Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 87 (1969)
Heft: 8

Artikel: Über die Serienfertigung eng tolerierter Schraubenfedern
Autor: Künzler, M.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-70599

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 21.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, ZÜRICH

Über die Serienfertigung eng tolerierter Schraubenfedern

DK 62-272.22:658.51

Von **M. Künzler**, Masch.-Ing., Zürich

1. Einleitung

Der Lauf eines Verbrennungsmotors weist eine der Drehzahl überlagerte Folge von Oberschwingungen mit Beschleunigungen und Verzögerungen auf. Im Automobil- und Lastwagenbau wird wegen Platzmangel und Gewichtersparnis, sowie aus energiewirtschaftlichen Gründen das Massenträgheitsmoment des Schwungrades begrenzt, weshalb diese Drehschwingungen nur mässig verringert werden und sie sich, besonders im Falle starrer Trennkupplungen, auf die nachfolgenden Triebwerkteile fortpflanzen. Die Folgen davon sind erhöhter Verschleiss der Übertragungsorgane und unangenehme Geräusch- und Vibrationsentwicklung.

Um diese Nachteile so weit wie möglich zu unterbinden, wird in die Kraftübertragungseinheit zwischen Motor und Getriebe ein Reibungs-Federungs-System eingebaut. Die Übertragungseinheit besteht aus der am Schwungrad 2 (siehe Bild 1) befestigten Trennkupplung und dem Übertragungsglied 3 (Kupplungsscheibe). Im eingekuppelten Zustand ist die Kupplungsscheibe 3 zwischen dem Schwungrad 2 und der Kupplungsanpressplatte 4 unter der Wirkung der Federn 5 festgeklemmt und überträgt infolge ihrer Haftreibung das Drehmoment des Motors.

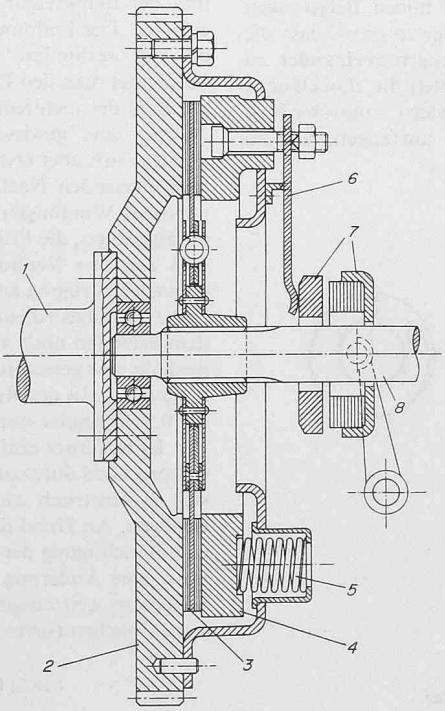
Die Dämpfung der Motordrehschwingungen geschieht in der Kupplungsscheibe, welche in Bild 2 schematisch dargestellt ist. Zu diesem Zweck wird zwischen der die Reibungsbeläge 9 tragenden Mitnehmerscheibe 10 und der Nabe 11, welche mit dem Getriebe formschlüssig verbunden ist, eine bestimmte Anzahl Federn 12 und Reibungssegmente 13 eingebaut. Zwischen Umfang der Nabenflansche und Mitnehmerscheibe besteht ein Spiel *s*, welches eine gegenseitige Verdrehung beider Bauteile ermöglicht. Die Reibung wird dadurch erzeugt, dass die gehärteten Abdeckbleche 14 vor dem Vernieten auf die Nabe kugelabschnittförmig gebogen werden. Beim bündigen Aufnieten auf den Nabenflansch stehen diese Bleche dann unter starker Vorspannung und drücken auf die Reibungssegmente 13, welche mit einer grobkörnigen Eisenphosphatschicht versehen sind[1]). Die für das Dämpfungssystem nötige Drehfederung wird durch den Einbau einer der Grösse des zu übertragenden Motordrehmoments angepassten Anzahl Federn 12 erzeugt. Sowohl in der Mitnehmerscheibe 10 wie auch in den Abdeckblechen 14 ist eine entsprechende Anzahl Fenster eingestanzt, in welchen die Federn 12 unter Vorspannung geführt und gehalten werden. In Ruhestellung liegen die Fenster genau übereinander, und die Federn sind nur wenig vorgespannt. Jede rotierende Relativbewegung der Mitnehmerscheibe 10 gegenüber der Nabe 11 mit den aufgenieteten Abdeckblechen 14 um den Ausschlagwinkel α verursacht eine Verkleinerung der lichten Gesamtweite in Umfangrichtung der genannten Fenstern und drückt die Federn 12 zusammen. Die Einzelheit «A» in Bild 2 veranschaulicht dieses Arbeitsprinzip.

Unter den Schraubendruckfedern für Sonderzwecke, bei welchen funktions- und konstruktiv bedingte Einschränkungen der Masstoleranzen notwendig sind, nehmen jene für den hier beschriebenen Zweck eine Sonderstellung ein. Auf die einzelnen Merkmale solcher Federn wird im Verlauf dieses Aufsatzes noch eingegangen. Es soll hier, an Hand eines Beispieles, ein Einblick in die Vorkehrungen und Massnahmen gegeben werden, welche eine wirtschaftliche Produktion dieser Maschinenelemente erleichtern können.

[1]) Die hier beschriebene Konstruktion gilt nur als Beispiel. Für die Erzeugung der Reibung werden auch phosphatierte Stahlringe, sowie solche aus Spezialwerkstoffen verwendet. Der Reibungsdruck wird auch mittels Schrauben- oder Tellerfedern erzeugt.

Legende zu den Bildern 1 und 2:

1 Kurbelwelle
2 Schwungrad
3 Kupplungsscheibe
4 Kupplungs-Anpressplatte
5 Anpressfeder
6 Ausrückhebel
7 Ausrückringe
8 Getriebewelle
9 Reibungsbeläge
10 Mitnehmerscheibe
11 Nabe
12 Dämpferfeder
13 Reibungssegmente
14 Abdeckblech



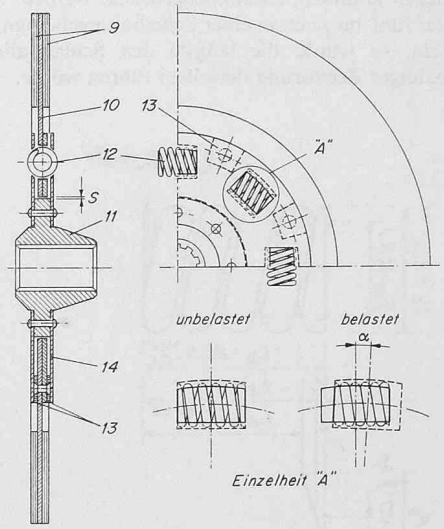


Bild 1 (rechts). Schematischer Aufbau einer Fahrzeugtrennkupplung

Bild 2 (rechts aussen). Schematischer Aufbau einer Kupplungsscheibe mit Drehschwingungsdämpfer

Tabelle 1. Vergleich der Toleranzen bei der Feder nach Bild 3 mit denen nach DIN 2095 Güteklasse «fein»

	Toleranz n. Zeichnung		Toleranz n. DIN 2095 «fein»	
	angegeben	gesamte Abweichung	angegeben	gesamte Abweichung
D_a mm	$^{-0,2}$	0,2	±0,15	0,3
L_0 mm	$^{+0,2}_{-0,1}$	0,3	±0,3	0,6
P_k kp	$^{+6}_{-3}$	9,0	±8% = ±3,2	6,4
L_B	$^{-0,4}$	0,4	—.—[2])	—

[2]) DIN 2095 sieht nur die Angabe eines Höchstmasses für die Blocklänge vor, so dass nicht von einer Toleranz gesprochen werden kann.

2. Problemstellung

In der Gestaltung des Reibungs-Federungs-Paares stellt sich dem Konstrukteur insofern ein interessantes Problem, als das Federungssystem und die Elemente zur Erzeugung der erforderlichen, starken Reibung auf kleinstem Raum unterzubringen sind. Die modernen Belagsmaterialien erlauben nämlich ein rutschfreies Übertragen grosser Drehmomente auf kleinsten Flächen ohne wesentliche Erhöhung des Verschleisses. Damit lässt sich der Schwungrad-Durchmesser klein halten, was man auch gerne ausnutzt. Der Abstand der Federn zum Scheibenmittelpunkt ist aus diesem Grunde begrenzt. Hinzu kommt, dass die zu übertragenden Drehmomente mit steigender Motorleistung grösser werden. Diese beiden Umstände bewirken sehr hohe Krafteinwirkung auf die Dämpferfedern.

In der Regel werden diese Federn so bemessen, dass das grösste Motor-Drehmoment einem Federweg f entspricht, der etwa die Hälfte bis über zwei Drittel des möglichen Scheibenausschlages gegenüber der Nabe beansprucht. Es bleibt bis zum Erreichen der Blocklänge der Federn ein Überschuss, der zum Auffangen schlagartiger Beanspruchungen dient, wie sie z. B. beim plötzlichen Wechsel vom Schub- auf den Beschleunigungsbetrieb oder bei Zündungsaussetzern entstehen können.

