

Erfindung – Innovation – Idee

Technische Innovationen im Mittelalter (11. bis 13. Jh.).

Modelle zur Erfassung ihres Ablaufs und ihrer Durchsetzung

Michael Schmaedecke

Einleitung

Zwischen dem 11. und 13. Jahrhundert vollzieht sich eine "industrielle Revolution", die in einer Reihe sozialer, politischer und geistiger Aufbrüche und Wandlungen eingebettet ist (CARUS-WILSON 1941; WHITE 1968; GIMPEL 1975). Neben Neuerungen in der Landwirtschaft und in der Technik zahlreicher Produktionsvorgänge – um nur zwei Bereiche zu nennen – sind es ebenso die Organisationsformen der Wirtschaft, die sich verändern: Spezialisierung des Handwerks, Arbeitsteilung, Zunftwesen, Verlagssystem (Abb. 1). Diese Epoche endet zu Beginn des 14. Jahrhunderts, als nach Agrarkrisen, Hungersnöten und der Pest die Wirtschaft weitgehend zum Erliegen kam (vgl. hierzu RÖSENER 1992, 95f.).

Die Innovationen dieser Epoche aber sind bis weit in die Neuzeit hinein wirksam. In seiner 1975 erschienenen Untersuchung "La révolution industrielle du Moyen Age" stellt der französische Historiker Jean GIMPEL fest: "Einzelne maßgebliche Bereiche der Wirtschaft ..., so die Landwirtschaft, die Energieerzeugung oder die Textilindustrie, überschreiten die im 13. Jahrhundert erreichte Schwelle erst im 18. Jahrhundert. In der Baukunst bringen erst die Metallskelettkonstruktionen des 19. Jahrhunderts einen wirklichen Fortschritt." (dt. Übers. GIMPEL 1980, 240).

Im Folgenden sollen einige Charakteristika ausgewählter Innovationen des Mittelalters vorgestellt und der Frage nach deren Auftreten und Verbreitung nachgegangen werden. Im Rahmen dieses Überblicks können dabei nur einige Innovationen und diese auch nur randlich angesprochen werden. Ebenso kann hier nicht näher auf die sozialgeschichtlich interessanten Aspekte der Folgen dieser Innovationen eingegangen werden.

"Innovationen"

Innovationen beruhen auf Erfindungen, auf der veränderten Nutzung bereits bekannter Geräte und Verfahrensweisen und auf Wissenstransfer.

Erfindungen

Mit Erfindungen wird die Einführung von etwas vollständig Neuem gemeint. Solche Erfindungen kommen auf zwei Arten zustande:

1. Mit einer Zielvorgabe wird an einem Problem gearbeitet, das im positiven Fall gelöst wird.
2. Eine Erfindung oder Entdeckung geschieht zufällig.

Im ersten Fall ist es selten eine einzige Person, die ein Problem angeht. Für das Mittelalter ist kein solcher Fall überliefert. Vielfach ist die Erfindung ein Prozeß, der sich über einen längeren Zeitraum hinzieht und an dem mehrere Personen abschnittsweise teilhaben. Zumeist sind weder die beteiligten Personen noch der genaue Ablauf der Erfindung faßbar. In diese Kategorie fällt das Gros der Erfindungen. Im Bereich der Landwirtschaft sind dies z.B. neue Methoden, wie die Dreifelderwirtschaft (WHITE 1968, 63; RÖSENER 1992, 55f.), oder neue Geräte, wie der Wendepflug (WHITE 1968, 42f.).

Zufällige Erfindungen sind m.W. für die Zeit des Mittelalters nicht überliefert, wogegen für die Neuzeit hierfür mehrere Beispiele anzuführen sind, wie z.B. 1675 die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit, 1835 die Belichtung und Entwicklung von Photoplaten, 1895 die Entdeckung der Röntgenstrahlen oder 1867 die Entdeckung des Dynamit.

8. Jh.

- Dreifelderwirtschaft

8./9. Jh.

- Kummetschiff
- Steigbügel

9. Jh.

- Säge

9./10. Jh.

- Hufeisen

10. Jh.

- Armbrust
- Nockenwelle

10./11. Jh.

- Wassermühlen

11. Jh.

- Trittwebstuhl
- Walkmühle
- Gezeitenmühle
- neuer Pflugtyp
- Egge
- Eiserner Spatenbeschlag
- Massen- oder Floßofen
- Steuerruder am Heck

12. Jh.

- Windmühle
- Hammermühle
- gotisches Strebesystem

13. Jh.

- mechanisch betriebene Uhr
- Schubkarren
- glasierte Keramik
- Pochmühle
- Kompaß
- Brille
- Handspinnrad
- Hochofen

Abb. 1 Innovationen des Mittelalters (Auswahl).

Einführung bereits bekannter, jedoch für einen speziellen Zweck noch nicht genutzter Einrichtungen

Bei der Betrachtung einiger Innovationen fällt auf, daß sie vielfach bereits in früheren Zeiten gebräuchlich waren. Zufällige Wiederentdeckungen sind auszuschließen. Vielmehr sind diese Wiederentdeckungen durch den zu einem bestimmten Zeitpunkt auftretenden Bedarf bedingt.

Ein Beispiel hierfür ist die Wassermühle. Das Mahlen von Getreide unter Ausnutzung von Wasserkraft ist seit der Antike belegt, auch nördlich der Alpen. Derartige Mühlen sind in Mittel- und Nordeuropa auch im frühen Mittelalter vereinzelt zu fassen, finden hier aber erst seit dem 11. Jahrhundert Verbreitung (BLOCH 1935; WIKANDER 1979; NEUBURGER 1984, 231f.; LOHRMANN 1997, 221; BENOIT & BERTHIER 1998, 58).

Einsatz bestimmter Techniken für spezielle Zwecke

Innovation sind auch der modifizierte und speziell angepaßte Einsatz bekannter Geräte für einen bestimmten Zweck. War die Nutzung der Windenergie und die Umsetzung einer Drehbewegung in eine Auf- und Abbewegung bereits seit längerer Zeit bekannt, so stellte deren Einsatz für die Wasserhebung eine Neuerung dar (LOHRMANN 1997, 229.).

