

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

Die Werkstoffeigenschaften gehärteter Bodenbearbeitungswerkzeuge und deren qualitative Beurteilung

Von Theodor Stroppel, Braunschweig-Völkenrode¹⁾

Das Streben nach einer höheren Qualität der Bodenbearbeitungswerkzeuge ist unverkennbar, zumal die mechanischen Beanspruchungen der Werkzeuge durch den Schlepperbetrieb von Jahr zu Jahr steigen. Im Wettbewerb werden die werkstofflichen Güteeigenschaften der Bodenbearbeitungswerkzeuge als Argument für deren Verschleißwiderstand, Festigkeit usw. hervorgehoben. Man legt offenbar gesteigerten Wert auf eine gute Haltbarkeit.

Von dem guten Funktionieren eines Gerätes kann der Landwirt durch eine praktische Vorführung überzeugt werden; eine behauptete gute oder gar besondere Haltbarkeit des Gerätes und seiner Werkzeuge läßt sich dagegen im allgemeinen so einfach nicht nachweisen. Die Güte der Werkzeuge kann letzten Endes nur durch eine vergleichende Gebrauchswertprüfung der Werkzeuge im Dauereinsatz auf dem Acker oder, soweit solche Untersuchungen bereits vorliegen, mittels einer auf deren Ergebnis beruhenden objektiven Werkstoffprüfung erkannt und beurteilt werden.

Die nachstehenden Untersuchungen²⁾ über die Werkstoffeigenschaften ausgeführter Bodenbearbeitungswerkzeuge sollen zusammen mit den seitherigen Ergebnissen der Haltbarkeitsforschung eine Grundlage für deren qualitative Beurteilung bilden.

Wenn im folgenden von Qualität und den werkstofflichen Eigenschaften der Werkzeuge die Rede ist, so sollen sie sich auf die Werkzeuge aus schmiedbarem Stahl beschränken. Gegossene Werkzeuge, die anderen Gesetzmäßigkeiten unterliegen, werden nicht behandelt. Es wird auch nicht auf die Verschleißminderung durch Auftragsschweißung [1; 2], durch Beschichten der Oberflächen mit Hartchrom u. dgl. [2] oder durch Verwendung von Silikaten [3] eingegangen; diese Verfahren haben zudem bei Werkzeugen für die Bodenbearbeitung bis heute keine nennenswerte Anwendung gefunden.

Fragen der Formgebung der Werkzeuge sowohl hinsichtlich der Gestaltfestigkeit, der Oberflächenbeschaffenheit u. dgl. als auch der technologischen Wirkung (z. B. Selbstschärfung der Pflugschare) werden nur am Rande behandelt.

Was ist bei Bodenbearbeitungswerkzeugen Qualität?

Bei hoch beanspruchten Bodenbearbeitungswerkzeugen, z. B. den rotierenden Winkelmessern der Ackerfräsen, ist höchste Qualität unabdingbare Voraussetzung für die Betriebssicherheit der Geräte. Solche Messer dürfen trotz der hohen dynamischen Beanspruchungen sich weder verbiegen noch brechen, und der Verschleiß muß sich in erträglichen Grenzen halten. Daraus lassen sich drei Forderungen für die Güte der Bodenbearbeitungswerkzeuge herleiten:

1. hohe Härte des Werkstoffes gegen Verschleiß,
2. hohe Zähigkeit (Verformbarkeit) des gehärteten Werkstoffes zur Vermeidung von Sprödebrüchen und
3. hohe Festigkeit der Werkzeuge gegen Verbiegen.

Die Forderungen nach hoher Härte und hoher Zähigkeit sind Forderungen an die Eigenschaften des verwendeten Stahles; die

dritte Forderung nach hoher Festigkeit gegen Verbiegen ist darüber hinaus auch eine Forderung an die Form der Werkzeuge.

Obwohl diese drei Forderungen für alle Bodenbearbeitungswerkzeuge gleichermaßen gelten, bestehen doch — wie die nachstehenden Untersuchungen zeigen — erhebliche Unterschiede in den werkstofflichen Eigenschaften bei den verschiedenen Werkzeugarten und von Fabrikat zu Fabrikat.

Auf Grund der Ergebnisse der Haltbarkeitsforschung und der jahrelangen Erfahrungen bei den DLG-Pflugscharkontrollen haben die obigen werkstofflichen Forderungen in dem Normblatt DIN 11100 (Werkstoff und Gütevorschriften der Bodenbearbeitungswerkzeuge) in Kurzprüfverfahren und Mindestforderungen für Härte und Zähigkeit ihren Niederschlag gefunden [4]. Sie sind als Qualitätsmaßstab allgemein anerkannt und werden im Rahmen dieser Untersuchung zur Beurteilung der Werkstoffeigenschaften mit herangezogen.

Härte und Verschleißwiderstand des Stahles

Der Verschleiß der Bodenbearbeitungswerkzeuge hängt unter sonst gleichen Bedingungen von der Aggressivität des mehr oder weniger Quarzsand enthaltenden Ackerbodens beim Gleiten über die Stahloberfläche und von dem Widerstand ab, den dieser Stahl dem Abrieb durch diesen Boden entgegenzusetzen vermag. Da wir an der Aggressivität der Böden als einer gegebenen Größe nichts zu ändern vermögen, so bleibt nur die Möglichkeit, den Verschleißwiderstand der Werkzeuge zu erhöhen.

Das klassische, bei Bodenbearbeitungswerkzeugen auch heute noch fast ausschließlich angewendete Verfahren, um deren Verschleißwiderstand zu steigern, ist das Abschreckhärten aus der sogenannten Härtetemperatur in einem geeigneten Abschreckmittel (Wasser, Öl oder Warmbad). Je höher die dabei erzielte Härte des Stahles ist, umso größer ist sein Verschleißwiderstand. Dabei muß einschränkend gesagt werden, daß bei der Beurteilung des Verschleißwiderstandes von Stahl die Vickershärte nicht über den ganzen Härtebereich des Stahles von 100 bis 850 VE³⁾ ein Maß für dessen Verschleißwiderstand ist. Bei Härten unter 450 VE, besonders bei den niedrig gekohlten Stählen, ist auch der Gefügestand von erheblichem Einfluß auf die Verschleißfestigkeit [5]. Es kann dabei sehr wohl der Fall eintreten, daß ein ungehärteter Stahl mit einer niedrigeren Härte (z. B. 250 VE) einen gleichen bzw. höheren Verschleißwiderstand hat als ein gehärteter und angelassener Stahl mit beispielsweise 400 VE. Bei einem wesentlichen Unterschreiten der in DIN 11100 festgelegten Mindesthärte von 500 VE ist die Erhöhung der Verschleißfestigkeit gegenüber dem Walzzustand jedenfalls nicht so groß, daß sich eine Wärmebehandlung aus Verschleißgründen wirtschaftlich rechtfertigen ließe. Dies gilt vor allem für die niedrig gekohlten Stähle.

¹⁾ Vorgetragen auf der 21. Tagung der Landmaschinen-Konstrukteure in Braunschweig-Völkenrode am 5. 4. 1963.

²⁾ Die Untersuchungen wurden mit dankenswerter Unterstützung des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Einen Teil der untersuchten Werkzeuge ausländischen Ursprungs haben die im Arbeitsausschuß Bodenbearbeitungsgeräte der Normengruppe Landmaschinen und Ackerschlepper vertretenen Firmen und das Institut für Bodenbearbeitung der FAL freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

³⁾ Die Einheit der Vickershärte wird im folgenden zur Unterscheidung von der Zugfestigkeit anstatt mit kp/mm^2 mit VE (Vickerseinheit) bezeichnet.

Die maximal erreichbare Härte des Stahles

Die Höhe der durch das Abschreckhärten erreichbaren Härte wird praktisch ausschließlich durch den bei der Härtetemperatur im Austenit gelösten Kohlenstoff bestimmt, wobei die Gegenwart von Legierungselementen merkwürdigerweise gar keine Rolle spielt [6]. Die von Burns, Moore und Archer [7; 8] nach Bild 1 gefundenen Härten stellen Höchstwerte dar, die sie an sehr kleinen Proben von Kohlenstoff- und niedrig legierten Stählen unter günstigen Abschreckbedingungen beobachteten. Die über dem Kohlenstoffgehalt der Stähle aufgetragene, maximal erreichbare Vickershärte liegt für die legierten und die unlegierten Stähle auf einer gemeinsamen Kurve, die bis etwa 0,5% Kohlenstoffgehalt steil ansteigt. Bei Kohlenstoffgehalten über 0,5% nimmt die maximale Härte aber nur noch wenig zu.

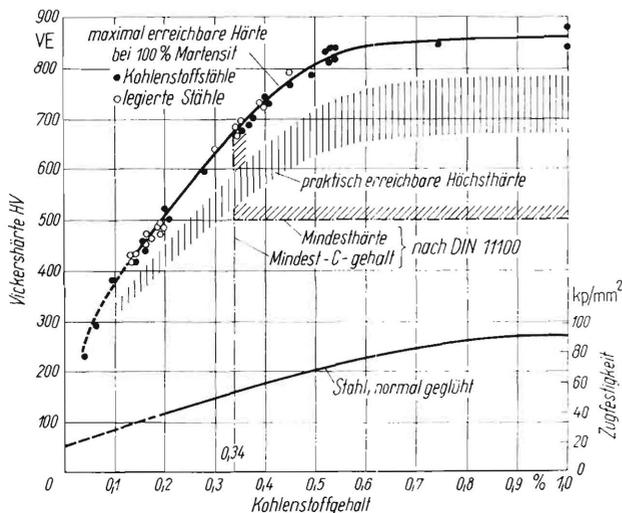


Bild 1. Die durch Abschreckhärten erreichbare Höchst Härte von legierten und unlegierten Stählen (obere Kurve) in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt (nach Burns, Moore und Archer [7; 8]). Der schraffierte Bereich zeigt die maximale Härte, die üblicherweise in der Härtereipraxis erreicht wird (nach Sisco [9; 10]). Die untere Kurve stellt die Härte bzw. Zugfestigkeit des normalgeglühten Stahles in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt dar. Eingezeichnet sind ferner die Mindestforderungen hinsichtlich Härte und Kohlenstoffgehalt nach DIN 11100, Gütevorschriften für Bodenbearbeitungswerkzeuge [4]. Die von Burns und Sisco in ihren Arbeiten angegebene Rockwellhärte HRC wurde nach DIN 50150 in Vickers-Einheiten umgerechnet und dargestellt.

Von der Legierung des Stahles unabhängig und nur vom Kohlenstoffgehalt abhängig ist die Höchst Härte aber nur dann, wenn die kritische Abkühlungsgeschwindigkeit des jeweiligen Stahles überschritten und damit vollständige Martensitbildung erzielt worden ist. Bei den niedrig gekohlten, unlegierten Stählen gelingt dies nur bei schroffstem Abkühlen kleinster Querschnitte einwandfrei⁴).

Die in der Härtereipraxis wirklich erreichbaren Höchst Härten liegen niedriger. Bei Stirnabschreckversuchen, deren Ergebnisse denen bei der üblichen Wärmebehandlung entsprechen, wurde das in Bild 1 eingezeichnete schraffierte Gebiet der praktisch erreichbaren Höchst Härten gefunden [9; 10].

Im unteren Teil des Diagramms ist eine weitere Kurve eingezeichnet, die den Verlauf der Härte der Kohlenstoff- und niedrig legierten Stähle im Walzzustand bzw. nach dem Normalglühen wiedergibt. Danach steigt die Härte von etwa 60 VE beim kohlenstofffreien Stahl auf etwa 280 VE bei 1,0% Kohlenstoffgehalt an.

In Bild 1 sind außerdem die für gehärtete Bodenbearbeitungswerkzeuge nach DIN 11100 genormte Mindesthärte von 500 VE und der Mindestkohlenstoffgehalt von 0,34%⁵) strichpunktiert eingetragen.

⁴) Durch Legieren wird die kritische Abkühlungsgeschwindigkeit herabgesetzt, und damit leichter volle Martensitbildung erreicht. Insofern können auch Legierungsbestandteile des Stahles bei bestimmten Querschnitten trotz gleichen Kohlenstoffgehaltes eine Steigerung der Höchst Härte, Festigkeit und Zähigkeit gegenüber dem unlegierten Zustand bewirken.

Die Härtewerte ausgeführter Bodenbearbeitungswerkzeuge werden demnach in dem Bereich zwischen der Kurve des normalgeglühten Stahles und der Kurve der maximal erreichbaren Härte liegen. Sofern die Werkzeuge gehärtet sind und den Gütevorschriften nach DIN 11100 genügen sollen, müßten die Werte in dem Bereich über der Linie für die Mindesthärte von 500 VE liegen.

Einem Bodenbearbeitungswerkzeug aus härtbarem Stahl durch das Abschreckhärten eine hohe Härte und damit einen hohen Verschleißwiderstand gegen Abrieb durch quarzhaltigen Boden zu verleihen, ist verhältnismäßig einfach. Wesentlich schwieriger ist es, diesem Werkzeug durch die Wärmebehandlung neben einer hohen Härte gleichzeitig auch eine hohe Zähigkeit (Verformbarkeit) zu geben, damit es bei den zu erwartenden hohen Stoßbeanspruchungen nicht spröde zu Bruch geht. Glücklicherweise läßt sich diese Forderung auch bei relativ einfachen Stählen durch einen Kompromiß zwischen Härte und Zähigkeit bei der Durchführung der auf den jeweiligen Stahl abgestimmten Wärmebehandlung erfüllen. Dabei handelt es sich in der Regel um die üblichen, einfachen Härteverfahren, die allerdings mit der nötigen Sorgfalt durchgeführt werden müssen. Dazu gehört u. a. das betriebliche Messen und das Einhalten der Härte- und Anlaßtemperaturen in vorgegebenen Grenzen.

Härten und Vergüten des Stahles

Das Vermögen eines Stahles, überelastische Beanspruchungen, besonders, wenn sie wie bei den Bodenbearbeitungswerkzeugen stoßartig erfolgen, durch plastische Verformung aufzunehmen, ohne zu brechen, bezeichnet man als Zähigkeit. Stähle im nur abgeschreckten Zustand (mit Höchst Härten nach Bild 1) sind spröde, d. h., sie haben eine sehr geringe Zähigkeit, da sie durch das Abschrecken innere Spannungen haben und dem neugebildeten Martensit eine merkliche Bildsamkeit fehlt; die Stähle werden in diesem Zustand nur selten verwendet.

Das Wiedererwärmen (Anlassen) gehärteter Werkzeuge auf niedrige Temperaturen von etwa 100 bis 200°C verringert die Härtespannungen und erhöht die Zähigkeit ohne wesentliche Einbuße an Härte. Man bezeichnet diese Wärmebehandlung der Werkzeugstähle vielfach ohne besondere Erwähnung dieses Anlassens einfach als „Härten“. Je höher nun die Anlaßtemperatur gewählt wird, desto mehr verliert der gehärtete Stahl an Festigkeit (Härte), um so mehr nimmt seine Zähigkeit zu. Das Härten von Baustählen (Vergütungs- und Federstählen) mit nachfolgendem Anlassen auf höhere Temperaturen von 400 bis 700°C bezeichnet man als Vergüten. Eine genaue Grenze zwischen dem „Härten“ (mit nachfolgendem, geringfügigem Anlassen) und dem „Vergüten“ anzugeben, ist jedoch nicht möglich. Die Wärmebehandlung der Bodenbearbeitungswerkzeuge liegt jedenfalls, was den Bereich der Anlaßtemperatur betrifft, zwischen diesen beiden Wärmebehandlungsverfahren und unterscheidet sich dadurch, wie in einer früheren Arbeit des Verfassers [11] gezeigt wurde, im wesentlichen von diesen. Dieser Unterschied wird in seiner Bedeutung nicht immer erkannt, weshalb hier näher darauf eingegangen werden soll.

