

## Innovationen im Werkzeugmaschinenbau

- Ein Überblick über die Frühphase der japanischen und deutschen Fertigungsautomatisierung

-

von

*Dr.-Ing. René Haak*

Der wirtschaftliche und produktionstechnische „Siegesszug“ der japanischen und deutschen Industrie nach dem Zweiten Weltkrieg war nicht zuletzt eine Folge der erfolgreichen Übertragung und Weiterentwicklung fortschrittlicher Automatisierungstechnologien<sup>1</sup> aus den USA. Der Entwicklungs- und Durchsetzungsprozeß der NC-Technologie<sup>2</sup> in den ersten Dekaden nach Kriegsende war durch das ständige Engagement der Techniker und Ingenieure in den Werkzeugmaschinenfabriken und wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen um die Verbesserung des Vorgefundenen und die Anstrengungen zur Umsetzung des Gelernten in industrielle Anwendungen charakterisiert. Die marktgerechte industrielle Integration innovativer Automatisierungstechnologie und neuer Formen der Arbeitsorganisation kennzeichneten die weltweit erfolgreichen japanischen und deutschen Werkzeugmaschinenunternehmen.

Die produktionstechnische Forschungsarbeit nach dem Zweiten Weltkrieg, insbesondere im Zuge des wirtschaftlichen Aufschwungs seit den frühen fünfziger Jahren, wurde durch die fortschreitende Automatisierung des Fabrikbetriebes bestimmt.<sup>3</sup> Der Einsatz der Automatisierungstechnologie in den Produktionsprozess bestimmte nachhaltig die Arbeit des Produktionsmanagements und der Werkzeugmaschinenkonstrukteure. Dabei bereitete der rasche wirtschaftliche Aufschwung in Deutschland und Japan nach dem Weltkrieg den Boden für einen systematischen Übergang von der automatisierten Werkzeugmaschine, der Einzelmaschine, zur Automatisierung des gesamten Produktionsprozesses.<sup>4</sup> Gründe für die Automatisierung waren sowohl wirtschaftliche als auch technischer Natur. Betrachten wir nun zunächst den

---

<sup>1</sup> Die Automatisierungstechnologie hat im wesentlichen zur Steigerung der Produktivität, Flexibilität, Fertigungsqualität und Wirtschaftlichkeit moderner Produktionseinrichtungen beigetragen. Im Bereich der Fertigung ergeben sich dadurch kürzere Durchlaufzeiten, geringe Kapitalbindung und eine höhere Auslastung des Produktionskapitals.

<sup>2</sup> NC-Steuerungen (NC –Numerical Control) sind Systeme, die Koordinatenbewegungen von Produktionsmaschinen, hier Werkzeugmaschinen, durch numerische Informationen steuern. Die für den Bearbeitungsprozeß benötigten Informationen werden in digitaler Form, in den früheren Jahren z. B. über einen Lochstreifen, eingegeben und in einem Informationssteuer- und -rechenwerk decodiert und aufbereitet.

<sup>3</sup> Spur 1991a.

<sup>4</sup> Spur 1979.

japanischen und dann den deutschen Fall in wirtschaftlicher Hinsicht. Anschließend wenden wir uns den technischen Aspekten zu, die in den fünfziger und frühen sechziger Jahren die Automatisierung der Fertigung in Japan und Deutschland bestimmten, im Kern setzten wir uns mit den Wurzeln und Anfängen der NC-Technologie auseinander.

### *Hochwachstumsland*

Der wichtigste Faktor für die rasante Wirtschaftsentwicklung Japans nach dem Zweiten Weltkrieg war der rapide industrielle Aufschwung,<sup>5</sup> der im Kern durch Massenproduktion und Automatisierungstechnologie getragen wurde.<sup>6</sup> Für die wirtschaftliche Entwicklung Japans nach dem Zweiten Weltkrieg waren vor allem die Reformen im Verlauf der amerikanischen Besatzungszeit bedeutend.<sup>7</sup> Die Dekonzentrationsmaßnahmen, die ihren Niederschlag in der kapitalmäßigen, organisatorischen und personellen Entflechtung der zehn großen Wirtschaftskonglomerate (zaibatsu) fanden, schufen wesentliche Voraussetzungen für den Wettbewerb, der die Wiederaufbau- und Hochwachstumsphase bis Anfang der siebziger Jahre trug.

Der Nachfrageboom im Zuge des Koreakrieges trug maßgeblich zur Erholung der japanischen Wirtschaft bei, die sich noch zu Beginn der fünfziger Jahre in einem labilen Zustand befand.<sup>8</sup> Nach einer kurzen Phase, in der sich nach dem Korea-Boom die Wachstumsraten etwas verringerten, vor allem bedingt durch die nachlassenden privaten Anlageinvestitionen, begann von 1956/57 an die Periode sogenannte Investitionsbooms, kôdo seichô (rapides Wachstum). Die hohen Investitionen waren auf die Entwicklung der Schwerindustrie ausgerichtet. Die Entwicklung neuer Produkte aber auch die Verbesserung von Prozesstechnologien standen im Vordergrund des unternehmerischen Technologiemanagements. Die Produktionskapazitäten sollten gesteigert, die Modernisierung und Rationalisierung der Produktionsanlagen weiter vorangetrieben werden. Die Wirtschaftspolitik war auf Wachstum festgelegt. Das strategische Marketing richtete die Unternehmensressourcen auf die Marktdurchdringung und auf die Ausweitung des Marktanteils aus.

Das reale Wirtschaftswachstum lag in Japan zwischen 1955 und 1960 bei 8,6 Prozent<sup>9</sup>, zwischen 1960 und 1965 bei 10,6 Prozent und von 1965 bis 1970 erreichte es sogar den durchschnittlichen Spitzenwert von 11,2 Prozent Wachstum. Auch wenn die Hochwachstumsphase

---

<sup>5</sup> Tsuruta 1988.

<sup>6</sup> Park 1975, S. 141ff.; Nakamura 1994.

<sup>7</sup> Waldenberger 1994, S. 23.

<sup>8</sup> Ito 1992, S. 45 nach Hemmert/Lützelner 1994, S. 13.

<sup>9</sup> Jährliche Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts in Prozent.

der japanischen Wirtschaft bis zur ersten Ölkrise 1973/74 nicht frei von konjunkturellen Schwankungen<sup>10</sup> war, so war die wirtschaftliche Expansion in den sechziger Jahren nicht zuletzt in Anbetracht der Zerstörungen im Verlauf des Zweiten Weltkrieges doch erstaunlich.<sup>11</sup>

Bis in die fünfziger Jahre hinein überwogen im verarbeitenden Gewerbe jene Zweige, die auch in der Vorkriegszeit vorherrschend waren wie beispielsweise die Textilindustrie. Doch zu den Hauptträgern der Hochwachstumsphase entwickelten sich neben den Grundstoffindustrien vor allem die Montageindustrie, wie der Automobilbau, die Elektrotechnik, der Maschinenbau, besonders der Werkzeugmaschinenbau, und die Feinmechanik.<sup>12</sup> In diesen Industriezweigen waren die Anforderungen an die Automatisierungstechnik besonders hoch. Diese Branchen wurden durch den wechselseitigen Austausch mit der nationalen und internationalen fertigungstechnischen Forschung zum Träger und Katalysator der japanischen Fertigungsautomatisierung.

Der japanische Staat förderte bestehende und neue Industriezweige durch steuerliche Vergünstigen und durch die Vergabe günstiger Kredite. Für den Import von Rohstoffen und fortschrittlicher Maschinenteknologie wurden gezielt Devisen zugeteilt. Darüber hinaus schloss man große Teile des Inlandsmarktes gegenüber Importen und Direktinvestitionen, um so, „einerseits die im Aufbau befindliche heimische Industrie“ zu schützen, andererseits erleichterte die Abschottung „den Technologieimport, weil sie die Optionen ausländischer Unternehmen, am japanischen Markt zu partizipieren, auf die Lizenzierung von Technologie reduzierte.“<sup>13</sup>

#### *„Wirtschaftswunderland“ Bundesrepublik*

Richtet man nun den Blick auf die Bundesrepublik Deutschland so brachten die Jahre zwischen 1949 und 1960 ebenso wie in Japan vielfältige politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Veränderungen mit sich, die nachhaltig die Entwicklung des Werkzeugmaschinenbaus und der Fertigungsautomatisierung, insbesondere die Entwicklung und Durchsetzung der NC-Technologie, bedingten.

Die schrittweise Wiedererlangung der politischen Souveränität wirkte sich positiv auf die Entwicklung des bundesdeutschen Werkzeugmaschinenbaus aus, denn schon am 13. Januar 1950 stellte die Bundesrepublik Deutschland mit der Unterzeichnung des Abkommens über

---

<sup>10</sup> Vor allem 1965 dem Jahr nach der Olympiade in Japan sowie 1971 als Folge des sogenannten Nixon-Schocks.

<sup>11</sup> Hemmert/Lützelner 1994, S. 13.

<sup>12</sup> Nakamura 1994.

die Teilnahme am Marshallplan die entscheidenden wirtschafts- und finanzpolitischen<sup>14</sup> Weichen für den wirtschaftlichen Aufschwung der folgenden Jahre. Darüber hinaus beschleunigte der Beitritt der Bundesrepublik zum Allgemeinen Zoll- und Handelsabkommen (GATT) am 10. August 1951 durch den Zugang zum Weltmarkt den wirtschaftlichen Aufschwung des Werkzeugmaschinenbaus.<sup>15</sup>

Wirtschaftspolitisch waren es vor allem die Gründung der sogenannten Montanunion (Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl - EGKS) am 18. April 1951 und die Gründung der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft (EWG) am 25. März 1957, welche für die außenwirtschaftliche Verflechtung und den engeren Austausch der bundesdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie mit den westeuropäischen Industriepartnern grundlegende Bedeutung besaßen.

Die in den Jahren zwischen 1939 und 1947 aufgestaute Nachfrage an Konsum- und Investitionsgütern sorgte seit Herbst 1948 für eine rasche Erholung der westdeutschen Industrie, welche die wirtschaftliche Belebung des Werkzeugmaschinenbaus einleitete.<sup>16</sup> Schon im Jahre 1951 hatte die gesamte industrielle Produktion den Stand des Jahres 1938 erreicht. Zwischen 1950 und 1960 stieg die industrielle Produktion um das Zweieinhalbfache, was einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 9,6 Prozent des BIP entsprach. Bei der verarbeitenden Industrie machte sich zwischen 1950 und 1955 ein Produktivitätszuwachs bemerkbar, der auch auf die seit 1949 erfolgten Erneuerungen im Maschinenpark und auf arbeitsorganisatorische Rationalisierungsmaßnahmen zurückzuführen war. Gleichzeitig halbierte sich die Arbeitslosenrate<sup>17</sup>, um in den folgenden Jahren weiter zu fallen, bis sie ihren tiefsten Stand im Jahre 1965 mit 0,5 Prozent erreichte, während im Gegenzug die Anzahl der offenen Stellen stieg.<sup>18</sup>

Der für die Entwicklung des Werkzeugmaschinenbaus besonders bedeutsame Konjunkturabschnitt zwischen 1949 und 1963 war durch hohe, aber im Verlauf der Entwicklung abneh-

---

<sup>13</sup> Waldenberger 1998, S. 47.

<sup>14</sup> Durch die hohe Kapitalintensität neuer Fertigungssysteme ist auch die Entwicklung des Kapitalmarktes von Bedeutung für die Ausgestaltung der Produktionssysteme. Zum einen bestimmt das Zinsniveau die Rentabilität von Investitionen, zum anderen definiert die Verfügbarkeit von Kapital die Finanzspielräume der Unternehmen.

<sup>15</sup> Abelshauer 1987, S. 25.

<sup>16</sup> Henning 1993, S. 195; Winkel 1974, S. 73.

<sup>17</sup> Von 10,2 Prozent im Jahre 1950 auf 5,1 Prozent im Jahre 1955; siehe ausführlich zur Entwicklung des Arbeitsmarktes: Henning 1993, S. 195ff.

