Berylliumlegierungen für Uhrenteile

Vortrag von Dr. phil. Dr.-Ing. e. h. W. Rohn auf der sechsten Mitgliederversammlung der Gesellschaft für Zeitmeßkunde und Uhrentechnik in Berlin am 4. Januar 1936

Wie in jeder Maschine, so sind auch in der Uhr die bewegten Teile, d. h. Zapfen und Lager, Zahnräder und Triebe und sonstige Gangteile einem Verschleiß unterworfen. Gegenüber der überwiegenden Mehrzahl der Maschinen sind aber die Lebensbedingungen der Uhr wesentlich schärfer; schon von einer gewöhnlichen Dreimark-Uhr verlangt man vielfach, daß sie mindestens auf eine Minute pro Tag genau gehen soll, d. h. man verlangt von ihr eine Präzision von mehr als ein Zehntel Prozent. Soll eine Uhr pro Tag nicht mehr als einen Fehler von einer Sekunde aufweisen, so verlangt man von ihr sogar eine Präzision von etwa $^1/_{1000}$ Prozent. Schon daraus kann jeder Laie ermessen, welche ganz außerordentliche Präzision von den Bestandteilen einer Uhr und ihrem Zusammenarbeiten trotz winziger Dimensionen verlangt wird. Andererseits ist jedem Laien klar, daß beispielsweise ein Kraftwagen regelmäßige Wartung und insbesondere Schmierung nötig hat, während der große Durchschnitt der Besitzer von einer Uhr verlangt, daß sie, einmal gekauft und in die Tasche gesteckt, ohne jede Wartung und Schmierung jahrelang unverändert ihren Dienst tut.

Schon daraus müßte sogar ein Laie einsehen, daß neben äußerster Präzision in der Herstellung für die Bestandteile einer Uhr ganz besonders ausgesuchte Werkstoffe verwendet werden müssen, um trotz mangelhafter Pflege und Schmierung den Verschleiß der bewegten Teile und die Genauigkeit des Ganges innerhalb engster Grenzen zu halten.

Die Nachteile des härtbaren Stahles

Von jeher hat sich deshalb die Uhrenindustrie bemüht, die besten Werkstoffe ausfindig zu machen und zu benutzen. Da der Verschleiß bewegter Teile, abgesehen von der Schmierung, im allgemeinen um so kleiner wird, je härter die

verwendeten Werkstoffe sind, hat man die Zapfen aus gehärtetem Stahl hergestellt, hochfein poliert und in Lagern von Rubinen oder Saphiren laufen lassen und ebenso die empfindlichen Teile aus gehärtetem Stahl hergestellt.

Härtbarer Stahl, d. h. in diesem Sinne eine Legierung aus Eisen mit 1 bis 1¼ % Kohlenstoff, ist in ausgeglühtem Zustande weich und gut bearbeitbar. Erhitzt man dann die in ihre endgültige Form gebrachten Stahlteile auf etwa 800° und schreckt sie von dieser Temperatur ab, so nehmen sie eine hohe Härte an und widerstehen im gehärteten Zustand der Abnutzung und dem Verschleiß. Lästig sind dabei zwei Begleiterscheinungen:

Durch die Erhitzung auf 800° tritt eine mehr oder weniger starke Oxydation und Verzunderung ein, so daß man die gehärteten Teile putzen und polieren muß, um diese Oxydschicht wieder zu entfernen. Je feiner die Teile, um so kostspieliger wird die Entfernung des Oxydes, und um so mehr leiden die feinsten Teile durch den Substanzverlust infolge der Oxydation selbst und des nachträglichen Polierens. Ferner pflegt sich Stahl beim Härten etwas zu verziehen. Beides wirkt dahin, daß nach dem Härten im allgemeinen die Teile, von denen äußerste Präzision verlangt werden muß, nochmals geschliffen werden müssen.

Es ist deshalb gerade für die Uhrenindustrie sicher von besonderer Bedeutung, wenn es gelingen kann, metallischen Werkstoffen hohe Härte und hohen Widerstand gegen Verschleiß zu verleihen, ohne Oxydation und Verzunderung und ohne Verziehen bei der Vornahme der Härtung.

Das Prinzip der „vergütbaren" Legierungen

In dieser Richtung bedeuten die vergütbaren oder ausscheidungshärtbaren Werkstoffe einen bedeutenden Fortschritt. Der erste technisch benutzte vergütbare Werkstoff war das Duralumin, das vor etwa dreißig Jahren von Wilms erfunden wurde und seitdem von den Dürener Metallwerken hergestellt wird. Worauf die Vergütbarkeit des Duralumins und anderer ähnlicher Legierungen beruhte, ist allerdings erst im Laufe der letzten zehn bis fünfzehn Jahre durch die wissenschaftliche Forschung aufgeklärt worden. Soviel wir heute wissen, hat die Härtbarkeit durch Vergütung oder Ausscheidung zur Voraussetzung, daß in einem Grundbestandteil einer Legierung wie Eisen, Nickel oder Kupfer

ein zweiter Bestandteil vorhanden ist, der sich bei höheren Temperaturen in dem Grundbestandteil zu einem höheren Prozentsatz löst als bei niedrigeren Temperaturen.

Die Abb. 1 zeigt eine Kupfer-Beryllium-Legierung, die aus 97½ % Kupfer und 2½ % Beryllium besteht. Das Bild zeigt deutlich, daß in einer Grundmasse ein zweiter Bestandteil als feine Teilchen verteilt ist; die Vergrößerung des mikroskopischen Bildes ist etwa 120fach, d. h. die kleinen, rundlichen, eingesprengten Teilchen, die

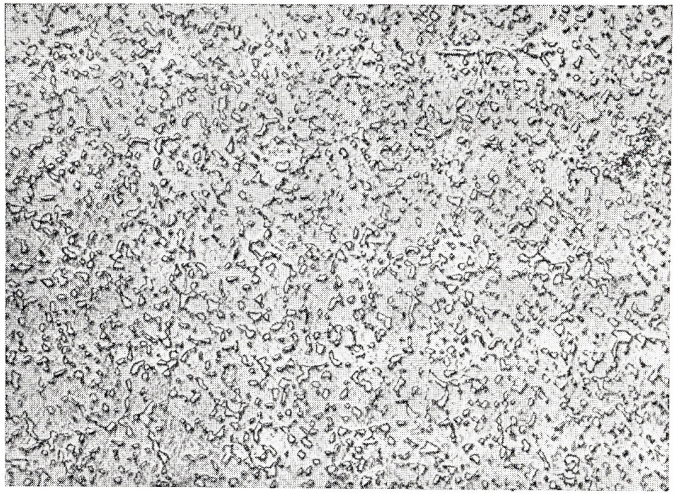

Abb. 1. Schliffbild einer Beryllium-Kupfer-Legierung mit 2,5% Beryllium, mit Ammonium-Kupferchlorid geätzt

man im Bilde sieht, haben in Wirklichkeit einen Durchmesser von etwa $^1/_{100}$ bis $^1/_{300}$ mm. Erhitzt man eine solche Legierung auf etwa 700 Grad, so gehen die feinen eingesprengten Teilchen homogen in Lösung, und wenn man die Legierung von dieser Temperatur rasch abschreckt, so hat der zweite Bestandteil keine Zeit, sich wieder auszuscheiden oder auszukristallisieren, sondern wird in homogener Lösung übersättigt festgehalten. Nach dieser Behandlung sieht man dann auf einem Schliffbild keinerlei zweite Bestandteile mehr, sondern nur eine gleichmäßige homogene Fläche. In diesem Zustand besitzen solche Legierungen ihre maximale Weichheit, Verformbarkeit und Bearbeitbarkeit.

