

Konstruktionstechnische Mittel der Kostensenkung im Segelflugzeugbau

Von Ing. Adam Skarbinski, Bielsko, Szybowcowy Zaklad Doswiadczalny

Vortrag am 7. Kongreß der OSTIV, Juni 1958, Leszno (Polen)

1. Einleitung

Eine der ältesten Ideen der Menschheit ist der Traum des Schwebens in der Luft. Viele Jahrhunderte der Entwicklung der Zivilisation waren notwendig, um durch das menschliche Genie Naturkräfte fesseln zu lernen und im Dienste der Menschheit diesen Traum in die Wirklichkeit überzuführen. Man hat angefangen zu fliegen, zunächst unter Anwendung des Prinzips «leichter als Luft», später auch mit Maschinen schwerer als Luft. Neben den Motorflugzeugen aller Art haben sich Segelflugzeuge gut bewährt, die in ihrem Prinzip der Natur am nächsten geblieben sind.

Wir Techniker des Segelflugzeugbaues sehen uns heute zwei Hauptaufgaben gegenübergestellt: Einmal werden von uns immer bessere Flugleistungen verlangt; zweitens wird mehr und mehr die Wirtschaftlichkeit des Segelflugbetriebes angestrebt – ein entscheidender Faktor für die Entwicklung des Segelflugsportes. Die Praxis zeigt, daß für die Verwendung in größerer Zahl nur billige Segelflugzeugmuster in Frage kommen. Woraus bestehen nun die Fertigungskosten des Segelflugzeuges? Im allgemeinen sind hierfür folgende Komponenten maßgebend: die Entwurfskosten im Konstruktionsbüro sowie die Arbeitsvorbereitungskosten, ferner Rohstoffpreise, Löhne und Eigenkosten des Betriebes.

In der vorliegenden Arbeit seien nur einige der wichtigsten Probleme behandelt, die sich hauptsächlich auf die Höhe der Lohnkosten auswirken. Es handelt sich dabei vornehmlich um Fragen, die schon im Konstruktionsbüro zu entscheiden sind.

2. Industrielle Maßnahmen zur Herabsetzung der Lohnkosten

Das alte Prinzip, daß der Anteil der Löhne bei größeren Stückzahlen wesentlich herabgesetzt werden kann, trifft auch im Segelflugzeugbau zu und wird oft graphisch in Form eines Diagramms der gesamten Fertigungszeit in Abhängigkeit von der Größe der Serie dargestellt. Eine größere Stückzahl gestattet nämlich in vermehrtem Maß, die Handarbeit durch die Maschinenarbeit zu ersetzen. Ferner führt die Tendenz zur Mechanisierung der Arbeit häufig zur Anwendung von Vorrichtungen verschiedener Art, denen wir hier unsere Aufmerksamkeit zuwenden wollen. Bekanntlich gibt es zweierlei Vorrichtungen: solche für die Fertigung der Einzelteile und andere für den Zusammenbau.

Die Menge der Fertigungsvorrichtungen hängt in erster Linie von der Anzahl der an einem Segelflugzeug vorhandenen Bestandteile ab. Je weniger solche vom Konstrukteur vorgesehen sind, desto weniger Fertigungsvorrichtungen werden notwendig sein, und die Fertigung wird dadurch billiger. Ferner ist hier aber die Auswirkung der Bestandteilenformen bzw. ihres mehr oder weniger komplizierten Charakters zu beachten.

Ähnliche Überlegungen gelten auch für die Vorrichtungen zum Zusammenbau. Im allgemeinen werden die Fertigungskosten des Segelflugzeuges durch die Kosten der Anfertigung von Vorrichtungen belastet. Erst die Senkung der Fertigungs-

zeit bei größerer Stückzahl entscheidet über die Wahl des entsprechenden Herstellungsverfahrens.

Von anderen Mitteln, die für die Senkung der Fertigungszeit maßgebend sind, ist die richtige Organisation der Arbeit im Betrieb zu erwähnen.