<sup>18</sup> Abelshauer 1983; Neumann 1976.

mende Wachstumsraten gekennzeichnet.<sup>19</sup> Gegen Ende dieser Boomphase verfolgte die Bundesbank eine restriktive Geldpolitik, in erster Linie um inflationäre Tendenzen zu verhindern.<sup>20</sup>

Der rasche Wiederaufstieg der bundesdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie wurde nicht unwesentlich durch die Mittel der Marshallplanhilfe bedingt. Im Rahmen der Marshallplanhilfe erhielt Westdeutschland rund 1,4 Mrd. US-Dollar, die vorrangig zur Finanzierung von Importen und inländischen Investitionen, insbesondere in der Grundstoffindustrie, im Bergbau, in der öffentlichen Versorgung, im Verkehrswesen und zum Teil auch in der verarbeitenden Industrie zum Einsatz gelangten.<sup>21</sup>

In der bundesdeutschen Industrie dienten die Investitionsmittel in erster Linie der Rationalisierung und Modernisierung von Produktionsanlagen mit entsprechenden Anforderungen an die Werkzeugmaschinenindustrie und die arbeitsorganisatorische Gestaltung des Fertigungsprozesses. Als Produktionsmittellieferant stellte der Werkzeugmaschinenbau die technologischen Entwicklungsgrundlagen für andere Industriebereiche bereit.<sup>22</sup>

Nach Angaben von Otto Kienzle<sup>23</sup>, im Jahre 1947 Professor für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik an der Technischen Hochschule Hannover, führte die Marshallplanhilfe, die er als „Selbsthilfe“ für Deutschland bezeichnete, allein durch die Maschinenlieferungen im Jahre 1950 im Bundesgebiet zu rund 150 000 neuen Arbeitsplätzen, „wenn man für jede Maschine in Anbetracht der durch sie ausgelösten Handarbeit (Messen, Zusammenbau) und Hilfsarbeiten einen Zuwachs von 3-4 Menschen im Gesamtbetrieb ansetzt.“<sup>24</sup>

Nachhaltig beeinflusst wurde die Entwicklung der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie vergleichbar mit der japanischen Werkzeugmaschinenindustrie darüber hinaus durch ein dramatisches weltpolitisches Ereignis, den Ausbruch des Koreakrieges am 25. Juni 1950, der im Spannungsfeld des Kalten Krieges zu einer weltweiten Nachfragesteigerung führte. Da die Bundesrepublik als einziger westlicher Industriestaat über ungenutzte Kapazitäten verfügte, die bisher nicht zur Unterstützung der westlichen Leistungsfähigkeit im Krisenfall herangezogen

---

<sup>19</sup> Henning 1993, S. 195.

<sup>20</sup> Hardach 1980, S. 47-99, hier S. 78.

<sup>21</sup> Leptin 1970.

<sup>22</sup> Kienzle 1951, S. 295.

<sup>23</sup> Otto Kienzle (1893-1969) 1919 Gründung des Ingenieurbüros Koch und Kienzle, 1921 Promotion zum Doktor-Ingenieur an der TH Berlin. 1934 bis 1945 ordentlicher Professor auf dem Lehrstuhl für Betriebswissenschaft und Werkzeugmaschinen der TH Berlin, 1945-1947 Lehraufträge an der TH Hannover und 1947-1961 Lehrstuhl für Fertigung und Werkzeugmaschinen an der Technischen Hochschule Hannover.

gen worden waren, profitierte die deutsche Industrie erstmals seit dem Ende des Zweiten Weltkrieges von einem außenwirtschaftlich induzierten Nachfragesog.<sup>25</sup> Die unterbewertete Deutsche Mark kam Exporten ebenso entgegen wie die traditionelle bundesdeutsche Industriestruktur, die ihre Stärken im Investitionsgüterbereich besaß.<sup>26</sup> Der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie als Schlüsselindustrie des Investitionsgüterbereichs kam der „Koreaboom“ besonders zugute.

Vom Aufschwung der Weltkonjunktur Ende der fünfziger und zu Beginn der sechziger Jahre profitierten eine Vielzahl deutscher Industriebetriebe. Wie auch in Japan kamen aus der nationalen Automobilindustrie, aber auch aus den verschiedensten Bereichen des Maschinenbaus und der Elektroindustrie, wichtige Impulse für die Ausweitung der Werkzeugmaschinenproduktion.<sup>27</sup> Teilweise wurden Formen der Fließfertigung in deutschen und japanischen Produktionsstätten verwirklicht, welche sich insbesondere in einigen Betrieben im Montagebereich durchsetzten.

Für die deutsche Werkzeugmaschinenindustrie kamen Wachstumsimpulse sowie spezifische produktionstechnische Anforderungen an das System Werkzeugmaschine in erster Linie aus der nationalen und aus der Industrie Westeuropas. Sie bildeten die größte Kundengruppe für deutsche Werkzeugmaschinen, während die USA nur im Verlauf des Koreakrieges zur Spitzengruppe der Exportländer gehörten.<sup>28</sup>

Interessant ist die Tatsache, daß Frankreich und Großbritannien während des betrachteten Konjunkturabschnittes (1949-1960) mehr als zehn Prozent der deutschen Werkzeugmaschinenproduktion abnahmen; ein deutliches Indiz für die sich nach dem Zweiten Weltkrieg wiederbelebenden engen wirtschaftlichen Verknüpfungen der führenden westeuropäischen Industriestaaten.<sup>29</sup> Ab 1957 nahm auch die japanische Industrie als Nachfragefaktor an Bedeutung zu und bildete sogar kurzzeitig in den Jahren 1961 und 1962 die größte Käuferfraktion deutscher Werkzeugmaschinen. Die Bedeutung des Technologietransfers und die Rolle deutscher Fertigungstechnologie für den rapiden Aufstieg Japans zur Technologieführerschaft in

---

<sup>24</sup> Kienzle 1951, S. 296.

<sup>25</sup> Abelshauer 1983, S. 68.

<sup>26</sup> Hardach 1980, S. 76.

<sup>27</sup> Abelshauer 1983, S. 108.

<sup>28</sup> Killias 1961, S. 22.

<sup>29</sup> Auch die Bemühungen des VDW und des CECIMO haben die Ausrichtung des deutschen Werkzeugmaschinenbaus nach Westeuropa forciert.

vielen Wirtschaftsbereichen darf nicht unterschätzt werden und bietet ein breites Feld für weiterführende wirtschafts- und technikhistorische Untersuchungen.

Zu den wichtigsten Stimuli für die Inangriffnahme und Durchsetzung produktionstechnischer Innovationen im Werkzeugmaschinenbau zählte die durch die wirtschaftliche Entwicklung der Bundesrepublik bedingte zunehmende Nachfrage an Werkzeugmaschinen mit speziellem Leistungsspektrum. Im Zuge technologischer Innovationen und spezifischer Marktanforderungen wurde auch das Verhältnis von Technik, Mensch und Arbeitsorganisation neu bestimmt.

Aufgrund der Einfuhr modernster Werkzeugmaschinentechnologie, vor allem aus der Schweiz und den USA, engen Kooperationen zwischen bundesdeutschen und ausländischen Werkzeugmaschinenherstellern, insbesondere mit amerikanischen Firmen, und einer intensiven Zusammenarbeit mit der sich wieder herausbildenden fertigungstechnischen Hochschulforschung verfügte die bundesdeutsche Werkzeugmaschinenindustrie schon Mitte der fünfziger Jahre über die technologischen Grundlagen, um den gestiegenen nationalen und internationalen Markterfordernissen entsprechen zu können.<sup>30</sup> Die Einkäufer der großen japanischen Handelshäuser trafen in Bundesrepublik auf eine breite Angebotspalette. Anwendungsorientierte konstruktive Lösungen in Verbindung mit solider fertigungstechnischer Forschung und ein hoher Qualitätsstandard bildeten grundlegende Stärken des bundesdeutschen Werkzeugmaschinenbaus. Von der japanischen Industrie erkannt, richtete sie Ende der fünfziger Jahre und zu Beginn der sechziger Jahre ihre Einkaufsstrategien auf den bundesdeutschen Werkzeugmaschinenbau aus.

In der Automatisierungstechnik<sup>31</sup> läßt sich im Rückblick eine Reihenfolge unterschiedlicher Entwicklungsschritte feststellen. Zunächst beschränkte sich die Automatisierung auf die einzelnen Bearbeitungsmaschinen und den eigentlichen Bearbeitungsprozeß. Dann weitete sich die Automatisierung auf den Bereich des Materialflusses aus. Erst im dritten Schritt erfolgte die Automatisierung im Bereich des Informationsflusses. Entscheidend für den Automatisierungsgrad des Fertigungsprozesses war jedoch die Form der Steuerung.

*Automatisierung der Fertigung: von der starren zur losen Verkettung von Fertigungseinrichtungen*

---

<sup>30</sup> Opitz 1954, 1956; Spur 1970.

<sup>31</sup> Die wesentlichen Begriffe der Automatisierungstechnik sind in DIN 19 233 festgelegt. Der Automat als Hauptbegriff, von dem alle verwandten Begriffe abgeleitet sind, ist definiert als künstliches System, das selb-

Aufgrund der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in den fünfziger und frühen sechziger Jahren konzentrierten sich die Bemühungen zur Automatisierung der Fertigung in Japan und Deutschland mittels konventioneller Werkzeugmaschinen überwiegend auf Anwendungen im Bereich der Großserien- und Massenfertigung. Die Automatisierung des Fertigungsprozesses bei den Anwendern von Werkzeugmaschinen, insbesondere in der Automobilindustrie, aber auch in der Textilindustrie, wurde durch Entwicklung und Durchsetzung des Baukastensystems im Zuge des wirtschaftlichen Booms mit seiner enormen Nachfrage vorangetrieben. Mit Hilfe des Systems typisierter Baueinheiten war man sowohl in den deutschen als auch in den japanischen Fabriken in der Lage, Fertigungsketten aufzubauen, deren Glieder nicht an Wert verloren, wenn sie für die Fertigung eines anderen Teils in neuer Reihenfolge montiert wurden.

In sogenannten Maschinenfließstraßen wurden mehrere Werkzeugmaschinen nach dem Fließprinzip miteinander verkettet und bei automatisierter Werkstückhandhabung mehrere Fertigungsvorgänge in einer Station zusammengefasst. Dieser fertigungstechnische Entwicklungsschritt wird unabhängig von den länderspezifischen und fabrikinernen Ausprägungen und Gestaltungsformen als Phase der starren Automatisierung von Bearbeitungs- und Transportvorgängen bezeichnet.<sup>32</sup>

In den fünfziger Jahre dominierte in der japanischen und deutschen Industrie zunächst die starre Verkettung von Fertigungseinrichtungen, die dadurch charakterisiert war, dass der automatische Transport des Werkstückes durch gemeinsam gesteuerte Zubringeinrichtungen in einem festgelegten Takt erfolgte, der durch die längsten Arbeitszyklen festgelegt war. Seit 1956 wurden elektrische Steuerungen, Kernstück einer jeden Maschinenfließstraße,<sup>33</sup> eingesetzt, so daß die Entwicklung von Maschinenfließstraßen auch von Fortschritten in der Elektroindustrie abhängig wurde. Technologische Produktinnovationen der Werkzeugmaschinenzulieferer wurden damit für die Weiterentwicklung der Werkzeugmaschinen zu einer dominierenden Einflußgröße.

In der Industrie setzte man für die Zentralsteuerung der Maschinenfließstraßen zunächst einfache Steuerungen ein, die den Ablauf der einzelnen Fertigungsvorgänge bestimmten. Die Einzelsteuerungen erhielten von der elektrischen Zentralsteuerung die einzelnen Impulse. Für die Zentralsteuerung eigneten sich elektrische Steuerungen besser als pneumatische und hydraulische.

---

ständig ein Programm befolgt. Aufgrund des Programms trifft das System Entscheidungen, die auf der Verknüpfung von Eingaben mit jeweiligen Zuständen des Systems beruhen und Ausgaben zur Folge haben.

<sup>32</sup> Spur, G. u. a. 1993, S. 28.

sche Anlagen, die im wesentlichen direkt an den Werkzeugsondermaschinen zum Einsatz kamen. Das grundlegende Element einer jeden Maschinenfließstraße war die Steuerung, die zum Gegenstand vertiefter Forschungsanstrengungen amerikanischer, westeuropäischer und japanischer Ingenieure wurde.<sup>34</sup>

Daneben bestimmten auch Fördereinrichtungen maßgeblich den industriellen Erfolg der Maschinenfließstraßen. Sie besaßen nicht nur die Aufgabe, Werkstücke in gerader Linie von Werkzeugmaschine zu Werkzeugmaschine, von Sondermaschine zu Sondermaschine, zu bewegen, sondern oft auch, das jeweilige Werkstück für einen bestimmten Arbeitsgang in eine andere Lage zu bringen. Je nach Art und Form des Werkstückes wurde es auf einer Schiene oder Rollbahn fortbewegt. Wo diese Transportart nicht möglich war, befestigte man das Werkstück auf einer besonderen Fördereinrichtung, die gleichzeitig als Spannvorrichtung in der Werkzeugmaschine diente. Es existierten Fördereinrichtungen, die mit Ketten arbeiteten, andere setzten hydraulisch oder pneumatisch bewegte Schubstangen im sogenannten Pilgerschritt-Verfahren ein.<sup>35</sup>

In den späten fünfziger Jahren war die Verkettungsfähigkeit von Drehmaschinen in Japan und auch in Deutschland weit fortgeschritten. Besonders Einzweckautomaten, mit anderen Worten hochproduktive Werkzeugsondermaschinen, wiesen äußerst fortschrittliche Entwicklungen auf. Das Beschicken von Drehautomaten aus Magazinen war bereits weit verbreitet, so dass es in den fünfziger Jahren vorwiegend um die Aufgabe ging, entsprechende Fördereinrichtungen zwischen den einzelnen Drehautomaten zu realisieren. Ebenfalls sehr weit entwickelt war die Verkettung bei Rundschleifmaschinen, während bis Ende der fünfziger Jahre keine Beispiele für die Verkettung von Flachsleifmaschinen bekannt waren.<sup>36</sup> Werkzeugmaschinen der Umformtechnik wiesen erste Formen der Verkettung auf.<sup>37</sup>

Der Einsatz starrer Maschinenfließstraßen fand aufgrund der großen Stückzahlen der jeweiligen Werkstücke in erster Linie in der Kraftfahrzeugindustrie statt.<sup>38</sup> Kurbel- und Nockenwellen, Ventile, Achsschenkel und Getriebegehäuse, um nur einige Beispiele aufzuzählen, wurden in dieser Zeit in der japanischen und deutschen Industrie bereits auf starren Maschinenfließstraßen produziert.

