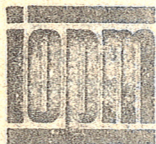


WSPÓLPRACA NAUKOWO-TECHNICZNA PRZEDSIĘBIORSTW I JEDNOSTEK
NAUKOWO-BADAWCZYCH PRZEMYSŁU POLSKI I NRD



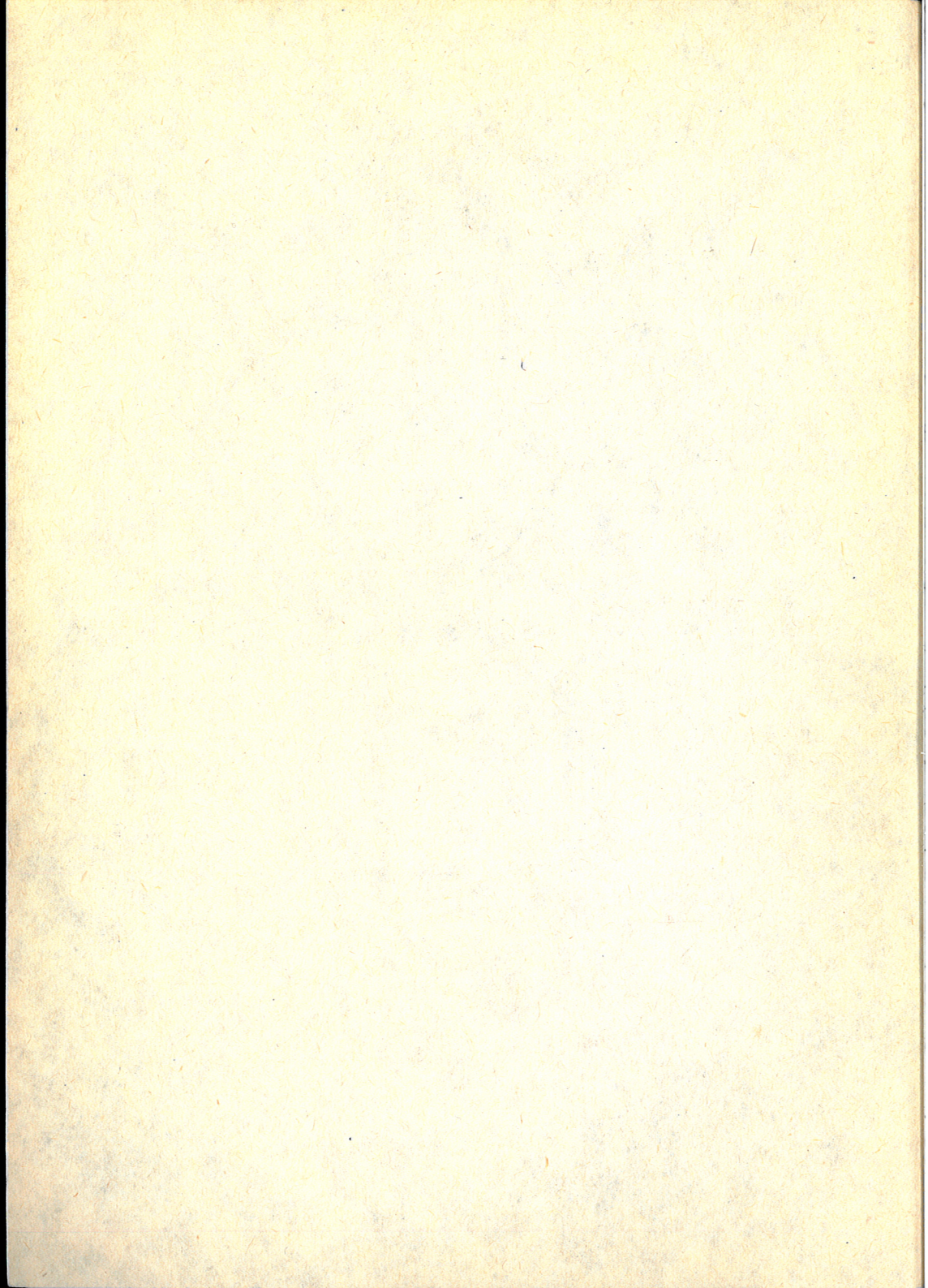
KONFERENCJA NAUKOWA

„RYDZYNA '86”

WISSENSCHAFTLICHE KONFERENZ



DIE WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT DER BETRIEBE
UND FORSCHUNGSENTWICKLUNGSEINRICHTUNGEN DER POLNISCHEN- UND
DER DDR- INDUSTRIE



Włodzimierz Adamski

RECHNERGESTÜTZTES ENTWERFEN UND HERSTELLUNG VON FLUGZEUGEN
IN WSK PZL MIELEC

1. Problemcharakteristik und Wirkungsbereiche

Das Problem umfaßt den ganzen Prozeß des Flugzeugentwerfens im ganzen Zyklus von der Konzeption bis zur Herstellung einer Prototypserie. Dieses Problem ist sehr spezifisch und hängt von der Art des Entwurfsprozesses, der auf vielen Rechen- und Konstruktionsoperationen und auf vielen gegenseitigen Verbindungen und Rückkopplungen besteht, ab, besonders falls der Gegenstand des Entwurfsprozesses ein Flugzeug ist.

Zu den anderen wesentlichen Merkmalen des Entwurfsprozesses gehören:

- langer Realisierungszyklus,
- große Realisierungskosten,
- Notwendigkeit der Variantenbearbeitung,
- Notwendigkeit der Optimierung von Zwischen- und Endlösungen.

Die oben genannten Merkmale haben alle wichtigen Flugzeugprojektierungs- und -produktionszentren gezwungen, intensive Hilfsmethoden im Projektierungsprozeß in Form von Projektierungsrechnersystemen mit der Ausnutzung von erweiterter, numerischer und graphischer Technik zu verwenden. Manche Methoden, die die Projektierungsoperationen automatisieren, werden schon in unserer Fliegerindustrie verwendet, sie bilden aber kein vollständig integriertes Projektierungssystem.

