

Einfluß der Härte auf den Verschleiß der Bodenbearbeitungswerkzeuge am Beispiel der Eggenzinken

Von **Theodor Stroppel**, Braunschweig-Völkenrode

Der Anlaß zu den Feldversuchen, über die im folgenden berichtet wird, ist die von der Praxis aufgeworfene Frage: Um wieviel sind gehärtete Bodenbearbeitungswerkzeuge verschleißfester als ungehärtete? Man geht dabei von der Erfahrung aus, daß hochgehärteter Scharstahl mit einer Vickershärte von beispielsweise 550 kp/mm^2 gegenüber Abrieb durch quarzhaltigen Boden verschleißfester ist als ungehärteter Stahl mit einer Härte von 200 kp/mm^2 , ferner, daß gehärteter Stahl um so verschleißfester ist, je höher seine Härte ist. Durch frühere Verschleißversuche ist diese Erfahrung auch bestätigt worden.

Als Härte wird dabei der Widerstand, den ein Prüfling einem härteren Eindringkörper (Diamantspitze, Hartmetallkugel) entgegensetzt, gemessen. Die drei hierfür in Frage kommenden technischen Härteprüfverfahren nach Vickers, Rockwell und Brinell sind genormt [1]. Die Vickershärte erfaßt im Gegensatz zu den beiden anderen Verfahren den ganzen Härtebereich des Stahles und ist deshalb den nachstehenden Untersuchungen zugrunde gelegt worden. Die Beziehungen zwischen den verschiedenen gemessenen Härtewerten sind für Stahl in Härtevergleichstabellen [1] festgelegt worden.

Die Härte ein Maß der Verschleißfestigkeit?

Große Unsicherheit in die eben wiedergegebenen Erfahrungen über den Einfluß der Härte auf das Verschleißverhalten von Stahl gegen Boden ist dadurch entstanden, daß man diese speziellen Erfahrungen verallgemeinert hat und bei der Beurteilung der Verschleißfestigkeit von Stahl gelegentlich so verfährt, als wäre die Vickershärte über den ganzen Härtebereich des Stahles, also von 100 bis 850 kp/mm^2 , ein Maß für dessen Verschleißfestigkeit. Nicht ohne Grund ist in dem Normblatt DIN 11100 die untere Härtegrenze für gehärtete Bodenbearbeitungswerkzeuge mit 500 kp/mm^2 festgelegt worden [2; 3]. Schon Kloth [4] hat in Laborversuchen festgestellt, daß bei den für Bodenbearbeitungswerkzeuge in Frage kommenden Kohlenstoffstählen zwischen dem ungehärteten bzw. normalgeglühten Zustand (lamellarer Perlit) mit $HV = 200 \text{ kp/mm}^2$ und dem vergüteten Zustand (angelassener Martensit) mit $HV = 400 \text{ kp/mm}^2$ kein wesentlicher Unterschied im Verschleißverhalten zu bestehen braucht. Durch die nachstehend beschriebenen Feldversuche soll deshalb besonders auch in diesem Härtebereich festgestellt werden, wie groß der durch Härten erzielbare Gewinn an Verschleißfestigkeit ist.¹⁾

Daß wir über dieses Gebiet noch verhältnismäßig wenig Sicheres wissen liegt daran, daß die Ergebnisse von Laborversuchen im allgemeinen der Bestätigung durch Feldversuche bedürfen. Der Grund, warum diese nur sehr spärlich vorliegen, ist darin zu suchen, daß vergleichende Verschleißversuche mit ausgeführten Bodenbearbeitungswerkzeugen auf dem Acker meist sehr schwierig durchzuführen sind [5]. Es ist nicht einfach, alle Einflüsse auf den Verschleiß, mit Ausnahme des Einflusses von Stahlart, Härte bzw. Wärmebehandlung, zu eliminieren. In den meisten Fällen kann zudem nur eine beschränkte Anzahl von Werkzeugen gleichzeitig unter genau denselben Arbeitsbedingungen eingesetzt werden. Beispielsweise können an einem Mehrscharpflug im besten Falle zwei bis vier Vergleichsschare gleichzeitig eingesetzt werden. Dabei den

Pflug so zu führen, daß alle Schare verschleißmäßig immer ganz gleich beansprucht werden, ist nicht ohne weiteres gewährleistet. Das Schar an dem ersten Pflugkörper wird sich oftmals anders abnutzen als die Schare an den übrigen Pflugkörpern. Man hilft sich in diesem Falle damit, daß man die Schare während des Versuches in einem bestimmten Turnus an den Pflugkörpern untereinander auswechselt. Eggenzinken haben versuchstechnisch demgegenüber den Vorteil, daß sie bei Feldversuchen in größerer Zahl (z. B. drei Eggenfelder mit je 20 Zinken) gleichzeitig eingesetzt werden können, so daß eine relativ gute Sicherung der Ergebnisse zu erwarten ist.

Abgesehen von diesen versuchstechnischen Schwierigkeiten muß aber gefordert werden, daß der durch Härten der Werkzeuge erzielte Gewinn an Verschleißfestigkeit schon aus wirtschaftlichen Gründen so groß ist, daß auch der Verbraucher den Unterschied des Gebrauchswertes gehärteter und ungehärteter Werkzeuge unschwer erkennen kann. Ein Qualitätsunterschied, der nur unter besonderen versuchstechnischen Maßnahmen meßbar ist, dürfte auch für den Verbraucher kaum von Interesse sein.

Die Eggenzinken als Versuchsobjekt

Die Zinken der Ackereggen werden bei Schlepperzug kräfte- und verschleißmäßig weit höher beansprucht als bei dem früher üblichen Gespannzug. Infolge der höheren Arbeitsgeschwindigkeit und des verhältnismäßig großen Zugvermögens der luftbereiften Ackerschlepper sind die einzelnen Zinken der Eggen weit mehr als früher dem raschen Verschleiß der Zinkenspitze, dem Verbiegen im Schaft und dem Lockerwerden der Schraubverbindung ausgesetzt.

Die Haltbarkeit der Eggenzinken hängt von der Festigkeit bzw. der Härte des verwendeten Stahles und von der konstruktiven Form (z. B. der Schaftdicke und dem Gewindedurchmesser) ab. Ist es nicht bezeichnend, daß die ersten genormten Teile der Landtechnik Verschleißteile, nämlich Eggenzinken, waren? Die aus dem Jahre 1927 stammenden Normblätter über Eggenzinken [6] hatten bis in die jüngste Zeit Gültigkeit. In ihnen waren die Abmessungen von acht verschiedenen Zinken und der Werkstoff (St 70.11) der ungehärtet zum Einsatz kommenden Zinken genormt. Diese Normblätter wurden Anfang des Jahres 1962 durch ein neues Normblatt [7; 8; 9] abgelöst, weil — wie es in dem Normblatt heißt — „die Eggenzinken nach der alten Norm, insbesondere wegen der durch den Schlepperbetrieb bedingten erhöhten Belastungen, nicht mehr den heutigen Anforderungen genügen“. Neben den handelsüblichen ungehärteten Zinken B aus St 50 nach Bild 1 enthält dieses neue Normblatt für den Schlepperbetrieb auch die an der Spitze gehärteten Zinken C mit einem verstärkten Befestigungsbund (Werkstoff: St 50-2); die in dem Normblatt empfohlenen Härtewerte liegen in dem oben erwähnten Bereich, d. h. unter 500 Vickersseinheiten. Gegenüber der alten Norm ist der Gewindegewinde der Zinken beim Übergang vom Withworth zum metrischen Gewinde im allgemeinen verstärkt worden.

Tafel 1.

¹⁾ Die Untersuchungen wurden mit dankenswerter Unterstützung des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt.

Die Firma F. Hesterberg & Söhne, Ennepetal-Milspe, hat die Versuche durch Lieferung der Versuchseggengzinken und einer Anbauegge freundlicherweise unterstützt.

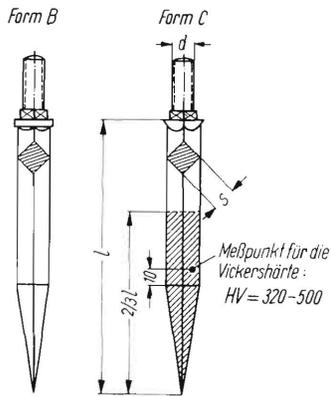


Bild 1. Eggenzinken für Saat- und Ackereggen nach DIN 11090 (1962).

| Form B Werkstoff: St 50 ungehärtet s x l mm | Form C Werkstoff: St 50-2 gehärtet s x l mm | Gewinde d mm |
|---|---|--------------------|
| 11 x 120 | — | M 10 |
| 12 x 130 | — | M 10 |
| 14 x 150 | 14 x 150 | M 12 |
| 16 x 180*) | 16 x 180*) | M 14 |
| — | 20 x 190 | M 16 |

*) Die beim Versuch verwendeten Eggenzinken

Tafel 1. Gewinde der genormten Eggenzinken.

| Eggenzinken Größe mm | alte Norm DIN 1485/86 | | neue Norm DIN 11090 | |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| | Gewinde | Kern \varnothing mm | Gewinde | Kern \varnothing mm |
| 14 x 150 | 7/16" | 8,8 | M 12 | 9,6 |
| 17 x 190 | 1/2" | 10,0 | — | — |
| 16 x 180 | — | — | M 14 | 11,2 |

Daneben gibt es außer diesen an der Spitze gehärteten Normzinken auch die im ganzen gehärteten, am Schaftende partiell angelassenen sogenannten Qualitätszinken, die auf Grund früherer Untersuchungen [10] eine erhöhte Haltbarkeit gegen Verbiegen am Schaftende haben. Abweichend von der Norm werden die Eggenzinken auch aus Baustahl St 60 und aus Vergütungsstahl C 45 gehärtet und ungehärtet hergestellt.

Erster Feldversuch

Versuchsdurchführung

Es wurden zwei Feldversuche durchgeführt, wobei der zweite Feldversuch sich zeitlich dem ersten anschloß und auf den Erfahrungen des ersten Versuches aufbaute. Er wurde zur Bestätigung und Erweiterung der im ersten Versuch gewonnenen Erkenntnisse durchgeführt.²⁾

Bei dem ersten Versuch wurden mit einer dreiteiligen Acker-egge insgesamt 160 ha Ackerland mit einem 35/45 PS-Hanomag-Schlepper geeeggt. Zwei Drittel der bearbeiteten Flächen waren schwerer, toniger Boden, der im 3. Gang mit etwa 6 km/h bearbeitet wurde; der Rest war sandiger Lehm, der meist im 4. Gang (8 bis 10 km/h) geeeggt wurde.

Die dreiteilige Egge hatte eine Arbeitsbreite von 310 cm und insgesamt 60 Zinken. Die gehärteten und ungehärteten Zinken wurden über die drei Eggenfelder nach **Bild 2** verteilt. Jedes Eggenfeld wog einschließlich der Zinken 38,6 kp, so daß die einzelne Zinkenspitze im Mittel mit 1,93 kp belastet war. Nach **Tafel 2** handelt es sich also bei der Versuchsegge um eine schwere Ackeregge.

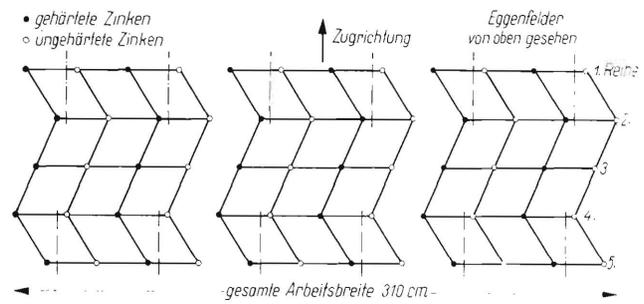


Bild 2. Verteilung der gehärteten und ungehärteten Eggenzinken über die drei Eggenfelder der Versuchsegge.