---

<sup>33</sup> Griffin 1955, S. 46-50, Kennedy 1954, S. 62-67 und S. 138-144.

<sup>34</sup> Spur 1991a, S. 498 f.

<sup>35</sup> Goebel 1955, S. 133-138.

<sup>36</sup> Kettner 1958, S. 89-91.

<sup>37</sup> Ebd. S. 91.

Während in den fünfziger Jahren die starre Verkettung von Sondermaschinen in Transferstraßen dominierte, setzte sich in den frühen sechziger Jahren verstärkt der Trend zur losen Verkettung der Fertigungseinrichtungen durch. Schwierigkeiten traten bei der starren Verkettung besonders dann auf, wenn eine Störung an einer Fertigungs- oder Transporteinrichtung die gesamte Fertigungsanlage stilllegte. Diesen Nachteil konnte die lose Verkettung von Fertigungseinrichtungen beseitigen.<sup>39</sup>

Bei der losen Verkettung hatte jede Fertigungseinrichtung einen eigenen Fertigungszyklus. Zwischen den verschiedenen Fertigungssystemen installierte man Werkstückspeicher als Störungspuffer, die kurze Stillstandzeiten einzelner Fertigungseinrichtungen auffangen konnten. Die vor- und nachgelagerten Einrichtungen waren somit in der Lage, ihre Bearbeitungsvorgänge weiterhin durchzuführen.<sup>40</sup> Die lose Verkettung von Werkzeugmaschinen kann als der erste Versuch nach dem Zweiten Weltkrieg betrachtet werden, das Prinzip der Linienfertigung und seine Automatisierungsmöglichkeiten flexibel zu gestalten und somit größeren industriellen Anwenderkreisen verfügbar zu machen.<sup>41</sup>

Grundsätzlich kann man jedoch für die Jahre 1950 bis 1965 von einer expansiven Phase der starren Automatisierung in Japan und Deutschland sprechen, die erst in den frühen sechziger Jahren durch Ansätze einer losen Verkettung der Fertigungseinrichtungen flexiblere Züge erhielt. In den Betrieben des japanischen und deutschen Werkzeugmaschinenbaus zeigten sich im Verlauf der Durchsetzung der flexiblen Automatisierung recht unterschiedliche Fertigungsmodelle mit unternehmensspezifischen Implikationen für die Arbeitsorganisation.

Die Hauptgründe für die Durchsetzung von Maschinenfließstraßen in den ersten Dekaden nach 1945 in Japan und Deutschland waren einerseits der zunehmende wirtschaftliche Druck auf die japanische und deutsche Industrie im nationalen und später auch im internationalen Wettbewerb und andererseits die Forderung nach zunehmender Produktionsquantität mit gleichbleibend hoher Produktqualität, die eine technische Neuorientierung notwendig machte.

Unterstützt und ermöglicht wurde die technologische Realisierung durch die sich rasch entwickelnde Zulieferindustrie, die in Japan durch die spezifischen Formen der Keiretsu Impluse erhielt. Aus dem Bereich der Elektrotechnik kamen sowohl in Deutschland als auch in Japan

---

<sup>38</sup> Goebel 1952, S. 128-134; Goebel 1965, S. 93-102; Goebel 1955, S. 112-117 und S. 125.

<sup>39</sup> Cornely 1962, S. 140.

<sup>40</sup> Ebd., S. 140f.

<sup>41</sup> Dolezalek 1962, S. 15-24; Dolezalek 1965, S. 564-569; Goebel 1956, S. 5-10; Goebel 1962, S. 47-53; Mithoff 1964, S. 21-23.

innovative Anstöße, später auch eigenständige Inventionen. Besonders in Deutschland waren die engen Kontakte zwischen fertigungstechnischer Hochschul- und Industrieforschung sowie häufig ein Stamm gut ausgebildeter und erfahrener Techniker und Ingenieure verantwortlich für die schnelle industrielle Umsetzung theoretisch-konstruktiver Lösungen.

Parallel zu den Bemühungen um Einrichtung und Weiterentwicklung der losen und starren Verkettung wurde bei der Einrichtung automatischer Fertigungsanlagen versucht, neben gleichartigen Werkzeugmaschinen auch verschiedenartige Fertigungsverfahren in den automatischen Fertigungsprozeß einzubinden. Hierzu muss jedoch festgehalten werden, dass selbst Ende der sechziger Jahre noch keine Fertigungslinie für wechselnde Fertigung und die Serienfertigung kleiner Losgrößen zur Verfügung stand, die sich durch Auswechseln von Baugruppen und Softwareanpassung an eingehende Fertigungsaufträge anpassen ließ.<sup>42</sup>

#### *Rechnergeführte automatisierte Fertigung: Eine neue Steuerungstechnologie - die numerische Steuerung (NC)*

Beim Einsatz von Werkzeugmaschinen in automatischen Maschinenfließstraßen bestand die vorwiegende Aufgabe der Steuerung darin, gleichbleibende Bewegungsabläufe schnell und präzise zu wiederholen, so daß Massenprodukte mit einheitlicher Qualität ohne den Eingriff des Menschen in den Produktionsprozeß entstanden. Für den automatischen Fertigungsprozeß sorgte eine den jeweiligen produktionstechnischen Bedingungen angepaßte Steuerung, wobei zwischen mechanischen, elektrischen, pneumatischen oder auch hydraulischen Steuerungskomponenten unterschieden wurde. Bei diesen Steuerungen waren die Funktionsabläufe durch Schaltung bzw. Verdrahtung festgelegt, so daß sich Veränderungen oder Umstellungen des Produktionsprozesses auf ein neues Produkt mit längeren Stillstandszeiten zur Umrüstung der Werkzeugmaschinen und der Steuerungen verbanden.<sup>43</sup>

Ein wesentlicher Anteil der Umrüstzeiten entfiel dabei auf die Umstellung der Abfolge und der einzelnen Bewegungslängen. Dazu wurden beispielsweise justierbare Nocken und Nockenleisten verwandt, um Bewegungen an genau definierten Positionen über Endschalter abzuschalten. Die Nockensteuerung, eine einfache Programmsteuerung, wurde vielfach bei Drehautomaten für große Stückzahlen eingesetzt.<sup>44</sup>

Häufige Produktionsumstellungen, wie sie im Verlauf der sechziger Jahre im zunehmenden

---

<sup>42</sup> Ebd., S. 498.

<sup>43</sup> Benad-Wagenhoff 1993a, S. 24.

<sup>44</sup> Irtenkauf/Tuffentsammer 1954, S. 414-422.

Maße durch veränderte Marktbedingungen gefordert wurden, waren mit diesen Werkzeugmaschinen betriebswirtschaftlich nicht vertretbar. Während die Einführung und Verbreitung der Maschinenfließstraße in erster Linie durch die Anforderungen der Massen- und Großserienfertigung bedingt waren, diente die numerische Steuerung der Werkzeugmaschinen seit den späten fünfziger und sechziger Jahren vorwiegend der Einzel- und Kleinserienfertigung.

Zuvor hatte man für die Einzel- und Kleinserienfertigung mechanische, elektrische und hydraulische Kopiersteuerungen mit Schablonen als starren Programmträger benutzt. Daneben experimentierte man bei den sogenannten „Record-Playback“ Steuerungen mit Tonbändern als veränderlichen Programmträgern. Schließlich setzten sich aber die numerischen Steuerungen durch.<sup>45</sup> Ihr Einfluß auf den Werkzeugmaschinenbau führte in Japan und Deutschland im Verlauf von wenigen Jahren zu völlig neuen Maschinentypen. Neue konstruktive Lösungen wurden von den Konstrukteuren und Fertigungsingenieuren gefordert. Die numerische Steuerungstechnik, welche die technologische Weiterentwicklung der Werkzeugmaschine in der japanischen und deutschen Industrie und angewandten Forschung grundlegend bestimmte, wurde zum Motor in der gesamten Produktionstechnik.

#### *Amerikanische Wurzeln*

Die Anfänge der rechnergeführten automatisierten Fertigung gehen auf die Entwicklung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine in den USA zurück.<sup>46</sup> Die Suche nach einer geeigneten Form zur Speicherung von Steueranweisungen für Werkzeugmaschinen hat eine lange Tradition, die zunächst aus den Anforderungen der Großserienfertigung hervorging.<sup>47</sup> Dabei entstanden unterschiedliche Steuerungskonzepte, die das Ziel dauerhafter und einfacher Speicherung der Bearbeitungsinformationen verfolgten und eine beliebige Wiederholbarkeit der Werkstückbearbeitung bei hoher Genauigkeit anstrebten.

Erst mit der Weiterentwicklung der elektronischen Rechnertechnik und deren Nutzung für die Produktionstechnik war schließlich ein geeignetes Instrument zur neuartigen Steuerung von Werkzeugmaschinen gegeben. Ein für den Erfolg dieser neuen Steuerungen ausschlaggebender Unterschied zu anderen Steuerungsverfahren war die Methodik, mit der die Steuerungsinformationen in den Speichermedien abgelegt wurden. Der gesamte Bearbeitungsprozeß eines

---

<sup>45</sup> Die „maßzahlenverstehende“ NC-Werkzeugmaschine wurde mit gewonnenen Geometrie- und Technologiedaten versehen und führte dann erst automatisch Bearbeitungsschritte aus. Hierzu ausführlich: Simon 1963.

<sup>46</sup> Behrendt 1982, S. 19-21; Spur/Spocht 1990; Simon 1963 (siehe weiterführende Hinweise im Literaturverzeichnis).

<sup>47</sup> Hirsch-Kreinsen 1989.

Teiles wurde auf eine formale, abstrakte Beschreibung reduziert, kodiert und dann in binäre Daten zur Aktivierung der Maschinensteuerung umgesetzt.<sup>48</sup>

Die numerische Steuerung als erfolgreiche Innovation und grundlegendes technologisches Paradigma geht auf das von Parsons erdachte und mit dem Massachusetts Institute of Technology (MIT) entwickelte System einer digitalen Werkzeugmaschinensteuerung zurück. Die grundlegende Idee zur Steuerung einer Werkzeugmaschine nach Zahlen, also die numerische Steuerung, reifte im Zusammenhang mit dem Herstellungsprozeß von Rotorblättern heran.<sup>49</sup>

Die Automatisierung, die bis dahin der Massenproduktion so große Kostenvorteile verschafft hatte, galt damals nicht für die Einzel- und Kleinserienfertigung. Jedoch wurden auch während des Zweiten Weltkrieges mit Rechengerten komplizierte Probleme der Bewegungsabläufe, vorwiegend der Ballistik, immer schneller und genauer gelöst.<sup>50</sup>

Massiv gefördert wurde die Entwicklung der numerischen Steuerung von der US-Air-Force, die damals neue Hochleistungsflugzeuge entwickeln ließ, für die schwierige Teile mit komplex geformten aerodynamischen Oberflächen gebraucht wurden. Parsons numerisch gesteuerte Maschine, die am MIT vollendet wurde, beschritt den Weg zur Lösung neuer fertigungstechnischer und produktionswirtschaftlicher Probleme. Mitte des Jahres 1953 war die Umrüstung einer Cincinnati Hydrotel Vertikal-Fräsmaschine schließlich vollendet und eine bahngesteuerte Drei-Achsen-Werkzeugmaschine vorführbereit.

