

# Die Maschinenmenschen

## - Elektroinstallationen -

Gaston Messier stieg aus dem Postauto, das ihn von Ehrendingen nach Baden gebracht hatte. Nun blieb noch ein Fussweg von zehn Minuten bis zum Arbeitsplatz bei BBC.<sup>1</sup> Im Unternehmen arbeiteten an die zehntausend Angestellte. Eine Tochterfirma befand sich in Deutschland. Scharen von Lehrlingen besuchten die betriebseigene Berufsschule auf dem Werkgelände in Baden. Cramer war der Elektrogruppe zugeteilt und betätigte sich mit dem Verlegen von Leitungen, der Montage von Kabelkanälen und dem Anschliessen von Leuchtstofflampen.

Im Eckladen kaufte Messier zwei Müllerbräu Gold und ein Sandwich. Dann ging es zum Haupteingang, vorbei an der Pförtnerloge und dann ganz nach hinten, wo sich die Instandhaltung befand. Diese war unterteilt in die Bereiche Mechanik und Elektrik. Die Elektrik wiederum war in drei Gruppen gegliedert, die Installation, die NC-Gruppe und die Elektromechanik, wo elektrische Maschinen revidiert wurden. Messier gehörte zur Installation mit ihren rund zehn Mitarbeitern, hinzu kamen vier Lehrlinge.

Inzwischen war Messier in der Garderobe angekommen. Er war einer der Letzten, die sich einstempelten, die meisten kamen vor halb acht. Nach dem Umkleiden betrat er die Werkstatt. In der Mitte des Raumes befand sich das Meisterbüro. Er erblickte Meier, der gerade am Telefonieren war. Als Werkmeister war Meier für die Installation zuständig, die anderen Gruppen besaßen eigene Meister. Messier ging zum Meisterbüro, um zu schauen, ob neue Aufträge anstanden. *Aha, In der Spedition musste ein Stecker ersetzt werden.* Das würde er gleich erledigen. Den erforderlichen Typ bekam er bei der Materialausgabe. Danach fuhr er mit dem Warenlift nach unten, um in den Werkhof zu gelangen. Dort nahm er ein Velo und radelte zur Spedition. Das Handwerkzeug trug er bei sich. Die Reparatur war keine Hexerei. Ein Staplerfahrer hatte in der Eile ein Kabel touchiert, worauf der Stecker ausgerissen wurde. Die Sache war schnell erledigt. Zuletzt kontrollierte Messier mit dem Prüfsummer, ob der Schutzleiter mit dem Apparategehäuse verbunden war.

Auf dem Rückweg zur Abteilung begegnete er Sartori. Mit ihm war Messier anfänglich nicht zurecht gekommen, doch nach einem Jahr verstanden sie sich besser. Schliesslich wurden sie gute Kameraden. Sartori war gerade fertig mit einer kleinen Installation im Röhrenlabor, wo die Leistungstrioden für die Kurzwellensender geprüft wurden. "Servus, Messier, habe gehört, dass wir den Speditionsneubau bekommen." Bei den Elektrikern sprachen sich alle mit dem Nachnamen an. "Davon weiss ich nichts" antwortete der Angesprochene. "Komm, gehen wir zu Meier", sagte Sartori, als sie mit dem Warenlift ins erste Obergeschoss fuhren. "Ihr kommt mir gerade recht", rief ihnen Meier, aus der Tür tretend, zu. "Wir haben Wichtiges zu besprechen, kommt mit." Im Meisterbüro setzten sie sich an einen Tisch und Meier nahm einen

---

<sup>1</sup> BBC = Brown Boveri und Cie. → Ein 1891 von den Ingenieuren Charles Brown und Walter Boveri in Baden (Schweiz) gegründetes Unternehmen der damals noch jungen Elektroindustrie, das sich besonders im Grossmaschinenbau mit Generatoren, Elektromotoren und Turbinen etablierte und lange Zeit führend in diesem Sektor war.

Gebäudeplan aus dem Gestell. "Vielleicht wisst ihr bereits davon, die jetzige Spedition ist veraltet und ein Neubau muss erstellt werden. Das Fundament ist bereits fertig, nun müssen die Rohre auf der ersten Schalung eingelegt werden. Schätze, dass ihr kommende Woche damit beginnen könnt, ihr hört noch von mir."

Das war es also, ein Neubau. Der in der Elektrogruppe tongebende und schon lange bei BBC tätige Galli konnte es nicht und andere wollten es nicht. Für Messier dagegen war es die Chance, sich eines der wenigen noch verbliebenen beruflichen Defizite zu entledigen. Messier war leicht angespannt, denn Rohre hatte er bisher nur ein einzigesmal eingelegt, als er in den Ferien als temporärer Mitarbeiter bei Kummeler+Matter in Zürich tätig gewesen war. Seine berufliche Erfahrung auf diesem Gebiet war dementsprechend gering. *Es wird schon gehen, sich nur nichts anmerken lassen, keine Schwäche zeigen.* Messier sprach sich selbst Mut zu mit diesen Gedanken. Sartori sagte: "An der früheren Arbeitsstelle habe ich schon Rohre eingelegt."



**Eingelegte Elektrorohre vor dem Betonieren <sup>2</sup>**

Nach diesem Gespräch musste Messier in ein Bürogebäude, wo die Beleuchtung modernisiert wurde. Zambrowski war bereits an der Arbeit und nahm die Deckenverkleidung herunter. "Du kannst hier anfangen", rief er Messier zu, "mach es so wie ich, schau mir zu!" Es war bereits halb zehn. *Hab' ich doch die Pause glatt verpasst.* Messier begann mit der Entfernung der Deckenelemente, um so die zweiflammigen Leuchtkörper demontieren zu können. Neu sollte ein Lichtband an die Stelle der veralteten Leuchten kommen. Huber hatte bereits das Nötige veranlasst und die Montageschienen anliefern lassen. Huber gehörte zur Planungsabteilung, die sich ein Stockwerk über der Installation befand. Insgesamt gab es drei Planer, dazu kam der diplomierte Elektromeister und der Leiter Technik, welchem die gesamte Instandhaltung unterordnet war.

---

<sup>2</sup> Bildquelle: [https://elektricks.com/Decke\\_einlegen\\_1.jpg](https://elektricks.com/Decke_einlegen_1.jpg)

Am Nachmittag waren alle Deckenelemente entfernt. "Gehen wir zum Kaffee", sagte Zambrowski um drei Uhr. Den Kaffee in den Zwischenpausen nahmen die Elektriker am nächsten Getränkeautomaten zu sich. Eigentlich gab es keine Zwischenpausen, doch alle hielten es so, als ob das normal wäre. Offiziell gab es nämlich nur eine Pause um neun Uhr und die Mittagspause von einer Stunde. Alle aber machten um halb elf und um drei Uhr nachmittags eine kurze Kaffeepause. Das hatte sich so eingebürgert, niemand hatte etwas dagegen. Und Meister Meier sagte nichts, solange die Kurzpausen nicht zu lange dauerten.

Um halb sechs war der Arbeitstag auch für Messier zu Ende. Ausser Sartori waren alle Arbeitskollegen bereits gegangen. Sartori kam auch erst um halb acht am Morgen, weil er einen längeren Arbeitsweg hatte. Aus dem Freiamt dauerte es immerhin 45 Minuten bis zur BBC und vom firmeneigenen Parkplatz bis zur Elektrogruppe waren es nochmals 8 Minuten. Mit ersticklichem Stolz fuhr Sartori seinen neuen Toyota Celica. Messier hatte keinen PW und kam mit dem Postauto. Mit seinen 28 Jahren besass er noch nicht einmal einen Führerausweis. Erst vor Kurzem hatte er mit Fahrstunden begonnen, nachdem er den Theorieteil abgeschlossen hatte. Bald würde die Fahrprüfung folgen, danach könnte er sich dann ein Auto zulegen. *Eine Okkasion, dachte Messier, für mehr reicht das Geld nicht.*

Auf dem Heimweg überdachte Messier den Tag. Heute war es gut gelaufen. Die Demontage der Deckenelemente war zwar eintönig gewesen, doch solche Arbeiten gab es eben auch. Seit einiger Zeit wuchs in Messier der Wunsch, sich ausser mit Installationen auch mit Maschinensteuerungen zu befassen. Insbesondere die Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) hatten es ihm angetan. So besuchte er auf eigene Rechnung einen Kurs bei Siemens in Zürich, wo er mit den Grundlagen der SPS-Technik bekannt gemacht wurde. Solche Kurse waren nicht billig.

Am liebsten wäre Messier in der NC-Gruppe gewesen, wo anspruchsvolle Tätigkeiten zu verrichten waren. Störungsbehebung an automatisierten Werkzeugmaschinen war nicht jedermanns Sache. Eine fundierte Einführung gehörte dazu. BBC hatte eine eigene SPS, die als "Procontic b" bezeichnet wurde. Ausser dem Grundkurs gab es mehrere Aufbaukurse, die nach Anwendungsbereichen strukturiert waren. Es gab einen Kurs für Analogwertverarbeitung, einen für Regelungstechnik und einen weiteren für Antriebstechnik. Allesamt Themen, die Messier brennend interessierten. Er hatte sich bereits beim Kursleiter erkundigt. Nebst dem Servicepersonal aus anderen Abteilungen standen diese Kurse nur den Mitarbeitern der NC-Gruppe zur Verfügung. Zu dieser gehörte Messier aber nicht und eine offene Stelle war derzeit nicht vorhanden. *Vielleicht müsste ich die Firma wechseln, jahrelang warten werde ich nicht.* Es gab da ein Inserat von Terlingen, doch noch war es zu früh, zuerst musste die Fahrprüfung bestanden sein.

Am nächsten Montag begaben sich Messier und Sartori zum Speditionsneubau. Meier hatte signalisiert, das mit dem Einlegen der Rohre begonnen werden könne. Die Installationspläne hatten sie von Huber bekommen. Eigentlich waren sie zu spät gekommen. Die Eisenleger waren bereits mit der Oberarmierung beschäftigt und bald sollte mit dem Betonieren begonnen werden. "Das fängt ja schön an. Jetzt müssen wir uns beeilen", rief Sartori. *Wenn das nur gut kommt, dachte Messier, bemüht, die aufkommende Panik zu bezwingen. Schliesslich schaff-*

ten sie es doch noch, aber nur deswegen, weil der Beton zu spät angeliefert wurde. "Nochmals Glück gehabt", rief Sartori erleichtert. "Das Nächstmal kommt ihr dann früher", sagte der drahtige Vorarbeiter der Eisenleger, "nochmals nehmen wir keine Rücksicht auf euch Grünschnäbel. Capito!"