Sie lassen sich deshalb in diesem Zustand walzen, ziehen, stanzen, prägen und bearbeiten.

Wenn man nun eine solche übersättigte Lösung für einige Stunden auf eine Temperatur von etwa 250 Grad erhitzt, so beginnt sich der in übersättigter Lösung abgeschreckte zweite Bestandteil in allerfeinster Verteilung wieder auszuscheiden; diese Ausscheidungen sind so fein, daß sie in vielen Fällen sogar unter dem Mikroskop nicht sichtbar werden. Diese feine, in vielen Fällen unsichtbare Ausscheidung hat einen außerordentlich

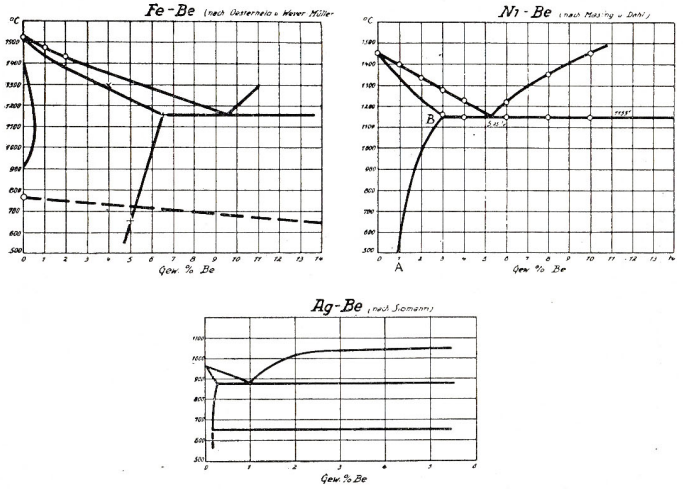

Abb. 2. Zustandsschaubilder der Legierungen Eisen-Beryllium (Fe-Be), Nickel-Beryllium (Ni-Be), Silber-Beryllium (Ag-Be)

starken Einfluß auf die Härte und die sonstigen Festigkeitseigenschaften des Werkstoffes.

Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 2 das sogenannte „Zustandsdiagramm" der Legierungen von Nickel mit Beryllium. Als Ordinaten sind Temperaturen, als Abszissen Gehalte an Beryllium aufgetragen. Die Linie A B gibt an, wieviel Prozent Beryllium bei jeder zugehörigen Temperatur von Nickel in homogener Lösung aufgenommen werden, und man sieht, daß diese Löslichkeit bei 500 Grad etwa 1 % und bei 1000 Grad etwa 2 % beträgt.

Wenn man also eine Legierung von Nickel mit 2 % Beryllium von 1000 Grad abschreckt, so erhält man eine

homogene, übersättigte Lösung mit 2 % Berylliumgehalt. Erhitzt man diese Legierung später für einige Stunden auf z. B. 450 Grad, so kann bei dieser Temperatur nur 1 % Beryllium in homogener Lösung verbleiben, und die Differenz von 2—1 % Beryllium scheidet sich in feinster Verteilung aus und bewirkt dadurch eine Härtesteigerung.

Die Abbildung 3 zeigt, wie die Härte einer Nickel-Beryllium-Legierung, die im abgeschreckten Zustande 140 Brinell-Einheiten beträgt, durch Anlassen auf verschiedene Temperaturen ansteigt. Interessant ist dabei, daß man eine durch Kaltwalzen erzeugte Härte mit der durch Vergütung erzeugten Härte überlagern kann. Wenn man beispielsweise den abgeschreck-

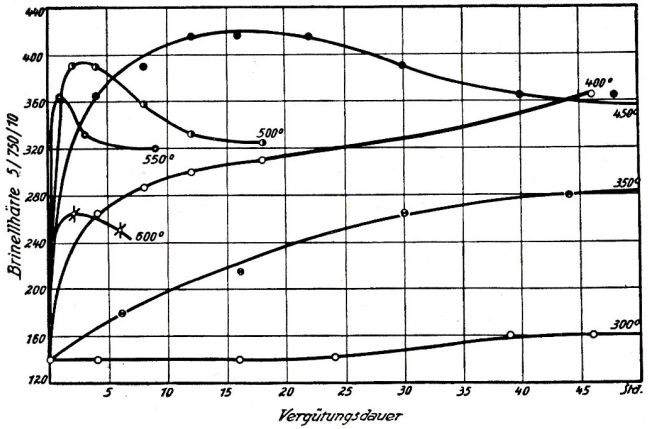

Abb. 3. Vergütungsisothermen von Beryllium-Nickel-Legierungen

ten, weichen Werkstoff mit 140 Brinell-Einheiten durch Kaltwalzen in seiner Härte auf 220 oder 250 Brinell-Einheiten steigert und damit in einen Zustand bringt, in dem er immer noch gut bearbeitbar ist, so kann man ihn durch nachträgliches Anlassen auf 450 Grad auf eine Härte von 500 Brinell-Einheiten bringen und ihn damit gehärtetem und angelassenem Stahl gleichwertig machen.

Die Eigenschaft der Ausscheidungshärtung ist aus einer großen Reihe von Legierungs-Systemen bekannt geworden, aber keiner der Legierungszusätze bewirkt eine so außerordentliche Härtesteigerung wie gerade das Beryllium, so

daß erst seit der Erforschung der Beryllium-Legierungen die Möglichkeit gegeben ist, gehärtete Stahlteile durch vergütbare Legierungen zu ersetzen.

