

ZUR SYSTEMATIK DER TECHNOLOGIE DES SCHNEIDENS

Von Th. Stoppel

Eines der verbreitetsten und ältesten technologischen Arbeitsverfahren ist das mechanische Trennen eines Stoffes mit einem Schneidwerkzeug. Fast jedes Handwerk kennt Schneidvorgänge mit Schneidwerkzeugen. So unterschiedlich wie die technologischen Eigenschaften der Stoffe sind, die durch Schneiden bearbeitet werden, und so verschieden wie die Forderungen an die Güte der Schnittoberflächen und an die Schnittleistung der Schneiden sind, so verschieden sind auch die Schneidwerkzeuge nach Werkstoff, Form und Handhabung. Was für die Handwerkzeuge zum Schneiden gilt, gilt in gesteigerter Weise von den modernen maschinellen Schneidwerkzeugen, von denen ein Vielfaches an Leistung, insbesondere hinsichtlich der Schneidhaltigkeit verlangt wird.

Es ist verständlich, dass man bei der Vielfalt der technologischen Einflussfaktoren auf den Schneidvorgang, besonders bei der grossen Verschiedenheit der Schnittgüter, sich bei Untersuchungen auf diesem Gebiet auf die Behandlung spezieller Fälle beschränkt, um für eng umrissene Bedingungen zu gesetzmässigen Zusammenhängen bzw. optimalen Schnittverhältnissen zu kommen. Man findet deshalb in der Literatur meist nur Abhandlungen über die Schneidvorgänge bei der Bearbeitung der Metalle oder des Holzes oder der Kunststoffe, bei der Lebensmittelverarbeitung, bei der Ernte oder der Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte od. dgl. mehr – aber keine „Technologie des Schneidens“ schlechthin.

In den Büchern über Mechanische Technologie wird fast durchweg das Schneiden nicht behandelt und auf die zahlreiche Spezialliteratur über die Zerspannung der Metalle und anderer industrieller Schnittgüter hingewiesen. Neben der Zerspannung gibt es aber zahlreiche andere Schneidverfahren, die wissenschaftlich überhaupt nicht oder nur recht stiefmütterlich behandelt werden.

Eine umfassende Behandlung des Schneidproblems könnte sich aber – wie die Erfahrung auf anderen Gebieten lehrt – befruchtend auf die Einzelfälle auswirken. Man sollte sich dabei von so grossen Unterschieden, wie es – technologisch gesehen – die Schnittgüter „gehärteter Stahl“ und „weiche Butter“ sind, nicht abschrecken lassen. Zwischen diesen Extremen liegen schneidtechnisch gesehen die Buntmetalle, die organischen Kunststoffe, die Ackerböden, die Holzarten, das Stroh, die Faserstoffe, das Papier, die Gräser, die Rüben und andere Früchte, das Leder, das Horn, das Haar, das Fleisch . . . und alle die zahlreichen anderen Stoffe, die geschnitten werden.

Nachstehend wird nun versucht, den Trennvorgang „Schneiden“ umfassend zu definieren; ferner wird versucht, die verschiedenen Schneidverfahren nach technologischen Gesichtspunkten systematisch zu erfassen und einzugliedern. Dabei ergeben sich eine Anzahl von Grundformen der Schneidwerkzeuge, die den Überblick über die Vielfalt der Erscheinungsformen erleichtern sollen. Betrachtungen über die Wirkung der Keilflächen, die Grösse der Schneidenwinkel und die mikrogeometrische Form der Schneidkante schliessen sich an.

Zur Kennzeichnung der Schneidhaltigkeit wird als Kenngrösse der Verschleiss der Schneidkante mittels zweier Messverfahren ermittelt und die Brauchbarkeit der Verfahren an Feinschneiden und ihrem Verschleiss nachgewiesen.

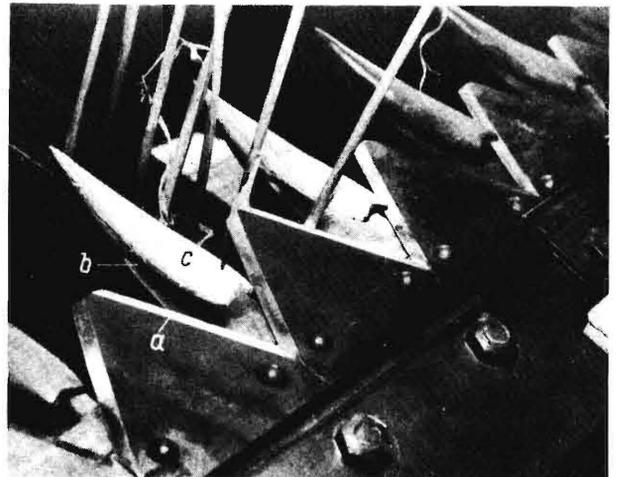


Bild 1. Das Schneidwerk der Mähmaschinen.

- a Messerklinge
- b Gegenschneide (Fingerplättchen)
- c Gehalt für die Halme (Fingerzunge)

Was ist Schneiden?

Einen Körper schneiden heisst, ihn an einer bestimmten Stelle in einer bestimmten Richtung mit einem Schneidwerkzeug mechanisch trennen¹⁾. Sämtlichen Schneidwerkzeugen ist gemeinsam, dass die zum Schneiden benutzten Werkzeuge eine oder mehrere, gleich oder gegenläufige Schneiden besitzen. Beispielsweise zerlegt man Fleisch mit dem Messer, einem Schneidwerkzeug mit einer Schneide. Papier trennt man mit der Schere, einem Schneidwerkzeug mit zwei gegenläufigen Schneiden. Holz und Metall trennt man u.a. mit der Säge, einem Werkzeug mit mehreren hintereinander geschalteten (spanabhebenden) Schneiden. Die Eigenschaften

1) Nichtmechanische Trennvorgänge, die wie z.B. das autogene Schneiden im übertragenen Sinne mit „Schneiden“ bezeichnet werden, sollen hier ausser Betracht bleiben.

des jeweiligen Schnittgutes und das Arbeitsziel bestimmen in entscheidener Weise die Form und die Führung der Schneidwerkzeuge [1].