Für gehärtete Bodenbearbeitungswerkzeuge werden im In- und Ausland aus Preisgründen keine legierten Werkzeugstähle, sondern Baustähle verwendet, die in ihrer analytischen Zusammensetzung den genormten Federstählen nach DIN 17221/22 (38 Si 6, 46 Si 7, 51 Si 7, 55 Si 7, 65 Si 7, C 75) oder auch den Vergütungsstählen nach DIN 17200 (C 45 und C 60) gleich oder doch ähnlich sind.

Wie aus **Tafel 1** hervorgeht, werden diese Stähle in der Regel auf hohe Festigkeit vergütet, da sie nach dem Härten bei relativ hohen Temperaturen (420 bis 670°C) angelassen werden. Die dabei verbleibende Härte liegt bei den Vergütungsstählen

⁵) Dieser Kohlenstoffgehalt ist für Pflugschare erfahrungsgemäß zu niedrig, um bei dem Federstahl 38 Si 6, der dem „Scharstahl“ nach DIN 11100 entspricht und von deutschen Scharherstellern meistens verwendet wird, bei Wasserhärtung und nachträglichem Anlassen mit Sicherheit 500 VE zu erreichen. Man schreibt deshalb dem Walzwerk meist einen Mindestkohlenstoffgehalt von 0,38% vor.

Tafel 1. Wärmebehandlung von Vergütungs- und Federstählen (Vergüten auf hohe Zugfestigkeit) nach Angaben der Normblätter DIN 17200, 17221 und 17222, wobei Härten von 190 bis 450 VE erzielt werden. Nach den Gütevorschriften für Bodenbearbeitungswerkzeuge (DIN 11100) wird aber aus Verschleißgründen eine Härte von 500 bis 700 VE gefordert, d. h., die gehärteten Stähle dürfen nicht so hoch, wie in den Normblättern (bzw. hier in der Tafel) angegeben ist, angelassen werden.

Stahlart	Kurzzeichen	Kohlenstoff C %	Härten		Anlassen °C	gehärtet u. angelassen	
			in Wasser °C	in Öl °C		Zugfestigkeit kp/mm ²	Härte HV VE
Vergütungsstähle	C 35	0,32—0,40	840—870	850—880	530—670	65—80	190—235
	C 45	0,42—0,50	820—850	830—860		75—90	220—265
	C 60	0,57—0,65	800—830	810—840		85—105	250—305
Federstähle	38 Si 6	0,35—0,42	830—860	—	470—540	120—140	350—410
	46 Si 7	0,42—0,50	820—850	—		130—150	380—450
	51 Si 7	0,48—0,55	—	830—860			
	55 Si 7	0,52—0,60	—	—			
	65 Si 7	0,60—0,68	—	—			
C 75	0,70—0,80	—	780—810	420—500	120—160	350—475	
Scharstahl	DIN 11100	0,34—0,43	780—840	—	200—300	—	500—700

unter 300 VE, bei den Federstählen im Mittel bei 400 VE, also erheblich unterhalb der nach DIN 11100 für Bodenbearbeitungswerkzeuge wegen der Verschleißfestigkeit geforderten Mindesthärte von 500 VE, **Bild 2**.

Verwendet man diese Stähle für gehärtete Bodenbearbeitungswerkzeuge mit einer Härte von über 500 VE, so dürfen sie nach dem Härten weit weniger hoch (200 bis höchstens 400°C) angelassen werden. Naturgemäß ist die Zähigkeit, entsprechend der dabei erzielten höheren Härte, geringer als im vergüteten Zustand. Wie bei systematischen Härteversuchen nachgewiesen wurde (siehe Abschnitt „Härte und Zähigkeit“), läßt sich jedoch bei einer auf die jeweilige Stahlart abgestimmten Wärmebehandlung ohne Schwierigkeit die nach DIN 11100 geforderte Mindestzähigkeit erreichen.

Man kann also, wie in Bild 2 geschehen, den Bereich zwischen den beiden Grenzkurven für den gehärteten und ungehärteten Stahl unterteilen: in den einfach schraffierten Bereich der auf hohe Festigkeit vergüteten Baustähle, in dem die Vergütungsgebiete der Feder- und Vergütungsstähle nach Tafel 1 liegen, und in den kreuzschraffierten Bereich oberhalb der Mindesthärte von 500 VE, zu dem u. a. die gehärteten Pflugschare und die gehärteten Streichebleche nach DIN 11100 bzw. DIN 11121/5 gehören [4].

Bild 2 soll zum Bewußtsein bringen, daß von den Stählen, wenn sie zur Erreichung eines hohen Verschleißwiderstandes gegen Abrieb durch Boden gehärtet (und angelassen) werden, andere mechanische Eigenschaften verlangt werden, als wenn sie aus konstruktiven Gründen auf hohe Zugfestigkeit, günstiges Streckgrenzenverhältnis usw. vergütet werden.

Einen Überblick über die Wechselbeziehungen zwischen der Härte und der Zähigkeit eines gehärteten Stahles in Abhängigkeit von der Anlaßtemperatur gibt dessen Härte-Zähigkeitskennfeld. An anderer Stelle dieses Berichtes werden einige Kennfelder von Pflugscharstählen gezeigt und besprochen.

Härte und Kohlenstoffgehalt ausgeführter Werkzeuge

Bild 3 führt nun mitten hinein in die Erfahrungswerte der Praxis. Die an ausgeführten Werkzeugen gemessenen Vickershärten wurden über dem bei den Werkzeugen jeweils festgestellten Kohlenstoffgehalt aufgetragen. Oben ist wieder die bereits gezeigte Kurve der maximal erreichbaren Härte, unten die Kurve der Stähle im ungehärteten Zustand, dazwischen die Meßpunkte der untersuchten Werkzeuge und die Grenzlinie für die Mindesthärte von 500 VE.

Die Härte wurde in der Verschleißzone des jeweiligen Werkzeuges gemessen und entspricht dem in dieser Zone ge-

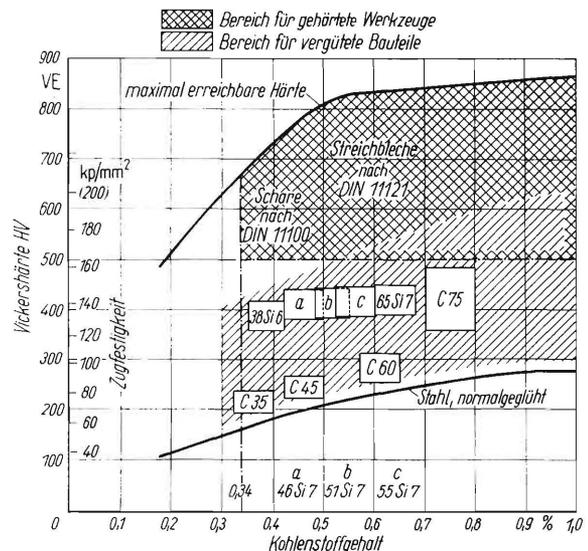


Bild 2. Die Härtebereiche der im Hinblick auf hohen Verschleißwiderstand gehärteten Bodenbearbeitungswerkzeuge und der auf hohe Festigkeit vergüteten Bauteile (Blattfedern, Achsen u. dgl.) nach den Angaben deutscher Normblätter (s. a. Tafel I).

messenen Mittelwert (unter Außerachtlassen gelegentlicher Ausreißer nach unten). Der Kohlenstoffgehalt der einzelnen Werkzeuge wurde durch Analyse bestimmt; die Gehalte an Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel wurden ebenfalls bestimmt und sind an anderer Stelle dieses Berichtes zu finden.

Der Inhalt von Bild 3 ist insofern repräsentativ, als je Werkzeugart und Fabrikat in der Regel nur ein Meßpunkt eingetragen ist. Wenn die Darstellung auch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, so gibt sie doch in technischer Hinsicht einige interessante Einblicke. Untersucht wurden Pflugschare, Streichebleche, Pflug-, Eggen- und Sechsheiben, Grubber- und Hackschare, Kartoffelrodeschare und Eggenzinken. Der Herkunft nach stammen die Werkzeuge aus Belgien, Dänemark, Deutschland, England, Frankreich, Norwegen, Österreich, Schweden, Schweiz, Südafrika, Sowjetunion und den Vereinigten Staaten von Amerika.

Bei der ersten Betrachtung des Bildes fällt auf, daß der ganze Kohlenstoffbereich des härtbaren Stahles von 0,25 bis 1,05% durch Meßpunkte besetzt ist. Auch die Härte streut von niedrigen bis zu den höchstmöglichen Werten. Bei näherem Zusehen kann man jedoch einige, von den einzelnen Werkzeugarten bevorzugte Zonen unterscheiden.

So haben die Streichbleche, die in der Regel aus Dreilagenblech hergestellt sind, meist eine Härte um 800 VE; der Kohlenstoffgehalt der Stahlschichten streut zwischen 0,55 und 1,05%. Die Streichbleche sind im ganzen gehärtet; ein einziges

Streichblech französischer Herkunft ist nur an der Spitze auf eine Breite von etwa 100 mm gehärtet und hat in der übrigen Fläche eine Härte von nur 330 VE. Ein Streichblech österreichischer Herkunft ist aus Vollstahl mit 0,37% Kohlenstoff und einer mittleren Härte von etwa 550 VE. Als Novum sind zwei gasaufgekohlte Streichbleche aus England und Norwegen zu nennen, die auf etwa 2 mm Tiefe aufgekohlt sind und Härten um 850 VE aufweisen.

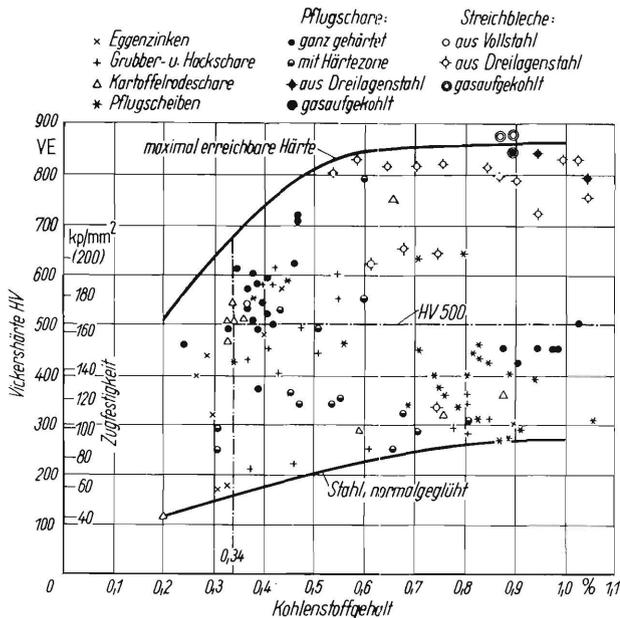


Bild 3. Die Härte und der Kohlenstoffgehalt ausgeführter Bodenbearbeitungswerkzeuge in- und ausländischer Herkunft. Jeder Meßpunkt vertritt ein Fabrikat. Die Härte wurde in der Verschleißzone der einzelnen Werkzeuge gemessen.

Bei den Pflugscharen kann man mehrere Härte- bzw. Kohlenstoffbereiche unterscheiden:

1. die niedrig gekohlten, meist ganz gehärteten Pflugschare deutscher Herkunft mit Härten zwischen 500 und 700 VE und einem Kohlenstoffgehalt zwischen 0,35 und 0,45% [12].
2. die an der Schneide gehärteten Pflugschare französischer und dänischer Herkunft mit meist sehr mäßigen Härten um 350 VE; der Kohlenstoffgehalt liegt bei diesen Scharen zwischen 0,3 und 0,7% und
3. die Pflugschare amerikanischer Herkunft aus einem höher gekohlten Stahl zwischen 0,85 und 1,1% Kohlenstoff und mit Härten um 450 VE.

Aus diesem Rahmen fallen vier Pflugscharausführungen heraus: Zwei amerikanische Pflugschare aus Dreilagenstahl mit Härten zwischen 800 und 850 VE; ein gasaufgekohltes norwegisches Pflugschar mit Härten um 850 VE und ein russisches, an der Schneide induktiv gehärtetes Pflugschar aus Vollstahl mit 0,6% Kohlenstoffgehalt und Härten um 800 VE. Dieses russische Schar ist offensichtlich nicht bzw. nur ganz geringfügig angelassen und war bereits bei der Anlieferung an der Schneide ausgebrochen.

Die unter Punkt 2 genannte Gruppe der partiell gehärteten, ausländischen Pflugschare mit Härten um 350 VE und darunter können ohne Bedenken den ungehärteten Werkzeugen zugerechnet werden, da sie offensichtlich von einer viel zu niedrigen Härtetemperatur aus abgeschreckt worden sind. Die stark schwankenden Härtewerte, die längs der Härtezone dieser Schare festgestellt wurden, lassen außerdem erkennen, daß die Schare beim Härten sehr ungleichmäßig erwärmt worden sind.

Bei den Pflugscheiben streut der Kohlenstoffgehalt, wie bei den Pflugscharen, zwischen 0,35 und 0,95%, wobei die Scheiben mit hohem Kohlenstoffgehalt meist amerikanischer und englischer Herkunft sind. Bei den letzteren findet man gehärtete, vergütete und ungehärtete Scheiben.

Die Kartoffelrodeschare mit höherem Kohlenstoffgehalt (0,6 bis 0,9%) sind durchweg ungehärtet. Die niedriggekohten Rodeschare (etwa 0,35%) sind gehärtet und haben eine Härte um 500 VE.

Die gehärteten und ungehärteten Eggenzinken aus Baustahl St 50 mit etwa 0,3% Kohlenstoff, zwei an der Schneide gehärtete Pflugschare mit demselben Kohlenstoffgehalt sowie ein ungehärtetes Kartoffelrodeschar mit 0,2% Kohlenstoff sind qualitativ unbefriedigend, weil deren Verschleißwiderstand den heutigen Anforderungen nicht genügt und diese Stähle infolge des geringen Kohlenstoffgehaltes auch nur oberflächlich härten. Diese Werkzeuge sind gehärtet unter Umständen sogar weniger verschleißfest als im nicht gehärteten Zustand [5].

Nach den seitherigen Erfahrungen darf man bei den in Frage kommenden niedrig gekohlten Stählen nicht viel unter 0,40% Kohlenstoff gehen, um bei der Wärmebehandlung die in DIN 11100 geforderten mechanischen Eigenschaften zu erzielen. Bei einem niedrigeren Kohlenstoffgehalt läuft man Gefahr, daß die Werkzeuge nicht hart genug werden bzw. nicht durchhärten.

Gruppiert man die Werkzeuge in Bild 3 nach werkstofflichen und gütemäßigen Gesichtspunkten, so kommt man zu folgender Einteilung, **Bild 4**:

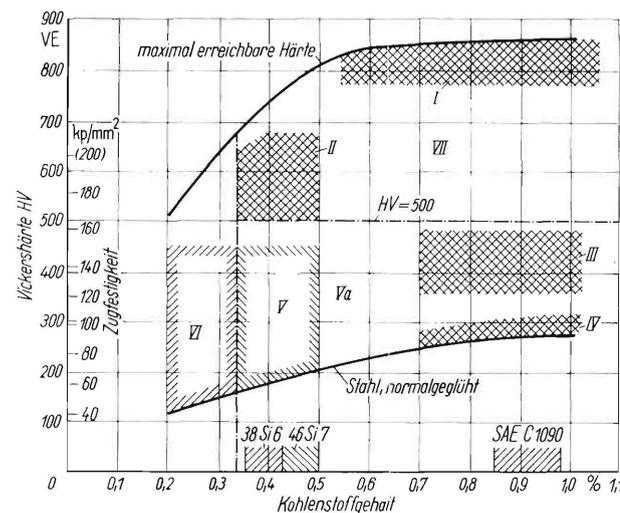


Bild 4. Die verschiedenen, nach Bild 3 sich ergebenden Gruppen von Bodenbearbeitungswerkzeugen, nach werkstofflichen und gütemäßigen Gesichtspunkten geordnet. Die Gruppen V und VI sind wegen nachweislich ungenügenden Verschleißwiderstandes abzulehnen.