Tafel 2. Einteilung der Ackereggen [11; 12].

| Bodenart/Eggenart | mittl. Belastung je Zinken kp |
|-------------------------------|----------------------------------|
| sehr schwer | 2,1 bis 2,5 |
| schwer | 1,8 bis 2,0 |
| mittelschwer | 1,35 bis 1,6 |
| leicht (leichte Saatsegge) | 1,0 bis 1,3 0,6 bis 0,8 |

Die untersuchten Eggenzinken

Die Form der beiden untersuchten Eggenzinkenausführungen geht aus **Bild 3** hervor. Die Dicke des quadratischen Schaftes ist in beiden Fällen 16 mm. Die Spitze der gehärteten Zinken ist „mittig“, während die der ungehärteten Zinken vorgezogen ist, so daß die vordere Schaftkante bis zur Spitze gerade ist. Ferner unterscheiden sich die beiden Ausführungen durch das Gewinde und die Form des Bundes. Wieweit dieser versuchstechnisch unerwünschte Formunterschied auf die Haltbarkeit von Einfluß

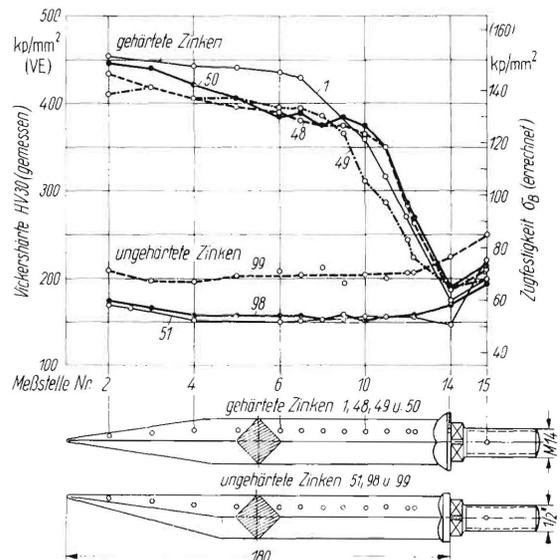


Bild 3. Härte und Abmessungen der untersuchten Zinken (1. Feldversuch).

| Werkstoff Wärmebehandlung | St 50 ungehärtet | St 50 gehärtet**) |
|------------------------------|---------------------|----------------------|
| Form nach DIN 11090 | B*) | C |
| Schaftdicke | 16 | 16 |
| Schaftlänge | 180 | 180 |
| Gewinde | 1/2" | M 14 |
| Vierkantansatz | 13 | 14 |
| Masse | 276-306, i.M. 294 | 273-314, i.M. 299 |
| Härte der Spitzen | 170-180 | 410-440 |

*) Diese Zinken weichen durch die gerade Spitzenform und das Withworthgewinde von der genormten Form B ab.

**) Diese Zinken sind abweichend von DIN 11090 im ganzen gehärtet und der Gewindenschaft partiell angelassen.

²⁾ Bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Feldversuche haben die Herren Wolfram Thiele, George Pelit und Helmut Dost mitgearbeitet, denen der Verfasser auch an dieser Stelle dafür dankt.

ist, soll bei der Besprechung der Versuchsergebnisse erörtert werden.

Im wesentlichen unterscheiden sich die beiden Zinkenarten jedoch durch die Härte der Zinkenspitzen. In Bild 3 ist die Vickershärte einiger Versuchszinken längs einer Mantellinie der Zinken aufgetragen. Die gehärteten Zinken haben bis zur halben Schaftlänge eine Härte von 400 bis 450 VE³⁾, die bis zum Befestigungsbund annähernd linear auf 180 VE abfällt. Die Härte an der pyramidenförmigen Spitze nimmt mit dem Dickerwerden der Spitze etwas ab. Sämtliche ungehärteten Zinken haben über die ganze Schaftlänge eine Härte von etwa 150 bis 160 VE, was einer Festigkeit von 50 bis 55 kp/mm² entspricht. (Der ungehärtete Zinken Nr. 99 mit 200 VE, der nicht zum Einsatz kam, ist eine Einzelercheinung; er ist ebenfalls aus St 50, aber aus einer anderen Schmelze als die Versuchszinken.)

Der verwendete Werkstoff ist nach **Tafel 3** bei den gehärteten und den ungehärteten Zinken Baustahl St 50 (Sollfestigkeit: 50 bis 60 kp/mm²).

³⁾ Die Einheit der Vickershärte wird im folgenden zur Unterscheidung von der Zugfestigkeit anstatt mit kp/mm² mit VE (Vickersseinheiten) bezeichnet.

Tafel 3. Werkstoff der untersuchten Eggenzinken (1. Feldversuch).

| Eggenzinken | C | Si | Mn | P | S | normalgeglüht | |
|----------------------|------|------|------|-------|-------|-----------------|-------------------------------|
| | % | % | % | % | % | Vickershärte VE | Festigkeit kp/mm ² |
| ungehärtet E 2914-87 | 0,31 | 0,24 | 0,44 | 0,034 | 0,029 | i.M. 148 | 50,5 |
| gehärtet E 2915-47 | 0,29 | 0,28 | 0,55 | 0,028 | 0,031 | i.M. 152 | 52 |

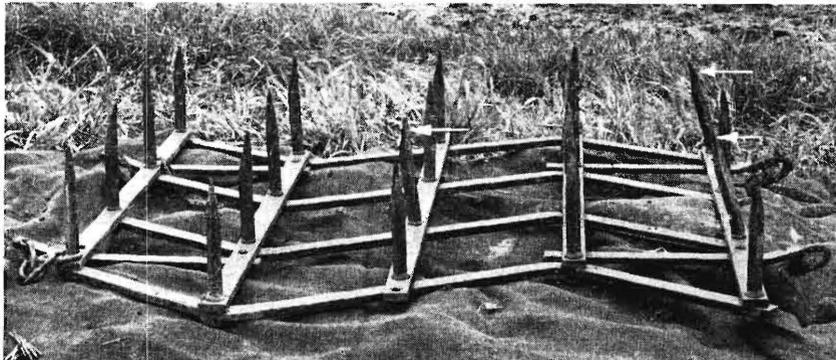


Bild 4. Eggenfeld nach 45 Betriebsstunden mit drei ungehärteten Eggenzinken, die am Schaftende kurz unterhalb des Befestigungsbundes verbogen sind (s. auch Bild 5).

Die gehärteten und ungehärteten Zinken kann man an der Form der Spitzen und der Befestigungsbunde unterscheiden.

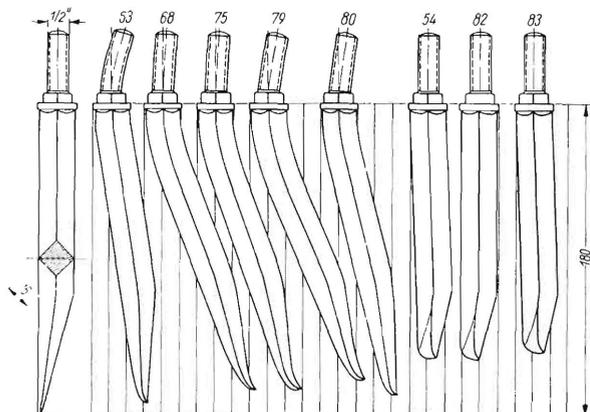


Bild 5. Ungehärtete Eggenzinken aus St 50, die bei Schlepperzug nach kurzer Einsatzdauer (45 h) am Schaftende verbogen sind.

Die ungehärteten Zinken aus St 50 verbiegen

In **Bild 4** wird eines von den drei Eggenfeldern nach 45 Betriebsstunden auf dem Acker bei der ersten Betriebskontrolle gezeigt. Deutlich sind mehrere Eggenzinken, die stark verbogen sind, zu erkennen. Es handelt sich bei diesen verbogenen Zinken durchweg um ungehärtete Zinken. Nach dieser Betriebszeit mußten bereits fünf ungehärtete Zinken wegen starker Verbiegung durch neue ersetzt werden. Diese Zinken sind in **Bild 5** in dem Zustand, wie sie ausgebaut worden sind, dargestellt. Man erkennt, daß die Zinken im Zinkenschaft unmittelbar unterhalb des Befestigungsbundes verbogen sind. Bei einigen Zinken ist auch der Gewindenschaft verbogen.

Bei Abschluß des Feldversuches waren von insgesamt 32 ungehärteten Versuchszinken 23 Stück mehr oder weniger stark verbogen; drei weitere ungehärtete Zinken gingen bei der Arbeit durch Längen des Gewindenschaftes und Lösen der Mutter verloren. Am häufigsten und am stärksten wurden die (ungehärteten) Zinken in der ersten, zweiten und dritten Reihe der Eggenfelder verbogen, während in der vierten und fünften Reihe weniger Verbiegungen auftraten. Drei nach Abschluß der Versuche nicht (bzw. nur wenig) verbogene ungehärtete Zinken in den ersten drei Reihen (54, 82 und 83 in Bild 5) ließen vermuten, daß ihre Ausgangsfestigkeit höher ist als bei den verbogenen. Eine Gegenüberstellung der Festigkeitswerte am Schaftende in **Tafel 4** zeigt jedoch, daß in dieser Hinsicht kein Unterschied besteht und daß sie nur „zufällig“ noch nicht krumm geworden waren.

Von den gehärteten Zinken wurde dagegen kein einziger, weder im Schaft noch an der Zinkenspitze, auch nur andeutungsweise verbogen. Die Tatsache der überragenden Haltbarkeit der am Schaftende vergüteten Zinken gegen Verbiegen gegenüber dem weitgehenden Versagen der ungehärteten Zinken ist das erste wichtige Ergebnis der vorliegenden Untersuchung.

Tafel 4. Härte und Festigkeit der ungehärteten Zinken am Schaftende nach Bild 5.

| Zinken Nr. | verbogen | | | | | nicht verbogen | | |
|-------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|
| | 63 | 68 | 75 | 79 | 80 | 54 | 82 | 83 |
| Vickershärte HV 30*) | 150 | 173 | 157 | 155 | 176 | 149 | 154 | 154 |
| Festigkeit kp/mm ² | 51 | 59 | 54 | 53 | 60 | 51 | 53 | 53 |

*) an der Meßstelle 13 (Bild 3) gemessen

Die gehärteten Versuchseggengzinken haben nach Bild 3 an der durch Biegung am meisten gefährdeten Stelle des Schaftes, kurz unterhalb des Befestigungsbundes, eine Festigkeit von 70 bis 90 kp/mm² (gegenüber nur etwa 50 kp/mm² der ungehärteten Zinken). Die gehärteten Eggenzinken sind im ganzen gehärtet und danach vom Gewindenschaft her partiell angelassen, wodurch der gefährdete Zinkenschaft eine höhere Festigkeit als der Ausgangswerkstoff erhält. Diese Zinken unterscheiden sich

demnach entscheidend von der Vorschrift für die gehärteten Normzinken nach DIN 11090, nach der die Zinken von der Spitze aus nur auf zwei Drittel der Schaftlänge gehärtet werden sollen (Bild 1) und das restliche Drittel des Schaftes, das auf Verbiegen beansprucht wird, sowie der Bund und das Gewinde ungehärtet bleiben. Derart gehärtete Eggenzinken aus St 50 werden sich hinter dem Schlepper genauso verbiegen wie die ungehärteten Zinken in dem vorliegenden Versuch.

Statischer Biegeversuch

Um nun dieses Nebenergebnis des Feldversuches hinsichtlich der Biegefestigkeit der Zinken zu unterbauen, wurden einige der gehärteten und der ungehärteten Zinken einem statischen Biegeversuch unterworfen. Die Zinken werden dazu in eine Vorrichtung, Bild 6, eingespannt und an der Spitze im Abstand von 130 mm von der Einspannstelle in der Prüfmaschine seitlich durch die Kraft *P* belastet.

In Bild 7 ist die Last *P* in Abhängigkeit von der Durchbiegung *f* der Zinken dargestellt. Danach wird bei den nicht gehärteten Zinken die Streckgrenze bei einer Biegekraft zwischen 150 und

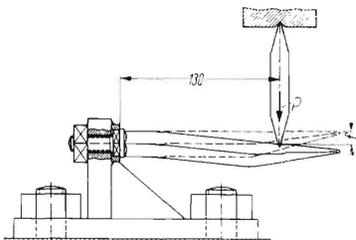


Bild 6. Biegevorrichtung für Eggenzinken zur Feststellung der Biegekraft an der Streckgrenze.

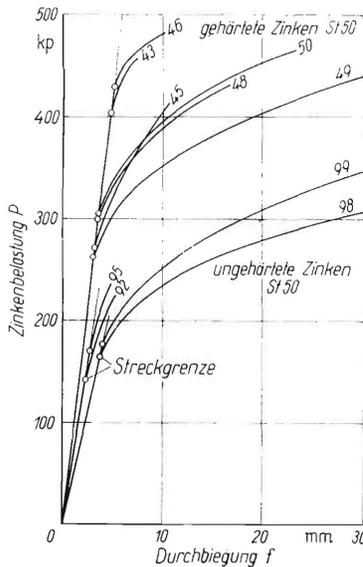


Bild 7. Statischer Biegeversuch mit gehärteten und ungehärteten Eggenzinken aus St 50 nach Bild 3.

| Zinken | Nr. | Härte HV 30 (*) VE | Festigkeit (errechnet) kp/mm ² | Biegekraft <i>P</i> an der Streckgrenze kp |
|--|-----|--------------------------|---|---|
| St 50 ungehärtet | 92 | 144 | 50 | 140 |
| | 95 | 143 | 49 | 170 |
| | 98 | 155 | 53 | 165 |
| | 99 | 206 | 70 | 180 |
| St 50 gehärtet und am Schaftende partiell angelassen | 49 | 223 | 76 | 260 |
| | 45 | 266 | 90 | 270 |
| | 48 | 263 | 89 | 300 |
| | 50 | 269 | 92 | 310 |
| | 43 | 286 | 97 | 400 |
| | 46 | 278 | 95 | 430 |

*) an der Meßstelle 13 (Bild 3) gemessen.