Versucht man nun das mechanische Schneiden begrifflich festzulegen und das Allgemeingültige bei sämtlichen Schneidvorgängen mit den verschieden geformten und geführten Schneidwerkzeugen für alle vorkommenden Schnittgüter pflanzlicher, tierischer und technischer Art bis hin zum Zerspanen und Schneiden der Metalle zu erfassen, so müsste eine solche Definition lauten:

Das Schneiden ist ein mechanischer Trennvorgang an einem festen²⁾ Körper mittels eines Schneidwerkzeuges, dessen keilförmige Schneide unter Druck (Schnittdruck) den Verband des zu trennenden Körpers infolge hoher spezifischer Normal- und Schubkräfte längs der Schneidkante durch Überschreiten der plastischen Verformbarkeit auflöst und dabei fortlaufend in einer bestimmten Richtung (Schnitt- richtung) in den Körper eindringt. Es entstehen dabei in der Regel zwei Schnittflächen.

Diese Definition grenzt das Schneiden gegen die anderen mechanischen Trennvorgänge an festen Körpern, wie das Zerreißen, Brechen, Spalten, Aufkeilen, Mahlen, Kauen, Verschleissen, Dreschen, Entlieschen, Entgrannen, Sieben u.a. eindeutig ab. Andererseits schliesst sie neben dem Schneiden mit Messern (z.B. dem Küchenmesser) die speziellen Schneidvorgänge ein, die nach der Art des Schnittgutes, nach der Schneidenform, nach der Schneidenführung oder nach dem Zweck des Schnittes (Zerlegen in Teile, spanabhebende Oberflächenbearbeitung) mit besonderen Fachausdrücken belegt sind:

das Mähen mit der Sense und der Sichel,
das Hacken mit der Handhacke (Ackerboden) und mit dem Hackmesser (Fleisch, Holz u.ä.),
das Fräsen und Pflügen von Ackerboden (beim Pflügen das Abschneiden des Bodens mit dem Schar längs der Furchensohle und der Furchenwand),
das Wiegen mit dem Wiegemesser,
das Schälen,
das Rasieren,
das Zerspanen von Metall, Holz usw., insbesondere das Drehen, Fräsen, Bohren, Hobeln, Stossen, Schaben, Feilen, Meisseln, Drechseln, Raspeln,
das Sägen,
das Beissen mit den Schneidezähnen und mit der Beisszange,
das Scheren (Ausschneiden, Abschneiden, Einschneiden) mit der Blech-, Papier-, Baumschere,
das Maschinenmähen von Gras und Getreide (Bild 1),
das Häckseln von Halmfrüchten,
das Stanzen mit sogenannten „Schnitten“ (Lochen, Beschneiden, Abgraten, Nachschneiden),
das Stechen mit der Nadel und dem Pfriem,
das Gravieren mit dem Grabstichel (Kupferstechen),
das Ritzen von Glas mit dem Diamant,
das Schleifen mit der Schleifscheibe.

Die begriffliche Festlegung des Schneidens muss vom Vorgang und nicht vom Ergebnis her gesehen werden. Es ist z.B. eine Einschränkung zu sagen, dass „beim Schneiden ein Körper in zwei oder mehr Teile zerlegt“ wird, denn ein mehr oder weniger tiefer Einschnitt in ihn ist auch Schneiden. Dasselbe gilt von der Kennzeichnung, dass bei einem Schneidvorgang keine Späne entstehen dürfen und z.B. das Sägen kein Schneidvorgang sei. Man darf nur den Vorgang am einzelnen Sägezahn betrachten, um zu erkennen, dass es sich auch hier um einen Schneidvorgang handelt. Es ist auch schneidtechnisch belanglos, ob beim Holzhobeln „Späne“ und bei der Furnierherstellung „Nutzteile“ entstehen. Beidesmal haben wir praktisch denselben Schneidvorgang vor uns.

Kombinierte Trennvorgänge

Unter dem Begriff des Schneidens und den vorstehend aufgezählten Schneidvorgängen verbergen sich freilich vielfach Elemente anderer mechanischer Trennarten, und stellen so – wenn auch das Schneiden meist vorherrscht – kombinierte Trennvorgänge dar. Trockene, spröde Getreidehalme werden im Schneidwerk der Mähmaschinen oft nur angeschnitten und brechen dann unter der Wirkung von Biegung an dem geschwächten Querschnitt durch, was an der Schnitt- bzw. Bruchfläche leicht zu erkennen ist.

Beim Glasschneiden sind die beiden Trennvorgänge Schneiden und Brechen sogar zeitlich getrennt: das Ritzen des Glases mit dem Diamanten ist der einleitende Schneidvorgang, bei dem feine Glasspäne entstehen, während das eigentliche Trennen des Glases durch Brechen längs des durch die Ritzkerbe geschwächten Querschnittes erfolgt.

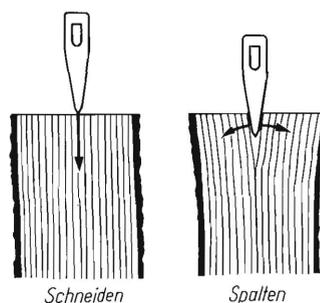


Bild 2. Das Spalten ist kein Schneidvorgang.

Die Schneide eilt während des eigentlichen Spaltens dem entstehenden Spalt nach, sie schneidet also nicht.

Während beim Axthieb senkrecht zur Holz- faser (z.B. beim Baumfällen) der Vorgang an der Axtschneide ein Schneidvorgang ist, ist beim Trennen des Holzes in Faserrichtung zwischen dem Schnitt der Axtschneide im ersten Augenblick des Eindringens in das Holz (Bild 2) und der Keilwirkung der Axtflanken, bei der die Axtschneide dem entstehenden Spalt naheilt, zu unterscheiden. Im

2) „fest“ ist hier im technischen Sinne, also vom Standpunkt der Elastizitätslehre aus, zu verstehen. Physikalisch ist dieser Begriff verschieden definiert worden und steht teilweise mit dem technischen im Widerspruch (Glas = „unterkühlte Flüssigkeit“).

letzteren Falle haben wir es mit einem mechanischen Spaltvorgang zu tun, bei dem die Schneidkante der Axt inaktiv ist, d.h. nicht schneidet.

Das Spalten des Holzes kann unerwünscht sein, wenn der „Spalt“ beim Schneiden in Faserrichtung anders als in der beabsichtigten Schnittrichtung verläuft. Um bei der Furnierherstellung ein Voreilen des Trennrisses zu verhindern und um glatte Furniere zu erhalten, drückt man das Holz vor der Messerschneide mit einer Druckleiste zusammen (vergl. auch Bild 44).

Die Schnittbedingungen

Die technologischen Eigenschaften und die makroskopische Gestalt der Schnittgüter sowie das Arbeitsziel (Trennen, Formen) und die geforderte Schnittgüte entscheiden das Schneidverfahren und die Form und Führung der Werkzeugschneiden.