- Gruppe I:** Die auf höchsten Verschleißwiderstand gehärteten Werkzeuge aus Dreilagenstahl oder aufgekohltem Stahlblech.
- Gruppe II:** Die auf hohen Verschleißwiderstand gehärteten Werkzeuge aus niedrig gekohltem Vollstahl.
- Gruppe III:** Die vergüteten Werkzeuge aus höher gekohltem Vollstahl.
- Gruppe IV:** Die ungehärteten Werkzeuge aus höher gekohltem Vollstahl.
- Gruppe V:** Die ungehärteten bzw. ungenügend gehärteten Werkzeuge aus niedrig gekohltem Vollstahl mit 0,34 bis 0,50% C.
- Die Gruppe Va (nicht schraffierter Bereich) ist gütemäßig der Gruppe V gleichzusetzen.
- Gruppe VI:** Die ungehärteten bzw. ungenügend härtbaren Werkzeuge aus niedrig gekohltem Vollstahl mit 0,30% C und weniger.

Der ungeschraffierte Bereich VII ist z. Z. nur durch Werkzeuge aus Dreilagenstahl mit ungenügender Härte oder durch Werkzeuge aus (unlegiertem) Vollstahl, die ungenügend angelassen und daher spröde sind, besetzt. Die ersteren sind wegen ungenügenden Verschleißwiderstandes, die letzteren wegen ungenügender Bruchsicherheit abzulehnen.

Gruppe I: die auf höchsten Verschleißwiderstand gehärteten Werkzeuge mit Härten um 800 VE und einem höheren Kohlenstoffgehalt von 0,6 bis 1,0%; diese Werkzeuge (Streichbleche, Pflugschare) sind aus Dreilagenstahl oder aufgekohltem Stahlblech hergestellt;

Gruppe II: die auf hohen Verschleißwiderstand gehärteten Werkzeuge aus Vollstahl mit Härten um und über 500 VE und einem niedrigen Kohlenstoffgehalt bis 0,5%; bei diesen Werkzeugen handelt es sich meist um ganz gehärtete Pflugschare, Pflugscheiben, Streichbleche, Kartoffelrodeschare oder um partiell an der Schneide gehärtete Pflugschare, Kartoffelrodeschare, Eggenzinken u. dgl.;

Gruppe III: die vergüteten Werkzeuge mit höheren Kohlenstoffgehalten zwischen 0,7 bis 1,0% und Härten zwischen 350 und 450 VE; diese Werkzeuge (ganz vergütete Pflugschare und Pflugscheiben) sind ausschließlich überseeischer Herkunft;

Gruppe IV: die ungehärteten Werkzeuge mit Kohlenstoffgehalten wie Gruppe III; bei diesen Werkzeugen handelt es sich um weniger beanspruchte, meist großflächige Teile, wie Kartoffelrodeschare u. ä., bei denen sich wegen der geringen Stückzahl Härtevorrichtungen anscheinend nicht lohnen. Im ungehärteten Zustand haben die höher gekohlten Stähle einen merklich besseren Verschleißwiderstand als die niedrig gekohlten Stähle [5].

Diesen vier Werkzeuggruppen stehen zwei weitere gegenüber, die hinsichtlich des geringen Verschleißwiderstandes als ungenügend bezeichnet werden müssen:

Gruppe V: die ungehärteten bzw. ungenügend gehärteten Werkzeuge mit Härten unter 450 VE und Kohlenstoffgehalten zwischen 0,34 und 0,50% und

Gruppe VI: die ungehärteten bzw. nur ungenügend härtbaren Werkzeuge mit Kohlenstoffgehalten um 0,30% und darunter.

Der (unschraffierte) Bereich VII in Bild 4 ist nur durch einige Streichbleche aus Dreilag Stahl mit ungenügender Härte (HV < 700) und durch Werkzeuge aus (unlegiertem) Vollstahl, der — übliche Wärmebehandlung vorausgesetzt — in diesem Härtebereich spröde ist, besetzt. Die zuerst genannten Werkzeuge (Streichbleche) haben eine für gehärteten Dreilag Stahl nicht ausreichende Verschleißfestigkeit, während bei den Werkzeugen aus Vollstahl in diesem Bereich die geforderte Bruchsicherheit nicht gewährleistet ist (siehe Abschnitt „Härte und Zähigkeit“).

Das Belegen des Bereiches VII durch ausgeführte Werkzeuge mit einer genügend großen Zähigkeit würde — besonders bei den höheren Kohlenstoffgehalten — legierte Stähle oder eine Sonderwärmebehandlung, wie das Zwischenstufenvergüten, voraussetzen, was beides bei den Bodenbearbeitungswerkzeugen anscheinend noch nicht angewendet wird.

Die Zähigkeit des gehärteten Stahles

Mit der Zähigkeit eines Stahles kennzeichnet man, wie bereits erwähnt, dessen Vermögen, überelastische Beanspruchungen, besonders wenn sie schlagartig erfolgen, durch bildsame Verformung aufzunehmen, ohne zu brechen [13]. Im Gegensatz dazu steht ein spröder Stahl, der bei der geringsten Überbeanspruchung ohne jede vorangegangene bleibende Verformung zu Bruch geht.

Härte und Zähigkeit sind nach einer verbreiteten Auffassung gegeneinander laufende Werkstoffeigenschaften. Wie die nachstehenden Versuche zeigen, ist diese Gegenläufigkeit in sehr weiten Grenzen vom Gefügestand, d. h. von der Wärmebehandlung, und von der chemischen Zusammensetzung des Stahles abhängig.

Das Verfahren zum Prüfen der Zähigkeit gehärteter Bodenbearbeitungswerkzeuge ist im Normblatt DIN 11100 enthalten. Danach werden ungekehrte Schlagbiegeproben (3 × 10 × 100 mm) aus den gehärteten Werkzeugen vorsichtig herausgearbeitet und im Pendelschlagwerk bei einer Auflagerentfernung von 70 mm die Schlagbiegearbeit, die zum Zerschlagen der Stäbe notwendig ist, festgestellt, **Bild 5**. Je größer diese Arbeit ist, um so zäher ist der Werkstoff. Zähe Proben verbiegen beim Schlagbiegeversuch beim Überschreiten der Streckgrenze plastisch und gehen beim Erreichen der Biegefestigkeit zu Bruch. Sie zeigen Verformungsbrüche und erreichen spezifische Schlagarbeiten

zwischen 15 und 30 kpm/cm². Besonders zähe Proben nehmen diese Arbeit auf, ohne zu brechen. Spröde Proben gehen dagegen ohne wesentliche Verformung zu Bruch und nehmen dabei Schlagarbeiten von nur 3 bis 8 kpm/cm² auf.

An Stelle der Verformungsarbeit kann man auch (wie in diesem Bericht geschehen) den nach dem Versuch ermittelten Verformungswinkel β , Bild 5, als Maß der Zähigkeit nehmen.

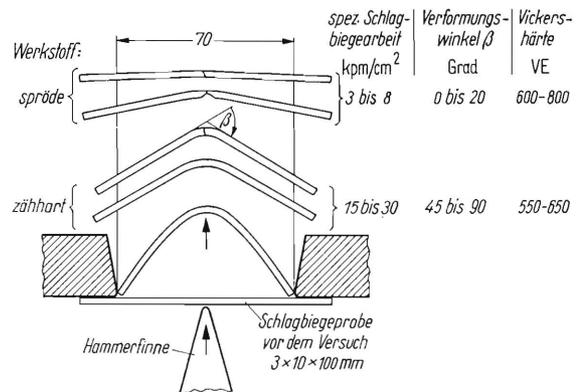


Bild 5. Schlagbiegeversuch mit ungekehrten Schlagbiegeproben 3 × 10 × 100 mm nach DIN 11100 zur Feststellung der Zähigkeit.

Das hat gegenüber der Verformungsarbeit verschiedene Vorteile, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Es sei nur erwähnt, daß man an Hand der Verformungsarbeit nur indirekt eine Aussage über die plastische Verformbarkeit (Zähigkeit) eines Werkstoffes machen kann, während die Größe des im Augenblick des Bruches erreichten Verformungswinkels den Grad der Verformbarkeit des Werkstoffes unmittelbar erkennen läßt. Bei zähen Proben beträgt der Verformungswinkel 45 bis 90 Grad, bei spröden Proben liegt β zwischen 0 und 20 Grad.

Härte und Zähigkeit gehärteter Versuchsstähle

Fertigt man nun eine Anzahl solcher Schlagbiegeproben aus einem härtbaren Stahl an, schreckt diese von der Härtetemperatur in Wasser oder Öl ab und läßt sie danach bei verschiedenen hohen Temperaturen an, so ergeben sich, je nach Abschreckmittel und Anlaßtemperatur, verschieden hohe Härten und Zähigkeiten der Proben⁶⁾. In **Bild 6** und **7** sind die Härte- und Zähigkeitswerte von wasser- und ölgeschreckten Proben aus einem Federstahl 38 Si 6 in Abhängigkeit von der Anlaßtemperatur dargestellt. Dieser Stahl entspricht der in DIN 11100 angegebenen Analyse und wird zur Zeit in Deutschland für Pflugschare fast ausschließlich verarbeitet.

Bei dem niedrig gekohlten Versuchsstahl wird nach Bild 6 beim Abschrecken in Wasser eine Härte von knapp 600 VE erreicht. Bei Anlaßtemperaturen bis 300°C nimmt die Härte der wasserabgeschreckten Proben von 590 VE auf etwa 550 VE ab und erreicht bei 360°C die Grenze für die Mindesthärte von 500 VE. Der Verformungswinkel β , als Maß der Zähigkeit, ist nach dem Abschrecken (20°C Raumtemperatur) sehr gering, geht aber bereits bei einer Anlaßtemperatur von 100°C von der Tieflage in die Hochlage über und erreicht bei einer Anlaßtemperatur von 160°C eindeutig die Hochlage. In Bild 6 und den folgenden Bildern wurde, um sicher zu gehen, die sich bei den einzelnen Anlaßtemperaturen einstellenden Kleinstwerte des Verformungswinkels durch einen Linienzug (Polygon) verbunden und dieser mit der geforderten Mindestzähigkeit ($\beta = 45$ Grad) in Vergleich gesetzt. In dem schraffiert eingezeichneten, optimalen Anlaßbereich von 150° bis 360°C hat der Stahl eine Härte zwischen 500 und 570 VE und einen Verformungswinkel von etwa 65 bis 75 Grad. Die Zähigkeit dieses Stahles ist in diesem Bereich so ausgezeichnet, daß trotz der hohen Härte keine einzige Probe gebrochen ist.

⁶⁾ Der Verfasser dankt auch an dieser Stelle den Herren Ing. George Petit und Dipl.-Ing. Wolfram Thiele herzlich für die sorgfältige Durchführung und Auswertung der Härteversuche.

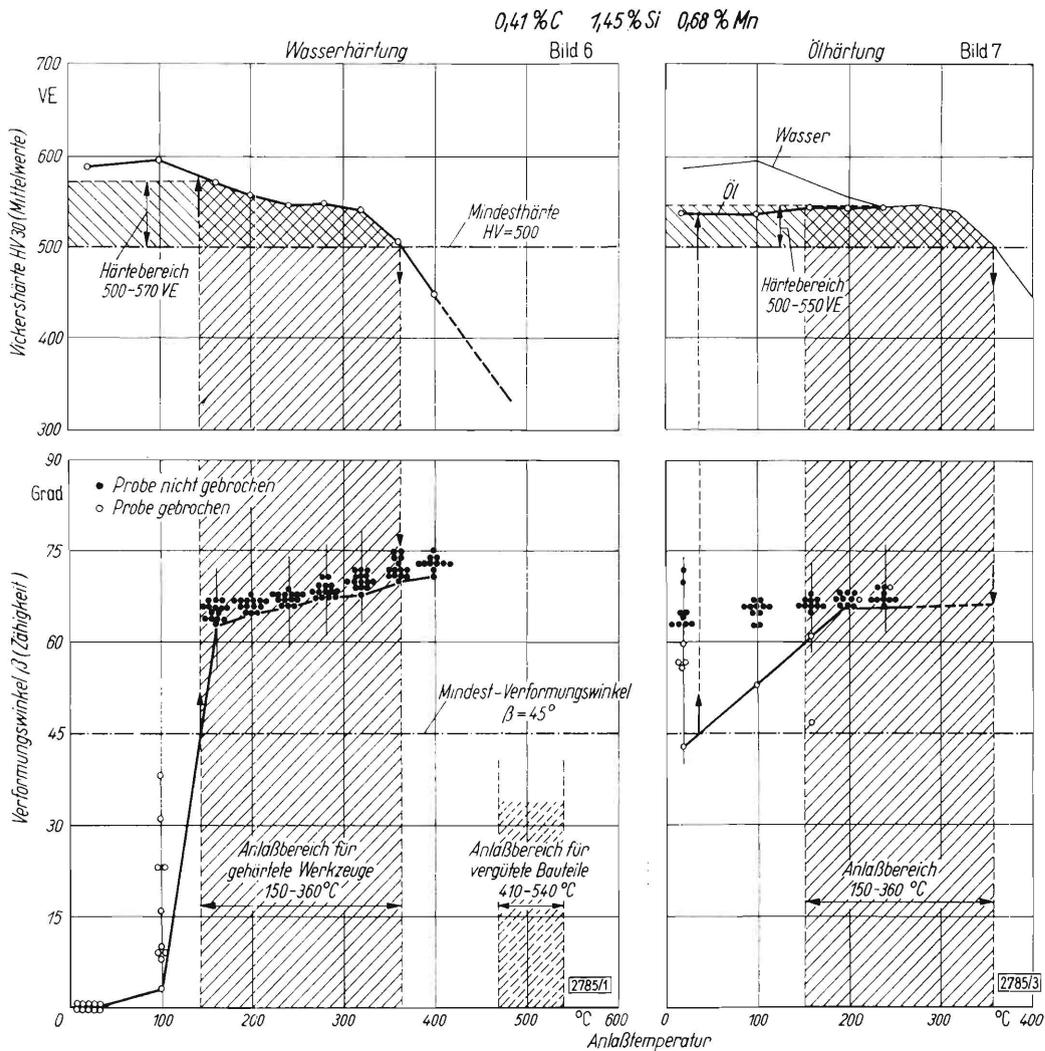


Bild 6 und 7. Härte und Zähigkeit von gehärteten Schlagbiegeproben aus Federstahl 38 Si 6 bei Wasser- und Ölhärtung in Abhängigkeit von der Anlaßtemperatur.

Analyse:	C	Si	Mn	P	S
	0,41%	1,45%	0,68%	0,017%	0,023%

Entnahme der Schlagbiegeproben in Walzrichtung; jeder Meßpunkt in den Diagrammen ist das Ergebnis einer Schlagbiegeprobe; Wärmebehandlung: Härten aus dem Salzbad — Anlassen im Salzbad — Anlaßzeit 30 min (Anlassen bei 100°C im Trockenschrank 120 min).