Einfluß von außen

Innovationen beruhen vielfach auf Wissenstransfer. Dabei kommt in Mitteleuropa insbesondere der Einfluß aus dem arabischen Raum zum Tragen. Hier ist zunächst die Vermittlerfunktion des Islams für antike Texte von Bedeutung, aber auch der direkte Einfluß der islamischen Kultur auf Europa über das maurische Spanien oder über Süditalien. Seit der Jahrtausendwende steigt das Handelsaufkommen mit dem christlichen Europa, was den kulturellen Austausch positiv beeinflusste. Die Bedeutung der Kreuzzüge auf die

Antrieb von:

- **Mühlen (Mehl, Oliven, Farbe)**
- **Hämmern (Erz, Eisen, Stampfen)**
- **Walken (Stoffe, Leder)**
- **Sägen (Holz)**
- **Vorrichtungen zum Brechen von Hanf**
- **Gebläsen (Verhüttung, Schmiede, Bierherstellung)**
- **Pumpen (Wasser)**

Abb. 2 Einsatz von Wasserenergie.

Adaption arabischer Einflüsse ist jedoch wesentlich geringer, als bislang angenommen. Beispiele für den arabischen Einfluß sind der Beginn der mittelalterlichen Herstellung glasierter Keramik oder auch der Aufschwung der Gartenkultur.

Neben dem islamischen Bereich kommen aber auch Einflüsse aus dem Osten zum Tragen.

Die Einführung eines steifen ledergepolsterten Kummets, das auf den Schultern der Tiere aufliegt und deren Atmung nicht mehr behinderte, wie es bei dem bisher üblichen Zuggeschirr der Fall war, erhöhte die Zugkraft der Tiere bis auf das Fünffache. Im 8. Jahrhundert soll es aus Asien nach Europa eingeführt worden sein und wird in der um 800 entstandenen Trierer Apokalypse erstmals abgebildet (WHITE 1968, 56; GIMPEL 1980, 55f.).

Ebenso ist das Hufeisen ein Import aus dem Osten. Im 9. / 10. Jahrhundert lassen sich Hufeisen in Gräbern sibirischer Reiternomaden und später in Byzanz feststellen. Seit dem 11. Jahrhundert kommen sie auch in Mitteleuropa fast überall in Gebrauch (GIMPEL 1980, 40).

Rezeption antiker Traktate

Einen besonderen Fall des Wissenstransfers im Mittelalter stellt die Rezeption antiker Texte dar. Vitruvs Architekturtraktat "De architectura" aus dem 1. vorchristlichen Jahrhundert wurde spätestens seit dem 8. Jahrhundert mehrmals abgeschrieben. Als direkte Folge einer Abschrift am karolingischen Hof wird das Auftreten von Mauerfundamenten unter den

Schwellbalken von Holzkirchen in jener Zeit, wie sie von Vitruv beschrieben werden, angesehen (BINDING 1997, 81).

Einsatz multifunktionaler "Schlüsselgeräte"

Für zahlreiche Innovationen war die Anwendung von sogenannten "Schlüsselgeräten" erforderlich. Die wichtigste Einrichtung war hierbei die Wassermühle, besser gesagt, die Technik, mittels eines Wasserrades die Energie fließender Gewässer zu nutzen.

Sowohl im übertragenen Sinne als auch praktisch gesehen sind die Wasserräder die Motoren der technischen Entwicklung im hohen Mittelalter. Sie ermöglichen in verschiedenen Bereichen einen kontinuierlichen und gesteuerten Einsatz von natürlicher Energie, der den Muskeleinsatz von Menschen und Tieren bei Weitem übertraf (Abb. 2). Das Mahlen von Mehl, im Süden auch von Oliven, war aufgrund des Namens "*Mühle – moulin, molina, mill*" offensichtlich die erste Anwendung dieser Einrichtung.

In der Eisenproduktion und -verarbeitung bedeutete der Einsatz von Wassermühlen einen bedeutenden Fortschritt. In der Reihenfolge des Produktionsprozesses gesehen, kamen Wassermühlen zunächst für Pochwerke zum Zerkleinern von Eisenerz zur Anwendung (PLEINER 1997, 255; BENOIT & BERTHIER 1998, 62). Seit dem 13. Jahrhundert sind Hochöfen zu beobachten, deren Produktivität und Ausbeute wesentlich über der der bisher verwendeten Verhüttungsöfen liegt. Für den Betrieb solcher Öfen war eine erhöhte Sauerstoffzufuhr erforderlich, die nur durch mecha-

