

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die grössten Beanspruchungen in Knotenpunkten und in Krafteinleitungsstellen auftreten. Die Voraussetzung für die Beurteilung der Haltbarkeit einer Knotenverbindung ist die Kenntnis des Verformungsmechanismus. Aus ihm kann man in vielen Fällen die richtige Gestalt der Knotenverbindung vorausbestimmen.

Schrifttum

- [1] C. Weber: Torsion und Biegung durch eine Endquerlast (Schubmittelpunkt). ZAMM (1924) S. 334, ZAMM (1926) S. 85.
- [2] E. Trefftz: Schubmittelpunkt. ZAMM (1935) S. 220.
- [3] C. Weber: Die Lehre von der Drehungssteifigkeit. Forsch. Ing. Wes. (1921) 249 und nach einer im W.S. 1950/51 an der T.H. Braunschweig gehaltenen Vortragsreihe über Querkraftmittelpunkt und Drehpunkt.
- [4] O. Dietrich und E. Lehr: Das Dehnlinienverfahren. Z. VDI 76 (1932) 973/82.

- [5] F. Röttscher und R. Jaschke: Dehnungsmessungen und ihre Auswertung. Berlin 1939.
- [6] W. Trost: Spannungen und Werkstoffausnutzung in Fahrzeugrahmen. Z. VDI 87 (1943) 467/72.
- [7] W. Kloth, Th. Stoppel und W. Bergmann: Ackerwagen, Gesetze des Fahrens und der Konstruktion. Z. VDI. 93 (1951) erscheint demnächst.
- [8] Th. Stoppel: Vergleichsprüfung luftbereifter Ackerwagen. Neue Mitt. f. d. Landw. 5 (1950) H. 24 und 43 bis 47.
- [9] A. Thum und K. Federn: Spannungszustand und Bruchausbildung. Berlin 1939. S. 46.
- [10] W. Bergmann: Steifigkeit sperriger Bauteile. Aufsatz a.a.O. dieses Heftes.
- [11] W. Kloth: Leichtbaufibel. München-Wolfratshausen, 1947.
- [12] A. Thum und A. Erker: Gestaltfestigkeit von Schweissverbindungen. Berlin 1942.

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode
Direktor: Prof. Dr. Ing. W. Kloth

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Ing. Walter Bergmann, (20b) Braunschweig, Forschungsanstalt für Landwirtschaft

MODELLE ALS HILFSMITTEL BEI DER NEUFORMUNG VON LANDMASCHINEN

Von G.W. Brenner

Modelle sind im vorliegenden Sinn masstäbliche Verkleinerungen von grossen Ausführungsformen und werden in der Technik heute vielfach verwendet.

Sehr bekannt für den Ingenieur sind die Messungen der Strömungsforschung geworden an Modellen von Flugzeugen, Schiffen und Kraftfahrzeugen, im Wind- oder Wasserkanal zum Studium der Strömungswiderstände, zur Festlegung von Flügelprofilen usw. Hier hat der Modellbau einen wesentlichen Beitrag zum Auffinden neuer Gesetze gebracht, und es sind mathematische Berechnungsverfahren entwickelt worden, um das im Modell Gefundene in die Grossausführung übertragen zu können (*Prandtl*[1]).

Auch im Brücken- und Kranbau sowie bei Wasserbauanlagen z.B. Talsperren und in der Architektur sind Modelle üblich. Hier handelt es sich allerdings meist um Anschauungsmodelle.

Aber auch verwickelte Festigkeits-Untersuchungen, besonders an Fachwerken und Schalenbaukörpern, werden heute häufig an Modellen durchgeführt. Besonders bekannt geworden sind die diesbezüglichen Arbeiten von *Kamm* [2, 3].

Den vorerwähnten Beispielen ist gemeinsam, dass man durch ein Modell die Kosten für die grosse Aus-

führung verkleinert oder ganz erspart und gewisse Messungen und Studien an der Modellausführung besser vornehmen kann als an der grossen.

Auch bei der Neuformung von Landmaschinen kann man mit gutem Nutzeffekt Modelle verwenden. Der Verfasser hat mit Modellen im Masstab 1 : 5 und 1 : 10 in den letzten Jahren bei der Durchführung verschiedener neuer Landmaschinen-Konstruktionen so gute Erfahrungen gemacht, dass es interessant sein mag, zu hören, wie die Anwendung erfolgt, worin der Wert derartiger Modelle liegt und wie vorzugehen ist.

