

Schrifttum

- [1] *Segler, G., H. J. Matthies und G. Birk*: Entwicklung und Erprobung von Heubelüftungsanlagen. Ber. über Landtechn. Bd. 28. Wolftratshausen: Verlag Neureuter 1952.
- [2] *Guillon, R.*: Forced air flow in drying hay. Agric. Engng. **27** (1946) H. 11, S. 519/20.
- [3] *Hendrix, A. T.*: Resistance of hay to air flow. Agric. Engng. **26** (1945) H. 9, S. 369/71.
- [4] *Hendrix, A. T.*: Observations on the resistance of hay to air flow. Agric. Engng. **27** (1946) H. 5, S. 209/12.
- [5] *Davis, R. B. jr.*: Mow-drying chopped and long alfalfa hay. Agric. Engng. **28** (1947) H. 3, S. 105/08.
- [6] *Bruhn, H. D.*: Flow of air through chopped hay in mow driers. Agric. Engng. **28** (1947) H. 5, S. 202/04, 207.
- [7] *Hendrix, A. T.*: Air flow through baled hay. Agric. Engng. **28** (1947) H. 6, S. 259/60.
- [8] *Davis, R. B. jr., und V. H. Baker*: Fundamentals of drying baled hay. Agric. Engng. **32** (1951) H. 1, S. 21/25.
- [9] *Davis, R. B. jr., und V. H. Baker*: The resistance of long and chopped hay to air flow. Agric. Engng. **32** (1951) H. 2, S. 92/94, 100.
- [10] *Matthies, H. J.*: Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter. Diss. TH Braunschweig 1954. VDI-Forsch.-heft 454. Düsseldorf: VDI-Verlag 1956.
- [11] Anleitung zum Bau und Betrieb von Heubelüftungsanlagen. Aus den Arb. des Instituts für Landmaschinen der TH Braunschweig 1957.
- [12] *Bickel, H.*: Untersuchungen über die Wirksamkeit verschiedenartiger Heubelüftungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Strömungswiderstandes. Diss. ETH Zürich 1964.
- [13] *Le Roy Day, C.*: Effects of conditioning and other factors on resistance of hay to air flow. Transactions ASAE **6** (1963), S. 199/201.
- [14] *Segler, G.*: Fortschritte bei der Heubelüftung. Dt. Landw. Presse **85** (1962) Nr. 29 und 30, S. 301/302, 309/10.

DK 62.001/002

Wechselbeziehungen zwischen Konstruktion und Versuch

Von **Gerd W. H. Bolten** und **Gerhard Welschof**, Neuß am Rhein¹⁾

Die von der Firmenleitung im Hinblick auf die Marktlage gestellte Entwicklungsaufgabe ist verbindlich für das Entwicklungs-Komitee, das in seinem an die Leitung von Versuch und Konstruktion zu gebenden Auftrag klar abgegrenzte Informationen zu vermitteln hat. Diese müssen alle wichtigen technischen und organisatorischen Faktoren enthalten. Eine optimale Abstimmung der schöpferischen Ideen auf die Entwicklungszeit und -kosten ist das vordringliche organisatorische Anliegen der Leitung von Versuch und Konstruktion. Dabei ist auf eine zweckmäßige Gliederung der Entwicklungsabteilung nach Projekten und Funktionen zu achten. Um die gestellte Aufgabe entsprechend dem Zeitplan lösen zu können, empfiehlt sich eine Aufteilung der gesamten Entwicklung in einzelne Phasen. Die in ständiger Auswertung der Versuchsergebnisse von der Konstruktion erstellten Fertigungsunterlagen sind von dieser eigenverantwortlich freizugeben.

Die Terminologie liefert mehr oder minder klare Definitionen für die Begriffe Konstruktion und Versuch. Im allgemeinen Sprachgebrauch, ja selbst in der Umgangssprache der Ingenieure, ist eine scharfe Trennung oftmals jedoch nicht gegeben, vor allem dann nicht, wenn der Terminus Entwicklung noch hinzukommt. Das mag daran liegen, daß die Begriffe Entwicklung, Konstruktion und Versuch eng miteinander verbunden sind, ineinander übergehen und eine strenge Trennung früher nicht üblich beziehungsweise notwendig war. Es lag eben alles in einer Hand. Heute ist eine Aufgabenteilung zwischen Konstruktion und Versuch in der Industrie üblich. Um die Wechselbeziehung zwischen Konstruktion und Versuch darzulegen, sei zuvor möglichst klar abgegrenzt, welche Beziehungen unter bestimmten Voraussetzungen gemeint sind. Die Zusammenhänge werden damit präzisiert und einfacher darstellbar.

1. Vom Entwicklungsauftrag bis zur Produktionsfreigabe

1.1 Produktwert — Absatzchancen

Die Industrie erzeugt Güter. Sie tut es, um in der Jahresabschlußbilanz einen Gewinn auszuweisen. Auch wenn oftmals

¹⁾ Vorgetragen auf der 23. Tagung der Landmaschinen-Konstrukteure in Braunschweig-Völknerode am 13. Oktober 1965.

Dipl.-Ing. Gerd W. H. Bolten ist Chefingenieur der Motorenkonstruktion und stellvertretender Direktor der Entwicklung der International Harvester Company m.b.H., Neuß am Rhein; Dr.-Ing. Gerhard Welschof ist Chefingenieur für den Versuch in derselben Firma.

andere Formulierungen gebraucht werden, so münden doch auch diese irgendwie ein in den Verkaufsslogan: Ohne Gewinn hat Umsatz keinen Sinn. Darunter sei keineswegs ein skrupelloses Gewinnstreben verstanden. Die Industrie wie auch der handwerklich arbeitende Kleinbetrieb versuchen, ein Qualitätserzeugnis zu einem angemessenen Preis auf den Markt zu bringen. Um dieses Ziel zu erreichen, wird entwickelt und produziert. Der Erfolg der Bemühungen läßt sich ausdrücken durch den Wert des fertigen Produktes. Der Begriff „Wert“ wird hier als Erfolgsmaßstab für die Absatzchancen verwendet.

In Bild 1 sind die darzulegenden Zusammenhänge vereinfacht dargestellt. Es wird dabei vorausgesetzt, daß ein Markt für das zu entwickelnde Produkt vorhanden ist. Verkauft wird die „Funktion“ in einer guten Verpackung zu einem kostengerechten

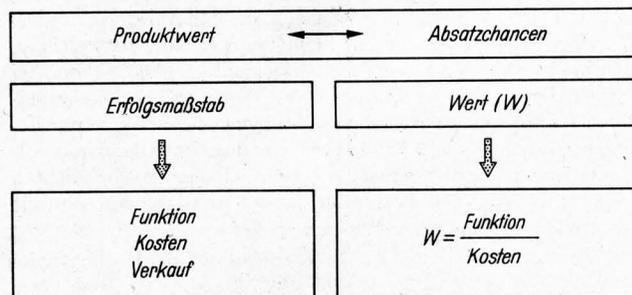


Bild 1. Zusammenhang zwischen Produktwert und Absatzchancen.

Preis. Es besteht eine direkte Beziehung zwischen dem Produktwert und den Absatzchancen. Als Erfolgsmaßstab für die Absatzchancen sind drei Faktoren zu nennen: Funktion, Kosten und Verkauf. Obwohl der Wert des Produktes — wie auf der rechten Seite des Bildes 1 dargestellt ist — als Quotient von Funktion und Kosten definiert werden kann, ist in bezug auf den Erfolg der Verkauf zu berücksichtigen. Selbst dann, wenn ein Markt für das hergestellte Produkt vorhanden ist, ist dies nicht ohne eine Verkaufsorganisation abzusetzen. Auch muß die durch die Verkaufsabteilung zu bestimmende Stückzahl der Entwicklung zugrunde gelegt werden.

Unter der Voraussetzung, daß der Entwicklungsauftrag die geforderten Funktionen festlegt, können durch die Entwicklung vornehmlich die Kosten beeinflusst werden. Aus dem Gesagten folgt:

Der Entwicklungsauftrag beinhaltet unter anderem bindende Funktionsmerkmale. Die Entwicklung beeinflusst mittelbar durch

die Lösung der gestellten Aufgabe entscheidend die Absatzchancen.

1.2 Produktentwicklung

Mit dem Wort „Produktentwicklung“ ist der Teil der Entwicklung gemeint, der das Produkt, die Maschine, selbst zum Inhalt hat. Im Gegensatz dazu gibt es die Entwicklung von Fertigungs- bzw. Versuchseinrichtungen oder von Verfahren. Auch soll hier nicht von einer Vorentwicklung oder einer zweckgebundenen Forschung in der Industrie die Rede sein. Die Abteilungen und Gruppen, die zur Entwicklung gehören, zeigt **Bild 2**. Eine Aufteilung in Konstruktions- und Versuchsabteilung ist sinnvoll. Die Werkstatt und die Berechnungsabteilung können den vorgenannten Abteilungen unterstellt werden oder auch selbständig sein.

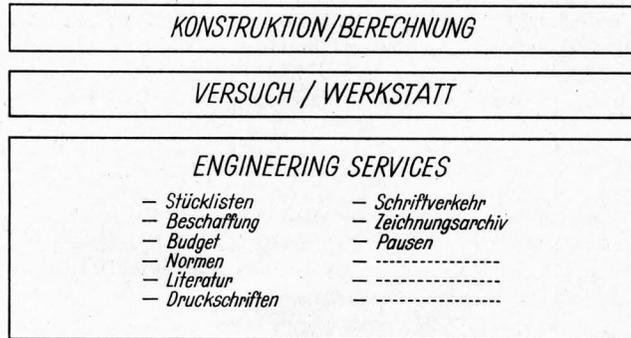


Bild 2. Aufteilung der Produktentwicklung in Konstruktion, Versuch und Engineering Services.

Alle anderen Gruppen sind unter Engineering Services zusammengefaßt. Gemeint sind damit all diejenigen Gruppen, die ebenfalls zur Produktentwicklung gehören, jedoch vornehmlich Hilfsdienste leisten und somit nur einen indirekten Einfluß nehmen. Die weitere Untersuchung kann folglich auf die Konstruktion und den Versuch beschränkt bleiben.

1.3 Entwicklungsauftrag

Der Auftrag ist von der Geschäftsleitung zu stellen. Diese kann — wie meistens üblich — damit ein Entwicklungskomitee beauftragen. Es sollen darin folgende Abteilungen vertreten sein:

Entwicklung — Produktion — Verkauf — Verwaltung.

Bild 3 zeigt die Zuständigkeit und Aufgabentrennung für die einzelnen Bereiche. Durch Punktzeichnung sind die zwei für die Lösung der Entwicklungsaufgabe bestimmenden Faktoren (Funktion und Stückzahlen) und der vornehmlich zu beeinflussende Kostenfaktor besonders hervorgehoben.