Seit den späten fünfziger Jahren begann in den Vereinigten Staaten ein allmählicher Wandel in der Fertigungsstruktur. Die numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine bildete die Grundlage für eine kostengünstige Automatisierung auch der Einzel- und Kleinserienfertigung. Einige amerikanische Unternehmen der Maschinenbauindustrie erkannten die Potentiale der neuen Technologie sehr schnell. Bis zum Jahre 1963 waren in der US-amerikanischen Industrie bereits an die 3 000 numerisch gesteuerte Maschinen im Einsatz.<sup>51</sup>

#### *Die Anfänge der NC-Technologie in Deutschland*

Ende der fünfziger Jahre begann auch in der Bundesrepublik Deutschland der Einzug der

---

<sup>48</sup> Ebd., S. 20ff.

<sup>49</sup> Für die praktische Umsetzung seiner Idee einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine sicherte sich Parsons durch Vergabe eines Unterauftrages die Unterstützung des MIT. Seitens des MIT waren das auf Antriebs- und Steuerungstechnik spezialisierte Servomechanism Laboratory sowie das mit der Digital-Computer Forschung befaßte Computer Application Laboratory, unter Leitung von Professor Brown und später seines Nachfolgers Professor Reintjes, an dieser Entwicklung beteiligt.

<sup>50</sup> Behrendt 1982, S. 19.

<sup>51</sup> Ebd.

Rechnertechnik in den Werkzeugmaschinenbau. Die Entwicklungen von Elektronik, Rechner-technik und numerischer Steuerung waren von Beginn an eng miteinander verbunden. Die westdeutsche Werkzeugmaschinenindustrie und viele Fachautoren betrachteten die aufkommende NC-Technologie in den fünfziger Jahren zunächst mit Skepsis.<sup>52</sup> Ende der fünfziger und Anfang der sechziger Jahre beschäftigten sich nur wenige Werkzeugmaschinenfabriken mit der Entwicklung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen. Zwischen 1957 und 1963 waren es gerade erst sieben Betriebe, die sich dieser innovativen Technologie annäher-ten.<sup>53</sup>

Die Gründe hierfür lagen unter anderen in der anhaltenden günstigen Konjunktur für den Verkauf konventioneller Werkzeugmaschinen, besonders auch für Sondermaschinen für den Einsatz in Maschinenfließstraßen. Die Lieferfristen waren sehr lang, die Werkstätten der Maschinenhersteller ausgelastet. So produzierte die bundesdeutsche Werkzeugmaschinenindustrie zwischen 1957 und 1963 lediglich 30 numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen. Viele dieser ersten NC-Werkzeugmaschinen fanden ihr Einsatzfeld in Forschungseinrichtungen der Uni-versitäten oder in den Laboratorien der Unternehmen.

Auch Technische Hochschulen und Universitäten befaßten sich erst Anfang der sechziger Jahre intensiver mit der numerischen Steuerungstechnologie.<sup>54</sup> Die betriebswissenschaftliche bzw. fertigungstechnische Forschung konnte zwar auf eine lange Tradition zurückblicken, konzentrierte sich aber in den ersten Nachkriegsjahren nicht auf die neuen Formen der Werk-zeugmaschinensteuerung. Arbeiten auf dem Gebiet der Steuerungstechnik befaßten sich da-gegen schwerpunktmäßig mit der Verbesserung und Weiterentwicklung konventioneller Steu-erungsverfahren.

Rückblickend muß jedoch erwähnt werden, daß in der deutschen Industrie bereits in den drei-ßiger Jahren Forschungsarbeiten über Einprägautomatiken und Impulssteuerungen durchge-führt wurden. Zielvorgaben der Entwicklung sahen eine Aufzeichnung der Schalt- und Weg-informationen vor, um eine beliebige Wiederholung zu garantieren. Zur Realisierung solcher Steuerungen mußten vor allem Lösungswege zur Eingabe der Steuerbefehle, daneben zur Messung der Schlittenfahrwege und zur Programmspeicherung gefunden werden. Die Arbei-

---

<sup>52</sup> Spur 1991a, S. 511ff.

<sup>53</sup> Ende der sechziger Jahre hatten schon fast 50 westdeutsche Werkzeugmaschinenfabriken numerisch gesteu-erte Werkzeugmaschinen in ihr Produktionsprogramm aufgenommen. Im Zeitraum von 1963 bis 1969 nahm die Produktion von NC-Werkzeugmaschinen von 38 Stück auf 574 Stück zu. Zwischen 1957 und 1969 wurden ins-gesamt 940 Maschinen exportiert.

<sup>54</sup> Behrendt 1982, S. 19.

ten konzentrierten sich auf Steuerungen für die Bearbeitung beliebig geformter Werkstücke in kleinen Stückzahlen. Schon 1946 befaßte sich W. Schmid, der für die AEG ein Forschungsinstitut leitete, mit diesem Problemkreis.<sup>55</sup>

Der Grund für das späte Engagement der bundesdeutschen Werkzeugmaschinen- und Steuerungshersteller für die NC-Technologie kann jedoch nicht mit Desinteresse oder mangelndem Weitblick erklärt werden. Besonders die Techniker fühlten sich durch die Möglichkeiten herausgefordert, die mit dem Einsatz numerischer Steuerungen an Werkzeugmaschinen verbunden waren. Die Ausgangsposition für die Entwicklung dieser Technik in der Bundesrepublik war jedoch eine andere als in den Vereinigten Staaten, wo die numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen in erster Linie für die Rüstungsproduktion bestimmt waren, so daß aufgrund staatlicher Unterstützungen die hohen Entwicklungskosten ausgeglichen werden konnten.<sup>56</sup>

In der westdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie standen jedoch zunächst die wirtschaftlichen Faktoren im Vordergrund. Die hohen Entwicklungskosten, fehlende Zulieferfirmen mit ausreichenden Erfahrungen für die notwendigen Bauelemente und die Begrenzung des vorhandenen Marktes spielten dabei eine wichtige Rolle. Die potentiellen Abnehmer von Werkzeugmaschinen in Europa, dem größten Exportmarkt für die bundesdeutsche Produktion, fertigten aufgrund des allgemeinen Nachholbedarfs nach dem Krieg vor allem in mittleren und größeren Serien. Sie vertrauten auf ihre neu geschaffenen konventionellen Werkzeugmaschinen<sup>57</sup>, die in der Tradition bewährter Konstruktionen standen.

Die Entwicklung der numerischen Steuerungstechnologie in der westdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie und den fertigungstechnischen Forschungsinstituten war eng mit westeuropäischen und amerikanischen Fortschritten in diesem Bereich verknüpft. Die internationale Einbindung der bundesdeutschen Werkzeugmaschinenindustrie und -forschung war eine grundlegende Determinante der technologischen Entwicklung im Werkzeugmaschinenbau.

Durch die Zusammenarbeit deutscher Hersteller mit englischen und amerikanischen Werkzeugmaschinenfabriken konnten sich neue Erkenntnisse im Bereich der numerischen Steuerungen schnell verbreiten. Der Zuliefermarkt für die Hersteller von numerischen Werkzeugmaschinen beschränkte sich nicht nur auf die Bundesrepublik. Internationale Entwicklungssprünge konnten so relativ leicht Eingang in die bundesdeutsche Werkzeugmaschinenindust-

---

<sup>55</sup> Vgl.: Spur 1991a; Behrendt 1982.

<sup>56</sup> Vgl.: Behrendt 1982; Nobel 1984.

rie finden.

Produktionstechnologische Forschung und wissenschaftlicher Austausch waren von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung und Durchsetzung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen in der Bundesrepublik Deutschland.

Die Möglichkeit einer numerischen Steuerung wurde erstmals auf dem 8. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium im Jahre 1956 in einem Vortrag von Milton Shaw, damals Professor am MIT, erwähnt. Trotz aller äußeren Schwierigkeiten in der Nachkriegszeit wurde die Entwicklung und Herstellung von NC-Maschinen bald auch von risikobereiten und experimentierfreudigen westdeutschen Werkzeugmaschinen- und Elektrobetrieben aufgenommen. Schon im Jahre 1957 stellte das Werkzeugmaschinenunternehmen Schiess ein Bohr- und Fräswerk mit einer numerischen Steuerung von BBC vor.<sup>58</sup>

Die Fritz Werner AG und die Schwarzkopf GmbH, beide in Berlin ansässig, Burkhard & Weber GmbH, Reutlingen, die Droop & Rein Werkzeugmaschinenfabrik sowie die Bohle GmbH in Bielefeld, die Burr Ludwigsburger Maschinenbau GmbH und die Waldrich Siegen GmbH zählten neben Schiess zu den Pionieren, die sich Ende der fünfziger und in den frühen sechziger Jahre intensiv mit der NC-Technologie befaßten und eine bis dahin unbekannte enge Zusammenarbeit mit den Steuerungsherstellern begannen.

Auch die 6. Europäische Werkzeugmaschinen Ausstellung (EWA) im Jahre 1959 in Paris verdeutlichte, daß der numerischen Steuerung im Hinblick auf unterschiedliche Werkzeugmaschinentypen in Europa eine zunehmende Bedeutung beigemessen wurde. Bereits dreizehn Werkzeugmaschinenfabriken boten dort numerisch gesteuerte Maschinen an. Deutsche Maschinenbauer präsentierten damals insgesamt drei numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen. Eine der deutschen Firmen stellte eine streckengesteuerte Bohr- und Fräsmaschine vor.<sup>59</sup>

Anfang der sechziger Jahre begann in der Bundesrepublik Deutschland eine verstärkte Hinwendung zur numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine als ernstzunehmender Alternative zu konventionellen Fertigungsmaschinen. Die Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen der „Pioniere“ der NC-Technologie richteten sich dabei auf drei Schwerpunkte:

- 1 Weiterentwicklung der Steuerungstechnik,
- 2 Entwicklung neuer Programmierverfahren und

---

<sup>57</sup>Vgl.: Spur 1991a.

<sup>58</sup> Kief 1989; Hirsch-Kreinsen 1989.

<sup>59</sup> Spur 1991, S. 520ff.

### 3 Anpassung der Werkzeugmaschine an die veränderten Anforderungen durch die NC-Technik.

Diese Entwicklung deutete sich auf der Werkzeugmaschinen-Ausstellung in Hannover im Jahre 1960 an. Hier stellten bereits 14 deutsche Firmen Neukonstruktionen auf diesem Gebiet aus. Zu den Werkzeugmaschinenbetrieben, die in den fünfziger und Anfang der sechziger Jahre wesentliche Beiträge für die Entwicklung numerischer Drehmaschinen leisteten, zählte die Pittler Maschinenfabrik AG.

Auf der 7. EWA (1961) in Brüssel präsentierte Pittler den ersten numerisch gesteuerten Drehautomaten PIROMAT 23 N. Diese Werkzeugmaschine war die erste deutsche numerisch gesteuerte Drehmaschine auf einer Fachmesse. Erst zwei Jahre darauf präsentierten auch andere Aussteller numerisch gesteuerte Drehautomaten.<sup>60</sup>

Die Entwicklung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen wurde von Pittler differenziert bewertet. Einerseits sah man sich angesichts überlasteter Kapazität und großer Nachfrage nach „rentablen“, konventionellen Drehmaschinen, in den sechziger Jahren nur schwer imstande, die Entwicklung eines neuen Maschinentyps zur Serienreife voranzutreiben. Andererseits mußte das Unternehmen aber mit der schnellen Entwicklung der NC-Technik Schritt halten, um weiterhin auf dem nationalen und internationalen Markt, insbesondere in den USA, konkurrenzfähige Produkte anbieten zu können. Die Lösung bestand darin, eigene Neuentwicklungen nur als Prototypen zu bauen, um dann, bei nachlassenden Verkäufen der noch laufenden Modelle, die Prototypen als erprobte und betriebssichere Neukonstruktionen anzubieten. Im eigenen Hause erhielten dafür die neuen Steuerungssysteme einen höheren Stellenwert als bisher. Zugunsten der NC-Werkzeugmaschinen wurde sogar die Weiterentwicklung der Mehrspindel-Automaten zurückgestellt. Die Elektronik bezog Pittler überwiegend von Siemens.

Aufgrund der hohen Kosten für die Steuerung, der erforderlichen Anpassung der Maschinenkonstruktion sowie der hohen Anforderungen durch den entstehenden Programmieraufwand und arbeitsorganisatorische Änderungen im Bereich der Produktion vollzog sich die betriebliche Durchsetzung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen auch in den sechziger Jahren noch relativ langsam. Mit Zunahme der Erfahrungen im praktischen Einsatz von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen verdichteten sich allerdings die positiven Erkenntnisse.

---

<sup>60</sup> Archivmaterialien Pittler Werkzeugmaschinenfabrik. Berichte und Unternehmensdarstellungen. Einschlägige Unterlagen im Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der Technischen Universität Berlin.