Wie bereits erwähnt, werden die Federn im Durchmesser fast spiellos und in der Länge mit kleiner Vorspannung in Aussparungen gehalten und geführt, welche in übereinandergeschichteten, nachträglich gehärteten Blechen ausgestanzt sind. Jede Schwankung im Federdurchmesser oder in deren Länge wirkt sich infolge der geschilderten Einbauverhältnisse nachteilig aus. Dem Verwendungszweck entsprechend sind die Federungskonstanten $c = P/f$ sehr hoch, denn die kleinen Winkelausschläge der Scheibe (bis rd. 4°) zwingen dazu, auf sehr kurzem Federweg grosse Kraftänderungen zu erzielen. Aus diesem Grund wirken sich Längenabweichungen ebenfalls erschwerend auf die Montage aus. Bei abnormal hohen Belastungen wird der Ausschlagwinkel α der Bleche zueinander so gross, dass die Federn bis zur Blocklänge, also bis die Windungen aneinander zu liegen kommen, zusammengedrückt werden. Sollten die Blocklängen der fünf bis neun in einer Scheibe eingebauten Federn unterschiedlich sein, so würde die längste den Schlag allein auffangen, was zu baldiger Zerstörung derselben führen würde.

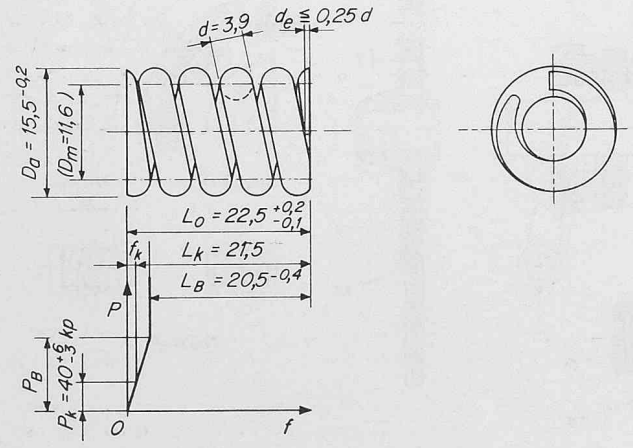


Bild 3. Feder für Kupplungs-Drehschwingungsdämpfer

Die geschilderten Umstände begründen die hohen Genauigkeitsansprüche, welche an solche Federn gestellt werden müssen. Nachstehend sind die Zeichnungs-Kenndaten einer für diesen Verwendungszweck typischen Feder aufgeführt (siehe auch Bild 3):

Drahtdurchmesser	d	(mm)	3,9
Feder-Aussendurchmesser	D_a	(mm)	$15,5^{-0,2}$
Länge unbelastet	L_0	(mm)	$22,5^{+0,2}_{-0,1}$
Prüfkraft	P_k	(kp)	$40,0^{+6}_{-3}$
bei Kontroll-Länge	L_k	(mm)	21,5
Blocklänge	L_B	(mm)	$20,5^{-0,4}$
federnde Windungen	i_f		3,9
Windungen gesamt	i_g		5,25
Schiefstand max.			2,3 °

Enden angelegt und plangeschliffen

Material: Ölschlussvergüteter Ventilfederstahldraht nach DIN 17223 Blatt 2 ($d \pm 0,03$ mm; $G \cong 8300$ kp/mm²; $\sigma_B = 143$ bis 153 kp/mm²).

3. Vorbereitungen

Die genannten Zeichnungsangaben bereiten dem Federnhersteller schwer zu lösende Probleme, und zwar nicht nur wegen den engen Toleranzen, deren Einhaltung sowohl dem Personal als auch der Fertigungseinrichtung sehr hohe Ansprüche stellt, sondern auch wegen der Tatsache, dass alle die Feder kennzeichnenden Abmessungen toleriert sind, was einen Fertigungsausgleich im üblichen Sinne verunmöglicht. Ein Vergleich mit den in DIN 2095 festgelegten zulässigen Abweichungen für den Gütegrad «fein» veranschaulicht die Strenge der hier angestellten Masstäbe, siehe Tabelle 1.

Ferner schreibt DIN 2095 vor, dass dem Hersteller entweder i_f und d oder i_f und D_a freigelassen werden sollten, um die Fertigungsschwankungen auszugleichen, eine Forderung, der in diesem Fall nicht entsprochen wird (i_f ist indirekt durch die Einschränkung bei L_B toleriert).

Bevor die Herstellung dieser Federn in Angriff genommen werden kann, ist es unumgänglich, sie genauestens durchzurechnen. Bei der Konstruktion von Drehschwingungsdämpfern ist es üblich, dass Prüfkraft, Blockkraft und Federkonstante berechnet und danach der Drahtdurchmesser festgelegt wird, um nachher auf Grund der sich konstruktiv ergebenden Blocklänge die Anzahl der Gesamtwindungen zu bestimmen. Daher sind diese Zeichnungsangaben, insbesondere das Verhältnis der federnden zu den nicht federnden Windungen, mit Vorsicht zu behandeln. Man findet nämlich häufig Forderungen, die in Wirklichkeit bei angelegten und plangeschliffenen Enden nicht zu erfüllen sind, wie im oben genannten Beispiel, wo nur 0,675 nicht federnde Windungen pro Ende verlangt werden.

Das Verformungsverhalten der plangeschliffenen Endwindungen und der unmittelbar folgenden unter Lasteinwirkung ist schwer zu erfassen. Der Endpunkt der letzten Windung stützt die vorhergehende ab und verhindert ihr Ausweichen in der Kraftangriffsrichtung. Betrachtet man den Draht als biegungsstarr um diesen Punkt, so wäre die Zahl der nichtfedernden Windungen je Ende annähernd gleich 1, da nur eine gewisse Verdrehung stattfinden könnte. Der Draht verbiegt sich aber etwas um diesen Punkt, und genaue Messungen mit anschliessenden Nachrechnungen ergeben, dass die Mindestzahl der inaktiven Windungen pro Federende sich zwischen 0,8 und 1,0 bewegt, vorausgesetzt, die Prüflänge werde dazu nicht kürzer gewählt als etwa 1,25 L_B. Der Verlauf der letzten Windung im Übergang von der normalen Steigung auf den Abstand Null kann die einem bestimmten Federweg zugeordnete, aktive Windungszahl ändern, ebenso die nach dem Schleifen noch vorhandene Drahtstärke am Windungsendpunkt, weshalb eine genauere, allgemeingültige Bestimmung dieser Zahl nicht möglich ist. In der Regel kann, als Anhaltspunkt dafür, der Wert 0,8 bis 0,9 eingesetzt werden.

Es ist ferner nötig, die Nachrechnung den Toleranz-Mittelwerten entsprechend durchzuführen, da die herstellungsbedingten Streuungen sich symmetrisch auf beiden Seiten des angestrebten Nennmasses bewegen. An Hand dieser Mittelwerte ist es möglich festzustellen, ob eine Berichtigung der Windungszahl bei i_g nötig und möglich ist, auch ob i_f eine Änderung zu erfahren hat. Normalerweise werden solche Federn so weit ausgeschliffen, dass an jedem Ende noch $d_e \leq 0,25\,d$ stehen bleiben (siehe Bild 3). Man erhält die Blocklänge durch:

$$L_B \cong (i_g - 0,5)\,d \;^{3)}\;; \quad \text{somit ist} \quad i_g \cong \frac{L_B}{d} + 0,5\;;$$

im Beispiel also $\cong \frac{20,3}{3,9} + 0,5 \cong 5,7$ Gesamtwindungen.

Wenn für die nichtfedernden Windungen die Zahl 0,9 je Ende eingesetzt wird, ist:

$$i_f = i_g - 1,8 = 3,9 \text{ [4]}$$

Es ergeben sich oft Fälle, da es nicht möglich ist, in der vorgeschriebenen Blocklänge die nötigen Windungen unterzubringen. Die Berichtigung wird dann verteilt, i_f entsprechend verkleinert und der sich daraus ergebende Drahtdurchmesser neu ermittelt. Mit den oben berechneten Daten kann die Drahtstärke genau bestimmt werden:

$$d = \sqrt[4]{\frac{8\, i_f\, D_m^3\, P_k}{G\, f_k}}\ ;$$

im Beispiel also $\sqrt[4]{\frac{8 \cdot 3,9 \cdot 11,5^3 \cdot 41,5}{8300 \cdot 1,05}} = 3,88$ mm.

Ist nun d bekannt, muss der mittlere Windungsdurchmesser D_m in gleicher Weise gefunden werden:

$$D_m = D_a - d = 15,40 - 3,88 = 11,52 \text{ mm}.$$

Eine weitere Korrektur des Drahtdurchmessers entsprechend D_m kann vernachlässigt werden. Es folgt die Ermittlung der sich ergebenden Federkonstante c (Federsteife):

$$c = \frac{G\, d^4}{8\, D_m^3\, i_f} = \frac{8300 \cdot 3,88^4}{8 \cdot 11,52^3 \cdot 3,9} = 39,44 \text{ kp/mm}.$$

Bei einem mittleren Federweg f_k bis zur Prüflänge L_k von 1,05 mm ergibt sich:

$$P_k = f_k \cdot c = 1,05 \cdot 39,44 = 41,4 \text{ kp}$$

und P_B (theor.) $= 2,25 \cdot 39,44 = 88,7$ kp.