Harte kristalline Stoffe mit geringer Plastizität müssen anders geschnitten werden als weiche, plastische; weiche plastische Stoffe anders als druckempfindliche organische Zellkörper mit hohem Wassergehalt. Körper mit geschichteter Struktur (z.B. Holz) müssen längs und quer zur Faser schneidtechnisch anders behandelt werden als homogene Stoffe und so fort.

In der Schneidtechnik hat man es mit Verformungen der festen bis zu den der nahezu flüssigen Stoffe sowohl homogener als auch struktureller Art zu tun. Die Erkenntnisse der Rheologie (Fliesskunde), der Lehre vom mechanischen Verhalten der deformierbaren Körper, werden daher beim Studium der Schneidvorgänge eine willkommene Hilfe sein.

Ebenso bestimmt die Gestalt der Körper das Schneidverfahren. In ein dünnes Blech wird man ein Loch stanzen, aus einem dicken, massiven Werkstück wird man ein Loch mit dem Spiralbohrer oder der Bohrstange herausschneiden. Eine ebene Fläche wird man mit dem Hobel oder einem Fräser herstellen, eine kreisrunde durch Drehen. Zum Beschneiden der Bäume wird man ein anderes Handwerkzeug benutzen als zum Beschneiden von Hecken.

Aber auch die Schnittgüte hat erheblichen Einfluss auf das Schneidverfahren. Rundeisen für Eisenbeton kann mit der Hebelschere auf Länge geschnitten werden, wobei stärkere Verformungen an den Schnittstellen ohne Bedeutung sind. Blanken Rundstahl für den Maschinenbau wird man sägen oder auf der Drehbank abstechen, um glatte Schnittflächen mit möglichst geringen Verformungserscheinungen zu erhalten. An die Schnittflächen von Getreidehalmen, die auf dem Felde gemäht werden, wird man gütemässig kaum Forderungen stellen, während man beim Beschneiden der Bäume mit Rücksicht auf den lebenden Holzteil eine glatte, unverformte Schnittfläche verlangt. Gütemässig weit höhere For-

derungen werden aber im Falle der Getreidehalme wie des Holzes gestellt, wenn von diesen Stoffen Mikrotomschnitte von einigen μ Dicke für mikroskopische Zwecke hergestellt werden sollen.

Mit diesen Beispielen soll nur das Problem von Seiten der Schnittguteigenschaften und der Schnittgüte angedeutet werden. Ein weiteres Problem ist die Wirtschaftlichkeit der Schneidverfahren. Man will mit möglichst wenig Kraft- bzw. Arbeitsaufwand als auch geringen Werkzeugkosten das Arbeitsziel erreichen. Die Werkzeuge sollen eine hohe „Standzeit“ haben, d.h. sie sollen ihre Schneidfähigkeit möglichst lange behalten. Die stumpf gewordenen Schneiden sollen nachschärfbar sein. Durch bessere Schneidwerkstoffe entstehen andere Verhältnisse zwischen diesem und dem Werkstoff des Schnittgutes, was oft genug eine Änderung der Schneidenform oder gar des ganzen Schneidverfahrens zur Folge hat.

Kurzum, die entwickelten Schneidverfahren, die Form und Führung der Schneiden, die Schneidgeschwindigkeit und andere Schnittbedingungen sind ein Kompromiss zwischen vielen Einflussgrößen; die heutigen Verfahren und Werkzeuge stellen den Niederschlag der Erfahrungen, die auf diesem Gebiet bis heute gemacht wurden, dar. Auf einigen Teilgebieten, so dem der Zerspanung, wurden durch systematische Untersuchungen Gesetzmässigkeiten erarbeitet, durch die die Verfahren erheblich verbessert werden konnten. Auf anderen Gebieten der Schneidtechnik herrscht noch reine Empirie.

Messerschnitt und Scherschnitt

Man kann beim Schneiden, äusserlich gesehen, zwei Schnittarten unterscheiden: das Schneiden mit einfacher Schneide und das Schneiden mit Gegenschneide.

Mit dieser Unterscheidung wird man jedoch nicht weit kommen, wenn man nicht noch eine Beobachtung hinzunimmt, dass nämlich beim Messerschnitt die Trennzone im allgemeinen in unmittelbarer Nähe der Schneidkante linienförmig durch das Schnittgut fortschreitet (Bild 3 und 4), während beim reinen Scherschnitt die Trennung durch Überschreiten des Formänderungsvermögens des Schnittgutes in einer Scherfläche erfolgt (Bild 5 und 6). Diese Scherfläche kann wie bei der Metallzerspanung mit dem Eindringen der Schneide periodisch entstehen (Bild 5), wobei die entstehende Bruchfläche nicht zugleich die Schnittfläche zu sein braucht. Beim Scherschnitt mit zwei gegenläufigen Schneiden (Bild 6) fällt die Bruchfläche im wesentlichen mit der beabsichtigten Schnittfläche zusammen.

Der Messerschnitt mit kleinem Keilwinkel wird erfolgreich nur bei weichen, verhältnismässig leicht verformbaren Stoffen (Fleisch, Holz, weiche Bunt-

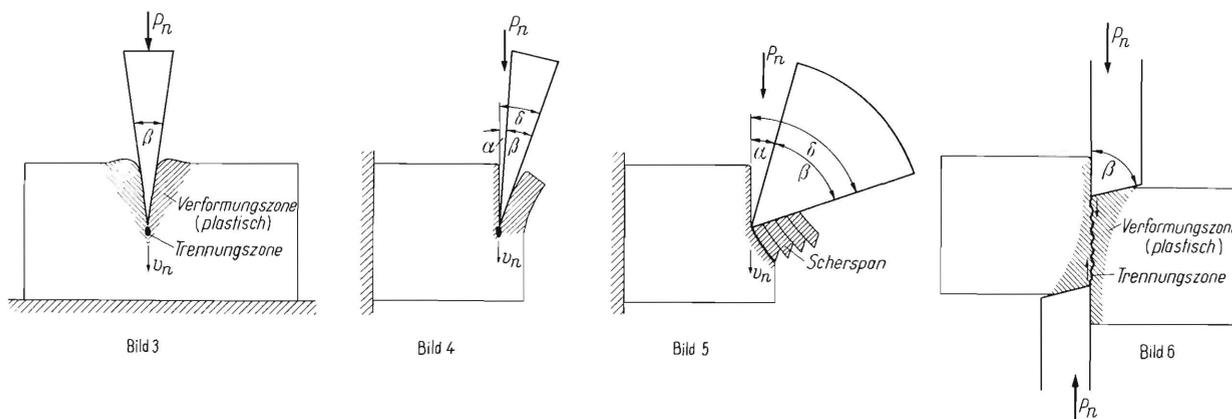


Bild 3 und 4. Messerschnitt (schematisch). Die linienförmige Trennungszone schreitet in Schnittrichtung fort. v in Schnittrichtung

