

Erfahrungen mit Leichtmetall-Pleuellagern bei serienmäßiger Verwendung in Schleppermotoren

Von Oberingenieur **Karl Künzel** VDI, Mannheim

Früher wurden für die Pleuellager der Lanz-Schlepper Rotgußstützschalen mit Weißmetallausguß verwendet, und zwar wurde für die 20-, 25- und 35-PS-Motore Thermit- und für die der 45- und 55-PS-Schlepper WM 80 Lagermetall verwendet. Verschiedene Serien der 55-PS-Schlepper wurden außerdem noch mit Clyco-Thermodur-Lagern ausgerüstet.

Nachdem im Jahre 1934 die Versuche mit Aluminiumlagern an dem von Lanz gebauten Prüfstand recht brauchbare Werte ergaben, wurde anschließend mit der Prüfung von Aluminiumlegierungen für die verschiedenen Lagerstellen des Schleppers begonnen. Im folgenden soll nun über die Ergebnisse berichtet werden, die mit den Untersuchungen von Aluminiumlegierungen für die Pleuellager des Lanz-Bulldoggs erzielt wurden.

Der Aufbau des Schleppers ist aus Bild 1 und 2 ersichtlich. Die Bulldoggmotore arbeiten nach dem Zweitakt-Mitteldruckverfahren. Der mittlere Kolbendruck liegt zwischen $3,1 \div 3,5 \text{ kg/cm}^2$. Die Einzylindermotore sind liegend angeordnet.

Die Schmierung der Triebwerksteile erfolgt durch einen zwangsläufig angetriebenen Bosch-Öler, der die erforderliche Ölmenge den einzelnen Schmierstellen durch Pumpenelemente zuführt. Die beiden Hauptlager und das Pleuellager werden stets mit Frischöl geschmiert, der Kolben und die Kolbenbolzenbüchse dagegen erhalten Umlauföl, das sich als Spritz- und Ablauföl im Sumpf des Kurbelgehäuses sammelt; nachdem es dort ein Sieb durchflossen hat, wird es von einer Zahnradpumpe, die mit dem Bosch-Öler gekuppelt ist, über ein Filzplattenfilter in den Umlaufölbehälter gedrückt. Die Kurbelkammer ist als Spülkammer ausgebildet. Die zur Spülung und Verbrennung benötigte Luft wird über das Luftfilter in die Kurbelkammer gesaugt.

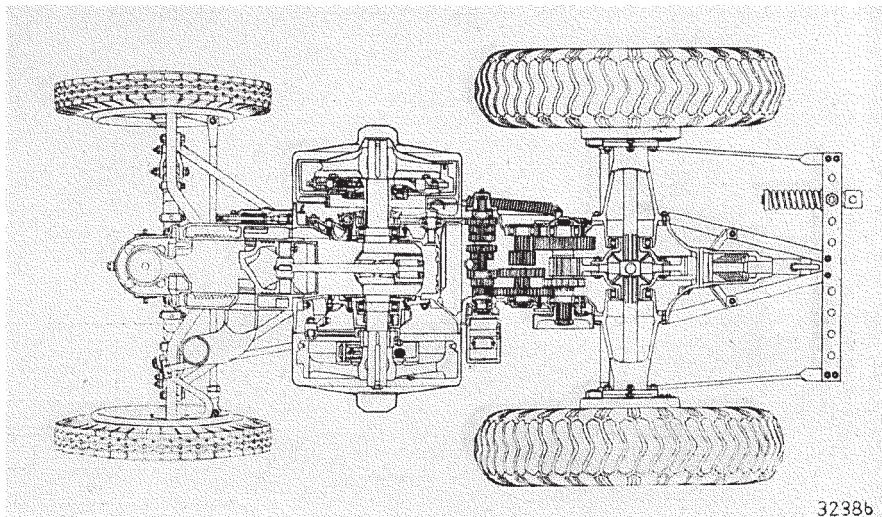
Versuchsdurchführung

Die Versuche erstreckten sich auf:

1. Untersuchung der Notlaufeigenschaften der verschiedenen Aluminiumlegierungen im Vergleich zu den bisher verwendeten Pleuellagermetallen;
2. Verhalten der Pleuellager bei der Dauerhöchstleistung;
3. Verschleißfestigkeit dieser Lager.