Die Vorteile der vergütbaren Legierungen in der Praxis

Was bedeutet nun die Einführung solcher vergütbaren Legierungen? Der Hersteller der Legierungen liefert diese an

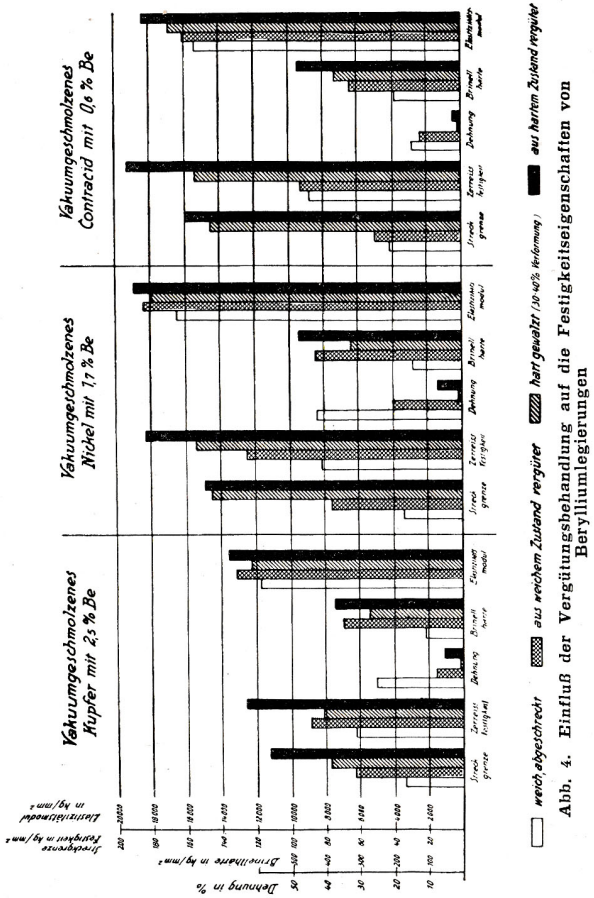

Abb. 4. Einfluß der Vergütungsbehandlung auf die Festigkeitseigenschaften von Berylliumlegierungen

den Uhrenfabrikanten in weichem abgeschreckten Zustande oder weich abgeschreckt und kalt nachgewalzt an. In diesem

Zustande ist der Werkstoff tadellos sauber und blank und ist nach allen üblichen Verfahren leicht verarbeitbar und bearbeitbar durch Stanzen, Ziehen, Prägen, Fräsen, Drehen usw. Haben die Teile dann ihre endgültige Form erhalten, so werden sie für einige Stunden auf mäßige Temperaturen erwärmt, Temperaturen, die zwischen 250 und 450 Grad liegen. Dabei nehmen sie hohe Härte an, ohne zu oxydieren und ohne sich zu verziehen. Infolgedessen fällt jegliches Nacharbeiten durch Wegpolieren der Oxydschicht oder durch Nachschleifen verzogener Teile fort. Gerade die unangenehmsten und zeitraubendsten Arbeiten, die obendrein noch Anlaß zu Ausschuß geben können, fallen demnach bei der Verwendung vergütbarer Legierungen restlos weg. Als weiteren Vorteil gewinnt man dabei, daß diese vergütbaren Legierungen rostbeständig sind und damit einer der bittersten Feinde der Uhr aus dem Felde geschlagen ist. Ebenso sind die meisten der vergütbaren Legierungen unmagnetisch, und damit ist auch dieser Feind der Ganggenauigkeit überwunden.

Zur Erläuterung zeigt die Abbildung 4, wie für die drei Legierungen Kupfer-Beryllium, Nickel-Beryllium und Chrom-Nickel-Molybdän-Beryllium (Contracid) die mechanischen Eigenschaften: Streckgrenze, Zerreißfestigkeit, Dehnung, Brinellhärte und Elastizitätsmodul durch Vergütung aus weichem oder hartgewalztem Zustand gesteigert werden können. Diese Legierungen sind nur als Beispiele aus einer großen Zahl ähnlicher Legierungen herausgegriffen.

Einige Anwendungsbeispiele im Uhrenbau

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen über die wesentlichen Eigenschaften der vergütbaren Legierungen und die Art ihrer Behandlung möchte ich nun nur kurz noch einige Beispiele für deren Anwendung im Uhrenbau geben.

Die Verwendung für Wellen und Zapfen versteht sich nach dem Gesagten von selbst. Solche Wellen und Zapfen verziehen sich nicht beim Härten, brauchen nicht nachpoliert zu werden, rosten nicht und sind infolge ihrer hohen Zähigkeit praktisch bruchsicher. Zum Zapfen gehört als Gegenstück das Lager. Während man als Zapfenlager bisher in allen besseren Uhren fast ausschließlich Steinlager verwendet, hat sich gezeigt, daß man dafür infolge der guten Laufeigenschaften und des großen Abnutzungswiderstandes mit Erfolg Lager aus Beryllium-Kupfer verwenden kann, die

zugleich die Eigenschaft haben, das Öl gut zu halten. Solche Lager aus Beryllium-Kupfer in Verbindung mit richtig geformten Zapfen sind praktisch fall- und bruchsicher.

Für die Unruhen ist es erwünscht, daß man im Falle einer Reparatur eine beschädigte Welle herausschlagen kann, ohne daß das Loch sich erweitert, so daß die neue Welle durch einfaches Einschlagen wieder zu völlig festem Sitz kommt. Messing, Neusilber und andere bisher verwandte Baustoffe genügen dem nicht, während eine Unruh aus Beryllium-Kupfer ohne weiteres infolge ihrer hohen Härte und Zähigkeit ein einfaches Auswechseln der Welle gestattet, so daß Unruhen aus Beryllium-Kupfer heute schon in beträchtlichem Umfange verwandt werden, auch oder gerade wenn man noch gewöhnliche Stahlwellen verwendet.

Bei Trieben und Zahnrädern ist neben dem Wegfall des Polierens nach dem Härten die Verziehungsfreiheit wesentlich, so daß ein Nachschleifen der durch Ausscheidung gehärteten Teile entfällt.

Wohl am unangenehmsten wird das Wegpolieren der beim Härten gebildeten Oxydschicht für die Zugfedern empfunden, und diese Arbeit bedingt einen beträchtlichen Anteil der Herstellungskosten. Ferner ist gerade für die Zugfedern die Rostgefahr von größter Bedeutung, da ja bekanntlich neun Zehntel aller Federbrüche von winzigen Roststellen ihren Ausgang nehmen.

Die Abbildung 5 zeigt Energiekurven gehärteter Stahlfedern und vergüteter, unmagnetischer und rostbeständiger Contracid-Beryllium-Federn. Für beide Werkstoffe ist je ein Exemplar höchster erreichbarer Güte und durchschnittlicher Güte im Lieferzustand dargestellt. Man sieht, daß die beste Qualität der Berylliumfeder der besten Qualität Stahlfeder kaum nachsteht. Im Durchschnitt kann man etwa annehmen, daß die Berylliumfeder bei gleichen Dimensionen ein etwa 10 % geringeres Speicherungsvermögen besitzt als die Stahlfeder, so daß nach Möglichkeit die Berylliumfeder in der Stärke um etwa 5 % dicker gewählt werden sollte als die entsprechende Stahlfeder. Dies gilt jedoch nur für beide Federn im Neuzustand. Bei der Stahlfeder ist bekannt, daß sie in den ersten sechs bis zwölf Monaten des Gebrauches im Durchschnitt um etwa 10 % an Elastizität nachläßt, während die Berylliumfeder im Gebrauch noch geringfügig nach-

vergütet und infolgedessen nicht nachläßt, sondern während der ersten sechs bis zwölf Monate des Gebrauches noch um 5 bis 10 % an elastischem Speichervermögen zunimmt. Infolgedessen kompensiert eine Uhr mit Berylliumzugfeder während des ersten Jahres des Gebrauches den Fehler, der bisher durch Verharzen und Wegkriechen des Öles eintrat, während bei der Zugfeder aus gehärtetem Stahl sich der durch das Öl bedingte Fehler mit dem Fehler durch das Nachlassen der Elastizität der Stahlfeder addiert. Neben der Nichtmagnetisierbarkeit und der absoluten Rostbeständigkeit der Berylliumfeder besitzt diese ferner noch den Vorteil eines sehr gleichmäßigen Drehmomentes über die gesamte Ablaufdauer, so daß der Gang einer damit ausgerüsteten Uhr un-