Bild 5 und 6. Scherschnitt (schematisch). Infolge Überschreiten des Formänderungsvermögens des Schnittgutes erfolgt Trennung in einer Scherfläche. v in Schnittrichtung.

metalle) angewendet. Den reinen Scherschnitt findet man dagegen hauptsächlich bei der Stahlbearbeitung, aber auch bei der Bodenbearbeitung (Bild 7). Versuche von Rathje haben gezeigt, dass die Schneidvorgänge im Boden keine Sonderstellung einnehmen, sondern unter die plastischen Verformungsvorgänge allgemein fallen. Die in diesen lockeren Massen auftretenden Fließ- und Brucherscheinungen stimmen weitgehend mit denen bei der Zerspannung von Metallen überein [3]. Bei der Verarbeitung von weichen Stoffen geringer Dickenausdehnung wie Papier und Textilien, sind die Merkmale des Scherschnittes nur teilweise zu erkennen.

man mit dieser Unterscheidung zu einer Anzahl von Grundformen der Schneidwerkzeuge kommt, die einen technologischen Überblick über die Vielfalt der Erscheinungsformen gewährt. Bild 11 bis 17 stellen im wesentlichen Messerschnitte und Bild 18 bis 21 Scherschnitte dar.

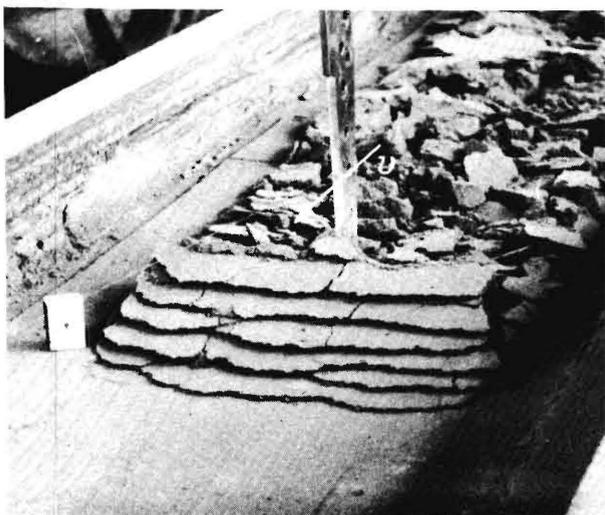


Bild 7. Schneiden von normalfeuchtem Sand mit schräggestelltem Schar (Schnittwinkel $\delta = 16$ bis 17°). Periodisches Abschern des Sandbodens über der „Spanfläche“ des Schares (nach Söhne [2]).

In Bild 11 haben wir den einfachen Messerschnitt gegen eine feste Unterlage (bzw. die Massenträgheit des Schnittgutes), bei dem beide Keilflächen beim Eindringen der Schneide mit dem Schnittgut in Berührung kommen. Beispiele: Küchenmesser, Hackmesser, Kuttermesser für Fleischzerkleinerung, Scheibensech an Pflügen, Stiftenmesser in Rübenschnidern, Sense.

Zum Unterschied zu diesem Fall kommt bei den Schneiden nach Bild 13 nur eine Keilfläche der Schneide mit dem Schnittgut in Berührung, während die andere unter dem Freiwinkel α gegen die entstehende Schnittfläche angestellt ist. Der Schnitt erfolgt am eingespannten oder unterlegten Schnittkörper. Beispiele: Spanabhebende Werkzeuge für Holz u.ä., Schälmesser, Mikrotommesser, Scheibenmesser für Schinken, Brot u.ä, Furniermesser, Messersech an Pflügen, Rübenköpfer, Rasiermesser, Locheisen.

Zwischen dem Messerschnitt nach Bild 4 und dem Scherschnitt nach Bild 5 ist naturgemäß keine scharfe Grenze zu erwarten. Die beiden Schnittarten gehen allmählich ineinander über, und es gibt Fälle, bei denen es schwer ist zu entscheiden, welche der beiden Schnittarten vorherrscht. Doch zeigt die Zusammenstellung von Bild 8 bis 21, dass

Bild 14 und 15 stellen Messerschnitte mit einer aktiven Messerschneide (a) und einer passiven Gegenschneide (b) dar; ein Gegenhalter (c) ist zur Aufnahme des Kippmomentes auf das Schnittgut bestimmt. Der schlanke Keil der Schneide (a) dringt in das Schnittgut ein, während die rechtwinklige Gegenschneide (b) nur als Unterlage, an der das aktive Messer mehr oder weniger eng vorbeigleitet, dient. Beispiel für das Bild 14: Mähmaschinen-Schneidwerk mit Klinge a (aktive Schneide), Fingerplättchen b (passive Gegenschneide) und Fingerzunge c (Gegenhalter) – siehe auch Bild 1. Beispiel für Bild 15: Scheibenradhacksler mit Messer a, Unterkante b des Mundstückes und Pressdeckel c.

3) Es werden die Begriffe und Benennungen der „Schneidstähle“ nach DIN 768 sinngemäß für alle Schneidwerkzeuge übernommen (s.a. Bild 23).