Der zu erarbeitende Auftrag soll die Entwicklungsaufgabe klar abgrenzen und möglichst vollständige Informationen enthalten, die für die Lösung der Aufgabe bestimmend sind. Dazu gehören die Funktionsforderungen, die genehmigten Entwicklungskosten, der festgelegte zeitliche Arbeitsablauf, die zu berücksichtigenden vorhandenen bzw. zu beschaffenden Fertigungseinrichtungen, die zugrunde gelegten Stückzahlen sowie Richtlinien in bezug auf die Formgebung und letztlich grob geschätzte Herstellungskosten, **Bild 4**.

Wie in **Bild 5** gezeigt, wird der Auftrag an die Entwicklung²⁾, veranschaulicht durch das Kreissymbol, weitergeleitet. Ob zuerst der Versuch²⁾ oder die Konstruktion²⁾ mit der Bearbeitung des Auftrages beginnt, wird von Fall zu Fall zu entscheiden sein. Oftmals sind auch bereits vor der offiziellen Auftragserteilung Vorarbeiten von Konstruktion und Versuch zu leisten, deren Ergebnis an das Entwicklungskomitee zu geben ist. Diese „Rückkopplung“ ist für die Beschlußfassung des Entwicklungskomitees, insbesondere in großen Industriefirmen, unerlässlich. Da der Entwicklungsauftrag als bindend für alle nachfolgenden Abteilungen anzusehen ist, kann hierdurch eine zeitraubende Fehlleistung unterbunden werden. Das Entwick-

²⁾ Anmerkung der Schriftleitung: Im folgenden sind unter der Kurzbezeichnung „Entwicklung“, „Konstruktion“ und „Versuch“ meist die entsprechenden Abteilungen in einer Firma und deren Bereiche zu verstehen.

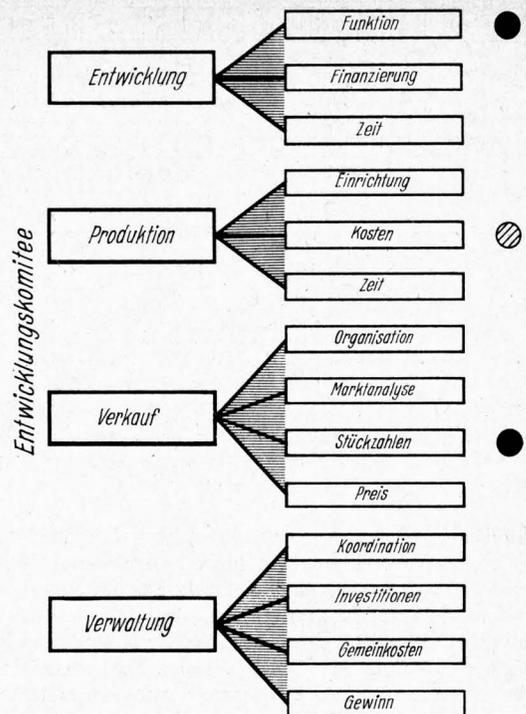


Bild 3. Zusammensetzung des Entwicklungskomitees, Aufgabenteilung — Abgrenzung der Zuständigkeiten.

lungskomitee müßte nämlich erneut zusammentreten, wenn keine Lösung gefunden werden kann, die die gegebenen Aufgaben erfüllt.

1.4 Produktionsfreigabe

Die Produktentwicklung konstruiert und erprobt im Versuch die Maschine bis zur Serienreife und leitet die Freigabe ein, die von der Geschäftsführung oder dem Entwicklungskomitee zu genehmigen ist. Der Entwicklung parallelaufend ist auch in anderen Abteilungen der Firma eine Vielzahl von damit eng verknüpften Vorgängen zu bearbeiten.

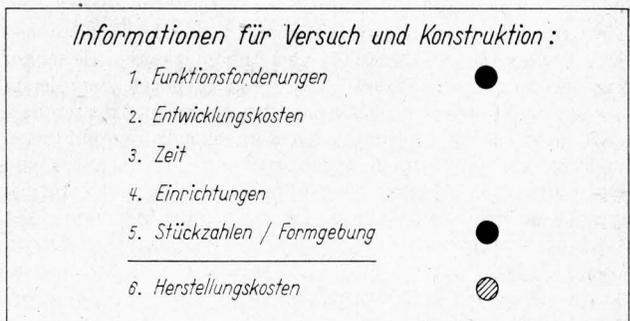


Bild 4. Zusammenfassung der wichtigsten Informationen, die im Entwicklungsauftrag enthalten sein sollen.

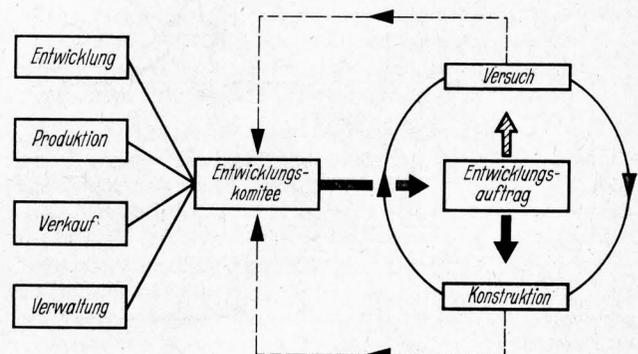


Bild 5. Entstehung des Entwicklungsauftrages sowie dessen Beziehung zu Konstruktion und Versuch.

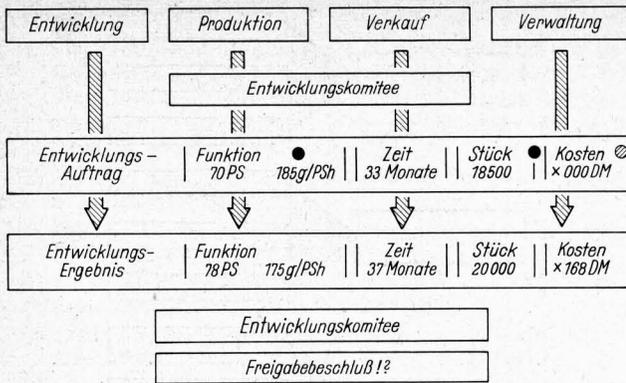


Bild 6. Der Weg bis zur Produktionsfreigabe. Gegenüberstellung vom Entwicklungsauftrag und -ergebnis, gezeigt am Beispiel einer Motorenentwicklung.

In **Bild 6** wird dem Entwicklungsauftrag das Ergebnis nach 37monatiger Entwicklungszeit, für die ursprünglich 33 Monate veranschlagt wurden, gegenübergestellt. Der Darstellung wurde eine Motorenentwicklung zugrunde gelegt. Das Entwicklungskomitee hat zu prüfen, inwieweit das Ergebnis unter Berücksichtigung von Funktion, Stückzahl und Kosten eine Freigabe zuläßt. Es sei besonders hingewiesen auf die um 168,— DM über der ersten Schätzung liegenden Herstellungskosten. Auch die um etwa 10% höher liegende Motorleistung kann nicht stillschweigend übergangen werden. Es ist zu fragen, ob die anzutreibende Maschine diese Leistungssteigerung zuläßt. Hinsichtlich der Stückzahl wird zu untersuchen sein, ob die Produktionseinrichtungen eine Steigerung von 18 500 auf 20 000 gestatten.

Die in **Bild 6** gewählte schematische Darstellung zeigt nun keineswegs die komplizierten Verknüpfungen zwischen den einzelnen Abteilungen innerhalb einer Firma. Es handelt sich dabei ja durchaus nicht um parallellaufende, voneinander unabhängige Arbeiten, sondern um vielfache Beziehungen, die sich am besten durch einen PERT-Plan nachweisen lassen, und zwar so, wie in **Bild 7** aufgezeichnet.

Mit Hilfe von PERT (Product Evaluation Review Technic) ist es möglich, in einfacher oder auch aufwendiger Form den terminlichen Arbeitsablauf innerhalb einer Firma zu überwachen. Die Kreissymbole stehen für „Ereignis“ und die Verbindungslinien kennzeichnen die Tätigkeiten und Abhängigkeiten. Es sei auf den oberen Teil des Planes aufmerksam gemacht, der die im Versuch und der Konstruktion durchzuführenden Arbeiten darstellt. Aus der Vielzahl der nach unten gehenden Verbindungslinien ist zu erkennen, inwieweit auch hier die Arbeiten von denen in anderen Abteilungen abhängig sind. Dies gilt natürlich auch im umgekehrten Sinne. Die Freigabe, hier gekennzeichnet durch ein Kreissymbol F, kann also nur termingerecht erfolgen, wenn viele Wochen oder Monate vorher ganz bestimmte Informationen von der Produktentwicklung an die anderen Abteilungen weitergegeben worden sind.

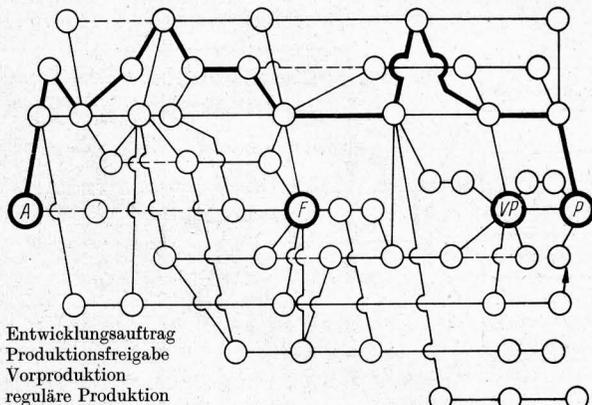


Bild 7. PERT(Product Evaluation Review Technic)-Plan.
A Entwicklungsauftrag
F Produktionsfreigabe
VP Vorproduktion
P reguläre Produktion

Bild 7. PERT(Product Evaluation Review Technic)-Plan.

Es ist demnach wichtig, daß sich der Versuch und die Konstruktion an den erteilten Entwicklungsauftrag halten und auch versuchen, die gesetzten Fristen einzuhalten.

2. Organisation von Konstruktion und Versuch

Die Organisation einer Entwicklungsabteilung, die Einteilung in Konstruktions- und Versuchsgruppen, ist das Stützgerüst für eine geordnete Arbeitsplatzerteilung und übersichtliche Abgrenzung der Tätigkeitsbereiche. Bevor in einigen Beispielen mögliche Organisationsformen besprochen werden, seien die Elemente angeführt, die während der Entwicklung von der Aufgabenstellung an bis zur produktionsreifen Maschine die Form der Organisation bestimmen sollten.