Messier lernte schnell, wie die orangen Kunststoffrohre einzulegen waren. Übers Wochenende hatte er sich mit Hilfe eines Bekannten mit den Elektroplänen vertraut gemacht. Zuerst mussten die Lampendübel und Abzweigkasten mit Nägeln auf der Schalung fixiert werden. Danach wurden die Rohre zwischen Unter- und Oberarmierung eingelegt und mit Drahtbindern an den Bewehrungsstählen befestigt. Es war gar nicht so schwer.

Einmal kam Messier an einem Samstag auf die Baustelle, weil er wusste, dass am Montag betont würde. Allein hatte er die Rohre eingezogen und fixiert. Es war ein heisser Tag und Messier dachte an ein kühles Bier. Daraufhin war er zur Gartenlaube gegangen, wo an schönen Tagen auch im Freien bedient wurde. Das Weizenbier mundete köstlich, so dass er ein zweites bestellte. *Jetzt muss ich aber gehen, sonst wird sich Hedi fragen, wo ich stecke.*<sup>3</sup> Als er zu Hause ankam, war seine Frau mit den Vorbereitungen fürs Abendessen beschäftigt. Es gab Lasagne verdi, eine Spezialität von Hedi.

Das Biertrinken nach getaner Arbeit wurde zur Gewohnheit. Es geschah sukzessive, anfänglich hatte er sich auf dem Nachhauseweg ein, zwei Stangen zur Entspannung genehmigt. Daraufhin wurde ihm leichter ums Herz und die Anspannung wich für kurze Zeit, um einer angenehmen Stimmung Raum zu geben. Messier bezeichnete diesen Zustand als das "rosafarbene Licht". Nach ein paar Monaten wurden es drei Stangen. Beliebte zu dieser Zeit war "Bier Grenadine", ein Bier mit Sirup, von dem Messier nicht genug bekommen konnte. Es wurden vier, fünf, sechs "Flöten" – so nannte man die langen schlanken Gläser. Das "rosafarbene Licht" war längst einer stierigen Trunkenheit gewichen. Nach zehn Flöten war Messier sturzbetrunken; damals hatte er damit begonnen, zu den Prostituierten zu gehen. Seine Frau wusste nichts davon, ahnte es aber mit der Zeit und hiess Messier, das Bett in der Stube zu benutzen.

### - CNC-Maschinen -

Nach einem kurzfristigen Techtelmechtel als Betriebselektriker bei Terlinden, einem Textilveredler am Zürichsee, wechselte Messier zu Oerlikon-Bührle, einem Maschinen- und Waffenhersteller. Dort kam er erstmals in nähere Berührung mit NC-Maschinen.<sup>4</sup> Dabei handelte es sich um numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, darunter Bohrwerke, Dreh- und Fräsmaschinen.

Die ersten NC-Maschinen wurden nach dem zweiten Weltkrieg in den USA gebaut. Zwischen 1949 bis 1952 entwickelte John T. Parsons gemeinsam mit IBM<sup>5</sup> und dem MIT<sup>6</sup> die erste numerisch

---

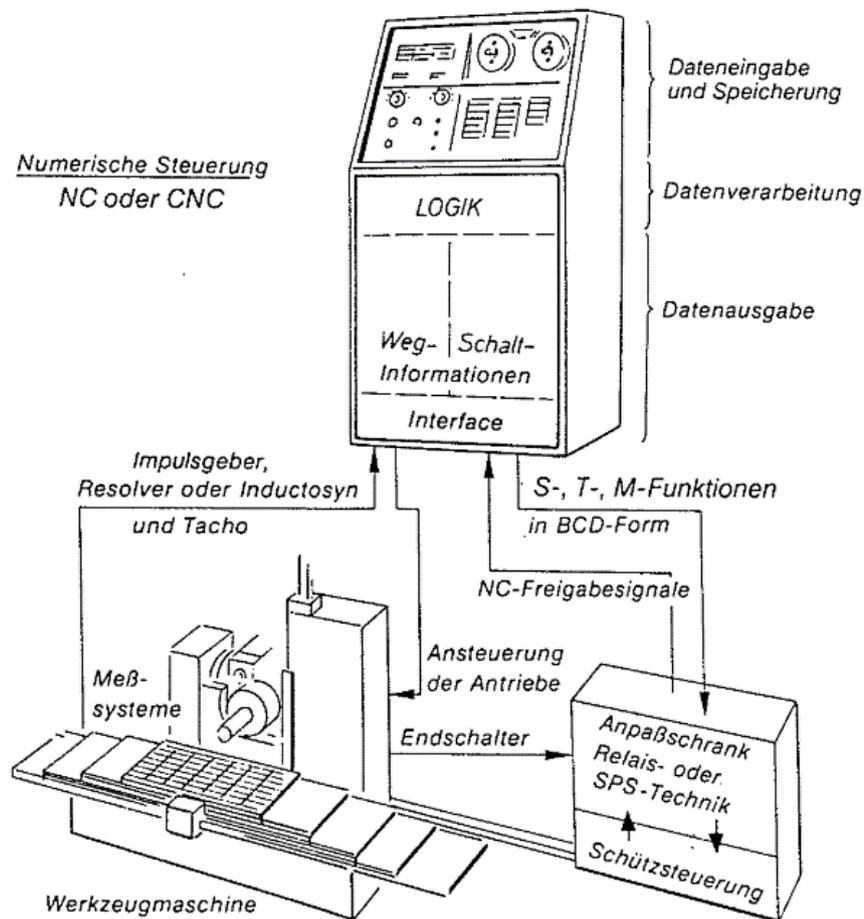
<sup>3</sup> Hedi ist eine Verkleinerung von Hedwig.

<sup>4</sup> NC = Numerical Control (dt. numerische Steuerung).

<sup>5</sup> IBM = International Business Machines Corporation.

<sup>6</sup> Massachusetts Institut of Technology.

gesteuerte Werkzeugmaschine. Die Rechte an der benutzten Technologie gingen 1955 an die Bendix Corporation, um eine mit über 300 Elektronenröhren bestückte NC-Steuerung zu konstruieren. Es dauerte seine Zeit, bis die NC-Technologie in den 1970er Jahren ihren Weg in die schweizerische Maschinenindustrie fand.



NC-Werkzeugmaschine<sup>7</sup>

Die Steuerung erfolgte mit Lochkarten. Später ersetzte ein 8-Bit-Lochstreifen die Karten. Der Programmcode wurde satzweise mit einem Stanzer in den Streifen gelocht. Beim Einlesen wurde der Lochstreifen optoelektronisch abgetastet. Das in einem Speicher abgelegte Programm enthielt ausser den Wege- und Verfahrbefehlen weitere Informationen. So musste zum richtigen Zeitpunkt das Kühlmittel freigegeben werden, um einen Bohrer oder einen Fräser zu kühlen. Oder an einer bestimmten Position musste die Drehrichtung der Arbeitsspindel geändert werden. Oder die Drehzahl musste erhöht oder erniedrigt werden. Oder es musste ein Werkzeug gegen ein anderes ausgetauscht werden. Dazu dienen G- und M-Befehle.

Eine NC-Steuerung diente folglich dazu, in einem Werkstück Bohrungen an definierten Koordinatenpunkten zu erstellen oder entlang eines Kreisbogens einen Fräser zu führen. So liessen sich auch umfangreiche Arbeitsschritte in kurzer Zeit und mit reproduzierbarer Genauigkeit ausführen. Im einfachsten Fall handelte es sich um eine Punktsteuerung, bei der an den vor-

<sup>7</sup> Hans B. Kief: Von der NC zur CNC - die Entwicklung der numerischen Steuerungen.  
Hans B. Kief et al: CNC-Handbuch (Hanser).

gesehenen Schnittpunkten ein Loch gebohrt oder ein Gewinde geschnitten wurde. Mit einer Streckensteuerung konnten zudem gerade Wegstrecken mit einer vorgegebenen Vorschubgeschwindigkeit befahren werden, um so eine Werkstückkante zu bearbeiten oder ein Langloch auszufräsen. Der Verfahrensweg war eindimensional, also in Richtung der X,Y-Achsen der Maschine. Bei einer 2D-Bahnsteuerung konnten zudem Kreisbögen gefahren werden. Zur Bahnbestimmung diente ein Interpolator, der laufend die Position berechnete und entsprechende Sollwerte an den Lagereger ausgab.

In den 1980er Jahren lösten CNC<sup>8</sup>-Maschinen die ältere NC-Technik ab. Herzstück jeder CNC-Steuerung war ein Computer mit Mikroprozessor, der durch ein Bussystem mit Arbeits- und Programmspeicher verbunden war. Bearbeitungszentren besaßen aufgrund des benötigten Speicherumfanges vielfach einen Magnetblasenspeicher. Mit dem schnellen technologischen Wandel lösten Halbleiterspeicher<sup>9</sup> und Festplattenlaufwerke (HD) die früheren Speichermedien ab. Anstelle des gestanzten Lochstreifens kamen auch Magnetbänder, 3 ½-Zoll Disketten und Speicherkarten zum Einsatz.



**CNC-Fräsmaschine mit Bedienpult** <sup>10</sup>

Das am PC erstellte NC-Programm wurde über eine serielle Schnittstelle (V.24) oder mittels Ethernet (RJ45) eingelesen. Parameter, Programmzeilen und Alarmmeldungen konnten an einem Bildschirm abgelesen werden. Kleinere Programmänderungen liessen sich über eine Tas-

---

<sup>8</sup> CNC = Computerized Numerical Control.

<sup>9</sup> Als Programmspeicher aus Halbleiterbauteilen kamen in Frage:

EPROM = Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (ein mittels UV-Licht löschbarer programmierbarer Lesespeicher); EEPROM = Electrically Erasable Programmable Read Only Memory (ein elektrisch löschbarer programmierbarer Festwertspeicher).

<sup>10</sup> Bildquelle: <https://www.kunzmann-fraesmaschinen.de/produkte/retrofit/>

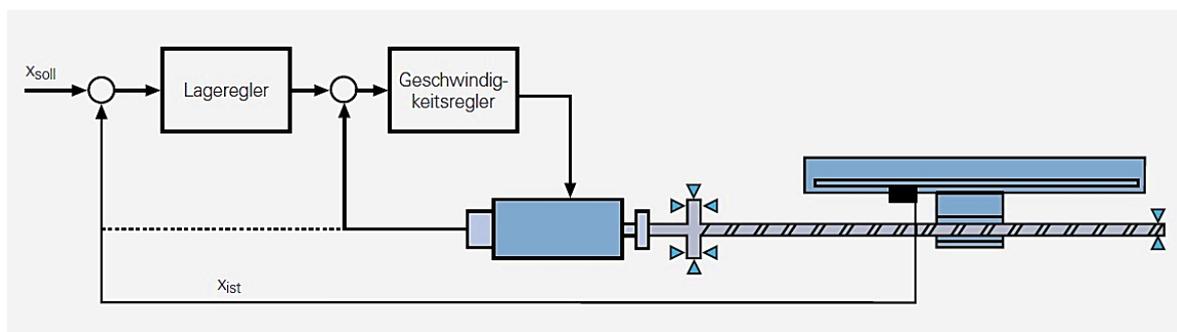
tatur vornehmen.