3. Der Einfluß der entwurfsmäßigen Vorbereitung der Serienfertigung auf die Senkung der Lohnkosten

Jetzt haben wir uns mit den Fragen zu befassen, die mit der Vorbereitung der Arbeit in engem Zusammenhang stehen. In diesem Bereich wird die Vorbereitung der Produktion vom Konstrukteur stark beeinflusst. An erster Stelle sei hier die Frage der technisch zweckmäßigen Aufteilung der Zelle erwähnt. Bei der Anfertigung des Prototyps wird dieser Frage weniger Aufmerksamkeit geschenkt; erst bei der Serienfertigung kommt sie zur vollen Geltung.

Wir wissen, daß durch die richtige Aufteilung der Zelle die sogenannte «breite Fertigungsfront» und der günstige Zugang zu jedem Detail gewährleistet wird. Dies mag zwar wenig bedeutend erscheinen; doch in Wirklichkeit wird dadurch der Arbeitsaufwand ganz wesentlich beeinflusst, insbesondere beim Zusammenbau.

Es sind Konstruktionslösungen bekannt, die bei der Serienfertigung schnelle und wirtschaftliche Herstellung der Einzelteile gewährleisten – wie z. B. Schmiede- und Gußstücke (besonders für komplizierte Teile gut geeignet) –, sowie maschinelle Formung der Blechelemente anstelle der Handfertigung. Neuerdings finden Kunststoffe verschiedener Art in zunehmendem Maße ihre Anwendung, und zwar anstelle von Guß- und Preßverfahren.

Wie wir sehen, obliegt die Auswahl der wirtschaftlichsten Fertigungsart dem Konstrukteur. Er kann ferner die Fertigung durch die Wahl entsprechender Werkstoffe wesentlich erleichtern. In unseren Betrachtungen wollen wir uns zunächst nicht mit der Werkstoffwahl hinsichtlich Materialkosten befassen, weil dies ein besonderes Problem darstellt. Dagegen seien hier die Fragen der Auswahl der richtigen Materialsorten und Halbfabrikate für die Herstellung behandelt. Bekanntlich stehen diese – selbst bei weitestgehender Normierung – in reichhaltigem Sortiment zur Verfügung, und der Konstrukteur hat daraus die für ihn günstigsten Positionen zu wählen. So wird die Anzahl der am Lager zu haltenden Sorten reduziert.

Das Problem der Wirtschaftlichkeit bei der Massenherstellung findet seine Lösung in der Fertigung der Normteile. Naturgemäß wird ihre Anwendung weitgehend angestrebt. Dabei stellt sich aber heraus, daß selbst das normierte Fertigungsprogramm erheblich ausgedehnt bzw. gegliedert ist. Es wäre z. B. nicht denkbar, daß wir für ein Segelflugzeugmuster Schrauben verwenden, deren Längen voneinander um einen Millimeter abweichen.

Daher kommen wir zur Ansicht, daß man bei der Vorbereitung des Segelflugzeugmusters im Serienbau vielmehr das beschränkte Materialsortiment anwenden muß.

4. Der Entwurf entscheidet über die Herstellungskosten des Segelflugzeuges

In dieser Arbeit sei die Abhängigkeit des Arbeitszeitaufwandes, berechnet auf ein Serienstück, vom Entwurf behandelt. Wir haben dieses Problem schon im zweiten Abschnitt teilweise berührt, nämlich bei der Feststellung, daß das Segelflugzeug desto billiger wird, je weniger Teile der Anwendung von Fertigungsvorrichtungen bedürfen, je einfacher diese Teile gestaltet werden und je weniger Ansprüche hinsichtlich der Vorrichtungen erhoben werden.

Das Entwerfen einfacher Segelflugzeuge, d. h. solcher, deren Fertigung möglichst wenig Arbeitsaufwand in Anspruch nimmt, setzt die genaue Kenntnis der einzelnen Fertigungsverfahren und ihres prozentualen Anteils voraus. Als Basis der eingehenden Analyse des Arbeitsaufwandes seien hier die statistischen Daten der Herstellung dreier polnischer Segelflugzeuge angeführt, und zwar: Schulgleiter «ABC», Übungssegler «Sroka» und Hochleistungssegelflugzeug «Jaskólka». Die Konstruktion dieser Muster kann durchwegs als typischer Holzbau bezeichnet werden.