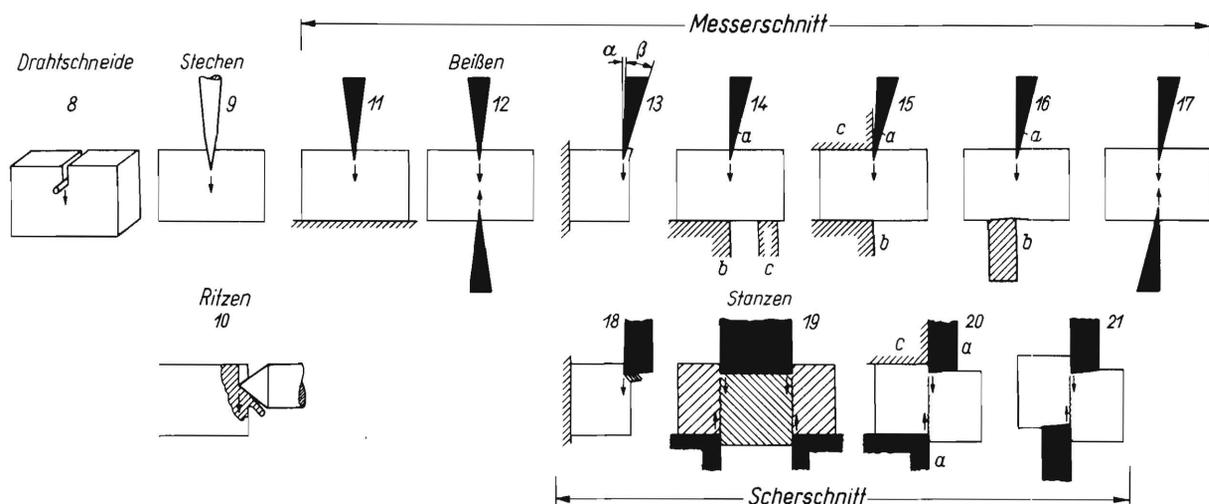


Bild 8 bis 21. Grundformen der Schneidwerkzeuge (schematisch). Die Pfeile geben die Schnittrichtung an.

Bild 11. Einfacher Messerschnitt. Beide Keilflächen dringen in das Schnittgut (Beispiele: Küchenmesser, Hackmesser, Seche, Sensen).

Bild 12. Beissen mit zwei Messerschneiden (Beispiele: Kneifzange, Schneidezähne).

Bild 13. Einfacher Messerschnitt. Nur eine Keilfläche kommt mit dem Schnittgut in Berührung (Beispiele: Spanabhebende Werkzeuge für Holz u.ä., Schälmesser, Mikrotommesser, Furniermesser, Rübenköpfer, Rasiermesser, Scheibenmesser für Schinken und dergl.). α Freiwinkel, β Keilwinkel.

Bild 14 bis 16. Messerschnitte mit aktiver (a) und passiver (b) Schneide, sowie einen Gegenhalter (c) für das Schnittgut (Beispiele: Bild 14 – Mähmaschinenschneidwerk; Bild 15 – Scheibenradhacksler; Bild 16 – Baumschere).

Bild 17. Messerschnitt mit zwei aktiven Schneiden. (Beispiel: Mähmaschinenschneidwerk mit zwei gegenläufigen Messern).

Bild 18. Einfacher Scherschnitt beim Zerspanen von Metall.

Bild 19 bis 21. Scherschnitte mit zwei Schneiden (Beispiele: Bild 19 – Lochstanzen; Bild 20 – Tafelschere; Bild 21 – Handscheren).

Sonderfälle des Schneidens:

Bild 8. Drahtförmige Schneide. Der Schneidenkeil ist zu einem (gespannten) Draht zusammengeschrumpft. (Beispiele: Teilen gekochter Eier, Schneiden von Lehmziegeln).

Bild 9. Stechen mit einer punktförmigen Schneide (Beispiele: Nadel, Pfriem, gezahnte Mähmesser Klinge).

Bild 10. Ritzen (mit und ohne Spanbildung) mit einer punktförmigen Schneide (Beispiele: Glasschneider, gezahntes Küchenmesser, Elementarvorgang des Schleifens).

Bei kleinen Schnittquerschnitten und geringem Schnittwiderstand kann auch ohne Gegenhalter nach Bild 16 geschnitten werden. Auch hier ist eine aktive Schneide *a* und eine passive Gegenschneide *b* vorhanden (Beispiel: Baumschere).

Bei Schneiduntersuchungen sollte man bei Vorrichtungen nach Bild 14 bis 16 nicht, wie es handwerklich geschieht, von Scherschnitt sprechen, sondern von einem Schneiden mit (passiver) Gegenschneide. Der eigentliche Scherschnitt ist in Bild 18 bis 21 dargestellt, und ist dadurch gekennzeichnet, dass beide Schneiden gleichzeitig in das Schnittgut eindringen, wobei die Trennung in einer Fläche durch Überschreiten der Scherfestigkeit erfolgt. Beispiel für Bild 19: Lochstanzen; für Bild 20: Tafelscheren für Blech; für Bild 21: Handscheren für Blech, Papier u.ä..

Erfolgt bei den spanabhebenden Werkzeugen für härtere Stoffe wie Stahl die Trennung nach Bild 18 durch Abschieben des Spanes in einer Scherfläche, so ist auch dieser Schnitt im obigen Sinne als Scherschnitt anzusprechen (s.a. den nächsten Abschnitt „Schneidenkeil“).

Das Beissen nach Bild 12 als auch das Schneiden mit zwei aktiven Messerschneiden nach Bild 17

sind keine Scherschnitte, sondern Messerschnitte, bei denen die beiden Schneiden im wesentlichen nach Bild 3 und 4 in das Schnittgut eindringen. Beispiel für Bild 12: Beisszange, Schneidezähne; für Bild 17: Mähmaschinen-Schneidwerk mit zwei gegenläufigen Messern.

Sonderfälle des Schneidens sind nach Bild 9 das Stechen mit einer punktförmigen Schneide (Beispiele: Nadel, Pfriem, gezahnte Mähmesserklingen) und nach Bild 10 das Ritzen mit einer kegelförmigen Spitze (Beispiele: Glasritzen, sowie der Elementarvorgang beim Schleifen). Wie die Schneide bei der Nadel zu einem Punkt, so kann der Schneidenkeil nach Bild 8 zu einer drahtförmigen „Schneidkante“ zusammenschrumpfen (Beispiele: das Schneiden von Lehmziegeln in der Strangpresse, das Teilen gekochter Eier in Scheiben mit parallel gespannten Stahldrähten von 0,3 mm ϕ).

Der Schneidenkeil

Nach dem Eindringen der Schneidkante in das Schnittgut treten je nach Führung der Schneide sehr bald auch die eine oder beide Keilflächen in Aktion, wobei diese je nach den Eigenschaften des Schnittgutes den Trennvorgang fördern oder hemmen können.

Eine hemmende Wirkung tritt z.B. beim Messerschnitt nach Bild 3 durch das plastische Verdrängen des Schnittgutes durch den Keilkörper, sowie durch Reibung und Adhäsion zwischen dem Schnittgut und den Keilflächen ein. Der Schnittwiderstand, der sich beim Eindringen der Schneide einstellt, ist gleich der Summe aus dem Eindringwiderstand der Schneidkante, dem Verformungswiderstand des Schnittgutes gegen das Eindringen des Schneidenkeiles und den Reibungs- und Adhäsionskräften an den Keilflächen.