Eine typische Programmzeile sah so aus:

```
N1020 G40 G01 G90 X20.000 Y30.000 F1000 S2000
```

(Satznummer 1020, fahre ohne Werkzeugradiuskorrektur mit Absolutmaßen auf X20 Y30 mit einem Vorschub von 1000 mm/min und einer Spindeldrehzahl von 2000/min.)

Mit einer 3D-Bahnsteuerung liessen sich auch komplizierte Werkstücke kostengünstig fertigen. Als Achsantriebe wurden Servomotoren verwendet. Bearbeitungszentren besaßen fünf und mehr Achsen. Für die Lageregelung kamen inkrementale Wegmeßsysteme zum Zuge. Für lineare Verfahrwege wurden oft "Glassmaßstäbe", die es bei Störungen zu reinigen galt, verwendet; aber auch optische Drehgeber waren anzutreffen. Seltener war das Inductosyn, ein auf Induktion beruhendes Meßsystem, bei dem eine mäanderförmige Wicklung (Scale) von einem beweglichen "Slider" abgetastet wurde.



### Kaskadenregelung einer NC-Achse

Zur Überprüfung inkrementeller Wegmeßsysteme diente Messier ein Diagnosegerät, mit dem sich Impulszahl und Signalspur sowie weitere Kenngrößen erfassen liessen. Auch kam er erstmals mit einem Digitaloszilloskop in Berührung. Für den Maschinenunterhalt wurde ein vierkanaliges Speicheroszilloskop von Gould gekauft. Für den Anschaffungspreis hätte man einen Kleinwagen erwerben können. Heute ist ein DSO im Lowcost-Segment für ein paar 100 Euro erhältlich.

Die *Kreisverstärkung* bei Vorschubantrieben (und damit die Positioniergenauigkeit) wurde mit dem  $k_v$ -Faktor festgelegt. Zu gross durfte dieser Faktor nicht sein, weil es sonst zu Schwingungen (und damit zu Instabilitäten) im Lageregelkreis gekommen wäre. Letzlich musste der optimale Wert empirisch bestimmt werden, eine Aufgabe für den Betriebselektroniker.

$$k_v = \frac{\text{Verfahrgeschwindigkeit}}{\text{Schleppabstand}} \quad \text{in} \quad \frac{m}{\text{min} \cdot \text{mm}} \quad \text{Als "Schleppabstand" wird die Differenz zwischen Lage-Sollwert und Lage-Istwert bezeichnet.}$$

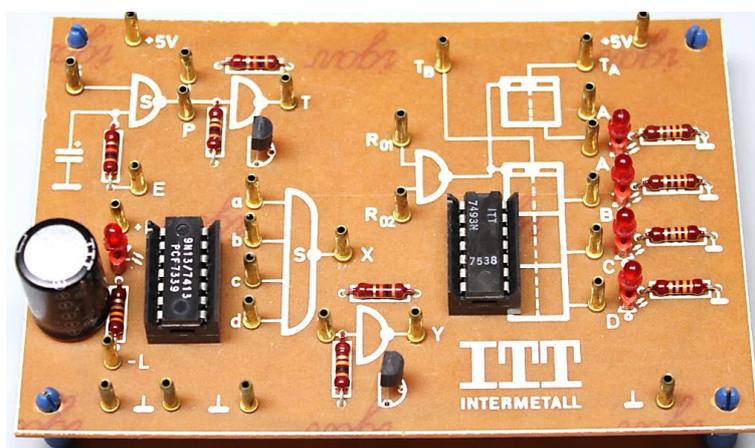
Werkzeugspindeln wurden mit geregelten Gleichstrommotoren angetrieben, die auch im stillstand ein Haltemoment erzeugten. Ein besonderes Augenmerk galt dabei dem Kreisstrom. Die Spindeldrehzahl wurde mit Resolvem, Tachogeneratoren oder inkrementalen Drehgebern erfasst und als Istwert der CNC-Steuerung zugeführt. Cramer schaute externen Service-

technikern gerne über die Schulter, wenn diese an einem Simoreg<sup>11</sup> die Regelparameter justierten. Einschlägige Berufserfahrung war hier gefragt. Mit der Zeit wurden die bewährten Gleichstromantriebe durch Synchronmotoren verdrängt, die von einem Frequenzumrichter mit Vektorregelung betrieben wurden.

Aufgrund der sich schnell wandelnden Technologie galt es, sich permanent weiterzubilden – mit spezifischer Fachliteratur, durch Fachkurse bei Bildungsinstituten und Schulungen bei den Maschinenherstellern. Mitarbeiter, die sich diesem Trend verweigerten, gehörten bald einmal zum alten Eisen. Für Messier war Weiterbildung auf hohem Niveau pure Lust und Notwendigkeit zugleich. Selbst als Pensionär würde er noch immer lernen.

Messier begann in der Maschinenfabrik Oerlikon als blutiger Anfänger und es unterliefen ihm einige Fehler. Um die Kohlenbürsten zu kontrollieren, musste er bei einem Cincinatti-Bohrwerk einen Tachogenerator demontieren. Weil keiner der Inbusschlüssel aus dem Werkzeugkasten zu passen schien, musste dosierte Gewalt angewendet werden; dabei erlitten die Schraubköpfe einen Schaden. Messier wusste noch nicht, dass es ausser den in Europa gebräuchlichen Regelgewinden auch sog. Zollgewinde gab, die bei Maschinen aus dem anglosächsischen Raum üblich waren. Zum Glück liess sich der Tacho mit einigem "Zureden" wieder befestigen. Für Messier war es eine Lehre, nocheinmal würde er denselben Fehler nicht begehen.

Zuhause vertiefte sich Messier in die angewandte Elektronik. Vor Beginn des abendlichen Selbststudiums musste Cramer den Stubentisch freiräumen, auf dem Hedi ihre Näharbeiten abgelegt hatte. Wo ein Wille, da ein Weg! Als Leitfaden diente Cramer das Buch "Elektronik für Elektroberufe".<sup>12</sup> Dazu gehörten drei Platinen, die mit Bauteilen zu bestücken waren.



Experimentierplatine mit TTL-Bausteinen <sup>13</sup>

Mit den fertigen Platinen konnten verschiedene Versuche, die im Buch beschrieben waren, durchgeführt werden. Für die Versuche waren zwei Multimeter erforderlich; damit liessen

<sup>11</sup> Simoreg, ein Stromrichter für die Regelung von Gleichstrommotoren der Fa. Siemens.

<sup>12</sup> A. Haug, W. Bühler: Elektronik für Elektroberufe (Verlag Elektrotechnik Aarau).

<sup>13</sup> Beispielbild: <http://www.dl8ma.de/elektronik/digitaltechnik/>

sich bspw. Transistorenkennlinien ausmessen, aber auch ohne Messgeräte erwies sich das Buch als äusserst hilfreich. Nicht nur diskrete Halbleiter wie Dioden und Transistoren, sondern auch analoge Schaltkreise wie Operationsverstärker wurden von den Verfassern nachvollziehbar beschrieben. Im zweiten Teil des Buches wurde die Digitaltechnik behandelt, darunter kombinatorische und sequentielle Logik.

Analoges Vielfachmessgerät



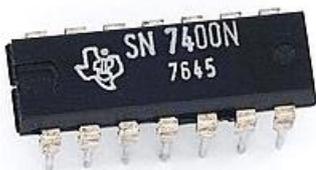
Digitalmultimeter mit Oszilloskopfunktion



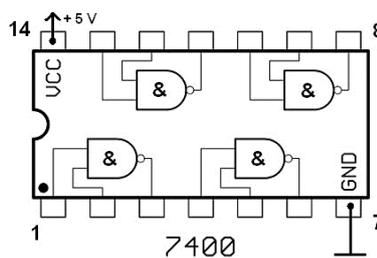
**Messmittel des Betriebselektronikers – gestern und heute**

Zu Beginn der 1980er Jahre wurden logische Schaltkreise mit integrierten Bausteinen der TTL-Familie realisiert, später folgten schnelle CMOS-Bausteine.<sup>14</sup> Durch unterschiedliche Verbindungen der in einem Logikbaustein (Gatter) integrierten Halbleiter liessen sich logische Verknüpfungen wie UND, ODER oder NOT und auch Negationen wie NAND und NOR bilden.

4-fach NAND-Gatter



Beschaltung der NAND-Glieder



**TTL-Baustein SN 7400N**

Speicherzellen wie das D-Latch dienen zur Zwischenspeicherung logischer Zustände (0, 1) in Schieberegistern, bei denen die Information taktweise um jeweils eine Stelle verschoben wurde. Mit 4 Speicherzellen konnte am Ausgang ein "Halfbyte" (Nibble) resp. die Dualzahl 1111<sub>B</sub> (dezimal 15) abgegriffen werden. Um sich noch eingehender mit dieser Thematik zu befassen, beschaffte sich Messier vier aufeinander abgestimmte Fachbücher aus dem Vogel

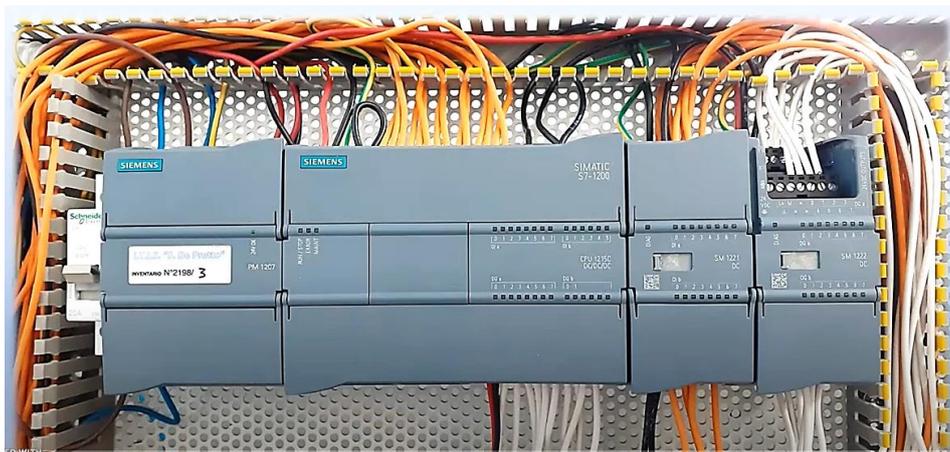
<sup>14</sup> TTL = Transistor-Transistor-Logik; CMOS = Complementary Metal-Oxide-Semiconductor.