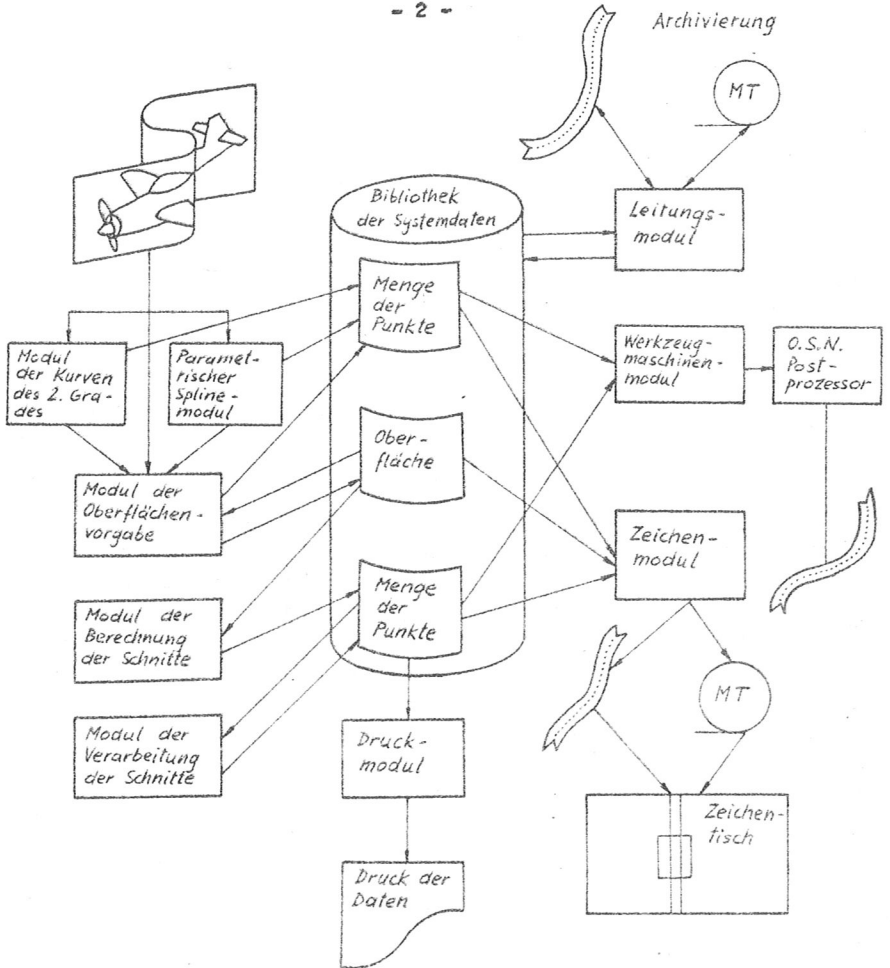


Abb. 1 Aufbau eines modifizierten Systems der Abbildung einer Ebene mit doppelter Krümmung N.M.G.

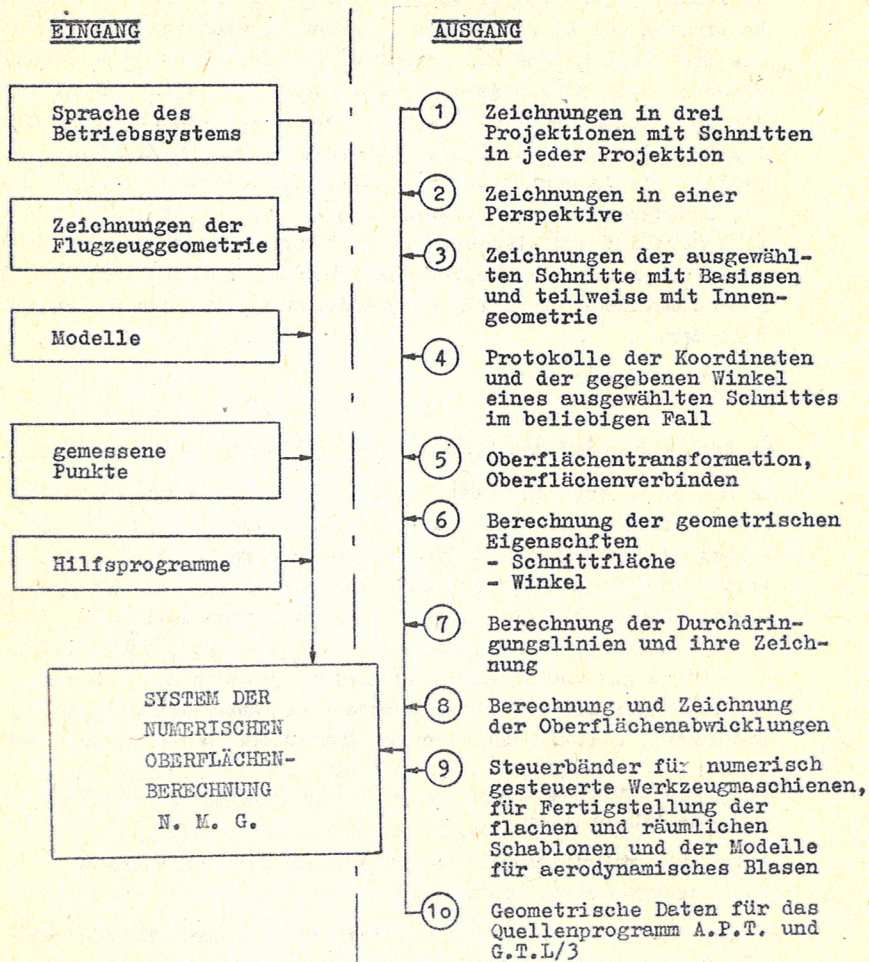


Abb. 2 Erweitertes System der numerischen Geometrieabbildung N.M.G.

Im rechnergestützten Projektierungsprozeß ist die eindeutige Bestimmung der Konstruktionsaufzeichnung wichtig. Das betrifft die Beschreibung der Außenstruktur des Produktes, d.h. Außen-geometrie des Flugzeuges, die Form der Kraftwagenkarosserie oder die Form des Seeschiffes. Dieses Problem wird durch ein System der Definierung einer Ebene mit einer doppelten Krümmung gelöst. Die Innenstruktur wird durch Systeme beschrieben, die die Innengeometrie definieren. Die Innenstruktur stützt sich allgemein auf die Elemente, die bekannt und mathematisch beschrieben sind. Rechnerbeschreibung der Konstruktion stellt eine gemeinsame Basis für alle anderen Systeme und Untersysteme dar.

2. Ausnutzung des CAD & CAM-Systems im Betrieb

In OBR SK Mielec wurde eine erweiterte Version eines Systems der numerischen Abbildung der Geometrie NMG /Numerical Master Geometry/ ausgearbeitet. Dieses System wird seit 1977 genutzt. Im Hinblick auf optimale Ausnutzung des Rechneroperationsspeichers hat das System einen modularen Aufbau. Es besteht aus acht Modulen, die Projektierung der Außengeometrie des Flugzeuges und Innenbasisgeometrie /Ebenen der Sehnen, Fußboden, Träger, Stringer, Spänne, Drehachse der Klappen, Querruder, u.s.w./ ermöglichen. Zum Aufbau des Systems s. Abb. 1.