Es wird natürlich auch im Landmaschinenbau Fragen geben, wo man mit einer Modellanfertigung wenig weiterkommt. Wenn man sich z.B. über den Schnittvorgang eines neuen Häckselmessers Gedanken macht oder die Wölbung eines Pflug-Streichbrettes in einer bestimmten Bodenart studieren will, oder wenn man einen Dreschvorgang untersucht, wird es schwer sein, durch den Bau eines Modelles die Sache besser zu durchleuchten.

Wenn aber ganz neue Bauformen geschaffen werden sollen, überhaupt bei allen Fragen der baulichen Anordnung, der Steifigkeit, der Durchbildung

von Knotenpunkten und dergl. (Bild 1), können Modelle gute Dienste leisten. Dabei kann man unterscheiden:

1. Anschauungsmodelle, bei Fragen der äusseren Form,
2. Funktionsmodelle, zur Klärung und zum Studium der Funktionen,
3. Konstruktionsmodelle, bei Fragen des Aufbaues,
4. Festigkeits- und Steifigkeitsmodelle, bei Fragen der Haltbarkeit und Verformung.

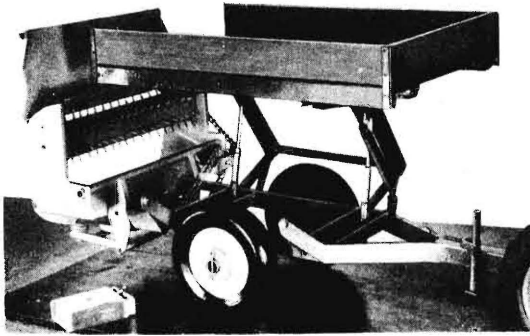


Bild 1. Funktions- und Konstruktionsmodell eines neuartigen Einachs-Umladekippers, kombiniert mit einer Stallmiststreuereinrichtung im Masstab 1 : 10.

Der Landmaschinenkonstrukteur steht häufig vor der Aufgabe, bekannte Arbeitselemente in neuartiger Kombination zu vereinigen, also z.B. Arbeitsgeräte ihrer Lage nach und in der Art der Bedienung am Schlepper zu studieren (vergl. Bild 2); oder er will mit einer Kombination von Landmaschine, Schlepper und Ackerwagen ein neues Arbeitsverfahren durchführen und will sich über die Bewegungen der einzelnen Maschine bei Kurvenfahrten über das Feld ein möglichst anschauliches Bild machen.

Selbstverständlich kann man sich auch mit den üblichen technischen Zeichnungen einen Überblick verschaffen. Ein Masstabmodell wird aber die Anschaulichkeit doch wesentlich unterstützen.

Vor allem bei verwickeltem konstruktiven Aufbau, der Art der Tragrahmen, Schwenkbarkeit, Steifigkeit von Schalen- oder Rohrkonstruktionen kann ein Modell die Dinge klarer, einfacher und anschaulicher werden lassen und den Gesamtweg, den eine Konstruktion vom Reissbrett bis zur fertigen Ausführung in der Werkstatt und in der Praxis geht, ganz wesentlich verkürzen.

Wie entsteht im allgemeinen heute eine neue Landmaschinen-Konstruktion und wie entwickelt sie sich bis zur praktischen Reife? Es gibt natürlich viele Möglichkeiten und verschiedene Wege. In manchen technischen Gebieten (z.B. Motoren- oder Dampfturbinenbau), wo der Konstrukteur schon über ein grosses Mass von Wissen verfügt, wird bekanntlich schon recht treffsicher konstruiert. Hier ist es ihm möglich, von seiner neuen Konstruktion, die er im Kopf hat, auf Grund seines Fachwissens genau

vorauszusagen, wieviel die Endausführung wiegt, was sie leistet, wie steif sie ist, wie und was sie verrichtet und wie sie sich unter den verschiedenen Bedingungen verhält. Das ist zweifellos der Idealfall, der aber auch im Landmaschinenbau angestrebt werden müsste.

Leider ist es mit unserem Wissen über landtechnische Dinge oft sehr schwach bestellt, weshalb die meisten Neukonstruktionen auf unserem Gebiet auf dem Wege des Tastens, Verwerfens und wieder Von-vorne-Anfangens entstanden sind. Auf Grund einer mehr oder weniger festen Vorstellung „so müsste es gehen“, entstehen Skizzen oder technische Zeichnungen, und dann wird mit einigen Getreuen eine Versuchsausführung gebaut, die dann im praktischen Versuch einige Male zusammenbricht, geändert, neu gebaut, verworfen und wieder gebaut wird, bis allmählich ein einigermaßen verkäufliches Produkt vorliegt.