Verlag.<sup>15</sup> Auch zwei weitere Bücher, diesmal von Schwere, erwiesen sich als zielführend.<sup>16</sup> Insbesondere motorische Antriebe wurden – unterstützt durch Abbildungen und Schnittzeichnungen – eingehend beschrieben. Schrittweise gelangte Messier auf diese Weise zu einem soliden Grundwissen der Industrieelektronik und Antriebstechnik, das ihm bei der Arbeit (und auch bei seiner späteren Tätigkeit als "Fachlehrer im Nebenamt") zunutze wurde.

### - Speicherprogrammierbare Steuerungen -

Nach den einschlägigen Erfahrungen bei Bührlle begann Cramer bei Zellweger Uster als Elektroreparateur. Ausser mit den in globo bereits bekannten CNC-Maschinen konnte er sich hier näher mit Speicherprogrammierbaren Steuerungen befassen, ein Vorhaben, das ihm seit den Tagen bei BBC vor Augen schwebte. Weiterführende und von der Firma bezahlte Schulungen bei Siemens verhalfen ihm zu vertieften Kenntnissen.

In den ersten Monaten bei Zellweger hatte sich eine Ehekrise angebahnt. Hedi hatte genug von Messiers Alkoholexzessen und den Reuebekundungen danach. Bevor seine Frau eine Trennung beantragte, wollten sie es mit einer Paartherapie versuchen. Messier wusste, dass er den Bogen überspannt hatte und willigte ein. Wider Erwarten kam es gut heraus, der Riss konnte geheilt werden. Hedi und Gaston blieben zusammen.



**Simatic S7-200**<sup>17</sup>

Speicherprogrammierbare Kleinsteuerung.

Eine Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)<sup>18</sup> besteht aus einem Automatisierungsgerät (Zentraleinheit und I/O-Baugruppen), bei dem sich das Arbeitsprogramm in einem Halbleiterspeicher befindet. Im Unterschied zur Relaissteuerung mit ihrer durch die Verdrahtung festgelegten Programmierung lässt sich das Programm jederzeit editieren und ggf. überschreiben. Für die Erstellung des Programms ist eine firmenspezifische Software erforderlich. Von Siemens ist seit 2011 das

<sup>15</sup> Heinz Meister: Elektrotechnische Grundlagen der Elektronik, Bd. 1; Klaus Beuth: Elektronik Bauelemente, Bd. 2; Klaus Beuth et al.: Elektronik Grundschaltungen Bd. 3; Klaus Beuth: Digitaltechnik, Bd. 4. Weitere Fachbücher dieser Buchreihe folgten nach und nach.

<sup>16</sup> H. Schwere: Elektrotechnik für Praktiker, 2 Bnd. (Verlag Elektrotechnik Aarau).

<sup>17</sup> Bildquelle: <https://youtu.be/GKU7DrH2cKM>

<sup>18</sup> engl. Programmable Logic Controller (PLC).

TIA-Portal<sup>19</sup> – als systemübergreifende Plattform für Projektierung, Programmierung und Inbetriebnahme von CPU's, Bediengeräten und Antrieben – in Gebrauch. Das am PC erstellte SPS-Programm wird über eine serielle Schnittstelle oder ein Bussystem wie *Profibus* oder *Industrial Ethernet* in das Automatisierungsgerät geladen. Ausser der Zentraleinheit (CPU) werden Ein- und Ausgabebaugruppen sowie eine Stromversorgung benötigt. HMI-Geräte<sup>20</sup> (Dashboard, Bedienpanel) mit visueller Darstellung der Maschinenfunktionen oder des zu regelnden Prozesses ergänzen die Hardware.

Zugute kam Messier, dass ihm ein Projekt anvertraut wurde mit dem Ziel, eine Steuerung für ein Handlinggerät zu erstellen. Das Gerät diente dem Zweck, kleine Teile aus Kunststoff für einen Microswitch aus einer Spritzgiessmaschine zu entnehmen. Um das Handlinggerät bei zwischenzeitlicher Nichtverwendung von der Maschine zu entfernen, baute Messier – zusammen mit einem Lehrling – einen Wagen, in den das Automatisierungsgerät eingebaut wurde. Zum Anschluss der peripherischen Sensoren und Aktoren diente ein Steuerkabel, das über eine Steckvorrichtung mit dem Wagen verbunden war. Der Signalaustausch zwischen dem Maschinenrechner und der SPS erfolgte mit einem zweiten Kabel. Nebst dem Handlinggerät musste eine Spritzgiessform angefertigt werden; damit wurde der Werkzeugbau beauftragt.

Ein zusätzlicher Nutzen für Messier bestand darin, dass er ausser der SPS-spezifischen Fortbildung zu einer mehrtägigen Schulung für "Plastic Machines" aufgeboten wurde, die am Stammsitz von Aarburg in der Nähe von Stuttgart durchgeführt wurde. Nebst technischem Know-how gelangte er dort in den Genuss des süffigen Weizenbieres, von dem er abends mehr als nur ein Glas trank. Der durch Blähungen entfachte Darmwind reicherte das Hotelzimmer mit einem nach Kuhmist riechenden Gas an. Bei diesem Seminar wurden auch Proportionalventile behandelt, also Hydraulikventile, die den Durchfluss eines Fluides regeln konnten. Damit wurde Messiers Interesse an Mess- und Regeltechnik entfacht, das aber erst in der Papierindustrie vollumfänglich gestillt werden konnte.

### - Stahlguss -

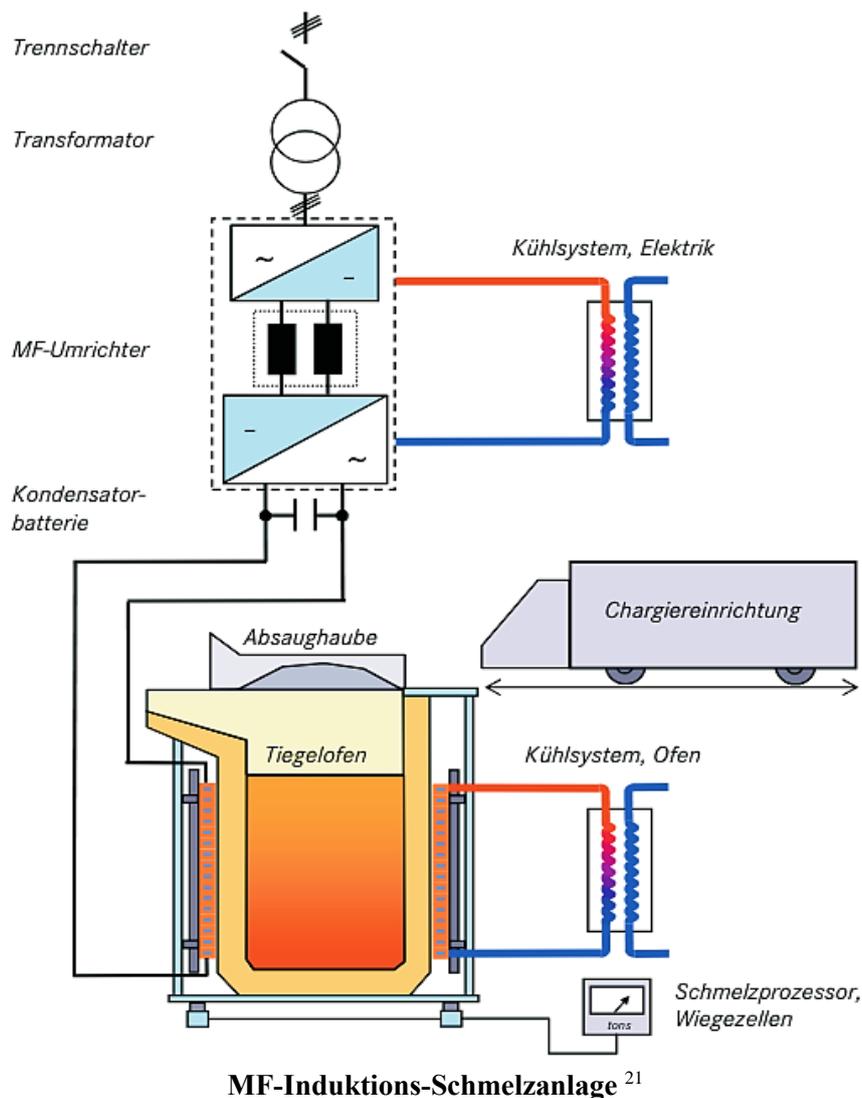
Später war Messier in einer Eisengiesserei im Tösstal als verantwortlicher Betriebselektriker tätig. Der Stahl wurde in Tiegelöfen eingeschmolzen. Der Tiegel war von einer wassergekühlten Spule umgeben, die ein starkes Magnetfeld erzeugte. Das Feld durchflutete den Stahl im Rhythmus der angelegten Mittelfrequenz, so dass sich die Charge erwärmte und bei ca. 1'500 °C flüssig wurde. Zwischendurch tauchte ein Mitarbeiter eine "Messlanze" in die Schmelze, um die Temperatur zu bestimmen. Als Messglied diente eine an der Lanzenspitze angebrachte Kartusche, die beim Messvorgang zerstört wurde. Ab und zu warf der Giesser ein Stück Aluminium in den Tiegel. Diese als "Masseln" bezeichneten Stücke dienten zur Reduktion der sich bildenden Schlacke. Gegen Ende des Schmelzprozesses wurde mit einer Kelle eine Probe entnommen, die mit der Rohrpost ins metallurgische Labor befördert wurde. War die Probe in Ordnung, erfolgte der Abstich.

---

<sup>19</sup> TIA = Total Integrated Automation.

<sup>20</sup> HMI = Human Machine Interface.

In der Giesserei lernte Messier einiges über Leistungselektronik, zumal im ersten Anstellungsjahr bei einem der Tiegelöfen die Schmelze durchgebrochen und in der Grube unter dem Schmelzofen eine heftige Explosion bewirkt hatte. Ausgelaufenes Kühlwasser und eine 1'500 °C heisse Schmelze passen auf keinen Fall zusammen. Eine gewaltige Druckwelle aus Wasserdampf war die Folge, bei der auch der 2 Megawatt Umrichter völlig zerstört wurde. Glücklicherweise erfolgte die Explosion zu einem Zeitpunkt, als sich die Giesser am Mittagstisch befanden.



a) Um die in den Umrichtern eingebauten Scheibenthristoren auf ihre Funktionsfähigkeit zu prüfen, hatte Cramer das in einer Werkstattecke liegende und von Staub bedeckte Prüfgerät instandgesetzt. Für die Prüfung mussten die Thyristoren ausgebaut werden.

b) Bei den Blockkondensatoren wurde der Isolationswiderstand in entladem Zustand mit einer Prüfspannung von 2'000 Volt DC gemessen. Meist verrieten sich defekte Kondensatoren durch eine Ausbeulung am Stahlblechgehäuse. Bei einem Ersatz war strikte darauf zu achten, dass für das Dielektrikum kein PCB-haltiges Öl verwendet wurde, weil sich aus PCB bei starker

<sup>21</sup> E. Dötsch: Induktives Schmelzen und Warmhalten (Vulkan-Verlag).