2.1 Ideen — Kosten — Zeit

Die Arbeitsverteilung für die Konstruktionsgruppen und den Versuch muß so erfolgen, daß schöpferische Ideen in großer Zahl den entstehenden Entwurf für das neue Produkt befruchten. Das ist das erste und wichtigste Ziel jeder Einteilung in Konstruktions- und Versuchsabteilungen. Die notwendige Entwick-

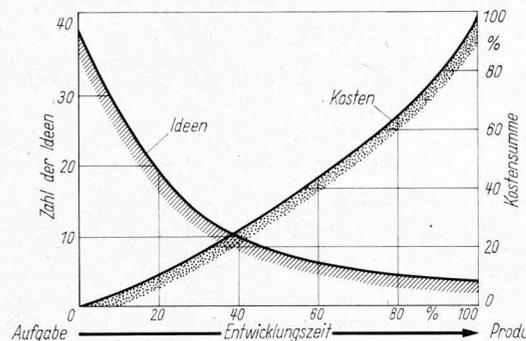


Bild 8. Zusammenhang zwischen rechtzeitig entwickelten Ideen, entstehenden Kosten und Entwicklungszeit von der Aufgabenstellung bis zum fertigen Produkt.

lungszeit und die aufgewendeten Entwicklungskosten sind zwei weitere Elemente, die bei der Beurteilung des Erfolges der Entwicklungsarbeit entscheidend sind. Dabei hängen die Entwicklungskosten und die Entwicklungszeit in vielfältiger Weise von dem rechten Augenblick ab, in dem die schöpferischen Ideen des Konstrukteurs oder des Versuchsingenieurs frei und dann in der Maschinenzzeichnung gebunden werden. Leicht ist einzusehen, daß der größte Gewinn für die schnelle Durchführung der Aufgabe dann zu erwarten ist, wenn diese notwendigen Grundgedanken möglichst bald entwickelt werden. Darum sollte jede Organisationsform darauf bedacht sein, daß Konstruktion und Versuch gleichzeitig und nicht nacheinander mit der Arbeit beginnen.

Diesen Zusammenhang zwischen Entwicklungszeit, den entstehenden Kosten und vielen rechtzeitig entwickelten schöpferischen Ideen stellt das sehr vereinfachte **Bild 8** dar. Die grundlegenden Ideen müssen in dem ersten Viertel der Entwicklungszeit herausgearbeitet worden sein. In der zweiten Hälfte der voranschreitenden Entwicklung, wenn die Zeichnungen und Stücklisten fertig und Prototypen im Bau oder in der Erprobung sind, ist die Einführung jeder neuen Idee mit großen Kosten und Verlängerung der Entwicklungszeit verbunden. Bei einer guten Organisation von Konstruktion und Versuch sollten am Ende dieser Zeit nur wenige Ideen nicht verwirklicht sein.

2.2 Gliederung nach Funktionen und Produkten

Bevor wir später die Verknüpfung aller Tätigkeiten und Einzelaufgaben von Konstruktion und Versuch besprechen, seien mögliche Organisationsformen einer Entwicklungsabteilung kurz dargestellt. Jede der Entwicklungsgruppen hat verschiedene Funktionen zu erfüllen. Oft sind dabei von einer Entwicklungsabteilung verschiedene Produkte zu entwickeln. So ergeben sich zwangsläufig zwei Gliederungsmöglichkeiten: Die Entwicklungsabteilung kann in Arbeitsgruppen mit verschiedenen Funktionen gegliedert sein, oder aber sie wird nach den Produkten, die zu entwickeln sind, geordnet.

Die Zusammenfassung der Mitarbeiter mit gleichen Aufgaben, gleichen Funktionen, ist die natürlichste und ursprünglichste. Die Getriebekonstrukteure, die Motorenkonstrukteure, die Spezialisten für Fahrzeugaufbauten werden in einzelnen Gruppen zusammengefaßt. Alle Tätigkeiten, die Funktionen dieser Gruppen, beaufsichtigt der Entwicklungsleiter zentral, und er koordiniert deren Arbeit vom ersten Versuch an bis zur abschließenden Felderprobung. Diese für die meisten kleineren Entwicklungsabteilungen gut passende Organisationsform wird im **Bild 9** dargestellt. Die Aufgabenbereiche von Konstruktion und Versuch sind klar abgegrenzt. Auf dem kürzesten Wege werden die Einzelaufgaben an die Gruppen verteilt. Zur gleichen Zeit können, da die

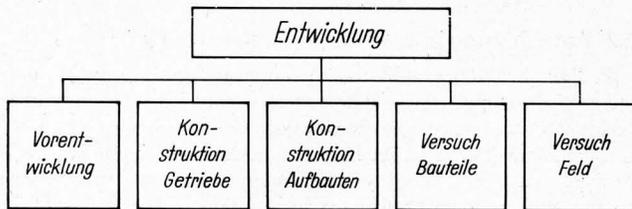


Bild 9. Organisation einer Entwicklungsabteilung nach verschiedenen Funktionen der Arbeitsgruppen.

Arbeitsfolge nicht vorgeschrieben ist, die Gruppen an mehreren Stellen mit der Arbeit beginnen. Werden aber von einer größeren Firma recht verschiedene Produkte hergestellt, so ist bei einer streng nach Funktionen gegliederten Entwicklungsabteilung eine Menge Koordinationsarbeit zu leisten. Alle in den Gruppen tätigen Fachleute sind immer wieder aufs neue in den Arbeitsablauf einzugliedern, damit die Arbeit entsprechend der Aufgabenstellung und Wichtigkeit der verschiedenen Produkte termingerecht durchgeführt wird.

Eine Aufgabenteilung nach Produkten ist übersichtlicher, wenn gleichzeitig mehrere verschiedenartige und umfangreiche Maschinen entwickelt werden, **Bild 10**. Jedes Projekt wird von einer kleineren Konstruktions- und Versuchsgruppe bearbeitet. Die Zusammenarbeit zwischen dem Konstrukteur und Versuchsingenieur ist so eng wie nur möglich. Alle Organisationswege zwischen den Mitarbeitern für ein Produkt sind kurz und unkompliziert und deshalb schnell. Aber wir haben das Risiko, daß schwierige Sonderprobleme — z. B. Getriebeberechnungen oder Motorfragen — von keiner Gruppe befriedigend gelöst werden, weil der Fachmann fehlt, der sich vornehmlich mit diesen Fragen beschäftigt.

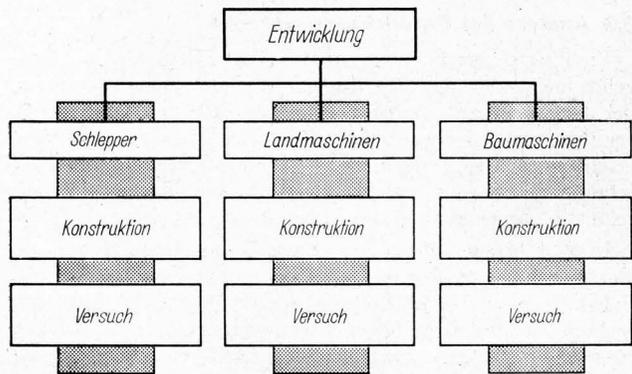


Bild 10. Organisation einer Entwicklungsabteilung nach verschiedenen Produkten.

Die Vorteile der Arbeitsteilung nach Funktionen oder verschiedenen Produkten können gemischt und verbunden werden. So sind wohl auch meistens die vorhandenen Entwicklungsabteilungen aufgebaut, **Bild 11**. Dieses Schemabild soll zeigen, daß man auch hier zu funktionsfähigen, mit Fachleuten besetzten Gruppen kommen kann, wenn man gleichzeitig für jedes Projekt eine Gruppe schafft, welche die Gesamtentwicklung führt: in diesem Beispiel sind die Konstruktionsgruppen für Motoren, für Schlepper und für Baumaschinen für die Gesamtentwicklung verantwortlich. Für die gute Ausnutzung und Koordinierung der Versuchsabteilung wird diese zentral geleitet und stellt ihre Dienste zur Verfügung, entweder streng auf die verschiedenen

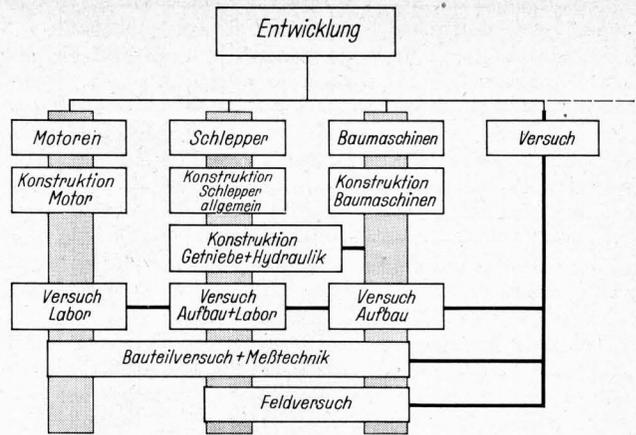


Bild 11. Gemischte Organisationsform nach Produkten und Funktionen.

Produkte ausgerichtet (Motor-Laborversuch, Aufbau von Schleppern und Baumaschinen) oder aber nach gleichen Tätigkeiten und Funktionen zusammengefaßt (Bauteilversuch, Meßtechnik, und im gewissen Sinne der Feldversuch). Auch in der Konstruktionsabteilung gibt es nach Funktionen gegliederte Abteilungen. In dem Beispiel nach **Bild 11** übernimmt die Konstruktionsgruppe für Getriebe und Hydraulik der Schlepper auch die Bearbeitung aller Hydraulikprobleme für die Baumaschinenabteilung.

In der Praxis werden sicher meist der aufgestellte Organisationsplan und der wirkliche Ablauf der Zusammenarbeit von Konstruktion und Versuch voneinander abweichen. Ständig verändern sich die Aufgaben in ihrer Art, neue Mitarbeiter kommen hinzu, und so sind die Organisationspläne bald überholt. Darum ist es auch nicht so wichtig, daß eine einmal aufgestellte Organisationsform starr erhalten bleibt. Nur diese Grundgedanken sollten für alle Mitarbeiter klar erkennbar sein:

Wie ist die Aufgabenverteilung? Wer tut was? Wer berichtet wem?

3. Tätigkeit der Entwicklung im Detail

3.1 Entwicklungsphasen

Der Leitfaden durchläuft die einzelnen Entwicklungsphasen gradlinig, wenn das bereits Gesagte beachtet wird. In der Praxis wird jedoch oftmals recht planlos vorgegangen. Ausgehend von einer Idee wird ein erster Entwurf zu Papier gebracht. Darauf aufbauend ein zweiter und eventuell auch noch ein dritter Entwurf, der anschließend detailliert wird. Die Aufträge zur Fertigung der Einzelteile werden ausgestellt, und die erste Maschine wird zusammengebaut. Das Versuchsergebnis bedingt oftmals nach relativ kurzer Erprobungszeit eine Umkonstruktion oder eventuell auch einen völlig überarbeiteten, neuen Entwurf. So entsteht die verbesserte zweite Maschine, die in der Erprobung zu in etwa befriedigenden Ergebnissen führt. Jetzt wird die Kostenfrage untersucht. Mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit kann angenommen werden, daß die ermittelten Herstellungskosten zu hoch liegen und damit die Entwicklung nochmals von vorne beginnt. Obwohl bekannt ist, daß der hier gezeigte Entwicklungsweg recht langwierig und dornenreich ist, wird oft so verfahren. Die Gründe hierfür sind noch zu nennen.