Gerade aber um diesen Weg abzukürzen und um Umwege zu vermeiden, wird es häufig möglich sein, durch genaue Studien an richtig gebauten Modellen (die entweder Anschauungsmodelle, Konstruktions- oder auch Festigkeitsmodelle sein können), sich seine Konstruktion schon vor dem Bau der grossen Ausführungsform so anschaulich und in allen Einzelheiten durchgeknetet vorzustellen, dass wesentliche Entwicklungsarbeit schon am Modell geleistet wird und die erste wirklichkeitsgetreue Ausführungsform damit schon in einer höheren Entwicklungsstufe vorliegt als ohne Modell. Das Masstabmodell wird damit zum Entwicklungsmodell, wodurch erhebliche Kosten gespart werden können. Die Kosten der Modellanfertigung, die häufig durch einen Lehrjungen oder Schlosser nach Anweisung erfolgen kann, sind nicht gross.

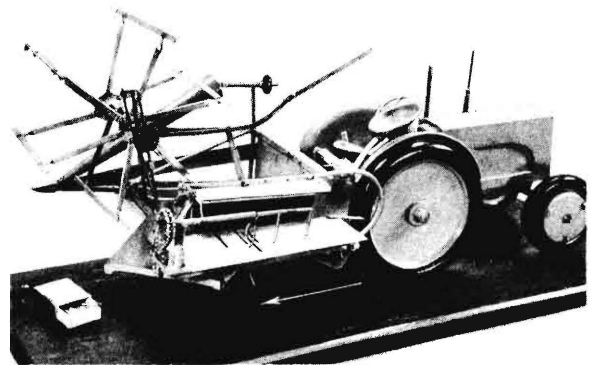


Bild 2. Anschauungsmodell eines neuartigen Frontmäbinders, auf rückwärts fahrendem, normalem Schlepper aufgebaut. Modell im Masstab 1 : 10.

Der Sprung vom Reissbrett in die Werkstatt ist bekanntlich bei jeder Neukonstruktion etwas kritisch und kann durch die Einschaltung masstäblicher Verkleinerungen erleichtert und gesichert werden. Auch in der Werkstatt wird man feststellen, dass dort viel schneller begriffen wird, um was es bei der neuen Anordnung geht, wenn die technischen

oder perspektivischen Zeichnungen noch durch ein Modell anschaulich gemacht werden. Viel Umwege und Leerlaufkönnen vermieden werden.

Von Blechabwicklungen können Verkleinerungen im Masstab 1 : 10 in Papier-Karton mit allen Abkantungen, Lochungen, Winkeln und Einschnitten der Zeichnung mitgegeben werden und auch hier wird man feststellen, dass die Leute in der Werkstatt damit schneller vorankommen.

Ausser diesen Anschauungs-, Funktions- und Konstruktionsmodellen sind aber auch reine Festigkeits- und Steifigkeitsmodelle ein gutes Mittel, Landmaschinen-Neukonstruktionen voranzutreiben und bei der Grossausführung keine Fehler unterlaufen zu lassen. Schon bei der Anfertigung eines Anschauungsmodelles wird man feststellen, wo festigkeitsmässig die schwachen Punkte der Konstruktion liegen. Man wird schon durch Verdrehen und Befühlen des Modelles eine gewisse Vorstellung davon bekommen können, wie steif die Grossausführung werden wird. Dies gilt besonders für jüngere Mitarbeiter, bei denen das konstruktive Gefühl durch die Verwendung masstäblicher Verkleinerungen sehr gut geschult werden kann. Es werden beim Modellstudium nur selten Fehler unterlaufen, da die grosse Ausführung an genau denselben Punkten ihre Schwächen aufweist, wo auch vorher das Modell bei Druck oder Verwindung nachgegeben hatte.