Aus den obigen Gleichungen ist ersichtlich, dass bei dieser Feder die gesamte nach der Zeichnung zulässige Abweichung der Kraft bei Kontroll-Länge (9,0 kp), wenn alle anderen Abmessungen gleichbleibend sind, bereits von einer Änderung der ungespannten Länge (und demzufolge auch von f) um 0,23 mm beansprucht wird, wogegen die Zeichnungstoleranz für L_0 auf 0,3 mm festgelegt wurde. Es bleibt also fast nichts für den Ausgleich von Schwankungen anderer Abmessungen übrig.

Man sollte es in keinem Fall unterlassen, sich einen Einblick in die zu erwartende Materialbeanspruchung zu verschaffen, denn nur so ist es möglich, Umfang und Strenge der Werkstoffprüfung festzulegen, ferner dem Drahtlieferanten die gegebenenfalls unumgänglichen Vorschriften zu erteilen. Nicht zuletzt können dadurch auch dem Konstrukteur allfällige Bedenken gemeldet und Ratschläge gemacht werden. Bei Federn mit derart engem Wickelverhältnis ($D_m : d$) muss die Schubspannung unbedingt mit dem Korrekturfaktor k, entsprechend dem Krümmungsradius des Drahtes, berechnet werden:

$$\tau_{P\text{mittl.}} = k\, \frac{8\, P\, D_m}{\pi\, d^3} = 1,55\, \frac{8 \cdot 41,5 \cdot 11,52}{\pi\, 3,88^3} = 32,3 \text{kp/mm}^2$$

$$\text{wobei } k = 1 + \frac{5}{4}\frac{d}{D_m} + \frac{7}{8}\left(\frac{d}{D_m}\right)^2 + \left(\frac{d}{D_m}\right)^3 \text{ (nach } \textit{Göhner}).$$

Da diese Federn sehr oft bis auf Blocklänge beansprucht werden, ist die hierbei auftretende Schubspannung ebenso wichtig wie jene der Prüflänge:

$$\tau_{B(\text{theor.})} = 1,55\, \frac{8 \cdot 88,7 \cdot 11,52}{\pi \cdot 3,88^3} = 69,1 \text{ kp/mm}.$$

Nach DIN 2089 Blatt 1 ist die maximal zulässige Schubspannung $\tau_{zul} = 0,5\, \sigma_B$, in diesem Fall also $0,5 \cdot 143 = 71,5$ kp/mm². Danach liegt die theoretisch zu erwartende maximale Beanspruchung dieser Feder noch im Rahmen des Zulässigen.

Dämpferfedern werden von Natur aus dynamisch beansprucht. Nach Angabe des Verbrauchers erstreckt sich der Federhub im Normalbetrieb von $L_0 - (0,15\, f)$ bis $L_B + (0,15\, f)$ bezogen auf die Nennmasse nach Zeichnung[5]). In diesem Bereich muss die Feder dauerfest sein. Die zugehörigen Kraftäusserungen sind:

$$P_1 = 11,9 \text{ kp}; \qquad P_2 = 67,1 \text{ kp};$$

die hierbei auftretenden Schubspannungen:

$$\tau_1 = 9,3 \text{ kp/mm}^2; \qquad \tau_2 = 52,2 \text{ kp/mm}^2$$

entsprechend einer Spannungsdifferenz (Hubspannung) $\Delta\tau = 42,9$ kp/mm². Ein Vergleich mit den Richtlinien nach DIN 2089 Blatt 1 bestätigt, dass diese Feder noch innerhalb des Dauerfestigkeitsbereiches liegt, sofern sie kugelgestrahlt wird.

Nach dem heutigen Stand der Fertigungstechnik ist es ohne weiteres möglich, Ventilfederstahldraht zu erhalten, dessen Durchmesserschwankungen pro Lieferung innerhalb 0,02 bis 0,03 mm liegen. Sollten sich bei der Herstellung dieser Federn alle Abmessungen bis an die Grenze des Zulässigen in der Richtung verschieben, die eine Belastungszunahme bei Prüf- und Blocklänge bewirkt, so würde die Feder folgende Daten aufweisen:

$d = 3,895$ mm; $D_a = 15,3$ mm; $D_m = 11,405$ mm; $L_0 = 22,7$ mm; $L_B = 20,1$ mm. Daraus können die weiteren Grössen berechnet werden:

$$c = \frac{8300 \cdot 3,895^4}{8 \cdot 11,405^3 \cdot 3,9} = 41,27 \text{ kp/mm}$$

$$P_{k\,\max} = (22,7 - 21,5) \cdot 41,27 = 49,52 \text{ kp}.$$

Im entgegengesetzten Fall, also wenn sich die Abmessungen im Sinne einer Kraftabnahme verschieben würden, wären die obigen Daten:

$d = 3,865$ mm; $D_a = 15,5$ mm; $D_m = 11,635$ mm; $L_0 = 22,4$ mm; $L_B = 20,5$ mm, und die entsprechenden weiteren Kenngrössen:

$$c = \frac{8300 \cdot 3,865^4}{8 \cdot 11,635^3 \cdot 3,9} = 37,7 \text{ kp/mm}$$

$$P_{k\,\min} = (22,4 - 21,5) \cdot 37,7 = 33,93 \text{ kp}.$$

Aus diesen Vergleichsrechnungen wird deutlich, dass im allerdings äusserst unwahrscheinlichen Fall, bei dem sich alle Toleranzen in einer bestimmten Richtung zusammenfinden, mit relativ hohen Ausschussquoten gerechnet werden muss. Diese Verschiebungen entsprechen einer Differenz in der sich ergebenden Kraftäusserung von $\Delta P_k = 15,59$ kp, wogegen die zulässige Abweichung nach der Zeichnung nur 9,0 kp betragen darf. Der genannte Umstand verlangt vom Hersteller, dass er bei den einzelnen Arbeitsgängen die zulässigen Mass-Abweichungen noch weiter einengt, um den Ausschuss innerhalb tragbaren Grenzen zu halten. Eine lineare Verkleinerung der Toleranzen bedingt aber ein geometrisches Ansteigen der Fertigungskosten, was bei der Preisbildung zu berücksichtigen ist. Diese Vergleichsrechnung, deren Durchführung sehr zu empfehlen ist, gibt dem Hersteller einen Einblick in die Grösse der gegenseitigen Beeinflussung der Abmessungstoleranzen untereinander und erlaubt ihm, die zuzulassenden Abweichungen für die einzelnen Arbeitsgänge festzulegen.

4. Vorschläge für die Fertigung

a) Allgemeines

Es wird vorausgesetzt und deshalb nicht weiter erwähnt, dass für die Fertigung solcher Federn nur sorgfältig geprüftes Material, mit einwandfreier Oberfläche, gleichmässiger Festigkeit und mit einer Brucheinschnürung von mindestens 45 bis 48% zur Anwendung kommt.

Bei der Serienproduktion wird man so verfahren, dass bei den Abmessungen, deren Prüfung am aufwändigsten ist, möglichst die Toleranzmittelwerte eingehalten werden. Die Grössen, die vollautomatisch kontrolliert werden können, müssen innerhalb der zulässigen Grenzen dem Ausgleich der herstellungsbedingten Schwankungen dienen[6]). Diesem Grundsatz entsprechend werden Aussendurchmesser D_a und unbelastete Länge L_0 streng überwacht, um am Ende eine 100%ige Kontrolle nur bei der vorgeschriebenen Kraft P_k und bei L_B durchzuführen. D_a und L_0 werden vor der Ablieferung stichprobenweise kontrolliert.

Es ist, neben den bereits genannten, noch folgende Schwierigkeit zu berücksichtigen: Das enge Wickelverhältnis $w = D_m : d = 2,97$

[3]) Diese Formel weicht von der in DIN 2089 Blatt 1 aufgeführten insofern ab, als sich die dortige auf die höchstzulässige Blocklänge bezieht, wogegen hier nach einem Mittelwert gesucht wird.

[4]) Die Übereinstimmung der Nachrechnung mit der Zeichnungsangabe ist zufällig; in vielen Fällen werden diese Werte voneinander abweichen.

[5]) Die Abnahmevorschriften verlangen, dass diese Federn einem dynamischen Versuch im genannten Bereich unterzogen werden. Die Prüfdauer ist auf 10^7 Lastwechsel festgelegt.

[6]) Es ist ratsam, hierüber eine genaue Kostenberechnung aufzustellen. Im europäischen Raum, wo die Personalkosten sehr hoch sind, ist der beschriebene Weg in jedem Fall zu empfehlen.

[7]) Die Windeautomaten werden allgemein bemessen und garantiert, sowohl in ihrer Leistung als auch in der mit ihnen erzielbaren Genauigkeit, für Wickelverhältnisse bis herab zu 4. Darunter ist ihr Arbeitsbereich stark einzuengen.