Variables Determining Rate of Adoption

Dependent Variable to be explained

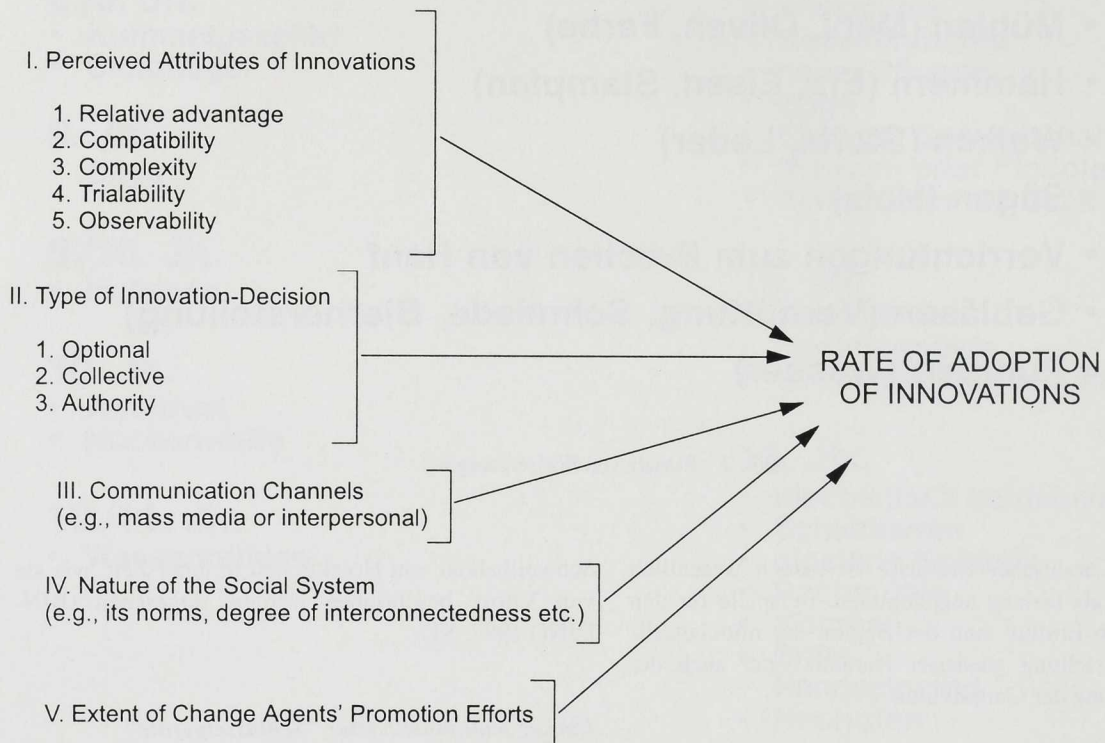


Abb. 3 Schema der für die Einführung von Innovationen relevanten Faktoren von E. ROGERS (nach: ROGERS 1983, 233 Fig. 6-1).

nisch betriebene Gebläse möglich war (PLEINER 1997, 255; KNAU et al. 1998, 153). Die Entwicklung der hochmittelalterlichen Erzverhüttung beruhte also auf der Kombination eines verhüttungstechnischen Vorganges mit dem wasserbetriebenen Gebläse. Ohne die durch das Gebläse mögliche erhöhte Sauerstoffzufuhr wäre der Verhüttungsprozeß in einem Hochofen nicht möglich. Diese Entwicklung bezeichnete der französische Historiker Paul BENOIT als *“Die Begegnung des Ofens und der Mühle”* (BENOIT 1998, 295).

Das gewonnene Eisen wurde schließlich mit wasser-kraftbetriebenen Hammerwerken ausgeschmiedet, die in Frankreich in der ersten Hälfte des 12. Jahrhunderts (BENOIT & BERTHIER 1998, 62) und später beispielsweise auch in der Oberpfalz seit dem 13. Jahrhundert festgestellt werden können (ENDRES 1997, 522). Ebenso ließ sich die Wasserkraft zum Antrieb von Ofengebläsen in den Schmieden verwenden.

Auch für die Textilindustrie und die Gerberei wurden Wassermühlen für den Antrieb von Walkmühlen ge-

nutzt (BENOIT & BERTHIER 1998, 61). Für eine höhere Festigkeit der Stoffe bzw. für den Gerbevorgang war es erforderlich, Wollstoffe oder Häute zu Walken, was bisher traditionell in großen Bottichen mit den Füßen geschah.

Durch Mühlräder angetriebene Maschinen wurden auch in zahlreichen anderen Bereichen eingerichtet, so für den Antrieb von Holzsägen (GIMPEL 1980, 130f.), von Farbmühlen, für Vorrichtungen zum Brechen von Hanf (WHITE 1968, 74), zum Stampfen oder für den Antrieb von Ofengebläsen für die Bierherstellung. Zumeist war es dabei nötig, die Drehbewegung des Mühlrades in eine lineare Auf- und Abbewegung umzuwandeln. Dies erfolgte mit einer Nockenwelle, deren Prinzip in China bereits seit dem 3. vorchristlichen Jahrhundert bekannt war. Auch in der Antike kannte man das Prinzip, ohne daß es jedoch praktische Anwendung fand. Seine mittelalterliche Nutzung kann in Europa erstmals im 10. Jahrhundert in Frankreich nachgewiesen werden. Erst diese Kombination des durch Wasserkraft angetrieben Mühl-

rades mit der Nockenwelle machte die *„industrielle Revolution des Mittelalters“* möglich (GIMPEL 1980, 18f.; ENDRES 1997, 520).

“Innovationen”, die in der Praxis keine oder erst spät Anwendung finden und alte Gegenstände oder Tätigkeiten, die trotz technischer Neuerungen weiterhin in Gebrauch bleiben

Zwischen dem ersten Auftreten von Innovationen und deren allgemeiner Anwendung in der Praxis kann ein größerer Zeitraum liegen. Ein Beispiel hierfür ist die Dreifelderwirtschaft, die auf karolingischem Königsgut für das 8. Jh. schriftlich überliefert ist, sich jedoch nur langsam verbreitete. Östlich der Elbe wird sie im 12. Jahrhundert gebräuchlich, in Südwestdeutschland erst im 13. Jahrhundert. Hier ist also ein Zeitraum von 300 Jahren zwischen dem ersten Auftreten und der allgemeinen Anwendung festzustellen (WHITE 1968, 62f.; RÖSENER 1992, 20; 55f.).

Glasierte Gefäße, die seit der Völkerwanderungszeit sporadisch in Erscheinung treten, spielen im mittelalterlichen Keramikspektrum eine kaum wahrnehmbare Rolle. Dagegen ist die Glasur von Gefäßen im Mittelmeerraum in dieser Zeit schon stark verbreitet. Insbesondere im Maghreb und im islamischen Europa sind Glasuren seit dem 10. Jh. geläufig (MÄMPEL 1997, 287; HANUSSE et al. 1998, 246). Hierzulande sind glasierte Gefäße erst seit dem 13. Jahrhundert häufiger zu beobachten (für Südwestdeutschland KALTWASSER 1991, 37f.; KALTWASSER 1995, 30f.). Dabei handelt es sich anfangs ausschließlich um repräsentative Tischkeramik, wie etwa Kännchen, Krüge und Aquamanilen, die im Zusammenhang mit veränderten Eß- und Tischgewohnheiten in gehobenen Haushalten Verwendung fanden. Seit dem 14. Jahrhundert schließlich gehören glasierte Gefäße zum normalen Keramikrepertoire.

Es ließe sich hier eine Reihe weiterer Beispiele für den retardierenden Einsatz von Objekten oder Verfahren nennen, wie beispielsweise die Holzsäge oder der Kompaß (SCHNALL 1997, 376f.; ELLMERS 1997, 105).