Bild 6: Wasserhärtung 860°C/Salzwasser 40°C
Bild 7: Ölhärtung 860°C/Öl 40°C

Ergebnis: Der Stahl erreicht in beiden Fällen die geforderte Mindesthärte und Mindestzähigkeit bei Anlaßtemperaturen zwischen 150° und 360°C; die maximale erreichbare Härte beträgt dabei HV = 570 VE.

Berichtigung von Bild 6:

Es muß „Anlaßbereich für vergütete Bauteile 470—540°C“ heißen.

Die öl abgeschreckten Proben haben nach dem Abschrecken eine Härte von 540 VE, Bild 7; die Härte bleibt bei steigender Anlaßtemperatur zunächst etwa konstant und mündet bei 240°C in den Kurvenverlauf der wasser abgeschreckten Proben ein. Die Zähigkeit befindet sich bereits nach dem Abschrecken in der Hochlage (β = 55° bis 70°), so daß man zum Abbau eventueller Eigenspannungen nur noch bei etwa 150°C zu entspannen braucht. Damit ergibt sich für die öl abgeschreckten Proben derselbe optimale Anlaßbereich wie für die wasser abgeschreckten.

Zeichnet man in Bild 6 noch den genormten, in Tafel 1 angegebenen Anlaßbereich (470 bis 540°C) für das Vergüten dieses Stahles ein, so erkennt man, wie schon in Bild 2 dargestellt, die verschiedenen Anlaßbereiche für die auf hohen Verschleißwiderstand gehärteten Werkzeuge und die auf hohe Festigkeit vergüteten Bauteile. Beim Vergüten dieses Stahles verbleiben nur noch Härten von 350 VE und weniger.

Nimmt man einen Stahl mit etwas höherem Kohlenstoffgehalt, z. B. den Federstahl 46 Si 7 in **Bild 8 und 9**, so erreicht man bei Wasserabschreckung eine wesentlich höhere Ausgangshärte

(HV = 750). Aber auch bei Öl abschreckung liegt die Härte höher (HV = 610) als bei dem Stahl 38 Si 6 in Bild 6 und 7. Beim Vergleich des Härteverlaufes in Bild 8 mit Bild 9 erkennt man, daß mit steigender Anlaßtemperatur die Härte bei den in Wasser abgeschreckten Proben rascher abnimmt als bei den öl abgeschreckten, und daß die Härte bereits bei Anlaßtemperaturen um 200°C in beiden Fällen etwa gleich groß ist (HV = 600). Bei weiterer Steigerung der Anlaßtemperatur verlaufen (wie beim Federstahl 38 Si 6) beide Härtekurven etwa gleich.

Fordert man nach DIN 11100 als Mindestqualität für gehärtete Bodenbearbeitungswerkzeuge eine Härte von 500 VE und für die Zähigkeit einen Verformungswinkel β von mindestens 45 Grad, so sind diese Forderungen für den vorliegenden Stahl bei Wasserhärtung mit Anlaßtemperaturen zwischen 220 und 420°C und bei Ölhärtung mit Anlaßtemperaturen zwischen 180 und 410°C sicher zu erfüllen. Die optimale Härte der gehärteten und an gelassenen Werkzeuge liegt bei etwa 620 VE.

Man kann also sagen, daß bei diesem Stahl die nach DIN 11100 geforderten Mindestwerte für Härte und Zähigkeit bei Wasser- und bei Ölhärtung gleich gut und sicher zu erreichen sind. Der Anlaßbereich ist in beiden Fällen groß genug, um nicht durch

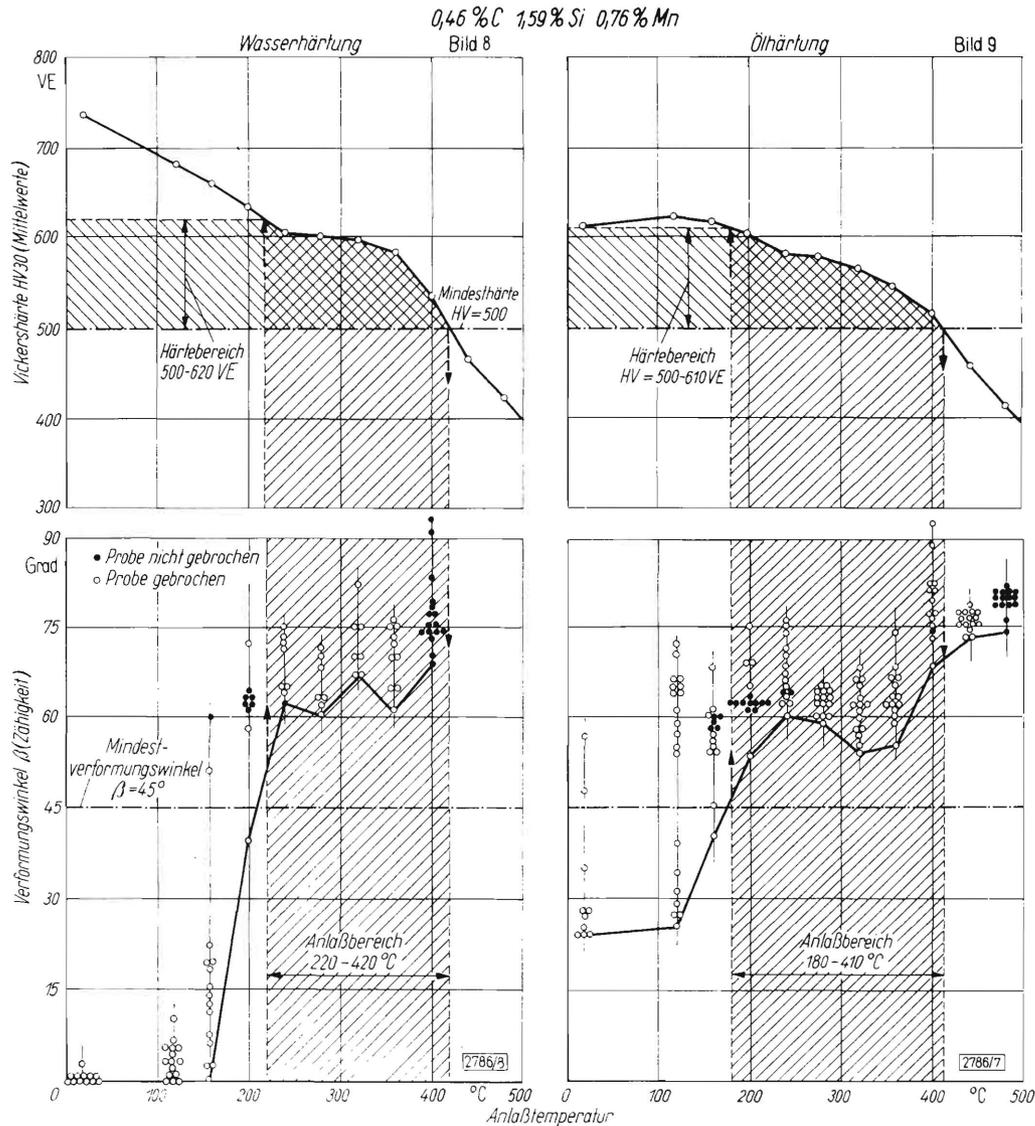


Bild 8 und 9. Härte und Zähigkeit von gehärteten Schlagbiegeproben aus Federstahl 46 Si 7 bei Wasser- und Ölhärtung in Abhängigkeit von der Anlaßtemperatur.

Zu Bild 8 und 9:

Analyse:	C	Si	Mn	P	S
	0,46%	1,59%	0,76%	0,018%	0,035%

Probentnahme und Wärmebehandlung wie in Bild 6 und 7.

Bild 8: Wasserhärtung 830°C/Wasser 40°C

Bild 9: Ölhärtung 830°C/Öl 40°C

Ergebnis: Der Stahl erreicht in beiden Fällen die geforderte Mindesthärte und Mindestzähigkeit bei Anlaßtemperaturen zwischen 200°C und 420°C; die maximal erreichbare Härte beträgt dabei HV = 620 VE. Eine Anzahl der wassergehärteten Proben zeigten in Längsrichtung einen feinen Haarriß und wurden wegen dieses Härtefehlers vor der Auswertung ausgeschieden.

eine zu niedrige Anlaßtemperatur in den Steilabfall der Zähigkeit zu geraten oder bei einer zu hohen Anlaßtemperatur die Mindesthärte von 500 VE zu unterschreiten. Einschränkend muß jedoch erwähnt werden, daß eine Anzahl wassergehärteter Proben vor dem Anlassen in Längsrichtung (Walzrichtung) einen feinen Haarriß aufwiesen und wegen dieses Härtefehlers von der Auswertung ausgeschieden werden mußten. Diese Rißempfindlichkeit braucht sich aber bei den größeren Querschnitten der Werkzeuge nicht unbedingt zu zeigen.

Die **Bilder 10 bis 12** zeigen einen Mangan-Scharstahl mit 0,49% Kohlenstoff und 0,90% Mangan, wie er früher in Deutschland für die an der Schneide partiell gehärteten Pflugschare⁷⁾ fast allgemein verarbeitet wurde [14] und auch heute noch im Ausland bei Pflugscharen anzutreffen ist.

Die Proben in Bild 10 sind bei 780° in Wasser gehärtet und bei verschiedenen Temperaturen angelassen. Man erkennt, daß die geforderte Mindesthärte und -zähigkeit nur bei einer engbegrenzten Anlaßtemperatur (340°C) zu erzielen sind. Bei einer geringfügig niedrigeren Anlaßtemperatur besteht die Gefahr des Sprödbrechens, bei einer höheren Anlaßtemperatur sinkt die Härte unter 500 VE.

In Bild 11 ist bei Wasserhärtung die Härtetemperatur nur um 20° erhöht (800°C). Dabei scheint der Stahl bereits überhitzt zu sein, denn über die Hälfte der Proben zeigen in der Längs-

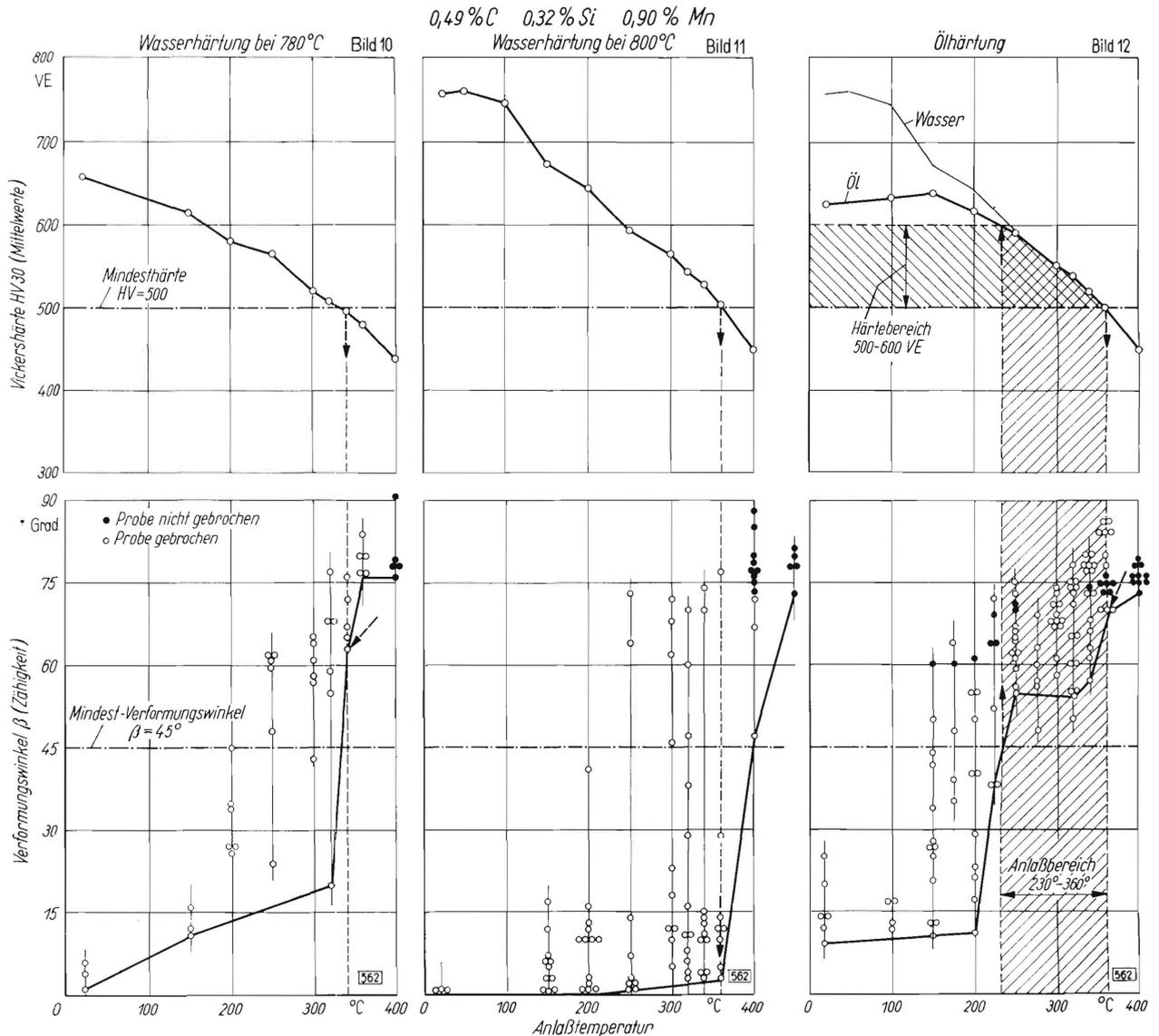
7) In dem ersten Pflugschar-Normblatt DIN LAND 100 (Januar 1930) war folgende Analyse festgelegt:

C	Si	Mn	P	S	P + S
%	%	%	%	%	%
0,4—0,6	höchstens 0,5	1,2—0,6	höchstens 0,04	höchstens 0,05	höchstens 0,08

„Um eine gleichmäßige Härte bei den partiell an der Schneide gehärteten Scharen zu erzielen, muß bei hohem Kohlenstoffgehalt der Mangangehalt an der unteren Grenze liegen und umgekehrt.“

Brinellhärte HB = 300 bis 550 (HV = 300 bis 650 VE)

In der zweiten Normblattausgabe über die Gütevorschriften der Pflugschare (DIN LAND 100, Juli 1936) war für den Scharstahl ein Kohlenstoffgehalt bis 0,5% zulässig sowie eine Brinellhärte von HB = 450 bis 600 (HV = 480 bis 710 VE).



Bilder 10 bis 12. Härte und Zähigkeit von gehärteten Schlagbiegeproben eines Manganstahls bei Wasser- und Ölhärtung in Abhängigkeit von der Anlaßtemperatur.

Zu den Bildern 10 bis 12:

Analyse:	C	Si	Mn	P	S
	0,49%	0,32%	0,90%	0,039%	0,034%

Probentnahme und Wärmebehandlung wie in Bild 6 und 7.

Bild 10: Wasserhärtung 780°C/Wasser 40°C

Bild 11: Wasserhärtung 800°C/Wasser 40°C

Bild 12: Ölhärtung 820°C/Öl 70°C

Ergebnis: Die geforderte Mindesthärte und Mindestzähigkeit sind bei Wasserhärtung nur bei einer genau eingestellten Härtetemperatur von 780°C und einer Anlaßtemperatur von 340°C zu erzielen (Bild 10). Bei einer Abweichung der Härte- oder der Anlaßtemperatur um nur 20° von den vorstehenden Werten ist der Stahl entweder spröde oder zu weich (Bild 10 und 11). Zudem hatte über die Hälfte der Probestäbe in der Längsrichtung feine Haarrisse. Bei Ölhärtung sind die geforderten Mindestwerte bei Anlaßtemperaturen zwischen 230° und 360° sicher zu erreichen; die maximal erreichbare Härte beträgt dabei HV = 600 VE.

richtung feine Härterisse⁸⁾. Beim Anlassen verhält sich der so gehärtete Stahl bis zu Temperaturen von 360° spröde; erst dann beginnt der Steilanstieg der Zähigkeit. Bei dieser Anlaßtemperatur ist aber die Härte bereits unter 500 VE gesunken. Man kann also sagen, daß bei Wasserhärtung die Forderungen von DIN 11100 nicht zu erfüllen sind.