170 kp überschritten, während sich die am Schaftende vergüteten Zinken erst bei einer Biegekraft von 260 kp und darüber bleibend verbiegen. Da von den vergüteten Zinken im Feldversuch keiner verbogen wurde, müssen die maximalen Biegekräfte zwischen den Streckgrenzwerten der beiden Zinkenarten, also zwischen 170 und 250 kp gelegen haben. (Die Kräfte, unter denen sich die Zinken im Feldbetrieb verbogen haben, können bis etwa 25% kleiner gewesen sein, weil im Gegensatz zum Biegeversuch die maximalen Biegekräfte im Feldversuch an der äußersten Zinkenspitze angreifen werden.)

Der statische Biegeversuch bestätigt die im Feldversuch festgestellten Unterschiede in der Biegefestigkeit der am Schaftende vergüteten und nicht vergüteten Zinken. Es kann somit die Forderung aufgestellt werden, daß Eggenzinken C 16 × 180 am Schaftende und im Gewindenschaft eine Mindestfestigkeit von **80 kp/mm²** (= 235 VE) haben müssen, damit sie bei Schlepperzug nicht verbiegen.

Das Befestigungsgewinde

Auch über die unterschiedliche Haltbarkeit der Schraubbefestigung der beiden Zinkenausführungen gab der Feldversuch Auskunft. Nach kurzem Einsatz waren die am Schaftende nicht vergüteten Eggenzinken mit dem 1/2"-Gewinde lose, so daß die Muttern nachgezogen werden mußten, während die Zinken mit dem vergüteten M 14-Gewinde noch festsaßen. Bei losen Zinken wird sich nach kurzer Zeit der Gewindenschaft verbiegen (Bild 5). Außerdem können lose Zinken, deren Muttern nicht rechtzeitig nachgezogen werden, während der Arbeit verlorengehen. Drei Zinken sind — wie bereits erwähnt — aus diesem Grunde während des Versuches verlorengegangen.

Eine unangenehme Erscheinung der Zinken mit dem unvergüteten 1/2"-Gewinde ($\sigma \approx 50 \text{ kp/mm}^2$) ist vor allem, daß beim Montieren der Zinken von einem bestimmten Anzugsmoment an wegen Überschreitens der Streckgrenze des Gewindenschaftes kein merklicher Anstieg des Drehmomentes mehr empfunden wird und deshalb eine sachgemäße Montage nicht möglich ist [13]. Werden derartige Gewindenschaft bei der Arbeit unter der Wirkung der seitlichen Belastung des Eggenzinkens zusätzlich auf Zug und Biegung beansprucht, so genügt die geringste Überschreitung der Streckgrenze, um den Gewindenschaft zu längen und die Muttern lose werden zu lassen.

In einem Laborversuch ließ sich dieser Sachverhalt eindeutig nachweisen. Mit einem Drehmomentschlüssel wurden die Eggenzinken in der Biegevorrichtung nach Bild 6 mit einem Drehmoment von etwa 8 kpm befestigt; danach wurden sie an der Spitze mit einer einmaligen Seitenlast von 150 kp statisch belastet. Nach der Entlastung wurden die Muttern mit dem Drehmomentschlüssel wieder gelöst. Dabei zeigte sich, daß bei den vergüteten Zinken das Moment zum Lösen der Mutter noch 4,5 bis 7 kpm betrug, während die unvergüteten Zinken nach dieser einmaligen Seitenbelastung praktisch schon lose waren.

Verschleiß der Zinkenspitzen

Nach diesen ursprünglich nicht beabsichtigten Feststellungen hinsichtlich der Biegefestigkeit der Eggenzinken soll nun über das Verschleißverhalten der gehärteten und ungehärteten Zinken berichtet werden. Vorweg kann gesagt werden, daß das nach Ausschneiden der stärker verbogenen Zinken verbleibende Versuchsmaterial eindeutig erkennen läßt, daß der Gebrauchswert der gehärteten Zinken aus St 50 verschleißmäßig nicht besser ist als der der ungehärteten Zinken aus demselben Stahl.

Bild 8 zeigt im Seitenprofil den Spitzenrückgang der Zinken. Die Zinken jeder Zinkenreihe sind für sich getrennt übereinander gezeichnet; links der Spitzenrückgang der ungehärteten Zinken, rechts der der gehärteten. Der Spitzenrückgang der ungehärteten Zinken beträgt im Mittel etwa 33 mm — in der 1. Zinkenreihe der Eggenfelder etwas mehr, in der 5. Reihe etwas weniger. Vergleicht man dazu den Spitzenrückgang der gehärteten Zinken in den entsprechenden Zinkenreihen, so ist er so gut wie ebenso groß.

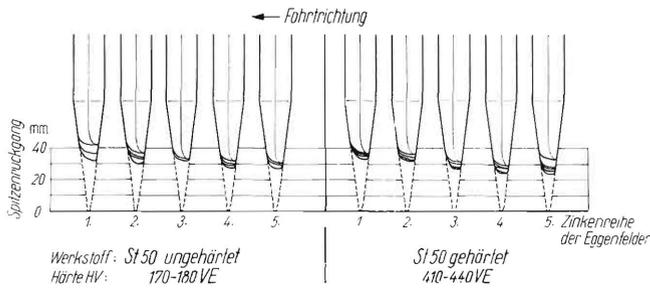


Bild 8. Spitzentrückgang der gehärteten und ungehärteten Eggenzinken aus St 50 durch Verschleiß während des ersten Feldversuches.

Stellt man den Spitzentrückgang beider Zinkenarten in einem Diagramm graphisch dar, **Bild 9**, so ist nach den Mittelwerten ein geringfügiger Unterschied zugunsten der gehärteten Zinken zu erkennen; die Streugebiete überdecken sich, besonders bei den stärker abgenutzten Zinken in der 1. und 2. Reihe, jedoch weitgehend. Das Härten der Zinken auf etwa 425 VE hat also im Vergleich zu den ungehärteten Zinken mit 175 VE nur eine geringe Wirkung auf die Verminderung des Spitzentrückganges. Die sich andeutende Tendenz reicht nicht aus, um von einem unterschiedlichen Gebrauchswert der beiden Zinkenarten sprechen zu können.

Man kann den Verschleiß auch als Stoffverlust durch Wiegen der Zinken vor und nach dem Versuch feststellen und erhält dann **Bild 10**. Auch hier erkennt man, daß die Zinken in der 1. Reihe im Mittel mehr verschleifen als in der 5. Reihe, die ungehärteten mehr als die gehärteten. Dabei scheint es so, als ob der Härteunterschied bei den weniger abgenutzten in der 4. und 5. Reihe noch mehr zur Wirkung kommt als bei den etwas stumpferen Zinken in der 1. und 2. Reihe, bei denen der Ver-

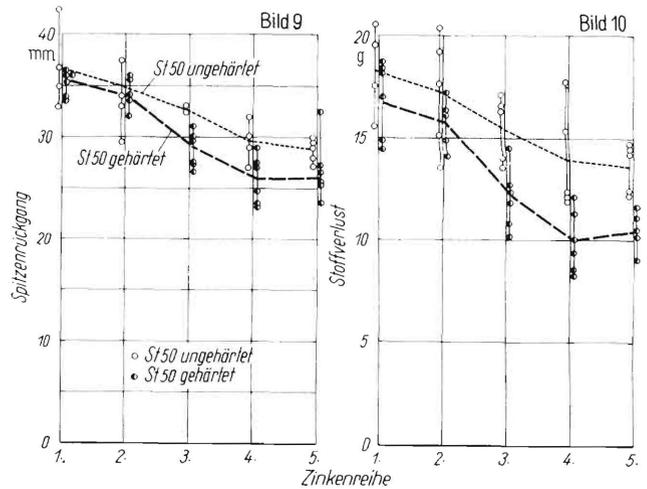


Bild 9 und 10. Spitzentrückgang und Stoffverlust der gehärteten und ungehärteten Eggenzinken aus St 50 durch Verschleiß während des ersten Feldversuches. Maßgebend für den Gebrauchswert der Zinken ist der Spitzentrückgang.

schleißunterschied der gehärteten und der ungehärteten Zinken nur noch gering ist.

Man darf aber den in Bild 10 zum Ausdruck kommenden gewichtsmäßigen Verschleißunterschied, der außer dem Spitzenschleiß auch einen gewissen Verschleiß der Zinkenoberfläche mit einschließt, keine praktische Bedeutung beimessen. Maßgebend für die Beurteilung des Gebrauchswertes ist der Spitzentrückgang nach Bild 8 und 9: die an der Spitze gehärteten Zinken aus St 50 sind nicht nennenswert verschleißfester als die ungehärteten Zinken. Bei der Besprechung der Ergebnisse des zweiten Feldversuches wird darauf noch näher eingegangen.

Zweiter Feldversuch

Die untersuchten Eggenzinken

Durch einen zweiten Feldversuch soll das negative Ergebnis des ersten Versuches hinsichtlich der Verschleißfestigkeit der gehärteten Zinken überprüft bzw. erhärtet werden. Dazu mußte das den Verschleißvergleich störende Verbiegen der ungehärteten Zinken verhindert werden. Zu diesem Zweck wurden bei den neuen ungehärteten Versuchszinken aus St 50 das Gewinde und der Zinkenschaft bis auf 70 mm unterhalb des Bundes gehärtet und angelassen (vergütet). Die dem Verschleiß aus-

gesetzten Zinkenspitzen blieben jedoch — wie beim ersten Versuch — ungehärtet und hatten eine mittlere Härte von 180 VE. Der Härteverlauf geht aus **Bild 11** hervor. Die gehärteten Vergleichszinken aus St 50 waren wieder im ganzen gehärtet und der Gewindenschaft partiell angelassen. Die Härte der Zinkenspitzen betrug im Mittel 420 VE. Die Streuung der Härtewerte geht aus Bild 11 hervor. Die Härte der Zinkenspitzen ist bei den neuen gehärteten und ungehärteten Eggenzinken aus St 50 in großer Annäherung gleich der des ersten Versuches.

Bei diesem Vergleichsversuch liefen außerdem als dritte Gruppe Eggenzinken aus dem höher gekohlten Vergütungsstahl C 45. Diese Zinken sind ebenfalls im ganzen gehärtet und der Gewindenschaft partiell angelassen. Nach Bild 11 betrug die Härte der Zinkenspitzen bei diesen Zinken 580 ± 30 VE und liegt im Vorschriftsbereich für gehärtete Bodenbearbeitungswerkzeuge nach DIN 11100 (Soll: 509 bis 700 VE), während die Spitzenwerte der gehärteten Versuchszinken aus St 50 den Vorschriften des Normblattes DIN 11090 für Eggenzinken (Soll: 320 bis 500 VE) entsprechen.

Die Abmessungen sämtlicher drei Zinkenausführungen entsprechen denen des Normzinkens C 16 \times 180 DIN 11090.

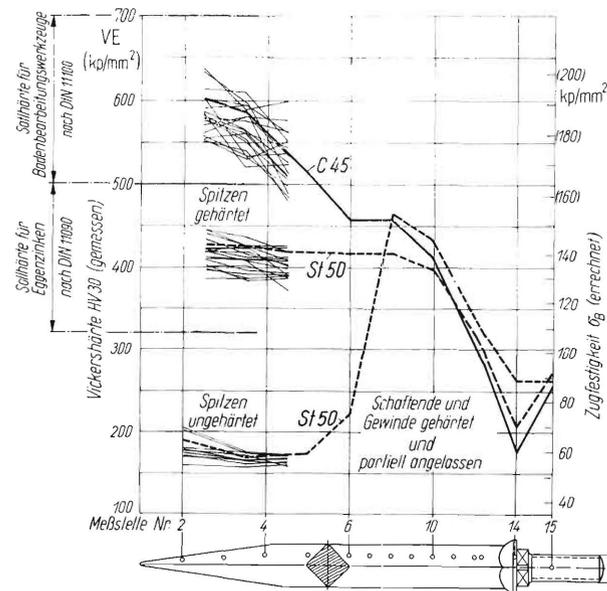


Bild 11. Härte und Abmessungen der untersuchten Zinken (2. Feldversuch).

← Zu Bild 11:

| Werkstoff Wärmebehandlung der Spitzen | St 50 ungehärtet*) | St 50 gehärtet**) | C 45 gehärtet**) |
|---|-----------------------|----------------------|---------------------|
| Form nach DIN 11090 | C 16 \times 180 | C 16 \times 180 | C 16 \times 180 |
| Masse g | 281-296 i.M. 287 | 281-293 i.M. 287 | 315-327 i.M. 321 |
| Härte HV 30 der Spitzen | 180 \pm 20 | 420 \pm 25 | 580 \pm 30 |

*) Gewinde und Schaft sind bis auf 70 mm unterhalb des Bundes gehärtet und angelassen; Spitze ungehärtet.

**) Zinken sind im ganzen gehärtet und der Gewindenschaft partiell angelassen.

Die Werkstoffe der untersuchten Eggenzinken haben die in **Tafel 5** angegebene Zusammensetzung. Die Zinken aus St 50, die aus anderen Schmelzen wie die des ersten Versuches stammen, haben einen Kohlenstoffgehalt von etwa 0,3%, während die Zinken aus C 45 einen C-Gehalt von 0,44% haben. Auf diesen Unterschied in Kohlenstoffgehalt ist vor allem die unterschiedliche Härte der gehärteten Zinken aus St 50 und C 45 zurückzuführen.