Prüfung der Notlaufeigenschaften der Pleuellager

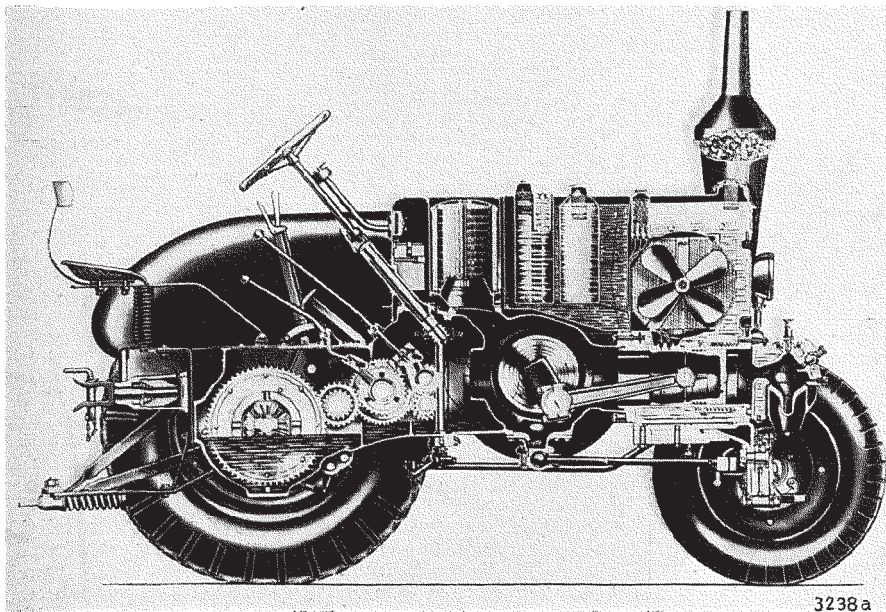
Diese Prüfung wurde an einem 45-PS-Motor bei einer Drehzahl von 630 U/min durchgeführt. Dabei wurde der Motor bei allen Untersuchungen mit 45 PS belastet. Hierzu ist zu bemerken, daß ohne irgendwelche Konstruktionsänderung an Stelle der bisherigen Stützschalen aus RG 5 mit Weißmetallausguß, massive Aluminiumpleuellager eingesetzt wurden, die aus den verschiedensten Legierungen gegossen



3238b

Bild 2. Horizontalschnitt durch den Lanz-Bulldoggschlepper

Bild 1 und 2 Werkfoto Lanz



3238a

Bild 1
Längsschnitt durch den Lanz-Bulldoggschlepper, mit dem die Pleuellagerversuche vorgenommen wurden

waren. Nachdem die Aluminiumpleuellager genau wie Weißmetallager vorgedreht und tadellos eingeschabt waren, wurden sie mit einem radialen Spiel von 0,1 mm eingebaut. In axialer Richtung betrug das Spiel 0,6 mm. Die Kurbelwelle war aus St C 45,61 hergestellt und der Hubzapfen nach dem Doppel-duro-Verfahren auf 55–60 RE gehärtet.

Vor dem Beginn der Versuche liefen die Pleuellager jeweils 6 Stunden ein und wurden hierbei mit Frischöl geschmiert. Die Ölmenge von $1,35 \text{ cm}^3/\text{min}$ wurde durch einen serienmäßig eingebauten Bosch-Öler MCU 20 DA 4, der mit verschiedenen Pumpenelementen ausgerüstet ist, dem Lager zugeführt. Als Schmiermittel wurde Shell-Medium verwendet, dessen Viskositätskurve aus Bild 3 ersichtlich ist.

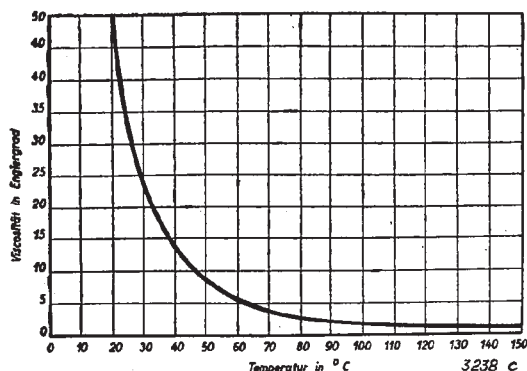


Bild 3. Viskositätskurve des Schmieröles, das bei den Versuchen zur Schmierung des Pleuellagers verwendet wurde (Shell-Medium)

Nach dieser Einlaufzeit wurde die Ölzufuhr durch Einstellen des Pumpenelementes am Bosch-Öler auf Nullhub unterbrochen. Daraufhin wurde der Motor wieder mit 45 PS weiter belastet. Beim ersten Versuch stellten wir fest, daß das Aluminiumpleuellager selbst nach 16 Betriebsstunden noch nicht zum Fressen kam. Eine Prüfung der Anlage ergab, daß das aus dem rechten Hauptlager ablaufende Öl in den Ölschleuderring gelangte. Diese kleine Ölmenge genügte schon zur Schmierung des Aluminiumpleuellagers.