In dem **Bild 12** sind die einzelnen Entwicklungsphasen schematisch dargelegt. Der Darstellung ist eine Maschine zugrunde gelegt, die in etwa 24 Monaten bis zur Freigabe entwickelt werden kann. Die Entwicklung wird aufgeteilt in die Studie, die Analyse, die erste und zweite Konstruktion, den Bestätigungsversuch und die Freigabe. Die Bearbeitung der gestellten Entwicklungsaufgabe ist unterteilt in Konstruktion und Versuch, wobei hier zweckmäßigerweise zwischen der Erprobung der Funktion (F), der Teile (T), den Baugruppen (B) und der kompletten Maschine (M) zu unterscheiden ist. Bereits während der Entwicklungsstudie und der daran anschließenden Analyse

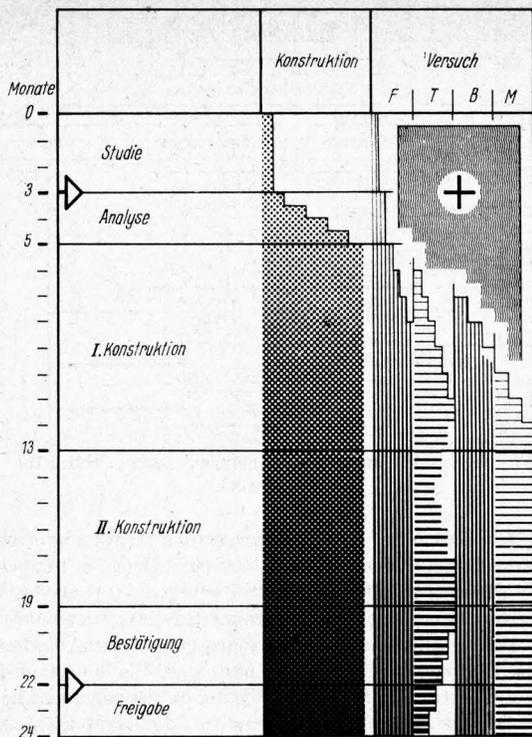


Bild 12. Entwicklungsphasen in Konstruktion und Versuch — zeitlicher Arbeitsablauf.

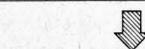
- F Funktionserprobung
- T Teile
- B Baugruppen
- M Maschine, kompl.
- + Nutzung freier Kapazität im Versuch (siehe Text)
- > Entwicklungskomitee erteilt Auftrag bzw. beschließt Freigabe

arbeiten Konstruktion und Versuch eng zusammen. Die Arbeit im Versuch erfolgt mit einer Phasenverschiebung von 1 bis 6 Monaten.

Selbst bei guter Planung und gewissenhafter Konstruktion sollte davon ausgegangen werden, daß die nach und nach anfallenden Versuchsergebnisse eine Überarbeitung zur Folge haben. Die eigentliche Konstruktionstätigkeit wurde deshalb in zwei Phasen unterteilt. Es ist nicht damit zu rechnen, daß die Belastung in der Konstruktion und im Versuch bis zum Zeitpunkt der Freigabe abnimmt.

Die Entwicklungsphase „Bestätigung“ ist für den Versuch von besonderer Bedeutung. Während dieser Zeit, wofür bei einer Gesamtentwicklungszeit von 24 Monaten etwa 100 Tage veranschlagt werden sollten, ist von der Versuchsabteilung nachzuweisen, daß das Entwicklungsziel erreicht wurde und die Betriebssicherheit gegeben ist. Nach Abschluß dieser Entwicklungsphase kann die Freigabe erfolgen.

	Konstruktion	Versuch	Ergebnis
Studie	●	●	Funktionsplan
Information	●	●	Technische Daten
Vorentwurf	●	◐	Zeitplan
Zeit	●	●	Bauplan
Versuchsmaschinen	◐	●	Positionsplan
Personal	●	●	Investitionen
Einrichtungen	○	●	Budget
Finanzierung	●	●	



Vorschlag an Entwicklungskomitee

Abgrenzung der Zuständigkeit:

- kompetent
- ◐ zum Teil kompetent
- nicht kompetent

Bild 13. Kompetenz von Konstruktion und Versuch bei der Ausarbeitung des an das Entwicklungskomitee einzureichenden Auftragsvorschlages.

Es ist zu empfehlen, für die Herausgabe der Zeichnungen und Stücklisten gut zwei Monate vorzusehen. Es hat keinen Sinn, hier übereilt vorzugehen, da auch alle nachfolgenden Abteilungen zuverlässiger arbeiten, wenn der Freigabevorgang in Teilabschnitte aufgegliedert wird.

Der Entwicklungsauftrag sollte nach Abschluß der Studie erteilt werden. Die Gesamtentwicklungszeit kann erheblich verkürzt werden, wenn die Versuchskapazität bereits zum Zeitpunkt der Studie bis zum Zeitpunkt, da die ersten Teile, Baugruppen und Maschinen zur Verfügung stehen, durch vorbereitende Arbeiten sowie zur Klärung offener Fragen genutzt wird. Hierauf ist noch näher einzugehen.

3.2 Entwicklungsziel — Ergebnis der Studie

In **Bild 13** sind die zu klärenden Vorgänge und Fragen auf der linken Seite eingetragen. Konstruktions- und Versuchsabteilung (Bildmitte) erarbeiten gemeinsam das rechts angegebene Ergebnis, das als Auftragsvorschlag an das Entwicklungskomitee eingereicht wird. Die bereits vorliegenden Informationen werden ergänzt und in einem Funktionsplan, zu dem auch eine Beschreibung der zu entwickelnden Maschine gehört, niedergelegt. Ergänzend sind Skizzen und Auslegungen beizufügen. Die technischen Daten werden dem Vorentwurf entnommen und sind — soweit erforderlich — rechnerisch zu belegen.

Bei der Erarbeitung des Zeitplanes kommt es häufig zu Fehlbeurteilungen, weil die während der Entwicklung auftretenden Schwierigkeiten unterschätzt werden. Ein Zuschlag von 50% für Unvorhergesehenes ist deshalb ratsam. In bezug auf den Bauplan sollte letztlich die Versuchsabteilung die Anzahl der zu bauenden Prototypen festlegen, und zwar unter Berücksichtigung der geforderten Funktionen, die oftmals nicht an ein und derselben Maschine erprobt werden können. Um die Maschinen zur Ermittlung der Lebensdauer laufend in Betrieb halten zu können, sind zusätzliche Prototypen für die Erstellung der Betriebsanleitung, des Werkstatthandbuchs und zur Schulung des Kundendienstpersonals einzuplanen.

Auch ist zu klären, ob das erforderliche Personal und die notwendigen Versuchseinrichtungen vorhanden sind. Ist dies nicht der Fall, muß das Entwicklungskomitee hierauf besonders aufmerksam gemacht werden. Die Entwicklungsfinanzierung ist, von beiden Seiten — von der Versuchs- und von der Konstruktionsabteilung — zu prüfen. Die Gesamtkosten werden in einem Budget niedergelegt.

3.3 Analyse der Entwicklungsaufgabe

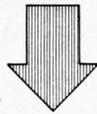
Die Phasen „Studie“ und „Analyse“ der Entwicklungsaufgabe gehen ineinander über. Die Analyse ist letztlich eine Fortsetzung der bereits in der Studie begonnenen Arbeiten. Wie bereits erwähnt, soll jedoch zwischenzeitlich der Entwicklungsauftrag erteilt worden sein, denn dieser ist zu analysieren. Die Fortsetzung der Studie besteht dagegen während dieses Zeitabschnittes vornehmlich in der vorbereitenden Planung.

In **Bild 14** sind die zu stellenden Fragen und die aus der Beantwortung resultierenden Arbeiten dargestellt. Auf der linken Seite sind acht Fragen gestellt. In der mittleren und rechten Spalte ist aufgeschrieben, was zu veranlassen ist. Es wird unterschieden zwischen einer positiven und einer negativen Antwort.

Die ersten drei Fragen beziehen sich auf die Vollständigkeit der Informationen, die für die Lösung der gestellten Aufgabe vorhanden sein müssen, die Realisierbarkeit des Funktionsplanes und der technischen Daten. Ist die Antwort negativ, so sollte der Entwicklungsauftrag mit einem entsprechenden Änderungsvorschlag an das Entwicklungskomitee zurückgegeben werden. Sind die Informationen vollständig, so braucht nichts veranlaßt zu werden. Hinsichtlich des Funktionsplanes und der technischen Daten kann bei positivem Ausgang der Prüfung die Arbeit in der Konstruktions- und in der Versuchsabteilung beginnen.

Unter 4) wird gefragt, ob die Randbedingungen bekannt sind. Ist dies nicht der Fall, so kann bereits zu diesem Zeitpunkt der Auftrag an den Versuch gegeben werden, um anhand von

Entwicklungsauftrag



Frage prüfen ob	Antwort	
	positiv weitere Bearbeitung	negativ
1 Information/vollständig		Entwicklungskomitee
2 Funktionsplan/realisierbar	Konstruktion-Versuch	Entwicklungskomitee
3 technische Daten/sinnvoll	Konstruktion	Entwicklungskomitee
4 Randbedingungen/bekannt		Versuch u. Berechnung
5 Stand der Technik/bekannt		Berechnung
6 Erfahrungen/vorliegen	Versuch u. Berechnung	
7 Patente/bekannt	Patentstelle	Patentstelle
8 Normen zu berücksichtigen	Konstruktion	

Bild 14. Analyse der Entwicklungsaufgabe. Was ist zu prüfen und was ist zu veranlassen?

vorhandenen Maschinen oder Modellen, die oftmals relativ schnell hergestellt werden können, eine entsprechende Untersuchung einzuleiten. Parallellaufend dazu sollte auch die Berechnungsgruppe angesprochen werden, die bei richtiger Aufgabenteilung in der Lage ist, in oftmals kuzer Zeit ein für die Konstruktion ausreichendes Ergebnis zu liefern.

Inwieweit es ratsam ist, den genauen Stand der Technik zu prüfen, ist von Fall zu Fall zu entscheiden. Ist eine kleine Unsicherheit gegeben, so sollte die Berechnungsgruppe beauftragt werden, den Stand der Technik — so wie er aus dem Schrifttum ersichtlich ist — zu ermitteln.