Erwärmung krebserzeugende Dioxine bilden.

c) Bei der von entionisiertem Kühlwasser durchflossenen Tiegelspule gab es nicht viel zu Prüfen, entweder war sie intakt oder eben nicht. Die Reparatur defekter Tiegel erfolgte durch einen externen Fachmann; dazu gehörte Spezialwissen und ein entsprechendes Equipment.

Cramer sträubten sich die Haare an den Unterarmen, als ihm sein Arbeitskollege erzählte, dass er – um sich vor der hohen Spannung zu schützen – auf zwei Kanthölzer gestanden sei. Trockenes Holz ist bekanntlich ein guter Isolator. Gewiss habe er dabei Gummihandschuhe getragen, aber weder Helm noch Gesichtsschutz. So habe er einen defekten Blockkondensator im laufenden Betrieb ersetzen können. Die Wechsellspannung an der Kondensatorbatterie betrug beim kleinen Tiegelofen mit 1 MW Leistung um die 1'000 V, der Strom in der Tiegelspule hatte eine Stärke bis 900 Ampère. Nicht auszudenken, was geschehen wäre, wenn der Mann mit dem Steckschlüssel ausgerutscht und einen Kurzschluss verursacht hätte. Mit hoher Wahrscheinlichkeit wäre der Elektriker – durch den einsetzenden Lichtbogen entzündet – als wandelnde Flamme durch den Umrichterraum geirrt, um daraufhin aufgrund der schweren Verbrennungen an multiplem Organversagen zu sterben. Mit solch grossen Spannungen und Strömen war nicht zu spassen! Eine der ersten Massnahmen Messiers im Betrieb war das Anbringen von Warntafeln gewesen. Hinzu kam das Equipment für erste Hilfe; dabei war auch eine Dose mit Natriumbicarbonat, um bei Verbrennungsunfällen einer Harnstoffvergiftung entgegenzuwirken.<sup>22</sup>

Messier dachte an einen temporären Einsatz in Andermatt, als er in einem Stollen fürs Militär die Zuleitung für einen Transformator anschliessen musste. Die Primärspannung betrug 3 kV und wurde vor Ort auf 400 V herabtransformiert. Die Einspeisung bestand aus drei Einzelleitern und einem Schutzleiter für den Sternpunkt. Lediglich aufgrund der beiliegenden Produktebeschreibung hatte Messier drei Endverschlüsse angebracht und diese an den Trafo angeschlossen. Ohne einschlägige Berufserfahrung eigentlich ein tollkühnes Unterfangen; doch es eilte und Messier konnte niemanden um fachlichen Rat fragen. Mit Anspannung hatte er daraufhin den Leistungsschalter in der Hochspannungsverteilung betätigt. Die Endverschlüsse hatten gehalten und alles war gut gelaufen.

d) Das vierte im Kontext relevante Betriebsmittel waren die Netztransformatoren, durch welche die primärseitige Hochspannung von 16 kV in niedergespannten Dreiphasenstrom umgewandelt wurde. Zu Prüfen gab es auch hier nur wenig. Sobald das zur Entfeuchtung des Transformatoröls eingesetzte "Blaugel" eine rosarote Färbung annahm, musste es ersetzt oder zumindest getrocknet werden. Und sprach das zum Schutz vor Selbstzerstörung dienende Buchholz-Relais an (was jedoch sehr selten geschah), war sowieso klar, dass ein Fachspezialist beigezogen werden musste.

Beim Aufbau der neuen Anlage durch ABB war Messier – so oft es seine Tätigkeit erlaubte – anwesend. On the Job und mittels spezifischer Fachliteratur<sup>23</sup> hatte er sich die benötigten

---

<sup>22</sup> Eig. *Natriumhydrogencarbonat* ( $\text{NaHCO}_3$ ), ein Natriumsalz der Kohlensäure. Ein weisses Pulver, das mit Wasser eine alkaline Flüssigkeit bildet, die als Infusionslösung zur Behandlung der metabolischen Azidose dient.

<sup>23</sup> Als lehrreich erwies sich u.a. das Vogel-Fachbuch *Leistungselektronik* von Beuth et al.

Kenntnisse über Leistungshalbleiter und gesteuerte Gleichrichter angeeignet; dazu kam das bereits vorhandene Wissen über Schwingkreise. Tiegelspule und beigeschaltete Kondensatoren bildeten nämlich einen Schwingkreis mit einer Resonanzfrequenz  $f_0$  von  $\approx 800$  Hz, die von den Giesserei-Ingenieuren als Mittelfrequenz bezeichnet wurde. Schwingkreise kannte Messier aus der Radiotechnik. Schon mit fünfzehn Jahren hatte er sich die Schwingungsformel von Thompson eingeprägt.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C \cdot L}}$$

In praxi wird die Kapazität in Picofarad [pF], Nanofarad [nF] oder Mikrofarad [ $\mu$ F] angegeben, die Induktivität in Millihenri [mH].

Ausser mit leistungsgesteuerten Tiegelöfen für den Stahlguss hatte sich Messier – unterstützt durch seinen Arbeitskollegen – mit Glühöfen zu befassen, in denen Gussteile vergütet wurden.



**Glühofen in einer Härterei** <sup>24</sup>

Zunächst wurden die Teile auf eine Temperatur von bspw. 750 °C erwärmt, um für eine vor-eingestellte Zeit (als "Dwell Time" bezeichnet) auf diesem Wert gehalten zu werden. Danach erfolgte entlang einer programmierbaren Rampe eine langsame Abkühlung auf 400 °C, wo die Teile wiederum eine bestimmte Zeit verharteten. Nach Beendigung der Haltezeit wurden die Ofentüren geöffnet, so dass die Gußstücke an der Luft allmählich auf Umgebungstemperatur abkühlen konnten. Mit dieser Prozedur wurde das Gefüge des Stahls verfeinert und innere Spannungen abgebaut. Weil die aus dickem Widerstandsdraht bestehenden Glühwendeln infolge der erhöhten thermischen Beanspruchung nur für eine begrenzte Zeit intakt blieben, galt es immer wieder, defekte Wendeln zu ersetzen. Bei sechs in Betrieb befindlichen Glühöfen kam das relativ häufig vor.

Gelegentlich mussten auch Thermolemente ausgetauscht werden, die mit Kompensationsleitungen an einen Temperaturregler angeschlossen waren. Abhängig von der Regelabweichung (also der Differenz zwischen Ist- und Sollwert) beeinflusste das Regelgerät durch Ausgabe eines Stellsignals die elektrische Energiezufuhr. Die Stellgrösse wurde einem Solid-State-Relay zugeführt, das aus einem Optokoppler und einem Leistungshalbleiter (Triac) bestand.

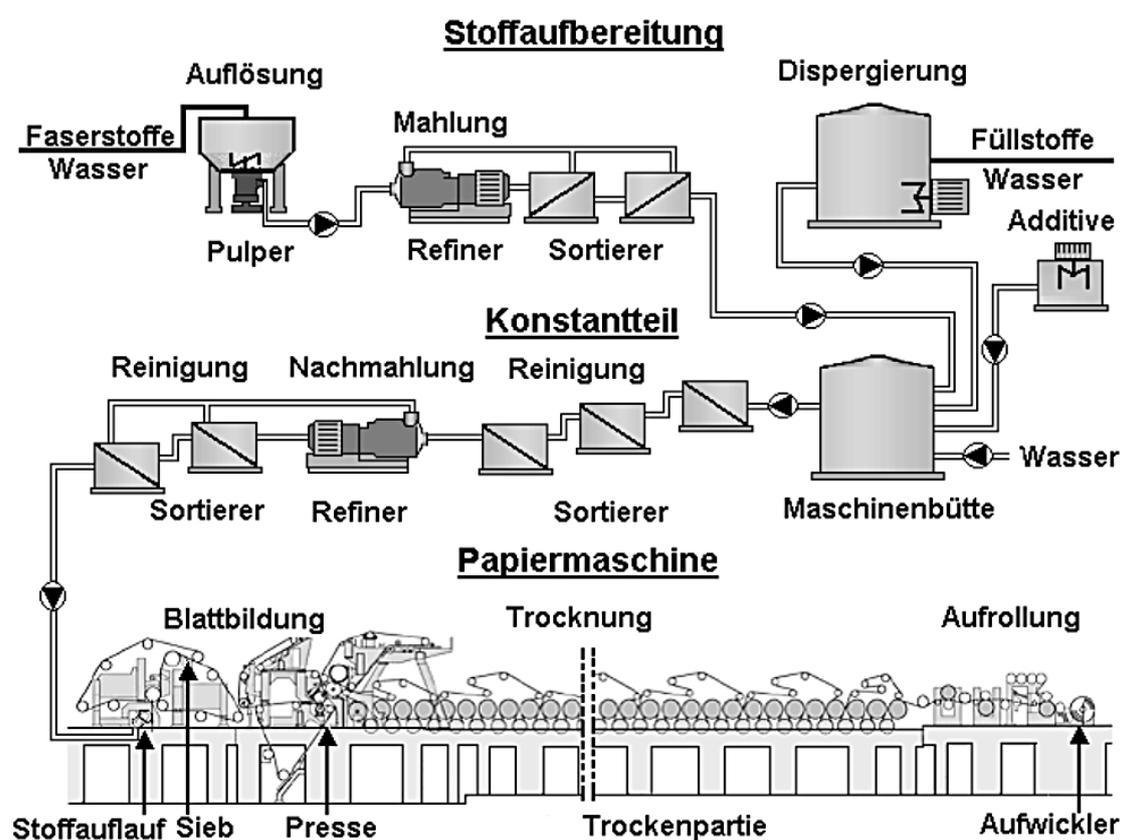
<sup>24</sup> Bildquelle: <https://www.chromin.nl/de/behandlungen/H%C3%A4rten-und-Gl%C3%BChen>

Auch solche Bauteile mussten ab und zu ersetzt werden. Cramers erworbene Kenntnisse aus der Elektronik kamen ihm bei der Fehlersuche zugute.

### - Papiertechnologie -

Nachdem Messier mitten in der Globalisierung die Giesserei verlassen hatte, wechselte er in die Papierherstellung, wo er vertieft mit Regelungstechnik in Berührung kam – ein Gebiet, das ihn besonders faszinierte.