Tafel 5. Werkstoff der untersuchten Eggenzinken (2. Feldversuch).

| Eggenzinken | Werkstoff | C % | Si % | Mn % | P % | S % | normalgeglüht | |
|----------------------|-----------|------|------|------|-------|-------|-----------------|-------------------------------|
| | | | | | | | Vickershärte VE | Festigkeit kp/mm ² |
| ungehärtet E 2916-69 | St 50 | 0,33 | 0,28 | 0,60 | 0,026 | 0,028 | 161 | 55 |
| gehärtet E 2917-33 | St 50 | 0,27 | 0,23 | 0,60 | 0,043 | 0,018 | 156 | 53 |
| gehärtet E 2918-100 | C 45 | 0,44 | 0,30 | 0,69 | 0,014 | 0,023 | 188 | 64 |

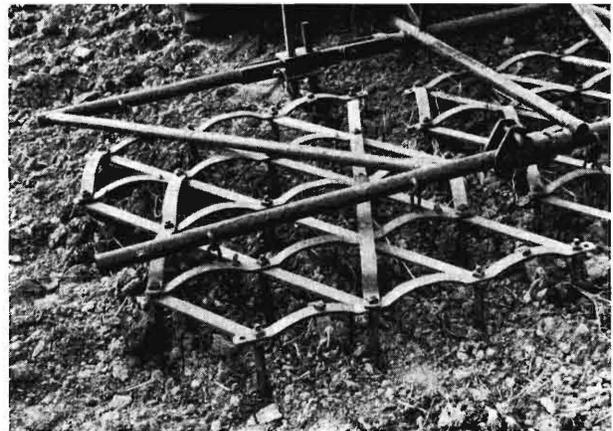


Bild 12. Die beim Versuch benutzte dreiteilige, schwere Anbauegge (Fabrikat Eberhardt, Type A 4g).
Gewicht eines Eggenfeldes 36,3 kp, mittl. Belastung eines Zinkens 1,82 kp

Dank der Vergütung des Schaftendes sämtlicher untersuchten Eggenzinken ist während des zweiten Versuches weder ein Zinken verbogen, noch gebrochen, noch durch Lösen der Mutter verlorengegangen. Deshalb ließ sich bei diesem Versuch der Verschleiß der Zinkenspitzen unbehelligt von solchen Störungen in Abhängigkeit von Werkstoff und Härte feststellen.

Versuchsdurchführung

Beim zweiten Feldversuch wurden insgesamt 180 ha Ackerland geeggt; davon waren 10% toniger Lehm, 30% sandiger Lehm und 60% lehmiger Sand. Die dreiteilige Anbauegge, **Bild 12**, wurde teils von einem 35/45 PS-Hanomag-Schlepper, teils von einem 32 PS-Unimog gezogen. Die Fahrgeschwindigkeit betrug 8 bis 10 km/h, zu einem kleinen Teil 6 km/h.

Ein einzelnes Eggenfeld wog 36,3 kp, so daß bei 20 Zinken je Eggenfeld der einzelne Zinken im Mittel mit 1,82 kp belastet war. Die Verteilung der Zinken über die drei Felder A, B und C geht aus **Bild 13** hervor. Im Gegensatz zum ersten Feldversuch war jedes Eggenfeld nur mit einer Eggenzinkenausführung ausgerüstet, um einer eventuellen gegenseitigen Beeinflussung der verschieden verschleißfesten und daher verschieden stark abnutzenden Zinken vorzubeugen. Während des Versuches wurden vier Zwischenmessungen zur Feststellung des Verschleißes durchgeführt, wobei, wie im ersten Versuch, der Spitzenrückgang und der Stoffverlust festgestellt wurden. Jeder einzelne Zinken lief während des ganzen Versuches immer an derselben Stelle des betreffenden Eggenfeldes; ferner wurden die Eggenfelder während des Versuches nicht unter sich ausgetauscht und nur in derselben Arbeitsrichtung verwendet.

Verschleißverteilung über das Eggenfeld

In **Bild 13** ist für die einzelnen Zinken der drei Eggenfelder der Verschleiß in Form des Spitzenrückganges graphisch dargestellt. Man erkennt, daß der Verschleiß der Zinken in den ersten Reihen der Eggenfelder — wie beim ersten Versuch — wesentlich größer ist als in den dahinterliegenden Reihen und von vorn nach hinten allmählich abnimmt. Aber auch quer zur Fahrtrichtung ist in den Zinkenreihen der Verschleiß der einzelnen Zinken nicht gleich groß. Es ist deutlich ein Randeinfluß zu erken-

nen. Am einheitlichsten ist der Verschleiß bei den Zinken b und c in der Längsmittle der Eggenfelder, während der Verschleiß der Zinken a und d am seitlichen Rand der Eggenfelder meist gegenüber den Zinken in der Mitte abfällt.

Die Ursache dürfte darin zu suchen sein, daß die Belastung der äußeren Zinken durch das Gewicht der Egge im Durchschnitt kleiner ist als die der mittleren Zinken (die Eggenfelder lassen sich am Rand leichter anheben als in der Mitte). Andere Ein-

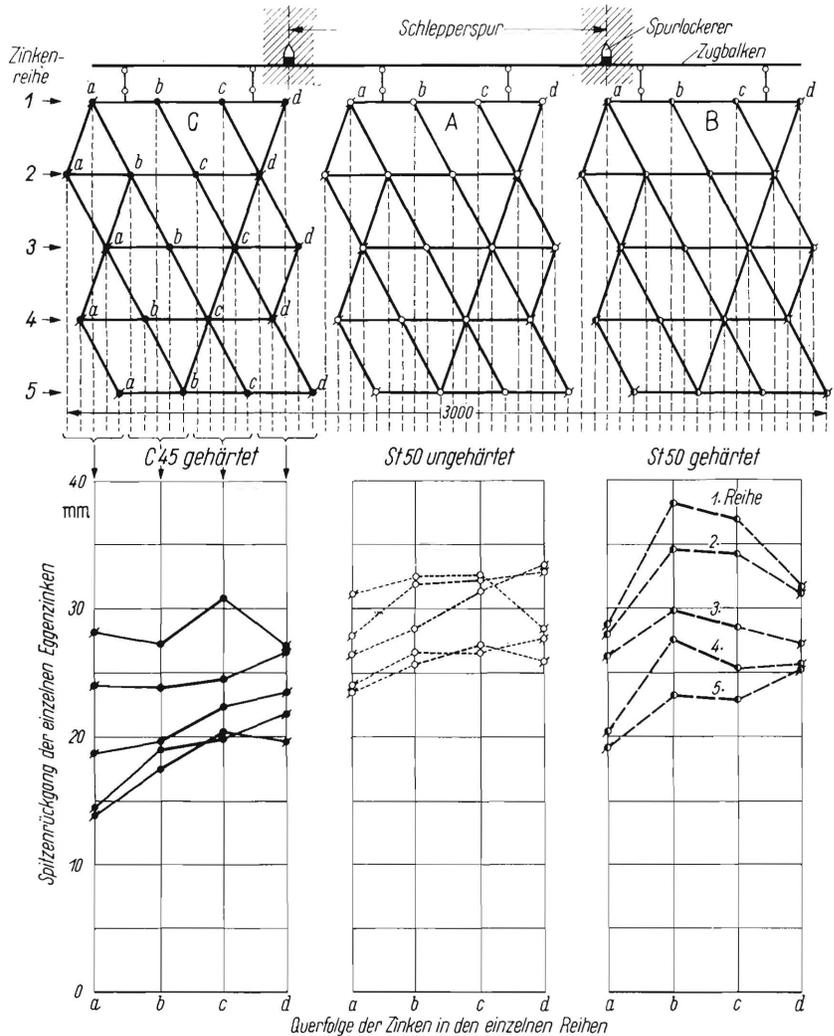


Bild 13. Verteilung der drei Zinkenausführungen über die drei Eggenfelder A, B und C. Größe des Spitzenverschleißes der einzelnen Eggenzinken in Abhängigkeit von der Lage im Eggenfeld am Ende des Versuches (4. Messung).

flüsse sind, daß die Zinken d des linken Eggenfeldes C und die Zinken a des rechten Eggenfeldes B in der Spur der Schlepperäder bzw. in der der Spurlockerer arbeiten. Bei den nachstehenden Vergleichen des Verschleißes der Zinkenausführungen

- St 50 ungehärtet,
- St 50 gehärtet und
- C 45 gehärtet

blieben deshalb die Randzinken a und d unberücksichtigt. Es wird später gezeigt, daß man beim Vergleich des Gesamtmittels zu demselben Ergebnis kommt, gleichgültig, ob man der Mittelwertbildung nur die Zinken b und c oder sämtliche Zinken a bis d zugrunde legt⁴⁾.

Bei genauerem Hinsehen kann man an Hand der Diagramme in Bild 13 noch eine bemerkenswerte Feststellung machen. Bei allen drei Zinkenausführungen nimmt — wie bereits erwähnt — der Verschleiß von der 1. Zinkenreihe bis zur 5. Zinkenreihe mehr oder weniger gleichmäßig ab. Man kann daraus schließen, daß die vorderen Zinkenreihen durch das Aufbrechen der verkrusteten Oberfläche verschleißmäßig mehr beansprucht werden als die Zinken in den hinteren Reihen, bei denen links und rechts bereits Zinken vorweggelaufen sind, daß also ein deutlicher Einfluß der Zinkenlage im Eggenfeld in Fahrtrichtung vorhanden ist. Man sollte nun annehmen, daß dieser Einfluß bei den drei parallel zueinander laufenden Eggenfeldern gleich groß ist. Vergleicht man aber die Verschleißunterschiede zwischen der 1. und 5. Zinkenreihe bei den drei Zinkenausführungen, so kann man in Bild 13 feststellen, daß dieser Unterschied (absolut und prozentual) bei den ungehärteten Zinken aus St 50 am kleinsten ist (etwa 6 mm), bei den gehärteten Zinken aus C 45 aber doppelt so groß und bei den gehärteten Zinken aus St 50 sogar dreimal so groß ist. Es müssen also noch andere Faktoren mitwirken, die den durch die Lage im Eggenfeld bedingten Verschleißunterschied zwischen der 1. und 5. Zinkenreihe bei den gehärteten Eggenzinken noch vergrößern. Es sei hier vorweggenommen, daß dieser Einfluß hauptsächlich in der Inhomogenität der gehärteten Zinkenspitzen zu suchen ist, die sich so auswirkt, daß mit zunehmender Abnutzung die Verschleißfestigkeit der gehärteten Zinkenspitzen (im Gegensatz zu den gleichmäßig harten ungehärteten Zinken) abnimmt.

In Bild 14 ist der mittlere Spitzenrückgang der Zinken b und c in Abhängigkeit von den fünf Zinkenreihen kurvenmäßig dargestellt. In dieser Darstellung übersieht man besonders schön, wie bei allen drei Zinkenausführungen der Verschleiß in der 1. Zinkenreihe am größten ist und nach der 5. Zinkenreihe hin abfällt; um diesen Faktor „Lage im Eggenfeld“ zu eliminieren, wurde der Verschleiß der Zinken getrennt nach den fünf Zinkenreihen dargestellt und verglichen. Wie beim ersten Feldversuch unterscheiden sich die gehärteten und ungehärteten Eggenzinken aus St 50 wieder nicht im Verschleiß. Bei fortgeschrittenem Verschleiß (über 30 mm Spitzenrückgang in den ersten beiden Zinkenreihen) haben sogar die gehärteten Zinken aus St 50 einen größeren Verschleiß als die ungehärteten. Die Ursache ist in der bereits erwähnten Inhomogenität der gehärteten Zinkenspitzen zu suchen, worauf später noch näher eingegangen wird.

Die auf 580 VE gehärteten Eggenzinken aus C 45 haben dagegen beim Vergleich der entsprechenden Zinkenreihen einen eindeutig niedrigeren Verschleiß als die gehärteten und ungehärteten Zinken aus St 50.

Nimmt man als Verschleißgröße den durch Wägung festgestellten Stoffverlust und trägt ihn über den Zinkenreihen auf, Bild 15, so erhält man im grundsätzlichen fast die gleichen Relationen wie bei der Messung des Spitzenrückganges. Das Endergebnis wird sich also bei dem vorliegenden Verschleiß-

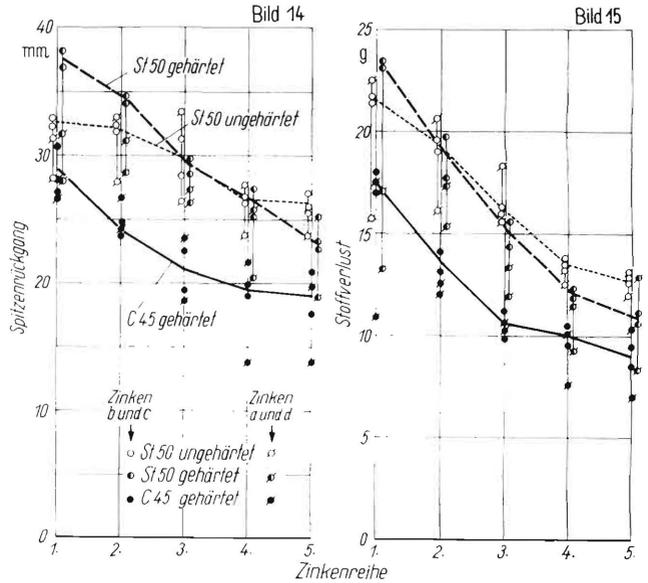


Bild 14 und 15. Spitzenrückgang und Stoffverlust der drei Zinkenausführungen am Ende des Versuches (4. Messung).