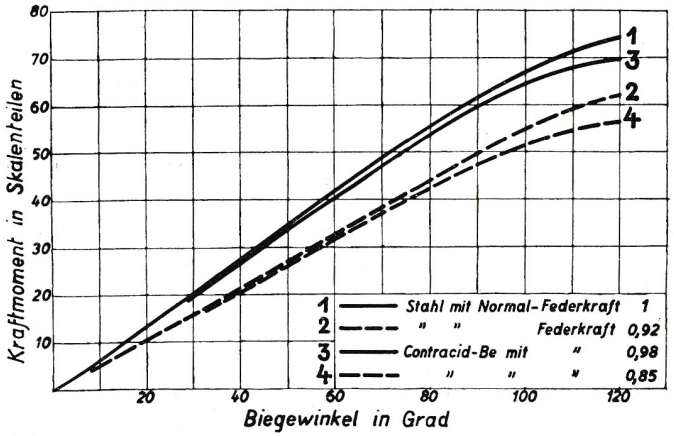

Abb. 5. Federkraft von Stahl- und Contracid-Beryllium-Federn, 2,05×1,9 mm

abhängig davon ist, ob die Uhr einmal täglich oder häufig zwischendurch aufgezogen wird.

Schließlich ist es gelungen, auf Anregung und in Zusammenarbeit mit Direktor Straumann Spiralfedern zu entwickeln, deren Elastizität von der Temperatur praktisch unabhängig ist. Diese Nivarox-Spiralfedern sind unmagnetisch und besitzen sehr hohe Elastizität, so daß sie gegenüber den bisher verwendeten temperaturunabhängigen Spiralen bis zu 90 Grad größere Amplituden der Unruh ergeben und dadurch die Ganggenauigkeit sehr günstig beeinflussen. Uhren mit

solchen Nivarox-Spiralfedern bleiben erst in magnetischen Feldern von 800 Gauß stehen und gehen nach Verschwinden des magnetischen Feldes unverändert weiter, während Uhren mit den bisher verwendeten temperaturunabhängigen Spiralfedern schon in Feldern von 60 bis 80 Gauß stehenbleiben und nach Verschwinden des magnetischen Feldes Gangabweichungen von 10 bis 20 Sekunden pro Tag zeigen. Infolge ihrer hohen Elastizität erleiden Spiralfedern aus Beryllium-Legierungen auch nach hartem Stoß keinerlei bleibende Verformung. Man konnte deshalb Armbanduhren, die mit solchen Spiralfedern und Zapfenlagern aus Beryllium-Kupfer ausgerüstet waren, aus über 1000 m Höhe aus einem Flugzeug werfen, wobei sie teils auf Schuppendächer, teils auf Betonboden fielen, ohne daß die Uhren reparaturbedürftig geworden wären oder auch nur nennenswert in ihrer Ganggenauigkeit nachgelassen hätten.

Die Prüfung eines Seechronometers mit Nivarox-Spiralfeder auf der Sternwarte in Neuchâtel ergab innerhalb eines Vierteljahres eine Differenz von $^{4}/_{100}$ Sekunden des täglichen Ganges zwischen dem ersten und dem letzten Tage der Prüfung. Zwei Taschenchronometer, die Dr. Villinger auf der Nautilus-Nordpol-Expedition mitnahm, ergaben innerhalb von 11 Monaten nur Differenzen des täglichen Ganges von 0,1 bzw. 0,06 Sek. über einen Zeitraum von elf Monaten.

Naturgemäß ist es im Rahmen eines kurzen Vortrages nicht möglich, auf alle Einzelheiten einzugehen. Ein neuer Werkstoff oder eine neue Klasse von Werkstoffen werden auch nicht von heute auf morgen restlos erforscht und allgemein eingeführt, sondern jede solche Entwicklung kann nur Schritt für Schritt und unter sorgfältigster Beobachtung erfolgen. Immerhin blickt die Verwendung der Nivarox-Spiralfeder und der Zapfenlager aus Kupfer-Beryllium heute bereits auf eine drei- bis vierjährige Erfahrung, und die Resultate sind ausnahmslos so befriedigend, daß die Anwendung im letzten Jahr einen steilen Aufstieg genommen hat. Auch die Zugfedern aus Berylliumlegierungen sind nunmehr seit eineinhalb Jahren unter Beobachtung, ohne daß bis heute auch nur ein einziger Federbruch bekannt geworden wäre.

Die präzise Herstellung sauberer Legierungen ist gerade bei Beryllium besonders schwierig, weil dieses von allen bekannten metallischen Elementen das am meisten oxydable ist. Deshalb werden diese Legierungen im Vakuum ge-

schmolzen und zu Blöcken vergossen. — Bei der Ausarbeitung der für die Uhrenindustrie wichtigen Legierungen ist die Mitarbeit von Direktor Straumann ganz besonders wertvoll gewesen.

Vielleicht darf ich an dieser Stelle noch einige Punkte kurz berühren, die in der Aussprache zum Stahlvortrag von Dr. Wiester zur Sprache gekommen sind. Gehäuse, die magnetische Einflüsse von dem Werk der Uhr fernhalten sollen und deshalb aus Permalloy und ähnlichen Legierungen hergestellt werden, müssen am Schluß aller Arbeitsgänge nochmals eine sorgfältige und genau definierte Wärmebehandlung erhalten. Die kleinste spätere Kaltverformung kann die hochwertigen magnetischen Eigenschaften und damit die Abschirmwirkung zum größten Teil zerstören. Für einen Uhrendeckel kann unter Umständen schon ein kräftiges Drücken genügend Kaltverformung bewirken, um die magnetischen Eigenschaften solcher magnetisch extrem weicher Legierungen zu zerstören. Um so mehr scheint es wichtig, in der Uhr selbst ausschließlich Werkstoffe zu verwenden, die magnetisch völlig unempfindlich sind, und ich hoffe, Ihnen in dieser Richtung einige Hinweise gegeben zu haben.