Eine Papiermaschine bildet zusammen mit ihrem Umfeld ein komplexes System, zu dessen Beherrschung nebst einschlägigen Berufskennnissen eine jahrelange Erfahrung erforderlich ist. Nebst der zentralen Papiermaschine sind peripherische Anlagen vorhanden, die der Heissdampferzeugung, der Füllstoffaufbereitung oder der Leimerzeugung aus Stärkemehl dienen. Auch eine Abwasserreinigung wird meist benötigt. Einige Papierfabriken besitzen zudem eine eigenes Kleinkraftwerk.



Prinzipschema der Papierherstellung<sup>25</sup>

In der Fabrik waren bei älteren Anlagen noch immer pneumatische Stellungsregler von Eckhard im Einsatz; dafür war ein anderer Mitarbeiter zuständig. Messier befasste sich mit elektronischen Regelgeräten, darunter Kompaktregler der Sipart-Reihe von Siemens. Auch relativ einfach zu parametrierende Geräte der Firma Jumo waren im Betrieb häufig anzutreffen. Für

<sup>25</sup> Bildquelle → Dominik René Karl Stumm: Untersuchungen zum chemischen Wasserrückhaltevermögen und zur Trocknungsfähigkeit von Papierstoffen unter besonderer Berücksichtigung der Rolle von chemischen Additiven (Dissertation).

Instandsetzungsarbeiten stand Messier in der Werkstatt ein Prüfplatz zur Verfügung. Für administrative Arbeiten und die Programmierung von Automatisierungsgeräten benutzte Messier den eine Etage höher befindlichen Büroraum, den er mit seinem Vorgesetzten teilte.

Im Werkstattbüro fand Messier eines Tages einen roten Ordner, in dem von einem Ingenieur die wesentlichen bei der Papierherstellung benötigten Elemente – Sensoren, Ventile, Regelgeräte und Antriebe – ausführlich beschrieben wurden. Seiner Gewohnheit folgend hatte sich Messier in die aufschlussreichen Unterlagen eingelese, um noch fehlende Kenntnisse zu resorbieren. In Erinnerung geblieben war ihm zum Beispiel die der Niveaumessung von Flüssigkeiten dienende "Einperlmethode", bei der Luft durch ein dünnes Röhrchen ins Medium gelangte. Sobald kleine Blasen aus dem Röhrchen austraten und an die Oberfläche stiegen, war es gänzlich mit Luft gefüllt. Der Druck der zugeführten Luft war dann gleich gross wie der Gegendruck der Wassersäule im Behälter. Daraus liess sich nach dem Pascal'schen Gesetz die Höhe des Füllstandes bestimmen. Nebst dem "roten Ordner" erwiesen sich zwei Bücher über Regelungstechnik, die sich Messier extra gekauft hatte von grossem Nutzen.<sup>26</sup> Insbesondere der "Samal" stand damals hoch im Kurs.



### **Refiner mit stufenlos regelbarem Drehstromantrieb**

Im Rückblick erinnerte sich Messier an eine Erzählung von Gördeler, seinem Vorgesetzten; dabei ging es um die Stoffaufbereitung der Papiermaschine, wofür im Vorfeld *Refiner*<sup>27</sup> eingesetzt wurden. Die mit der Inbetriebnahme beauftragten Ingenieure des Lieferanten schlugen sich seit Stunden mit einem Polynom 5. Grades herum.<sup>28</sup> Doch die Regelung funktionierte

---

<sup>26</sup> Peter Busch: Elementare Regelungstechnik (Vogel); Erwin Samal: Grundriss der praktischen Regelungstechnik (Oldenbourg).

<sup>27</sup> *Refiner* werden in der Papierproduktion zum Mahlen des Faserstoffs eingesetzt. Ein Refiner besteht aus einer Mahlgarnitur mit einem festen und einem rotierenden Teil.

<sup>28</sup> Seit Niels Henrik Abels (1802-1829) ist bekannt, dass es für Gleichungen 5. Grades keine geschlossenen analytischen Lösungen gibt. Später bewies Évariste Galois (1811-1832), dass dies auch für Gleichungen 6. Grades und höher gilt. Zur approximativen Lösung solcher Gleichungen dienen numerische Methoden.

trotz aller Spitzfindigkeit der "Eierköpfe" nicht wie erwartet und irgendwann verliess Gördeler die Geduld. Kuzerhand löste er ein Sprungsignal am Reglereingang aus und bestimmte die Zeit, bis die Regelstrecke auf diese Störung reagierte. Danach stellte er die Regelparameter nach dem Verfahren von Ziegler und Nichols ein, beobachtete weiterhin das Regelverhalten, veränderte das Proportionalband und vergrösserte den Integrierbeiwert um einen kleinen Betrag. Nach einem halben Tag lief die Stoffregelung einwandfrei. Die Ingenieure standen kleinlaut im Hintergrund, um sich alsbald stillschweigend zu verdrücken. In der Tat, von Gördeler konnte Messier einiges lernen.

In der Papierfabrik kam Messier erstmals mit einem auf radioaktiver Basis arbeitenden Meßsystem der Firma AccuRay in Berührung. Um die Konsistenz des durchlaufenden Papiers zu bestimmen, wurde eine Kryptonquelle eingesetzt, also ein Beta-Strahler, der schnelle Elektronen emittiert.<sup>29</sup> Abhängig von der Konsistenz gelangen mehr oder weniger Elektronen zum Empfänger, so dass im laufenden Betrieb eine Bestimmung der Papierqualität möglich ist. Um im Nahbereich des Strahlers zu arbeiten, wurde das Tragen eines Dosimeters verlangt. Sinn und Zweck einer derartigen Vorrichtung war, dass eine exponierte Person bei Annäherung an die jährlich zulässige Äquivalentdosis für eine bestimmte Zeit von weiteren Arbeiten an radioaktiven Strahlern entbunden wird.<sup>30</sup>

#### - Mechatronik -

Messiers diverse Stellenwechsel waren stets mit Wohnsitzwechseln verbunden. Erst spät wurde ihm bewusst, dass er seine Familie damit einer enormen Belastung aussetzte.

Nach dem Besuch einer Technikerschule hatte Messier als frisch geprüfter Mechatronik-Techniker eine Anstellung in einem auf Präzisionsteile spezialisierten Unternehmen gefunden. Der gegenwärtige Stelleninhaber wurde in absehbarer Zeit pensioniert und es bestand Rekrutierungsbedarf. Zudem bestand die Möglichkeit, sich in einem der preisgünstigen und der Firma gehörenden Zweifamilienhäuser einzumieten. Für Hedi, deren Haar die ersten grauen Strähnen zeigte, erwies sich dieser Schritt als Glücksfall. Endlich konnte sie sich einen kleinen Garten anlegen. Ein lange gehegter Wunsch ging damit in Erfüllung. Messier war dankbar, dass seine Frau mit ihrem Leben zufrieden war. Es hätte ja auch anders kommen können...

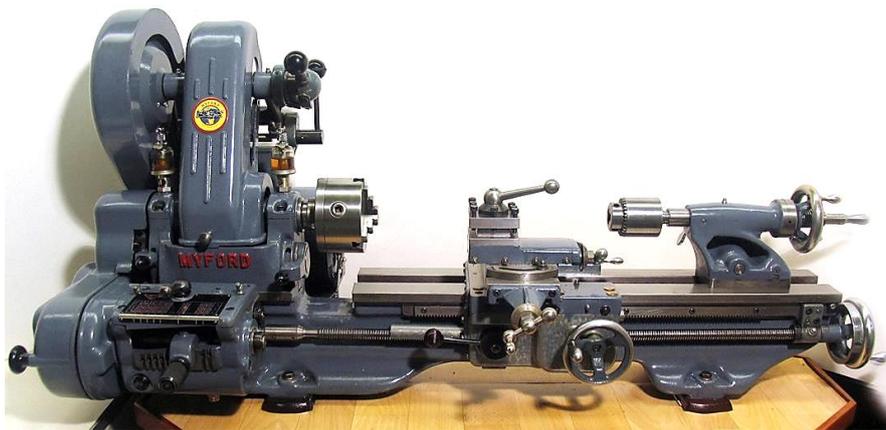
Begonnen im neuen Betrieb – einem mittelständischen Unternehmen im Zürcher Oberland – hatte Messier als Teamleiter in der Elektrogruppe. Nach einigen Jahren war er zum Leiter Technik aufgestiegen, so dass ihm nebst den Elektrikern nun auch die Mechanikergruppe unterstand. Nützlich für seine neue Tätigkeit war, dass Messier in seiner Freizeit häufig an der Drehmaschine stand. Über Ebay war er günstig zu einer Myford, inklusive sämtlichem Zubehör, gekommen. Im Keller hatte er sich daraufhin eine kleine Werkstatt eingerichtet.

---

<sup>29</sup> Krypton 85 ist ein Isotop mit vergleichsweise niedriger Radiotoxizität. Bei einer Freisetzung ist es im Allgemeinen ausreichend, für eine kurzfristige Durchlüftung des Arbeitsbereiches zu sorgen. Vom menschlichen Körper wird Krypton 85 in der Regel nicht aufgenommen (eingeatmetes Kr-85 wird wieder ausgeatmet).

<sup>30</sup> Für beruflich exponierte Personen gilt in Europa ein Grenzwert von 20 mSv p.a. Über ein Berufsleben akkumuliert dürfen nicht mehr als 400 mSv zusammenkommen.

Eines Tages war er auf das Buch "Kleindrehmaschine im Eigenbau" gestossen.<sup>31</sup> Seinen spontan erfolgten Beschluss, sich dem Selbstbau zu widmen, hatte er sukzessive in die Tat umgesetzt. Zum Erwerb der nötigen Kenntnisse war er bei der Swissmechanic gewesen, die Praxis-kurse im Drehen und Fräsen für Erwachsene anbot. Als Leiter Technik, dem nebst Betriebselektronikern auch Betriebsmechaniker unterstanden, erwies sich diese praxisorientierte Fortbildung als ideale Ergänzung, um sich mit dem Alltag eines Maschinenschlossers oder Betriebsmechanikers vertraut zu machen. So konnte er besser beurteilen, was im mechanischen Bereich vor sich ging. Für dieses Vorhaben hatte Messier ohne zu zögern seine Überstunden geopfert.