Damit nun einwandfreie Vergleichswerte geschaffen werden konnten, wurde der Motor bei den weiteren Versuchen nach Abstellen der Ölzufuhr noch 1 Stunde mit dem eingebauten Ölschleuderring in Betrieb gehalten. Sodann wurde der Schleuderring ausgebaut und die Maschine bis zum Fressen des Pleuellagers weiterbetrieben.

Wie Bild 4 zeigt, haben sich die Aluminiumlager hierbei sehr verschieden verhalten. Während einige schon mit der geringen Ablaufölmenge, die ihnen durch den eingebauten Schleuderring zugeführt wurde, gefressen haben, erreichten andere, selbst beim Betrieb ohne Schleuderring, noch eine Laufzeit von 2,1 Stunden bis zum Fressen, durch das der Motor jeweils zum Stillstand kam.

Die Art des Fressens war bei den Lagern, je nach Zusammensetzung und Härte der Legierungen, verschieden. In den meisten Fällen wurden aus der Lauffläche mehr oder weniger große Metallteilchen herausgerissen, die sich sodann auf dem Kurbelzapfen festsetzten und eine entsprechende Riefenbildung in den Lagern verursachten. Bei den kleineren Riefen konnten die Lager wieder durch Nachschaben weiterverwendet werden, was bei denen mit tiefen Riefen unmöglich war. Ein zum Vergleich eingesetztes Thermodurlager kam nicht zum Fressen. Es ergab nur einen trockenen Abrieb auf dem Kurbelzapfen. Bei den Pleuellagern mit Rg-5-Stützschaalen und Weißmetallausguß wurden ohne Ölzufuhr verhältnismäßig hohe Laufzeiten erreicht.

Bezeichnung der Lager	Lieferfirma	Laufzeit in Std. bei 45 PS e u 630 U/M ohne Ölzuführung mit Schleuderring ohne Schleuderring	Befund nach dem Lauf
Q5	Alu-Walzwerk Württemberg	16,00 keine Störung	Q45 Lager stark riefig, nicht mehr verwendbar; Zapfen gut.
Q5	Alu-Walzwerk Württemberg	1,00 keine Störung	Q50 wie oben
1601	Karl Schmidt	1,00 keine Störung	Q55 Lager leicht riefig, wieder verwendbar; Zapfen gut.
1566	Karl Schmidt	Q50 gefressen	— wie oben
Y	Karl Schmidt	Q50 gefressen	— Lager riefig, wieder verwendbar; Zapfen gut.
1599	Karl Schmidt	1,00 keine Störung	Q75 Lager stark riefig, Band gebrochen, muß mehr verwendet werden; Zapfen gut.
280	Karl Schmidt	Q55 gefressen	— Lager sehr stark riefig, nicht mehr verwendbar; Zapfen gut.
Lg 40	Junkers	1,00 keine Störung	21 Lager leicht riefig, wieder verwendbar; Zapfen gut.
Thermodor	Glyco	1,00 keine Störung	nach 1,45 abgestellt Lager nicht gefressen, trockener Abrieb.
WM 80	Lanz	1,00 keine Störung	Q40 Metall herausgeschmiert.
Thermit	Goldschmidt	1,00 keine Störung	Q30 Metall herausgeschmiert.

Bild 4. Die Notlaufeigenschaften der Aluminiumpleuellager. Kurbelzapfen aus STC 46.51, doppel-duro gehärtet; Einlaufzeit: 6 Stunden

Verhalten der Aluminiumpleuellager im Dauerbetrieb

Es wurden nun einige Aluminiumlagerschalen der Legierungen Q 5, 1601, Y, 280 und Lg 40, die gute Notlaufeigenschaften zeigten, mehrere 1000 Stunden sowohl auf dem Prüfstand als auch im praktischen Einsatz ohne Anstände im Dauerbetrieb gehalten. Die Höchsttemperatur des Pleuellagers, gemessen am Lagerbund mittels Thermocolor der I. G.-Farben, betrug hierbei 140 °C. Bild 5 zeigt ein solches Lager, das 6200 Betriebsstunden in einem 45-PS-Ackerschlepper gelaufen war. Die in der Deckelschale angeordneten Schmiernuten fielen bei der serienmäßigen Einführung der Lager fort. Ein Verschleiß konnte nach dieser Betriebszeit nicht festgestellt werden. Die Deckelschale, die bekanntlich beim Zweitaktmotor sehr wenig belastet ist, läßt sogar die Schaberriefen erkennen. Selbst beim mehrjährigen Betrieb an gelieferten Maschinen ist es bis jetzt noch nicht vorgekommen, daß ein Pleuellager wegen aufgetretener Abnutzung ausgewechselt werden mußte. Dabei arbeiten namentlich die