Der ganze Projektierungs- und Fertigungsprozeß erfordert folgende Tätigkeiten:

- Prüfen der Richtigkeit der Daten, die die Zeichnungen der Flugzeuggeometrie enthalten;
- Berechnung und Zeichnung der Formen, die durch Kurven des 2. Grades beschrieben werden, d.h. die Kurven werden mit Hilfe der Diskriminante "f" gegeben; Modul der Kurven des 2. Grades;

- Verflüssung und Prüfen der Kurven, die auf diskrete Weise gegeben werden; parametrischer Spline-Modul;
- Definieren der Oberfläche und ihre Modifikationen; Modul der Oberflächenangabe;
- Prüfung der Oberfläche; Modul der Berechnung der Schnitte;
- Berechnung von Koordinaten der Punkte, Tangenten, Normalen u.s.w.; Modul der Verarbeitung der Schnitte;
- Zeichnung der Oberflächen (in Projektionen, in Perspektive), der gegebenen Schnitte, Kurven; Zeichen-Modul;
- Drucken aller Berechnungsergebnisse und Protokollieren der Arbeit des Systems; Druck-Modul;
- Steuerung und Leitung der Datenbibliothek, Archivieren; Leitungs-Modul;
- Berechnung des Werkzeugweges auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen für flache und räumliche Schablonen; Werkzeugmaschinen-Modul.

Volle Möglichkeiten des Systems wurden in der Abb. 2 dargestellt. In diesem System wurde die numerische Geometrie von solchen Flugzeugen wie: AN-28, W-300, M-26 und einige Baugruppen für IL-86, IL-96, M-18, M-20 entworfen.

Auf Grund dieser Geometrie wurde mit dem Rechner SM-4 KONGSBERG mit einem Plotter (mit Abmess. 1.6 m x 6 m) im Maßstab 1:1 volle Konstruktionszeichnung unter Benutzung einer speziellen stabilen Folie fertiggestellt (Abb. 3). Für Produktionszwecke, d.h. Erzeugung von Werkstatt-Hilfsmitteln, wird die Folie auf eine Fotokopiermaschine projiziert und die darauf enthaltene Information auf einer Duraluminplatte mit Abmessungen 1 m x 2 m gespeichert. So entsteht eine "Hartkopie".

Im Jahre 1981 wurde in OBR-SK ein Verfahren für Fertigstellung eines Stahlmodells für aerodynamische Untersuchungen mit Hilfe

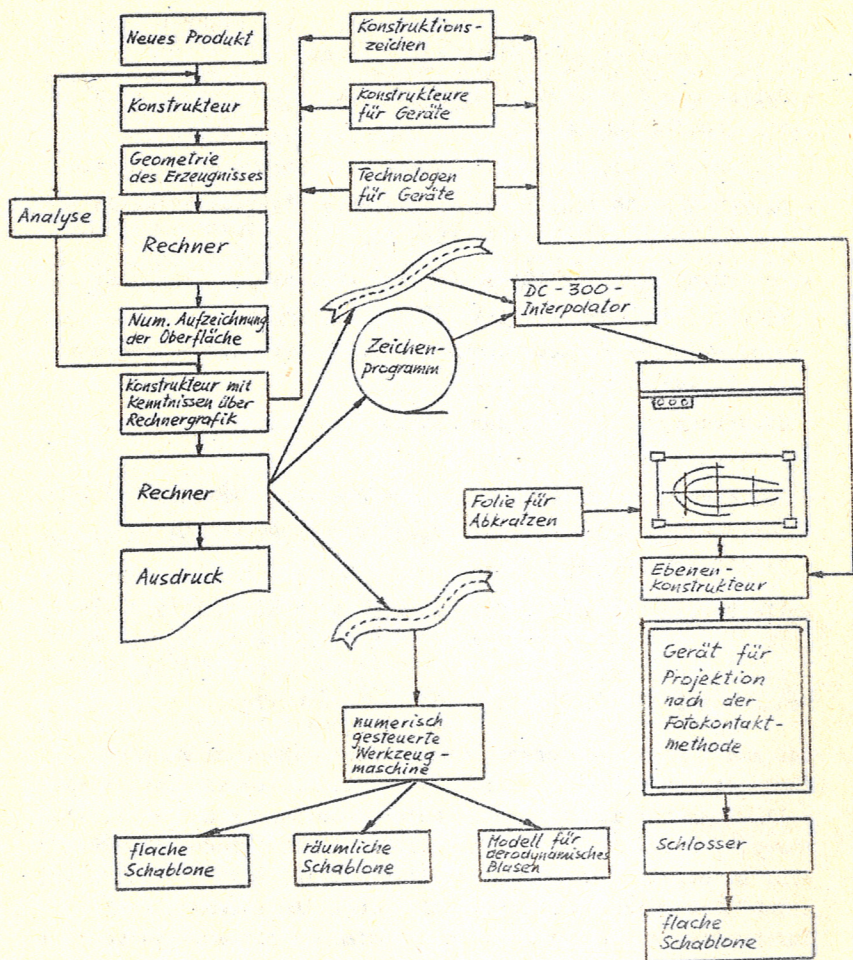


Abb. 3 Rechnergestützte Bearbeitung der Geometrie des Erzeugnisses mit einer Konstruktionszeichnung der Modelle und Fertigstellung von Schablonen

eines Rechners und einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine bearbeitet und eingesetzt. Der Grund für die Berechnung des Weges des Werkzeuges war eine numerisch vorgeplante Form des Flugzeuges. Nach der Datenverarbeitung durch einen Postprozessor "liefert" der Rechner ein Papierband mit dem Bearbeitungsprogramm für OSN (Abb. 4).

Analogisch werden die räumlichen Schablonen fertiggestellt (Abb. 5).

NMG-System liefert alle notwendigen Daten für Fertigstellung von:

- technischen Berechnungen
- Konstruktionsanalyse
- flachen Schablonen auf OSN
- räumlichen Schablonen auf OSN
- Elementen des Montagegerätes auf OSN
- integralen Details des Flugzeuges auf OSN
- Modellen für aerodynamisches Blasen
- speziellen Werkzeugen.

NMG-System hat sich als sehr nützlich bei Projektierung von speziellen Werkzeugen für Fertigstellung von Schraubenrotoren für Luftkompressorumpen gezeigt. Das Profil beider Rotore wurde mittels einer Menge mathematischer Funktionen wiedergegeben. Das Profil des Rotors wurde mit Hilfe von Coons-Flocken definiert. Dann wurde die räumliche Linie der Zerspannung bestimmt und die Form des Werkzeuges, das vollständig in Folge der Verarbeitung an der Wälzfräsmaschine die Gewinnung der vorausgesetzten Profile garantiert hat, berechnet und gezeichnet.

Abb. 6 stellt die mit Coons-Verfahren gegebenen Oberflächen des Flugzeuges. Deutlich sind verschiedene Formen der einzelnen Flocken zu erkennen.