**Myford ML7**

Ausser Dreh- und Fräsarbeiten hatte Messier auch einen lange gehegten Wunsch verwirklicht, nämlich die Herstellung gedruckter Schaltungen. Im Bastelraum befand sich glücklicherweise ein Lavabo mit einem Kaltwasseranschluss, so dass diesem Vorhaben nichts im Wege stand. Auch hier war er zunächst auf Fachliteratur angewiesen. Als Methode hatte Messier das Photo-Positiv-Verfahren gewählt, das ihm auf relativ einfache Weise die Anfertigung bedruckter Platinen ermöglichte. Die erworbenen Kenntnisse konnte er sogleich für ein CNC-Projekt einsetzen, bei dem gedruckte Schaltungen für die Ansteuerung der Schrittmotoren anzufertigen waren. Geplant war der Bau einer CNC-Fräsmaschine. Als Vorlage dienten ihm die Bücher von Christoph Selig.<sup>32</sup> Zur Verwirklichung dieser ambitionierten Zielsetzung waren fachübergreifende Kenntnisse aus Elektronik, Mechanik und Informatik nötig. Für den ausgebildeten Mechatronik-Techniker folglich eine erfolgversprechende Freizeitbeschäftigung. Nach Messiers Gusto jedenfalls sinnvoller als das Sammeln von "Kafferahmdeckeli". Langweilig würde es ihm selbst als Rentner nicht werden.

#### - Qualitätsmanagement -

Für seine Führungsaufgabe als Leiter Technik musste sich Messier ins **Qualitätsmanagement** einarbeiten. Die Firma erwies sich als entgegenkommend und bezahlte einen Fernkurs. Während des Lehrgangs hatte sich Messier mit dem EFQM-Modell und den ISO-Normen 9001

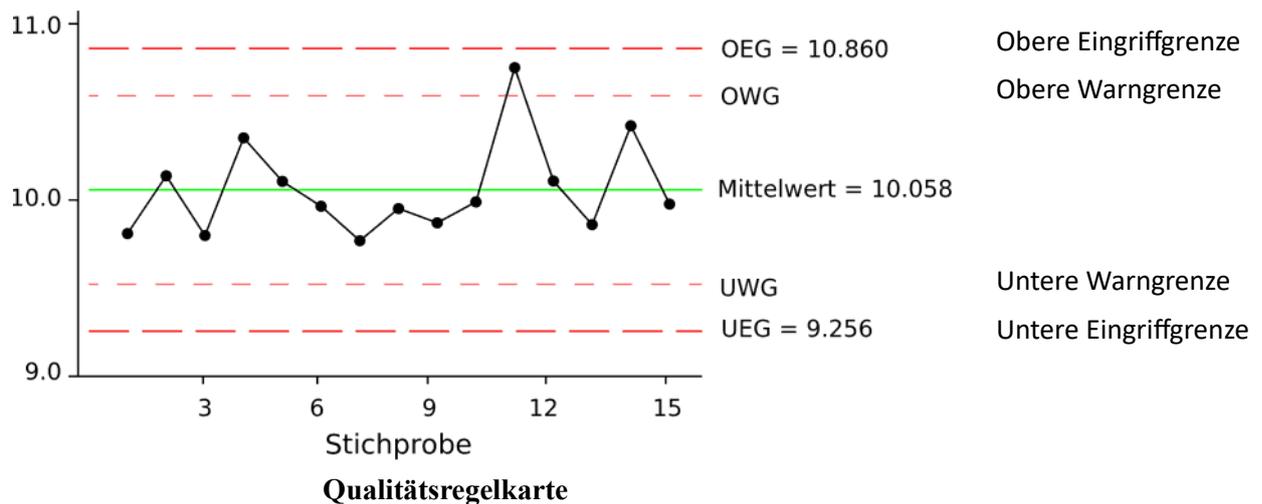
---

<sup>31</sup> Jürgen Eichardt: Kleindrehmaschine im Eigenbau (Verlag für Technik und Handwerk).

<sup>32</sup> Christoph Selig: CNC-Fräsen im Modellbau, 4 Bnd. (Verlag für Technik und Handwerk).

sowie mit Statistik zu befassen. Letztere erwies sich als äusserst anspruchsvoll. Zum Glück gab es Taschenrechner mit integrierten Statistikfunktionen. Das Zertifikat als Qualitätsmanager bekam Messier nach der Prüfung beim TÜV Rheinland, die er in Stuttgart absolvierte.

Als Teilgebiet des Qualitätsmanagements ist zur Einhaltung der geforderten Produktequalität die **Qualitätssicherung** vorgesehen. Während in der Vergangenheit von Hand erstellten QS-Protokolle üblich waren, hat inzwischen der Computer zahlreiche Aufgaben übernommen. Ein bewährtes Instrument der Qualitätssicherung ist die *Statistische Prozesskontrolle* (SPC).



Ein wesentliches Tool der SPC sind *Qualitätsregelkarten*. Diese werden bspw. vom Linienführer oder einem Mitarbeiter der Qualitätssicherung mittels einer geeigneten Software erstellt. Dazu muss der Verantwortliche dem Fertigungsprozess in festgelegten Intervallen, z.B. stündlich oder nach einer bestimmten Anzahl von Teilen, Stichproben entnehmen und auswerten.

Es gelten folgende Kriterien:

- ▶ Bei Überschreiten der Warngrenzen (+/- 2 sigma vom Mittelwert) muss ein Prozess verschärft überwacht werden.
- ▶ Die Eingriffsgrenzen (UEG, OEG) bilden die Regelgrenzen. Bei Über- bzw. Unterschreiten des Toleranzbandes muss korrigierend eingegriffen werden, um systematische Prozess- resp. Maschineneinflüsse zu korrigieren. Gegebenenfalls sind die Maschinen- und die Prozessfähigkeit zu überprüfen.

1) Mit Hilfe der **Maschinenfähigkeitsuntersuchung** kann beurteilt werden, ob eine Fertigungsmaschine in der Lage ist, die geforderte Genauigkeit einzuhalten; dazu wird eine Stichprobe mit min. 50 Messungen ausgewertet.

Die *Maschinenfähigkeit* (Machine capability) wird mit zwei Kennzahlen bewertet, die als  $C_m$  (machine capability) und  $C_{mk}$  (Kritical machine capability) bezeichnet werden.

a) Der  $C_m$ -Index ermöglicht eine Aussage darüber, ob die Maschine fähig resp. die Maschinenstreuung klein genug ist.

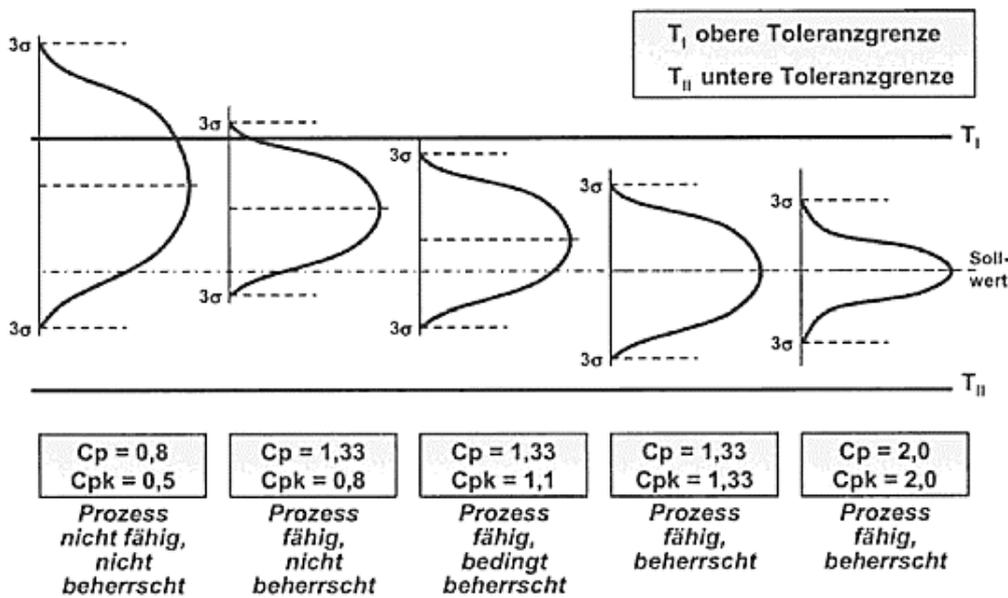
$$c_m = \frac{T}{6s} = \frac{OSG - USG}{6s} \quad \left[ \frac{\text{Toleranzbreite}}{\text{Maschinenstreuung}} \right] \quad \begin{array}{l} \text{OSG} = \text{Obere Spezifikationsgrenze} \\ \text{USG} = \text{Untere Spezifikationsgrenze} \end{array}$$

b) Der Cmk-Index zeigt, ob die Maschine beherrschbar ist und gibt die Prozesslage (in Bezug auf den Mittelwert) an.

$$c_{mk} = \frac{Z_{krit}}{3s} = \text{Min} \left( \frac{\bar{x} - USG}{3s}, \frac{OSG - \bar{x}}{3s} \right) \quad \left[ \frac{\text{kleinster Abstand von } \bar{x} \text{ zur Toleranzgrenze}}{\text{halbe Maschinenstreuung}} \right]$$

Der Cm-Index sollte mindestens 1,67 und der Cmk-Index mindestens 1,33 betragen (optimal wäre Cm = Cmk). Ist solches der Fall, so ist die Maschine fähig und beherrschbar.

2) Mit der **Prozessfähigkeitsuntersuchung** wird der Fertigungsprozess über einen längeren Zeitraum bewertet; dazu werden in festgelegten Intervallen Stichproben erhoben (empfehlenswert sind min. 25 Stichproben mit je 5 Messungen; daraus resultieren 125 Messwerte).



Prozessfähigkeit <sup>33</sup>

Die *Prozessfähigkeit* wird mit zwei Kennzahlen bewertet, die als Cp-Index (Process capability) und Cpk-Index (Critical process capability) bezeichnet werden.

a) Der Cp-Index ermöglicht eine Aussage darüber, ob der Prozess fähig resp. die Fertigungsstreuung klein genug ist. Der Prozess gilt als fähig, wenn sich die Teile innerhalb der geforderten Spezifikation befinden.

$$c_p = \frac{T}{6s} = \frac{OSG - USG}{6s} \quad \left[ \frac{\text{Toleranzbreite}}{\text{Prozeßsteuerung}} \right] \quad \begin{matrix} OSG = \text{Obere Spezifikationsgrenze} \\ USG = \text{Untere Spezifikationsgrenze} \end{matrix}$$

b) Der Cpk-Index (Kritical process capability) berücksichtigt die Lage der Verteilung resp. ob der Prozess beherrschbar ist; hierzu wird zunächst der kritische Abstand  $\Delta_{krit}$  zwischen Prozesslage und Toleranzgrenze berechnet.

$$c_{pk} = \frac{Z_{krit}}{3s} = \text{Min} \left( \frac{\bar{x} - USG}{3s}, \frac{OSG - \bar{x}}{3s} \right) \quad \left[ \frac{\text{kleinster Abstand von } \bar{x} \text{ zur Toleranzgrenze}}{\text{halbe Prozeßstreuung}} \right]$$

<sup>33</sup> Armin Töpfer: Six Sigma (Springer).