Die sechste Frage in bezug auf die vorliegenden Erfahrungen ist von besonderer Bedeutung. Falls diese nicht vorliegen, so wird die Entwicklung zeigen, ob von den richtigen Voraussetzungen ausgegangen wurde. Meistens wird jedoch der Fehler gemacht, von ausreichenden Erfahrungen auszugehen, das heißt, die Antwort, die gegeben wird, ist zu positiv. Man sollte sich auf diese Aussage jedoch nicht verlassen und in Zusammenarbeit mit dem Versuch festlegen, welche Untersuchungen zur Bestätigung der gemachten Annahmen sofort einzuleiten sind. Es stellt sich nämlich immer wieder heraus, daß selbst dann, wenn gleiche Maschinen über viele Jahre gebaut wurden, die vorliegenden Erfahrungen recht allgemeiner Natur sind und diese sich deshalb nicht ohne Vorbehalt auf die neu zu entwickelnde Maschine übertragen lassen. Wenn auf Vorhandenem aufgebaut werden soll, so muß dies genau bekannt sein. Die Tätigkeit im Versuch und in der Berechnung ist deshalb durch klar abgefaßte Aufträge zu veranlassen. Die Fragen 7 und 8, die sich auf die Patentlage und zu berücksichtigende Normen beziehen, dürfen keinesfalls außer acht gelassen werden.

An dieser Stelle sei verwiesen auf das Bild 12, in dem die einzelnen Entwicklungsphasen dargelegt wurden. Die dort aufgezeigte freie Kapazität zum Zeitpunkt der Studie und Analyse kann, wie eben gezeigt, im Versuch genutzt werden, zur Festlegung der Randbedingungen und zur Bestätigung der mutmaßlich vorhandenen Erfahrung.

Zur Analyse der Entwicklungsaufgabe gehört auch die Aufgabenteilung, die Prüfung und Detaillierung des terminlichen

Arbeitsablaufes sowie die Frage nach der Fertigungskapazität zur Herstellung der für den Versuch benötigten Teile. Hierzu wird in **Bild 15** eine Übersicht gegeben. Eine gute und sinnvolle Aufgabenteilung kann erheblich zur Verkürzung der Entwicklungszeit beitragen. Da davon ausgegangen werden kann, daß bereits ein Vorentwurf vorliegt, sollten schwierige Probleme, die rechnerisch zu erfassen sind, der Berechnungsgruppe übertragen werden. Der Versuch kann auch ohne eine bereits abgeschlossene Konstruktion bestimmte Funktionen darstellen und analysieren. Es sei hier hingewiesen auf Modellversuche, Regelvorgänge und strömungstechnische Untersuchungen. Auch sollten dem Versuch bestimmte Aufgaben, die in eigener Regie zu lösen sind, gegeben werden. Zum Beispiel sollte sich die Konstruktion bei der Entwicklung eines Motors nicht in die Fragen der Verbrennung und Einspritzrüstung einmischen. Eine rechtzeitige Unterrichtung der Lieferanten über das Entwicklungsvorhaben ist ratsam, um die dort vorliegenden Erfahrungen zu nutzen. Inwieweit Institute und Ingenieurbüros hinzuzuziehen sind, ist von der vorhandenen eigenen Kapazität und Erfahrung abhängig.

Der Terminplan ist zu detaillieren. Die Lieferanten sind zu unterrichten, und zwar bevor die eigentliche Konstruktion in Angriff genommen wird. Dies gilt selbstverständlich nur für Baugruppen, die komplett gekauft werden sollen.

Oftmals entstehen Verzögerungen durch die nicht zeitgerechte Lieferung von Bauteilen für Prototypen. Da man nicht erwarten kann, daß zum Beispiel der Vorrichtungsbau des Werkes auf die Aufträge der Entwicklung wartet, ist es gut, wenn hierfür eine bestimmte Fertigungskapazität reserviert wird. Auch ist es, um Engpässe zu überwinden, ratsam, feststellen zu lassen, welche nicht zur Firma gehörenden Werkstätten eventuell Aufträge übernehmen könnten.

3.4 Entwicklungsfehlleistung

Es sei nachstehend aufgezeigt, aus welchen Gründen vielfach das Entwicklungsziel erst nach längeren Irrwegen erreicht wird. Oftmals liegt es an einer Fehlleistung in der Entwicklung. Die wesentlichen Gründe, die zu einer Fehlleistung in der Entwicklung führen, sind folgende:

1. Informationsebbe
2. Planungsnotstand
3. Ideenverschleiß
4. Zeitübel
5. Irrglaube
6. Haltungsfehler
7. Gewohnheitslehre
8. Auftragsschwund

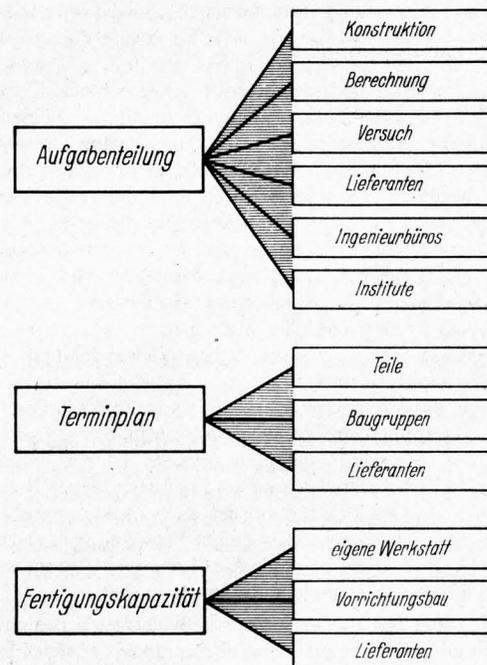


Bild 15. Analyse der Entwicklungsaufgabe. Aufgabenteilung, Terminplanung und Überprüfung der Fertigungskapazität für Versuchsteile.

Informationsebbe. Es wurde bereits dargelegt, das die Informationen zum Zeitpunkt, da die Entwicklung in Angriff genommen wird, vollständig sein müssen. Es ist wenig sinnvoll, mit der Arbeit zu beginnen, wenn die Voraussetzungen dazu fehlen.

Planungsnotstand. Mangelhafte Planung, auch in bezug auf die Zusammenarbeit zwischen Konstruktion und Versuch, führt zu einer Fehlleistung. Beide Seiten nehmen die durchaus notwendigen Arbeiten nicht zum richtigen Zeitpunkt in Angriff. Auch die Aufgabenteilung sollte eindeutig sein, da sonst von falschen Annahmen ausgegangen wird.

Ideenverschleiß. Meistens sind die Ideen zur Lösung einer Aufgabe durchaus vorhanden. Sie werden jedoch nicht genutzt, da zu früh ein bestimmter Lösungsweg der weiteren Bearbeitung zugrunde gelegt wird. Es wird verabsäumt, erst alle Ideen zu sammeln, die Vor- und Nachteile, auch unter dem Gesichtspunkt der Kosten, abzuwägen und dann erst zu entscheiden, welche Konstruktion zu einem hohen Produktwert führt.

Zeitübel. Hierunter sind zeitbedingte Umstände zu verstehen, die sich auf die Bearbeitung der gestellten Aufgabe und deren Lösung negativ auswirken. Besonders nachteilige Folgen zeigen sich, wenn unter einem zu starken Zeitdruck konstruiert und erprobt wird. Darüber hinaus sei hier auch auf Zeiterscheinungen hingewiesen, wie zum Beispiel alles schweißen oder gießen zu wollen.

Irrglaube. Gemeint sind aus Überzeugung vorgetragene falsche Annahmen. Man sollte sich davor hüten, zu sagen, die Idee oder der Vorschlag ist nicht brauchbar, ohne dafür eine stichhaltige Begründung anzugeben.

Haltungsfehler. Gemeint sind die eigene Haltung und Einstellung zu unterbreiteten Vorschlägen. Es handelt sich dabei also um eine gefühlsbedingte Ablehnung, die sachlich nicht vertretbar ist.

Gewohnheitslehre. Im Versuch wie auch in der Konstruktion besteht die Gefahr, „betriebsblind“ zu werden. Die Dinge nehmen doch seit vielen Jahren ihren gewohnten Lauf, warum sollten wir versuchen, darauf irgendeinen ändernden Einfluß zu nehmen?

Auftragsschwund. Es ist eine bekannte Erscheinung, daß der Entwicklungsauftrag — auch dann, wenn dieser klar und eindeutig ist — mit fortschreitender Entwicklungszeit mehr und mehr vergessen wird. Es sollte deshalb bei jeder Frage, die zur Entscheidung ansteht, erst einmal untersucht werden, ob die Antwort nicht durch eine nochmalige Einsichtnahme in den Entwicklungsauftrag von selbst gegeben ist.

3.5 Wechselbeziehung

Während der Entwicklungszeit sollten Versuch und Konstruktion möglichst engen Kontakt zueinander halten. In einem persönlichen Gespräch lassen sich viele Dinge schneller und einfacher klären, als in einem Frage- und Antwortspiel unter Verwendung der üblichen Formulare, obwohl andererseits ohne klar gegliederte und präzise abgefaßte Versuchsaufträge nicht auszukommen ist. Die Entwicklungsbesprechung nimmt jedoch meist nur dann einen guten Verlauf, wenn die verantwortlichen Versuchsingenieure und Konstrukteure hinzugezogen werden. In einem solchen Gespräch ist allen Mitarbeitern, die zu dem eigentlichen Problem etwas zu sagen haben, Gelegenheit zu geben, ihren Standpunkt zu vertreten. Ein „Entwicklungsteam“ wird jedoch nur dann erfolgreich tätig, wenn in der Diskussion von einem Gruppenleiter oder dem Chefingenieur selbst die Zügel fest in der Hand gehalten werden. Ist dies nicht der Fall, so wird vieles zerredet, und es kommt zu keiner Beschlußfassung. Die weitere Bearbeitung ist nach Diskussionsabschluß für jeden Besprechungspunkt in einem Protokoll festzulegen. Es ist wichtig, daß hieraus eindeutig hervorgeht, wer was zu einem bestimmten Zeitpunkt zu veranlassen hat.

Bild 16 gibt einen Überblick über die wichtigsten Beziehungen und Kontakte zwischen Konstruktion und Versuch. In den Spalten „Konstruktion“ und „Versuch“ ist durch einen Punkt dargestellt, von welcher Seite aus die hier angegebenen Vorgänge jeweils eingeleitet werden. Dadurch ist auch eine Abgrenzung der Zuständigkeit gegeben.

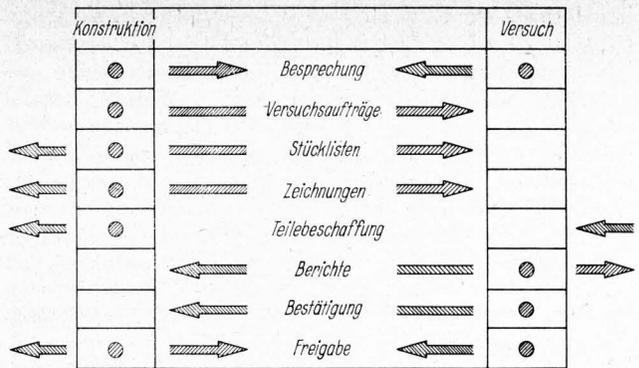


Bild 16. Beziehungen und Kontakte zwischen Konstruktion und Versuch und der daraus folgende Informationsfluß.

