab der zweiten Hälfte des 19. Jh. verstärkt auch kontrollierend in den Innovationsprozess ein. Dies konnte zwar fördernde Resultate haben: Beispielsweise schrieb der britische Mines Act 1850 die Inspektion von Minen durch qualifizierte Fachkräfte vor, was direkt zur Gründung der *School of Mines* führte, um entsprechende Fachkräfte auszubilden. In Frankreich haben wir 1823 einen königlichen Erlass über Dampfmaschinen und Kessel, 1830 eine umfassendere Revision, welche zur Verhinderung von Kesselexplosionen beitragen sollte. In den USA wurde 1852 nach einer Häufung von Kesselexplosionen auf Dampfschiffen ein ähnlicher Schritt gemacht.¹⁷

4.4 Widerstand gegen Innovation

Innovation wurde nicht immer gern gesehen. Abgesehen von trägen Unternehmern gab es auch aktiven Widerstand. Beispielsweise wurde das Wort "Sabotage" von Arbeitern geprägt, welche ihre Schuhe in Maschinen warfen, um sie zu stoppen. Bereits bei der vermehrten Einführung von Windmühlen als Energielieferanten ist Widerstand zu erkennen - mehrere Windmühlen wurden von wütenden Menschen zerstört. Innovation bedeutete vor allem für Arbeiter auf Gebieten, welche mechanisiert wurden, den Verlust oder eine zunehmende Trivialisierung ihrer Arbeit.¹⁸ Interessant ist, dass in von Männern dominierenden Gewerbesektoren Innovationen weniger schnell eingeführt wurden als in von Frauen und Kindern dominierten.¹⁹

5 Fazit

Im 18. Jh kam es langsam zur Ausbildung eines Netzwerkes von naturwissenschaftlich interessierten Menschen, welches einerseits Invention durch Verbreitung von und aktives Suchen nach Wissen gefördert hat, andererseits aber auch einen Faktor im Innovationsprozess darstellte.

Der Inventionsprozess muss vom Innovationsprozess abgekoppelt werden. Es können für unterschiedliche Gebiete unterschiedlich rasche Übergänge von der Invention zur Innovation und Diffusion beobachtet werden. Für die konkreten Ursachen dieser Differenzen wurde aber nur bedingt eine Erklärung abgegeben.

Die Urheber der Invention wurden beleuchtet. Die Theorie, dass Marktkräfte direkt für Invention verantwortlich sind, muss stark angezweifelt werden. Ursa-

¹⁶Ich nehme an, es handelt sich hierbei um England. Siehe Trebilcock 1975, S. 337-357.

¹⁷Burke 1975, S. 314-336

¹⁸Andererseits führte sie zu vermehrter Nachfrage nach hochqualifizierten Arbeitskräften im Maschinenbau. Das Phänomen ist auch heute mit der Verdrängung von Arbeitsplätzen durch den Computer bekannt.

¹⁹Goodman/Honeyman 1988, S. 89-102.

chen und Träger der Innovation wurden betrachtet, sowie die Rolle des Staates und Widerstand gegen die Innovation kurz angeschnitten.

Viele Fragen bleiben ungeklärt: Was sind die Ursachen der Invention? Gibt es eine lineare Kopplung zwischen Invention und Innovation (Mensch bezweifelt es), mit anderen Worten, sind Innovationsaufkommen Folgen von Inventionsaufkommen? Wäre also ultimativ die Wissenschaft verantwortlich für ein Ausbleiben von Innovation, oder ist es der Trägheit der Wirtschaft zuzuschreiben? Gibt es klare Tendenzen staatlicher Intervention im 18. und 19. Jahrhundert? Wie gross war die Rolle der Wissenschaft, d.h. wie stark waren die Impulse aus der Wissenschaft im 18. und 19. Jahrhundert? Ist eine Erklärung des technischen Fortschritts, welche primär auf einer "Critical Mass" des Wissens basiert und einen take-off der Technik propagiert, ausreichend? Welche Rolle spielten Widerstände gegen Innovation und wie wurden sie abgebaut?

6 Bibliographie

- Armytage, W.H.G: *A Social History of Engineering*, London 1961
- Cohen, Bernard: *Revolutionen in der Naturwissenschaft*, Frankfurt a.M. 1994
- Conrad, Walter (Hrsg.): *Geschichte der Technik in Schlaglichtern*, Mannheim 1997
- Dudzik, Peter: *Innovation und Investition. Technische Entwicklung und Unternehmerentscheide in der schweizerischen Baumwollspinnerei 1800-1916*, Zürich 1987
- Goodman, J., Honeyman, K: *Gainful Pursuits. The Making of Industrial Europe 1600-1914*, New York 1988
- Aus Hausen, Karin und Rürup, Reinhard (Hrsg.), *Moderne Technikgeschichte*, Köln 1975:
 - Burke, John G: *Kesselexplosionen und bundesstaatliche Gewalt in den USA*, S. 314-336.
 - Trebilcock, Clive: *Rüstung und Industrie: Zum "spin-off"-Problem in der britischen Wirtschaftsgeschichte 1760-1914*, S. 337-357.
- MacLeod, Christine: *Strategies for innovation: the diffusion of new technology in nineteenth-century British industry*, aus: *Economic History Review*, XLV, 2(1992), S. 285-307
- Aus Mathias, Peter, Davis, John A. (Hrsg.): *Innovation and Technology in Europe*, Oxford 1991:
 - Mathias, Peter: *Resources and Technology*, S. 18-42.
 - O'Brien, Patrick: *The Mainsprings of Technological Progress in Europe 1750-1850*, S. 6-17.
 - Stoneman, Paul: *Technological Diffusion: the Viewpoint of Economic Theory*, S. 162-184.
- Mensch, Gerhard: *Das Technologische Patt. Innovationen überwinden die Depression*, Frankfurt a.M. 1975
- Aus Musson, A.E (Hrsg): *Wissenschaft, Technik und Wirtschaftswachstum im 18. Jahrhundert*, Frankfurt a.M. 1977:
 - Mathias, Peter: *Wer entfesselte Prometheus? Naturwissenschaft und technischer Wandel 1600-1800*, S. 83-112.
 - Musson, A.E: *Die Ausbreitung technischer Verfahren in Grossbritannien während der industriellen Revolution*, S. 113-130.
 - Hardie, D.W.F: *Die Macintoshs und die Anfänge der chemischen Industrie*, S. 184-210.
- Rosenberg, Nathan: *Inside the Black Box: Technology and Economics*, Cambridge 1982

-
- Aus Singer, C. (Hrsg.): *A History of Technology Vol 4: the Industrial Revolution 1750-1850*, Oxford 1958
 - Dickinson, H.W: *The Steam-Engine to 1830*, S. 168-198.
 - Forbes, R.J: *Power to 1850*, S. 148-167.
 - Stowers, A: *Watermills 1500-1850*, S. 199-213.
 - Holmyard, E.J: *The chemical industry: Developments in chemical theory and practice*, S. 214-229.
 - Ubbelohde, A.R.J.P: *The Beginnings of the Change from Craft Mystery to Science as a Basis for Technology*, S. 663-681.
 - Sobel, Dava: *Längengrad. Die wahre Geschichte eines einsamen Genies, welches das grösste wissenschaftliche Problem seiner Zeit löste*, Berlin 1998