Die gesamte Fertigung wird je nach Betriebsabteilungen in sieben verschiedene Sektionen gegliedert, die den angewandten Herstellungsverfahren entsprechen. Im Durchschnitt gestaltet sich der Prozentanteil der einzelnen Verfahren wie folgt:

Vorbereitungsarbeiten	4 %
spanabhebende Bearbeitung der Metallteile	7 %
Schweißen und Handbearbeitung der Metallteile	20 %
Zusammenbau der Metallteile	5 %
Holzschneiden und weitere Bearbeitung	25 %
Zusammenbau der Holzteile	31 %
Lackieren und Tapeziererarbeit	8 %
insgesamt	100 %

Als Vorbereitungsarbeit wird hier die Werkstoffübernahme vom Magazin bezeichnet.

Sehen wir uns nun die weitere Gliederung der übrigen Fertigungssektionen an. So besteht die spanabhebende Bearbeitung der Metallteile aus folgenden Arbeitsgängen:

Bohren	39 %
Drehen	10 %
Gewindeschneiden	7 %
Fräsen	7 %
Schleifen	5 %
Rohrabschneiden	5 %
Hobeln	2 %
Bohrdrehen	2 %
übrige	23 %
insgesamt	100 %

Entsprechend gestaltet sich die Gliederung der Schweißarbeiten und Handbearbeitung der Metallteile, und zwar wie folgt:

Schweißen	24 %
Trassieren und Vorschneiden	21,5 %
Putzen	11,5 %
Nieten	10 %
Biegen	7,5 %
Feilen	6,5 %
Bohren	4 %
Nachbohren	4 %
übrige	11 %
insgesamt	100 %

Die Zusammenbauarbeiten bestehen aus:

Zusammenbau mittels Verbindungsschrauben	25 %
Seilspleißen	14 %
Zusammenbau mittels Senk- und Kopfschrauben	12 %
Eindrücken von Buchsen	8 %
Einstellen der Teile in den Vorrichtungen	7 %
Bolzeneinstecken	5 %
Aufrichten des Gerippes	4 %
übrige	25 %
insgesamt	100 %

Die Holzarbeiten bestehen aus:

Klötzcheneinbau	20 %
Schneiden mit der Kreissäge	11 %
Leimen von Sperrholzknottenstücken	9 %
Sperrholzbeplanken	9 %
Säubern des Gerippes	8 %
Anbringen des Schutzanstriches	8 %
Klötzchen zuschneiden	7 %
Leimen von Sperrholzdeckflächen	6 %
Leimen von Lamellengurten	3 %
Ebnen der Oberflächen	2 %
Profilmacharbeit	2 %
Schneiden der Sperrholzknotten	2 %
Schneiden mit der Bandsäge	2 %
übrige	11 %
insgesamt	100 %

Der Zusammenbau der Holzteile besteht aus:

Zusammenbau von Rippen	22 %
Zusammenbau der Flügel	22 %
Zusammenbau der Träger	20 %
Zusammenbau des Rumpfes	12 %
Zusammenbau der Querruder und Steuer	10 %
Zusammenbau der Spanten	7 %
Zusammenbau der Flossen	3 %
übrige	4 %
insgesamt	100 %

Die Lackier- und Tapeziererarbeiten bestehen aus:

Spritzlackieren	40 %
Polieren	15 %
Anstreichen der Metallteile	15 %
Beplanken und Zellonanstrich	14 %
Ankleben der Abdeckbänder	5 %
Anbringen der Tapezierung	5,5 %
übrige	5,5 %
insgesamt	100 %

Die oben angeführten Arbeitsgänge können auch nach der Größe des Arbeitszeitaufwandes, mit Bezug auf den Gesamtarbeitsaufwand, zusammengestellt werden. Hieraus ergibt sich nachstehende Reihenfolge:

Rippenzusammenbau, Flügelzusammenbau, Klötzcheneinbau, Holzzusammenbau, Schweißen, Trassieren und Metallvorschneiden, Rumpfbauzusammenbau, Lackierarbeiten, Holzschneiden mit der Kreissäge, Querruder- und Steuerzusammenbau, Maschinenbohren der Metallteile, Klötzchen anleimen, Beplanken, Säubern des Gerippes, Säubern der Metallteile, Anbringen des Schutzanstriches, Klötzchen zuschneiden, Nieten.