Eine *Besprechung* kann selbstverständlich von der Konstruktion wie auch vom Versuch anberaumt werden. Beide Abteilungen sind als gleichberechtigte Partner anzusehen.

Die *Versuchsaufträge* werden von der Konstruktion ausgeschrieben. Es ist zweckmäßig, den Versuch hinsichtlich der gegebenen Möglichkeiten vorher zu Rate zu ziehen.

Es ist dringend zu empfehlen, den Versuch laufend mit Pausen und neuesten *Zeichnungen* und *Stücklisten* zu versorgen. Nur so läßt sich vermeiden, daß nicht zeichnungsgerechte Teile oder solche, die bereits als überholt gelten, verwendet werden.

Die Aufträge zur *Beschaffung* der Versuchsteile werden von der Konstruktion ausgeschrieben. Die Anlieferung erfolgt direkt im Versuch.

Die *Versuchsberichte*, auf die noch näher einzugehen ist, haben ihren Ursprung selbstverständlich im Versuch.

Vor der *Freigabe* muß mindestens eine Maschine als *Bestätigung* genau nach der Stückliste gebaut werden. Alle Einzelteile sind zuvor auf zeichnungsgerechte Herstellung zu prüfen. Es ist wichtig, daß tatsächlich jedes Detail, das heißt zum Beispiel jede Schraube und jede Unterlegscheibe, so wie vorgeschrieben, verwendet wird. Über den Fortgang der Arbeit ist vom Versuch laufend an die Konstruktion zu berichten, damit eventuell notwendige Korrekturen von der Konstruktion veranlaßt werden. Der Abschlußbericht ist als Voraussetzung für die *Freigabe* anzusehen.

Über die *Freigabe* selbst — gemeint ist hier die Empfehlung an das Entwicklungskomitee — sollte von Versuch und Konstruktion gemeinsam entschieden werden.

4. Vom Versuchsauftrag bis zum Versuchsbericht

Anknüpfend an die durch die vorigen Abschnitte gegebene Übersicht, sollen nun an Beispielen die Arten der Wechselbeziehungen zwischen Konstruktion und Versuch demonstriert werden.

Zur Durchführung der Versuchsaufträge muß vor allem die Versuchsaufgabe gut und klar bestimmt werden. Für den Gesamtentwurf sind die Vorstellungen über die verlangten Forderungen meist noch einigermaßen genau bestimmt; viel schwieriger ist es für den Konstrukteur, für den Versuch die Aufgabe exakt zu formulieren. Vor Versuchsbeginn wird selten die Frage erörtert, welches Ergebnis erwartet wird, wieviel Stunden, welche Lastwechselzahlen — bis es zu einem Bruch kommt — erlaubt sind. Hier ist die Zusammenarbeit von Konstrukteur und Versuchsingenieur dringend notwendig. Beide zusammen müssen den Versuchsauftrag erarbeiten und sollten ihn niederschreiben.

4.1 Der Versuchsauftrag

Bei der ersten Niederschrift dieses Versuchsauftrages wird man bald finden, wie schwierig es ist, alle für den Versuch notwendigen Fakten zusammenzubringen. Ein Beispiel mag das erläutern, **Bild 17**. Mit welchen *Teilen* soll der Versuch durchgeführt werden? Hat der Konstrukteur seine Zeichnungen wirk-

lich geprüft? Wenn nach Skizzen gearbeitet wird, haben dann spätere Toleranzfestlegungen einen wesentlichen Einfluß auf das Versuchsergebnis?

Der *Versuchszweck* muß besonders deutlich beschrieben werden. Ein vollständiger Versuch besteht normalerweise aus einer ganzen Reihe von Versuchsabschnitten, aber in jedem Falle muß eine gründliche Prüfung der Versuchsteile die zeichnungsgerechte Herstellung der Teile sicherstellen. Da auch die Anbauprobe schnell durchführbar ist, sollte sie sofort durchgeführt werden. Der eigentliche Versuch mit Funktionserprobung, Ermittlung der Dauerfestigkeit im Laborversuch und die Dauererprobung im praktischen Einsatz folgen danach.

Eine Beschreibung der *Versuchsbedingungen* kann durch einen Hinweis auf ältere Versuchsvorhaben vereinfacht werden, sollte aber in keinem Falle fehlen. Hinweise auf vorhandene Prüfverfahren und Normen sind hier sehr nützlich.

Die *Kosten* der Versuche werden fast ausnahmslos von den Konstrukteuren unterschätzt, und viele Versuchsingenieure vergessen auch oft, welche Summen Geldes all die Einrichtungen verschlingen, die zu einem Versuchsbetrieb gehören. Darum

sollte möglichst immer eine Vorschätzung der aufzuwendenden Arbeitsstunden und Materialkosten gemacht werden.

Termine zu halten, ist eine besondere Kunst erfahrener Versuchsingenieure. Noch tüchtiger ist der Konstrukteur, der eine richtige Termschätzung in den Versuchsauftrag einträgt. Es bleibt noch zu erwähnen, daß natürlich jeder Mitarbeiter einer Entwicklungsabteilung *Antragsteller* für einen Versuchsauftrag sein kann. Das *Genehmigungsverfahren* hängt von der Organisation der Entwicklungsabteilung ab, sollte aber auf kürzestem Wege den Versuchsauftrag in die Hand des Versuchsingenieurs bringen.

Auf welche Weise während der Versuchsdurchführung immer wieder neue Fragen an den Konstrukteur und den Versuchsingenieur gerichtet werden, soll ein einfaches Beispiel zeigen. Der Lüfter eines Motors ist im Versuch zu erproben. In der Zusammenstellung von **Bild 18** wurden die wichtigsten Abschnitte für diesen Versuch dargestellt. So fragt die Konstruktion den Tester, ob die Unwucht des Versuchsteiles nach Vorschrift der Zeichnung eingehalten sei; der Versuchsingenieur fragt zurück: Ist die Auswuchtung möglich, ohne den Lüfter durch Materialwegnahme zu schädigen? Dieses Beispiel mag deutlich machen, daß der Erfolg des Versuchsablaufes, der Nutzen der aufgewendeten Mühen und Kosten, davon abhängt, ob Konstrukteur und Versuchsingenieur miteinander reden und ihre Erfahrungen austauschen. Gleichzeitig wird durch die verschiedene Fragestellung, durch das gegenseitige Abfragen, erreicht, daß beide zusammen eine neutrale, sachlich richtige Antwort finden können.

In gleicher Weise werden nach Bild 18 die Fragen an den Versuch und die Konstruktion bei der Anbauprobe, der Funktionsprüfung, später bei der Dauerprüfung im Festigkeitslabor und der praktischen Einsatzprüfung gestellt.

VERSUCHSAUFTRAG	
MASCHINE:	Motor DD 148
BAUTEIL:	Lüfter 3055596 R91
VERSUCHSZWECK:	1. Inspektion 2. Anbauprobe 3. Funktionsprüfung 4. Dauerprüfung 5. Dauererprobung am Motor
VERSUCHSBEDINGUNGEN:
KOSTEN:	Konto-Nr.:
Arbeitsstunden:	Material:
TERMIN:	DM
ANTRAGSTELLER:	GENEHMIGUNG:
Name	Konstruktion
VERSUCHSDURCHFÜHRUNG:	
Name	Versuch

Bild 17. Vorbild für einen Versuchsauftrag.

4.2 Die Inspektion

Aus der Vielfalt der in dem vorigen Beispiel angedeuteten Fragen seien zwei herausgegriffen, die besonders bedeutsam sind und die in der Praxis leider oft vernachlässigt werden.

Alle Konstrukteure und Versuchsingenieure machen immer wieder die Erfahrung, daß die guten Ergebnisse der Versuchsmaschinen häufig nicht mit den Serienausführungen wiederholt werden konnten. Sicherlich liegt es oft einfach daran, daß der Prototyp und die verkauften Maschinen verschieden sind, das heißt, daß wesentliche Bauteile von Prototypen und Serienmaschine abweichende Eigenschaften haben, obschon sie nach den gleichen Zeichnungen gefertigt wurden. Darum ist es dringend notwendig, daß die Inspektion eine besonders gute Abteilung des Versuchs ist, damit die in den Prototypen verwendeten Teile wirklich mit der in der Zeichnung gegebenen Beschreibung übereinstimmen. Das ist die Frage des Konstrukteurs an den Versuch. Die Frage, ob die Beschreibung der Teile und Stoffe, die zum Betrieb unserer Maschinen gehören, in der Zeichnung wirklich vollständig sind, hat der Tester dem Konstrukteur zu stellen.

Mit Hilfe von **Bild 19** wurde an verschiedenen Anwendungsfällen gezeigt, wie Maschinenteile oder Betriebsstoffe eindeutig beschrieben werden können. Dabei wendet man vier Beschreibungsarten an: Geometrische Abmessungen, Werkstoffeigenschaften, Funktionen und Betriebsverhalten der Teile und Stoffe; oft genügen diese ersten drei Beschreibungsarten nicht, und man fügt Angaben über das Herstellverfahren oder den Hersteller hinzu. Da ein Pleuel aus gut erforschten Werkstoffen und nach seit längerem bewährten Produktionsverfahren hergestellt wird, reicht hier die Beschreibung der geometrischen Abmessungen und des Werkstoffes und seines Zustandes aus. Bei einem O-Ring wurden in der Vergangenheit leider oft nur die Katalogdimensionen eines bestimmten Herstellers auf Zeichnungen angegeben; das ist aber völlig unzureichend. Welche Werkstoffmischung hält bestimmte Temperaturen bei hochlegierten Schmierölen aus, ohne zu schrumpfen, ohne die Härte zu verlieren, ohne zu schwellen? Hier sind Angaben über die verlangten Funktionen und das Betriebsverhalten bei einem Labortest besonders wichtig, da die vollständige oder auch nur ausreichende Be-

Versuchszweck	Fragestellung an	
	Versuch	Konstruktion
1 Inspektion	Teil Dimensionsrichtig Umwucht nach Vorschrift	Zeichnung richtig Auswuchtung möglich
2 Anbauprobe	Anbau möglich	Anbauvorschriften Stückliste vollständig
3 Funktionsprüfung	Kühlwirkung zu groß/klein Leistung Geräusch	Strömung-Geräusch Berechnung Konstruktion
4 Dauerprüfung	Wöhlerkurve Vergleich-Enprobte Teile	Sicherheit genug Lastannahmen richtig
5 Dauererprobung am Motor	Luftführung Überdrehzahl Schwingungen	Termin Zeichnungsfreigabe

Bild 18. Die verschiedene Fragestellung an den Versuch und die Konstruktion während der verschiedenen Phasen des Versuchs, aufgezeigt am Beispiel eines Motorlüfters.