Die Kurven zeigen den mittleren Verschleiß der Innenzinken b und c der Zinkenreihen 1 bis 5. Das Bild zeigt außerdem die Einzelmesswerte der Innenzinken b und c (Messpunkte ohne Querstrich) sowie die bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigten Meßwerte der Außenzinken a und d (Messpunkte mit Querstrich).

versuch nicht wesentlich unterscheiden, gleichgültig, ob man dem Vergleich den Spitzenrückgang (lineare Verschleißgröße) oder den Stoffverlust (volumetrische Verschleißgröße) zugrunde legt. Das braucht durchaus nicht immer so zu sein; z. B. wird bei Pflugscharen aus verschiedenen Werkstoffen wegen des großen Einflusses der Scharoberflächen der (lineare bzw. flächige) Schneiderrückgang nicht proportional dem durch Wägung festgestellten (volumetrischen) Stoffverlust sein.

Verschleißverlauf während des Versuches

In den Bildern 16 bis 18 sind dem Spitzenrückgang der drei Zinkengruppen bei Ende des Versuches (4. Messung) noch drei Zwischenmessungen während des Feldversuches gegenübergestellt. Die Verläufe der Kurven lassen erkennen, daß sich die Verschleißverhältnisse zwischen den einzelnen Zinkenarten während des Versuches im wesentlichen nicht geändert haben. Die gehärteten Zinken aus St 50 verschlissen ebenso stark (teilweise sogar stärker) wie die ungehärteten Zinken aus St 50. Dies kommt bei dem zweiten Feldversuch fast noch eindeutiger zum Ausdruck als beim ersten (vgl. Bild 18 mit Bild 19). Die gehärteten Zinken aus C 45 haben von Anbeginn des Versuches an einen merklich geringeren Verschleiß als die gehärteten und ungehärteten Zinken aus St 50; am Ende des Versuches (4. Messung) ergibt sich im Gesamtmittel eine Verschleißminderung um etwa 25% (Tafel 6).

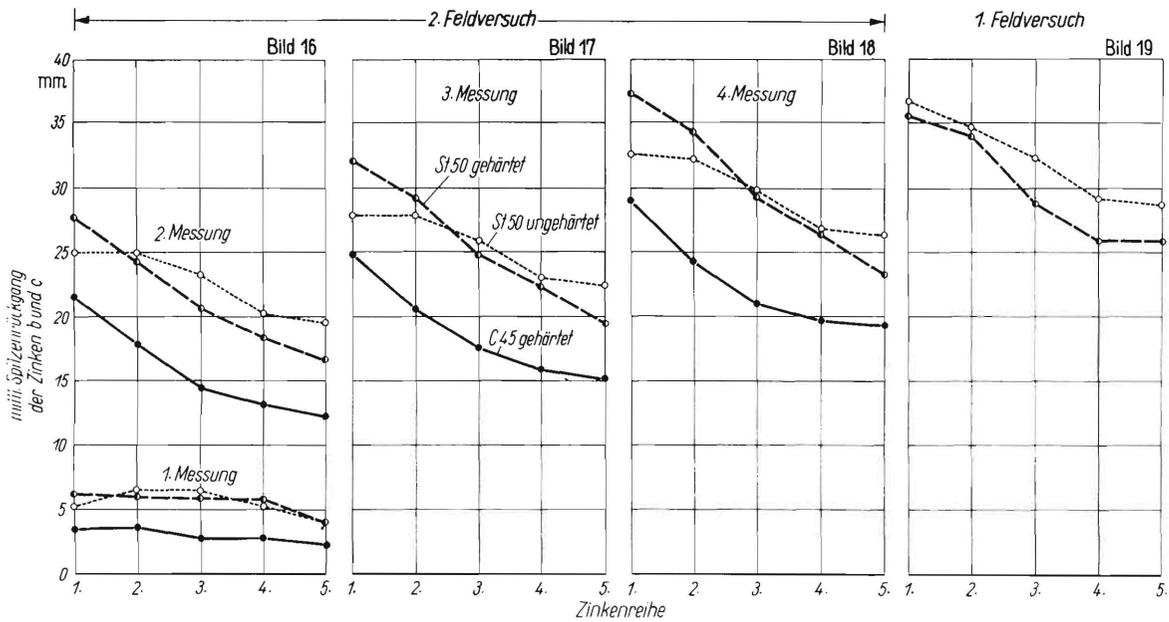
In Tafel 6 wurde der jeweilige Verschleiß (Spitzenrückgang bzw. Stoffverlust) der beiden gehärteten Zinkenausführungen (St 50 und C 45) auf den entsprechenden Verschleiß der ungehärteten Zinken (St 50) bezogen und der Verschleiß der letzteren gleich 100 gesetzt.

Setzt man einmal voraus, daß die dem Verschleiß ausgesetzten Zinkenspitzen aller drei Zinkenarten im Längs- und Querschnitt aus (bezüglich der Verschleißfestigkeit) homogenen Werkstoffen bestehen, so ist nicht einzusehen, warum die Verschleißrelationen zwischen den drei Zinkenarten während des Versuches (1. bis 4. Messung) oder nach Lage der Zinken im Eggenfeld (1. bis 5. Zinkenreihe) nicht immer die gleichen sein sollen⁵⁾.

⁴⁾ Nach Tafel 6 beträgt das Gesamtmittel des Spitzenrückganges bei der 4. Messung:

| | | St 50 ungeh. | St 50 geh. | C 45 geh. |
|----------------|---|--------------|------------|-----------|
| Zinken b und c | % | 100 | 102 | 77 |
| Zinken a bis d | % | 100 | 98 | 78 |

⁵⁾ Es kann während des Versuches ein gewisser Formfaktor die Verschleißverhältnisse insofern beeinflussen, als sich, z. B. infolge der unterschiedlichen spezifischen Flächenbelastung der Spitzen, ein bereits stark abgenutzter, stumpfer (weil weicher) Eggenzinken relativ weniger schnell abnutzt als ein wenig abgenutzter, noch spitzer (weil harter) Eggenzinken. Dieser Formfaktor stört den Vergleich des Gebrauchswertes gehärteter und



Bilder 16 bis 19. Mittlerer Spitzenrückgang der Eggenzinken b und c in den Reihen 1 bis 5 während des zweiten Feldversuches. Die erste Messung erfolgte nach etwa 35 ha, die zweite nach 120 ha, die dritte nach etwa 150 ha und die vierte und letzte Messung nach etwa 180 ha geegter Fläche.

Tatsächlich stellt man in Tafel 6 aber Veränderungen in den Verschleißrelationen fest, die eine bestimmte Tendenz haben. So beträgt z. B. der Spitzenrückgang der gehärteten C 45-Zinken in der 2. Zinkenreihe (siehe Tafel 6) bei der ersten Messung 55%, bei der zweiten 71%, bei der dritten 73% und

bei der vierten 75% der ungehärteten St 50-Zinken. Der verschleißmäßige Vorteil der gehärteten C 45-Zinken nimmt also gegenüber den ungehärteten St 50-Zinken mit der Dauer des Versuches ab. Verfolgt man ferner die Verschleißrelation der gehärteten St 50-Zinken bei der 4. Messung, so beträgt die Relation zu den ungehärteten Zinken in der ersten Reihe 115%, in der zweiten 107%, in der dritten 98%, in der vierten 99% und in der fünften 87%. Die gehärteten Zinken aus St 50 haben also in der ersten Zinkenreihe einen größeren Verschleiß und in der fünften Zinkenreihe einen kleineren Verschleiß als die ungehärteten Zinken.

5) (Fortsetzung)

ungehärteter Eggenzinken in keiner Weise, weil er auch im praktischen Einsatz gegeben ist. Will man jedoch das Ergebnis dieser Verschleißversuche mit gehärteten und ungehärteten Eggenzinken hinsichtlich der Beziehungen zwischen Härte und Verschleiß von gehärtetem und ungehärtetem Stahl verallgemeinern, so muß man diese Einflußmöglichkeit stets im Auge behalten. Dieser Einfluß ist bei den vorliegenden Versuchen sicher klein, weil der jeweilige Formunterschied der verglichenen Zinken ebenfalls klein ist. Es wäre schon anders bei Verschleißverhältnissen „hart“ zu „weich“ von 1:3 (d. h. 33%) und weniger. Die dadurch gegebenen Formunterschiede der Zinkenspitzen können sich zuungunsten des gehärteten Stahles auswirken.

Es besteht der bereits ausgesprochene Verdacht, daß mit zunehmendem Spitzenrückgang die Verschleißfestigkeit der gehärteten Zinken (St 50 und C 45) abnimmt. In **Bild 20 und 21** wurde deshalb über dem mittleren Spitzenrückgang der ge-

Tafel 6. Mittlerer Spitzenrückgang und Stoffverlust der Eggenzinken b und c während des zweiten Feldversuches (bezogen auf die ungehärteten Zinken aus St 50 gleich 100%).

| | 1. Reihe | | | 2. Reihe | | | 3. Reihe | | | 4. Reihe | | | 5. Reihe | | | Gesamtmittel | | |
|-------------------------|--------------|------------|-----------|--------------|------------|-----------|--------------|------------|-----------|--------------|------------|-----------|--------------|------------|-----------|--------------|------------|-----------|
| | St 50 ungeh. | St 50 geh. | C 45 geh. | St 50 ungeh. | St 50 geh. | C 45 geh. | St 50 ungeh. | St 50 geh. | C 45 geh. | St 50 ungeh. | St 50 geh. | C 45 geh. | St 50 ungeh. | St 50 geh. | C 45 geh. | St 50 ungeh. | St 50 geh. | C 45 geh. |
| Spitzenrückgang | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. Messung | mm 5,1 | 6,4 | 3,4 | 6,5 | 6,0 | 3,6 | 6,4 | 6,1 | 2,5 | 5,3 | 5,6 | 2,8 | 3,9 | 3,9 | 2,1 | 5,4 | 5,6 | 2,9 |
| | % 100 | 125 | 67 | 100 | 92 | 55 | 100 | 95 | 39 | 100 | 105 | 53 | 100 | 100 | 54 | 100 | 104 | 54 |
| 2. Messung | mm 25,0 | 27,7 | 21,6 | 25,0 | 24,3 | 17,8 | 23,2 | 20,6 | 14,3 | 20,2 | 18,5 | 13,4 | 19,5 | 16,6 | 11,7 | 22,6 | 21,5 | 15,8 |
| | % 100 | 111 | 86 | 100 | 97 | 71 | 100 | 89 | 62 | 100 | 92 | 66 | 100 | 85 | 60 | 100 | 95 | 70 |
| 3. Messung | mm 27,9 | 32,1 | 24,8 | 27,9 | 29,2 | 20,5 | 25,9 | 24,8 | 17,4 | 22,9 | 22,3 | 15,9 | 22,4 | 19,3 | 15,1 | 25,4 | 25,5 | 18,7 |
| | % 100 | 115 | 89 | 100 | 105 | 73 | 100 | 96 | 67 | 100 | 97 | 69 | 100 | 86 | 67 | 100 | 100 | 73 |
| 4. Messung | mm 32,6 | 37,6 | 29,0 | 32,2 | 34,4 | 24,2 | 29,9 | 29,2 | 21,0 | 26,6 | 26,4 | 19,5 | 26,4 | 23,0 | 19,3 | 29,5 | 30,1 | 22,8 |
| | % 100 | 115 | 89 | 100 | 107 | 75 | 100 | 98 | 70 | 100 | 99 | 73 | 100 | 87 | 73 | 100 | 102 | 77 |
| Zinken a—d 100 98 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stoffverlust | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. Messung | g 3,3 | 2,7 | 2,5 | 3,7 | 3,0 | 2,6 | 3,5 | 2,7 | 2,4 | 3,1 | 2,7 | 2,5 | 2,6 | 2,4 | 2,1 | 3,2 | 2,7 | 2,4 |
| | % 100 | 81 | 76 | 100 | 82 | 68 | 100 | 79 | 70 | 100 | 86 | 82 | 100 | 93 | 81 | 100 | 84 | 75 |
| 2. Messung | g 14,1 | 13,9 | 10,9 | 12,9 | 11,0 | 8,6 | 10,7 | 8,7 | 6,5 | 9,1 | 7,3 | 6,5 | 8,4 | 6,7 | 5,2 | 11,1 | 9,5 | 7,5 |
| | % 100 | 98 | 77 | 100 | 85 | 67 | 100 | 81 | 60 | 100 | 80 | 71 | 100 | 80 | 62 | 100 | 86 | 68 |
| 3. Messung | g 18,3 | 18,9 | 14,7 | 16,6 | 15,2 | 11,4 | 14,0 | 12,2 | 9,0 | 11,8 | 10,0 | 8,7 | 10,9 | 9,0 | 7,5 | 14,3 | 13,1 | 10,3 |
| | % 100 | 103 | 80 | 100 | 92 | 69 | 100 | 87 | 64 | 100 | 84 | 74 | 100 | 82 | 68 | 100 | 91 | 72 |
| 4. Messung | g 21,5 | 23,1 | 17,5 | 19,3 | 18,7 | 13,6 | 16,1 | 14,9 | 10,5 | 13,5 | 12,1 | 10,3 | 12,9 | 10,8 | 8,9 | 16,7 | 15,9 | 12,2 |
| | % 100 | 108 | 81 | 100 | 97 | 70 | 100 | 92 | 65 | 100 | 89 | 76 | 100 | 84 | 69 | 100 | 96 | 73 |
| Zinken a—d 100 89 71 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