Auch die Frage der unmagnetischen Werkzeuge läßt sich mit Berylliumlegierungen lösen, da diese unmagnetisch sind und doch die Härte gehärteter Stähle besitzen, so daß es ohne weiteres möglich ist, daraus Schraubenzieher, Kornzangen, feine Zangen usw. herzustellen. Auch der Preis dürfte sich durchaus in erträglichem Rahmen halten. Wenn man berücksichtigt, daß die Formgebung etwa die gleichen Kosten verursachen wird wie bei Stahl, kann man annehmen, daß man pro Kilo Gewicht des Werkzeuges etwa 20 bis 30 RM Mehrpreis rechnen muß. Dabei ist zu berücksichtigen, daß es genügt, lediglich den arbeitenden Teil des Werkzeuges auf 20 bis 25 mm Länge aus der ausscheidungsgehärteten Berylliumlegierung herzustellen. Wenn man bedenkt, wieviel Kosten durch das Entmagnetisieren in regelmäßigen Zeitabständen entstehen, und wieviel Verdruß und Schaden erwachsen, wenn eine solche Entmagnetisierung übersehen wurde oder nicht erfolgreich war, wie wir dies ja aus zahlreichen Aussprachebemerkungen gehört haben, so dürften die Mehrkosten solcher Werkzeuge aus Berylliumlegierungen kaum wesentlich ins Gewicht fallen.

Schließlich kann vielleicht noch von Interesse sein, daß der Werkstoff Contracid ohne Berylliumgehalt sich sehr gut zu Gehäusen verarbeiten läßt. Solche Gehäuse sind in jedem Zustand, kaltverformt oder nicht, völlig unmagnetisch. Außerdem ist auf Grund mehrjähriger Erfahrung in tropischen Gegenden berichtet worden, daß Contracid der einzige Werkstoff sei, abgesehen von Gold und Platin, der auch durch den Schweiß farbiger Menschen absolut unverändert bleibt und auch keine Spuren hinterläßt.

Wenn ich in Ihnen den Eindruck erwecken konnte, daß die Berylliumlegierungen interessante Werkstoffe sind, die nach allem, was man bis heute von ihnen kennengelernt hat und weiß, dazu berufen erscheinen, der Uhrenindustrie nützliche Hilfsmittel zu werden in ihrem Streben nach Vereinfachung und Verbilligung der Fabrikation mit gleichzeitiger Steigerung der Qualität und Präzision, so wird der Zweck meiner Ausführungen erreicht sein.

Aussprache

Der Vorsitzende Fr. A. Kames: Ich danke Dr. Rohn verbindlich für seine ausgezeichneten Ausführungen. Er wird aus den Äußerungen der Versammlung selbst den Eindruck gewonnen haben, daß er etwas das ganze Gewerbe Befriedigendes gesagt hat. Über einige Punkte möchte ich Dr. Rohn um Aufklärung bitten. Er hat die Möglichkeit erwähnt, Werkzeuge aus Berylliumlegierungen herzustellen. Hierbei spielt aber die Kostenfrage eine Rolle; wie dürfte es sich hiermit bei einer rationellen Herstellung verhalten?

Weiter hat Dr. Rohn die Tatsache erwähnt, daß bei Zugfedern aus Berylliumlegierungen tatsächlich eine Garantie gegen die Bruchgefahr übernommen werden könne. Das würde von manchen Uhrmachern nur mit geteilter Freude aufgenommen werden, wodurch natürlich der Fortschritt nicht gehindert werden darf. Nun ist die Zugfeder aber überhaupt ein Kapitel für sich. Nachdem man mit Zugfedern allzu häufig Mißerfolge erlebt hat, sind Fabrikanten und Uhrmacher von einem sehr großen Mißtrauen erfüllt, hier Neuerungen einzuführen. Die Hersteller des neuen Materials werden ein übriges tun müssen, um durch eingehende, kontrollierte Versuche und Bekanntgabe der Ergebnisse zunächst einmal den Herstellern der Zugfedern, dann aber vor allen Dingen den Uhrenfabriken

und Uhrmachern die Zuversicht zu geben, daß hier die absolute Gewähr für eine Bewährung des neuen Materials geboten ist. Die Mißerfolge mit neuen Zugfedern (und Uhrenölen!) sind gelegentlich so groß gewesen, daß der gute Ruf von Uhrenfabriken aufs stärkste gefährdet war.

Weiter wurde empfohlen, Wellen und Triebe aus Berylliumlegierungen herzustellen. Das ist auch für mich ein neuer Vorschlag; denn ich hatte nicht damit gerechnet, daß dies in Betracht komme. Ferner sollen Steinlager durch Lager aus Berylliumlegierungen ersetzt werden. Nach allen bisherigen Erfahrungen sollen Lager und Zapfen stets aus verschiedenem Material bestehen. Wie verhält es sich nun hier, wenn gleiche Materialien aufeinander arbeiten sollen?

Dann hat Dr. Rohn über die Härtung von Teilen aus Berylliumlegierungen gesprochen. Läßt sich diese Härtung auch im Einzelfall und in der Reparaturwerkstatt durchführen?

Ich glaube, für uns Zuhörer war der Vortrag ein Erlebnis, und das trotz des etwas unangenehmen Gefühls, das uns beschleicht, wenn wir an den Versuch denken, bei dem Uhren mit Berylliumteilen aus einem Flugzeug aus tausend Meter Höhe heruntergeworfen worden sind, was die übertriebensten Berichte in der Tagespresse zur Folge gehabt hat unter dem Schlagwort „Beryllium-Uhren aus 1000 m Höhe heruntergeworfen" usw. Das Ergebnis war, daß nun vom Publikum beim Uhrmacher „Beryllium-Uhren" schlechthin verlangt werden, natürlich ganz aus Beryllium, und daß die Uhrmacher sich nun mit solchen Kunden herumplagen müssen, ohne ihnen jedoch befriedigend klarmachen zu können, daß es solche Uhren gar nicht gibt. Ich möchte deshalb die Gelegenheit benutzen, um Vorsicht bei der Berichterstattung über solche Versuche zu empfehlen.

Dr.-Ing. J. Baltzer: Ich möchte eine Frage an Dr. Rohn oder Direktor Straumann richten; sie betrifft die Magnetisierung von Uhren in schwachen Magnetfeldern. In den Schweizer Veröffentlichungen über den Einfluß des Magnetismus auf Uhren sieht man im allgemeinen Gangkurven, die schon in den schwachen Feldern ein zunächst nur ganz geringfügiges, dann (asymptotisch) stärker ansteigendes Nachgehen und schließlich ein Stehenbleiben der Uhr in sehr starken Feldern aufweisen. Dagegen ist eine

Kurve einer hochwertigen Präzisionsuhr mit aufgeschnittener bimetallischer Unruh und Stahlspirale wiedergegeben, bei der die Uhr in den schwachen Magnetfeldern schon bei 1 bis 2 Gauß ein für diese Uhrengattung beträchtliches Vorgehen (etwa 5 Sekunden und mehr) zeigt, dann bei etwa 5 oder 10 Gauß ein Maximum des Vorgehens, um dann in den stärkeren Feldern gleichfalls ein Nachgehen und schließlich ein Stehenbleiben aufzuweisen. Die Kurve läßt nicht erkennen, ob die Werte in den ganz schwachen Feldern nur extrapoliert sind, oder ob auch in den ganz schwachen Feldern Messungen vorgenommen worden sind. Womit erklären Sie das auffällige abweichende Verhalten dieser Uhr in den schwachen Feldern? Man könnte ja daraus fast den Schluß ziehen, daß für billige Uhren in den schwachen Magnetfeldern keine Gefährdung besteht, daß dagegen gerade bei den besseren Uhren, wenn sie eine bimetallische Unruh und eine Stahlspirale haben, die ganze Mühe der Vollendung und Reglage unter Umständen in ganz schwachen Feldern, evtl. sogar von der Größenordnung des Erdfeldes, wieder vernichtet werden könnte.