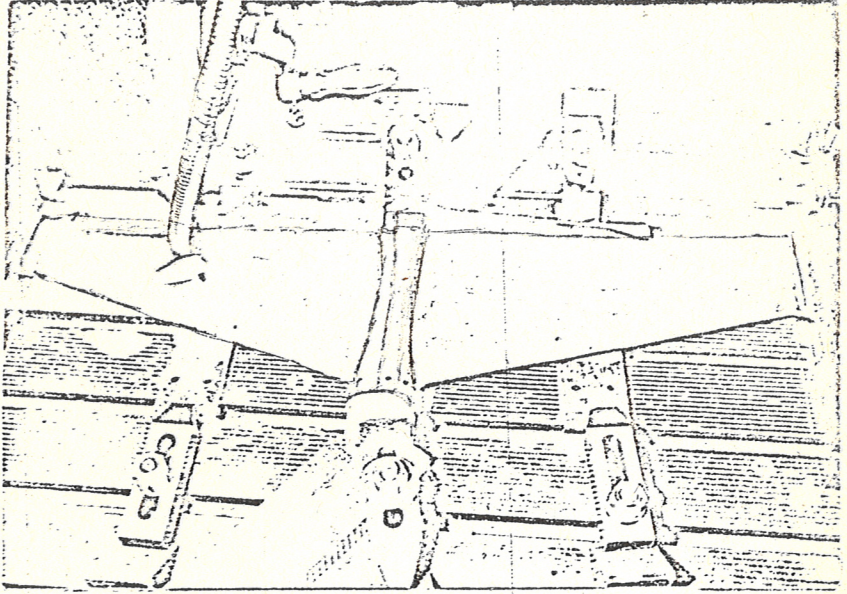


Abb. 4 Aerodynamisches Modell des Flugzeuges während der
O.S.N.-Bearbeitung

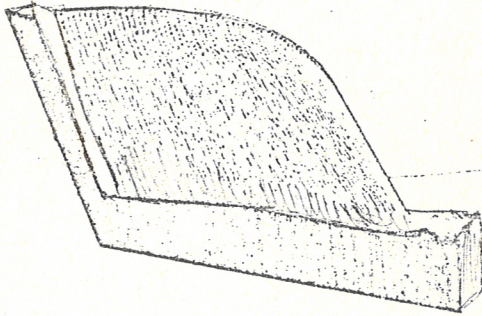


Abb. 5 Räumliche Schablone nach der O.S.N.-Bearbeitung

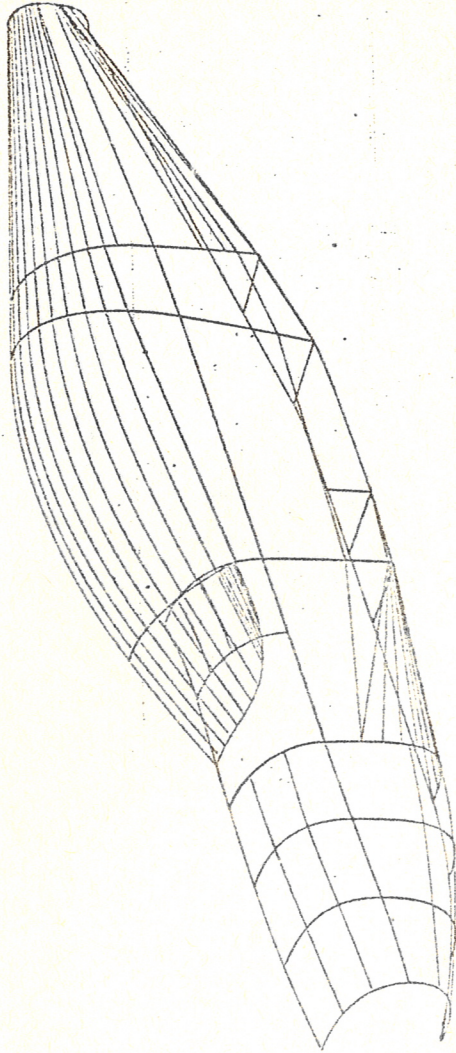


Abb. 6 Ansicht der Oberfläche des Flugzeuges, die mit der Coons-Verfahren
angegeben wurde