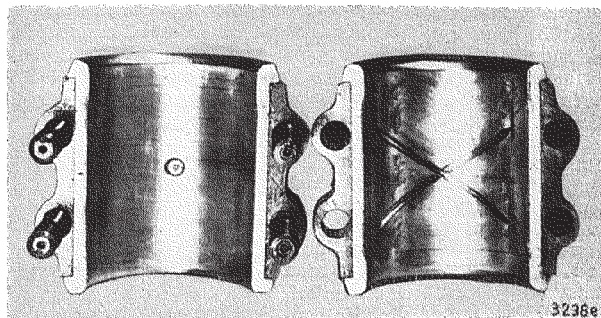


Bild 5. Aluminiumpleuellager eingeschaßt. Laufzeit: 6200 Stunden im 45-PS-Schlepper

Aluminiumlager

Benennung	20 PS	25 PS	35 PS	45 PS	55 PS	Bemerk.
Motordrehzahl	750	850	540	630	750	
Lagerbohrung in mm	75,00 ± H6	75,00 ± H6	90,00 ± H6	100,00 ± H6	100,00 ± H6	
Lagerlänge (eingesetzt) in mm	72,00	72,00	112,00	100,00	100,00	
Spez. Lagerbelastung in kg/cm² bei 20 U/M	97,50	90,00	92,60	77,60	68,70	
Kurbelzapfen in mm	75,00 ± e8	75,00 ± e8	90,00 ± e8	100,00 ± e8	100,00 ± e8	
Kurbelzapfenlänge in mm	90,00 + Q,02	90,00 + Q,02	130,00 + Q,02	118,00 + Q,02	118,00 + Q,02	
Radiales Lagerspiel in mm	Q,16 + Q,22	Q,16 + Q,22	Q,272 + Q,348	Q,272 + Q,348	Q,272 + Q,348	
" " in mm	Q,06 + Q,12	Q,06 + Q,12	Q,072 + Q,148	Q,072 + Q,148	Q,072 + Q,148	
Axiales Lagerspiel in mm	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Umfangsgeschwindigkeit in m/sec	2,94	3,33	2,55	3,42	3,93	
Ölmenge in cm³/min	1,00	1,00	1,00	1,35	1,50	Durch Baueinheit gefördert

Bild 6. Daten der Aluminiumpleuellager der Lanz-Schlepper

Bild 3—e Versuchsabteilung Lanz

Ackerschlepper unter sehr staubigen Verhältnissen, die oftmals täglich ein zweimaliges Reinigen der Luftfilter erfordern. Diese Schlepper erreichen durchschnittlich 3000 Betriebsstunden je Jahr; in Großbetrieben sind 5000—6000 Stunden keine Seltenheit. Die Tatsache, daß die zuerst mit Aluminiumlager ausgerüsteten Schlepper schon über 4 Jahre im Betrieb sind, ergibt ein ausreichendes Bild über die Haltbarkeit der Lager.

Bei den Dauerversuchen wurde festgestellt, daß die radialen und axialen Spiele der Aluminiumpleuellager größer sein müssen als die der Lager mit Weißmetallausguß. Als brauchbare Abmessungen ergaben sich die auf Bild 6 zusammengestellten Werte. Das axiale Lagerspiel der Rotgußstützschaalen mit Weißmetallausguß von 0,4 mm, mußte bei den Aluminiumpleuellagern auf 1,0 mm vergrößert werden.

Serienmäßiger Einbau der Aluminiumpleuellager

Die günstigen Ergebnisse, die wir bei diesen Versuchen mit Aluminiumpleuellagern erzielt haben, veranlaßten uns im Jahre 1935 einige Serien und dann kurze Zeit darauf sämtliche Schlepper mit Aluminiumpleuellagern auszurüsten. Bis Oktober 1939 wurden in 50 200 Schlepper Aluminiumpleuellager der Legierung Q 5 eingebaut. Davon haben ungefähr die Hälfte der Schlepper Kurbelwellen aus St C 35,61 mit ungehärtetem Hubzapfen. Der Rest erhielt Kurbelwellen aus St C 45,61; diese Kurbelwellen wurden nach dem Vordrehen vergütet und der Zapfen nach dem Fertigdrehen auf 55—60 RE doppel-duro-gehärtet.