Eine zweite Frage: Was ist unter der „Vergütung des Elinvars" zu verstehen, von der in einem Vortrage die Rede war? Ist das Elinvar an sich vergütbar, oder handelt es sich um neue Legierungen?

Oberingenieur H. Voigt: Ich möchte zu dem Thema Berylliumlegierungen einiges sagen, was nicht auf eine Frage an Dr. Rohn hinausläuft, sondern auf eine Feststellung, die sich an die Uhrmacher richtet. Ich erinnere an die Zeit, als Dr. Riefler seine Uhren mit einfachem Kompensationspendel auf den Markt brachte. Ich weiß noch ganz genau, daß damals in Kreisen der Uhrmacher eine ziemlich allgemeine Ablehnung dieser rein technischen Zweckformen zu finden war. Diese hochwertigen Uhren hatten natürlich einen anderen Käuferkreis, aber sie haben sich dann doch durchgesetzt. Ich glaube aber, und aus einigen Erfahrungen weiß ich es sogar, daß, wenn man heute in einer Uhr in der Qualität einer guten Junghans-Uhr an Stelle eines roten Lagersteines jetzt Berylliumlager hineinbringen würde, der weitaus größte Prozentsatz der Uhrmacher die Einführung beim Kunden aus mangelnder Überzeugung oder eigenem Konservativismus nicht durchsetzen könnte.

Wir sind auf dem Gebiete der Technik schlechthin heute bekanntlich aus volkswirtschaftlichen Gründen oft in der Zwangslage, einen Werkstoff, der uns Schwierigkeiten macht, durch einen anderen zu ersetzen, fragen aber nicht nach den besonderen kaufmännischen Schwierigkeiten, fragen auch niemals nach dem reinen Aussehen oder gar nach der Farbe des Werkstoffes. Sogar bei den Uhrmachern stoßen wir oft auch von der Seite des Fabrikanten auf Schwierigkeiten, wirklich längst bewährte Dinge unterzubringen, nur weil sie „anders aussehen". Ich könnte mir vorstellen, vom Standpunkt des Uhrmachers aus gesehen, daß gerade solche deutschen Forschungsergebnisse wie z. B. diese Lager aus Beryllium-Kupfer-Legierungen oder die Bemühungen um eine bruchfeste Feder Veranlassung geben könnten, das Publikum wieder in den Laden des Uhrmachers zu bringen.

Es gibt übrigens auch eine Garantie, die sich nicht allein auf Materialdinge bezieht, sondern auch nach der Kulanz-Seite hin geht; das ist auch bei der Federbruchgarantie zu bedenken. Sie werden mit mir der Ansicht sein, daß die Klippe, die bei der Einführung solcher Dinge leider noch viel zu schaffen macht, unbedingt überwunden werden muß. Was die bei einem früheren Vortrag angeschnittene Frage betrifft, daß entmagnetisierte Uhren durch einen Händedruck wieder für Magnetismus empfänglich werden, so darf ich daran erinnern, daß derartige Empfindlichkeiten nichts Neues sind.

Der Vorsitzende: Ich danke H. Voigt für seine sehr beachtenswerten Ausführungen. Es ist bisher leider sehr wenig von dem Erzeuger der Berylliumlegierungen getan worden, um wenigstens Fabrikanten und Uhrmacher dafür zu erwärmen und aufzuklären. Das scheint mir notwendig zu sein, ehe der Uhrmacher an das Publikum herangeht. Ich würde es sehr begrüßen, wenn der Reichsinnungsverband ebenfalls die Aufklärung übernehmen würde. Aber auch die Erzeuger der Legierungen sollten die Uhrenfabrikanten und die Uhrmacher wirklich ernsthaft auf diese Dinge hinweisen.

Die Verwendung von Zugfedern aus Berylliumlegierungen an Stelle von Stahlfedern wird für kleine Uhren, vor allem kleine Armbanduhren, nicht ganz einfach sein, denn diese Feder gebraucht mehr Platz im Federhaus, um die gleiche Gangdauer zu erzielen; 5 % Mehrbedarf an Raum ist schon zuviel bei einer Zugfeder, bei der die Kraft noch gerade ausreicht. Es ist andererseits zweifellos schon mit

dem zur Verfügung stehenden Raum im Federhaus besser geworden bei der Einführung der Werke mit rechteckigen Platinen, wodurch man für das Federhaus etwas mehr Raum geschaffen hat.

J. Ziepel: In bezug auf die Aufnahmebereitschaft der deutschen Uhrmacher glaube ich sagen zu können, daß wir es lebhaft begrüßen würden, wenn die Bekanntmachung der technischen Neuerungen und wohlgemerkt auch ihre Lieferbarkeit durch die Gesamtheit des Gewerbes und nicht nur durch einzelne Gruppen von Uhrmachern erfolgte. Wenn wir mit Hilfe unseres Fachausschusses feststellen, daß tatsächlich eine Neuerung vorliegt, die „Hand und Fuß" hat, dann werden wir uns auch mit allen Mitteln dafür einsetzen, daß sich diese Neuerung durchsetzt, und wir würden auch unsere Uhrmacher auf diesem Gebiet schulen. Der Kunde geht ja auch immer mehr und mehr dazu über, den Rat des Uhrmachers zu hören. Ich muß schon sagen, daß sich heute die handwerkliche Schulung im allgemeinen so auswirkt, daß der Handwerker nicht rückwärts schreiten will, sondern, wenn die Technik die Möglichkeit bietet, in ein besseres Licht zu kommen sucht. Wenn durch technische Fortschritte Strukturveränderungen des Gewerbes verursacht werden, stehen wir dem auch nicht entgegen. Das kann ich wohl als Erklärung für den vernünftigen Uhrmacher abgeben.

Direktor R. Straumann: Ich möchte noch die Frage von Dr. Baltzer beantworten. Die Gänge in den schwachen Feldern sind untersucht worden. Ich verweise wieder auf die Kurve von Dr. Mügeli, die auch in den schwachen Feldern durch Messung ermittelt worden ist. Die Kurve erklärt sich so, daß die Schwingungsweite sehr weit abfällt; selbstverständlich, da gerade die aufgeschnittene Unruh geradezu zu einem mehrpoligen Magneten wird, ist eine starke Abhängigkeit des Ganges auch schon in schwachen Feldern vorhanden.

Der Vorsitzende: Das ist ein sehr wichtiger Hinweis. Was Direktor Straumann gesagt hat, läuft darauf hinaus, daß eine sehr gute Uhr, die eine aufgeschnittene Stahl-Messing-Unruh hat, den magnetischen Einflüssen viel mehr unterliegt als die billigen Uhren mit Unruhen aus Messing. Das ist auch wieder wichtig für die Uhrmacher,

die das bei Empfehlungen den Kunden gegenüber beobachten müssen.