Modelle der Innovationsforschung

Verschiedene Modelle der Innovationsforschung versuchen Antworten darauf zu geben, wie innovative Prozesse entstehen, in welchen Formen sie ablaufen und welche Faktoren hierbei fördernd oder hemmend wirken. In der aktuellen, zumeist deskriptiven Forschung zur mittelalterlichen Technikgeschichte kom-

men diese Aspekte bisher nicht oder kaum zum Tragen (z.B. LINDGREN 1997; BECK 1998). Das mag einerseits an der speziellen Quellsituation liegen, die bedeutend weniger Fakten greifen läßt, als dies für die Neuzeit möglich ist, andererseits aber auch an der Schwierigkeit, die auslösenden Momente solcher Entwicklungen überhaupt zu fassen. Von einigen Forschern wird sogar grundsätzlich bezweifelt, daß sich technischer Fortschritt systematisch erfassen läßt (TROITZSCH & WOHLAUF 1980, 19). Ein großes Problem besteht in der Meßbarkeit des technischen Fortschrittes und seiner Auswirkungen sowohl quantitativ als auch qualitativ.

Im Folgenden sollen drei Modelle vorgestellt werden, die Methoden zur Analyse des Entstehens und des Ablaufs der mittelalterlichen Innovationsprozesse anbieten.

Ulrich TROITZSCH und Gabriele WOHLAUF schlagen ein praktikables Schema vor. Sie gliedern die relevanten Faktoren auf in:

- a) Grundvoraussetzungen
- b) Faktoren, die eine “Innovationsbereitschaft” bewirken
- c) Die dabei zu überwindenden hemmenden Faktoren

Die Hauptfaktoren setzen sich dabei aus zahlreichen einzelnen Faktoren zusammen:

- ”a) Grundvoraussetzungen: *Technisches Niveau, Erfindungen, ökonomische Realisierungsmöglichkeiten, qualifizierte Personen bzw. Gruppen, politische und soziale Rahmenbedingungen etc.*
- b) *Faktoren, die eine ‘Innovationsbereitschaft’ bewirken: z.B. Gewinnerwartung (Innovationsgewinn), Konkurrenz, Nachfrage, technische Rückständigkeit (eines Unternehmens oder eines ganzen Landes), die innovationsbereiten Personen oder Gruppen.*
- c) *Die dabei zu überwindenden hemmenden Faktoren: sozio-kulturelle Normen und Verhaltensweisen, unzureichender Stand der unter a) genannten Voraussetzungen.”* (TROITZSCH & WOHLAUF 1980, 20)

Nach Evrett ROGERS hängt das Maß des Erfolges von Innovationen von folgenden Eigenschaften ab (Abb. 3):

- von ihrem relativen Fortschritt (Verbesserung bestehender Zustände)
- von ihrer Kompatibilität mit bestehenden Werten und Erfahrungen
- von ihrer Schwierigkeit verstanden zu werden
- von der Möglichkeit, sie in beschränktem Rahmen auszuprobieren

- vom Grad der Möglichkeit, daß sie von anderen wahrgenommen werden (ROGERS 1983, 210f.)

Weiterhin ist von Bedeutung, auf welche Art die Entscheidung für die Innovation getroffen wurde. Und schließlich spielen das Medium, über das die Kenntnis von der Innovation erfolgte, der Charakter des bestehenden sozialen Systems und der Grad der "Promotion" eine Rolle.

Eine weitere Erklärungsmöglichkeit für das Entstehen und den Ablauf von Innovationsprozessen bietet das Modell der "Regulationssysteme", das von dem Biochemiker, Anthropologen und Sozialhistoriker Fred SPIER propagiert wird (SPIER 1998). Als Regulationssysteme bezeichnet er Systeme, die auf die Entwicklung von Prozessen Einfluß nehmen und die Rahmenbedingungen für deren Verlauf darstellen (Abb. 4). Er unterscheidet dabei zwischen verschiedenen Regulationssystemen. Unter dem Aspekt historischer Entwicklungen spielen insbesondere die Regulationssysteme des Menschen selbst und seiner Kultur eine wichtige Rolle. Diese Regulationssysteme sind nicht statisch, sondern von sozialen, ökologischen und psychologischen Phänomenen abhängig und daher veränderlich (SPIER 1998, 17). Gerade in der Transformation solcher Regulationssysteme sieht SPIER das vorherrschende Strukturprinzip der menschlichen Geschichte (SPIER 1998, 56f.). Die Bändigung des Feuers, die Domestizierung von Pflanzen und Tieren und die Industrialisierung auf der Grundlage unbelebter Energie betrachtet er als die entscheidenden Veränderungen in der Menschheitsgeschichte, die Transformationen des ökologischen Regulationssystems des Menschen ermöglicht haben (SPIER 1998, 57).

Den drei Modellen ist gemeinsam, daß die Innovationsprozesse in ein komplexes System eingebunden sind und in Zustandekommen, Verlauf und Auswirkung von bestimmten Voraussetzungen abhängen, die zu erfassen und zu untersuchen sind. Jedoch können die Prozesse zumeist nicht im Sinne einer mathematischen Berechnung analysiert werden. Abgesehen von der eingeschränkten Verfügbarkeit der erforderlichen Informationen, scheitert dies in den meisten Fällen am Fehlen geeigneter Parameter zu ihrer Messung. Hinzu kommt der nichtlineare Ablauf der Prozesse, was zwar als "die eigentliche Quelle der Kreativität" gilt (BREUER 1993, 15), sich jedoch als ein **chaotisches System** erweist. Solche chaotischen Systeme sind zwar theoretisch berechenbar, da sie definierten Gesetzen gehorchen, im Bereich historischer Prozesse lassen sich jedoch wegen der nichtlinearen Koppelung von Ursache und Wirkung die Ausgangsbedingungen nicht mehr mit der erforderlichen Genauigkeit bestimm-

men (KÜPPERS 1993, 81), die für deren Analyse erforderlich ist.

Bei der Analyse historischer Entwicklungen sind alle auf den Prozeß einwirkenden Faktoren auf einer Zeitachse zu erfassen. Dies ist jedoch vielfach und auch bei der hier vorliegenden Fragestellung aufgrund der Quellsituation, die nur einen kleinen Ausschnitt der erforderlichen Informationen greifen läßt, nicht immer möglich.