Man kann dieses Verfahren aber noch in quantitativer Hinsicht ausbauen, wenn man von der geplanten Konstruktion unter Berücksichtigung der unten¹⁾ angegebenen Modellgesetze masstäbliche Verkleinerungen anfertigt. Bei einem Verkleinerungsmasstab 1 : 10 müsste dann ein 100 mm Rohr 10 mm, ein Winkel $50 \times 50 \times 5 = 5 \times 5 \times 0,5$ mm ausgeführt werden. Bringt man an diesen Verkleinerungen Belastungen in der Richtung an, wie sie auch in Wirk-

1) s. W. Bergmann, Gesetze zur statischen Modellähnlichkeit, a.a.O. dieses Heftes.

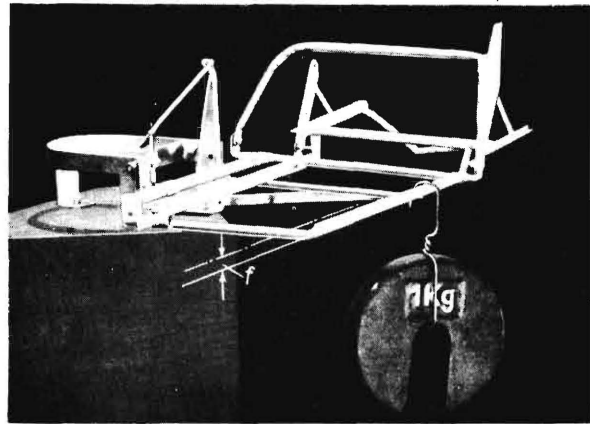


Bild 3. Messung der Steifigkeit des Rahmens einer Mähmaschine (Frontbinder) auf dem Modell-Prüfstand (Modellmasstab 1 : 10).

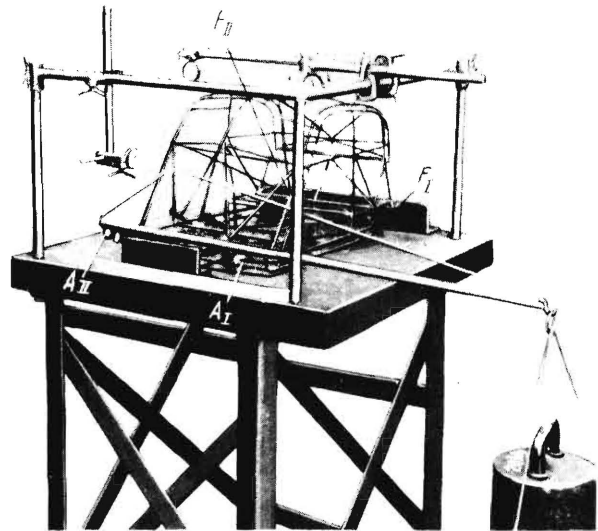


Bild 4. Prüfstand für Karosseriemodelle (nach Kamm [2]).

lichkeit an der Konstruktion zu erwarten sind, so kann man Durchbiegung und Verwindung des Modelles messen und daraus errechnen, wie sich die