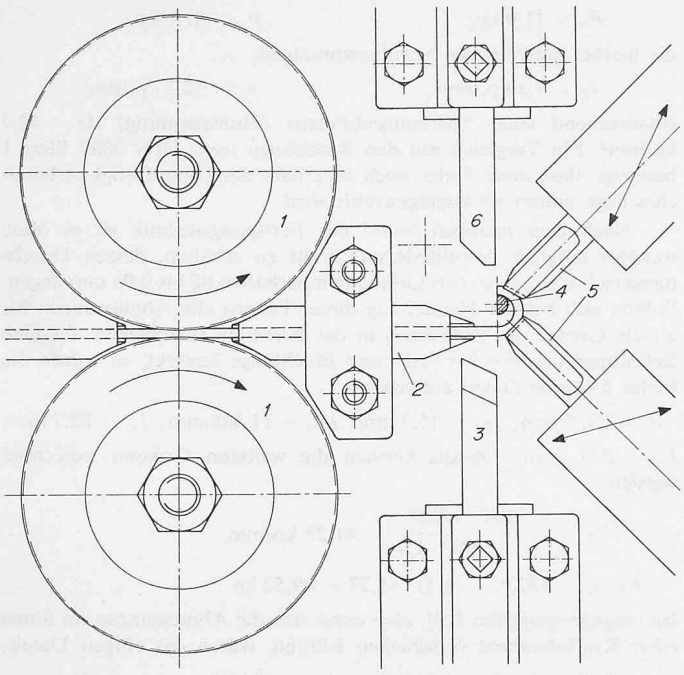


Bild 4. Übliche Werkzeuganordnung am Federwindeautomat

1 Einzugswalze
2 Drahtführung mit Deckel
3 Steigungskeil
4 Abschneidedorn
5 Wickelstift
6 Abschneidemesser

fordert von der Windemaschine ausserordentlich hohe Stabilität[7]). Diesem Umstand sollte durch den Einsatz eines etwas überdimensionierten Automaten Rechnung getragen werden. Im Zweifelsfalle ist eine Rückfrage beim Maschinenhersteller zu empfehlen.

b) Arbeitsablauf

Die einzelnen Arbeitsgänge der Federnfertigung und deren übliche Reihenfolge sind:

1. Winden
2. Schleifen
3. Anlassen
4. Abdrücken (Setzen)
5. Kontrolle.

Bei Kupplungs-Drehschwingungs-Dämpfer-Federn, wie bei dynamisch beanspruchten überhaupt, ist es erforderlich, dass sie kugelgestrahlt werden, um eine Erhöhung der Dauerfestigkeit zu bewirken. Das Kugelstraheln erzeugt in der Feder Spannungen, welche etwas abgebaut werden müssen, um ein übermässiges Setzen unter Belastung zu vermeiden[8]). Eingehende Versuche haben bewiesen, dass diese Entspannung nach dem Kugelstrahlen bei Temperaturen bis höchstens etwa 260 °C zu erfolgen hat. Darüber würden sie einen restlosen Spannungsabbau verursachen und die Wirkung des Strahlens wieder aufheben. Die elastischen Eigenschaften des unlegierten Ventilfederstahldrahtes werden aber erst nach dem Anlassen bei etwa 340 °C in vollem Umfang erreicht. Daher können die zwei Arbeitsgänge «Anlassen» und «Entspannen nach dem Kugelstrahlen» nicht gemeinsam durchgeführt werden und der Fertigungsablauf nimmt die nachstehende Reihenfolge an:

1. Winden
2. Schleifen
3. Anlassen bei rd. 340 °C
4. Kugelstrahlen
5. Entspannen bei rd. 230 °C [9])
6. Abdrücken
7. Kontrolle

[8]) Unter «Setzen» wird der Längenabfall der Feder verstanden, der durch bleibende Materialformung infolge Belastungseinwirkung verursacht wird.

[9]) Die Anlasstemperatur nach dem Kugelstrahlen ist deutlich unter dem genannten kritischen Punkt zu halten. Damit ist auch die Gewähr geboten, dass infolge der Temperaturschwankungen im Ofen diese kritische Grenze keineswegs überschritten wird. Versuche sind zu empfehlen.

Beim Schleifen entstehen an den letzten (Anlage-) Windungen, besonders bei Trockenschliff, hohe Temperaturen. Diese pflanzen sich im kleinen Drahtquerschnitt nur wenig fort. Die Erwärmung der plangeschliffenen Fläche wird ferner mit fortschreitender Materialabtragung, die eine Verkleinerung des Materialquerschnitts bei gleichzeitiger Vergrösserung der Schleiffläche verursacht, intensiver. Im Übergang zur vollen Drahtstärke bildet sich ein schroffes Temperaturgefälle, denn die aktiven Windungen befinden sich im Strom der Kühlluft. Die Temperatur an den Schleifflächen kann, besonders bei etwas stumpfen Scheiben, leicht gegen 300 °C und darüber ansteigen. Es findet also beim Schleifen ein teilweises Entspannen der Federenden statt. Die Folgen davon sind ein unkontrolliertes Verformen, welches sich bei diesen kleinen Toleranzen stark bemerkbar macht, sowie ein teilweises Abheben der Endwindungen, wodurch mehr Material als erwünscht abgeschliffen wird und die Blocklänge leicht ausserhalb der zulässigen Abweichung gelangen kann. Um diese Erscheinung zu vermeiden, kann der Arbeitsgang «Anlassen» vor dem Schleifen vorgenommen werden. Damit werden die Wickelspannungen im voraus und bei einer Temperatur abgebaut, die über der des Schleifens liegt. Neben den genannten Vorteilen bringt dieser Fertigungsablauf noch einen weiteren, der die Genauigkeit begünstigt: Beim Anlassen verkleinert sich der Federdurchmesser etwas, beim hier behandelten Beispiel erfahrungsgemäss um rd. 0,10 mm. Dadurch vergrössert sich die Zahl der Gesamtwindungen, und das Ende der letzten Windung gleitet auf der vorhergehenden, noch steigenden empor, wodurch die Feder etwas länger wird. Wenn aber bereits vor dem Schleifen angelassen wird, braucht diese nachträgliche Veränderung der Länge beim Schleifen nicht mehr berücksichtigt zu werden, was eine sicherere Beherrschung von L_0 erlaubt. Ein weiterer Vorteil dieser Arbeitsfolge: Beim Anlassen vor dem Schleifen verbrennen die fettigen Ablagerungen auf dem Draht, was das Zusetzen der Schleifscheiben weitgehend vermindert. Dadurch wird die Wärmeabfuhr begünstigt, die Schleiffläche bleibt kühler und die Ausbringung der Maschine kann erhöht werden; ausserdem lässt sich die Zeit zwischen den Nachschärfvorgängen verlängern.

Die genannten Gesichtspunkte begründen die endgültige Festlegung des Arbeitsablaufes wie folgt:

1. Winden
2. Anlassen bei rd. 340 °C
3. Schleifen
4. Kugelstrahlen
5. Entspannen bei rd. 230 °C
6. Abdrücken (Setzen)
7. Kontrolle

Je nach dem angewandten Schleifverfahren können sich trotz aller Sorgfalt noch Schwierigkeiten zeigen und zwar sowohl bei der Beherrschung der unbelasteten Länge, wie auch in bezug auf den Schrägstand der Feder. Eine häufige Ursache dafür ist das ungleichmässige Setzen der Feder beim Abdrücken [10]). Oft kann diese Erscheinung durch eine weitere Unterteilung des Ablaufes vermieden werden:

1. Winden
2. Anlassen bei rd. 340 °C
3. Vorschleifen bis auf etwa 75 bis 80% der gesamten Materialabnahme
4. Abdrücken (Setzen) mindestens dreimal
5. Fertigschleifen
6. Kugelstrahlen
7. Entspannen bei rd. 230 °C
8. Abdrücken
9. Kontrolle

c) Winden der Federn

Es wurde bereits erwähnt, dass das Verformen starken Drahts auf kleinen Durchmesser von der Maschine einen sehr grossen Kraftaufwand erfordert. Auch bei Verwendung eines reichlich bemessenen Automaten werden die unvermeidlichen elastischen Verformungen der Werkzeuge und deren Halterungen zu Schwankungen im Federdurchmesser führen. Es muss viel Geduld aufgebracht werden, bis unter diesen Umständen der gewünschte Durchmesser erreicht und

[10]) Der unterschiedliche Verlauf der Steigung, besonders im Übergang zu den angelegten Windungen kann beim Abdrücken Beanspruchungsspitzen bewirken, die teilweise bleibende Verformungen uneinheitlicher Grösse zur Folge haben. Diese Differenzen wirken sich sowohl in Schwankungen der Gesamtlänge der Federn, als auch in der Parallelität deren Planflächen aus.

über grössere Stückzahlen gehalten werden kann. Sehr gut hat sich gegen dieses «Atmen» der Werkzeughalter das spielfreie Verkeilen der Schlitten gegen die Führungen bewährt. Es bedingt allerdings sehr verschleissfeste Werkzeuge, damit nicht zu oft nachgestellt werden muss; denn für jedes Nachstellen ist die Verkeilung zu lösen. Die grössten Schwierigkeiten sind aber bei diesen Federn in der Standzeit der Werkzeuge zu erwarten. Bekanntlich wird bei den Windeautomaten der Draht von Einzugswalzen über zwei genutete, radial angeordnete Stifte geschoben, die ihn in die gewünschte Form umlenken. Die hierzu in Europa meistgebrauchte Anordnung ist in Bild 4 veranschaulicht[11]).