Ergebnisse

Im Laufe des hohen Mittelalters vollzieht sich eine Reihe von technischen Innovationen, die in den meisten Fällen althergebrachte und vielfach über Jahrhunderte praktizierte Arbeitsweisen abgelöst und neuartige Produktionsweisen ermöglicht haben. Einige dieser Innovationen haben nur sehr langsam Fuß fassen können. Es stellt sich dabei die Frage, weshalb bestimmte Innovationen gerade zu bestimmten Zeiten zum Tragen kamen. Wird es auch nicht möglich sein, alle hier vorgestellten Innovationen zu erklären – die französische Historikerin Monique BOURIN betont, daß alles im Bereich der Erfindungen und ihrer Verbreitung weit davon entfernt ist, logisch zu sein (BOURIN 1998, 314) –, so scheinen sich doch Tendenzen abzuzeichnen.

Auslösendes Moment war zweifellos eine starke Verbesserung des Klimas, die die Nahrungsmittelproduktion stark erhöhte. Die bessere Nahrungsversorgung begünstigte das Bevölkerungswachstum – zwischen 1000 und 1300 wuchs die europäische Bevölkerung um mehr als das Zwei- bis Dreifache an (RÖSENER 1992, 17) –, was wiederum eine weitere Erhöhung der Nahrungsmittelproduktion erforderte. Dies wurde möglich durch die Innovationen im Bereich der Landwirtschaft ("agrarisches Revolution"). So entwickelte sich im Wechselspiel von Nahrungsmittelproduktion und Bevölkerungsentwicklung eine Eigendynamik, bei der sich nicht mehr feststellen läßt, welcher der beiden Faktoren zu welchen Zeiten die treibende Kraft war.

Dieser Prozeß förderte zahlreiche Innovationen, wobei der landwirtschaftliche Bereich zunächst eine zentrale Rolle spielte. Die zunehmenden Bevölkerungszahlen ließen den Mehlbedarf steigen, was die starke Verbreitung der wasserbetriebenen Mühlen förderte. Solche Mühlen waren bereits in früheren Zeiten bekannt, doch haben sie aufgrund der neu entstandenen Bedürfnisse erst nach der Jahrtausendwende eine größere Bedeutung erlangt und wurden allgemein verbreitet.

REGULATIONSSYSTEME

- **Regulationssysteme der Natur**
 - planetarische Regulationssysteme
 - anorganische Regulationssysteme
 - klimatische Regulationssysteme
 - biologische Regulationssysteme
 - ökologische Regulationssysteme

- **Regulationssysteme des Menschen**
 - physiologische Regulationssysteme
 - soziale Regulationssysteme
 - Regulationssysteme der Kultur
 - Jäger-Sammer-Regulationssysteme
 - Regulationssysteme der Lagerung von Nahrungsmitteln
 - Regulationssysteme von Ackerbau und Viehzucht
 - Regulationssysteme des Marktes
 - Regulationssysteme des Staates

- **Agrar-Regulationssysteme**

- **Industrie-Regulationssysteme**

Abb. 4 Regulationssysteme nach SPIER 1998.

Im Laufe der Weiterentwicklung der Wassermühle, die als Schlüsseltechnologie anzusehen ist, tat sich eine Vielzahl von Nutzungsmöglichkeiten der Wasserenergie auf. In der Eisenverhüttung und der Metallverarbeitung ermöglichten die neuen Maschinen eine explosionsartige Zunahme des Einsatzes von Eisengeräten im Ackerbau, in zahlreichen Handwerken, aber auch im Kriegs- und Verkehrswesen. Auch hier wird sich die Frage, ob die Verfügbarkeit des Eisens dessen stärkere Verwendung, oder ob der Bedarf an Eisen dessen erhöhte Produktion provozierte, kaum zu beantworten sein.

Vergleichbares ist auch für Innovationen in anderen Bereichen festzustellen, z.B. im Verkehrs- oder Kriegswesen.

Für die Entwicklung der Innovationen im Mittelalter können einige Determinanten festgestellt werden, wie sie TROITZSCH & WOHLFAHRT (1980, 20) als Grundvoraussetzungen formuliert haben:

Technisches Niveau: Eine Reihe technischer Kenntnisse ist bereits vorhanden, auch wenn sie nur eingeschränkt oder gar nicht angewendet werden. Bei Bedarf kann jedoch zu einem bestimmten Zeitpunkt über

sie verfügt werden, wie beispielsweise der Einsatz von Wassermühlen, der Nockenwelle und des Kummets zeigen. Der theoretische "background" konnte vielfach mit Hilfe der antiken Techniktraktate erschlossen werden.

Ökonomische Realisierungsmöglichkeiten: Das Kapital, mit dem Innovationen realisiert werden, ist zunächst in den Klöstern vorhanden, die daher vielfach die Träger der Innovationen sind. Im Laufe des hohen Mittelalters tritt das erstarkende kapitalkräftige Bürgertum als Unternehmer in Erscheinung. Die Zunahme der Geldwirtschaft und des damit in Verbindung stehenden Handels waren weitere wichtige Bedingungen für die Einrichtung innovativer Geräte.

Qualifizierte Personen bzw. Gruppen: Solche Personen waren vorzugsweise in den Klöstern vorhanden, wo eine handwerkliche und auch wissenschaftliche Elite ausgebildet wurde. Insbesondere für die Zisterzienserklöster möchte man regelrechte "think-tanks" annehmen, in denen neue Ideen entwickelt wurden. Im Laufe der Verweltlichung der Wissenschaften und auch der Handwerke traten später auch andere Personengruppen an die Stelle des Klerus.

Für die praktische Anwendung von Innovationen waren komplexe Organisationsformen erforderlich, so etwa für den Betrieb eines Bergbaues, einer Eisenverhüttungsanlage oder auch eines Kirchenbaues, wofür es ein hohes Maß an administrativem Können bedurfte. Die geeigneten Personen waren auch hier innerhalb des Klerus vorhanden.