Bei plastisch-viskosen⁴⁾ und kolloiddispersen⁵⁾ Stoffen kann die Adhäsion an den Keilflächen den grössten Anteil am Gesamtschnittwiderstand haben und grösser sein als die Kohäsion im Schnittgut, wodurch das Schnittgut an den Keilflächen klebt und sich u.U. der Schnittgutverband ausserhalb der Schnittfläche auflöst. Um dies zu verhindern, netzt man vor dem Schneiden z.B. von Butter, Buttercremetorte u. dgl., die Keilflächen mit Wasser. Eine radikalere Lösung bei solchen Stoffen ist, die Keilflächen in geeigneten Fällen ganz wegzulassen und nur mit der „Schneidkante“ in Form eines dünnen Drahtes zu schneiden (z.B., wie bereits erwähnt, bei plastischem Ziegelteig; in der Küche wird gekochter Mehlteig mit einem gespannten Leinenfaden geschnitten, im übrigen ein Beispiel, dass der Schneidwerkstoff nicht immer Stahl zu sein braucht).

Bei den Messerschnitten nach Bild 3 wird also mindestens bei den leichter deformierbaren Schnittgütern das Eindringen des Keiles die Schnittwirkung kaum unterstützen, sondern den eigentlichen Schnittvorgang nur erschweren. Bei einigen Schnittgütern von verhältnismässig geringer Festigkeit und Plastizität, z.B. hartem Brot, kann beim Schneiden auf einer Unterlage nach einer gewissen Eindringtiefe des Schneidenkeiles eine Keilwirkung den Trennvorgang an der Schneidkante durch Aufkeilen unterstützen, was an dem oft plötzlich eintretenden Trennbruch zu beobachten ist. Aber hier haben wir es bereits wieder mit einem kombinierten Trennvorgang Schneiden – Keilen zu tun.

Bei den Messerschnitten nach Bild 3 wird man den Keilwinkel so klein wie möglich machen, um die plastischen Verformungen und damit die daraus resultierenden Verformungs- und Reibungskräfte zu verringern. Ein gewisser, dem Schnittgut angepasster Keilwinkel kann aber auch hier mit Rücksicht auf die Festigkeit der Schneide zur Aufnahme des Schnittdruckes nicht unterschritten werden.

Bei den Messerschnitten nach Bild 4 wird die ungünstige Wirkung der einen Keilfläche durch den Freiwinkel α ausgeschaltet; es ist nur die sogenannte Spanfläche mit dem Schnittgut in Berührung. Diese Fläche wird zur Leitfläche für den abgetrennten „Span“, wobei je nach den plastischen Ei-

genschaften auch zusätzliche Biegespannungen in der Trennzone den Schneidvorgang unterstützen können.

Beim Scherschnitt nach Bild 5 hat aber, im Gegensatz zu dem Fall in Bild 4, die Spanfläche eine primäre Aufgabe bei Einleitung des Trennvorganges, indem sie als Druckfläche so hohe Schubspannungen im Schnittkörper erzeugt, dass es zur Trennung durch Abscheren längs einer Scherfläche kommt.

Wie bereits erwähnt, ist naturgemäss zwischen dem Messerschnitt nach Bild 4 und dem Scherschnitt nach Bild 5 keine scharfe Grenze zu ziehen, da je nach der Plastizität und Festigkeit des Schnittgutes die Spanfläche von der Aufgabe als Leitfläche stetig in die einer Druckfläche übergeht.

So gesehen kann man sagen, dass der reine Messerschnitt ein Schneiden im engeren Sinne, der Scherschnitt ein Schneiden im weiteren Sinne ist.

Da das Schneiden oft nur unter dem Blickwinkel der Zerspanbarkeit der Metalle gesehen wird, sind die entsprechenden Schneidtheorien begrifflich auch auf diese Schneidverfahren ausgerichtet. Bei der Zerspannung von Werkstoffen ist das vor der Schneidkante entstehende Spannungsfeld in seinem Ausmass von der Form und Führung der Schneide, der Schnittgeschwindigkeit und den Eigenschaften des Schnittgutes abhängig. Man unterscheidet bei der Zerspannung drei, unter der Einwirkung dieser Spannungen entstehende Spanarten [4]:

- den Fliessspan,
- den Scherspan und
- den Reisspan.

Unter der obigen Einschränkung, dass es eine scharfe Abgrenzung zwischen dem Messerschnitt und dem Scherschnitt nicht geben kann, entsteht also im wesentlichen beim Messerschnitt der „Fliessspan“ und beim Scherschnitt der „Scherspan“. Beide Schnittarten setzen dabei ein plastisch verformbares Schnittgut voraus.

Bei spröden Werkstoffen gibt es nur elastische Formänderungen; eine Trennung kann also nur durch Bruch infolge elastischer Formänderungen herbeigeführt werden. Der „Reisspan“ tritt bei spröden Werkstoffen wie Gusseisen, Hartguss, Porzellan u. dgl. auf, für die der Spanwinkel meist gleich Null oder gar negativ ist. Die einzelnen Werkstoffteilchen werden unter der Wirkung der elastischen Verformungen beinahe explosionsartig abgesprengt; die Risse eilen der Abtrennung voraus, oft sogar in den Werkstoff hinein. Die Schnittoberfläche ist unglanz und rau wie bei Gussbruch. Hier haben wir es bereits mit einem Übergang des Schneidvorganges zu dem Bruchvorgang bei der Hartzerkleinerung zu tun [5]. Es lässt sich naturgemäss – wie zwischen dem Fliess- und dem Scherspan – eine genaue Grenze zwischen dem Scher- und dem Reisspan nicht angeben.

4) z.B. Fleisch, Butter 5) z.B. Lehm

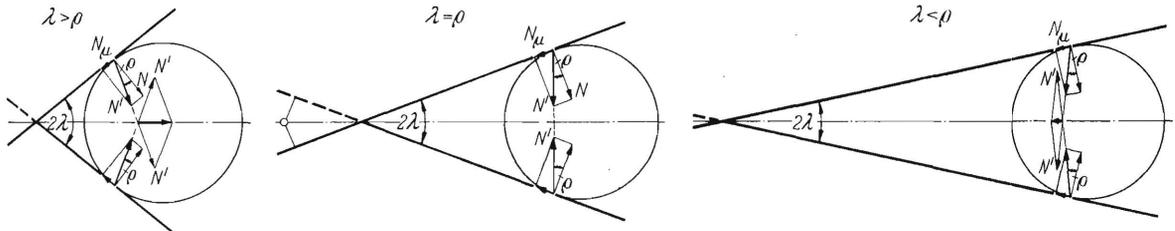


Bild 22. Abhängigkeit des grössten Öffnungswinkels 2λ einer Schere von der Reibung zwischen den Scherblättern und dem Schnittgut. Ist $\lambda > \rho$, so wird das Schnittgut aus der Scheröffnung gedrängt; ist $\lambda \leq \rho$, so wird das Schnittgut von den Scherblättern festgehalten.