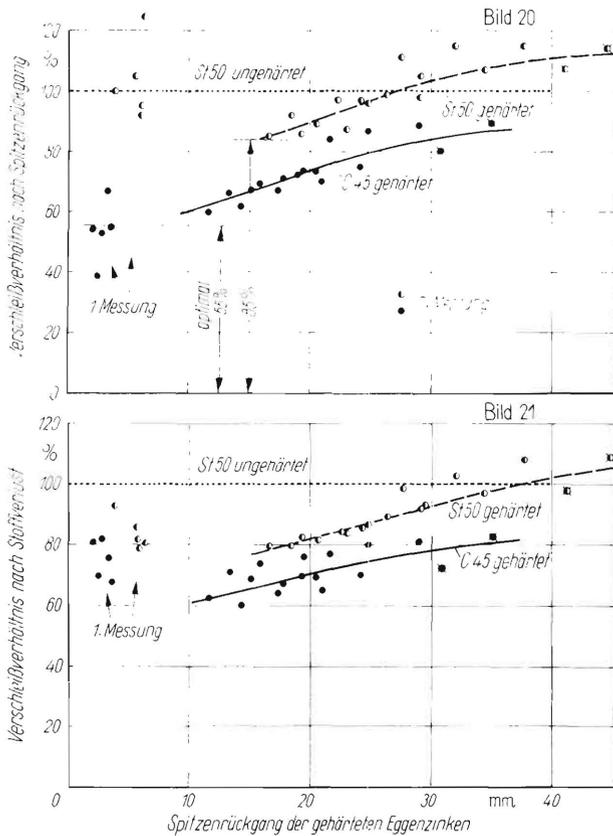


Bild 20 und 21. Das Verschleißverhältnis der gehärteten Eggenzinken aus St 50 und C 45 zu den ungehärteten Eggenzinken aus St 50 in Abhängigkeit von dem jeweiligen Spitzenrückgang der gehärteten Eggenzinken.

Die Werte sind der Tafel 6 entnommen.

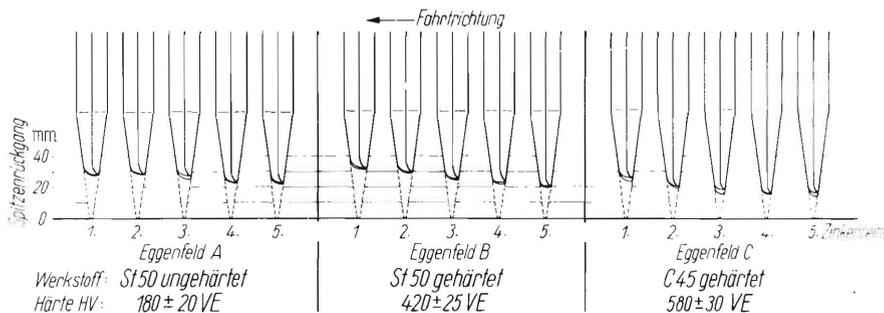


Bild 22. Spitzenrückgang der gehärteten und ungehärteten Eggenzinken aus St 50 und C 45 bei der 3. Messung.

Die Zinkenspitzen sind im Seitenprofil dargestellt.

härteten Eggenzinken in Tafel 6 das jeweilige Verschleißverhältnis zu den ungehärteten St 50-Zinken aufgetragen.

Man erkennt, daß sowohl nach Bild 20 als auch nach Bild 21 das Verschleißverhältnis der gehärteten Eggenzinken zu den ungehärteten mit dem Spitzenrückgang, d. h. mit der Einsatzdauer, immer ungünstiger wird. Sieht man einmal von den Werten der 1. Messung ab⁶⁾, so haben nach Bild 20 die gehärteten St 50-Zinken bei etwa 20 mm Spitzenrückgang noch einen um 10% geringeren Verschleiß als die ungehärteten Zinken. Bei etwa 28 mm Spitzenrückgang ist die Abnutzung der gehärteten und der ungehärteten St 50-Zinken gleich groß. Im Endeffekt verschleiben aber die gehärteten St 50-Zinken mehr als die ungehärteten und haben bei Erreichen eines Spitzenrückganges von 40 mm bereits einen um 10% größeren Verschleiß als die ungehärteten St 50-Zinken.

Bei den gehärteten C 45-Zinken ist die Tendenz ganz ähnlich. Der anfänglich etwa halb so große Verschleiß ist nach 20 mm Spitzenrückgang der C 45-Zinken nur noch um 25% geringer

als der der ungehärteten St 50-Zinken. Bei Bild 20 und 21 konnten noch die Meßwerte einer 5. Messung mit herangezogen werden, wobei es sich zeigte, daß sich das Verschleißverhältnis der gehärteten C 45-Zinken zu den ungehärteten St 50-Zinken bei weiterem Einsatz noch mehr verschlechterte.

Während also der Verschleißunterschied zwischen den gehärteten C 45-Zinken und den ungehärteten St 50-Zinken bei der 3. Messung noch eindrucksvoll ist, **Bild 22**, so gleicht sich dieser Unterschied mit fortschreitendem Verschleiß der Zinkenspitzen immer mehr aus. Man wird mit Recht nach den Ursachen dieses, in diesem Ausmaß nicht erwarteten Verhaltens der gehärteten Eggenzinken fragen.

Die Verschleißfestigkeit der gehärteten Versuchszinken

Der Hauptgrund, warum die Verschleißfestigkeit der gehärteten St 50-Zinken mit zunehmendem Spitzenrückgang abnimmt und gegen Ende des Versuches sogar geringer ist als die der ungehärteten Zinken, liegt vor allem darin, daß diese Zinken infolge ihrer analytischen Zusammensetzung nicht durchhärten und je nach Durchmesser einen mehr oder weniger weichen Kern behalten. Einer martensitischen Randzone unter der Zinkensoberfläche (mit einer auf der Oberfläche gemessenen Härte von etwa 420 VE) schließt sich ein Zwischenstufengefüge an, das nach Versuchen von Kloth [4] verschleißmäßig sehr ungünstig ist. **Bild 23** zeigt den Längsschliff durch die pyramidenförmige Spitze eines gehärteten Eggenzinkens aus St 50. Die martensitische Randzone ist an der dunkler gefärbten Anätzung deutlich zu erkennen.

Um die Kernhärte der Zinken bestimmen zu können, wurde die Zinkenspitze von je einem der ungehärteten und der gehärteten Eggenzinken in Längsrichtung zur Hälfte abgearbeitet. In **Bild 24** sind die Härteverläufe auf den Längsschliffen in drei verschiedenen Abständen von der Zinkenspitze dargestellt. Während bei den ungehärteten Zinken in allen drei Querschnitten die Härte fast gleichmäßig groß ist (mit dem Dickerwerden der Spitze nimmt sie sogar etwas zu), wird die Kernhärte der

gehärteten Zinken mit dem Dickerwerden der pyramidenförmigen Spitzen immer geringer. Dies ist bei den gehärteten St 50-Zinken besonders deutlich ausgeprägt, aber auch bei den C 45-Zinken noch zu erkennen. Obwohl nun die Härte der gehärteten St 50-Zinken auch im Kern immer noch größer ist (HV = 330 bis 350) als die Härte der ungehärteten St 50-Zinken (HV = 180 bis 200), wurde in den vorliegenden Feldversuchen festgestellt, daß die Verschleißfestigkeit der gehärteten St 50-Zinken im Endeffekt nicht nur nicht gleich, sondern eher geringer ist als die der ungehärteten. Das heißt aber, daß



Bild 23. Längsschliff durch die Spitze eines gehärteten Eggenzinkens aus St 50. Man erkennt die dunkler gefärbte martensitische Randzone.

Ätzung: alkoholische Salpetersäure ²/₃ der natürlichen Größe

⁶⁾ Die Unterschiede der Werkstoffe kommen wegen der kleinen Formunterschiede der äußersten Spitzen und wegen einer mehr oder weniger dicken entkohlten Oberflächenschicht sowie des noch verhältnismäßig geringen Verschleißes nicht eindeutig zur Wirkung.

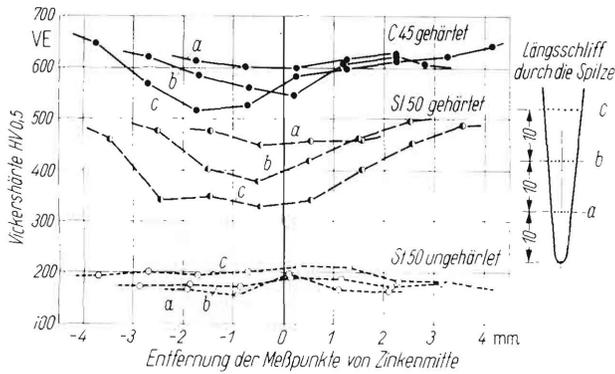


Bild 24. Kernhärte der ungehärteten und gehärteten Eggenzinken aus St 50.

Die Härte wurde auf Längsschliffen durch die Zinkenspitzen auf drei Querlinien in 10, 20 und 30 mm Abstand von der Zinkenspitze gemessen.

das nach dem Verschleiß der (martensitischen) Spitze zur Wirkung kommende Kerngefüge der gehärteten St 50-Zinken eine weit geringere Verschleißfestigkeit gegenüber den ungehärteten Zinken haben muß, als die Mittelwerte der Verschleißverhältnisse in Tafel 6 erkennen lassen. Offensichtlich ist der lamellare Perlit in dem heterogenen Ferrit-Perlit-Gefüge der

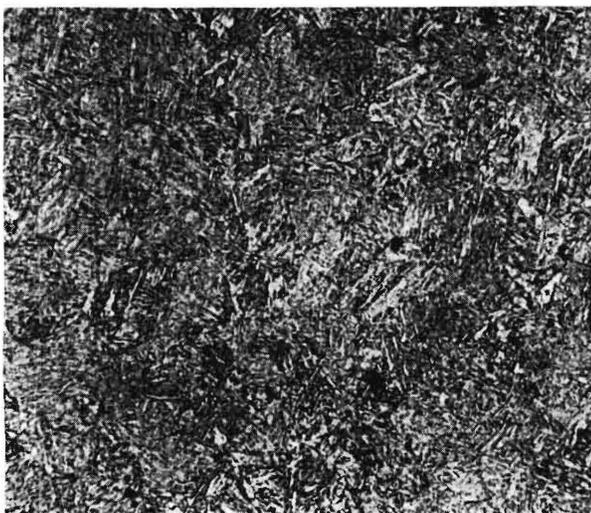
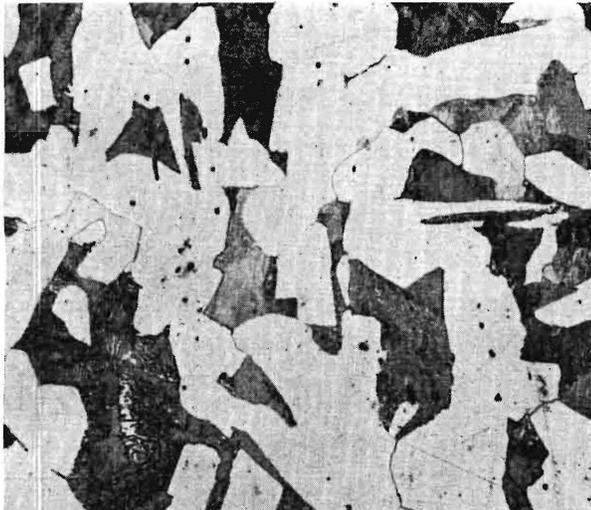


Bild 25 und 26. Kerngefüge eines ungehärteten (oben) und eines gehärteten (unten) St 50-Eggenzinkens in etwa 30 mm Abstand von der Spitze.