Diese Zusammenstellung bringt wohl manche Überraschungen mit sich. Es erweist sich, daß nicht nur die typi-

schen, für den Gesamtzeitaufwand als entscheidend anerkannten Arbeitsgänge, wie z. B. Rumpf-, Flügel- oder Holmzusammenbau, sondern auch die anderen – anscheinend von geringerer Bedeutung – schwer ins Gewicht fallen können, wie z. B. Rippenzusammenbau, Klötzcheneinbau (neben dem separat angeführten Klötzchenzuschneiden), Lackieren, sogar das einfache Holzzuschneiden mit der Kreissäge.

Aus dieser Aufstellung kann man entsprechende Folgerungen ziehen hinsichtlich der richtigen Gestaltung der Konstruktion in bezug auf die Fertigungsarbeitsgänge. Auf gleiche Weise kann naturgemäß nicht nur der Arbeitsaufwand für das ganze Segelflugzeug, sondern auch ein solcher für die einzelnen Bestandteile zergliedert werden.

Die Analyse des Arbeitsaufwandes findet Anwendung bei der Beurteilung der konstruktionstechnischen Entwicklungstendenz vom Standpunkt der Fertigungskosten. So kommen wir z. B. anhand der drei obengenannten Segelflugzeugmuster zur folgenden Gliederung des Gesamtzeitaufwandes:

	ABC	Sroka	Jaskólka
Vorbereitungsarbeiten	6 %	4 %	3,5 %
spanabhebende Metallbearbeitung	4 %	5 %	11 %
Schweißen und Handbearbeitung der Metallteile	14 %	17 %	28 %
Zusammenbau der Metallteile	5 %	5 %	5 %
Holzschneiden und weitere Bearbeitung	21 %	30 %	23 %
Zusammenbau der Holzteile	43 %	33 %	19,5 %
Lackieren und Tapezierarbeiten	7 %	6 %	10 %
insgesamt	100 %	100 %	100 %

Kennt man nun die Betriebskosten der einzelnen Abteilungen, dann kann man auch die Kostensenkung der Fertigung gewissermaßen schon durch die Konstruktion aufzwingen. Nimmt man aber die Werte für das anspruchsvollste Muster, nämlich die «Jaskólka», mit 100 % an, dann ergeben sich die entsprechenden Prozentsätze für die übrigen Muster wie folgt:

	ABC	Sroka	Jaskólka
Vorbereitungsarbeiten	2,5 %	3,5 %	3,5 %
spanabhebende Metallbearbeitung	1,5 %	4,5 %	1,0 %
Schweißen und Handbearbeitung der Metallteile	5,5 %	15,0 %	28,0 %
Zusammenbau der Metallteile	2,0 %	4,5 %	5,0 %
Holzabschneiden und weitere Bearbeitung	9,0 %	25,5 %	28,0 %
Zusammenbau der Holzteile	16,0 %	28,0 %	24,5 %
Lackieren und Tapezierarbeit	2,5 %	5,0 %	10,0 %
insgesamt	39 %	86 %	100 %

Bemerkenswert ist der Vergleich des Arbeitsaufwandes für die beiden Rumpfsegelflugzeuge «Sroka» und «Jaskólka» im Bereich der Holzarbeiten. Bekanntlich ist die «Jaskólka» – insbesondere aber ihr Flügel – durch die geringe Anzahl von Rippen, Klötzchen und Knoten sowie durch kleinere Gesamtlänge der zu schneidenden Leisten gekennzeichnet. Dementsprechend ist der Arbeitsaufwand für diesen Bereich

geringer als derjenige für den Übungssegler «Sroka». Die frühere Folgerung, daß mit steigender Anzahl der zu fertigenden Bestandteile auch die Gesamtfertigungskosten erhöht werden, findet hier nochmals ihre Bestätigung.