ρ = Reibungswinkel für Stahl auf dem betreffenden Schnittgut.

Was die Reibungskräfte anbetrifft, so ermöglichen diese in manchen Fällen, z.B. bei den Scheren, erst das Zustandekommen eines Schnittes. Der halbe Öffnungswinkel λ zwischen den Schneiden einer Schere darf nicht grösser als ρ werden (Bild 22), wobei ρ der Reibungswinkel zwischen Scherkante und Schnittgut bedeutet. Ist $\lambda > \rho$, so gleitet das Schnittgut, ohne geschnitten zu werden, infolge der nach aussen gerichteten Kraft N' aus der Öffnung der Schere. Ist $\lambda \leq \rho$, so wird das Schnittgut von der Kraft N' festgehalten. Die gekrümmten Schneiden der Handscheren sind unter diesen Gesichtspunkten entstanden.

Die Reibungskräfte in den Keilflächen können aber auch so gross werden, dass ein Messerschnitt nach Bild 3 nicht ausgeführt werden kann. Beim Schneiden von Gummi z.B. muss man die Keilflächen der Schneide mit Glycerin schmieren, damit ein Messerschnitt ausgeführt werden kann.

Die Schneidenwinkel

Die Form und die Führung der Schneiden sind durch die Schneidenwinkel festgelegt. Der Keilwinkel β wird durch die beiden aufeinander zulauenden Keilflächen gebildet (Bild 23). Durch die Führung der Schneide, die durch die Schnitttrichtung gegeben ist, ergeben sich der Freiwinkel α , der Spanwinkel γ ($= 90^\circ - \delta$), der Schneidwinkel δ ($= \alpha + \beta$) und der Neigungswinkel λ (Bild 23). Der Freiwinkel α wird negativ bei allen Werkzeugen nach Bild 3 (vergl. auch Bild 40, 45, 46, 48, 49, 55 und 58), aber auch der Spanwinkel γ kann negativ werden (Bild 24). Die Winkel α, β, γ und δ liegen⁶⁾ in einer Querschnittsebene I – I durch den Schneidenkeil senkrecht zur Schneidkante.

Der Neigungswinkel λ liegt in der durch die Schneide und die Schnitttrichtung gebildeten Ebene II – II (senkrecht auf I – I). Der Komplementwinkel zu dem Winkel, den die Schnitttrichtung mit der Schneidkante bildet, ist der Neigungswinkel λ . Man kann auch sagen, die Schneide ist um den Winkel λ zu einer auf der Schnitttrichtung senkrecht stehenden Schneide geneigt. Auf die Bedeutung des Neigungswinkels λ wird bei der Besprechung des ziehenden Schnittes näher eingegangen werden.

Um einen gewissen Einblick in die Abhängigkeit der Schneidenform und -führung von den Schnittbedingungen (s.oben) zu geben, sind in Bild 24 bis 62 die Schneidenwinkel α, β, γ und δ einiger typischer Vertreter von Werkzeugschneiden zusammengestellt. Es sind Werkzeugschneiden für kristalline Schnittstoffe (Bild 24 bis 36 und 58 bis 60), für pflanzliche und tierische Schnittgüter (Bild 41 bis 57, 61 und 62) sowie Werkzeugschneiden für Ackerböden, deren Plastizität mit dem Wassergehalt und dem Gehalt an kolloiddispersen Substanzen (Lehm) stark wechselt, vertreten.

Betrachtet man zuerst die Schneidstähle für die zerspanende Metallbearbeitung für sich allein, so stellt man fest, dass je grösser die Festigkeit des Schnittgutes, umso grösser auch der Keilwinkel β des Werkzeuges zur Aufnahme des Schnittdruckes ist. Der grosse Keilwinkel spielt bei der Metallzerspanung auch hinsichtlich der erhöhten Wärmeabfuhr eine Rolle. Ein möglichst grosser Spanwinkel γ bleibt trotzdem wegen der geringeren Verformung und Stauchung des Spanes und des damit verbundenen guten Spanabflusses erstrebenswert.

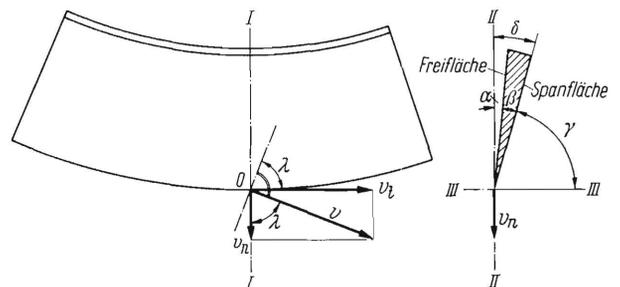


Bild 23. Schneidenwinkel der Schneidwerkzeuge und die Zügigkeit eines Schnittes.

In der Ebene I–I:

- Freiwinkel α zwischen der Schnittfläche des Körpers und der Freifläche des Werkzeuges,
- Keilwinkel β zwischen Frei- und Spanfläche des Werkzeuges,
- Spanwinkel γ zwischen der Senkrechten auf der Schnittfläche des Körpers und der Spanfläche des Werkzeuges,
- Schneidwinkel $\delta = \alpha + \beta$
- $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$

In der Ebene II–II:

- Neigungswinkel λ zwischen der ziehenden und der (gedachten) nur drückenden Schneidkante,
- v resultierende Geschwindigkeit in der Hauptschnitttrichtung,
- v_t Komponente tangential zur Schneide (ziehende Bewegung),
- v_n Komponente senkrecht zur Schneide (drückende Bewegung),
- $v_t/v_n = \text{tg } \lambda$ Zügigkeit des Schnittes.

6) abweichend von der Definition für Drehstähle in DIN 768.