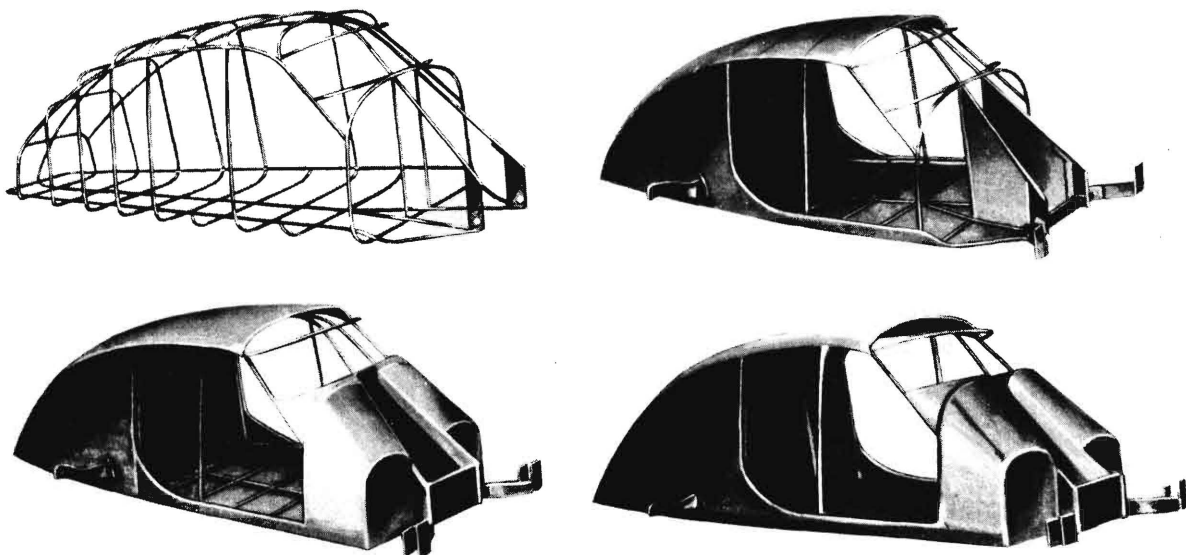


Bild 5. Selbsttragende Karosseriemodelle in verschiedenen Ausführungen im Masstab 1 : 5 (nach Kamm [3]).

wirkliche Konstruktion verhält. Die Grösse der Belastung ändert sich quadratisch mit dem Modellmasstab, d.h. wenn die natürliche Ausführung 10 mal grösser ist als das Modell, ist die entsprechende Last 100 mal grösser.

Ein Prüfstand für ein derartiges Modell ist in Bild 3 dargestellt. Bringt man an diesem Modell an einem gewissen Punkt eine Last von 1 kg an und biegt sich dieses Modell unter dieser Last um 2 mm durch, so kann man nach den Ähnlichkeitsgesetzen sagen, dass sich die Grossausführung bei einer Last von 100 kg um 20 mm durchbiegen wird. Eine derartige Voraussage über die Verformung einer Konstruktion, die sich mit mathematischen Mitteln infolge ihrer verwickelten Gestalt nicht mehr berechnen lässt, kann für den Konstrukteur von ausserordentlicher Bedeutung sein. *Kamm* [2, 3] hat bei Festigkeitsberechnungen an neuartigen Karosserie-Formen, die in Schalenbauweise ausgebildet waren, mit gutem Erfolg derartige Modelle benutzt (Bild 4 und 5).

Es ist hier ein bisher noch wenig bekannter und einfach zu beschreitender Weg auch für den Landmaschinen-Konstrukteur vorhanden, mit Hilfe von richtig durchgebildeten Modellen das Verhalten zukünftiger verwickelter Konstruktionen vorauszubestimmen.

Zusammenfassend können wir also die Arbeit mit masstäblichen Verkleinerungen, die teils Anschauungsmodelle, Funktionsmodelle, Konstruktions- oder Festigkeitsmodelle sein können, für den Landmaschinenbau etwa wie folgt umreissen:

1. Der Konstrukteur entwickelt seine Konstruktion nicht nur anhand von Zeichnungen und Skizzen, sondern anhand eines Masstabmodelles weiter. Die Endkonstruktion kann damit in allen Einzelheiten klarer gemacht werden als auf der Zeichnung allein.
2. Abänderungen am Modell sind billiger als an der ausgeführten Maschine und Umwege im grossen werden gespart. Für den Aussenstehenden können durch Anschauungsmodelle Konstruktion und Funktion klarer werden. Der Konstrukteur kann sich selbst und andere von der Richtigkeit seiner Idee leichter überzeugen und die praktische Durchführbarkeit besser erläutern als an Hand von Zeichnungen.
3. Der kritische Sprung vom Reissbrett in die Werkstatt wird erleichtert, da eine Zwischenstufe zwischen der rein technischen Zeichnung und der ausgeführten Konstruktion entsteht.
4. Die Lösung von reinen Festigkeitsaufgaben, Entwicklung von Schalenbau-Konstruktionen, Knotenpunkten, Tragrahmen kann durch Masstabmodelle geklärt und ihr Verhalten rechnerisch ermittelt werden.

Schrifttum:

- [1] *L. Prandtl*: Führer durch die Strömungslehre. Braunschweig 1942, S. 96/98.
- [2] *W. Kamm, L. Huber und W. Krautter*: Untersuchungen über die Formsteifigkeit eines selbsttragenden Wagenkörpers und eines Fahrzeugrahmens. Kraftfahrtechn. Forsch. arb. Heft 1, S. 11/18. Berlin 1936.
- [3] *W. Kamm, P. Riekert und W. Krautter*: Untersuchung der Formsteifigkeit eines selbsttragenden Wagenkörpers in Schalenbauweise. Kraftfahrtechn. Forsch. arb. Heft 4, S. 1/5. Berlin 1936.

Institut für Landmaschinenforschung
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Ing. Walter G. Brenner, (20b) Braunschweig, Forschungsanstalt für Landwirtschaft