Häufig werden für das Winden von dynamisch beanspruchten Federn, auf Grund deren Empfindlichkeit gegen Oberflächenverletzungen weiche Stifte, meist aus Silberstahl verwendet. In diesem Fall möchte man aber davon absehen, denn die hohen, reibenden Verformungsdrücke würden den Verschleiss auf untragbare Ausmasse bringen. Rollenwerkzeuge, die praktisch keine Reibung verursachen, werden im allgemeinen nicht gerne verwendet weil sie auf Grund des zur Drahtkrümmung entgegensetzt verlaufenden Umfanges mangelnde Richtungsführung gewähren. Die Einstellung ist schwierig. Ausserdem können sie in Normalausführung kaum genügend nahe an den Federmittelpunkt verschoben werden, um den kleinen Durchmesser zu erzeugen, denn sie würden sich berühren. Verringert man aber den Rollendurchmesser, so würde der Nachteil der mangelnden Führung noch ausgeprägter. Auch Hartmetall als Material für die Wickelstifte stösst allgemein auf Widerstand, weil die kleinsten Unregelmässigkeiten an dessen Oberfläche sich in den Draht einschneiden; hinzu kommt bei unvorsichtiger Handhabung und bei zu sprödem Material die Abbröckelungsgefahr. Dennoch scheint Hartmetall für die Herstellung der genannten Federn richtig zu sein, besonders wegen des geringen Verschleisses, was eine hervorragende Masshaltigkeit über grössere Produktionsmengen gewährleistet. Voraussetzung dafür ist eine einwandfrei geformte Nute, die nicht zu eng sein darf, um Verklemmungen zu vermeiden (etwa 0,2 mm grösser als der Drahtdurchmesser). Es ist unbedingt ratsam, die Nuten mit Diamantscheiben auf einer Werkzeugschleifmaschine einzuschleifen, um sie nachher mit feinem Korn sauber und glatt zu polieren. Auch die Vorderseite der Stifte, wo der Drahtanfang bei der ersten Windung entlanggeleitet, sowie sämtliche Kanten sind sorgfältig abzurunden und zu polieren. Wenn diese Vorsichtsmassnahmen befolgt werden, ist die Verwendung von Hartmetall problemlos.

Eine Werkzeuganordnung, welche sich beim Winden solcher Federn gut bewährt hat, ist die Verwendung eines Hartmetall-Wickelstiftes und einer Rolle (nach Bild 6). Hierbei wird die Rolle unten, also an der Stelle, wo der Draht die erste und stärkste Umlenkung erfährt, und der Wickelstift oben eingesetzt. Die grösste Verformungsarbeit wird auf diese Weise von der Rolle geleistet. Der Wickelstift dagegen gewährt die nötige, gute Richtungsführung.

Der entstehende, sehr kleine Innendurchmesser dieser Feder bewirkt grossen Verschleiss am Abschneidedorn. Dieser ragt von der Befestigung an der Maschine ins Innere der Feder und hat halbrunde Form. Er dient dazu, beim Abschneiden die Feder zu halten; zugleich bildet er das eine Scherglied. Es ist klar, dass das Abscheren von rund 3,9 mm starken Draht auf einem Halbrunddorn mit einem Höchstmass von etwa 7,5 mm diesen ausserordentlich hoch beansprucht. Es dürfte als bekannt vorausgesetzt werden, dass der Übergang vom vierkantigen Führungsquerschnitt zur halbrunden Form im Schneidebereich mit möglichst grossen Radien und mit glatten Flächen zu gestalten ist. Dennoch muss mit häufigen Brüchen gerechnet werden. Um die spezifische Beanspruchung etwas zu verringern, können die Wickelwerkzeuge so verstellt werden, dass die Federachse gegenüber dem Abschneidedorn geringfügig in Drahteinzugsrichtung (nach rechts in Bild 4) versetzt wird. Damit gewinnt man einen etwas grösseren Materialquerschnitt im Dorn, selbstverständlich auf Kosten eines stumpfen Schnittwinkels, was dem möglichen Gewinn sehr enge Grenzen setzt. Bild 5 zeigt diese Mittelpunktverschiebung.

Für Extremfälle, wie der hier beschriebene, ist es empfehlenswert, den Dorn beim Abschneidevorgang gegen Durchbiegung abzustützen. Hierzu muss die Bildung der Steigung durch den von hinten angetriebenen Finger bewirkt werden, damit der untere Schlitten für eine

[11]) In den USA hat sich das sogenannte Einfingersystem durchgesetzt, wo die Drahtumlenkung durch den Wickelstift von aussen und den Dorn von innen bewirkt wird. Für die Herstellung von Federn wie die hier beschriebenen eignet sich dieses System jedoch nicht, denn der Dorn würde der starken Beanspruchung nicht standhalten.

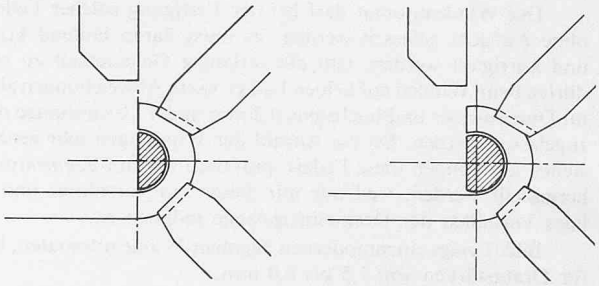


Bild 5. Verschiebung der Federachse in bezug auf den Abschneidedorn zum Zwecke der Querschnittvergrösserung. Links übliche Anordnung, rechts verschobene Anordnung

Stütze frei wird. Praktisch alle Maschinen neueren Typs verfügen über diese Einrichtung. Der untere Schlitten[12]) wird mit einer Befestigungsplatte in der senkrechten Lage fixiert und dient der Aufnahme eines entsprechend geformten Stahles 3 (Bild 6), dessen oberes flaches Ende bis an den von der Führung 2 kommenden Draht herangeführt wird, ohne diesen jedoch zu berühren. Die Abscherkraft fliesst dann über die Schnittstelle zum Dorn, und von hieraus über den aus den Walzen kommenden Draht zur genannten Stütze. Der Spalt zwischen Dornstütze und Draht ist so klein zu halten, dass die ihm entsprechende Durchbiegung des Dornes beim Abschneiden der Feder keine übermässige Materialbeanspruchung verursacht, der Draht aber ungehindert daran vorbeigleiten kann. Die Höheneinstellung der Dornstütze erfordert grosse Sorgfalt und sollte bei laufender Maschine und bei gleicher Geschwindigkeit wie für die Serienproduktion vorgenommen werden. Um damit Aussicht auf Erfolg zu haben, muss der Abschneidedorn sehr genau in das Federinnere eingepasst werden, was allerdings vom Einrichter Gefühl und eine sichere Hand verlangt. Bild 6 zeigt die vorgeschlagene, endgültige Anordnung der Werkzeuge an der Maschine.

[12]) Diese Anordnung trifft bei rechtsgewickelten Federn zu, sofern der Drahteinzug von links nach rechts erfolgt; im Falle von linksgewickelten Federn müsste bei dieser Einzugsrichtung der obere Schlitten mit der Stütze versehen werden, da von unten abgeschnitten wird.

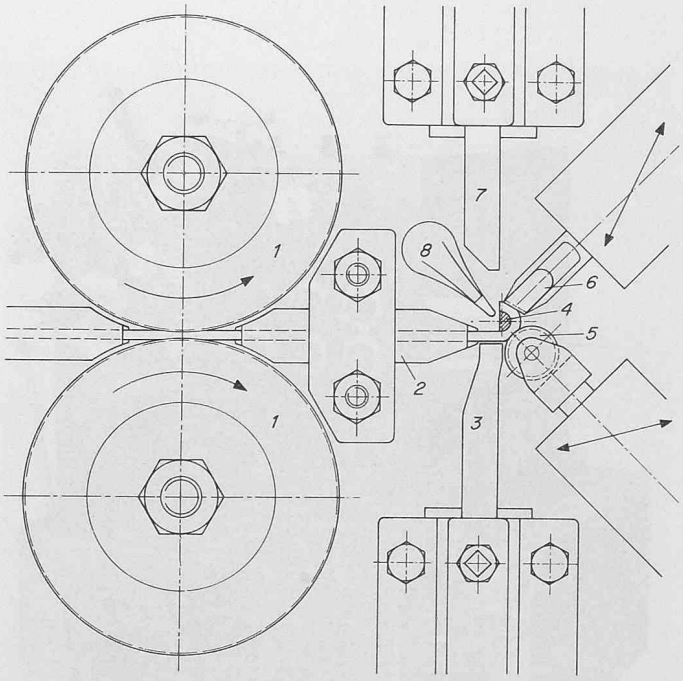


Bild 6. Werkzeuganordnung für das Winden von Federn mit kleinem Aussendurchmesser und engem Wickelverhältnis

1 Einzugswalze
2 Drahtführung mit Deckel
3 Dornstütze
4 Abschneidedorn
5 Wickelrolle
6 Wickelstift mit Hartmetalleinlage
7 Abschneidemesser
8 Steigungsfinger mit Hartmetalleinlage

Der Windeautomat darf bei der Fertigung solcher Federn nicht ohne Aufsicht gelassen werden; es muss daran laufend kontrolliert und korrigiert werden. Um die verlangte Genauigkeit zu erreichen, dürfen beim Winden auf keinen Fall grössere Abweichungen als 0,1 mm im Durchmesser und höchstens 0,2 mm in der Gesamtlänge der Feder zugelassen werden. Da die Anzahl der Windungen sehr genau einzustellen ist, können diese Federn praktisch nur auf *Segment*maschinen hergestellt werden, weil nur mit diesen ein stufenloses und feinfühliges Verstellen der Drahteinzugslänge möglich ist.

Bild 7 zeigt einenmodernen Segment-Windeautomaten, bemessen für Drahtstärken von 1,5 bis 6,0 mm.