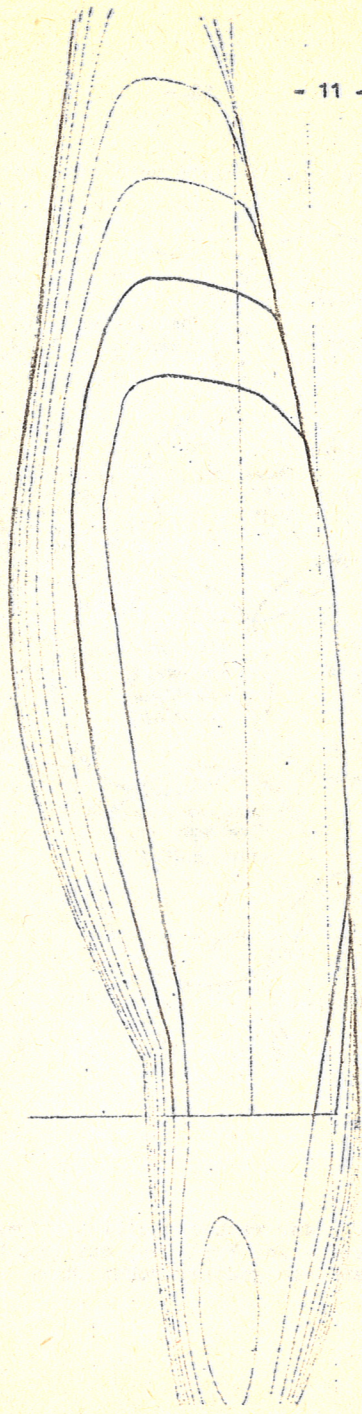


Abb. 7 Schreinerachmitte des Flugzeuges

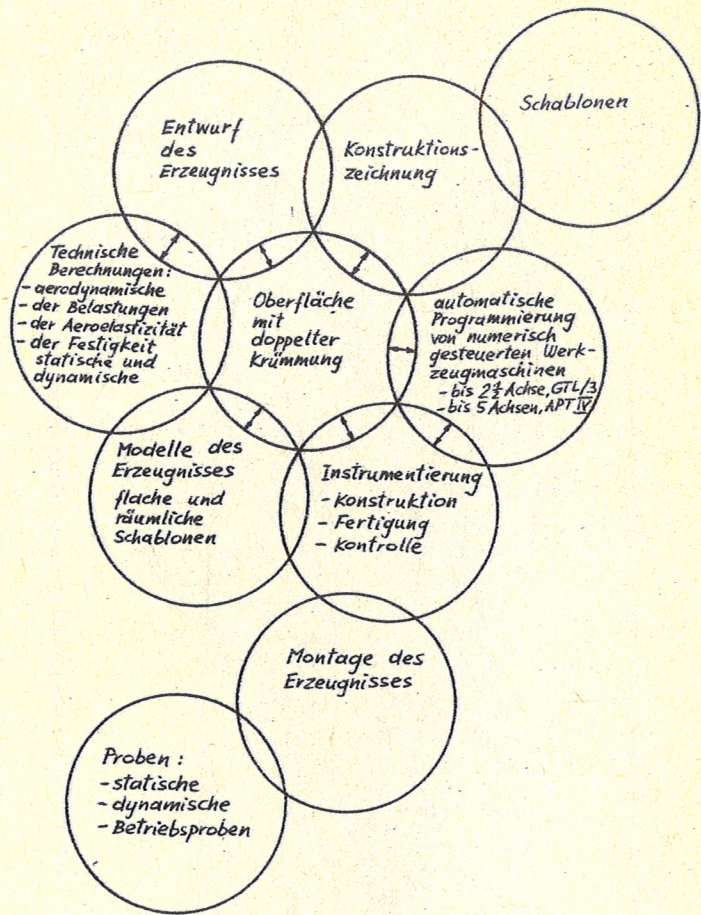


Abb. 8 Integration der rechnergestützten Prozesse der Projektierung und Fertigung auf Grund einer gemeinsamen Basis von geometrischen Daten

Die mathematische Gleichung einer Flocke sieht folgendermaßen aus:

$$P(u,v) = \begin{vmatrix} 1 & u & u^2 & u^3 \\ c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ v \\ v^2 \\ v^3 \end{vmatrix}$$

wobei:

$$u = (u - u_i) / (u_{i+1} - u_i)$$

$$v = (v - v_i) / (v_{i+1} - v_i)$$

Jedes Element des Tensors $|c|$ wird auf Grund des Wertes der Vektore P , $\frac{\partial P}{\partial u}$, $\frac{\partial P}{\partial v}$, $\frac{\partial^2 P}{\partial u \partial v}$ in jeder Ecke der elementaren Flocke nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$|c| = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \Delta u & 0 & 0 \\ -3 & -2\Delta u & 3 & -\Delta u \\ 2 & \Delta u & -2 & \Delta u \end{vmatrix} \begin{vmatrix} P_{i,j} & P_{i,j}^v & P_{i,j+1} & P_{i,j+1}^v \\ P_{i,j}^u & P_{i,j}^{uv} & P_{i,j+1}^u & P_{i,j+1}^{uv} \\ P_{i+1,j} & P_{i+1,j}^v & P_{i+1,j+1} & P_{i+1,j+1}^v \\ P_{i+1,j}^u & P_{i+1,j}^{uv} & P_{i+1,j+1}^u & P_{i+1,j+1}^{uv} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & -3 & 2 \\ 0 & \Delta v & -2\Delta v & \Delta v \\ 0 & 0 & 3 & -2 \\ 0 & 0 & -\Delta v & \Delta v \end{vmatrix}$$

wobei:

$$\Delta u = u_{i+1} - u_i$$

$$\Delta v = v_{j+1} - v_j$$

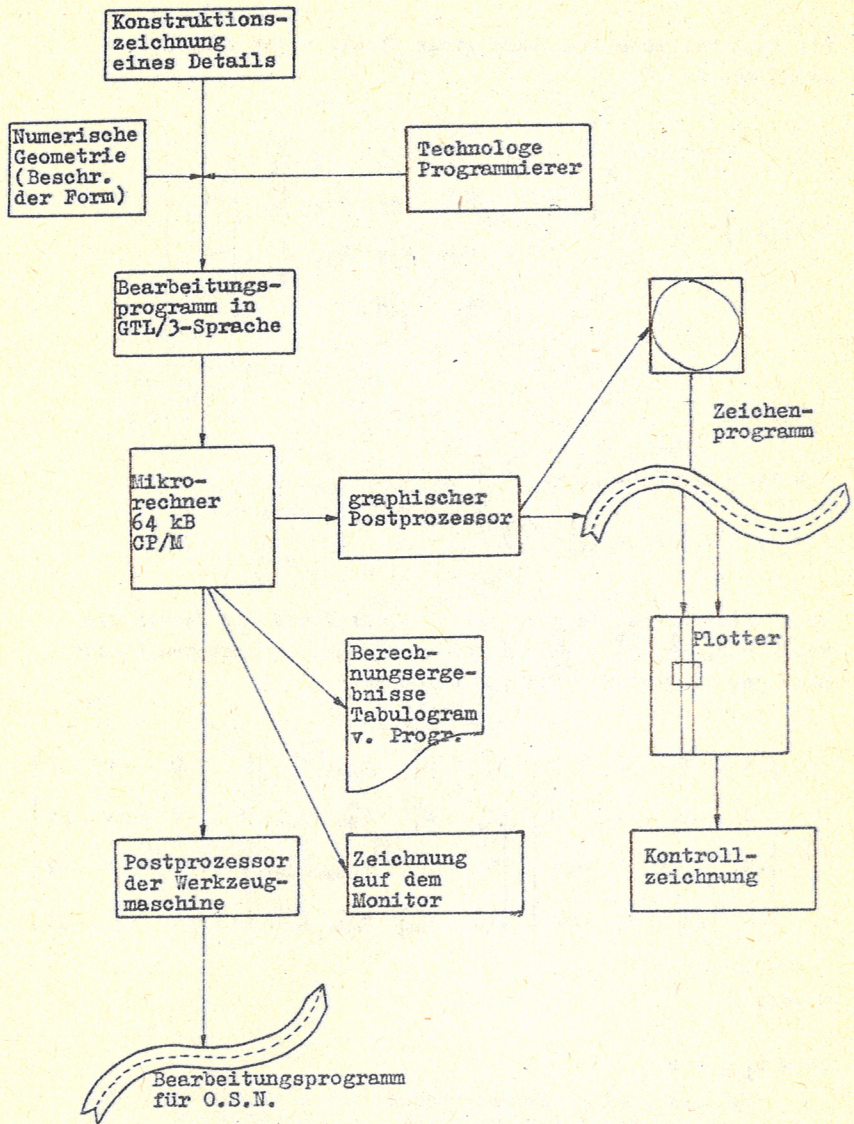


Abb. 9 Allgemeines Schema der Fertigstellung der Teile mit Hilfe eines Mikrorechners in GTL/3-Sprache (automatische Programmierung von numerisch gesteuerten SN-Werkzeugmaschinen bis zur 2½ Achsen