Politische und soziale Rahmenbedingungen: Aufgrund der steigenden Nachfrage an Waren bestand ein starker Bedarf an effektiveren Produktionsmethoden. Insbesondere an der Eisenherstellung, die im Mittelalter einen beträchtlichen Innovationsschub erfährt, wird deutlich, daß hierfür politische Faktoren eine zentrale Rolle spielten. Da die Verfügbarkeit von Eisen ein Aspekt militärischer und damit politischer Macht war, zielten die mittelalterlichen Bergbauregale nicht nur auf ein hoheitliches Monopol für die Silberförderung, sondern auch auf die Förderung und Monopolisierung der Verfügbarkeit über die Eisenproduktion ab (WILLECKE 1980). Hier wird ein deutliches Interesse der politischen Machthaber an der Einführung von Innovationen erkennbar.

Durch das Bevölkerungswachstum und auch durch das Freistellen von Bevölkerungsteilen aus der landwirtschaftlichen Produktion war auch das erforderliche Potential an Arbeitskräften vorhanden.

Die Wertigkeit des von TROITZSCH und WOHLFAHRT aufgeführten Faktors 'Erfindungen' ist für das Mittelalter eher zu vernachlässigen, wie oben dargelegt wurde. Dagegen muß der Faktor 'Wissenstransfer' diesem Schema hinzugefügt werden. Durch die

Rezeption antiker Texte erhielt man den Zugang zum Wissen der Antike, das auch in den Fällen, in denen es nicht direkt praktisch umgesetzt werden konnte, eine Basis für weitergehende Entwicklungen darstellte. Der Kontakt insbesondere mit dem Mittelmeerraum bewirkte zahlreiche Innovationen. Dabei kam es jedoch selten zu einer direkten Übernahme neuer Techniken. Zumeist erfolgte eine Anregung, die dann den örtlichen Gegebenheiten angepaßt wurde. Ein Beispiel hierfür ist die Windmühle auf einem drehbaren Bock, während die orientalischen Vorbilder nicht nach der Windrichtung ausgerichtet werden konnten (GIMPEL 1980, 31; LOHRMANN 1997, 228). Auch der Austausch bzw. das Wandern von Handwerkern hat für den Wissenstransfer eine Rolle gespielt.

Fred SPIERS Modell zufolge hat die Klimaveränderung zunächst das Agrarregulationssystem verändert, und im Anschluß daran kam es zu Veränderungen weiterer, bisher stabiler Regulationssysteme (SPIER 1998, 83f.) (Abb. 4). Damit kamen neue Kräfte zum Wirken, die für das Entstehen und die Verbreitung von Innovationen förderlich waren.

Nach dem Bekanntwerden oder auch nach dem ersten Gebrauch von Innovationen ist deren allgemeine Verbreitung jedoch noch nicht gewährleistet. Auch hier können verschiedene ausschlaggebende Faktoren festgestellt werden. TROITZSCH & WOHLAUF haben als hemmende Faktoren einen unzureichenden Stand der von ihnen genannten Voraussetzungen genannt, aber auch soziokulturelle Normen und Verhaltensweisen. Dies mag beispielsweise für den Nichtgebrauch glasierter Geschirrkemik zutreffen. Auf das Modell von ROGERS bezogen (Abb. 3), bedeutet die Einführung glasierter Keramik keine Verbesserung bestehender Zustände ("relative advantage") und hatte daher wenig Chancen, verbreitet zu werden.

Ein weiteres Beispiel hierfür ist der Kompaß, der sicherlich bereits seit seiner Erfindung im 13. Jahrhundert als ein nützliches Gerät angesehen wurde. Da man aber mit terrestrischer Navigation und Astronavigation auskam, war kein dringendes Bedürfnis für seine Nutzung vorhanden. Erst mit der zunehmenden Lösung vom Segeln mit Landsicht und vom Segeln in den Zeiträumen, in denen man nachts gute Sternsicht hatte, gewann der Kompaß an Bedeutung und wurde allgemein eingeführt. Im gleichen Jahrhundert segelte Kolumbus nach Amerika.

Damit wird ein Faktor deutlich, der – sofern die Rahmenbedingungen gegeben sind, oder nach SPIER, dies innerhalb der Regulationssysteme möglich ist – die wichtigste Rolle spielt, nämlich das Bedürfnis. Bei

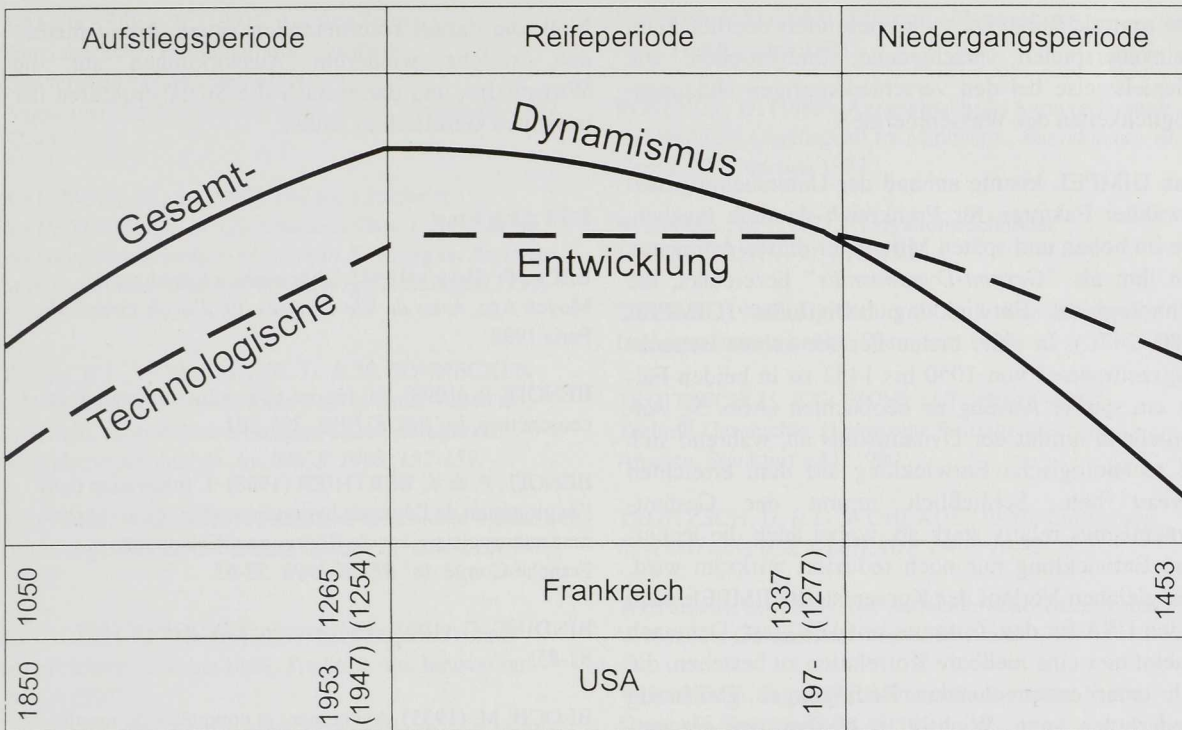


Abb. 5 Gesamtdynamismus und technologische Entwicklung in Frankreich im Mittelalter und in den USA in der Moderne (nach GIMPEL 1980, 247).