Ein weiterer Punkt, der den Windeautomaten betrifft und beachtet werden muss, ist folgender: Bei den Segmentmaschinen wird der Drahteinzug durch die Hin- und Herbewegung eines Zahnsegments bewirkt, welches über einen Freilauf die Einzugswalzen in der erforderlichen Richtung bewegt. Beim Rücklauf des Segments stehen die Walzen still, und es findet das Abschneiden der gewundenen Feder statt. Es kann vorkommen, dass die Reibung im Innern des Freilaufes beim Rücklauf ausreicht, um die Einzugswalzen etwas in verkehrter Richtung zu betätigen. Wenn der Abschneidedorn, wie in diesem Fall, sehr klein gehalten werden muss, kann die Reibungskraft im Freilauf unter Umständen gross genug sein, um über die in den Werkzeugen verbleibenden Drahtwindungen den Dorn 4 etwas nach links (Bild 6) zu verformen. Da bei diesen Maschinen praktisch ohne Schnittspiel abgeschert wird, führt dies unvermeidlich dazu, dass das Messer 7 auf den Dorn schlägt und ihn abbricht.

Wenn die Maschine keine eingebaute, gesteuerte Rücklaufbremse aufweist, die während des Einzugstillstandes die Walzen festklemmt, wird man mit häufigen Dornbrüchen rechnen müssen. Es ist ratsam, in solchen Fällen eine Bremse nachträglich einzubauen. Sollte dies nicht möglich sein, kann auch ein zweiter Freilauf, der in Rücklaufrichtung sperrt und auf eine der vier bis sechs Einzugswellen montiert wird, gute Dienste leisten.

Wie bei Präzisionsfedern überhaupt, müssen auch in diesem Fall, bevor die Serienproduktion begonnen wird, sämtliche Arbeitsgänge mit einigen Musterfedern wirklichkeitstreu durchgeführt werden, um die Einstellung des Windeautomaten und der Schleifmaschinen festlegen zu können. Das Anlassen, das Kugelstrahlen und das Setzen bewirken Änderungen in allen Abmessungen der Federn, deren Grösse im voraus nicht mit genügender Genauigkeit bestimmt werden kann. Es ist weiter unbedingt erforderlich, für eine Serie nur Draht aus einer und derselben Lieferung zu verwenden, da es vorkommt, dass kleine Abweichungen in den physikalischen Eigenschaften des Materials – auch in solchen, die nicht messbar sind, wie die von unterschiedlicher Querschnittsverjüngung beim Ziehen des Drahtes herrührenden – bereits eine Änderung der Federn bei den genannten Arbeitsgängen verursacht. Überhaupt ist es unerlässlich, während der Fertigung laufend einige Muster herauszunehmen, um sie durch alle Maschinen durchzuschleusen, damit die gegebenenfalls nötigen Korrekturen rechtzeitig vorgenommen werden können.

d) Schleifen der Federenden

Bei der Serienfertigung werden im allgemeinen Maschinen verwendet, die ein gleichzeitiges Schleifen beider Enden erlauben. In unserem Beispiel kann man praktisch von einem starren Körper sprechen, der beiderseits geschliffen werden muss. Das Zerspanen mit im Abstand zueinander feststehenden Schleifscheiben ist in diesem Fall nur möglich, wenn mehrere Durchgänge vorgesehen werden. Zu empfehlen ist entweder die kontinuierliche Zustellung einer Scheibe, oder eine leicht geneigte Spindel, welche das Einlaufen der Federn zwischen einem sich verjüngenden Arbeitsraum erlaubt. Wenn die Federn in Revolverteller aufgenommen werden, ist darauf zu achten, dass möglichst nur eine Reihe, höchstens aber zwei darin untergebracht werden. Da mit der Planfläche der Scheiben zerspant wird, werden die Schnittgeschwindigkeiten bei mehrreihiger Anordnung unterschiedlich, was zu ungleichmässiger Materialabtragung, und folglich zu Längenschwankungen führen kann. Bei den Maschinen mit senkrechten Spindeln, wo die Federn durch das Eigengewicht ausfallen, ist dafür zu sorgen, dass die Aufnahmebohrungen im Teller oder in den Büchsen nicht zu gross ausgeführt werden, um eine gute Führung zu gewährleisten und der Schiefstand der Federn auf ein Mindestmass zu beschränken. Aus dem gleichen Grund sind die Teller so stark wie möglich zu gestalten. Am besten hat sich das System der allmählichen Zustellung einer der beiden Schleifscheiben bewährt, wobei sowohl trocken als auch nass geschliffen werden kann. Hierbei kann dadurch eine hohe Genauigkeit erzielt werden, dass, nachdem die Zustellung bis auf das Sollmass erfolgt ist, während einer beliebig einstellbaren Zeit mit im Abstand feststehenden Scheiben weiter geschliffen wird («Ausfunken»). In dieser Zeit entspannen sich die Federn zwischen den Scheiben und erreichen eine sehr gleichmässige Länge.

Bild 8 zeigt eine Federendenschleifmaschine mit senkrechten Schleifspindeln. Das verstellbare Programm läuft zweistufig und automatisch ab. Zunächst wird die obere Schleifscheibe mit erhöhter Ge-

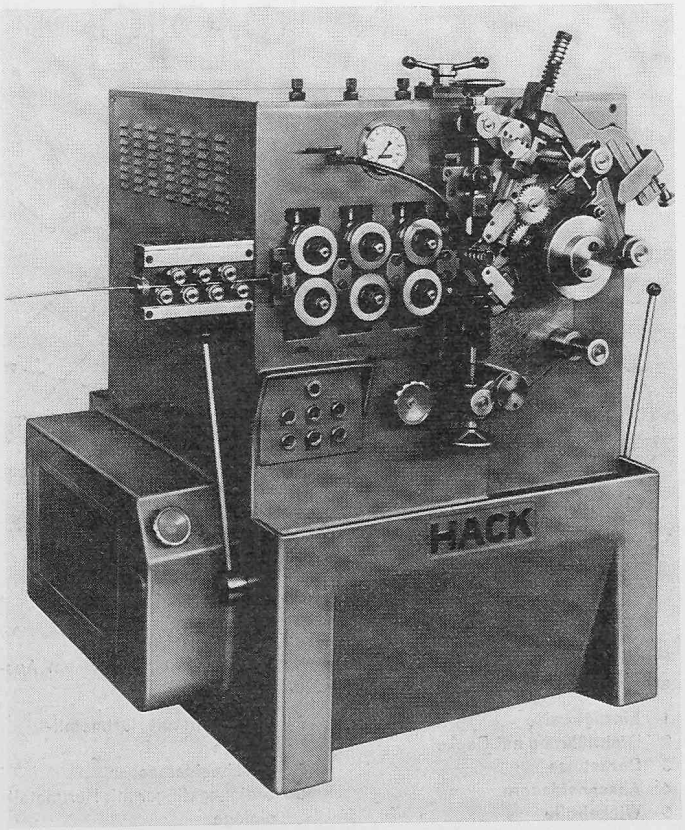
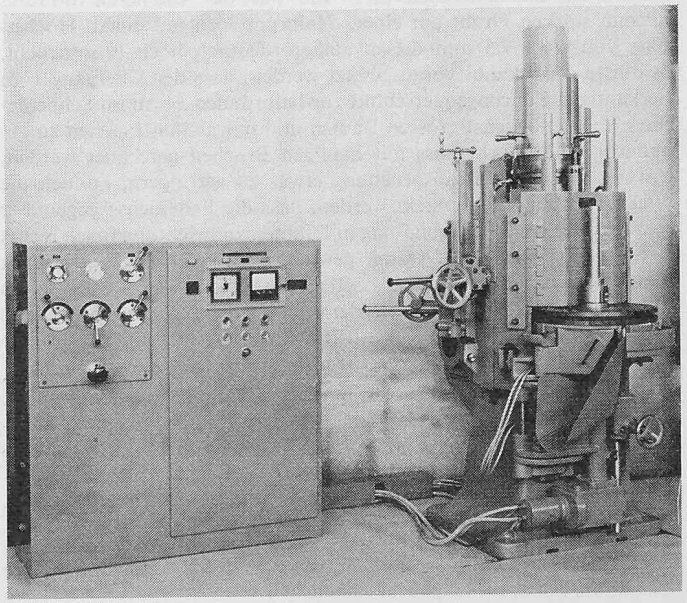


Bild 7 (links). Ansicht eines modernen Federwindeautomaten mit Steuerung des Drahteinzugs durch Zahnsegment und Freilauf (Bauart Karl Hack KG, Modell SM 60)

Bild 8 (unten). Federendenschleifmaschine FSA 6/B mit senkrechten Spindeln und automatischem, lastabhängig gesteuertem Arbeitsablauf (Bauart Karl Hack KG, Reutlingen)



schwindigkeit zugestellt, bis die vom Hauptmotor verlangte Leistung einen im voraus eingestellten Wert erreicht. Dann setzt die Zustellung solange aus, bis die vom Motor aufgenommene Leistung auf einen ebenfalls einzustellenden Wert abgefallen ist. Von diesem Moment an erfolgt die weitere Zustellung der Schleifscheibe mit verminderter Geschwindigkeit. Bei dieser Maschine müssen lediglich die Federn von Hand eingelegt werden. Die Zustellung der oberen Schleifspindel und der Antrieb des Revolvertellers erfolgen hydraulisch.