Gehen wir nun dem Anteil der einzelnen Bestandteile der Zelle am Gesamtzeitaufwand nach. Als Beispiel werden die Daten des Schulgleiters «ABC» angeführt. Wird die Fertigungszeit des Gitterrumpfes mit 100 % angenommen, dann ergibt sich folgende Gliederung:

Rumpferüstmittelstück	7 %
unterer Balken	2,5 %
Vorderkasten	4 %
Hinterkasten	3 %
Führersitz	5 %
Rücklehne	1,3 %
Steuerwelle mit Knüppel	2,5 %
Vordertragbeschläge	0,4 %
Hintertragbeschläge	0,4 %
untere Kastenverbindungsbeschläge	2,5 %
obere Kastenverbindungsbeschläge	2 %
Fußsteuer	5 %

Bei der Gliederung der Fertigungszeit des Flügels werden folgende Prozentsätze ermittelt:

Vorderholm	10 %
Hinterholm	3,5 %
Rippe, aufgezogen	0,4 %
Sperrholznase zwischen den Rippen	0,2 %
Vorderstrebe	1,3 %
Vordertragbeschlag	0,4 %
Hintertragbeschlag	0,4 %
Strebenbeschlag	0,9 %

Nachstehende Daten beziehen sich auf das Seitensteuer:

Flossenholm	7,5 %
Flossenrippe	0,6 %
Steuerholm	2,8 %
Steuerrippen	1 %
Steuerantriebshebel	3 %
Oberscharnier	1,5 %
Unterscharnier	1 %
Scharnierkonsole	0,9 %

Die Fertigungszeit des Höhensteuers enthält u. a. folgende Positionen:

Flossenholm	4 %
Flossenrippe	2 %
Steuerholm	4 %
Schrägrippe	0,9 %
Steuerantriebshebel	2 %
Doppelscharnier	3 %
Scharnier	3 %
Strebe	4 %

Durch diese Aufstellungen wird deutlich bewiesen, daß der Arbeitsaufwand für die einzelnen Bestandteile, im Vergleich mit demjenigen für die Hauptteile, wie Rumpf oder Flügel, wenig bedeutend ist. Der große Gesamtzeitaufwand wird erst durch die Anzahl der Einzelteile gefördert. Es ist nämlich unvermeidlich, daß jeder Einzelteil für sich angefertigt werden muß, selbst mit den besten Fertigungsmethoden, und selbst nach der Fertigung aller Einzelteile müssen sie bei den sukzessiven Zusammenbauphasen immer

weiterbehandelt werden, wodurch auch der Arbeitsaufwand weiter gesteigert wird.

Je weniger Bestandteile vorgesehen und je einfacher diese Bestandteile gestaltet werden, desto billiger kann das Segelflugzeug hergestellt werden. Es ist ferner anzustreben, daß die Bestandteile mehrere Funktionen gleichzeitig übernehmen können – daher stammt auch der Gedanke der Integralkonstruktionen.

Nachstehend sei noch dem Anteil der Hauptbestandteile am gesamten Arbeitsaufwand des Segelflugzeuges kurz nachgegangen. Die Prozentsätze der beigefügten Zusammenstellung beziehen sich auf den Arbeitsaufwand beim Segelflugzeug «Jaskólka»:

	ABC	Sroka	Jaskólka
Flügel	22 %	27,5 %	29 %
Querruder, einzeln	—	4,5 %	5 %
Klappe	—	—	5 %
Luftbremse, einzeln	—	3 %	5 %
Rumpf	12 %	39 %	45 %
Höhenleitwerk	3 %	6 %	6 %
Seitenleitwerk	2 %	2,5 %	3 %
Einheitsteile	—	3,5 %	2 %
insgesamt	39 %	86 %	100 %

Man sieht, daß jedes weitere Glied der Konstruktion unvermeidlich ein Ansteigen des Arbeitsaufwandes bedingt. Deshalb werden die Bemühungen des Konstrukteurs, die Anzahl der Bestandteile des Segelflugzeuges zu beschränken, immer durch einen Erfolg in Form der Senkung der Fertigungskosten gekrönt.

5. Schluß

Eine eingehende Analyse der Mittel für die Kostensenkung des Segelflugzeugbaues weist auf mehrere Probleme hin, mit denen sich der Konstrukteur befassen muß. Selbstverständlich wird die richtige Lösung immer nur ein Kompromiß zwischen der Wirtschaftlichkeit einerseits, den aerodynamischen sowie Festigkeits- und Gewichtsbedingungen andererseits bleiben. Über die gegenseitige Beziehung dieser und noch anderer Faktoren wird immer die Klasse und die vorgesehene Verwendung des zu entwerfenden Modells entscheiden.

Immerhin wird durch die Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit bzw. des Arbeitsaufwandes bei der Fertigung die Schaffung praktisch erfolgreicher Segelflugzeugmuster begünstigt.