⁸⁾ Houdremont [15] weist auf die Überhitzempfindlichkeit von Manganstählen beim Härten hin, wozu auch Manganbaustähle mit mittlerem Kohlenstoffgehalt neigen würden. Bei der Wasserhärtung manganhaltiger Stähle ergäbe sich aus der erhöhten Neigung zu Grobkörnigkeit und der zugleich stärkeren Einhärtung leicht die Gefahr der Bildung von Härterissen, besonders bei kleinen Querschnitten.

Bei Ölhärtung (Bild 12) lassen sich dagegen mit diesem Stahl in einem verhältnismäßig breiten Anlaßbereich (230° bis 360°C) die geforderten Härte- und Zähigkeitswerte sicher erreichen.

Wie aus den Bildern 10 bis 12 hervorgeht, sind die hohen Zähigkeits- und Härtewerte (HV = 500 bis 600 VE) nur bei Ölhärtung sicher erreichbar. Bei Stählen mit Kohlenstoffgehalten um 0,5% sind bei Wasserhärtung nur Härten bis höchstens 500 VE zulässig. Geht man bei einem solchen Stahl bei Wasserhärtung höher, so besteht die Gefahr des Sprödbruchs, Bild 13. Daher wurden, um Ausschuß zu vermeiden, seinerzeit in einer der größten Scharschmieden Deutschlands die partiell gehärteten Schare aus diesem Stahl⁹⁾ — abweichend von der Norm — nur in Öl gehärtet.

Zum Unterschied von den vorstehend dargestellten Mangan-Silizium- und Manganstählen zeigt Bild 14 einen Kohlenstoffstahl mit 0,68% Kohlenstoff, der in seiner Zusammensetzung etwa dem Federstahl C 67 nach DIN 17222 entspricht. Dieser

⁹⁾ Die Firma Rud. Sack, Leipzig, verarbeitete seinerzeit (1936 bis Kriegsende) einen Scharstahl mit folgender Werksanalyse:

C	Si	Mn	P	S	P + S
%	%	%	%	%	%
0,4—0,5	0,2—0,5	mindestens 0,90	höchstens 0,05	höchstens 0,05	höchstens 0,09

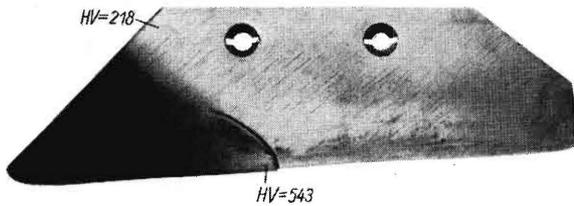


Bild 13. Verbiegung eines partiell an der Schneide gehärteten Pflugschares nach einer stoßartigen Beanspruchung bei der Ackerarbeit.

Der verformungslose Trennbruch durch die Härtezone läßt erkennen, daß die Zähigkeit des gehärteten Werkstoffes nicht der Mindestforderung nach DIN 11100 genügt. Bei ausreichender Zähigkeit dürfte das Schar bei der Größe der Verbiegung noch nicht zu Bruch gegangen sein, bzw. müßte es an den Bruchkanten Zonen einer plastischen Verformung erkennen lassen.

Stahl gehört zu einer Gruppe ölhärtender Federstähle. Bild 14 zeigt das Härte-Zähigkeits-Kennfeld dieses Stahles bei Öl-härtung. Im Gegensatz zu den seitherigen, ölgehärteten Stählen (Bild 7, 9 und 12) ist dieser Stahl nach dem Härten in Öl ausgesprochen spröde ($\beta = 1$ bis 3 Grad). Bei Anlaßtemperaturen bis 320°C nimmt die Zähigkeit nur geringfügig zu. Bei 340°C beginnt der steile Anstieg der Zähigkeit, die bei 400°C eindeutig in die Hochlage übergeht. Bei dieser Anlaßtemperatur ist aber die Härte von ursprünglich 810 VE bereits auf die Mindesthärte von 500 VE abgesunken. Es liegt bei diesem Stahl der unerwünschte Grenzfall vor, wo selbst bei Öl-härtung die geforderten Sollwerte für Härte und Zähigkeit nur bei einer genau eingestellten Anlaßtemperatur zu erzielen sind. Je nach Zusammensetzung der jeweiligen Schmelze dieses Stahles, wird diese Temperatur mal höher, mal tiefer liegen, was die Verarbeitung dieses Stahles für Bodenbearbeitungswerkzeuge nach DIN 11100 betriebsmäßig unmöglich macht. Wie bei dem nachstehend beschriebenen Versuchsstahl gezeigt wird, sind auch bei diesem Kohlenstoffgehalt die Sollwerte nach DIN 11100 mit einer aufwendigeren Wärmebehandlung (Zwischenstufenvergütung) sicher zu erreichen.

Abschließend zeigen die **Bilder 15 bis 17** einen höher gekohlten Stahl mit 0,90% Kohlenstoff und 0,89% Mangan, der hauptsächlich in USA für ganz gehärtete Bodenbearbeitungswerkzeuge verarbeitet wird.

Bei Öl-härtung nimmt dieser Stahl infolge des hohen Kohlenstoffgehaltes Härten bis 870 VE an, Bild 15. Beim Anlassen bis 300°C verharrt die Zähigkeit in der Tieflage, bei höherem Anlassen steigt die Zähigkeit an und erreicht bei 480°C die geforderte Mindestzähigkeit ($\beta = 45^\circ$). Dabei ist die Härte aber bereits unter den geforderten Mindestwert auf HV = 450 VE gesunken. Bei der Warmbadhärtung tritt keine wesentliche Verbesserung bezüglich der Relation Härte-Zähigkeit gegenüber der Öl-härtung ein, Bild 16. (Wie im Abschnitt „Qualitative Beurteilung ausgeführter Werkzeuge“ noch näher dargelegt wird, kann bei höher gekohlten Scharstählen (0,7 bis 1,1% Kohlenstoff) die geforderte Mindesthärte um 50 VE tiefer angesetzt werden, da der Verschleißwiderstand eines solchen höher gekohlten, gehärteten und angelassenen Stahles bei 450 VE etwa dem eines (nach DIN 11100) niedrig gekohlten, angelassenen und gehärteten Scharstahles mit 500 VE äquivalent ist.)

Bei Zwischenstufenvergütung nach Bild 17 sind jedoch die Mindestwerte von DIN 11100 bei Umwandlungstemperaturen von 300°C bis 350°C und einer Haltezeit von 25 bzw. 15 min sicher zu erzielen; die maximal erreichbare Härte beträgt dabei 610 VE.

Ergebnis der Härteversuche

An einigen Beispielen wurde der Zusammenhang zwischen hoher Härte und hoher Zähigkeit bei gehärteten Werkzeugen dargestellt und gezeigt, daß man bei geeigneter Wärmebehandlung mit jedem Stahl, der bisher für gehärtete Bodenbearbeitungswerkzeuge verwendet wurde, die Forderungen des Normblattes DIN 11100 erfüllen kann. Eine Ausnahme bilden die

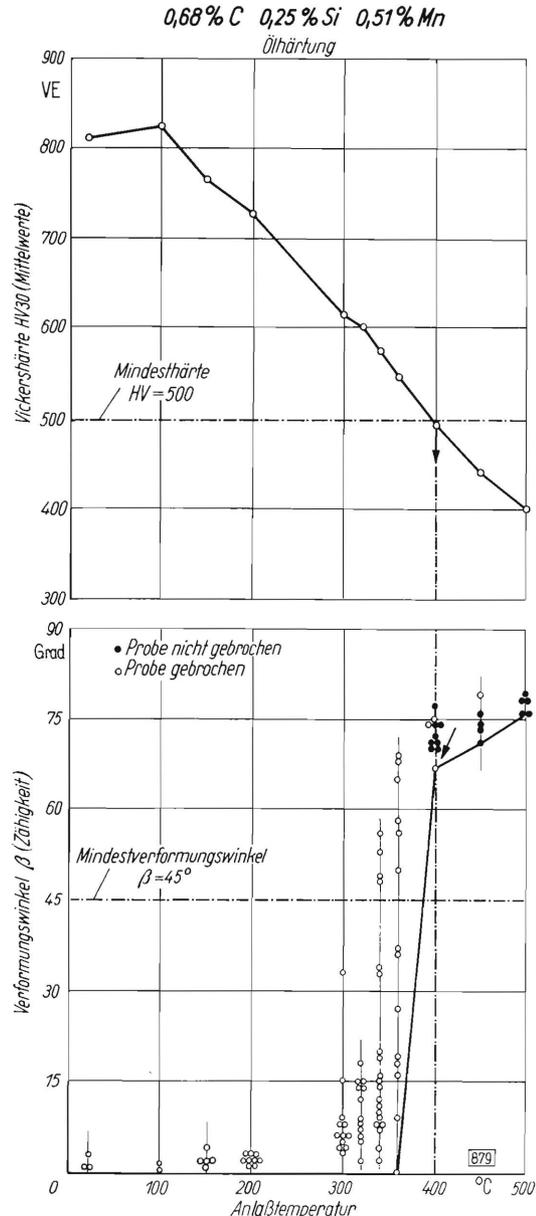


Bild 14. Härte und Zähigkeit ölgehärteter Schlagbiegeproben eines Federstahles C 67 in Abhängigkeit von der Anlaßtemperatur.

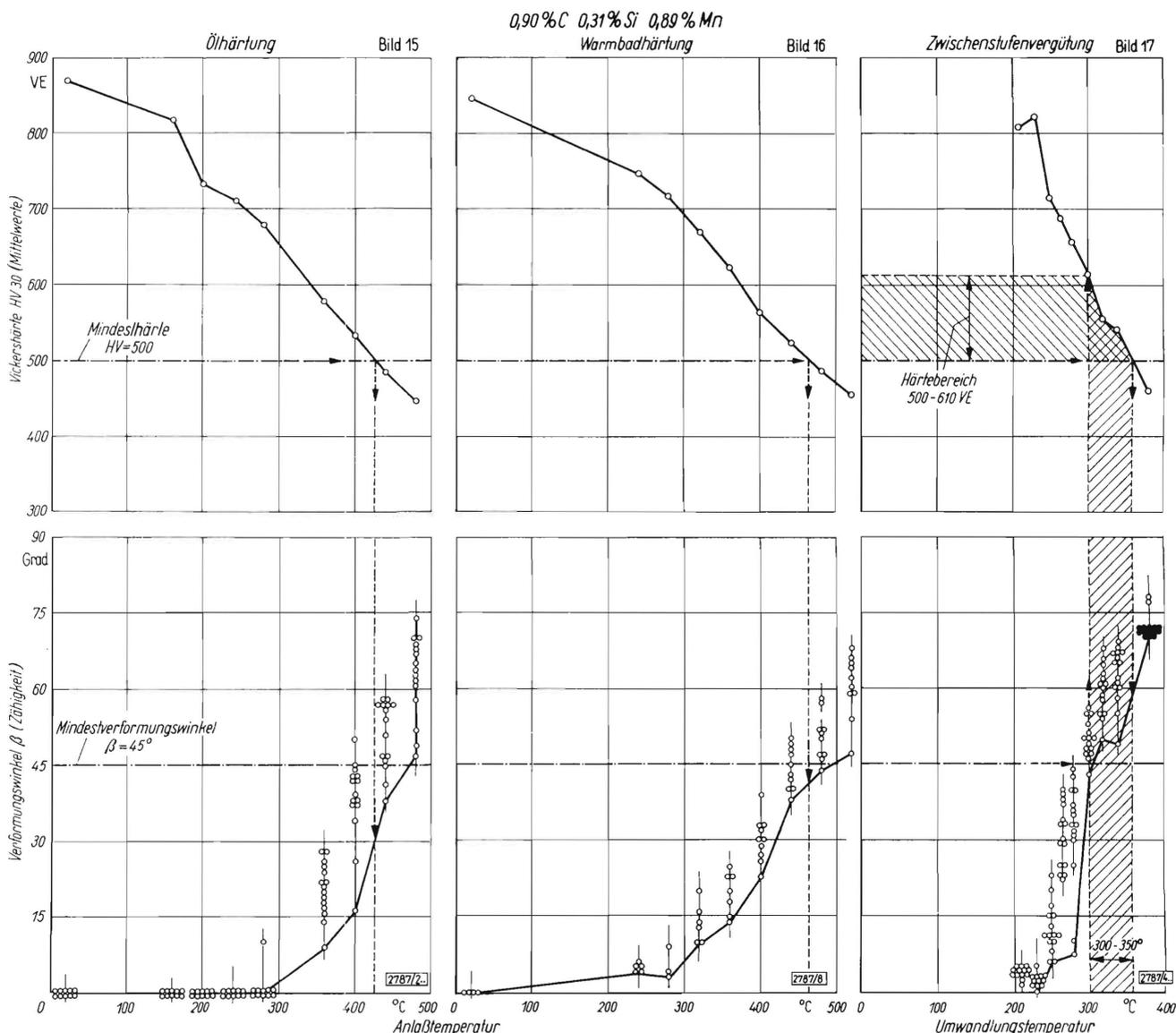
Analyse:	C	Si	Mn	P	S
	0,68%	0,25%	0,51%	0,034%	0,055%

Ölhärtung 800°C/Öl 70°C

Ergebnis: Hier liegt der unerwünschte Grenzfall vor, daß der optimale Anlaßbereich zu einer einzigen, eng begrenzten Temperatur zusammenschrumpft; unterschreitet man diese Anlaßtemperatur, so gerät man in den steilen Abfall der Zähigkeit, überschreitet man sie, so sinkt die Härte unter den geforderten Mindestwert von 500 VE.

reinen Kohlenstoffstähle mit Kohlenstoffgehalten um 0,35% und darunter (z. B. Eggenzinken [5] aus St 50, C 35 u. dgl.). Werkzeuge aus diesen Stählen erreichen bei den üblichen Abmessungen und Wasserhärtung nicht volle Martensithärte und härten meist auch nicht durch.

Im Hinblick auf die in den Betrieben vorhandenen Härtereianlagen muß der Stahl so ausgewählt werden, daß er in einem einfachen Verfahren der Wärmebehandlung die geforderten Eigenschaften der Härte und Zähigkeit annimmt. Das einfachste Verfahren ist die Wasserhärtung, während bei der Öl-härtung zusätzliche Vorkehrungen für den Abzug der Öldünste, das Säubern der Werkstücke u. ä. getroffen werden müssen. Um eine gleichbleibende Qualität erzielen zu können, müssen die Ofentemperaturen betrieblich gemessen und zur Kontrolle



Bilder 15 bis 17. Härte und Zähigkeit von gehärteten Schlagbiegeproben eines Kohlenstoffstahles mit 0,90% bei Öl- und Warmbadhärtung sowie bei Zwischenstufenvergütung in Abhängigkeit von der Anlaß- bzw. Umwandlungstemperatur.

Zu den Bildern 15 bis 17:

Analyse:	C	Si	Mn	P	S
	0,90%	0,31%	0,89%	0,023%	0,028%

Entnahme der Schlagbiegeproben in Walzrichtung.