Vergrößerung 500:1; Ätzung: alkoh. Salpetersäure
Oberes Bild: St 50-Zinken, ungehärtet. Gefüge besteht aus Ferrit (hell) und lamellarem Perlit (dunkel). HV 0,5 = 200 VE.
Unteres Bild: St 50-Zinken, gehärtet. Zwischenstufengefüge. HV 0,5 = 330 VE

ungehärteten Zinken, **Bild 25**, erheblich verschleißfester als das homogene Zwischenstufengefüge der gehärteten Zinken aus St 50, **Bild 26**.

Die Spitzen der gehärteten C 45-Zinken bestehen aus feinem Martensit, **Bild 27**, aber schon nach 20 mm Spitzenrückgang macht sich das aus Martensit und Zwischenstufengefüge bestehende Kerngefüge, **Bild 28**, verschleißmäßig ungünstig bemerkbar, so daß auch bei den gehärteten C 45-Zinken eine Verminderung des Verschleißwiderstandes mit dem fortschreitenden Spitzenrückgang zu verzeichnen ist (Bild 20 und 21).

Optimale Verschleißverhältnisse bei dem Versuch

Stellt man nun am Ende der Versuche — nach einem maximalen Spitzenrückgang von rund 45 mm — fest, daß die gehärteten St 50-Zinken mehr verschliffen sind als die ungehärteten (Bild 20) und daß die gehärteten C 45-Zinken nur eine Verschleißminderung von etwa 15 bis 25% gegenüber den ungehärteten Zinken haben, so fragt man sich, ob auf Grund der Versuchsergebnisse nicht wenigstens gesagt werden kann, welche Verschleißminderung man mittels Abschreckhärtung optimal erreichen kann und welche Voraussetzungen dabei erfüllt sein müssen.

Nach Bild 20 ist als günstigstes Verschleißverhältnis bei den gehärteten St 50-Zinken etwa 85% und bei den der gehärteten

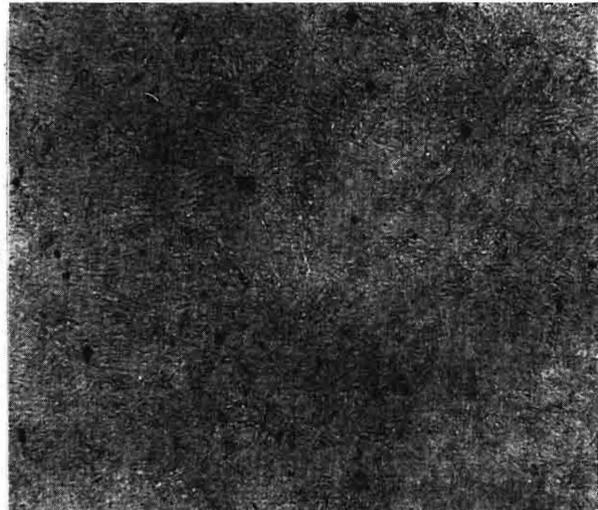


Bild 27 und 28. Kerngefüge eines gehärteten C 45-Eggenzinkens in etwa 10 mm (oben) und 30 mm (unten) Abstand von der Zinkenspitze.

Vergrößerung 500:1; Ätzung: alkoh. Salpetersäure
Oberes Bild: Gefüge besteht aus feinem Martensit HV 0,5 = 600 VE
Unteres Bild: Gefüge besteht aus Martensit und Zwischenstufengefüge HV 0,5 = 540 VE

C 45-Zinken etwa 55% (im Vergleich zu den ungehärteten) gemessen worden. Diese optimalen Verschleißverhältnisse, die bis etwa 10 mm Spitzenrückgang Gültigkeit haben, stellen sich unter der Wirkung der harten Oberflächenschicht ein. Sowie diese Schicht durch Verschleiß der Spitze abgetragen ist und der weichere Kern mit seinem verschleißmäßig ungünstigen Gefüge zur Wirkung kommt, verschlechtert sich zunehmend das Verschleißverhältnis. Wären die Zinkenspitzen im ganzen Verschleißbereich durchgehärtet und besäßen im Kern dieselbe Härte wie an der Oberfläche, so dürfte sich während der Dauer des Einsatzes die obigen optimalen Verschleißverhältnisse nicht ändern. Man muß also die Stahlart und die Wärmebehandlung so aufeinander abstimmen, daß volle Martensithärte über den ganzen Verschleißbereich, also auch im Kern, der Zinkenspitzen erzielt wird; das ist mit St 50 nicht und mit C 45 nur bedingt zu erreichen.

Härte und Verschleißfestigkeit

Geben nun die Feldversuche mit den Eggenzinken Antwort auf die Frage, ist die Härte ein Maß der Verschleißfestigkeit? Nach den vorstehenden Ausführungen bedarf es wohl keiner besonderen Erörterung, daß die Oberflächenhärte gehärteter Eggenzinken mindestens dann kein Maß für deren Verschleißfestigkeit sein kann, wenn die Zinkenspitzen nicht durchgehend bis in den Kern dieselbe Härte haben.

Nimmt man aber einmal an, die Versuchszinken hätten die an den Spitzen gemessene Oberflächenhärte (Bild 11 und 22) über den ganzen Querschnitt und über die Längsausdehnung

Tafel 7. Die aus den Versuchen sich ergebenden optimalen und effektiven Verschleißverhältnisse (s. Bild 20).

| Zinkenausführung | Oberflächenhärte HV 30 | Verschleiß | |
|--------------------------|------------------------|------------|-----------|
| | | effektiv % | optimal % |
| St 50-Zinken, ungehärtet | 180 ± 20 | 100 | 100 |
| St 50-Zinken, gehärtet | 420 ± 25 | 110 | 85 |
| C 45-Zinken, gehärtet | 580 ± 30 | 85 | 55 |

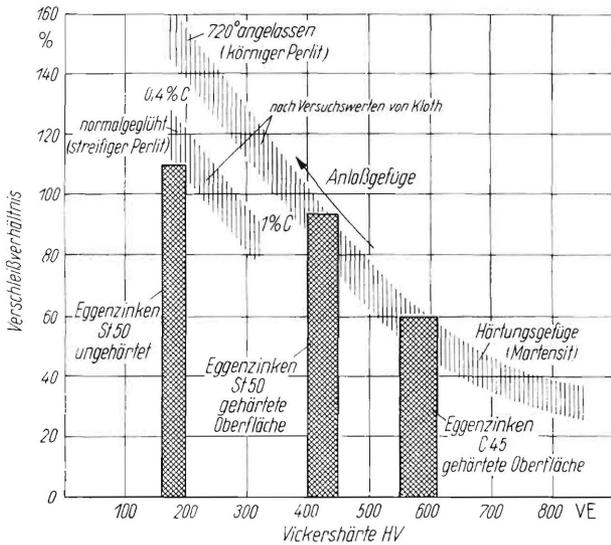


Bild 29. Die sich aus den Feldversuchen ergebenden optimalen Verschleißverhältnisse zwischen den gehärteten und ungehärteten Eggenzinken im Vergleich zu den in Laborversuchen von Kloth gefundenen Zusammenhängen zwischen Härte, Gefüge und Verschleiß.

Die in dem Bild durch die Säulen dargestellten Verschleißverhältnisse der Eggenzinken gelten nur für die mehr oder weniger dünne martensitische Oberflächenschicht der gehärteten Eggenzinken, die nur kurze Zeit während des Einsatzes wirksam ist. Die effektiven Verschleißverhältnisse für die untersuchten Eggenzinken gehen aus Tafel 7 hervor; sie sind für die gehärteten Eggenzinken erheblich ungünstiger als die optimalen. Die beiden senkrecht schraffierten Verschleißbereiche für gehärteten und normalgeglühten Stahl wurden vom Verfasser nach Versuchswerten von Kloth [4] entworfen.

der Spitzen gehabt, so hätten sich mit einiger Wahrscheinlichkeit die bereits erwähnten, aus den Versuchen sich ergebenden optimalen Verschleißverhältnisse eingestellt. Diesen optimalen Verschleißverhältnissen stehen die effektiven, d. h. die für die ausgeführten gehärteten Eggenzinken aus St 50 und C 45 mit ihrem mehr oder weniger weichen Kerngefüge geltenden Verschleißverhältnisse gegenüber, **Tafel 7.**

In **Bild 29** sind nun die optimalen Verschleißverhältnisse, wie sie sich bei den Versuchen ergeben haben, den Verschleißverhältnissen, wie sie Kloth [4] in Laborversuchen gefunden hat, gegenübergestellt⁷⁾. Nach den Versuchswerten von Kloth kann man bei den für Bodenbearbeitungswerkzeuge in Frage kommenden untereutektoiden Stählen ($C \leq 0,9\%$) zwei verschiedene Verschleißbereiche unterscheiden:

1. den Bereich der ungehärteten bzw. normalgeglühten Stähle und
2. den Bereich der gehärteten und angelassenen Stähle, vom härtesten Martensit über die verschiedenen Anlaßstufen bis zum weich geglühten bzw. dem gehärteten, bei 720°C angelassenen Stahl.

Diese beiden Verschleißbereiche sind in Bild 29 senkrecht schraffiert wiedergegeben. Kloth selbst unterscheidet bei der Darstellung seiner Versuchswerte zwar nicht zwischen diesen beiden Bereichen, doch zwingen die zwischenzeitlichen Erfahrungen über den Verschleiß von Stahl durch quarzhaltigen Boden zu dieser Interpretation seiner Versuchswerte.⁸⁾

In Bild 29 fällt in dem Bereich für normalgeglühte bzw. ungehärtete Stähle der Verschleiß linear mit zunehmender Vickershärte. Da die Vickershärte der normalgeglühten Stähle etwa proportional dem Kohlenstoffgehalt ist, kann man auch sagen, daß der Verschleiß der normalgeglühten Stähle mit steigendem Kohlenstoffgehalt linear abnimmt.⁹⁾

Bei den martensitisch gehärteten Stählen steigt der Verschleiß stetig mit steigender Anlaßtemperatur, wobei die Vickers-

⁷⁾ Kloth hat bei seinen Verschleißversuchen gleichzeitig sechs quadratische Stahlproben mit einer Prüffläche von je 30 x 30 mm auf einer kreisförmigen Verschleißbahn aus festgestampftem Boden gleiten lassen. Vor jeder Probe läuft ein Vorstreicher, der die Spur der vorhergehenden Probe wieder glatt streicht. Die Proben gleiten unter einem durch Feder- oder Gewichtsbelastung einstellbaren Druck über die plan gestrichene Bodenoberfläche. Man erreicht mit dieser Anordnung, daß sich Verschiedenheiten des Bodens auf alle Proben in gleicher Weise auswirken. Der Boden besteht aus einem angefeuchteten Gemisch von Quarzsand als Schleifmittel und Ton als Bindemittel. Der Quarzsand hat eine Vickershärte von etwa 1200 kp/mm²; die höchste Härte der untersuchten Stähle betrug etwa 800 kp/mm². Die Versuche wurden also ausschließlich im Bereich der „Hochlage“ des Verschleißes [14] durchgeführt. Als Maß für den Verschleiß dient der gewogene Stoffverlust, oder richtiger, das Verhältnis des Stoffverlustes der einzelnen Probe zum mittleren Stoffverlust sämtlicher gleichzeitig gelaufenen Proben oder auch zum Stoffverlust eines bestimmten „Vergleichswerkstoffs“, wobei der mittlere Stoffverlust bzw. der des Vergleichswerkstoffs gleich 100 gesetzt wird. Die bei dem Klotischen Verschleiß-Prüfverfahren geltenden „Anfangsbedingungen“ hinsichtlich der Verschleißpaarung [15] entsprechen den bei den ausgeführten Bodenbearbeitungswerkzeugen herrschenden Verschleißbedingungen besser als die in dem Schleifteller-Verfahren mit Schleifpapier [16] gegebenen Bedingungen. Im Rahmen des untersuchten Bereiches (gehärtete, angelassene und normalgeglühte, unlegierte Stähle mit einem Kohlenstoffgehalt unter 1,0%) sind die in den beiden Verfahren ermittelten Verschleißverhältnisse erfahrungsgemäß unterschiedlich, die Reihenfolge, in der sich die Stähle ordnen, ist im allgemeinen jedoch dieselbe.

⁸⁾ Auch Wellinger und Uetz [17] haben an Hand von Schleifpapierversuchen [16] gezeigt, daß sich der Verschleiß der ferritisch-perlitischen Werkstoffe (walzharte und normalgeglühte Stähle) und der Verschleiß der ferritisch-martensitischen Stähle (gehärtete und angelassene gehärtete Stähle) nach zwei verschiedenen Gesetzmäßigkeiten mit der Vickershärte ändern. Die von ihnen ermittelten Verschleißverläufe gleichen den beiden in Bild 29 gezeigten Verschleißbereichen, wenn auch die Verschleißverhältnisse infolge der verschiedenen „Anfangsbedingungen“ [15] etwas andere sind.