TROITZSCH & WOHLAUF wird dieser Faktor als "Nachfrage" bezeichnet. Das Bedürfnis, das von komplexen kulturellen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen abhängig ist, wird für technische Innovationen sogar zweifach als Filter wirksam: zuerst ist es entscheidend, ob ein Gerät oder eine Arbeitsmethode überhaupt entwickelt oder importiert wird und in einem zweiten Schritt ist es ausschlaggebend für dessen oder deren allgemeinen Gebrauch.

Ein interessanter Aspekt für die Verbreitung von Innovationen ist der von ROGERS angeführte Grad der Möglichkeit, daß die Innovation von Anderen wahrgenommen wird. Dies mag im Bereich technischer Geräte eher eine untergeordnetere Rolle spielen, nicht jedoch im Bereich der Prestigegüter, wo es von eminenter Wichtigkeit ist. Mit veränderten Lebensformen im ausgehenden Hochmittelalter – nach SPIER daher auch mit veränderten Regulationssystemen – kommt die seit Langem bekannte glasierte Gefäßkeramik erstmals in starkem Maße in Gebrauch. Es handelt sich dabei anfangs vorzugsweise um repräsentative Tischkeramik, die der Gastgesellschaft gleichsam 'vorgeführt' wird.

Zahlreiche der in den Innovationsmodellen genannten Faktoren, die zumeist stark miteinander verflochten sind, entziehen sich unserer Beobachtungsmöglichkeit

und damit der Möglichkeit, sie zu analysieren und zu erklären. Dies liegt einerseits an der Quellensituation und andererseits auch daran, daß hier die Gesetze der Chaostheorien gelten (z.B. BREUER 1993 mit verschiedenen Beiträgen).

Abschließend sei noch ansatzweise der Frage nachgegangen, ob im Prozeß der technischen Innovationen im Mittelalter Muster zum Tragen kommen, die sich ebenso in früheren oder späteren Epochen aufzeigen lassen.

Auslösend für die Entwicklung im Mittelalter war eine Klimaveränderung, die die Nahrungsmittelversorgung der Menschen verändert hat. Ein entsprechender Anstoß bewirkte auch die Neolithisierung. In beiden Fällen erfolgte eine Umweltveränderung, die jedoch im Neolithikum im Gegensatz zum Mittelalter zunächst zu einer Nahrungsmittelverknappung führte. Erst in einem zweiten Schritt gelangte man dort durch das Domestizieren von Tieren und Pflanzen zu einem Fortschritt in der Nahrungsmittelversorgung.

In solchen Umbruchzeiten kann sich durch naturbedingte, ökonomische, technische und kulturelle Vorgaben ein "Ambiente" entwickeln, das innovative Prozesse nicht nur begünstigt, sondern auch bewirkt. Man könnte dies auch mit dem aktuellen Begriff "Zeitgeist" bezeichnen. Dabei spielt der "Sog des Erfolges"

eine zentrale Rolle. Dies wird besonders deutlich beim Ineinanderspielen verschiedener Innovationen, wie beispielsweise bei den verschiedenartigen Nutzungsmöglichkeiten der Wasserenergie.

Jean GIMPEL konnte anhand der Untersuchung ausgewählter Faktoren für Frankreich deutlich machen, wie im hohen und späten Mittelalter dieses Ambiente, von ihm als "Gesamt-Dynamismus" bezeichnet, die technologische Entwicklung beeinflusste (GIMPEL 1980, 247f.). In einer ersten Periode seines Betrachtungszeitraumes von 1050 bis 1453 ist in beiden Fällen ein starker Anstieg zu beobachten (Abb. 5). Anschließend nimmt der Dynamismus ab, während sich die technologische Entwicklung auf dem erreichten Niveau hält. Schließlich nimmt der Gesamt-Dynamismus relativ stark ab, wobei auch die technische Entwicklung nur noch reduziert wirksam wird. Den gleichen Verlauf der Kurven stellt GIMPEL auch in den USA für den Zeitraum seit 1850 fest. Demnach scheint hier eine meßbare Korrelation zu bestehen, die sich unter entsprechenden Bedingungen gleichartig wiederholen kann. Wichtig ist hierbei, daß die entsprechenden Phasen aufgrund unterschiedlicher Rahmenbedingungen unterschiedlich lang sind. So sind die Phasen während der neuzeitlichen Entwicklung über die Hälfte bzw. um zwei Drittel kürzer als im Mittelalter.

Zum Schluß sei ein aktuelles Beispiel für einen scheinbar marginalen, aber nicht unwichtigen Faktor angeführt. Evrett ROGERS nennt in ihrem Schema die Tatsache, daß es für die Verbreitung einer Innovation förderlich sei, wenn sie von Anderen wahrgenommen werden kann. Hierfür konnte oben bereits für das Mittelalter mit der glasierten Keramik ein historisches Beispiel genannt werden. Daß dieser Faktor auch heute noch wirksam ist, zeigt die Tatsache, daß vor wenigen Jahren die nicht sichtbare Abgasreinigung von Kraftfahrzeugen mit einem Aufkleber an der Heckscheibe: "Dieses Fahrzeug fährt mit einem geregelten Dreibegekatalsator" nach außen sichtbar gemacht wurde, was einen Prestigegewinn des Fahrers und letztendlich auch bessere Verkaufschancen für das Automodell erbringen sollte.