Beschreibung der Teile		Pleuel	O-Ring	Einspritzpumpe	Hydrauliköl
1	Abmessungen	●	●	●	
2	Werkstoffeigenschaften	●	●		●
3	Funktion Betriebsverhalten		●	●	●
4	Herstellverfahren Hersteller		○	○	○

Bild 19. Wie kann ein Maschinenteil oder Betriebsstoff durch die Zeichnung beschrieben und bei der Inspektion geprüft werden?

schreibung der Werkstoffe solcher O-Ringe recht schwierig und nur mit großem Aufwand nachprüfbar ist.

Eine Einspritzpumpe wird im wesentlichen durch ihre Anbaumaße und Funktionen beschrieben, die ein bewährter Lieferant garantiert. Besonders lückenhaft — weil schwierig — sind die Angaben über die in unseren Maschinen verwendeten Betriebsstoffe. Angaben über die Hersteller und ihre phantasievoll gewählten Markennamen lassen eine weite Streuung der Eigenschaften und des geforderten Betriebsverhaltens zu. Jeder, der versuchte, für eine hochwertige Hydraulikanlage ein geeignetes Öl auszusuchen, kennt die Schwierigkeiten, die Schieberklemmen, Schäumen, Wasserabsetzen machen. Da auch hier die Werkstoffeigenschaften legierter Öle schwerlich ausreichend genau bestimmt werden können, muß meist in einer praktischen Prüfung mit der entsprechenden Hydraulikanlage das Betriebsverhalten, zum Beispiel gegen Schieberklemmen, nachgeprüft werden.

4.3 Versuchszeit — Ergebnis deutbar?

Wie durch eine gute Inspektion der Erfolg der Entwicklungstätigkeit erheblich verbessert werden kann, so ist auch die zeitgerechte Durchführung der Versuche von entscheidender Bedeutung. Eines der häufigsten Anliegen der Geschäftsleitung sind die Wünsche, die Versuchszeiten abzukürzen. Jeder Konstrukteur ist froh, schnell die Bestätigung für die Richtigkeit seiner Konstruktion zu erhalten. Mit den heute vorhandenen technischen Hilfsmitteln lassen sich die Entwicklungszeiten erheblich abkürzen. Werden die im Feld gemessenen Belastungen unserer Landmaschinen im Laborversuch reproduziert, findet man in kurzer Zeit die Schwachstellen in der Konstruktion. Aber leider sind bei Dauerversuchen und großen Belastungen auch dann noch die Versuchszeiten recht lang, und gern versucht man durch einzelne Überlastungsversuche, Antworten schneller zu bekommen. In der Regel sind die Ergebnisse solcher Versuche schwer deutbar und oft wertlos, da unsere technischen Kenntnisse über Landmaschinen noch nicht genügend fundiert sind.

Erheblich größere Zeitgewinne kann eine gute organisatorische Zusammenarbeit zwischen Konstruktion und Versuch ermöglichen. Rechtzeitige Ausstellung eines klaren Versuchsauftrages, schnelle Beschaffung der Versuchsteile durch den Konstrukteur, können Wochen sparen. Robuste Versuchsgeräte mit genauen Überwachungseinrichtungen für Belastungszeit und Beanspruchungsgröße verlangen wohl einigen finanziellen Aufwand. Wenn aber auf diese Weise viele Nachtstunden und arbeitsfreie Sonn- und Feiertage zu Versuchen ausgenutzt werden können, ist das selbst bei mehrmaliger Wiederholung der Prüfungen billiger, als ein Fehlurteil aus einem Überlastversuch, der wohl eine Zahl als Ergebnis nach sehr kurzer Zeit und bei großer Beanspruchung lieferte. Aber wie soll diese Zahl vom Versuch gedeutet werden?

Wie ist die Haltbarkeit in der Praxis? Welche Probleme die Deutung zeitgegraffter Überlastungsversuche aufwirft, sei vereinfacht kurz dargestellt. Werden Teile, die dauerhaft sein

müssen, im zeitfesten Bereich geprüft, ist für das Ergebnis der Verlauf der Wöhlerkurve bestimmend. Diese Neigung der Wöhlerkurve ist zum Beispiel bei Stahl sehr stark vom Verhältnis der Dauerfestigkeit zur Bruchfestigkeit abhängig und schwankt je nach Form in einem weiten Bereich zwischen $1/4$ und $1/10$. Bei verwickelten Bauteilen, die durch viele Einzelabmessungen in ihrer Festigkeit bestimmt werden, ist dabei außerdem die Streuung der Festigkeit der Bauteile zu beachten. Die Steigung der Wöhlerkurve im zeitfesten Bereich, im Verein mit der Streuung der Festigkeit, bestimmen die Streuung der Lebensdauer der Bauteile.

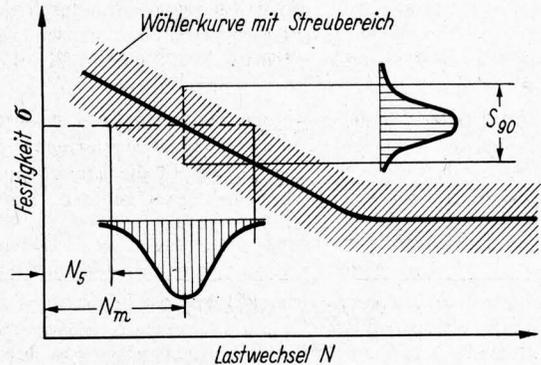


Bild 20. Streuung von Festigkeit und Lebensdauer.

- S_{90} Streuung der Festigkeit von 90% der Teile
- N_5 Lastwechselzahl bei der 5% Ausfälle
- N_m erreichte Lastwechselzahl als Mittelwert für alle Teile

In **Bild 20** wurde zu der normalen Wöhlerkurve der in der Praxis vorhandene Streubereich der Festigkeiten eines bestimmten Maschinenteiles eingezeichnet. Da die Neigungen der Wöhlerkurve im zeitfesten Bereich meist recht flach sind, ergeben sich daraus noch größere Unterschiede für die Lastwechsel bis zum Bruch. In folgendem **Bild 21** wurde der Einfluß der Streuung der Festigkeit und der Steigung der Wöhlerkurven auf den in **Bild 20** definierten Anteil der Lebensdauer zahlenmäßig bestimmt. Streut zum Beispiel die Festigkeit einer Kurbelwelle um 5%, hat die Wöhlerkurve etwa die Steigung $1/5$, ergibt sich, daß 5% der

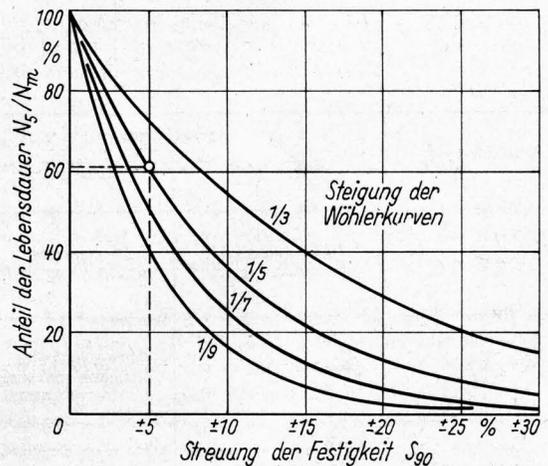


Bild 21. Verhältnis der Lebensdauer N_5 zur mittleren Lebensdauer N_m im zeitfesten Bereich in Abhängigkeit von der Streuung der Lebensdauer S_{90} und der Steigung der Wöhlerkurven.

Kurbelwellen bei einer Lastwechselzahl brechen, die nur etwa 60% der mittleren Lebensdauer aller Kurbelwellen ausmacht. Sind die Bauteile weniger gekerbt (das heißt, ist die Wöhlerkurve flacher), und ist die Streuung der Festigkeit größer (bei einem schwierigen oder wenig kontrollierten Herstellverfahren mit großen Toleranzen), können die ersten 5% der Teile bei einem Drittel bis Fünftel der mittleren Lebensdauer ausfallen. Für verschiedene Bauteile der Landtechnik wurden in **Bild 22** einige interessante Zahlenwerte zusammengestellt.

4.4 Der Versuchsbericht

Die in den Versuchsaufträgen gestellten Fragen sollen durch Versuchsberichte beantwortet werden. Solch ein Versuchsbericht muß vom Versuch mit der gleichen Mühe und Sorgfalt hergestellt werden, wie die Zeichnung vom Konstrukteur. Aber leider wird die Kunst, Berichte zu schreiben, auf keiner Ingenieurschule gelehrt. Viele Informationen für die Entwicklung gehen auf diese Weise immer wieder verloren, weil entweder die Versuchsberichte unvollständig oder schwer lesbar sind. Zwei wichtige Schritte sind vor der Abfassung des Versuchsberichtes zu tun:

1. Schritt. Die meist zahlreich vorhandenen Einzelergebnisse sind auf ihre Bedeutung für das Endergebnis hin zu prüfen. Werden mit diesen Daten die Einzelfragen des Versuchsauftrages beantwortet?

2. Schritt. Wie heißt das zusammenfassende Ergebnis? Ohne viele „Wenn“ und „Aber“ wird vom Versuch die Antwort erwartet, ist das Teil brauchbar oder nicht?

In Bild 23 sei als Beispiel die Form aufgezeichnet, die ein guter Versuchsbericht haben muß. Die notwendigen Angaben über das geprüfte Teil und den Versuchszweck wurden schon bei der Beschreibung des Versuchsauftrages erläutert, Bild 17. Herausgegliedert aus dem Hauptteil des Versuchsauftrages wird die genaue Beschreibung der Versuchsbedingungen. Auch die ausführliche Beschreibung aller Einzelergebnisse soll die schnelle Übersicht über das Gesamtergebnis nicht erschweren und wird darum im zweiten Teil des Versuchsberichtes gebracht. Alle speziellen Angaben über die Meßeinrichtungen, Eich- und Meßverfahren werden im Anhang den Berichten beigelegt.

Wichtig vor allem ist die Zusammenfassung des Versuchsergebnisses auf der ersten Seite des Versuchsberichtes.

- Es wird ein klares Ja oder Nein erwartet, ob das geprüfte Teil seinen Zweck erfüllt.
- Zur Begründung und Wertung dieser Aussage gehört der angelegte Maßstab: Gilt diese Aussage absolut? Wurde das Urteil im Vergleich mit ähnlichen und bewährten Bauteilen gefunden?
- Um die Zusammenhänge und Tendenzen zu erkennen, gehören zur Zusammenfassung immer auch graphische Darstellungen der Versuchsergebnisse.

Was tut nun die Konstruktion, wenn, wie in dem Beispiel von Bild 24, die Neukonstruktion des Motorlüfters eine um 35% geringere Biegewechselfestigkeit hat als der Vergleichslüfter und der Versuchsbericht sagt, daß die „Konstruktion“ nicht brauchbar ist?