Wirtschaftlichkeits- und Nutzenbetrachtungen zeigten deutlich, daß die neuen Maschinentypen, vor allem im Bereich der Einzel- und Kleinserienfertigung, erhebliche wirtschaftliche Potentiale besaßen, da sie Rüst- und Nebenzeiten verminderten sowie die Übernahme neuer Bearbeitungsprogramme vereinfachten. Diese wirtschaftlichen Potentiale und Rationalisierungsmöglichkeiten durch numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen überzeugten zunehmend auch die Entscheidungsträger in der Industrie, wodurch sich seit Mitte der sechziger Jahre der Einzug der NC-Maschine in die Fabriken verstärkte.

#### *Japan und die Anfänge der NC-Technologie*

Einschneidend für die Gestaltung des japanischen Fabrikbetriebes seit den späten sechziger Jahren war die Entwicklung der Automatisierungstechnik, besonders der numerischen Steuerung von Werkzeug- und Sondermaschinen, die sich hauptsächlich auf die schnell fortschreitende Entwicklung der Rechnertechnik und der Elektronik zunächst in den USA und dann später in Japan stützte.

In Japan wurde das technologische Konzept der numerischen Steuerung erstmals 1952 bekannt. Professor Takahashi von der Tôkyô Universität berichtete in diesem Jahr auf der Automatic Control Research Conference über die Entwicklung von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen in den USA. Ausgelöst von diesem Bericht begann eine intensive Forschung im Werkzeugmaschinenbau und in der Elektroindustrie sowie an Universitäten und Institutionen auf dem neuen Gebiet der Produktions- und Fertigungstechnik. Erstes Ergebnis der gemeinsamen Anstrengungen war eine 1956 von der Firma Fujitsu vorgestellte numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine, eine Revolverlochstanzmaschine.

#### *Tôkyô Institute of Technology*

Sehr schnell folgten weitere Entwicklungen auf dem Gebiet der numerischen Steuerungstechnik. Schon im Jahre 1957 gab das Tôkyô Institute of Technology den Aufbau einer numerisch gesteuerten Drehmaschine für Versuchszwecke bekannt. Bald darauf entwickelte der japanische Werkzeugmaschinenhersteller Makino Milling Machine die erste japanische Vertikalfräsmaschine mit numerischer Steuerung in Kooperation mit Fujitsu.

Weitere Meilensteine in den Anfängen der japanischen NC-Technologieentwicklung waren eine numerisch gesteuerte Drehmaschine der Firma Ikegai und ein vom Mechanical Engineering Laboratory des MITI im Rahmen eines dreijährigen Forschungsprojektes konstruiertes Lehrenbohrwerk, welches im Jahre 1959 fertiggestellt wurde. Ein Jahr zuvor hatte Hitachi Seiki eine hydraulisch getriebene numerisch gesteuerte Fräsmaschine konstruiert, ebenfalls in

Kooperation mit Fujitsu, von der zwei Stück an die Heavy Industries Nagoya Aircraft Plant geliefert wurden. Der Handel mit numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen nahm seinen Anfang.

Hitachi Seiki, gegründet 1936 unter dem Namen Kokusan Seiki in Tôkyô, gehört zu den ältesten und traditionsreichsten Werkzeugmaschinenproduzenten Japans. Das Unternehmen begann mit der Herstellung von Revolverdrehbänken und wurde schnell zum Technologieführer in diesem Geschäftsfeld. Ende der dreißiger Jahre gelangte das Unternehmen unter die Leitung von Hitachi Ltd. und wurde im Verlauf des Zweiten Weltkrieges durch zahlreiche Fusionen zum größten Hersteller von Werkzeugmaschinen in Japan. Die sechs Fabriken des Unternehmens produzierten gegen Ende des Zweiten Weltkrieges mit etwa 10 000 Mitarbeitern in erster Linie Dreh- und Fräsmaschinen. Im Zuge der Entflechtungspolitik verblieb dem nun wieder selbständigen und 1953 an der Börse notierten Unternehmen nur noch eine Fabrik.<sup>61</sup>

Zwischen 1953 und den frühen siebziger Jahren konzentrierte sich Hitachi Seiki, wie so viele andere japanische Werkzeugmaschinenhersteller auch, auf die Fertigung von preiswerten Standard- und Allzweckwerkzeugmaschinen zur Massenfertigung im Schiffsbau, von Haushaltsgeräten, von Dieselmotoren und für den Einsatz von Maschinenfließstraßen besonders im Automobilbau. Seine konstruktiven Anstrengungen richtete das Unternehmen besonders auf die serienmäßige Herstellung von Standardmaschinen. Hierzu zählten automatische Fräsmaschinen und Revolverdrehmaschinen, Technologiefelder, die das Unternehmen schon lange beherrschte und auf vielfältige wirtschaftliche und produktionstechnologische Erfolge zurückblicken konnte.

Neben den eignen konstruktiven Werkzeugmaschinenlösungen nahm Hitachi Seiki ab 1963 die Lizenzfertigung für Mehrspindeldrehautomaten von Gildemeister auf, in jener Zeit deutscher Technologieführer. Hitachi Seiki konnte in den sechziger und siebziger Jahren schnell wachsen, nicht zuletzt aufgrund der dauerhaft hohen Nachfrage nach hochwertigen und produktiven Werkzeugmaschinen. Mit 2200 Beschäftigten gehörte das Unternehmen 1970 zum Spitzenfeld des japanischen Werkzeugmaschinenbaus, der sich anschickte weitere internationale Märkte zu durchdringen.

Die Fertigung von Revolverdrehmaschinen und Fräsmaschinen bildete doch weiterhin das Kerngeschäft. Schon unmittelbar nach dem Zweiten Weltkrieg widmete sich Hitachi Seiki dem Bau von Sondermaschinen für Transferstraßen, die vor allem in der japanischen Lastwa-

---

<sup>61</sup> Raupach-Sumiya 1999, S. 200.

gen- und PKW-Produktion zum Einsatz kamen. Getragen von den besonderen Nachfragebedingungen im Verlauf des Koreakrieges schuf sich das Unternehmen ein weiteres produkt- und produktionstechnologisches Standbein: die Herstellung großer Werkzeugmaschinen und die Bereitstellung von Sondermaschinen für Transferlinien.<sup>62</sup>

Hitachi Seki zählte, und dies macht das Unternehmen besonders interessant, in den sechziger Jahren zu den Pionieren der numerischen Steuerungstechnologie im Werkzeugmaschinenbau. Angesichts hoher Entwicklungskosten und der unzureichenden Leistungsfähigkeit der ersten numerischen Steuerungen sah man von weiteren Entwicklungsanstrengungen in diesem Technologiefeld jedoch ab. Für das Unternehmen was das in den späten siebziger Jahren mit erheblichen Problemen verbunden. Hitachi Seki konnte mit der schnellen Entwicklung nicht schritthalten. Der Boom der NC-Technologie, getragen von dynamischen Unternehmen wie Yamazaki Mazak oder Mori Seiki, überforderten die halbherzigen Anstrengungen von Hitachi Seki.<sup>63</sup> Erst in den späten siebziger Jahren gelang es Hitachi Seki sich eine führende Position im Markt für NC-gesteuerte Drehmaschinen zu erobern.

Betrachtet man den Fall Mori Seki so konnte sich dieses Unternehmen anders als Hitachi Seki schon frühzeitig als Spezialist für numerische Steuerungen durchsetzen. Gegründet im Jahre 1948 wurde zunächst der Bau von Textilmaschinen forciert.<sup>64</sup> Rund eine Dekade später gab der Familienbetrieb das Textilmaschinengeschäft auf und konzentrierte sich von nun an auf die Herstellung konventioneller Werkzeugmaschinen. Zu Beginn der sechziger Jahre konnte sich das Unternehmen mit seinen Produkten schon gut im Markt behaupten, Drehmaschinen mit hoher Fertigungsgenauigkeit bildeten das Kerngeschäft. Als Mori Seki dann im Jahre 1968 eine numerisch gesteuerte Drehmaschine auf den Markt brachte, gehörte es neben den Werkzeugmaschinenherstellern Makino Milling, Okuma, Hitachi Seki, Ikegai und Yamazaki Mazak zu den japanischen Vorreitern der numerischen Steuerungstechnologie.<sup>65</sup>

Obwohl sich die japanischen Hersteller von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen zu Beginn der sechziger Jahre noch mit erheblichen Entwicklungskosten und enormen Qualitätsproblemen kämpfen mussten trat doch Ende der sechziger Jahre eine Trendwende ein. Die Marktwiderstände wurden allmählich gebrochen, die schnell wachsenden Märkte verlangten nach flexibler Fertigungstechnik, und der japanische später vor allem der amerikanische und

---

<sup>62</sup> Ebenda, S. 201.

<sup>63</sup> Hitachi Seki Co. Ltd. 1991, S. 16

<sup>64</sup> Mori Seki 1975, S. 1.

<sup>65</sup> Raupach-Sumiya 1999, S. 188.

westeuropäische Markt wurden für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen aus Japan aufnahmefähig.

### *Fujitsu und Fanuc*

Eine der zentralen Innovationen für die japanische NC-Maschinenindustrie war die Entwicklung des elektrischen und elektrohydraulischen Schrittmotors durch die Firmen Fujitsu und FANUC<sup>66</sup> unter der Leitung von Dr. Inaba. Der große Vorteil der Schrittmotoren gegenüber konventionellen Antriebstechniken bestand darin, dass sie die Konstruktion präziser, zuverlässiger, leistungsstarker und in erster Linie vergleichsweise preiswerter numerisch gesteuerter Maschinen, die auch in größeren Serien herstellbar waren und nicht zuletzt den großen wirtschaftlichen Erfolg der japanischen Werkzeugmaschinenindustrie begründeten, ermöglichten. Aber nicht nur auf dem für die Produktionstechnik so wichtigem Gebiet der Antriebstechnik erarbeiteten sich die japanischen Ingenieure in kurzer Zeit schnell ein eigenes Know-how. Auch in der Steuerungskonstruktion gewannen sie sehr schnell Anschluß an die US-amerikanischen und westeuropäische Entwicklung. So stellten japanische Werkzeugmaschinenbetriebe zwischen 1965 und 1969 erste NC-Steuerungen mit eingebautem Minicomputer vor.

Der Aufstieg der Firma FANUC kann als Beispiel für eine japanische Erfolgsgeschichte in der Entwicklungslinie der Automatisierungstechnologie angesehen werden. FANUC entstand 1972 als Ausgründung aus der Mutterfirma Fujitsu. Das Unternehmen Fujitsu hatte wesentlichen Anteil an der Entwicklung und Verbreitung der NC-Technologie in Japan. Bereits im Jahre 1956, als Folge einer Strategieentscheidung der Geschäftsführung von Fujitsu, konzentrierte sich die Firma auf das Geschäftsfeld Rechner und Steuerungen. Das Unternehmen begann damit eine langfristig angelegte produktionswissenschaftliche Entwicklung zu forcieren, die erst eine Dekade später zu geschäftlichen Erfolgen führte.

Auch heute noch gehört FANUC zu den Technologieführern der Automatisierungstechnik. Neben CNC-Steuerungen fertigt das Unternehmen Schrittmotoren, Industrieroboter, Präzisionsmaschinen wie Drahterodiermaschinen, CNC-Bohrmaschinen, Kunststoffformmaschinen und Laserbearbeitungsmaschinen. Die Unternehmensstrategie der Firma ist darauf ausgerichtet, einen Technologievorsprung zu erarbeiten und gleichzeitig ein moderates Preisniveau zu halten. Ein wesentliches Ziel der Unternehmensstrategie ist die weltweite Vermarktung von

---

<sup>66</sup> FANUC (Fujitsu Automatic Numerical Control)

Produkten der Fertigungsautomatisierung, in weiterer Perspektive der Fabrikautomatisierung, um so zum globalen Technologieführer im Markt für Fabrikautomatisierung zu werden.

Die Idee zur Entwicklung einer NC-Steuerung wurde in der Firma Fujitsu in erster Linie von Dr. Inaba propagiert, der auch im wesentlichen mit ihrer Ausführung beauftragt wurde. Hierbei erhielt er vom Unternehmen weitgehend freie Hand. Dr. Inaba stand im Verlauf des Innovationsprozesses mit anderen Forschern, Fachkollegen und Unternehmen in regem wissenschaftlichen Austausch. Ein besonderes Merkmal zeichnete diese Personen aus: Alle Wissenschaftler hatten die Universität Tôkyô besucht und anschließend ein zunächst informelles, dann wissenschaftlich fundiertes Netzwerk aufgebaut: Abschlussjahr an der Universität Tôkyô: Prof. Tosa 1937; Mr. Ikai 1942; Dr. Inaba 1946 und Prof. Sata 1947.