⁹⁾ Eßlinger [14] gibt an, daß sich die „relative Verschleißbeständigkeit“ normalgeglühter untereutektoider Stähle ($C = 0$ bis 0,9%) praktisch linear mit dem Flächenanteil des lamellaren Perlits in dem Gefügemenge Perlit + Ferrit ändert. Dabei ist die relative Verschleißbeständigkeit der reziproke Wert des in Bild 29 gezeigten Verschleißverhältnisses. Bei dem letzteren ist der Verschleiß der untersuchten Werkstoffe auf den Verschleiß eines „Vergleichswerkstoffs“ bezogen; es läßt anschaulich erkennen, um wieviel größer bzw. kleiner der Verschleiß gegenüber einem gegebenen Vergleichswerkstoff ist.

härte (mit Ausnahme der niedrigsten Anlaßstufe um 100°C) stetig abfällt. Dabei hat nach den Versuchen von *Kloth* der Kohlenstoffgehalt der Stähle anscheinend keinen grundsätzlichen Einfluß auf den Verlauf dieses Verschleißbereiches.¹⁰⁾

Wenn nun, für jeden Bereich getrennt, die Vickershärte ein Maß für die Beurteilung der Verschleißfestigkeit ist, so gilt dies nicht mehr für die vergleichsweise Beurteilung von gehärteten, vergüteten und ungehärteten Stählen untereinander. Wohl ist jeder gehärtete Stahl über 500 VE verschleißfester als jeder normalgeglühte bzw. ungehärtete Stahl. Unter 500 VE ist jedoch die Vickershärte allein kein Maß der Verschleißfestigkeit mehr. Es ist nach Bild 29 z. B. ein ungehärteter Stahl mit 250 VE ebenso verschleißfest wie ein gehärteter und angelassener Stahl mit 400 VE; es kann sogar der Fall eintreten, daß ein ungehärteter Stahl mit 300 VE wesentlich verschleißfester ist als ein gehärteter und angelassener Stahl derselben Härte.

Trägt man nun in Bild 29 die bei den Feldversuchen mit Eggenzinken gefundenen optimalen Verschleißverhältnisse nach Bild 20 über den zugehörigen Härtebereichen (s. Tafel 7) als Säulen ein, so fügen sich diese zwanglos in die auf Grund der *Klothschen* Laborversuche gefundenen Verschleißverläufe ein¹¹⁾. Die optimalen Werte der gehärteten Eggenzinken liegen in dem senkrecht schraffierten Bereich für den gehärteten Stahl, und der entsprechende Wert für die ungehärteten Eggenzinken in dem Bereich für den ungehärteten, niedriggekohlten Stahl (die ungehärteten Eggenzinken hatten einen Kohlenstoffgehalt von 0,33%).

Damit wird die Gültigkeit der von *Kloth* im Laborversuch gefundenen Verschleißverhältnisse zum erstenmal durch einen Feldversuch bestätigt und die Brauchbarkeit des von ihm entwickelten Prüfverfahrens zur Ermittlung der relativen Verschleißfestigkeit von Stählen für Bodenbearbeitungswerkzeuge nachgewiesen.

Ein Vergleich der Säulen läßt klar erkennen, daß kein linearer Zusammenhang zwischen dem Verschleiß und der Vickershärte ungehärteter und gehärteter Stähle besteht.

Zusammenfassung

Die Feldversuche brachten einige überraschende Ergebnisse hinsichtlich der Haltbarkeit der Eggenzinken und eine Bestätigung der bereits aus Laborversuchen vorliegenden Erkenntnisse über die Zusammenhänge zwischen der Härte und der Verschleißfestigkeit von Bodenbearbeitungswerkzeugen im allgemeinen.

Eggenzinken 16 × 180 mm aus dem Baustahl St 50 verbiegen bei Schlepperzug im Schaft und im Gewinde, wenn sie am Schaftende nicht auf mindestens 80 kp/mm² vergütet worden sind. Das Härten der Zinkenspitze bringt bei Verwendung von St 50 nur während der ersten Hälfte des Einsatzes eine geringfügige Verringerung des Verschleißes um etwa 10%. Im weiteren Verlauf des Einsatzes vermindert sich die Verschleißfestigkeit der gehärteten Eggenzinken infolge des ungünstigen Kerngefüges so, daß die gehärteten Zinken am Ende des Versuches um etwa 10% mehr verschlissen sind als die ungehärteten Zinken. Wenn also Eggenzinken aus St 50 hinter dem Schlepper zum Einsatz kommen sollen, müssen sie unbedingt am Schaftende vergütet werden, damit sie nicht verbiegen, und an der Zinkenspitze ungehärtet bleiben, damit die Verschleißfestigkeit nicht vermindert wird. Das Härten der Spitzen der St 50-Eggenzinken läßt sich auf Grund der Feldversuche weder technisch noch wirtschaftlich rechtfertigen.

¹⁰⁾ Die Schleifpapierversuche von *Tonn* [18] zeigen, daß der Verschleiß der gehärteten und angelassenen gehärteten Stähle mit 0,2 bis 0,9% Kohlenstoffgehalt im wesentlichen von der Vickershärte und nicht vom Gefüge und dem Kohlenstoffgehalt abhängt und die Versuchswerte in einem relativ schmalen Bereich (wie in Bild 29) liegen; nur ist die prozentuale Verschleißminderung zwischen „hoch angelassen“ und „gehärtet“ bei *Tonn* infolge der anderen „Anfangsbedingungen“ wesentlich geringer.

¹¹⁾ Um die bei den Feldversuchen gefundenen Verschleißverhältnisse dem Bezug der *Klothschen* Werte anzupassen, müssen die optimalen Verschleißverhältnisse in Tafel 7 mit dem Faktor 1,1 erweitert werden. Die äquivalenten Verschleißverhältnisse, die in Bild 29 eingetragen sind, lauten dann: 110:93:60 (anstatt 100:85:55).

Die gehärteten Eggenzinken aus C 45 erreichten an der äußersten Spitze eine Vickershärte von etwa 580 VE. Die Härte nimmt mit dem Dickerwerden der pyramidenförmigen Spitze allmählich ab. Im Verschleißbereich sind die Spitzen im Gegensatz zu denen aus St 50 infolge des höheren Kohlenstoffgehaltes besser durchgehärtet. Die Verschleißminderung beträgt gegenüber den ungehärteten Zinken aus St 50 anfänglich etwa 45%, nimmt aber mit zunehmendem Spitzenrückgang infolge der geringer werdenden Härte gegen Ende des Versuches so stark ab, daß die gehärteten C 45-Zinken am Ende des Versuches nur noch einen um 20% geringeren Verschleiß gegenüber den ungehärteten St 50-Zinken haben.

Strebt man eine etwa 50%ige Verschleißminderung, d. h. eine Verdoppelung der Lebensdauer an, so muß man durch eine entsprechende Wahl des Werkstoffes und eine genügend schroffe Abschreckung eine Vickershärte von 600 VE anstreben, wobei diese Härte über die ganze Ausdehnung der Zinkenspitzen und in deren Kern vorhanden sein muß. Das wird bei dem Vergütungsstahl C 45 nur bei den höheren Gehalten an Kohlenstoff (0,50%) und Mangan (0,80%) zu erreichen sein.

Die allgemeinen Gütevorschriften für Bodenbearbeitungswerkzeuge nach DIN 11100 werden durch das Ergebnis der Eggenzinkenversuche voll bestätigt. Beim Unterschreiten der in DIN 11100 festgelegten Mindesthärte von 500 VE gibt es im Hinblick auf die Verschleißfestigkeit nur eine Konsequenz: die Werkzeuge ungehärtet zu lassen. Werden dennoch gewisse Bodenbearbeitungswerkzeuge, wie Pflugscheiben und dgl., auf Vickershärten von 300 bis 400 VE aus Festigkeitsgründen vergütet, so sollte man durch die Wahl eines höhergekohlten Stahles für eine genügende Durchhärtung Sorge tragen. Mit solchen vergüteten Werkstoffen sind aber keine überragenden Verschleißigenschaften verbunden.

Die Frage, um wieviel sind gehärtete Werkzeuge verschleißfester als ungehärtete, kann im Rahmen der für Bodenbearbeitungswerkzeuge geltenden Gütevorschriften nach DIN 11100 dahin beantwortet werden, daß man bei Härten um 600 VE und bei durchgehärteten Werkzeugen mit einer Verschleißminderung um 50% rechnen kann. Daß diese durchgehärteten Werkzeuge durch eine sorgfältige Wahl des Werkstoffes und der Wärmebehandlung eine genügend hohe Zähigkeit als Sicherheit gegen Bruch haben müssen, sei in diesem Zusammenhang nur am Rande vermerkt.

Die Feldversuche mit Eggenzinken lassen erkennen, wie schwer es ist, allgemeine Gesetzmäßigkeiten zwischen der Härte und der Verschleißfestigkeit eines Stahles gegenüber Abrieb durch quarzhaltigen Boden abzuleiten. Mit Hilfe der *Klothschen* Laborversuche gelingt es nachzuweisen, daß bei untereutektoiden Stählen die Härte ein Maß der Verschleißfestigkeit ist, sofern erstens die normalgeglühten (bzw. ungehärteten) und zweitens die gehärteten und die angelassenen gehärteten Stähle je für sich betrachtet werden. Ist jedoch bei Stählen mit einer Vickershärte um 400 und darunter die vorausgegangene Wärmebehandlung nicht bekannt, so kann in diesem Härtebereich die Vickershärte allein keine Auskunft über das Verschleißverhalten eines Stahles gegenüber quarzhaltigem Boden geben. Die heterogenen Gefüge der normalgeglühten Stähle verhalten sich bei gleicher Härte verschleißmäßig im allgemeinen besser als die homogenen Vergütungsgefüge.

Schrifttum

- [1] DIN 50133 Härteprüfung nach Vickers (Febr. 1940).
DIN 50103 Härteprüfung nach Rockwell (März 1942).
DIN 50351 Härteprüfung nach Brinell (Okt. 1942).
DIN 50150 Härtevergleichstabellen (Mai 1957).
- [2] DIN 11100 Bodenbearbeitungswerkzeuge, Werkstoff und Gütevorschriften (Febr. 1949).
- [3] *Stroppel, Th.*: Ein neues Normblatt über Bodenbearbeitungswerkzeuge (DIN 11100). Landtechn. 2 (1947) Nr. 6, Nr. 23/24 und 4 (1949) S. 174.
- [4] *Kloth, W.*: Die Haltbarkeit der Bodenbearbeitungswerkzeuge. Techn. i. d. Landwirtschaft. 11 (1930) S. 332/36. Vgl. auch RKTL-Schriften Heft 56. Berlin 1934. S. 23 und VDI-Z. 75 (1931) S. 1127/32.

- [5] *Gallwitz, K.*: Werkstoffe und Abnutzung von Pflugscharen. Diss. T. H. Berlin 1929. Landw. Jb. **72** (1930) S. 1/50.
- [6] DIN 1484/86 Eggenzinken für leichte und mittelschwere Saateggen und schwere Ackereggen (April 1927).
- [7] *Victor, B.*: Die Normung der Egge (Entwurf Dez. 1946). Landnorm-Mitt. **1** (1947) Nr. 3.
- [8] *Scherer, L.*: Normung der Eggenzinken (Entwurf Mai 1960). Landtechn. **15** (1960) S. 314/15.
- [9] DIN 11090 Eggenzinken für Saat- u. Ackereggen (Jan. 1962).
- [10] *Naumann, Fr.*: Feldversuche mit Eggenzinken verschiedener Form und Behandlung. Unveröffentlichter Bericht des Instituts für landtechnische Grundlagenforschung der FAL Braunschweig-Völkenrode 1953.
- [11] *Kühne, G.*: Handbuch der Landmaschinentechnik. 1. Bd. Berlin: Springer 1930, S. 71.
- [12] *Dencker, C. H.*: Handbuch der Landtechnik. Hamburg, Berlin: Parey 1961, S. 333.
- [13] *Stroppel, Th.*: Schraubenuntersuchungen. Die Haltbarkeit von Befestigungsschrauben unter $\frac{5}{8}$ " Techn. i. d. Landw. **12** (1931) S. 89/94.
- [14] *Eßlinger, P.*: Das Problem der Werkstoffwahl bei Verschleißteilen. VDI-Z. **105** (1963) Nr. 26, S. 1209/18.
- [15] DIN 50320 Verschleiß. Begriff, Analyse von Verschleißvorgängen, Gliederung des Verschleißgebietes (Nov. 1953).
- [16] DIN 50330 Verschleiß-Prüfung bei Metall: Mineral-Gleitverschleiß. Schleifteller-Verfahren (Dez. 1952); das Normblatt wurde inzwischen wieder zurückgezogen.
- [17] *Wellinger, K.*, u. *H. Uetz*: Gleitverschleiß, Spülverschleiß, Strahlverschleiß unter der Wirkung von körnigen Stoffen. VDI-Forsch.heft 449. Düsseldorf: VDI-Verlag 1955, insbesondere Bild 21.
- [18] *Tonn, W.*: Verschleiß von Eisenlegierungen auf Schmirgelpapier und ihre Härte. Archiv Eisenhüttenwes. **8** (1935) S. 467/70, insbesondere Bild 4 und 8.

*