Neulich wurde eine Maschine auf den Markt gebracht, die auf dem genannten Prinzip arbeitet und in der Lage ist, bei solchen Federn eine Genauigkeit von $< 0{,}1$ mm in der freien Lage über grössere Produktionsmengen einzuhalten. Zu diesem Zweck wird die Ausfunkzeit kurz unterbrochen, es erfolgt automatisch ein Abrichten beider Schleifscheiben sowie deren Nachstellen auf das vorbestimmte Sollmass der Federn. Danach wird das Ausfunken fortgesetzt und der Zyklus beendet. Es werden dadurch die Scheiben immer plan und scharf gehalten, so dass ein gleichmässiges Abtragen des Materials gewährt ist. Trotz des öftern Nachschärfens ist der Schleifmittelverbrauch hierbei nicht grösser als bei anderen Systemen.

Bild 9 zeigt die genannte Federendenschleifmaschine, eingerichtet für Trockenschliff und versehen mit einer automatischen Beschickungsanlage. Bild 10 zeigt eine weitere Ausführung der gleichen Maschine, jedoch eingerichtet für Nassschliff. Bei dieser Ausführung ist der Arbeitsablauf, einschliesslich des Nachschärfens der Schleifscheiben, völlig automatisch. Rechts aussen die hydraulische Schalteinheit, daneben, von der Maschine etwas verdeck, der elektrische Schaltschrank mit der Programm-Wahleinrichtung. Links hinter der Maschine ist die Filteranlage für das Schleifwasser zu erkennen.

In den meisten Fällen ist das Schleifen ein Engpass in der Produktionskette. Dies kann durch den Einsatz eines einwandfreien Kühlsystems an diesen Maschinen weitgehend vermieden werden. Die Ausbringungsmenge ist, besonders bei Trockenschleifmaschinen, in hohem Grad von der Güte und Wirksamkeit der Kühlung abhängig. In den seltensten Fällen wird die volle Nennleistung des Antriebmotors solcher Maschinen erreicht, ohne dass vorher die Federn überhitzt werden.

Bei der Verwendung von Maschinen mit allmählicher Zustellung der Schleifscheiben ist es durchaus möglich, eine Mehrmaschinenbedienung einzuführen. In der Regel wird eine Person zwei Maschinen bedienen können, was eine starke Herabsetzung der Personalkosten ermöglicht. Damit kann der von Natur aus teuerste Arbeitsgang der Federnfertigung wirtschaftlicher durchgeführt werden.

e) Anlassen

Das Anlassen und Entspannen solcher Federn erfolgt mit Vorteil in elektrisch beheizten Luftumwälzöfen. Es lassen sich damit die Temperaturen sehr genau einhalten und auch feinfühlig reglen. Die Luftumwälzung sorgt dafür, dass in der Kammer allseits die gleiche Temperatur herrscht. Die genannten Federn lassen die Luft infolge der kleinen Windungsabstände allerdings nur schlecht durchströmen. Ausserdem ist ihre Masse im Vergleich zum Volumen gross, so dass der Ofen stark abgekühlt wird und nur langsam wieder auf Temperatur kommen kann. Es ist dafür Sorge zu tragen, dass das anzulassende Gut in relativ dünnen Schichten eingebracht wird, damit sich keine kalten Kerne bilden. Man sollte die Federn mindestens während 30 Minuten auf der erforderlichen Temperatur halten. Die Anwärmzeit muss dazugezogen werden und ist am besten durch Versuche festzustellen. Es sind dafür sehr genau anzeigende Mittel erhältlich, die auf dem Prinzip des Farbumschlages bei bestimmten Temperaturen arbeiten. Damit werden einige Federn bestrichen und unter dem Beschickungsgut an verschiedenen Stellen verteilt. Die Haltezeit wird von dem Moment gemessen, da alle Stellen im Ofen die Solltemperatur erreicht haben. Längere Temperatureinwirkung als angegeben wird ohne Nachteil ertragen, kürzer sollte sie jedoch nicht sein, damit der gesamte Drahtquerschnitt die erforderliche Temperatur mit Sicherheit erreicht. Wichtig ist vor allem, dass bei einer Serie sämtliche Chargen gleichmässig angelassen werden, um allfällige Massabweichungen zu vermeiden. Ferner ist darauf zu achten, dass immer möglichst die gleiche Menge Federn angelassen werden, damit keine unterschiedlichen Vorwärmzeiten entstehen.

f) Kugelstrahlen

Diese Behandlung wird eingeführt, um die Widerstandfähigkeit des Materials gegen Ermüdung zu erhöhen. An dieser Stelle kann nicht das Verfahren selbst behandelt werden, sondern es wird nur dessen Einfluss auf die Masshaltung von Präzisionsfedern beschrieben. Der Einbau von künstlichen Spannungen in den Federwerkstoff bewirkt eine gewisse Verformung, deren Grösse sich nur durch Vorversuche bestimmen lässt. In der Regel wird man eine geringfügige Verkleinerung des Federaussendurchmessers und eine Zunahme der ungespannten Länge feststellen. Selten werden diese Änderungen bei kleinen Federn mehr als 0,10 mm betragen; wenn sie aber unberücksichtigt bleiben, können sie die Ausschussmenge beträchtlich erhöhen. Die beste Methode für die grössenmässige Erfassung der Veränderungen ist das Strahlen von Mustern unter den gleichen Bedingungen wie später die Serie.

Bild 9. Federendenschleifmaschine F 60 für Trockenschliff, versehen mit einer automatischen Beschickungseinrichtung

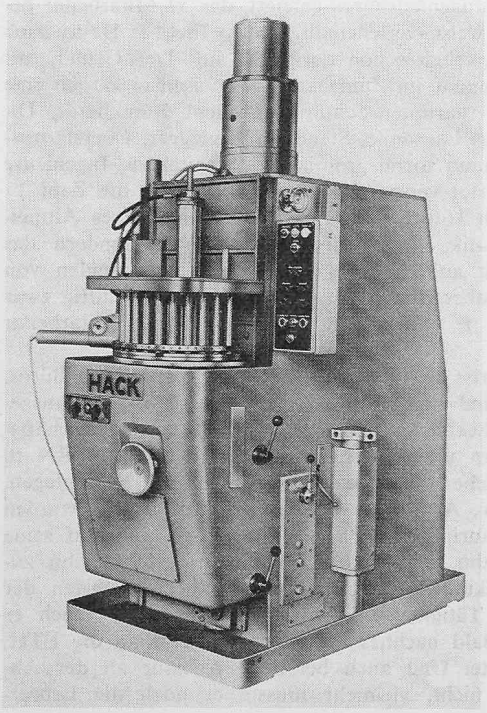
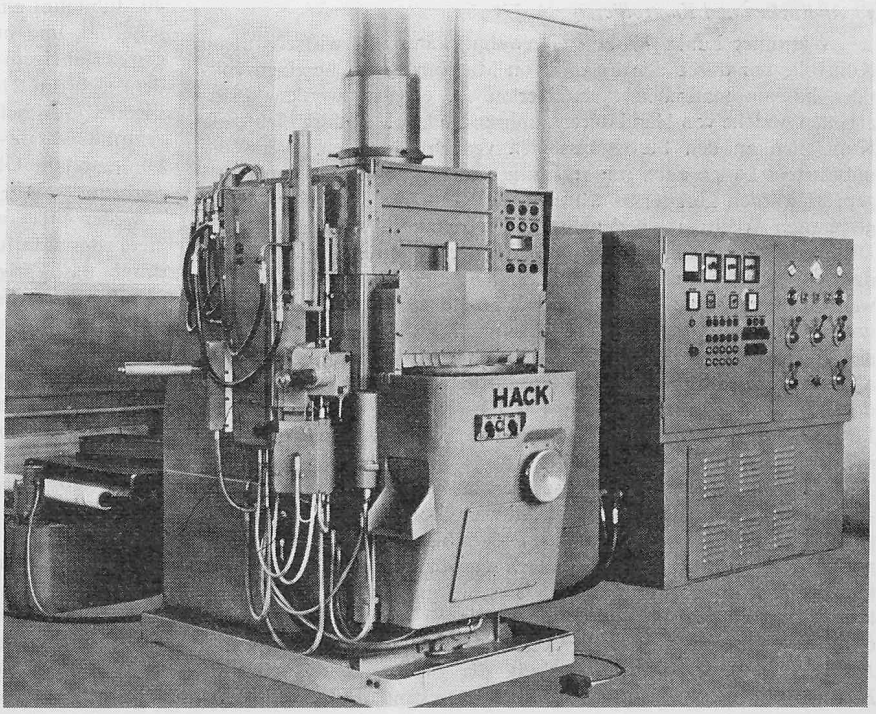


Bild 10. Federendenschleifmaschine F 60, eingerichtet für Nassschliff, mit lastabhängig gesteuerter Zustellung der Schleifspindel und programmgesteuertem Arbeitsablauf (Bauart Karl Hack KG, Reutlingen)