Über die Bewährung der Aluminiumpleuellager ist zu sagen, daß sie bisher nicht mehr Anstände ergaben, als die früher verwendeten Weißmetallager, obwohl deren Beanspruchungen schon sehr gering waren. Die Fresser der auf doppel-duro-gehärteter Welle laufenden Aluminiumpleuellager sind in den weitaus meisten Fällen so, daß die Lager nach dem Nachschaben wieder verwendbar sind. Die auf dem Hubzapfen festgesetzten Aluminiumkristalle können verhältnismäßig leicht und ohne Beschädigung des Zapfens entfernt werden.

Dagegen zeigt sich bei den Maschinen mit ungehärtetem Kurbelzapfen, daß diese beim Fressen derart beschädigt werden, daß sie nachgeschliffen werden müssen. Zur Vermeidung dieser Fälle bauen wir künftig nur noch Kurbelwellen mit doppel-duro-gehärtetem Hubzapfen ein.

Bearbeitung der Aluminiumpleuellager

Die zuerst eingebauten Aluminiumpleuellager wurden wie Weißmetallager behandelt, d. h. fertiggedreht und bei der Montage eingeschabt. Da aber die Aluminiumlegierungen wesentlich härter sind als solche aus Weißmetall, dauerte es natürlich mehrere 100 Stunden bis die eingeschabten Aluminiumlager zum vollen Tragen kamen. Dabei war stets die Gefahr vorhanden, daß die durch das Einschaben entstehenden höheren Punkte Anlaß zum Wegreißen von Kristallteilchen und somit zum Fressen gaben.

Als weitaus besser hat sich eine vollkommen mechanische Bearbeitung, die *sofort einbaufähige Aluminiumpleuellager* liefert, erwiesen. Hierzu werden die Lagerschalen, bis auf das Feinstbohren, auf einer Vielstahlbank hergestellt. Die Schnittgeschwindigkeit beträgt 450 m/min bei einer Drehzahl von 1450. Die Schnitttiefe kann bei dem Vordrehen bis 2 mm und soll beim Fertigdrehen nicht mehr als 0,5 mm betragen. Das

Feinstbohren der in die Pleuellange eingepreßten Lagerschalen erfolgt unter gleichzeitiger Bearbeitung der Kolbenbolzenbüchse in einem Doppelspindelfeinstbohrwerk, bei einer Schnittgeschwindigkeit von 283 m/min und einer Drehzahl von 1000. Zuerst wird das Lager mit einem Widiastahl um 0,2 mm ausgebohrt und anschließend mittels Diamant bei einer Spanstärke von 0,1 mm und einem Vorschub von 0,037 mm fertig bearbeitet.

Um nun zu vermeiden, daß die Aluminiumpleuellager nach dem Feinstbohren seitlich freigeschabt werden müssen, wodurch ein Aufreißen der spiegelglatten Lauffläche verursacht wird, werden zum Ausbohren der Lager 0,2 mm starke Zwischenlagen in die Teilfugen gelegt und die Bohrung um das gleiche Maß größer als das Sollmaß ausgeführt. Bei der Montage werden diese zusätzlichen Beilagen entfernt. Durch diese Maßnahme kommen sodann die Pleuellager seitlich nicht mehr zum Anliegen, und man erhält die erforderliche Lauffläche am Grund der Schalen.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß die Lanz-Schlepper schon seit einigen Jahren laufend mit Aluminiumpleuellagern in den oben geschilderten Abmessungen und Legierungen ausgerüstet werden. Besondere Anstände haben sich hierbei nicht ergeben. Allerdings sind die spezifischen Lagerbelastungen nicht sehr hoch und die Drehzahlen verhältnismäßig niedrig. Besonders erwähnenswert ist, daß die Pleuellager nur mit Frischöl geschmiert werden.