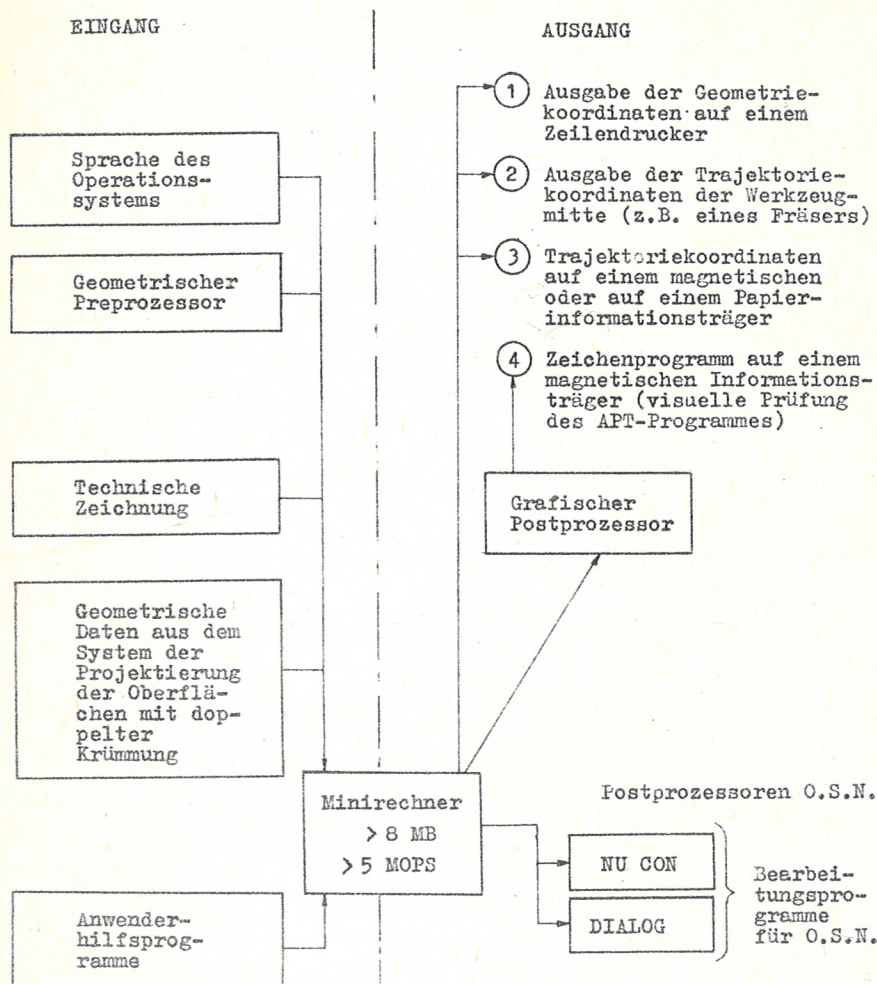


Abb. 10 Allgemeines Schema und Möglichkeiten des Systems der automatischen Programmierung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen bis zu 5 APT-Achsen

Die Oberfläche wird in Form der Gleichungskoeffizienten gespeichert. Für den Konstrukteur, Technologen steht sie unter einem konkreten NAMEN zur Verfügung.

Der mit einem Rechner gemachte Schreinerplan der Oberfläche aus Abb. 6 wird in Abb. 7 dargestellt.

NMG-System stellt den wichtigsten Bereich der Ausnutzung der CAD-Technik im WSK "PZL-Mielec" dar.

Wesentlich im Prozeß der Projektierung sind auch die technischen Berechnungen (Abb. 8). Sie werden in folgenden wesentlichen thematischen Gruppen durchgeführt:

- Aerodynamik und Bewegungsmechanik (Flugmechanik)
- Belastung
- Aeroelastizität
- Festigkeit
- Lebensdauer und Zuverlässigkeit.

Diese Berechnungen haben einen Einfluß auf die Außen- und Innenstruktur, die geändert und modifiziert werden können. Berechnungsergebnisse werden in graphischer Form auf einem Monitor oder Plotter ausgegeben. Sie stellen Schwingungsamplituden der Flugzeugkonstruktion, Verlagerungen seiner Konstruktion, Belastungsverteilung im ausgewählten Konstruktionsteil (Flugzeugflügel) usw.

Rechnergestützte Fertigung basiert auf zwei Systemen: APT IV (das ist ein System für automatische Programmierung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen bis zu 5 Achsen), SPO, das kompatibel mit dem GTL/3-System ist (das ist ein System für automatische Programmierung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen bis zu $2\frac{1}{2}$ Achsen), Abb. 9.

APT-System arbeitet auf einer Rechenanlage R-32, GTL/3-System auf einem 8-Bit-Mikrorechner, PAO 64 kB und das Betriebssystem CP/M 2.2 (IMP-85, MK-45, PSPD-90).

Man kann es auf beliebigen Mikrorechner, die oben genannte Bedingungen erfüllen, implementieren. APT-System wird in allen größeren Flugzeugbetrieben der Welt allgemein verwendet (Abb. 10).

Beide Systeme werden in "PZL-Mielec" seit über 10 Jahren verwendet.

Rekapitulierend können wir sagen, daß sich der rechnergestützte Prozeß der Projektierung und Fertigung in folgende Etappen aufteilen läßt:

- Studie und Angebotsentwurf
- Vorentwurf
- technischer Entwurf
- Werkstattsrealisierung (Technologie und Fertigstellung einer Prototypserie)
- Betriebsproben und Experimente.

Zur Realisierung dieses Prozesses mit Ausnutzung der numerischen und grafischen Technik sind folgende technische Bedingungen notwendig:

- Schaffung einer entsprechenden Rechnerbasis,
- Ausrüstung der Projektierungseinheiten mit Geräten, die die Projektierungshilfsprozesse, z.B. Dokumentationswirtschaft, rationalisieren,
- weitere Vervollkommnung und Einsatz des rechnergestützten Projektierungssystems;

organisatorische Bedingungen:

- Anpassung der organisatorischen Struktur der Konstruktions- und technologischen Büros an die Struktur des Projektierungssystems,
- Vorbereitung von Projektierungsgruppen zur Arbeit im Rahmen des Systems.