R. Straumann: Zur Frage der Zugfeder ist zu sagen: Das Kraftmoment der Berylliumfeder ist so, daß es bis zu etwa 10 % kleiner sein kann als das gleichwertiger Stahlfedern; bei den besten Qualitäten werden jedoch bereits höhere Leistungen erzielt, die unter Umständen die der gleichwertigen Stahlfedern erreichen.

Dr. W. Rohn: Auf die Frage, ob aus vergütbaren Berylliumlegierungen Uhrmacher-Werkzeuge hergestellt werden können, die unmagnetisch sind, und ob deren Anwendung nicht preislich unmöglich wird, möchte ich folgendermaßen antworten: Die Formgebung kostet bei Berylliumlegierungen etwa gerade soviel wie für andere Werkstoffe; es kann also zum Preise eines normalen Uhrmacher-Werkzeuges nur etwa der Mehrpreis für den Werkstoff hinzukommen. Dieser bewegt sich etwa in der Größenordnung von 25 bis 35 RM je Kilogramm. Wenn Sie also den Preis irgendeines Stahlwerkzeuges zugrundelegen, dieses wiegen und für das Kilogramm einen Zuschlag von etwa 25 bis 35 RM machen, so erhalten Sie einen Anhalt für den Preis eines Berylliumwerkzeuges. Ein Uhrmacher-Schraubenzieher z. B. wiegt nur vielleicht 20 bis 50 Gramm, so daß der Mehrpreis nicht ausschlaggebend sein kann. Überdies ist es natürlich nicht notwendig, das ganze Werkzeug aus einer Berylliumlegierung zu machen, sondern es genügt, wenn etwa der arbeitende Teil auf eine Länge von vielleicht 20 mm daraus hergestellt wird.

Man wird also wahrscheinlich zu dem Ergebnis kommen, daß Schraubenzieher und andere Uhrmacher-Werkzeuge aus Berylliumlegierungen in der Verwendung billiger sind als solche aus Stahl, die magnetisch werden können und dann die Resultate der Uhren-Reparaturen gefährden und deshalb in so mühsamer Weise, wie dies in der vorhergehenden Aussprache geschildert wurde, immer wieder in gewissen Zeitabständen entmagnetisiert werden müssen. Die Kosten solcher regelmäßigen Entmagnetisierungen sind auf die Dauer bestimmt wesentlich größer als der geringe Material-Mehrpreis der Berylliumlegierungen.

Ich möchte sodann die Frage der Garantie gegen Bruch für die Zugfedern streifen. Ich möchte

durchaus nicht sagen, daß ich vorschlage, eine solche Garantie einzuführen oder zu übernehmen. In der Aussprache ist ja mehrfach davon gesprochen worden, daß Federbrüche eine sehr leidige Angelegenheit für alle Beteiligten sind. Es kann deshalb wohl von Interesse sein, daß man bei den Zugfedern aus vergütbaren Berylliumlegierungen auf eine außerordentlich verminderte Bruchgefahr rechnen kann. Ich habe versucht, meine ganzen Ausführungen in dem Sinne abzustellen, daß die von mir beschriebenen Legierungen Werkstoffe sind, die in der Entwicklung sind. Ich möchte deshalb noch nicht behaupten, daß heute bereits für jede Zugfeder aus Berylliumlegierungen blindlings eine Garantie gegen Bruch übernommen werden kann. In den anderthalb Jahren aber, in denen die Berylliumzugfedern in immerhin bereits erheblicher Zahl in Gebrauch sind, ist uns trotz wiederholter Rückfragen noch nicht ein einziger Federbruch bekannt geworden.

Die Bruchfrage ist wohl aber nicht nur ein Kummer des Uhrmachers. Soviel mir bekannt ist, tritt doch der Hauptteil der Federbrüche schon beim Fabrikanten oder beim Lagern beim Grossisten oder Uhrmacher ein und nicht erst beim Kunden. Mir ist gelegentlich einmal berichtet worden, daß bei einem Posten von 5000 Uhren, der aus irgendeinem Grunde nicht unmittelbar nach Fertigstellung abgeliefert wurde und beim Fabrikanten ungefähr ein Jahr liegenblieb, inzwischen bei fast 2000 die Federn gebrochen waren. Auch sonst glaube ich, gehört zu haben, daß die Mehrzahl der Federbrüche beim Uhrenfabrikanten oder beim Uhrmacher beim Lagern vorkommen.

Hinsichtlich der Unterbringung von Zugfedern aus Berylliumlegierungen in Federhäusern, die für Stahlfedern dimensioniert sind, wäre vielleicht zu sagen, daß die Federhäuser meist für eine Gangdauer der Uhren von 38 bis 40 Stunden bemessen sind. Es würde vielleicht nicht so sehr viel schaden, wenn eine Berylliumzugfeder nun ein paar Stunden weniger Gangdauer bewirken würde, da der Kraftverlauf der Feder wesentlich gleichmäßiger und damit die Gangergebnisse beim täglichen Aufziehen günstiger sind.

Andererseits hat es sich in der Praxis immer wieder gezeigt, daß man bei der Stahlfeder im allgemeinen bereits nach einem Jahr mit einem wesentlichen Nachlassen der Elastizität rechnen muß, so daß sie etwa nach einem Jahre nur noch 36 Stunden Gangdauer hat. Dagegen wird die Kraftabgabe einer Berylliumfeder, die im Anfangszustand vielleicht 32 bis 34 Stunden Gangdauer bewirkt, nach einem Jahre infolge der Nachvergütung der Legierung im Gebrauch bewirken, daß diese Feder dann eine Gangdauer von 36 bis 37 Stunden erreicht; der Enderfolg ist also trotz der ursprünglichen Minderleistung der Berylliumfeder etwa der gleiche.

Weiter hat der Vorsitzende die Frage aufgeworfen, ob es nicht zu Schwierigkeiten führe, wenn man einen Zapfen aus einer Berylliumlegierung in einem Lager aus einer Berylliumlegierung laufen lasse, da man ja allgemein Zapfen und Lager im Werkstoff möglichst verschieden macht. Dies ist aber auch hier der Fall, da in einem Lager aus einer Kupfer-Beryllium-Legierung ein Zapfen aus einer Nickel-Beryllium-Legierung oder aus einer Nickel-Chrom-Beryllium-Legierung laufen soll; diese beiden sind aber mindestens so sehr verschieden wie Stahl und Messing, die man ja auch als Zapfen und Lager ineinander laufen läßt. Solche Lager halten im allgemeinen das Öl sogar besser als Steinlager.