Der Cp-Index sollte min. 1,67 und der Cpk-Index min. 1,33 betragen (optimal wäre  $C_p \equiv C_{pk}$ ). Ist dies der Fall, so ist der Prozess fähig und beherrschbar. Mittlerweile wird vielfach ein Cp-Index von 2,00 kombiniert mit einem Cpk-Wert von 1,67 als wünschenswertes Ziel angestrebt.

### - Flexible Fertigung und TPM -

In der modernen Industriegesellschaft, insbesondere in der Automobilindustrie und deren Zulieferern, gehören eng kalkulierte Lieferzeiten ebenso zu den Bestandteilen eines Werkvertrages wie die Rückverfolgbarkeit der zu fertigenden Teile. Solches verlangt nach flexibler Fertigung mit permanenter Qualitätssicherung.

1) In der **Flexiblen Fertigung** kommt dem Qualitätsmanagement im Hinblick auf systematische Planung und Steuerung von Abläufen eine unverzichtbare Rolle zu. Flexible Fertigung bedeutet, bei unterschiedlichen Losgrößen nur soviel zu produzieren, wie vom Kunden verlangt wird. Der Betrieb produziert nicht mehr auf Halde wie in alten Zeiten, sondern Just-in-time. Kleinere Lagerbestände und kürzere Durchlaufzeiten sind das Ziel. Das bedingt ein dynamisches *Supply-Chain-Management* (SCM), das durch ein ERP-System mit internen Bereichen wie Einkauf, Produktionsplanung, Logistik, Fertigung, Verkauf etc. vernetzt ist.<sup>34</sup>

Folgende Vorgaben galt es zu erfüllen:

- ▶ Die Umstellung der Produktionsanlagen soll weitgehend autonom ohne menschliche Eingriffe erfolgen.
- ▶ Die Fertigungslinien sollten durch ein MES-System überwacht werden, um die Verfügbarkeit relevanter Anlagen und Maschinen im Auge zu behalten.<sup>35</sup>
- ▶ Smart-Monitoring ergänzt die Zustandsüberwachung einzelner Anlagen und Maschinen. Intelligente Sensoren melden kritische Zustände ans MES, so dass bereits vor einem Ausfall von Betriebsmitteln gehandelt werden kann.
- ▶ SPS-Systeme sind miteinander durch Industrial-Ethernet vernetzt und ermöglichen dem Steuerungstechniker den zentralen Zugriff auf einzelne Automatisierungsgeräte.
- ▶ Flexible Bearbeitungszentren ersetzen die früheren Einzelmaschinen. Autonome Transportsysteme transportieren Teile von und zu den Maschinen.

Die obigen Kriterien bedingen einen hohen Automatisierungsgrad mit entsprechenden Investitionen. In Zukunft wird auch der künstlichen Intelligenz vermehrte Beachtung zuteil werden.

---

<sup>34</sup> ERP = Enterprise Resource Planning. → Eine der Kernfunktionen von ERP in Produktionsbetrieben ist die bedarfsgerechte Materialplanung, mit welcher sichergestellt werden kann, dass sämtliche für die Herstellung der Erzeugnisse erforderlichen Werkstoffe und Materialien zur richtigen Zeit in der benötigten Menge am richtigen Ort verfügbar sind.

<sup>35</sup> MES = Manufacturing Execution System. → MES zeichnet sich gegenüber übergeordneten ERP-Systemen durch die direkte Anbindung an Fertigungslinien aus und ermöglicht damit die Führung, Lenkung und Steuerung der Produktion in Echtzeit. Zu MES gehören auch konventionelle Datenerfassungen wie die Betriebsdatenerfassung (BDE) und Maschinendatenerfassung (MDE).

*Smart Factory Automation* bedeutete für die involvierten Instandhalter permanente Fortbildung, um mit der unablässig voranschreitenden Entwicklung Schritt halten zu können.



**Flexible Fertigung**<sup>36</sup>

Eingebunden ins SCM war folglich auch die Instandhaltung, die eine effiziente Ersatzteilehaltung benötigte, um im Störfall schnell reagieren zu können. Ferner sollte nach Messiers Dafürhalten die früher befolgte Abgrenzung zwischen Elektrik und Mechanik durch bereichsübergreifende Kompetenzen überwunden werden. Sämtliche Betriebsmechaniker wurden dazu angehalten, auf Kosten des Unternehmens die "Anschlussbewilligung" nach NIV 15 erwerben.<sup>37</sup> Damit waren sie berechtigt, elektrische Betriebsmittel wie Steckvorrichtungen anzuschliessen oder zum Beispiel einen schadhafte Elektromotor zu ersetzen. Umgekehrt wurden die Betriebselektroniker dazu aufgefordert, bei einem qualifizierten Anbieter Module über Fertigungstechnik und Robotik zu besuchen.

2) Einige Betriebe haben das aus Japan stammende *Total Productive Maintenance* (TPM) eingeführt.<sup>38</sup> Per definitionem bezeichnet TPM die durchgängige, fortwährende und alle Bereiche einer Organisation aufzeichnende, sichtende, organisierende und kontrollierende Tätigkeit, die dazu dient, Qualität als Systemziel einzuführen und dauerhaft zu garantieren. TPM benötigt die volle Unterstützung aller Mitarbeiter, um zum gemeinsamen Erfolg beizutragen. Als äusserst anregende Lektüre für den interessierten Praktiker (als welchen sich auch Cramer

---

<sup>36</sup> Bildquelle: <https://www.mmkorea.net/news/>

<sup>37</sup> NIV =Niederspannungs-Installationsverordnung.

Nur vom Eidgenössischen Starkstrominspektorat (ESTI) anerkannte Berufe aus dem nichtelektrischen Bereich wie z.B. Liftmonteure oder Motorgerätemechaniker sind zum Erwerb einer Anschlussbewilligung berechtigt. Im Zweifelsfalle entscheidet das ESTI.

<sup>38</sup> Ab und zu wird auch der Begriff *Total Quality Management* (TQM) verwendet.

betrachtete) erwies sich das in Romanform verfasste Buch "Das Ziel", in dem die Prozessoptimierung eines US-amerikanischen Produktionsunternehmens anhand realistischer Beispiele veranschaulicht wird.<sup>39</sup>

TPM orientiert sich an den folgenden Prinzipien:

- Qualität orientiert sich am Kunden.
- Qualität wird mit Mitarbeitern aller Bereiche und Ebenen erzielt.
- Qualität umfasst mehrere Dimensionen, die durch passende Kriterien operationalisiert werden müssen.
- Qualität ist kein Ziel, sondern ein Prozess, der nie zu Ende geht.
- Qualität bezieht sich nicht nur auf Produkte, sondern auch auf Dienstleistungen.
- Qualität setzt aktives Handeln voraus und muss erarbeitet werden.

Dabei wird dem *kontinuierlichen Verbesserungsprozess* (KVP), in den sämtliche Mitarbeiter eingebunden sind, ein besonderes Gewicht beigemessen. Zur Anwendung kommt u.a. der *Deming-Kreis* (auch als PDCA-Zyklus bekannt), eine vom amerikanischen Physiker William Edwards Deming entworfene Methode zur Effizienzsteigerung in Produktionsbetrieben, die auf Entwürfen des Physikers und Ingenieurs Walter Andrew Shewhart beruht.

Mit der Implementierung von TPM soll bspw. – um ein simples Beispiel anzuführen – ein Maschinenbediener nicht nur in die Teilefertigung, sondern ins gesamte Qualitätsbewusstsein eines Unternehmens miteinbezogen werden. So soll der Bediener ausser seiner produktiven Tätigkeit auch Nebenaufgaben übernehmen, um z.B. in festgelegten Abständen den Zustand der Luftfilter oder des Kühlschmiermittels an seiner Maschine zu beurteilen, so dass bei einem Austauschbedarf unverzüglich die erforderlichen Abwehrmassnahmen eingeleitet werden können. Mit derartigen Zusatzverrichtungen lässt sich bereits ein Teil unliebsamer Produktionsunterbrüche wirksam vermeiden. Zudem wird die Instandhaltung von zeitraubenden Nebenaufgaben entlastet, um sich vermehrt ihren Kernaufgaben zu widmen.

#### - Epilog -

Beruflich entwickelte sich Messier über die Jahre hinweg vom Betriebselektriker in einen Betriebselektroniker. Ob in einer Giesserei, einem Zementwerk, einer Papierfabrik oder in der Maschinenindustrie tätig, spielte keine Rolle. Überall waren inzwischen Speicherprogrammierbare Steuerungen anzutreffen. Mitte der 1980er Jahren tauchten in Produktion und Fertigung zudem die ersten Industrieroboter auf. Kontinuierliche Weiterbildung wurde folglich auch für Elektrofachkräfte unumgänglich. Wer sich diesem Trend verweigerte, gehörte eines Tages zu den Zurückgebliebenen.

Gefragt in der Elektroinstandhaltung von Fertigungsanlagen waren ausser der klassischen Installationserfahrung fundierte Kenntnisse in Regelungs-, SPS- und Antriebstechnik. Hinzu

---

<sup>39</sup> Eliyahu M. Goldratt: Das Ziel (Campus).

kamen Grundkenntnisse aus der Fluidik (Pneumatik, Hydraulik). Die Weiterbildung Messiers zum Mechatronik-Techniker war deshalb sinnvoll gewesen. Zudem verschaffte ihm diese Fortbildung den Aufstieg ins mittlere Kader.

Messiers berufliche Laufbahn zeigt deutlich, dass im Arbeitsleben nicht nur Akademiker gefragt sind. Erfolgreiche Absolventen einer Berufslehre besitzen heutzutage zahlreiche Möglichkeiten, um sich weiterzuentwickeln. Zu den Aufstiegsfortbildungen im tertiären Bereich zählen Berufsprüfungen mit eidg. Fachausweis und höhere Fachprüfungen mit eidg. Diplom, aber auch Diplome von Höheren Fachschulen (HF). Selbst der Besuch einer Fachhochschule (FH) ist denkbar. Für Letztere wird in der Regel ein Berufsmaturitätszeugnis vorausgesetzt, das während der Lehrzeit oder auch später erworben werden kann.

Leistungswilligen Personen steht sogar der Weg an eine Universität oder an die ETH offen. Dazu muss vorgängig eine Passerelle durchlaufen werden. Wer bspw. an einer Fachhochschule einen Bachelor als Elektroingenieur erworben hat, kann von dieser Möglichkeit Gebrauch machen, um anschliessend Physik an der ETH zu studieren. Wenn die betreffende Person danach noch genügend Energie besitzt, könnte sie sogar doktorieren (vom Lehrling zum Ph.D.)! Das ermöglicht die heutige Durchlässigkeit der Bildungssysteme, die auch als "volle Permeabilität" bekannt ist.