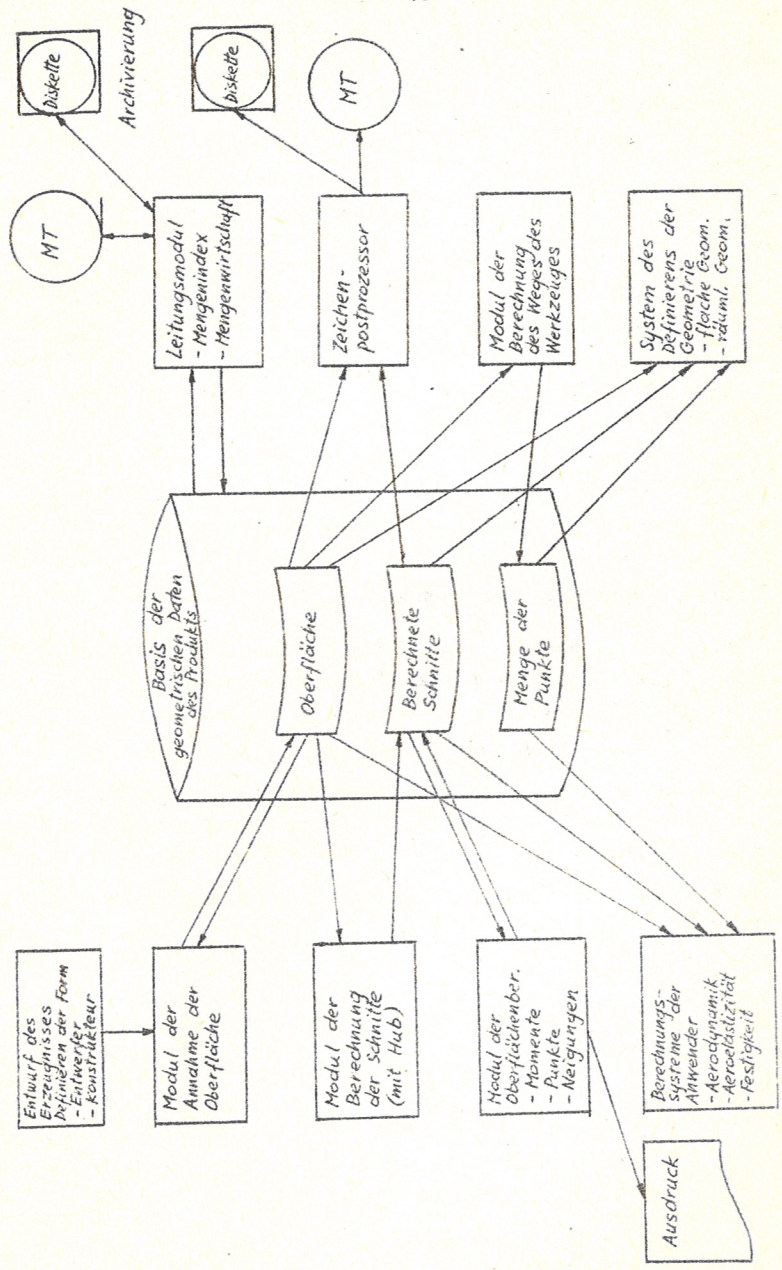


Abb. 11 System der Projektierung der Oberflächen mit doppelter Krümmung

3. Richtungen einer weiteren Entwicklung auf dem Gebiet der Anwendung von CAD/CAM-Systemen

Anwendersoftware des rechnergestützten Projektierungssystems CAD kann auf verschiedene Art und Weise aufgebaut werden. Wenn wir die Geschichte der Projektierungs- und Produktionssysteme analysieren, können wir bemerken, daß nur 5% des Softwares einen persönlichen Beitrag der Autoren des Systems entsprechender Generation bildet. Über 80% des Softwares ist eine Kopie der Vorgeneration und 10% ist eine leicht modifizierte Bearbeitung. Also trotz der schnellen Entwicklung der Rechentechnik sind die großen technologischen Schritte im Bereich der Programmierung unmöglich.

Abb. 11 stellt einen Modulkonzept eines Projektierungssystems mit doppelter Krümmung dar. Die Beschreibung der Oberfläche soll auf der Methode basieren, die von Prof. St.A. Coons entwickelt wurde. Der modulare Aufbau des Systems läßt die Ausnutzung der Mini- und Mikrorechner (16-Bit-Prozessor und wenigstens 256 kB Speicher) zu.

Das System sollte folgende Funktionen erfüllen:

- die gegebenen Oberflächen sind durch Vorgabe eines bestimmten Namen zu erreichen;
- Oberflächen können miteinander verbunden, transformiert, geteilt und entwickelt werden;
- Berechnung beliebiger Oberflächenschnitte;
- Berechnung beliebiger Schritte mit einem parallelen und mit der Dicke des Überzuges verbundenen Hub;
- Berechnung der Oberflächenschnitte mit den Werten von Tangenten und Normalen zur gegebenen Oberfläche;
- Berechnung der Durchdringungslinien von zwei Oberflächen und der Durchdringungslinien mit einem parallelen und einem normalen Hub;

- Berechnung von Schnittoberflächen, statischen Momenten, Volumen, Schwerpunkten von ausgewählten Körperteilen;
- Die Basis der geometrischen Daten sollte eine Basis für das APT-System bilden; eine solche Lösung wird gegenwärtig häufig verwendet, wie z.B. WAPO5-SS-System, NASTRAN-System usw.

3.1. Erforderliche Merkmale des Betriebssystems eines Mikrorechners und Standardpakete

1. Standardbetriebssystem:

- Multiprogrammsystem mit variabler Anzahl der Tasks (bis zu 50 "parallelen" Aufgaben);
- Mehrregimesystem (parallele Arbeit der Flüsse der Realtime-, Konversations- und Stapelaufgaben);
- elastisch (Reparatur beliebiger Teile der Konfiguration erfordert keine Bedienungsunterbrechung).

2. Übersetzer und Kompiler:

- Assembler
- Basic
- Fortran IV
- Pascal
- APT.

3. Hilfsprozeduren:

- alphanumerische Editors
- graphische Editors
- Dateiverarbeitung
- Dateischutz.