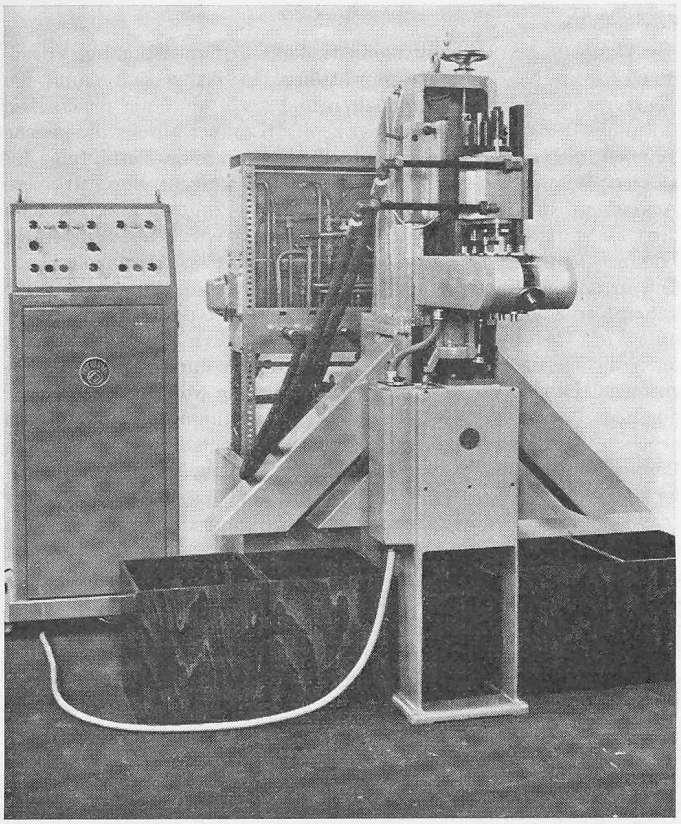


Bild 11. Automatische Federprüfmaschine Elasticometer AE 100 mit fünf Sortierbahnen und vorgeschalteter Abdrückeinheit (Bauart Georg Reicherter, Esslingen)

Beim Kugelstrahlen von Federn wie die hier beschriebenen ist der kleine Windungsabstand zu berücksichtigen, der dazu zwingt, sehr feines Korn zu verwenden. Es ist wichtig, dass auch die Drahtoberfläche an der Innenseite der Feder gut und gleichmässig gestrahlt wird, da dort, infolge der starken Drahtkrümmung, die grössten Spannungen entstehen (siehe 3. Vorbereitungen, Bestimmung des Korrekturfaktors k). Die besten Ergebnisse lassen sich bei solchen Federn in einer Trommelanlage erzielen, deren Schleuderrad Strahlmittel-Abwurfgeschwindigkeiten von rd. 60 m/s und darüber erlaubt. Als Strahlmittel hat sich vorgerundetes Drahtkorn mit einer Festigkeit von 180 bis 220 kp/mm² auf Grund dessen Gleichmässigkeit und des geringen Verschleisses gut bewährt.

g) Abdrücken und Kontrollieren

Wie unter Punkt 4a) bereits erwähnt, kann eine wirtschaftliche Kontrolle nur durch den Einsatz von Maschinen, welche einen voll- oder halbautomatischen Ablauf erlauben, erreicht werden. Prüfarbeiten, welche von Hand durchzuführen sind, sollten durch laufende Kontrollen an den Fertigungsstellen verrichtet werden. Wenn die unbelastete Länge auch mit relativ geringem Aufwand automatisch geprüft werden könnte, so würde diese Kontrolle doch einen völlig getrennten Arbeitsgang bedeuten, der Umtrieb und Personal erfordert. Die abgeschliffenen Enwindungen der Federn sind nie genau rund, so dass der Aussendurchmesser nur auf mehreren Messebenen geprüft werden kann, weshalb eine automatische Kontrolle praktisch nur für untergeordnete Zwecke in Frage kommt. Man tut gut, das Schwergewicht dieser Prüfung bei der laufenden Überwachung des Windeautomaten zu belassen, zumal es die einzige Abmessung ist, die bereits dort genau erfasst werden kann. Die Überwachung der unbelasteten Länge sollte dagegen an den Schleifmaschinen nach jedem Zyklus erfolgen.

Mit den modernen Prüfmaschinen lassen sich dagegen L_B und P_k an sämtlichen Federn mit wenig Aufwand kontrollieren. Ausserdem können im gleichen Arbeitsgang die Federn bis zu dreimal abgedrückt werden. Da auch die Sortierung nach «gut» und «schlecht» automatisch erfolgt und sich ferner ein Beschickungsautomat anbringen lässt, ist die Kontrolle dieser Abmessungen relativ wirtschaftlich durchzuführen. Eine empfehlenswerte Methode für die Prüfung und Auswertung der Herstellungsqualität, die gleichzeitig als indirekte Personal- und Maschinenüberwachung dienen kann, ist die statistische Erfassung der Abweichungen vom Sollmass aller tolerierten Abmessungen solcher Federn. Jeder Betrieb, der Wert auf gehobene Qualität legt, sollte die statistische Qualitätskontrolle einführen. Richtig ausgewertet, ermöglicht sie ausserdem eine geanue Ortung von mangelhaften Maschinen, Einrichtungen oder sogar Personal. Überdies erlaubt der Verlauf der Häufigkeitsverteilung, wenn er auf ein Wahrscheinlichkeitsnetz übertragen wird, schon bei relativ kleinen Stichproben eine genaue Schätzung bezüglich der Menge und der Grösse der Abweichungen in einer Lieferung oder Losgrösse.

Bild 11 zeigt einen Federprüfautomat. Die Federn werden von Hand auf Teller gelegt, die auf einer Förderkette angebracht sind. Sie durchlaufen dann automatisch die verschiedenen Prüfstationen. Zunächst werden sie dreimal abgedrückt; beim dritten Abdrücken wird L_B gemessen, wobei die Werte gespeichert bleiben bis zur Belastungskontrolle. Hier wird die Feder auf L_k zusammengedrückt und, wenn L_B innerhalb der Toleranzgrenzen lag, nach «gut», «zu hart» und «zu schwach» sortiert. Federn, bei welchen L_B nicht masshaltig war, werden nach «Blocklänge zu kurz» oder «zu lang» sortiert.

5. Zusammenfassung

Die Herstellung von eng tolerierten Federn ist nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich möglich. Es muss allerdings vorausgesetzt werden, dass hochwertige Einrichtungen dafür eingesetzt, und dass die Arbeitsgänge rationell gestaltet werden, ferner, dass verantwortungsbewusstes Personal mit der Aufgabe betraut wird.

Der Zeitaufwand für eine sorgfältige Vorbereitung lohnt sich. Diese beginnt mit einer herstellungsgerechten, genauen Nachrechnung der Federdaten, geht mit der Konstruktion und Beschaffung der nötigen Betriebsmittel weiter und endet mit der Fabrikation einer Musterserie, wobei alle Arbeitsgänge peinlich genau und systematisch durchgeführt werden müssen. Mit etwas Geschick und einigen Hilfsmitteln, die zu diesem Zweck zu beschaffen sind, verliert eine solche Fertigung ihren Schrecken und kann sich durchaus in eine dankbare Aufgabe umwandeln. Das wichtigste Element ist die laufende Kontrolle während der Produktion; auch wenn es den Anschein hat, sie käme zu teuer, ist es am Ende doch die billigste Art der Präzisionsfertigung.

Im vorliegenden Aufsatz wurde absichtlich jede Erwähnung der erzielbaren Stückleistungen vermieden, weil diese mit der Art, Zustand und Qualität der eingesetzten Maschinen in weitem Bereich schwanken können. Auch die Verarbeitung der Werkzeuge und die Wahl der Betriebsmitteleigenschaften kann die Ausbringungsleistung erheblich beeinflussen.

Ingenieurbüro Rudolf Fietz, vormals Fietz & Hauri

DK 92

Ein Zeichen der Zeit: erst im Dezember hatten wir das 40. Jubiläum eines Ingenieurbüros gefeiert, das 37 Mitarbeiter beschäftigt, und nun weist das ehemalige Büro Fietz & Hauri nach erst 17jährigem Bestehen schon deren 30 auf. Der Grund, aus dem sich am 21. Januar im Zunfthaus zur Meisen in Zürich eine illustre Gästeschar (darunter Schulratspräsident Burckhardt, Direktor Cosandey aus Lausanne, Ständerat Honegger, Oberstkorpskommandant Uhlmann sowie prominente Architekten, Ingenieure und zugewandte Orte) versammelte, war aber nicht die Zahl 17 – weder Fietz noch Hauri sind noch zu Füssen unseres Altmeisters der Mathematik, Prof. Hirsch, gesessen –, sondern das durch die Tätigkeit an der ETH erzwungene Ausscheiden von H. Hauri als Teilhaber der Firma, in welcher er inskünftig zwar noch, nebst Prof. E. Tavernaro (Winterthur), als Mitarbeiter zeichnet.

Rud. Fietz umriss die Geschichte des 1951 gegründeten Büros, das rasch wuchs und heute auf eine stattliche Zahl von ausgeführten Bauten zurückblicken kann: 80 Wohnhäuser, 30 Geschäftshäuser, 70 Fabriken und Laboratorien (darunter das CERN in Genf), 60 öffentliche Gebäude, 35 Brücken, 30 Kläranlagen, Wasserbehälter usw. Acht erste Preise an Wettbewerben wurden errungen. Prof. Hauri seinerseits gab einen Rückblick auf seine persönliche Laufbahn. Sein Talent zum Lehren führte ihn zunächst ans Technikum Winterthur, das er aber zugunsten der bauschöpferischen Tätigkeit im Büro wieder verliess. Doch es sollte nicht sein. Bald nachher erhielt er den Ruf an die ETH, dem er 1963 folgte. Und auch bei der Professur an der Abteilung I blieb es nicht, vielmehr musste er auch die Lehrer-