Wärmebehandlung:

Bild 15: Ölhärtung 740°C/Öl 40°C, anschließend Anlassen

Bild 16: Warmbadhärtung 740°C/Salzbad 280°C, 30 s/Luft, anschließend Anlassen

Bild 17: Zwischenstufenvergütung
740°C/Salzbad 210° bis 280°C, 30 min/Luft
740°C/Salzbad 300°C, 25 min/Luft
740°C/Salzbad 320° bis 380°C, 15 min/Luft
(kein Anlassen)

Ergebnis: Bei der Öl- und bei der Warmbadhärtung (Bild 15 und 16) wird bei der Mindesthärte HV = 500 noch nicht die Mindestzähigkeit (Soll β = 45°, Ist β = 30° bzw. 40°) erreicht. Erst bei Anlaßtemperaturen von 480° bzw. 500°C ist die erreichte Zähigkeit ausreichend, die Härte aber auf HV = 450, also unter den geforderten Mindestwert, abgesunken. Bei der Zwischenstufenvergütung (Bild 17) werden bei Umwandlungstemperaturen zwischen 300° und 350°C auch bei diesem hochgekohlten Stahl die geforderten Mindestwerte für Härte und Zähigkeit sicher erreicht. Die maximal erreichbare Härte beträgt dabei 610 VE.

registriert werden. Die Zwischenstufenvergütung wurde in den vorstehenden Beispielen nur herangezogen, um zu zeigen, daß man bei allen in Frage kommenden und in der Praxis verwendeten Stählen (auch bei den höher gekohlten unlegierten Stählen) die geforderten Eigenschaften erzielen kann. Das ist nur eine Frage der Kosten und der vorhandenen Einrichtungen.

Faßt man nun die Ergebnisse der Härteversuche zusammen, **Tafel 2**, so erkennt man, daß mit den beiden Mangan-Silizium-Stählen (38 Si 6 und 46 Si 7) die Sollwerte für Härte und Zähigkeit bei Öl- und Wasserhärtung sicher zu erreichen sind. Der Stahl 46 Si 7 scheint, besonders bei dünnen Querschnitten, für Wasserhärtung bereits empfindlich zu sein (Härterisse), weshalb bei den höher gekohlten Federstählen 51 Si 7 und 55 Si 7, sofern man sie für Bodenbearbeitungswerkzeuge verarbeitet, nur Ölhärtung in Frage kommt.

Bei einem Kohlenstoffstahl mit 0,49% Kohlenstoff und 0,90% Mangan sind die Sollwerte nur bei Ölhärtung sicher zu erreichen. Der entsprechende Normstahl ist der Vergütungsstahl C 45 mit 0,42 bis 0,50% Kohlenstoff und 0,50 bis 0,80% Mangan. Was bei Wasserhärtung dieses Stahles herauskommen kann, zeigen die im Arbeitseinsatz gebrochenen, fast neuen Schlegelmesser eines Feldhäckslers in **Bild 18**. Die Schlegelmesser sind zwar keine Bodenbearbeitungswerkzeuge, sie erleiden aber (wie z. B. die Messer von Bodenfräsen) durch Bodenberührung und Steine Stoßbeanspruchungen, die sie, ohne zu brechen, durchstehen müssen. Obwohl die Schlegelmesser in Bild 18 nach dem Anlassen nur eine Härte zwischen 420 und 440 VE hatten, sind alle acht im Bild gezeigten Messer spröde, d. h. ohne jede Verformung an der Bruchstelle, gebrochen und verloren gegangen.

Die gleichen Schlegelmesser, die aus Federstahl 55 Si 7 hergestellt worden waren und Härten zwischen 500 und 600 VE

Tafel 2. Ergebnisse der Härteversuche mit fünf verschiedenen Versuchsstählen (Bilder 6 bis 17) mit Angabe der Wärmebehandlung zur Erreichung der Sollwerte für Härte und Zähigkeit nach DIN 11100.
Zum Vergleich dazu die Werkstoffdaten entsprechender, genormter Stähle.

Ifd. Nr.	Kurzzeichen	Normblatt	Chemische Zusammensetzung						Wärmebehandlung			gehärtet und angelassen: max. Härte VE	siehe Bild
			C %	Si %	Mn %	P %	S %	P+S %	Härten in	Härten °C	Anlassen °C		
	Scharstahl	DIN 11100	0,34 0,43	≥0,60	Mn+Si ≥1,40	0,07	höchstens 0,06	0,11	Wasser	780—840	200—300	500—700	—
1	Versuchsstahl 38 Si 6	—	0,41	1,45	0,68	0,017	0,023	—	Wasser	860/40	150—360	570	6
		DIN 17221	0,35 0,42	1,40 1,60	0,50 0,80	höchstens 0,050	0,050	—	Öl	860/40	150—360	540	7
2	Versuchsstahl 46 Si 7	—	0,46	1,59	0,76	0,018	0,035	—	Wasser	830/40	200—420	620	8
		DIN 17221	0,42 0,50	1,50 1,80	0,50 0,80	höchstens 0,050	0,050	—	Öl	830/40	200—420	610	9
3	Versuchsstahl C 45	—	0,49	0,32	0,90	0,039	0,034	—	Wasser	(780/40)	(340)	(500) ¹⁰⁾	10
		DIN 17200	0,42 0,50	0,15 0,32	0,50 0,80	höchstens 0,045	0,045	—	Öl	820/70	230—360	600	12
4	Versuchsstahl C 67	—	0,68	0,25	0,51	0,034	0,055	—	Öl	(800/70)	(400)	(500) ¹⁰⁾	14
		DIN 17222	0,65 0,72	0,25 0,50	0,60 0,80	höchstens 0,045	0,045	—	—	—	—	—	—
5	Versuchsstahl C 1090	—	0,90	0,31	0,89	0,023	0,028	—	Öl	(740/40)	(480)	(450)	15
		SAE ¹¹⁾ Standard-Steel	0,85 0,98	0,15 0,30	0,60 0,90	höchstens 0,040	0,050	—	Warmbad Zwischenstufen- vergütung	(740/280)	(500)	(470)	16
										740/300/25 min	610	17	

¹⁰⁾ Die Sollwerte sind bei Wasser- bzw. Ölhärtung so knapp erreichbar, daß sie im praktischen Betrieb nicht eingehalten werden können.
¹¹⁾ Society of Automotive Engineers, New York.

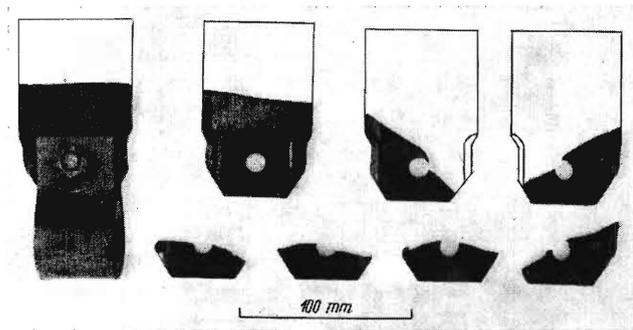


Bild 18. Ganz gehärtete Schlegelmesser aus Vergütungsstahl C 45 mit Härten zwischen 420 und 440 VE. Die Messer sind ohne jede Verformung an der Bruchstelle spröde gebrochen.

Analyse:	C	Si	Mn	P	S
	0,48%	0,26%	0,61%	0,028%	0,047%

hatten, arbeiteten dagegen unter denselben Verhältnissen eine ganze Saison, ohne daß ein einziges Messer auch nur an der Schneide ausgebrochen ist. Man darf annehmen, daß diese Schlegelmesser ölgehärtet waren.

Die Verarbeitung des Vergütungsstahles C 45 für Bodenbearbeitungswerkzeuge wird besonders durch den Umstand erschwert, daß er bei niedrigen Kohlenstoff- und Mangangehalten (also an der unteren Grenze des Sollbereiches) wassergehärtet und bei Gehalten an der oberen Grenze ölgehärtet werden müßte, um die Sollwerte für Härte und Zähigkeit nach DIN 11100 halbwegs sicher zu erreichen. Das setzt aber schmelzenweise Verarbeitung voraus, was in vielen Betrieben aus organisatorischen Gründen nicht gewährleistet ist.

Mit Kohlenstoffstählen über 0,60% Kohlenstoff wird man auch bei Ölhärtung nicht mehr die Sollwerte für Härte und Zähigkeit erreichen. Der untersuchte Federstahl C 67 mit 0,68% Kohlenstoff und 0,51% Mangan erreichte bei Ölhärtung diese Werte nur knapp bei einer genau eingestellten Anlaßtemperatur von 400°C. Bei einer nur um 20° niedrigeren Anlaßtemperatur bricht der Stahl spröde, bei einer um 20° höheren Temperatur hat der Stahl nur noch eine Härte von 470 VE.

Mit einer Zwischenstufenvergütung kann man jedoch auch bei Kohlenstoffstählen mit über 0,60% Kohlenstoff die geforderten Mindesthärte- und Zähigkeitswerte sicher erreichen, wie der amerikanische Pflugscharstahl mit sogar 0,90% Kohlenstoff zeigt (Bild 17). Bei der Zwischenstufenvergütung fällt das Anlassen des Stahles fort, trotzdem scheint man sie für die Massenproduktion für Pflugschare u. dgl. nicht anzuwenden. Jedenfalls begnügt man sich in Amerika mit der bei Ölhärtung erreichbaren Härte von rd. 450 VE, bei der der Stahl die gewünschte Zähigkeit von $\beta = 45^\circ$ gerade noch hat (Bild 15).

Die Warmbadhärtung wird vielfach bei kompliziert geformten Werkstücken an Stelle der Ölhärtung angewendet, um die bei der Abschreckung auftretenden Wärmespannungen auf ein Mindestmaß herabzusetzen. Die Werkstücke müssen danach, wie bei der Ölhärtung, angelassen werden. Die Warmbadhärtung bringt aber gegenüber der Ölhärtung bezüglich des Optimums zwischen Härte und Zähigkeit keine entscheidende Verbesserung (vgl. Bild 16 mit 15).

Qualitative Beurteilung ausgeführter Werkzeuge

Im Vorstehenden wurde nachgewiesen, daß die Gütevorschriften für gehärtete Bodenbearbeitungswerkzeuge nach DIN 11100 bei geeigneter Wahl des Stahles und der Wärmebehandlung sicher zu erfüllen sind. In dem letzten Abschnitt soll nun die Frage beantwortet werden, inwieweit die heute hergestellten Werkzeuge die zu fordernden Güteeigenschaften haben und in welcher Richtung Verbesserungen möglich sind.

Zu diesem Zweck wurden bei einer größeren Anzahl Bodenbearbeitungswerkzeuge der verschiedensten Art und Herkunft die Werkstoffeigenschaften festgestellt und die werkstoffliche Güte der Werkzeuge an Hand dieser Eigenschaften bewertet und beurteilt. Die werkstoffliche Güte bedingt zu einem wesentlichen Teil den Gebrauchswert eines neuen Werkzeuges. Die funktionelle Form, die Austauschbarkeit, die Oberflächenbeschaffenheit u. dgl. mehr, die den Gebrauchswert eines Werkzeuges mitbestimmen, bleiben bei der nachstehenden werkstofflichen Beurteilung außer Ansatz. Auch auf die Preiswürdigkeit (Kilopreis bzw. Werkzeugkosten je bearbeiteter Ackerflächeneinheit) kann in diesem Rahmen nicht eingegangen werden. Die

Werkzeuge werden so beurteilt, als wären außer den werkstofflichen Unterschieden alle anderen Gegebenheiten und Voraussetzungen die gleichen.

Als Beispiel wird eine Anzahl verschiedener Pflugschare, deren Werkstoffeigenschaften in **Tafel 3** zusammengestellt sind, güttemäßig analysiert und bewertet. Der Bewertung werden vier werkstoffliche Eigenschaften der Pflugschare zugrunde gelegt:

1. Stahlzusammensetzung, Härtebarkeit u. ä. (unter der Rubrik „Werkstoff“);
2. Verschleißwiderstand (unter der Rubrik „Härte“);
3. Bruchsicherheit (unter der Rubrik „Zähigkeit“);
4. Sicherheit gegen Verbiegen, insbesondere an der Befestigungsstelle (unter der Rubrik „Festigkeit“).

Die Gesichtspunkte, nach denen sich die Wertigkeiten I bis IV für diese vier Eigenschaften (Werkstoff, Härte, Zähigkeit, Festigkeit) richten, werden nachstehend erörtert. Grundsätzlich gilt, daß, wenn nur eine der vier Eigenschaften in bezug auf das betreffende Werkzeug die Wertigkeit „IV“ hat, das Werkzeug als Ganzes von einer solchen Beschaffenheit ist, daß es den heutigen Anforderungen nicht genügt. Dabei ist es ohne Belang, ob die übrigen drei Eigenschaften günstig beurteilt werden oder nicht. Denn schließlich ist es gleichgültig, ob ein Werkzeug wegen zu geringer Festigkeit an der Befestigungsstelle verbiegt oder wegen mangelnder Zähigkeit spröde zu Bruch geht oder wegen mangelnder Verschleißfestigkeit in kurzer Zeit verschliffen ist.

Höchstmögliche werkstoffliche Güte liegt vor, wenn alle vier Eigenschaften die Wertigkeit I haben.

Wie aus **Tafel 3** und **Bild 19** hervorgeht, sind die Pflugschare aus den Vergütungsstählen C 35, C 45, C 60, 37 Mn Si 5 und ähnlichen Stählen, ferner aus Mangan-Siliziumstählen (Federstählen) 38 Si 6, 46 Si 7, 55 Si 7 und 65 Si 7 hergestellt. Drei amerikanische Schare (das Herstellerland ist in einer Fußnote

Tafel angegeben) sind abweichend davon aus einem höher gekohlten Manganstahl gefertigt. Etwa die Hälfte der Schare ist partiell an der Schneide, die anderen Schare sind im ganzen gehärtet; das Schar 15 ist ungehärtet einem Gerät entnommen worden. Die Zusammenstellung enthält der Form nach 7 Winkelschare, 8 Spitz- und Schnabelschare und 3 Klingenschare, **Bild 20**.

Bewertung des „Werkstoffes“

Wie bereits erwähnt, sind Werkzeuge aus einem unlegierten Kohlenstoffstahl mit 0,32% Kohlenstoffgehalt und weniger wegen mangelhafter Härtebarkeit abzulehnen (Wertigkeit IV). Dies trifft auf das Schar 1 in **Tafel 3** zu.

Es liegt nahe, den Werkstoff derjenigen Schare, die auf Grund ihrer Form für das Nachschmieden und -härten im Feuer vorgesehen sind, auf die Wasserhärtebarkeit hin zu beurteilen, da für diese nach DIN 11100 die Wasserhärtebarkeit gefordert wird. Man kann aber im Hinblick auf die obigen Härteversuche im Zweifel sein, ob diese Vorschrift noch sinnvoll ist.

Der übliche Federstahl 38 Si 6 und mit gewissen Einschränkungen auch der Federstahl 46 Si 7 sind, wie wir bei den Härteversuchen gesehen haben, wasser- und ölhärtbar. Eine ganze Anzahl Scharstähle außerhalb der heutigen Norm vertragen aber die Wasserhärtung, ohne Gefahr des Reißens, besonders der dünnen Schneiden, nicht. Da der Dorfschmied den Scharen äußerlich nicht ansehen kann, ob sie Wasserhärtung vertragen oder nicht, bleibt nur übrig, ihm zu empfehlen, sämtliche Schare in Öl zu härten, wenn er keinen Härteausschuß machen soll. Tut man das, so kann man jenen Scharen, die wasser- und ölhärtbar sind, unter „Werkstoff“ die Wertigkeit I geben, braucht aber die nur ölhärtbaren nicht mit der Wertigkeit IV zu versehen (was bei der Forderung nach Wasserhärtebarkeit folgerichtig wäre). Den Ölhärtern wurde deshalb, sofern es nachschmiedbare Schare sind, unter Vorbehalt die Wertigkeit III gegeben.