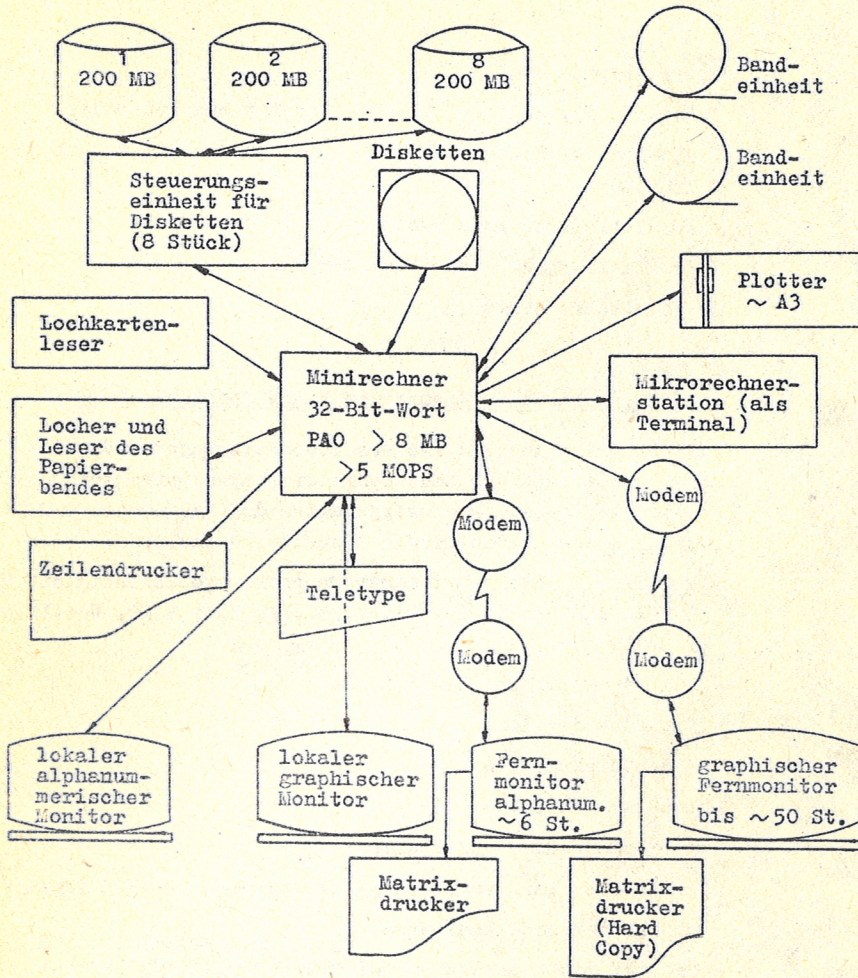


Abb. 12 Mikrorechnersystem für CAD/CAM

4. Programmpakete:

- Methode der finiten Elemente (Statik und Dynamik);
- NMG-Projektierungssystem der Oberflächen mit doppelter Krümmung;
- spezialisierte graphische Prozessoren;
- Symulationssystem der kontinuierlichen Prozesse;
- graphisches System.

4. Erforderliche Konfiguration eines Rechnersystems

Für ein richtiges Betrieb des Projektierungssystems des Erzeugnisses und der Bedienung der Projektierungseinheiten sollte die notwendige Konfiguration des Systems eine Mini-rechneranlage mit folgenden Einheiten enthalten:

- zentrale Einheit mit einer Operationsgeschwindigkeit über 5 MOPS und einem Operationsspeicher über 8 MB, Wortlänge 32 Bit;
- Magnetplattenspeicher 1,6 GB;
- Magnetbandspeicher;
- Floppydiskstation;
- Lochkartenleser;
- Papierbandleser und Stanzer;
- graphische Farbmonitoren mit Auflösungsvermögen 1024 x 1024;
- alphanumerische Monitoren;
- Plotter mit Abmessungen des Tisches (A3, A2, A1, A0) laut Bedürfnis;
- graphische Drucker
- Digitizer mit Abmessungen des Tisches A1;
- Zeilendrucker;
- Modems für Außenterminals;
- Teletypes.

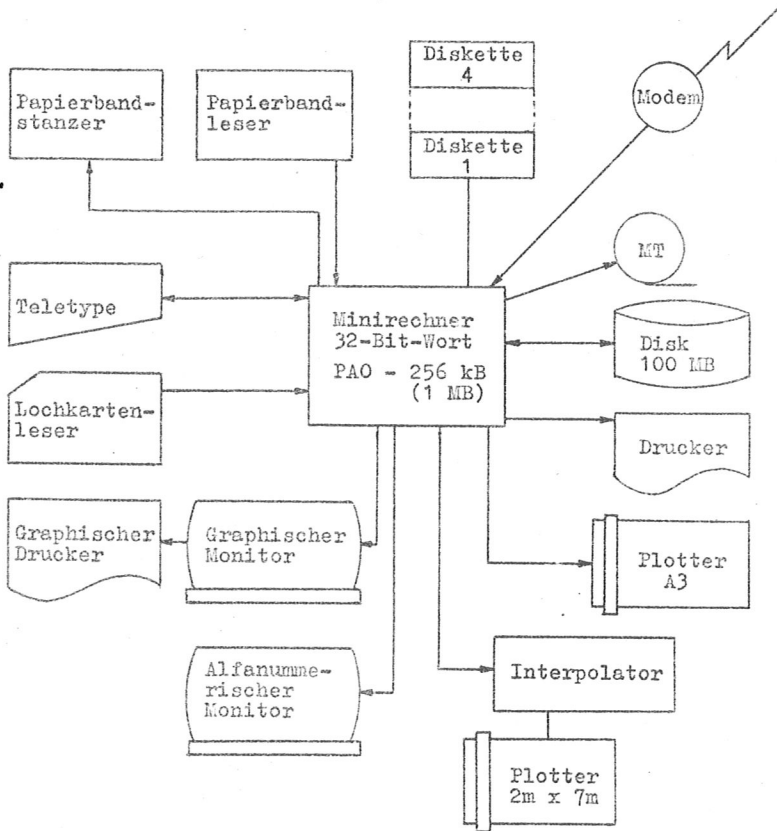


Abb. 13 Konfiguration einer Autozeichnenmaschine, die im CAM-System verwendet wird

In großen Betrieben sind großaufbaumäßige Zeichensysteme (abb. 13) erforderlich. Zum Bestand eines solchen Systems gehören:

- Mini-rechner mit einem Operationsspeicher min. 256 kB, Operationsgeschwindigkeit 250 000 bis 500 000 Op./s, Wortlänge 32 Bit;
- graphischer Monitor;
- alphanumerischer Monitor;
- Zeilendrucker;
- Lochkartenleser;
- Papierbandleser und -stanzer;
- Floppydiskstationen;
- Magnetbandspeicher;
- Magnetplattenspeicher;
- Teletype;
- Plotter mit Abmessungen eines Tisches A3;
- Autozeichentisch 2000 x 7000 mm.

Die oben genannten Rechenanlagen sollen sowohl im Rechnernetz, als auch als unabhängige Anlagen arbeitsfähig sein. Dies sichert eine größere Zuverlässigkeit des gesamten Systems. Im Fall einer Havarie des Hauptrechners können seine Aufgaben durch Zeichenmini-rechner übernommen werden. Es verlängert sich nur die Verarbeitungszeit. Ein Teil der Aufgaben kann parallel auf dem Mikrorechner realisiert werden.

In Abhängigkeit von den Bedürfnissen und Möglichkeiten kann der Anwender eine beliebige als CAD-System arbeitende Rechnerkonfiguration aufbauen und mit den wachsenden Erfahrungen der Projektanten und Konstrukteure kann er sie schrittweise zu einer großen Rechenanlage erweitern.

Die auf numerischem Wege erhaltene Form des Erzeugnisses bildet eine gemeinsame Basis für weitere technische Berechnungen mit der Möglichkeit der graphischen Darstellung der Ergebnisse, wie z.B. Festigkeitsberechnungen mittels der Methode der finiten Elemente (SESAM, ICES-Strudl), graphische Darstellung der Konstruktionsschwingungen, Simulation der Bewegungen des Objektes.