Diese Forscher vertraten die Auffassung, dass die amerikanische Entwicklung der numerischen Steuerung nicht in gleicher Form in Japan zu wiederholen sei. Es setzte sich die Einsicht durch, dass ein Nachvollzug unter japanischen Verhältnissen viel zu aufwendig sei. Die amerikanische Entwicklung der numerischen Steuerung wurde mit dem Ziel eingeleitet, sehr komplexe dreidimensionale Geometrien in wiederholbaren Bearbeitungsverfahren herzustellen. Die japanischen Ingenieure erkannten die Vorteile dieser Entwicklung in der Speicherung des Bearbeitungsablaufes für die konventionelle Fertigung. Dementsprechend setzten sich die Wissenschaftler um Dr. Inaba das Ziel, eine möglichst einfache Steuerung für japanische Produktionsverhältnisse zu entwickeln.<sup>67</sup>

Die Entwicklung der Steuerung warf für das Forschungs- und Entwicklungsteam erhebliche technische Probleme auf. An erster Stelle ist hierbei der Aufbau von Rechnerschaltkreisen zu nennen. Es gelang jedoch nach zehnjähriger Entwicklungszeit, eine kostengünstige, leistungsfähige numerische Steuerung herzustellen. Die NC-Steuerung FANUC 260 für die Punkt- und Streckensteuerung war mit drei elektrohydraulischen Motoren gekoppelt. Ihre Vorstellung Ende der sechziger Jahre in Japan löste einen erheblichen Verkaufsboom aus.

### *Anwendungsforschung*

In den späten sechziger und frühen siebziger Jahren konzentrierten sich die japanischen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten vor allem auf die Anwendungsforschung und den Transfer der neuen numerischen Steuerungstechnologie in die industrielle Praxis der verarbeitenden Industrie. Im Werkzeugmaschinenbau, in der Automobilproduktion und der Elektroindustrie gelangten erste numerisch gesteuerte Maschinen zum Einsatz. Jedoch erst mit der wachsenden

Erfahrung gewann die eigene Erschließung neuer Technologien an Bedeutung für die Produktionstechnik.

Der Technologietransfer aus Westeuropa und den USA vollzog sich in den frühen Jahren der NC-Technologie sehr unterschiedlich. So nutzte die japanische Maschinenbauindustrie recht intensiv die Möglichkeit, Patente und Lizenzen zu erwerben sowie Kooperationsverträge mit technologisch führenden Unternehmungen des Maschinenbausektors und der Elektroindustrie abzuschließen. Die Kooperation mit europäischen und amerikanischen Unternehmungen erleichterte nicht nur den Technologietransfer, sondern vereinfachte zusätzlich die Erschließung fremder Märkte.

### *Human Resource Management*

Die japanischen Unternehmen zeigten sich für die NC-Technik sehr aufnahmebereit. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß der mit der Einführung der neuen NC-Technologie in den Fertigungsprozeß verbundene Fort- und Weiterbildungsbedarf in den japanischen Unternehmungen nur ein geringes Hindernis als in den deutschen Betrieben darstellte. Dies resultierte einerseits aus der Tatsache, daß die japanischen Fertigungsingenieure zu Beginn ihrer beruflichen Laufbahn zunächst im Unternehmen im Bereich der Fertigung eingesetzt wurden und damit auch auf der Benutzerebene eine oft hohe Qualifikation erwarben. Darüber hinaus führten die Steuerungs- und Maschinenhersteller zu Beginn der NC-Entwicklung intensive Schulungs- und Betreuungsprogramme durch, im Rahmen derer die Mitarbeiter der Kunden über den Zeitraum eines halben Jahres geschult und betreut wurden. Vor allem in der Einführungsphase standen dem Kunden Ingenieure des Herstellers zur Unterstützung der ersten Anwendungsschritte sowie bei der Problemanalyse zur Seite.<sup>68</sup> In produktionstechnischer und arbeitsorganisatorischer Hinsicht leisteten die Japaner vor allem seit den siebziger Jahren erhebliche Beiträge zur Automatisierung des Produktionsprozesses, die sich in der Weiterentwicklung der numerischen Steuerungstechnologie manifestieren.

So läßt sich festhalten, daß seit Mitte der sechziger Jahre der Einfluß von Automatisierung, Rechnertechnik (NC-Technologie), Flexibilisierung und Dezentralisierung der Fertigungsprozesse, zu einem grundlegenden Wandel des betrieblichen industriellen Arbeitssystems und seiner wissenschaftlichen Reflexion führte. Neue Formen der Arbeitssystemgestaltung g-

---

<sup>67</sup> Schröder 1995, S. 147f.

<sup>68</sup> Spur 1990.

wannen in jenen Jahren in der japanischen Industrie an Bedeutung, die durch integrativen Aufgabenzuschnitt auf eine Verringerung funktionaler Arbeitsteilung zielten.<sup>69</sup> Durch die Rechnerunterstützung in der Fabrik, insbesondere durch den Einsatz von CNC gesteuerten Maschinen, ergaben sich seit dem Ende der siebziger Jahre und mit Beginn der achtziger Jahre neue Möglichkeiten einer sozio-technischen Arbeitssystemgestaltung. Verschiedene Formen und Spielarten der Gruppenarbeit konnten sich in der Fabrik, genauer im automatisierten Fertigungsprozess, erst mit der Verbreitung rechnerunterstützter Produktionsmittel als rationale arbeitsorganisatorische Alternative behaupten.<sup>70</sup>

Festhalten lässt sich, dass die sozio-technische Arbeitssystemgestaltung seit den siebziger Jahren nicht nur durch innovative Fortschritte in den USA und Westeuropa geprägt, sondern nachhaltig durch die eigenständigen japanischen Entwicklungen in der Fertigungstechnologie, in Produktions- und Personalmanagement sowie in der Unternehmensführung.

Heute sind Entwicklung und Einsatz moderner Produktionsmittel in der japanischen und deutschen Industrie durch die Integration mit der Informationstechnik geprägt, die in erster Linie auf amerikanische Basisentwicklungen und auf japanische und westeuropäische produkt- und prozeßorientierte Anwendungen zurückzuführen sind. Aus dieser Entwicklung resultierten einschneidende Veränderungen der herkömmlichen Organisationsweise. Die verschiedenen Möglichkeiten fertigungstechnischer und organisatorischer Gestaltung des automatisierten oder teilautomatisierten Fertigungsprozesses sind eine Herausforderung an die produktionswissenschaftliche Forschung und an die industrielle Praxis. Es gilt, unter dem Blickwinkel der gestiegenen Anforderungen im Zuge der Globalisierung, internationale Wettbewerbsvorteile durch die marktgerechte und integrative Gestaltung von Arbeitsorganisation und Automatisierungstechnik zu realisieren.

Seit den sechziger Jahren erweitern neue rechnerunterstützte Produktionsmittel den arbeitsorganisatorischen Spielraum. Es galt, die Arbeitsorganisation in Abstimmung mit der Produktionstechnik, dem Kriterium der Wirtschaftlichkeit folgend, so zu gestalten, daß sich technische, wirtschaftliche und personelle Potentiale im Fabrikbetrieb entfalten konnten. Die verschiedenen Möglichkeiten fertigungstechnischer und arbeitsorganisatorischer Gestaltung des Fertigungsprozesses stellen Herausforderungen an Forschung und industrielle Praxis dar, um die in Zukunft zu lösenden Probleme industrieller Produktion erfolgreich zu bewältigen.

---

<sup>69</sup> Spur 1994, S. 217ff.

<sup>70</sup> Spur 1993.

Die zukünftige fertigungstechnische und wirtschaftswissenschaftliche Forschung umfaßt, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit, die Aufgabe, mannigfaltige Erscheinungsformen moderner Fabrikbetriebe zu erforschen und Modelle für ihre optimale produktionstechnische und organisatorische Gestaltung zu entwickeln. Hierbei sollte der Fabrikbetrieb als sozio-technisches System begriffen werden, wobei insbesondere die natürlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen auf der einen sowie die personellen, technischen und organisatorischen Komponenten auf der anderen Seite wissenschaftliche Beachtung finden müssen, um die Gesamtheit der den Produktionsprozess determinierenden Bedingungen für seine zweckbewusste Gestaltung zu erschließen. Dafür erscheinen historische Vergleiche hilfreich, so dass auch die historische Wissenschaft, insbesondere die Wirtschafts- und Technikgeschichte, Beiträge für eine zukunftsorientierte Gestaltung des Fabriksystems leisten kann und muss.

### *Literaturverzeichnis*

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| Abegglen 1986         | Abegglen, James C.; Stalk, George Jr.: Kaisha – Das Geheimnis des japanisches Erfolgs. Düsseldorf und Wien 1986.  |
| Abelshauser 1983      | Abelshauser, W.: Wirtschaftsgeschichte der Bundesrepublik Deutschland (1945-1980). Frankfurt a. M. 1983.  |
| Abelshauser 1987      | Abelshauser, W.: Die Langen Fünfziger Jahre. Wirtschaft und Gesellschaft der Bundesrepublik Deutschland 1949-1960. Historisches Seminar, Bd. 5. Düsseldorf 1987.  |
| Archiv Pittler        | Archivmaterialien der Werkzeugmaschinenfabrik Pittler, Langen. Berichte und Unternehmensdarstellungen. Archiv des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin.                                  |
| Adler 1988            | Adler, Paul S.: Managing flexible automation. In: California Management Review, Vol 30, No. 3 Spring 1988, S. 34-56.  |
| Asanuma 1989          | Asanuma, Banri: Manufacturer-supplier relationships in Japan and the concept of relation-specific skills. In: Journal of the Japanese and International Economies, Vol 3, 1989, S. 1-30.                            |
| Beason/Weinstein 1994 | Beason, Richard; Weinstein, David E.: Growth, economies of scale, and industrial targeting in Japan (1955-1990). Harvard Institute of Economic Research Discussin Paper 1644, Boston, June 10, 1994.                |
| Behrendt 1982         | Behrendt, W. K.: Die frühen Jahren der NC-Technologie: 1954 bis 1963. In: Technische Rundschau (1982) 19, S. 19-21.   |
| Benad-Wagenhoff 1993a | Benad-Wagenhoff, V.: Record Playback gegen Numerical Control. Eine Scheinalternative!?. In: LTA-Forschung: Automatisierungsmymthen. Reihe des Landesmuseums für Technik und Arbeit in Mannheim (1993) 10, S. 24-40. |
| Bericht 1952          | Opitz, H. (Hg.): Berichtsheft: Zerspanung und Werkzeugmaschine. Vorträge vom 5. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 1952. Essen 1952.   |
| Bericht 1953          | Opitz, H. (Hg.): Berichtsheft: Aufwand, Leistung und Wirtschaftlichkeit neuzeitlicher Werkzeugmaschinen. Vorträge vom 6. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 1953. Essen 1953.                                    |