Sollte bei einer Neufassung des Normblattes DIN 11100 für die nachschmiedbaren Schare grundsätzlich die „Ölhärtung“ empfohlen werden, so könnte den Ölhärtern ebenfalls die Wertigkeit I gegeben werden. Einen Sonderfall stellen die Klingenschare dar, die nur werkseitig wärmebehandelt werden. Bei solchen Scharen wird die Art der Wärmebehandlung nicht beurteilt und auch die Zwischenstufenvergütung positiv bewertet. Deshalb haben die Klingenschare 16, 17 und 18 unter „Werkstoff“ die Wertigkeit I.

Hinsichtlich der Verunreinigung der verwendeten Stähle durch Phosphor und Schwefel richtet sich die Beurteilung nach den in den Normvorschriften festgelegten Höchstwerten¹⁵⁾:

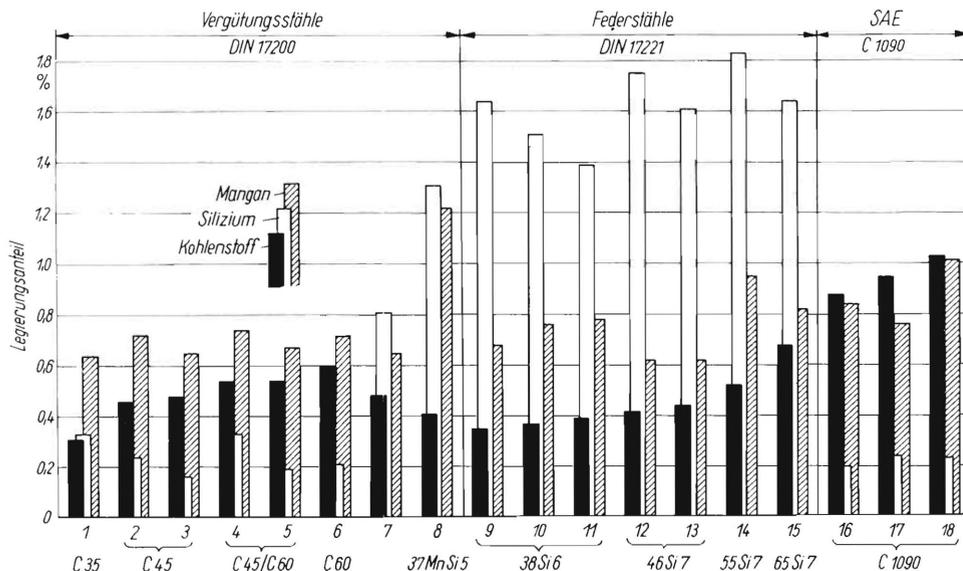


Bild 19. Chemische Zusammensetzung der aufgeführten Pflugschare nach **Tafel 3**. Man erkennt die große Vielfalt der verwendeten Stähle.

Vergütungsstähle nach DIN 17200: P und S je 0,045%
 Federstähle nach DIN 17221: P und S je 0,050%
 SAE-Kohlenstoffstahl C 1090: P = 0,040% und S = 0,050%

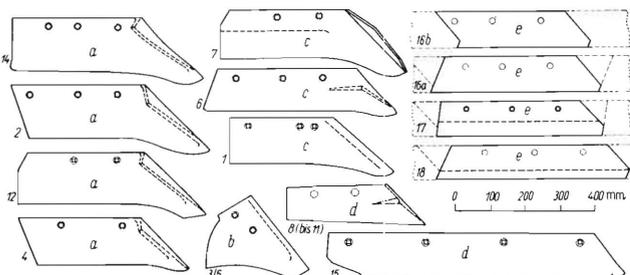


Bild 20. Formen der untersuchten Pflugschare.
 (Die Zahlen weisen auf die laufenden Nummern in **Tafel 3** hin.)

a, b Winkelschare c Schnabelschare d Spitzschare e Klingenschare

Bei erheblicher Überschreitung dieser Grenzwerte ist das Werkzeug abzulehnen (so z. B. Schar 3). Bedenklich sind die Phosphor- bzw. Schwefelgehalte der Schare 1, 4, 6 und 8, besonders wenn sie in Seigerungsform vorliegen. Durch hohe Phosphorgehalte werden die Zähigkeitseigenschaften merklich verschlechtert. Hoher Schwefelgehalt wirkt sich hauptsächlich in einer Verschlechterung der Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften quer zur Walzrichtung aus.

¹⁵⁾ Unter den Auswirkungen des letzten Krieges sind bei der Neufassung des Normblattes DIN 11100 im Jahre 1949 windgefrischte Austauschstähle (Thomasstähle) und mit ihnen höhere Phosphor- und Schwefelgehalte zugelassen worden. Die heutigen Scharstähle werden wieder ausnahmslos im Siemens-Martin-Ofen erschmolzen. Eine Anpassung des Normblattes DIN 11100 an diesen Sachverhalt wäre wünschenswert.

Tafel 3. Pflugschare aus Vollstahl verschiedener Form und Herkunft. Werkstoffeigenschaften und deren Wertigkeit im Hinblick auf die Haltbarkeit der Schare. Beurteilung der werkstofflichen Güte der Pflugschare.

Lfd. Nr. ¹²⁾	Prüf. Nr.	Scharform ¹³⁾	Gewicht kg	Dicke mm	Chemische Zusammensetzung					Normstahl	Wärmebehandlung	Vickershärte HV 125			Zähigkeit		Wertigkeit			Werkstoffliche Güte Gesamturteil	Bemerkungen		
					C %	Si %	Mn %	P %	S %			Härtezone VE	Rücken ¹⁴⁾ VE	σ kp/mm ²	Schlagarbeit α kpm/cm ²	Verformungswinkel β Grad	Werkstoff	Härte	Zähigkeit			Festigkeit	
																							VE
1	2776	Sch	4,5	9	0,31	0,33	0,64	0,044	0,021	C 35	Schn. geh.	204—252	156	53	—	—	IV	IV	—	IV	mangelhaft	C zu niedrig	
2	2695	W	5,9	11,5	0,46	0,24	0,72	0,023	0,025	C 45	Schn. geh.	360—380	202	69	—	—	I	IV	—	III	mangelhaft		
3	2935	W	3,4	8	0,48	0,16	0,65	0,062	0,039	C 45	Schn. geh.	290—337	200	68	—	—	IV	IV	—	III	mangelhaft	P zu hoch	
4	2812	W	3,7	8	0,54	0,33	0,74	0,046	0,027	C 45/60	Schn. geh.	332—345	205	70	—	—	III	IV	—	III	mangelhaft	Ölhärter	
5	2678	W	2,8	7,5	0,55	0,19	0,67	0,023	0,023	C 45/60	ganz geh.	339—364	318	110	—	—	III	IV	—	I	mangelhaft	Ölhärter	
6	2892	Sch	4,0	9,3	0,60	0,21	0,72	0,029	0,045	C 60	Schn. geh.	819—826	239	82	Schneide ausgebrochen	—	III	I	IV	—	II	mangelhaft	Ölhärter
7	2652	Sch	4,9	12	0,48	0,81	0,65	0,023	0,029	—	Schn. geh.	304—370	264	90	—	—	I	IV	—	II	mangelhaft		
8	2928	Sp	2,0	9	0,41	1,31	1,22	0,050	0,026	37 Mn Si 5	Schn. geh.	563—642	294	101	26,6/27,5	62/63	II	I	I	I	mangelhaft	sehr gut	
9	2346	Sp	—	—	0,35	1,64	0,68	0,040	0,032	38 Si 6	ganz geh.	586—618	505	165	15,2/19,5	54/65	I	I	I	I	sehr gut	sehr grobes Härtegefüge	
10	2358	Sp	—	—	0,37	1,51	0,76	0,020	0,023	38 Si 6	ganz geh.	473—487	432	150	9,6/12,2	30/36	I	III	IV	I	mangelhaft		
11	2350	Sp	3,0	10	0,39	1,39	0,78	0,020	0,022	38 Si 6	ganz geh.	508—550	432	150	15,0/17,5	55/62	I	I	I	I	sehr gut		
12	2645	W	4,9	10	0,42	1,75	0,62	0,034	0,017	46 Si 7	Schn. geh.	363—487	328	113	—	—	I	IV	—	I	mangelhaft		
13	2654	W	4,7	10	0,44	1,61	0,62	0,028	0,019	46 Si 7	Schn. geh.	444—550	227	77	18,6	67	I	III	I	III	ausreichend	Ölhärter	
14	2823	W	4,0	7,2	0,52	1,83	0,95	0,040	0,037	55 Si 7	ganz geh.	376—500	348	120	—	—	III	IV	—	I	mangelhaft	Ölhärter	
15	2852	Sp	7,6	10	0,68	1,64	0,82	0,022	0,034	65 Si 7	ungehärtet	320—330	310	106	—	—	III	IV	—	I	mangelhaft	Ölhärter	
16	2584	Kl	2,2	8	0,88	0,20	0,84	0,020	0,025	C 1090	ganz geh.	450—462	451	155	21,0/21,5	68/69	I	III	I	I	gut	grobes Härtegefüge	
17	2667	Kl	2,3	8	0,95	0,24	0,76	0,021	0,027	C 1090	ganz geh.	441—462	451	155	13,4/13,8	49/55	I	III	III	I	ausreichend		
18	2856	Kl	2,7	7,8	1,03	0,23	1,01	0,021	0,020	C 1090	ganz geh.	470—520	495	160	19,1/20,2	58/65	I	I	I	I	sehr gut		

¹²⁾ Die Schare stammen von einem Hersteller in Dänemark (7, 12, 13) und von 15 weiteren Herstellern in West-Deutschland (9, 10, 11, 15), Ost-Deutschland (8), England (5, 14), Frankreich (1, 2, 3, 4), UdSSR (6) und USA (16, 17, 18).
¹³⁾ W = Winkelschar, Sch = Schnabelschar, Sp = Spitzschar, Kl = Klingenschar. ¹⁴⁾ Festigkeit aus der Vickershärte errechnet.

Bewertung der „Härte“

Bei der Bewertung der Härte muß davon ausgegangen werden, daß nach DIN 11100 aus Gründen des Verschleißwiderstandes bei Pflugscharen aus Vollstahl eine Mindesthärte von 500 VE gefordert werden muß. Schare mit niedrigeren Härtewerten genügen den Anforderungen nicht und haben daher die Wertigkeit IV.

Pflugschare aus Vollstahl mit Härten über 560 VE sind dagegen nach den derzeitigen Erkenntnissen als besonders verschleißfest anzusehen; ihnen kommt die Wertigkeit I zu. Schare mit dazwischenliegenden Härtewerten haben nach **Tafel 4** die Wertigkeiten II und III.

Tafel 4. Wertigkeitsskala für die Bewertung des Verschleißwiderstandes der Schare aus Vollstahl an Hand der Vickershärte in der Verschleißzone.

Wertigkeit	Vickershärte HV	
	Werkzeuge mit einem Kohlenstoffgehalt bis 0,6% VE	Werkzeuge mit einem Kohlenstoffgehalt über 0,7% VE
I	über 560	über 520
II	560 bis 520	520 bis 480
III	520 bis 480	480 bis 440
IV	unter 480	unter 440

Es muß aber an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß das Normblatt DIN 11100 (einschl. der früheren Ausgaben) vollinhaltlich auf den niedrig gekohlten Stählen (bis etwa 0,5% Kohlenstoff) basiert. Wenn die amerikanischen Klingenschare mit ihrem wesentlich höheren Kohlenstoffgehalt in die Bewertung miteinbezogen werden sollen, so taucht die Frage auf, ob an sie hinsichtlich der Härte derselbe Bewertungsmaßstab angelegt werden darf, wie an die Schare aus niedrig gekohlten Stählen.

Bei Verschleißversuchen von Klotz [16] hat es sich gezeigt, daß bei einem gehärteten und angelassenen, eutektoiden Stahl, also bei einem Stahl mit einem Kohlenstoffgehalt um 0,9%, der Verschleißwiderstand dieses Stahles im Härtebereich um 500 VE ebenso groß ist, wie bei niedrig gekohlten Stählen (0,61% C und 0,47% C) mit einer um rd. 100 VE höheren Härte, **Bild 21**.

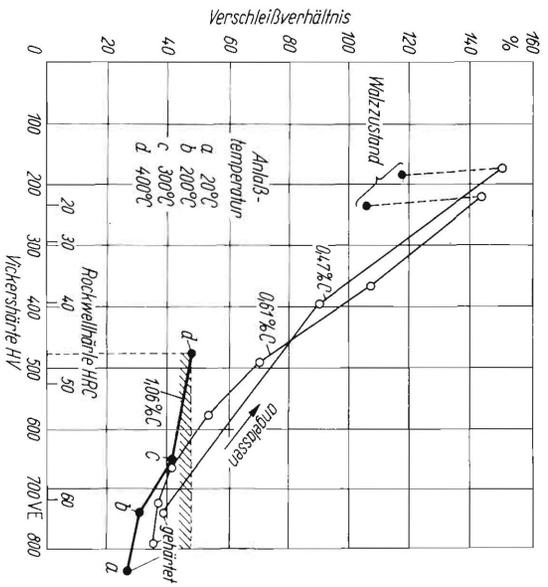


Bild 21. Verschleiß von gehärteten und verschiedenen hoch angelassenen Stahlschärfen auf sandhaltigem Boden in Abhängigkeit von der Härte für die verschiedenen hoch gekohlten Stähle. Diese Darstellung ist vom Verfasser nach Versuchswerten von Klotz (Bilder 6 bis 8, 10 und 11 in [16]) entworfen.

Stahl	C %	Si %	Mn %	P %	S %
A	0,47	0,37	0,89	0,017	0,034
B	0,61	0,30	0,81	0,031	0,030
C	1,06	0,36	0,81	0,013	0,027

Bei vorsichtiger Auslegung dieses Versuchsergebnisses kann man, wie in Tafel 4 geschehen, die Wertigkeitsskala bei den höher gekohlten Stählen um etwa 50 VE tiefer ansetzen als bei niedrig gekohlten Stählen.

Werden die untersuchten Schare in Tafel 3 nach dieser Wertigkeitsskala eingestuft, so zeigt es sich, daß die Hälfte der Schare der Mindestforderung hinsichtlich der Verschleißfestigkeit nicht entsprechen (Wertigkeit IV).

Bewertung der „Zähigkeit“

Bei zehn Pflugscharen, die die geforderte Mindesthärte nach Tafel 4 nicht hatten, erübrigt sich die Feststellung der Zähigkeit. Von allen anderen Scharen wurden mit einer Ausnahme Schlagbiegeproben 3 × 10 × 100 mm herausgeschliffen und im Pendelschlagwerk die Schlagbiegearbeit festgestellt. Proben, die die Mindestschlagarbeit von 15 kpm/cm² bzw. einen Verformungswinkel von mindestens 45 Grad erreichten, haben die Wertigkeit I, alle anderen die Wertigkeit IV.