Allgemein ist bei der Verwendung von Aluminiumpleuellagern darauf zu achten, daß:

1. die Lager derart feinstbearbeitet werden, daß ein nachträgliches Einschaben vermieden wird,
2. keine Schmiernuten in den Laufflächen vorhanden sind,
3. dafür kräftige Öltaschen an den Stoßkanten angebracht werden, die nach den Stirnseiten geschlossen sind und einen tangentialen Übergang zu den Laufflächen haben,
4. Kantenpressungen vermieden werden,
5. das radiale und axiale Spiel so groß ist, daß selbst bei den höchsten Betriebstemperaturen noch genügend Lagerluft vorhanden ist,
6. nur solche Schmieröle, die nicht durch Metall- oder Schmutzteilen verunreinigt sind, verwendet werden,
7. die Legierung in der Lauffläche so weich und in ihrem übrigen Aufbau so widerstandsfähig wie möglich ist,
8. gehärtete Lagerzapfen verwendet werden. [3238 a—f]

Metallgespritzte Lager für Betrieb mit hohen Drehzahlen

Über Untersuchungen mit Lagermetallen für Verbrennungsmotoren mit Umfangsgeschwindigkeiten bis 17 m/sek und spezifischen Belastungen bis 590 kg/cm² wird in der Zeitschrift „Metallurgia“ (1939, Nr. 114, S. 219/220) berichtet. Nach dieser Arbeit, die Angaben über Zusammensetzungen von Weißmetallen und Blei- und Kupferbronzen enthält, zeigte aufgespritztes Weißmetall einen um etwa 25% kleineren Reibungswert als aufgegossenes Weißmetall. Lager auf der Grundlage von Kadmium-Nickel, Kadmium-Nickel-Kupfer und Silber-Kupfer entsprechen hinsichtlich der Reibung unter den Lagermetallen etwa dem Zinn. Auch hier zeigten sich gespritzte Lager günstiger als gegossene. Ein neues Verbundlagermetall aus einer Zinnschicht mit Kupferteilchen darin erwies sich als aussichtsvoll. Über Lagerschalen mit aufgespritzten Aluminiumlegierungen liegen günstige Ergebnisse vor.

Korrosionsfestes Leichtmetall

Als korrosionsfeste Legierung, die sich auf Grund von sehr ausgedehnten Großversuchen und Laboratoriumsversuchen unter den verschiedensten atmosphärischen Verhältnissen am besten bewährt hat, gilt die Legierung Birmabright aus Aluminium mit einem Gehalt von 3,5% Magnesium und 0,5% Mangan. Die Legierung wird als Sand-, Kokillen- und Spritzguß verarbeitet und kann auch anodisch behandelt werden. Von G. O. Taylor werden in „Metallurgia“ (1939, Februar, S. 134—136) über Zusammensetzung und über die Verarbeitung und Verwendung von Birmabright nähere Angaben gemacht.

„Austempern“, eine neue Wärmebehandlung von Stahl

Zum Härten werden die Stähle gewöhnlich in kaltem Öl oder in Wasser nach vorhergehender Erwärmung auf eine bestimmte Temperatur abgeschreckt und danach durch Wiedererwärmung auf eine bestimmte Temperatur angelassen. Im Gegensatz hierzu wird nach dem neuen Verfahren, das als Austempern bezeichnet wird und über das J. Winning in „Machinist Lond.“ (1939, 14. Juli, S. 31) berichtet, die Abkühlung in einer erwärmten Flüssigkeit vorgenommen, so daß das Härten und Anlassen infolge Höherlegung der Abkühlungstemperatur gleichzeitig vorgenommen wird; die Gefahr des Auftretens von Härterissen wird hierdurch beseitigt. Die praktische Durchführung des Verfahrens ist einfach: Erwärmung des Stahles über die kritische Umwandlungstemperatur, Abkühlung in einem Bade, das aus einer Flüssigkeit oder aus einer schmelzbaren Metallegierung besteht, bei einer Temperatur zwischen 180—350° C. Die Temperatur wird dabei thermostatisch auf der jeweils vorgeschriebenen Höhe gehalten. Nach genügendem Eintauchen in das Abkühlungsbad erfolgt Abkühlung an der Luft. Für das Verständnis des Verfahrens zur vollen Auswertung seiner Vorzüge in der Praxis sind theoretische Erörterungen über den Härtemechanismus angeführt. Der Verfasser macht Angaben über Härteversuche und über die Zusammenstellung der Härtebäder, die bis 200° C aus Ölen und darüber aus Legierungen von Blei und Zinn bestehen: zwei Teile Zinn und ein Teil Blei für Temperaturen von 170° C, und zwei Teile Blei und ein Teil Zinn für 230° C. Zwischenliegende Temperaturen lassen sich durch entsprechende Zusammenstellung beider Elemente festlegen.