VERSUCHSBERICHT	
MASCHINE:	Motor DD 148
BAUTEIL:	Lüfter 3 055 596 R91
VERSUCHSZWECK:	1. 2.
ERGEBNIS ZUSAMMENFASSUNG:	
a) Ist das Teil brauchbar oder nicht? b) Absolut - Im Vergleich mit anderen? c) Graphische Darstellung der Ergebnisse.	
VERSUCHSDURCHFÜHRUNG:	
Name	Datum
VERSUCHSBEDINGUNGEN:	
EINZELERGEBNISSE:	1. Inspektion 2. Anbauprobe 3. Diagramme, Tafeln
ANHANG:	Versuchseinrichtungen Meßverfahren Meß-Schriebe

Bild 23. Vorbild für einen Versuchsbericht.

Bauteil	Kennzeichnung	Steigung Wöhler- Kurve	Streuung Festigkeit S ₉₀ %	Lebensdauer- Anteil vom Mittel N ₅ /N _m %
Radschüssel Blatlfeder Ventilatorflügel	C - Stahl C - Stahl C - Stahl			66 60 57
Hinterachswelle - Ackerschlepper Kurbelwelle-Motor Stirn-Zahnrad Kegel-Zahnrad	Vergüt. Stahl Vergüt. Stahl Einsatz-St-Biegung Einsatz-St-Biegung	1/4,5 1/5 1/5	± 8 ± 7 ± 11	55 45 49 32
Rundstahlkette Rollenkette	C - Stahl C - Stahl	1/4,5 1/3,5	± 15 ± 15	28 35
Kugellager	Legierter Stahl Flächenpressung	1/3	± 78	33

Bild 22. Lebensdaueranteil für verschiedene Bauteile der Landtechnik, deren Streuung der Festigkeit und Steigung der Wöhlerkurven, nach [1] und [2] und eigenen Untersuchungen.

5. Beurteilung der Versuchsergebnisse durch die Konstruktion

Die Konstruktion erwartet, daß in einem Versuchsbericht nicht nur die Ergebnisse in Form von Meßprotokollen enthalten sind. Ein guter Bericht beinhaltet eine sorgfältige Auswertung der Ergebnisse und deren Deutung. Auch sollte eine Empfehlung oder ein Vorschlag für die weitere Bearbeitung in der Konstruktion — eventuell veranschaulicht durch Skizzen — nicht fehlen.

In der Zusammenfassung des Lüfter-Versuchsberichtes wird gesagt, daß die vorliegende Konstruktion wegen der um 35% geringeren Biegewechselfestigkeit nicht brauchbar sei. Es wäre zu diesem Zeitpunkt falsch, wenn die Konstruktion aufgrund des Ergebnisses den Lüfter neu auslegen würde. Sie soll vielmehr entwickeln, das heißt auf das Ergebnis aufbauen. Der Bericht ist folglich bis ins Detail zu analysieren und mit dem Versuch zu besprechen. Dazu gehört auch die kritische Überprüfung der Versuchsbedingungen und die Frage, ob es richtig war, aufgrund der vergleichenden Untersuchung über den neuen Lüfter zu befinden. Es ist doch denkbar, daß dieser im Betrieb geringer beansprucht wird als der Vergleichslüfter. Selbstverständlich kann es auch umgekehrt sein. Falls sich herausstellt, daß der neue Lüfter überbeansprucht wird, ist zu versuchen, die Konstruktion zu verbessern, und zwar durch entsprechende Formgebung und Materialauswahl.

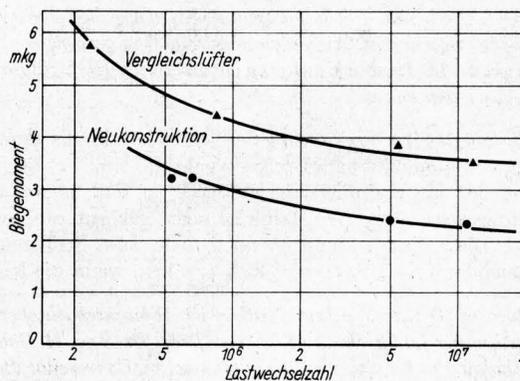


Bild 24. Ergebnis der Dauerbiegewechselfestigkeitprüfung eines Motorlüfters.

Das Gesagte läßt sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Konstruktion prüft in jedem Fall, ob die Zeichnungsvorschriften in bezug auf das untersuchte Teil vollständig sind und ob aus dem Versuchsergebnis zusätzliche Spezifikationen abzuleiten sind, die entweder in der Zeichnung selbst oder in der Montageanweisung verankert werden müssen.
2. Wird vom Versuch eine neue Form empfohlen oder eine Toleranzänderung angeraten, so sollte die Konstruktion verpflichtet sein, hierauf einzugehen. Die Empfehlungen des Versuchs entbinden die Konstruktion jedoch keineswegs von den ihr obliegenden Aufgaben, nämlich ihrerseits die Vorschläge am Reißbrett zu prüfen und zu belegen. Erst nach der Prüfung sind die Zeichnungen zu ändern, denn letztlich bleibt die Konstruktion für die Zeichnungen allein verantwortlich.

Zusammenfassung

Von vielen verschiedenen Blickrichtungen aus wurden die Wechselbeziehungen zwischen Konstruktion und Versuch dargestellt.

Mit einem gut geprüften und genauen Entwicklungsauftrag soll die gemeinsame Arbeit von Konstruktion und Versuch beginnen. Alle Abteilungen müssen bei der Ausarbeitung des Entwicklungsauftrages mitwirken, damit ein verkäufliches und gewinnbringendes Produkt entstehen kann.

Eine gute Durchführung der Entwicklungsaufgabe ist nur möglich, wenn für die Konstruktion und den Versuch eine Organisationsform gefunden wird, die eine klar abgegrenzte Aufgabenteilung ermöglicht. Gleichzeitig sollen die Fachleute optimal in abgeschlossenen Gruppen tätig sein und die Entwicklung des ganzen Produktes streng überwacht werden.

Besonders eingehend wurden die Verknüpfungen der Arbeit von Konstruktion und Versuch erläutert. Der Entwicklungsauftrag soll möglichst umfassend und schnell an alle Gruppen der Konstruktion und des Versuchs gegeben werden, die im ständigen Erfahrungsaustausch die Aufgabe so lange gemeinsam bearbeiten, bis am Ende der Entwicklung die Maschine von der Konstruktion zur Produktion freigegeben werden kann, **Bild 25**. Daß für den Erfahrungsaustausch von Konstruktion

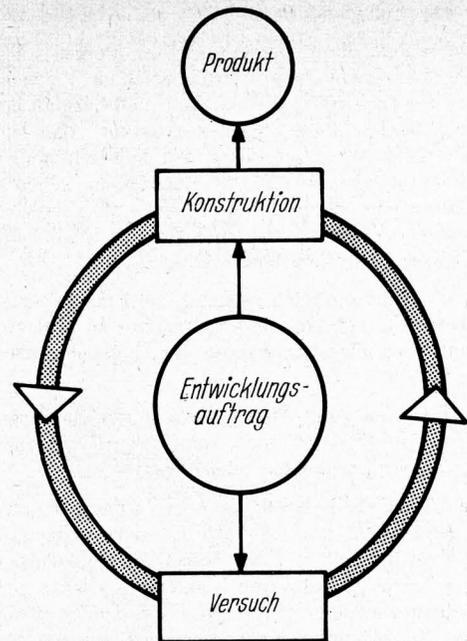


Bild 25. Gedankenaustausch zwischen Konstruktion und Versuch vom Versuchsauftrag bis zum fertigen Produkt.

und Versuch bestimmte Regeln gelten, wurde ebenso gezeigt, wie auch die Schwierigkeiten, die der Erfüllung der gemeinsamen Aufgaben entgegenstehen.

Alle diese Gedanken über die Wechselbeziehungen zwischen Konstruktion und Versuch sind anwendbar auf jede Art der Entwicklungstätigkeit und sicherlich nicht an eine bestimmte Betriebsgröße gebunden.

Schrifttum

- [1] *Reti, Pal*: Die Streuung der Ergebnisse von Dauerschwingversuchen und ihr Einfluß auf die Aufzeichnung der Wöhlerkurven. *Materialprüfung* 4 (1962) Nr. 10, S. 357/62.
- [2] *Lipsow, Ch.*: Design reliability of automotive components. SAE Paper SP 240. Meeting New York 1962.

DK 631.335:632.982

Das Ausbringen von Perlkalkstickstoff mit Schleuderstreuern

Von **Albert Mathes** und **Manfred Brübach**, Berlin

Die Entmischung eines Kornhaufwerkes mit breitem Korngrößenspektrum, die beim Fliegen durch die Luft entsteht, kann unter Umständen unerwünschte Folgen haben. Die mit Schleuderstreuern beim Ausbringen von Mineraldünger mit Korngrößenabhängiger Wirkung (z. B. Perlkalkstickstoff) gewonnenen Ergebnisse werden analysiert. Sie lassen Rückschlüsse auf den sinnvollen Feldeinsatz der Schleuderstreuer zu. Außerdem wird ein Weg gezeigt, wie deren Konstruktion im Hinblick auf eine gleichmäßige Herbizidwirkung ausgelegt werden kann.

Mit zunehmender Verbreitung des Schleuderstreuers zum Ausbringen von mineralischem Dünger wuchs das Angebot der Düngerhersteller an granuliertem Material, so daß heute schon schätzungsweise 60% der Handelsdünger gekörnt ausgestreut werden. Diese Entwicklung ist noch nicht zum Stillstand gekommen; der Prozentsatz wird sich erhöhen, wenn die Verfah-

renstechniker wirtschaftliche Wege zur Granulierung aller Düngerarten gefunden haben werden.

So wünschenswert eine grobe Körnung für die Streuarbeit ist, dürfen doch Gesichtspunkte der Nährstoffverteilung u. ä. nicht unbeachtet bleiben. Insbesondere muß die Entmischungserscheinung, die beim Streuen eines Kornhaufwerkes mit breitem Korngrößenspektrum bei Verwendung von Schleuderstreuern nicht zu verhindern ist, zumindest bei den Düngerarten berücksichtigt werden, bei denen Korngrößenabhängige Wirkungen auftreten. Im folgenden soll am Beispiel von Perlkalkstickstoff, der vom Landwirt auch zur Unkrautvernichtung gestreut wird, untersucht werden, wie stark der Entmischungseffekt ist und welche Auswirkungen sich auf die Herbizidwirkung ergeben.

Verhalten des Düngers nach dem Abwurf

Die Düngerteilchen unterliegen beim Streuen dem Luftwiderstand

$$W_L = c_w q F,$$

worin c_w der Formwiderstand, $q = \frac{1}{2} \rho_L \bar{w}^2$ der Staudruck, F die

Privatdozent Dr. agr. Albert Mathes ist Wissenschaftlicher Rat am Institut für Landtechnik (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich) der Fakultät für Landbau an der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg; Dipl.-Ing. Manfred Brübach ist wissenschaftlicher Assistent an demselben Institut.