Gegenüber Stahlzapfen ist aber für die Reibung und Abnutzung von Nickel-Beryllium- oder Nickel-Chrom-Beryllium-Legierungen noch ein Punkt wesentlich: Die Abnutzung von Stahl erfolgt nicht dadurch, daß unmittelbar von der Stahloberfläche Stahlteilchen abgerieben werden, sondern unter dem Einfluß der Reibung oxydieren die Stahlmoleküle der Zapfenoberfläche, und das gebildete Oxyd wird dann abgerieben. Man hat dies dadurch bewiesen, daß man Stahlzapfen in Wasserstoffatmosphäre in einem Metallager hat laufen lassen; man hat nämlich dabei gefunden, daß dann die Abnutzung des Stahles auf kleine Bruchteile zurückgeht. Die aushärtbaren Berylliumlegierungen, die zur Verwendung als Zapfen in Betracht kommen, sind nun ausnahmslos um ein Vielfaches oxydationsbeständiger als Stahl, und infolgedessen wird deren Abnutzung unter dem Einfluß der sogenannten Reiboxydation auf einen Bruchteil verkleinert. Vielleicht ist gerade dies für die gute Bewährung von Zapfen aus vergütbaren Nickel-Beryllium-Legierungen in Lagern aus vergütbaren Kupferlegierungen wesentlich.

Zur Frage der Härtung von vergütbaren Berylliumlegierungen mit behelfsmäßigen Mitteln in der Reparaturwerkstatt ist zu sagen: Ich glaube, es wird kaum jemals in Betracht kommen, daß ein Uhrmacher einen Uhrteil aus einer vergüteten Legierung durch Ausglühen und Abschrecken wieder weich machen und danach wieder durch längeres Anlassen bei niedriger Temperatur härten muß. Er wird im allgemeinen ja seine fertigen Teile als Ersatzteile vorrätig haben oder sie von der Furniturenhandlung schnell beziehen können, so daß er mit der Härtung an sich kaum etwas zu tun hat. Andererseits besteht im Notfalle durchaus die technische Möglichkeit dazu; hat er einen vergütungsfertig abgeschreckten Werkstoff vorrätig, der in diesem Zustand bequem bearbeitbar ist, so hat er nichts weiter zu tun, als den daraus angefertigten Teil etwa fünf bis acht Stunden lang auf eine Temperatur von etwa 250° bis 400° zu erhitzen. Dazu braucht er nur ein umgedrehtes elektrisches Bügeleisen zu nehmen, dessen Sohlplatte diese Temperaturen ohne weiteres erreicht. (Zuruf aus der Versammlung: Das würde in den meisten Fällen wegen der Stromkosten zu teuer werden!)

Auf den Einfluß schwacher Magnetfelder auf Uhren brauche ich nicht mehr einzugehen, da R. Straumann hier bereits Auskunft gegeben hat. Ich möchte jedoch bemerken, daß das Erdfeld nicht eine Stärke von drei bis fünf Gauß, sondern nur von 0,2 Gauß besitzt.

Sicher ist, wie der Vorsitzende bemerkt hat, die psychologische Frage bei neuen Werkstoffen besonders heikel. Ob im vorliegenden Falle die Erzeuger solcher Legierungen die Verbraucher in der richtigen Weise zu interessieren oder zu informieren versäumt haben, ist eine Frage, die man auch anders betrachten kann. Wir haben es jedenfalls immer sehr wenig geschätzt, mit irgend etwas, was neu ist, gleich auf den großen Markt zu gehen und große Reklame dafür zu machen; wir haben vielmehr immer den Weg vorgezogen, daß wir bei einer Neuerung nur an ein oder zwei zuverlässige und renommierte Firmen herantreten und sie um eine objektive und sorgfältige Prü-

fung ersuchen. Dadurch erspart man allen Beteiligten doppelte Arbeit und tritt erst nach genügender Sicherstellung des Wertes der Neuerung an die weitere Öffentlichkeit, die dann darauf rechnen kann, etwas zu erhalten, was die ernste Beschäftigung damit auch zu lohnen verspricht. Die Verwendung der vergüteten Nivarox-Spiralfedern liegt ja nun bereits etwa vier bis fünf Jahre zurück, ohne daß uns irgendwelche Fehlschläge zu Ohren gekommen wären. Die Zugfedern aus Berylliumlegierungen sind etwa anderthalb Jahre im Gebrauch, ohne daß uns von Brüchen etwas bekanntgeworden ist.

Die Mitteilungen über den Abwurf von Uhren aus Flugzeugen, die zu unserem größten Bedauern soviel Verstimmung verursacht haben, haben einen ganz besonderen Anlaß gehabt. In Amerika hat man außerordentliche Reklame damit gemacht, daß sogerannte „stoßsichere" Uhren von hohen Gebäuden herabgeworfen wurden, vielfältig sogar Abwurf, Auftreffen und anschließendes Erstaunen, daß die Uhr noch ging, im Film vorgeführt. Nun kann man freilich darauf erwidern wie eine bekannte deutsche Füllfederhalterfabrik, die eine amerikanische Werbung mit dem Inserat abwehrt: „Andere lassen ihre Füllfederhalter zur Prüfung von Lastkraftwagen überfahren; wir prüfen die unserigen, ob sie einwandfrei schreiben." Manchmal kann man aber eine „amerikanische" Reklame nur abwehren, indem man „auf einen Schelm zwei setzt". So haben wir dann eben zugestimmt, daß ein halbes Dutzend Uhren mit wichtigen Teilen aus Berylliumlegierungen, die übrigens aus der Serienfabrikation stammten und nicht etwa verstärkte Zapfen oder dergleichen besaßen, sondern nur die serienmäßigen, allerdings nach Prinzipien der Mechanik korrekt geformten Zapfen, aus einem Flugzeug abgeworfen wurden, und so den Beweis geliefert, daß die europäische Industrie ebenso gute Produkte zu erzeugen vermag wie die amerikanische. Im übrigen haben Sie hoffentlich meinen Ausführungen entnommen, daß wir jeder marktschreierischen Werbung abhold sind, im Gegenteil sehr zurückhaltend und sorgfältig mit der Erprobung und Bekanntgabe neuer Verfahren oder Werkstoffe vorzugehen wünschen.

R. Straumann: Nachträglich möchte ich noch auf die Frage von Dr. Baltzer erwähnen, daß wir die vergütete Legierung nicht „Elinvar"-Legierung, sondern eben

„Nivarox"-Legierung genannt haben, weil durch den Zusatz von Beryllium die Eigenschaften der früheren Elinvar-Legierung so wesentlich verändert worden sind.

Der Vorsitzende: Dr. Rohn hat uns auch in seinem Schlußwort und seinen Antworten außerordentlich viele Anregungen gegeben, für die wir ihm zu Dank verpflichtet sind. Daß man mit Veröffentlichungen über Dinge, die erst noch erprobt und bei denen Erfahrungen gesammelt werden sollen, vorsichtig ist, können wir verstehen. Um so mehr begrüßen wir es, daß nun durch diesen Vortrag und die Aussprache weitgehend Aufklärung geschaffen worden ist.

Quelle: Schriftenreihe der Gesellschaft für Zeitmeßkunde und Uhrentechnik
8. Band 1937; Verlag der Deutschen Uhrmacher-Zeitung;
Deutsche Verlagswerke Strauß, Vetter & Co. S.176-197