Sechs Schare hatten die geforderte Zähigkeit und damit die Wertigkeit I. Schar 10 erreichte die Mindestzähigkeit nicht, obwohl es an der unteren Grenze der Härte lag. Eine Gefügeuntersuchung ließ den Grund erkennen: ein sehr grobes Härtegefüge. Schar 17 stellt einen Grenzfall dar, bei dem die Zähigkeit nach Winkel β wohl noch ausreicht, aber infolge eines groben Härtegefüges die Arbeit α um rund 10 % unterschritten ist. In diesem Falle wurde die werkstoffliche Güte als gerade noch ausreichend (Wertigkeit III) angesehen. Das russische Schar 6 ist induktiv gehärtet, Bild 22, und hatte eine Härte von über 800 VE; da das Schar aus einem einfachen Vergütungsstahl mit 0,6% Kohlenstoff hergestellt ist, ist im Bereich der Härtezone bei dieser Härte eine nennenswerte Zähigkeit nicht zu erwarten. Das untersuchte Schar, das kurzzeitig im Einsatz war, ist auch in der Nähe der Scharspitze bereits ausgebrochen, Bild 23. Es scheint, daß dieses Schar in einer automatischen Fertigungsstraße [17] hergestellt ist.

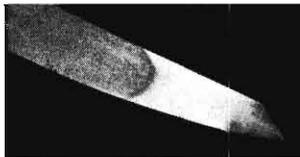


Bild 22. Querschliff durch die Schneide des induktiv gehärteten Pflugschares russischer Herkunft. Scharf abgegrenzte Härtezone. (natürliche Größe).

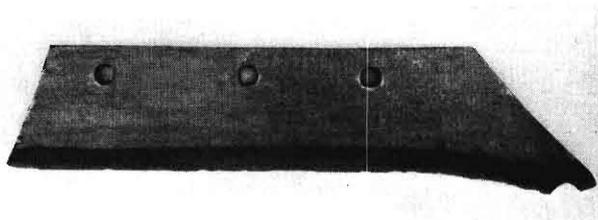


Bild 23. Induktiv gehärtetes Pflugschar russischer Herkunft (Schar 6 in Tafel 3).

Schmale Härtezone; hohe Härte HV = 820 VE; geringe Zähigkeit in der Härtezone: ausgebrochene Stelle hinter der Scharspitze.

	C	Si	Mn	P	S
	%	%	%	%	%
Schar 6	0,60	0,21	0,72	0,029	0,045
Russische Norm L-53	0,47 0,59	0,15 0,40	0,50 0,80	höchstens je 0,05	

Bewertung der „Festigkeit“

Bei der Bewertung der Festigkeit kann man davon ausgehen, daß das Schar an der Befestigungsstelle mindestens die Festigkeit des ungehärteten Stahles hat. Die Mindestfestigkeit des verwendeten Scharstahles kann mit Rücksicht auf seine Härtebarkeit auf 70 kp/mm² festgelegt werden. Schare, die an der

Befestigungsstelle weniger als 70 kp/mm² Festigkeit haben, haben die Wertigkeit IV. Aber auch Werkzeuge mit höherer Festigkeit können als mangelhaft eingestuft werden, wenn nämlich aus Gründen der Funktion oder aus konstruktiven Gründen die Form nicht geändert werden kann und eine genügend große Biegefestigkeit nur durch eine höhere Festigkeit des Werkstoffes, sei es im gewalzten Zustand, sei es durch Vergütung, erzielt werden kann. Ein entsprechendes Beispiel sind die genormten Eggenzinken [5].

Ganz gehärtete und angelassene Werkzeuge mit über 100 kp je mm² Festigkeit haben hinsichtlich der Biegefestigkeit die Wertigkeit I, dazwischenliegende Festigkeitswerte können, sofern kein anderer Grund dagegen spricht, wie folgt bewertet werden:

An der Befestigungsstelle		Wertigkeit
Vickershärte VE	Festigkeit kp/mm ²	
über 290	über 100	I
290 bis 235	100 bis 81	II
235 bis 205	80 bis 71	III
unter 200	unter 70	IV

Wegen mangelhafter Festigkeit hat nur das Schar 1 die Wertigkeit IV; dieses Schar hat aber bereits wegen mangelnder Härtebarkeit unter „Werkstoff“ die Wertigkeit IV erhalten.

Gesamtbewertung

Von 18 untersuchten Scharen ist die werkstoffliche Güte bei vier Scharen „sehr gut“, bei einem Schar „gut“ und zwei weiteren Scharen „ausreichend“. Scheidet man alle Schare aus, die in einer der vier Eigenschaften „Werkstoff“, „Härte“, „Zähigkeit“ und „Festigkeit“ die Wertigkeit IV haben, so muß man 11 von 18 Scharen als mangelhaft bezeichnen. Die größere Hälfte der Schare ist also nach den Erkenntnissen der Haltbarkeitsforschung und den Gütevorschriften des Normblattes DIN 11100 werkstofflich mangelhaft und für die Landwirtschaft ungeeignet.

Zusammenfassung

Die Untersuchungen zeigen die Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Werkstoffeigenschaften und der Haltbarkeit der gehärteten Bodenbearbeitungswerkzeuge. Es wird an Hand von ausgeführten Bodenbearbeitungswerkzeugen die große Streubreite dieser Werkstoffeigenschaften und die daraus resultierenden großen Qualitätsunterschiede aufgezeigt. Es ergibt sich dabei, daß die Gütevorschriften des Normblattes DIN 11100 im Wesenskern dem Stand der Erkenntnis entsprechen. Wo sich Änderungswünsche ergeben, z. B. hinsichtlich der Stahlart, der Wärmebehandlung (Ölhärtbarkeit) oder des Reinheitsgrades (P und S), werden entsprechende Vorschläge gemacht.

Insbesondere haben die Härteversuche ergeben, daß die geforderten Härte- und Zähigkeitswerte mit den üblichen niedrig gekohlten Scharstählen und einer einfachen, zweckentsprechenden Wärmebehandlung sicher zu erreichen sind. Dabei zeigte sich, daß die optimalen Verhältnisse zwischen Härte und Zähigkeit im allgemeinen bei der milderen Ölhärtung günstiger liegen als bei der Wasserhärtung. Bei den Härteversuchen ergaben sich folgende optimale Meßwerte für die Härte und die Zähigkeit:

Härte HV 30 = 650 bis 500 VE (Sollwert mindestens 500 VE),
Verformungswinkel β = 45 bis 75 Grad (Sollwert mindestens 45 Grad),
Schlagbiegearbeit α = 27 bis 18 kpm/cm²
(Sollwert mindestens 15 kpm/cm²).

Die angegebene Zuordnung der gemessenen Grenzwerte läßt erkennen, daß (mit zunehmender Anlaßtemperatur) die Vickershärte von 650 VE auf den zulässigen Mindestwert von 500 VE absinkt, wobei der Verformungswinkel — als Maß der Zähigkeit — vom zulässigen Mindestwert (45 Grad) auf einen Maximalwert von etwa 75 Grad ansteigt. Die in diesem Bericht nicht dargestellte Verformungsarbeit überspringt den geforderten Mindestwert von 15 kpm/cm² beim Übergang von der Tief in die Hochlage und erreicht bei einer relativ niedrigen Anlaßtemperatur sofort ihren Höchstwert (etwa 27 kpm/cm²). Bei steigender

Anlaßtemperatur sinkt mit der Härte die Festigkeit und damit auch die Schlagbiegearbeit auf Werte um 18 kpm/cm². Die Versuche haben außerdem ergeben, daß hinsichtlich der gütemäßigen Beurteilung der Zähigkeit die angegebenen Mindestsollwerte für den Verformungswinkel und für die Schlagbiegearbeit äquivalent sind.

Mit der Frage der hochgekohten Stähle, wie sie in Amerika für gehärtete Bodenbearbeitungswerkzeuge verwendet werden, wird ein interessantes Verschleißproblem angeschnitten. Die Tatsache, daß ein niedrig gekohlter Stahl nach DIN 11100 um so verschleißfester ist, je höher dessen Vickershärte ist, darf als bewiesen gelten. Ebenso gilt die Einschränkung, daß ein solcher Stahl im vergüteten Zustand, also nach hohen Anlaßtemperaturen, trotz höherer Härte (300 bis 400 VE) verschleißmäßig ungehärteten, perlitischen Stählen gegenüber kaum einen besseren Verschleißwiderstand aufweist, oftmals sogar unterlegen ist. Eine Wärmebehandlung („Vergütung“) solcher Stähle auf Härten unter 500 VE ist deshalb aus verschleißtechnischen und damit auch wirtschaftlichen Gründen abzulehnen.

Neben diesen bekannten Zusammenhängen zwischen Härte, Gefüge und Verschleiß deutet sich aber auf Grund eines Verschleißtestes (Bild 21) eine neue Einflußgröße auf den Verschleißwiderstand der gehärteten Scharstähle an: daß nämlich im Härtebereich um 500 VE und darüber hochgekohten Stähle bei derselben Härte verschleißfester sind als niedrig gekohlte Stähle. Danach wäre im martensitischen Gebiet neben der Härte auch ein Einfluß des Kohlenstoffgehaltes auf den Verschleißwiderstand vorhanden. Wie groß dieser Einfluß ist, und ob er die Möglichkeit zu einer weiteren Verschleißminderung der Bodenbearbeitungswerkzeuge einschließt, muß erst durch entsprechende Verschleißversuche erhärtet werden. Die gütemäßige Beurteilung der auf dem Markt befindlichen Bodenbearbeitungswerkzeuge, wie sie am Beispiel der Pflugschare vorgenommen wurde, wird dadurch nicht beeinflusst.

Schrifttum

- [1] Wellinger, K., u. H. Uetz: Einfluß der Schweißbedingungen auf das Verschleißverhalten von Auftragsschweißungen. Schweißen und Schneiden **11** (1959) S. 458/74.
- [2] Becker, E.: Hartmetall-armierte Pflugschare. Landtechn. Forsch. **12** (1962) S. 129/31.

- [3] Becker, E.: Organische und mineralische Stoffe zur Herstellung und Beschichtung von Pflugscharen und Pflugstreichblechen. Landtechn. Forsch. **13** (1963) S. 29/32.
- [4] Normblätter über Bodenbearbeitungswerkzeuge u. ä., die Werkstoffangaben enthalten:
- DIN 11090 Eggenzinken für Saat- und Ackereggen (Januar 1962).
- DIN 11100 Bodenbearbeitungswerkzeuge, Werkstoff und Gütevorschriften (Februar 1949).
- DIN 11112 Gänsefußmesser für Vielfachgeräte und Hackmaschinen
- DIN 11120 Schare für Pflugkörper (März 1950). (Juli 1958).
- DIN 11121/5 Streichbleche für Pflugkörper (Mai 1950).
- DIN 11127 Anlagen für Pflugkörper (März 1950).
- DIN 11129 Streichschienen für Pflugkörper (März 1950).
- DIN 11130 Grubberschare für Federgrubber (April 1956).
- DIN 11176 Hohlschutzscheiben (Juni 1958).
- DIN 11201 Rechenzinken (November 1954).
- [5] Stoppel, Th.: Einfluß der Härte auf den Verschleiß von Bodenbearbeitungswerkzeugen am Beispiel der Eggenzinken. Grndl. d. Landtechn. Heft 17. Düsseldorf 1963 S. 56/67.
- [6] Daeves, K.: Zustandsschaubild der unlegierten Stähle. Düsseldorf 1960. S. 32.
- [7] Burns, J. L.; T. L. Moore u. R. S. Archer: Quantitative hardenability. Trans. Am. Soc. Metals **26** (1938) pp. 1/36.
- [8] Wellauer, E. J.: Improving the durability of large industrial gears. Metal Progr. **37** (1940) p. 657.
- [9] Sisco, F. T.: Modern metallurgy for engineers. 2d ed., 1948, 499 pp. New York: Pitman Publishing Corporation.
- [10] Crafts, W., u. J. L. Lamont: Härbarkeit und Auswahl von Stählen. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer 1954. S. 81.
- [11] Stoppel, Th.: Zähnharte Werkzeugstähle für die Bodenbearbeitung. Techn. i. d. Landw. **25** (1944) S. 81/90.
- [12] Stoppel, Th.: Über die Güte, den Verschleiß und die Schneidenform fabrikneuer Pflugschare. Grndl. d. Landtechn. Heft 13. Düsseldorf 1961. S. 25/43.
- [13] Schmidt, Max: Werkzeugstähle. Düsseldorf: Verlag Stahl-eisen 1943. S. 32.
- [14] Kloth, W., G. Schmidt u. H. Lischke: Erfahrungen aus den Scharkontrollen der DLG. Techn. i. d. Landw. **15** (1934) S. 273/80.
- [15] Houdremont, E.: Handbuch der Sonderstahlkunde. 3. Aufl. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1956. S. 535.
- [16] Kloth, W.: Die Haltbarkeit der Bodenbearbeitungswerkzeuge. Techn. i. d. Landw. **11** (1930) S. 332/36.
- [17] Kortschagin, P. A.: Automatische Fertigungsstraßen zur Herstellung meißelförmiger Schlepperpflugschare. Selchomachina Moskau (1953) H. 6, S. 22/24. In: Zur Konstruktion und Technologie des Pflugschares. Schriften d. Verl. Technik Bd. 183. Berlin 1954. S. 56/61.

Verfahren der Gasaufkohlung von Verschleißteilen und die betrieblichen Voraussetzungen

Von J. Wüning und P. Saborosch, Korntal¹⁾

Die Entwicklung der Härtereitechnik hat in den Nachkriegsjahren große Fortschritte gemacht, so daß heute die moderne automatische Serienfertigung auch Eingang in die Wärmebehandlungsbetriebe gefunden hat. Die wichtigsten Vorteile sind neben der Kostensenkung die bessere und gleichmäßigere Qualität der Werkstücke. Die bislang als ungünstig bekannten Arbeitsbedingungen in der Härtereitechnik konnten verbessert werden, was bei den heutigen Personalschwierigkeiten beachtet werden muß.

Selbstverständlich wurden diese neuen Wärmebehandlungsverfahren zunächst in Betrieben mit typischer Serienfertigung eingeführt, wie z. B. in der Kraftfahrzeug-, Schrauben- und Kettenindustrie. Aber auch in der Landmaschinenindustrie werden die Wärmebehandlungsbetriebe modernisiert, nicht nur um die Kosten zu senken, sondern um die vielfältigen Möglichkeiten zur Verbesserung der Werkstückeigenschaften auszunutzen.

Dr.-Ing. Joachim Wüning ist Leiter der Entwicklungsabteilung und Ing. Paul Saborosch ist Leiter der Versuchsabteilung der Firma J. Aichelin, Industrieofenbau, Korntal bei Stuttgart.

Aufkohlungsverfahren

In dem vorliegenden Bericht soll nur auf ein Spezialgebiet der Wärmebehandlungstechnik eingegangen werden, nämlich das der Einsatzhärtung. Bekanntlich kann man dem Stahl durch eine entsprechende Wärmebehandlung zwar die unterschiedlichsten Eigenschaften geben, aber zwischen dem Zustand höchster Härte und dem größter Zähigkeit muß immer ein entsprechender Kompromiß gefunden werden. Mit der Einsatzhärtung wird dem Konstrukteur die ideale Möglichkeit in die Hand gegeben, Teile mit zähem Kern und harter, verschleißfester Oberfläche zu verwenden. Eine ähnliche Kombination der Eigenschaften erzielt man beim Oberflächenhärten oder beim Härten von Verbundstahl. Bei diesen gasaufgekohlten, oberflächengehärteten oder auch aus Verbundstahl hergestellten Teilen (z. B. den Streichblechen der Pflüge) sind wegen des weichen Kernmaterials, das der Träger der Zähigkeit ist, Oberflächenhärten bis zu 800 Vickers (= 64 Rockwell) möglich und

¹⁾ Vorgetragen am 5. 4. 1963 von Dr.-Ing. J. Wüning auf der 21. Konstrukteurtagung in Braunschweig-Völknerode.