- Bericht 1956 Opitz, H. (Hg.): Berichtsheft: Entwicklung im Werkzeugmaschinenbau. Vorträge vom 8. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 1956. Essen 1956.
- Bericht 1962 Opitz, H. (Hg.): Bericht über das 11. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium. Essen 1962.
- Borchard 1976 Borchard, K.: Wirtschaftliches Wachstum und Wechsellagen 1800-1970. Handel, Kreditwesen, Versicherung, Verkehr 1800-1914, 1914-1970. In: Aubin, H.; Zorn, W. (Hg.): Handbuch der Deutschen Wirtschafts- und Sozialgeschichte. Bd. 2. Stuttgart 1976.
- Borchardt/Buchheim 1987 Borchardt, K.; Buchheim, C.: Die Wirkung der Marshallplan-Hilfe in Schlüsselbranchen der deutschen Wirtschaft. In: VfZ 35 (1987), S. 317-335.
- Brödner 1991 Brödner, Peter: Maschinenbau in Japan – Nippons Erfolgskonzept: so einfach wie möglich: In: Technische Rundschau, Heft 37, 1991, S. 54-62.
- Brödner/Schultetus 1992 Brödner, Peter; Schultetus, Wolfgang: Erfolgsfaktoren des japanischen Werkzeugmaschinenbaus – Eine Analyse des RKW, der IG Metall und des Vereins Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW). Eschborn 1992.
- Bundesminister 1953 Bundesminister für den Marshallplan (Hg.): Wiederaufbau im Zeichen des Marshallplans 1948-1952. Bonn 1953.
- Chalmers 1986 Chalmers, Johnson: MITI and the Japanese Miracle. The Growth of the Industrial Policy, 1925-1975. Stanford 1986.
- Chokki 1986 Chokki, Toshiaki: A History of the Machine Tool Industry in Japan. In: Fransman, Martin (Hg.): Machinery and Economic Development. New York 1986, S. 124-152.
- Collis 1988 Collis, David J.: The machine tool industry and industrial policy 1955-1988. In: Spence, Michael, E.; Hazard, Heather A. (Hg.): International competitiveness, Center of Business and Government at the John F. Kennedy School of Government, Harvard University, New York 1988, S. 75-114.
- Cornely 1962 Cornely, H.: Die Verkettung von Normalmaschinen zu einer Fertigungsstraße. In: Industrie-Anzeiger 72 vom 7. September 1962. In: Opitz, H. (Hg.): Bericht über das 11. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium. Essen 1962, S. 138-144.
- Dolezalek 1956 Dolezalek, C. M.: Grundlagen und Grenzen der Automatisierung. In: VDI-Z 98 (1956) 12, S. 564-569.
- Dolezalek 1959 Dolezalek, C. M.: Kapitalsparende elastische Automatisierung. In: VDI-Nachrichten 13 (1959) 7, S. 1ff.
- Dolezalek 1960 Dolezalek, C. M.: Einfluß der Automatisierung auf die Entwicklung der Werkzeugmaschinenindustrie. In: VDI-Nachrichten 14 (1960) 24, S. 1-4.
- Dolezalek 1962 Dolezalek, C. M.: Die technischen Grundlagen der Automatisierung unter besonderer Berücksichtigung der Fertigungstechnik. In: CIRP-Annalen 11 (1962) 1, S. 15-24.
- Dolezalek 1965 Dolezalek, C. M.: Grundlagen und Grenzen der Automatisierung. In: VDI-Z 107 (1965) 12, S. 564-569.
- Dolezalek/Ropohl 1970 Dolezalek, C. M.; Ropohl, G.: Flexible Fertigungssysteme - Die Zukunft der Fertigungstechnik. In: Werkstattstechnik 60 (1970) 8, S. 43-51.
- Dosi u.a. 1989 Dosi, Giovanni; Tyson, Laura d'Andre; Zysman, John: Trade, Technology, and Development: A Framework for Discussing Japan. In: Chalmers, Johnson; Tyson, Laura d'Andre, Zysman, John: Politics and Productivity. How japans Development Strategy Works. New York 1989, S. 3-38.
- Eidenmüller 1992 Eidenmüller, Bernd: Die japanischen Produktionserfolge – Appell und herausforderung an das Produktionsmanagement. In: Angewandte Arbeitswissenschaft, Nr. 133, 1992, S. 1-16.
- Elbracht 1983 Elbracht, Dietrich: Die japanische und deutsche Werkzeugmaschinenindustrie – Ein Vergleich. In: Werkstatt und Betrieb, Jg. 116, Nr. 6, 1983, S. 8-16.

- Ernst/Laumer 1989 Struktur und Dynamik der mittelständischen Wirtschaft in Japan. Mitteilungen des Instituts für Asienkunde Hamburg, Nr. 170, Hamburg 1989.
- Fischer 1979 Fischer, W.: Die Weltwirtschaft im 20. Jahrhundert. Göttingen 1979.
- Fischer 1985 Fischer, W.: Die Entwicklung der Weltwirtschaft seit 1945 im historischen Vergleich. In: Probleme und Perspektiven der weltwirtschaftlichen Entwicklung - Jahrestagung in Travemünde 1984 des Vereins für Socialpolitik, Gesellschaft und Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Neue Folge Bd. 148. Berlin 1985, S. 19-38.
- Flüchter 1994 Flüchter, Winfried: Geographische Fragestellungen, Strukturen und Probleme. In: Mayer, Hans Jürgen und Pohl, Manfred (Hg.): Länderbericht Japan. Geographie, Geschichte, Politik, Wirtschaft, Gesellschaft, Kultur. Bonn, Bundeszentrale für politische Bildung, 1994, S. 17-53.
- Fransman 1986 Fransman, Martin: International Competitiveness, international diffusion of technology and the state: A case study from Taiwan and Japan. In: Fransman, Martin (Hg.): Machinery and Economic Development. New York 1986.
- Friedman 1988 Freedman, David: The misunderstood miracle – Industrial Development and political change in Japan. Ithaca, London 1988.
- Gerlach 1992 Gerlach, Michael: Alliance capitalism: the social organization of Japanese Business. Berkeley, Los Angeles, Oxford 1992.
- Gerwin 1993 Gerwin, Donald: Manufacturing flexibility: A strategic perspective. In: Management Science, Vol. 39, No. 4, April 1993.
- Glunk 1989 Glunk, F. R.: 100 Jahre Pöhl 1889-1989. Ein Stück Werkzeugmaschinen-Geschichte. München 1989.
- Glunk 1991 Glunk, F. R.: Ein Jahrhundert VDW. Zeitgeschichte, Vereinsgeschichte, Werkzeugmaschinen-Geschichte. Frankfurt a. M. 1991.
- Goebel 1952 Goebel, H.: Selbsttätige Maschinen-Fließstraßen. In: Werkstatttechnik und Maschinenbau 42 (1952) 4, S. 128-134.
- Goebel 1955a Goebel, H.: Sondereinrichtungen an Transferstraßen zur Vervollständigung des automatischen Betriebs. In: Werkstatt und Betrieb 88 (1955) 3, S. 113-118.
- Goebel 1955b Goebel, H.: Automatische Transferstraßen in der Großreihenfertigung. In: Industrieblätter 55 (1955), S. 112-117.
- Goebel 1956 Goebel, H.: Die Entwicklungsstufen bis zur Automatisierung in der mechanischen Fertigung. In: Automatisierung 1 (1956) 1, S. 5-10.
- Goebel 1962 Goebel, H.: Betrachtungen über die Entwicklungstendenz von Werkzeugmaschinen für mittlere Produktion. In: Technisches Zentralblatt praktische Metallbearbeitung 56 (1962) 2, S. 47-53.
- Griffin 1955 Griffin, G. C.: Maschinensteuerung - die Grundlage der Automatisierung. In: Mach. shop. Mag. 16 (1955), S. 46-50.
- Haak/Specht 1995 Haak, R.; Specht, D.: Bedingungen technologischer Innovationen im deutschen Werkzeugmaschinenbau. Eine vergleichende branchen- und betriebsspezifische Untersuchung der Entwicklung von 1945-1990. DFG-Abschlußbericht im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Wirtschaftliche Strukturveränderungen, Innovationen und regionaler Wandel in Deutschland nach 1945“. Berlin 1995.
- Haak 1996 Haak, R.: Der deutsche Werkzeugmaschinenbau 1939-1950. Studie des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin. Berlin 1996.
- Hardach 1980 Hardach, G.: Deutschland 1914-1970. In: Cipolla, C.; Borchardt, K. (Hg.): Die europäischen Volkswirtschaften im zwanzigsten Jahrhundert. Stuttgart, New York 1980, S. 47-99.
- Helmuth 1954 Helmuth, R.: Die mechanisierte Qualitätskontrolle bei der Fertigung mittlerer und großer Stückzahlen. In: Werkstatt und Betrieb 87 (1954) 3, S. 115-123.
- Hemmert 1993 Vertikale Kooperationen zwischen japanischen Industrieunternehmen. Wiesbaden 1993.

- Hemmert/Lützler 1994 Hemmert, M. Lützeler, R.: Einleitung: Landeskunde und wirtschaftliche Entwicklung seit 1945. In: Die japanische Wirtschaft heute. Miscellanea, Nr. 10, Tôkyô, DIJ, 1994, S. 23-44.
- Hemmert 1997 Hemmert, M.: Innovationsstrategien und Technologiepolitik in Japan: Ein Aufholersystem im Umbruch. In: Lichtblau, Karl und Franz Waldenberger (Hrsg.): Planung, Wettbewerb und wirtschaftlicher Wandel. Ein japanisch-deutscher Vergleich. Köln 1997, S. 84-106.
- Hemmert 1999 Hemmert, M.: Die Reorganisation industrieller Keiretsu. In: Legewie, J.; Meyer-Ohle, H. (Hg.): Japans Wirtschaft im Umbruch. München 1999, S. 55-58.
- Henning 1993 Henning, F.-W.: Das industrialisierte Deutschland 1914 bis 1992. Paderborn u. a. O. 1993<sup>8</sup>.
- Hirsch-Kreinsen 1989 Hirsch-Kreinsen, H.: Entwicklung einer Basistechnik. NC-Steuerung von Werkzeugmaschinen in den USA und der BRD. In: Düll, K.; Lutz, B. (Hg.): Technikentwicklung und Arbeitsteilung im internationalen Vergleich. München 1989.
- Hirsch-Kreinsen 1993 Hirsch-Kreinsen, H.: NC-Entwicklung als gesellschaftlicher Prozeß. Amerikanische und deutsche Innovationsmuster der Fertigungstechnik. Frankfurt/New York. Campus 1993.
- Hitachi Seiki 1991 Hitachi Seki Kabushiki Kaisha: hito ni yasashii gijutsu – Chie to sôï no 55 nen – Sôristu 55 shûnen. (Hitachi Seki Co., Ltd. Menschenfreundliche Technologie – 55 Jahre Erfahrung und Kreativität, Schrift zum 55 jährigen Unternehmensbestehen. Tôkyô 1991.
- Hoffmann 1990 Hoffmann, J.: Erfolgsbedingungen des Innovationsprozesses der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine in Japan. Diplomarbeit. Berlin TU IWF 1990.
- Imai 1992 Imai, Masaaki: Kaizen . Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb. 5 Auflage, München 1992.
- Ito 1992 Ito, Takatoshi;The Japanese Economy. Cambridge und London. The MIT Press 1992.
- Irtenkauf/Tuffen. 1954 Irtenkauf, J.; Tuffentsammer, K.: Fortentwicklung der Drehbank zu steigender Selbsttätigkeit. In: Werkstatttechnik und Maschinenbau 44 (1954) 10, S. 414-422.
- Johnson 1986 Johnson, Chalmers: MITI and the Japanese Miracle – The growth of industrial policy 1925-1975 Tôkyô 1986
- Kabushiki Kaisha 1985 kabushiki Kaisha Matsuura Kikai Seisakusho: Okagesama de sôgyô 50 nen. (Matsuura Machinery Corporation: dank Ihnen 50 jähriges Bestehen)unveröffentlichte Unternehmensgeschichte. Fukui 1985.
- Keizai Kikakuchô 1994 Keizai Kikakuchô: Kokumin keizai keisan nenpô (Annual report on National Accounts). Tôkyô, Keizai Kikakuchô keizai Kenkyujo 1994.
- Kellenbenz 1981 Kellenbenz, H.: Deutsche Wirtschaftsgeschichte. 2 Bde., München 1981.
- Kennedy 1954 Kennedy, P.: Automatic controls takes over in automotive Manufacturing. In: Automotive Industry 111 (1954), S. 62-67, S. 138-144.
- Kern 1979 Kern, W. (Hg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Stuttgart 1979.
- Kern 1992 Kern, W.: Industrielle Produktionswirtschaft. Stuttgart 1992<sup>5</sup>.
- Kettner 1956 Kettner, S.: Automatisierung in der Fertigung. In: VDI-Z 98 (1956) 12, S. 570-576.
- Kettner 1958 Kettner, S.: Der Stand der verkettungsfähigen Universalwerkzeugmaschinen. In: Werkstatttechnik und Maschinenbau 48 (1958) 2, S. 89-91.
- Kief 1989 Kief, H. B.: NC/CNC Handbuch. Michelstadt 1989.
- Kief 1991 Kief, H. B.: Von der NC zur CNC: Die Entwicklung der numerischen Steuerungen. In: Werkstatt und Betrieb 124 (1991) 5, S. 385-391.
- Kienzle 1950 Kienzle, O.: Gesamtschau der Werkzeugmaschinen-Industrie. In: Die Neue Zeitung vom 3. Mai 1950.
- Kienzle 1951 Kienzle, O.: Tatsachen und Bilder aus deutschen Werkzeugmaschinenfabriken. In:

- Werkstattstechnik und Maschinenbau 41 (1951) 8, S. 295-328.
- Kienzle 1962 Kienzle, O.: 25 Jahre Hochschulgruppe Fertigungstechnik: 1937-1962. Sonderdruck. Hannover 1962.
- Kikai Kōgyō 1969 Kikai Kōgyō Kenkyūkai: Nihon no kikaikōgyō (Maschinenbauforschungsinstitut: Der japanische Maschinenbau). Tōkyō 1969.
- Kikai Shinkō 1971 Kikai Shinkō Kyōkai Keizai Kenkyūjo; Shōwa 45 nen no kikaikōgyō (Wirtschaftsforschungsinstitut des Verbandes zur Förderung des Maschinenbaus: Der japanische Maschinenbau im Jahre 1971). Tōkyō 1971.
- Killias 1961 Killias, L.: Marktforschung in der Werkzeugmaschinenindustrie. Bern 1961.
- Kitamura 1989a Kitamura, Kazuyuki: Arbeit als Ausdruck von Lebenskraft – Das japanische Produktions-Know-how 81. Teil). In: Technische Rundschau, Nr. 14, 1989, S. 6-14.
- Kitamura 1989b Kitamura, Kazuyuki: Die Chancen der Klein- und Mittelbetriebe - Das japanische Produktions-Know-how (2. Teil). In: Technische Rundschau, Nr. 15, 1989, S. 32-38.
- Kitamura 1989c Kitamura, Kazuyuki: Bottom up oder Vorteile flexibler Unternehmensstrukturen - Das japanische Produktions-Know-how (3. Teil). In: Technische Rundschau, Nr. 16, 1989, S. 22-29.
- Kodama 1995 Kodama, Fumio: Emerging patterns of innovation – Sources of Japanese technological edge. Boston, Massachusetts 1995.
- Koshiro 1994 Koshiro, Kazutoshi: The employment system and human resource management. In: Imai, Kenichi; Koyama, Ryutaro: Business enterprises in Japan – Views of leading Japanese economists. Cambridge, Massachusetts, London 1994, S. 247-249.
- Kuba 1989 Kuba, Yasunori: Meister der Fertigungstechnologie – die 70 jährige Geschichte von Mazak. Tōkyō 1989.
- Leder 1989 Leder, Matthias: Innovationsmanagement – Ein Überblick. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (ZfB), Ergänzungsheft 1/1989, S. 2-35.
- Leptin 1970 Leptin, G.: Die deutsche Wirtschaft nach 1945. Ein Ost-West-Vergleich. Opladen 1970.
- Lindner 1955 Lindner, G.: Werkzeugwechselpläne als organisatorische Maßnahmen zur Beherrschung der Standzeit-Verhältnisse an Werkzeugmaschinen mit einer Vielzahl gleichzeitig arbeitender Werkzeuge. In: Industrie-Anzeiger 77 (1955) 7.
- Mommertz 1981 Mommertz, K. H.: Bohren, Drehen und Fräsen. Geschichte der Werkzeugmaschinen. Reinbek bei Hamburg 1981.
- Mori Seiki 1995 Mori Seiki Co. Ltd.: Mori Seiki no ayumi (Mori Seiki: Die Geschichte von Mori Seiki). Nara 1995.
- Nagel/Kaluza 1988 Nagel, B.; Kaluza, H.: Eigentum und Markt im Maschinenbau. Baden-Baden 1988.
- Nakamura 1994 Nakamura, Takafusa: Lectures on Modern Japanese Economic History 1926-1994. Tōkyō 1996.
- Nakatani 1996 Nakatani, Iwao: Nihon keizai no rekishiteki tenkan (Die historische Wendung der japanischen Wirtschaft). Tōkyō 1996.
- Neumann 1976 Neumann, F.: Daten zur Wirtschaft - Gesellschaft - Politik - Kultur der Bundesrepublik Deutschland 1950-1975. Baden-Baden 1976.
- Nihon Kosaku 1982: Nihon Kosaku Kikai Kogyokai : Hha-naru kikai – 30 nen no ayumi (Japan Machine Tool Builders Association: Die Mutter der Maschinen . 30 Jahre Verbandsgeschichte, Tōkyō, 1982, S. 81-83.
- Noble 1984 Noble, D. F.: Forces of Production. A Social History of Industrial Automation. New York 1984.
- Nonaka 1990 Nonaka, Ikujiro: Redundant, overlapping organization: A Japanese approach to managing the innovatio Process. In: California Management Review, Vol. 32, Nr. 3, Frühjahr 1990, S. 27-38.

- Opitz 1954 Opitz, H.: Die Entwicklung der Werkzeugmaschine im letzten Vierteljahrhundert. In: Industrie-Anzeiger 16/17 (1954), 26. Februar 1954, S. 42-50.
- Opitz 1956 Opitz, H. (Hg.): 8. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium: Entwicklung im Werkzeugmaschinenbau 1956. Aachen 1956.
- Opitz 1966 Opitz, H.: Festansprache aus Anlaß des 75jährigen Bestehens des VDW, gehalten am 4.10.1966 in Frankfurt a. M. In: WGP (Hg.): Produktionswissenschaft. Ein Beitrag zur Geschichte der Hochschulgruppe Fertigungstechnik. Aachen 1987.
- Pahlitzsch 1978 Pahlitzsch, G.: 40 Jahre Hochschulgruppe Fertigungstechnik. In: wt Zeitschrift für industrielle Fertigung 68 (1978), S. 761-765.
- Park 1975 Park, Sung-Jo: Die Wirtschaft seit 1868. In: Hammitz, Horst (Hg.): Japan. Nürnberg 1975, S. 123-144.
- Pascha 1993 Pascha, Werner: Die japanische Wirtschaft. Meyers Forum 34, Mannheim, Leipzig, wein, Zürich 1993.
- Pittler o. J. a Pittler Automatische Revolverdrehmaschine PIROMAT 23 N mit Lochstreifensteuerung. Archivmaterial der Pittler Maschinenfabrik AG. Langen.
- Pittler o. J. b Pittler PINUMAT eine automatische Drehmaschine für Futterarbeiten mit numerischer Steuerung. Archivmaterial der Pittler Maschinenfabrik AG. Langen.
- Pittler o. J. c Pittler PINUMAT Betriebsanleitung - Pittler - Numerik - Drehautomat PINUMAT. Archivmaterial der Pittler Maschinenfabrik AG. Langen.
- Raupach-Sumiya 1999 Raupach-Sumiya, Jörg: Anpassungsstrategien des japanischen Maschinenbaus unter besonderer Berücksichtigung konjunktureller Zyklen. Baden-Baden 1999.
- Ropohl 1979 Ropohl, G.: Eine Systemtheorie der Technik – Zur Grundlegung der allgemeinen Theorie. München 1979.
- Schröder 1995 Schröder, Sascha: Innovation in der Produktion. Berlin 1995.
- Schwab 1995 Schwab, G.: Die Entwicklung der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie seit 1945. Freie wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades „Diplomkaufmann“. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät. Lehrstuhl für Wirtschafts-, Sozial- und Unternehmensgeschichte. Oktober 1995.
- Schwabe 1961 Schwabe, H.: Verkettung von Standard-Werkzeugmaschinen zu Fertigungsstraßen. In: Maschinenbautechnik 10 (1961) 2, S. 61ff. und 4, S. 103ff.
- Simon 1957 Simon, W.: Steuerungsprinzipien an Werkzeugmaschinen. In: Werkstatt und Betrieb 90 (1957) 11, S. 791-798.
- Simon 1960 Simon, W.: Die Werkzeugmaschine als Glied einer datenverarbeitenden Kette. In: VDI-Z 102 (1960) 25, S. 1171-1177.
- Simon 1963 Simon, W.: Die numerisch Steuerung von Werkzeugmaschinen. München 1963.
- Simon 1969 Simon, W. (Hg.): Produktivitätsverbesserungen mit NC-Maschinen und Computern. München 1969.
- Spur 1970 Spur, G.: Mehrspindeldrehautomaten. München, Wien 1970.
- Spur 1972 Spur, G.: Optimierung des Fertigungssystems Werkzeugmaschine. München 1972.
- Spur 1979 Spur, G.: Produktionstechnik im Wandel. München, Wien 1979.
- Spur 1991a Spur, G.: Vom Wandel der industriellen Welt durch Werkzeugmaschinen. Eine kultur geschichtliche Betrachtung der Fertigungstechnik. München, Wien 1991.
- Spur 1991b Spur, G.: Die Einführung der rechnergeführten Fertigung im deutschen Werkzeugmaschinenbau. Technikgeschichtliche Jahrestagung des VDI. Düsseldorf 1991.
- Spur 1991c Spur, G.: Intensive Zusammenarbeit: Werkzeugmaschinenbau und Produktionswissenschaft. In: Industrie-Anzeiger 113 (1991) 14, S. 16-18.
- Spur 1993a Spur, G.; Specht, D.; Herter, J.: Job Design in Advanced Manufacturing. In: Human Factors in Advanced Manufacturing. Wiley&Sons, New York 1993.

- Spur u. a. 1993 Spur, G; Ebert, J. u. a.: Automatisierung und Wandel der betrieblichen Arbeitswelt. Berlin, New York 1993.
- Spur 1994a Spur, G. (Hg.): Fabrikbetrieb. Handbuch der Fertigungstechnik. Band 6. München, Wien 1994.
- Spur/Specht 1990 Spur, G.; Specht, D. u. a.: Die Numerische Steuerung - Fallstudie einer erfolgreichen Innovation aus dem Bereich des Maschinenbaus. Forschungsbericht. Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1990.
- Stromberger 1957 Stromberger, C.: Über die Automatisierung in der Fertigung. In: Werkstatt und Betrieb 90 (1957) 8, S. 477-482.
- Takayama 1997 Takayama, Kazue.: Machine Tool Industry. In: Ifo Institute for Economic Research and Sakura Institute of Research (Hg.): A Comparative Analysis of Japanese and German Economic Success, Tôkyô u. a. O. 1997, S. 427-440.
- Tsuruta 1988 Tsuruta, Toshimasa: The Rapid Growth Era. In: Komiya, Ryutarô; Okuno, Masahoro; Suzumura, Kotarô (Hg.): Industrial Policy in Japan. Tôkyô 1988, S. 49-87.
- Vestal 1993 Vestal, James E.: Planning for Change. Industrial Policy and Japanese Economic Development 1945-1990. Oxford 1993.
- Vieweg/Hilpert 1993 Japans Herausforderung an den deutschen Maschinenbau. Schriftenreihe des ifo Instituts für Wirtschaftsforschung, Nr. 135, Duncker&Humblot, Berlin und München 1993.
- Vieweg 1997 Vieweg, H.-G.: Machine Tool Industry. In: Ifo Institute for Economic Research and Sakura Institute of Research (Hg.): A Comparative Analysis of Japanese and German Economic Success, Tôkyô u.a.O. 1997, S. 441-455.
- Waldenberger 1994 Waldenberger, F.: Grundzüge der Wirtschaftspolitik. In: Die japanische Wirtschaft heute. Miscellanea, Nr. 10, Tôkyô, DIJ, 1994, S. 23-44.
- Waldenberger 1996 Waldenberger, F.: Die Montageindustrien als Träger des japanischen Wirtschaftswunders. Die Rolle der Industriepolitik. In: Schaumann, Werner (Hg.): Gewollt oder Geworden. Planung, Zufall und natürliche Entwicklung in Japan. München 1996, S. 259-271.
- Waldenberger 1998 Waldenberger, F.: Wirtschaftspolitik. In: Deutsches Institut für Japanstudien (Hg.): Die Wirtschaft Japans. Strukturen zwischen Kontinuität und Wandel. S. 19-54.
- Warnecke 1984 Warnecke, H. J.: Der Produktionsbetrieb. Eine Industriebetriebslehre für Ingenieure. Berlin u.a. O. 1984.
- WGP 1987 Wissenschaftliche Gesellschaft Produktionstechnik (Hg.): Produktionswissenschaft. Ein Beitrag zur Geschichte der Hochschulgruppe Fertigungstechnik. Aachen 1987.
- Wilson 1963 Wilson, F. W. (Hg.): Numerical Control in Manufacturing. New York 1963.
- Witte 1973 Witte, E.: Organisation von Innovationsentscheidungen. Göttingen 1973.
- Winkel 1974 Winkel, H.: Die Wirtschaft im geteilten Deutschland 1945-1970. Wiesbaden 1974.
- Zimmermann 1990 Zimmermann, G.: Erfolgsbedingungen des Innovationsprozesses der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine in der Bundesrepublik Deutschland. Diplomarbeit, Berlin TU-IWF 1990.

Autor des Beitrags:

Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. René Haak, geb. 1967, studierte Betriebswirtschaft, Volkswirtschaft und Neuere Geschichte an der Freien Universität Berlin, Produktionstechnik und Arbeitswissenschaft an der Technischen Universität Berlin. Nach einer fünfjährigen Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktions-

technik (IPK) sowie am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der TU Berlin arbeitet er seit dem 1. September 1999 als research associate in der Wirtschaftsabteilung des Deutschen Instituts für Japanstudien in Tōkyō. Seine Arbeitsschwerpunkte liegen auf den Gebieten Netzwerktheorie, japanisches und internationales Management, Produktionstechnik und Arbeitsorganisation.

Dr.-Ing. R. Haak

Deutsches Institut für Japanstudien

Nissei Kojimachi Bldg.

3-3-6 Kudan Minami

Chiyoda-Ku

102-0074 Tōkyō

Japan

Tel.: 0081-3-3222-5147

Fax.: 0081-3-3222-5420

E-mail: [haak@dijtokyo.org](mailto:haak@dijtokyo.org)