Insgesamt stellt sich der Prozeß der Einführung technischer Innovationen im Mittelalter als eine Entwicklung dar, für deren Strukturen verschiedene Modelle Erklärungsmöglichkeiten bieten. Zumindest für bestimmte Phasen können dabei vergleichbare Voraussetzungen und Abläufe auch in anderen Zeitepochen beobachtet werden. Wesentliche Ergebnisse des mittelalterlichen Prozesses waren das Nutzbarmachen natürlicher Energiequellen in einem bisher unbekanntem

Maß, die daraus resultierenden neuen Arbeitsmethoden, welche wiederum Auswirkungen auf die Wirtschafts- und damit auch die Sozialstrukturen der gesamten Gesellschaft hatten.

Literatur

- BECK, P. (Hrsg.) (1998) L'innovation technique au Moyen Age. *Actes du VIe Congrès Int. d'arch. médiévale*. Paris 1998.
- BENOIT, P. (1998) Au four et au moulin: innovation et conjoncture. In: *BECK 1998*, 293-301.
- BENOIT, P. & K. BERTHIER (1998) L'innovation dans l'exploitation de l'énergie hydraulique d'après le cas des monastères cisterciens de Bourgogne, Champagne et Franche-Comté. In: *BECK 1998*, 58-65.
- BINDING, G. (1997) Holzbau. In: *LINDGREN 1997*, 81-85.
- BLOCH, M. (1935) Avènement et conquêtes du moulin à eau. *Annales d'histoire écon. et sociale* 7, 1935, 538-563 [Wiederabdruck in dt. Übers.: HONEGGER, C., BLOCH, M., BRAUDEL, F., FEBVRE, L. et al., *Schrift und Materie der Geschichte. Vorschläge zur systematischen Aneignung historischer Prozesse*. Frankfurt a. M. 1977, 171-196]
- BOURIN, M. (1998) Bilan et perspectives. In: *BECK 1998*, 312-317.
- BREUER, R. (Hrsg.) (1993) Der Flügelschlag des Schmetterlings. Ein neues Weltbild durch die Chaosforschung. Stuttgart 1993.
- BREUER, R. (1993) Am Rande des Chaos – Einleitung in ein unordentliches Thema. In: *BREUER 1993*, 11-22.
- CARUS-WILSON, E. (1941) An industrial revolution of the thirteenth Century. *Economic hist. Rev.* 11, 1941, 39-60.
- ELLMERS, D. (1997) Binnenschifffahrt im Mittelalter. In: *LINDGREN 1997*, 337-344.
- ENDRES, R. (1997) Wandel der Auftraggeber und seine technischen Folgen. In: *LINDGREN 1997*, 519-524.
- GIMPEL, J. (1980) Die industrielle Revolution des Mittelalters. Zürich/München 1980 [Erstdruck: *La révolution industrielle du Moyen Age*. Paris 1975].
- HANUSSE, C., LEENHARDT, M., MEYER-RODRIGUES, N. & L. VALLAURI (1998) L'apparition des glaçures plombifères et stannifères: exemples français. In: *BECK 1998*, 242-247.

- KALTWASSER, S. (1991) Auf den Spuren mittelalterlicher Keramikglasur – glasierte Geschirrkemik des Freiburger Augustinereremitenklosters. *Arch. Nachr. Baden* 45, 1991, 33-43.
- KALTWASSER, S. (1995) Die Keramikfunde. In: UNTERMANN, M. (Zusammenstellung) *Die Latrine des Augustinereremiten-Klosters in Freiburg im Breisgau. Materialh. Arch. Baden-Württemberg* 31. Stuttgart 1995, 21-48.
- KNAU, H.L., HORSTMANN, D. & M. SÖNNECKEN (1998) La production de fonte dans la haute vallée de la Volme: contribution à l'histoire de la sidérurgie en Westphalie occidentale. In: BECK 1998, 152-159.
- KÜPPERS, B.-O. (1993) Chaos und Geschichte – Lässt sich das Weltgeschehen in Formeln fassen? In: BREUER 1993, 69-95.
- LINDGREN, U. (Hrsg.) (1997) Europäische Technik im Mittelalter. 800 bis 1400. Tradition und Innovation. Berlin 1997².
- LOHRMANN, D. (1997) Antrieb von Getreidemühlen. In: LINDGREN 1997, 221-232, 221.
- MÄMPEL, U. (1997) Keramik und keramische Glasuren. In: LINDGREN 1997, 287-288.
- NEUBURGER, A. (1984) Technik des Altertums. Leipzig 1984 [Reprint der Originalausgabe von 1919].
- PLEINER, R. (1997) Vom Rennfeuer zum Hochofen. Die Entwicklung der Eisenverhüttung vom 9.-14. Jahrhundert. In: LINDGREN 1997, 249-256.
- ROGERS, E.M. (1983) Diffusion of Innovations. New York/London 1983³.
- RÖSENER, W. (1992) Agrarwirtschaft, Agrarverfassung und ländliche Gesellschaft im Mittelalter. *Enzyklopädie dt. Gesch.* 13. München 1992.
- SCHNALL, U. (1997) Navigationstechniken. In: LINDGREN 1997, 373-380.
- SPIER, S. (1998) Big History. Was die Geschichte im Innersten zusammenhält. Darmstadt 1998.
- TROITZSCH, U. & G. WOHLAUF (Hrsg.) (1980) Technik-Geschichte. Historische Beiträge und neue Ansätze. Frankfurt a.M. 1980.
- TROITZSCH, U. & G. WOHLAUF (1980) Einführung. In: TROITZSCH & WOHLAUF 1980, 10-42.
- WHITE JR., L. (1968) Die mittelalterliche Technik und der Wandel der Gesellschaft. München 1968.
- WIKANDER, Ö. (1979) Water mills in ancient Rome. *Opuscula Romana* 1979, 13-36.
- WILLECKE, R. (1980) "Bergrecht". In: *Lexikon des Mittelalters*. München/Zürich 1980, Sp. 1957-1959.

Dr. Michael Schmaedecke
Amt für Kultur
Archäologie und Kantonsmuseum
Regierungsgebäude
CH - 4410 Liestal
e-mail: michael.schmaedecke@ekd.bl.ch