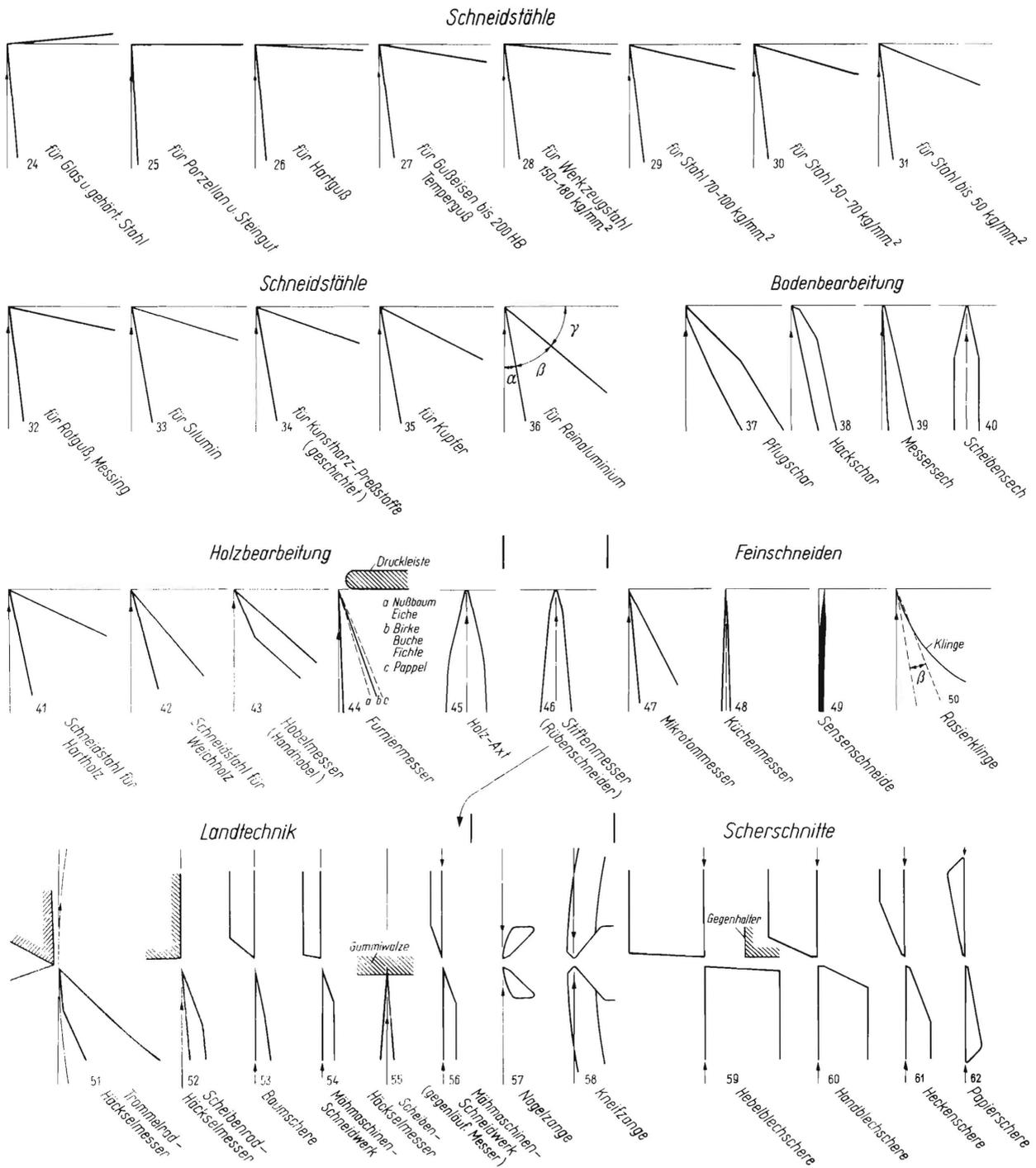


Bild 24 bis 62. Die Schneidwinkel einiger typischer Werkzeugschneiden für pflanzliche, tierische und technische Schnittgüter sowie die Bearbeitung von Ackerböden (natürliche Größe).

Die Pfeile geben die Schnittrichtung an. Die Schneidwinkel der Schneidstähle sind der „Betriebsstätte“ Bd. I, 1954, S. 212/213, entnommen.

Eine weitere Verringerung des Keilwinkels β mit kleiner werdendem Schnittdruck kann man über die Schneiden für Holzbearbeitung (Bild 41 bis 44), die Schneiden für die weicheren landwirtschaftlichen Schnittgüter (Bild 51 bis 56) bis hin zu den Feinschneiden (Bild 47 bis 50) verfolgen.

Man wird also sagen können, dass man den Keilwinkel β mit Rücksicht auf den Eindringwiderstand grundsätzlich so klein als möglich machen wird, aber mindestens so groß, dass die Festigkeit des Schnei-

denkeiles dem entstehenden Schnittdruck und etwaiger Querkräfte ohne Ausbrechen der Schneidkante standhält. Werkzeuge für weiche Schnittgüter werden also kleine Keilwinkel und Werkzeuge für harte Stoffe große Keilwinkel haben müssen. Dass der Schnittdruck und damit die Größe des Keilwinkels nicht nur von den Eigenschaften des Schnittgutes allein, sondern auch von der Gestalt des Schnittkörpers und der Schnittgeschwindigkeit abhängt, sei der Vollständigkeit halber erwähnt. Ein-

zelstehende Getreidehalme, die mit der Sense (Bild 49) gemäht werden, ergeben einen kleineren Schnittdruck (vor allem auch quer zur Schneide), als wenn sie zusammengefasst bei höherer Geschwindigkeit im Schneidwerk der Mähmaschinen (Bild 54) oder gar in der Häckselmaschine (Bild 51) geschnitten werden. Dementsprechend gross sind auch die jeweiligen Keilwinkel der Schneiden (10°, 21° bzw. 40°).

Für die Abhängigkeit des Keilwinkels von dem Schneidenwerkstoff bringt *Krekeler* [6] ein Beispiel für Werkzeuge aus Schnellstahl, Hartmetall und Diamant, wie sie bei der Zerspaltung von Aluminium üblich sind (Bild 63). Bei Schnellstahl ist der grosse Spanwinkel günstig, da der Keilwinkel infolge der grossen Zähigkeit des Schnellstahles sehr klein sein kann. Hartmetall neigt wegen seiner grossen Sprödigkeit zur Ausbröckelung und muss deshalb einen grossen Keilwinkel haben. Bei Diamant muss der Keilwinkel noch grösser sein; da die Spanquerschnitte und damit der Schnittdruck klein sind, kann der Spanwinkel in diesem Falle gleich Null gewählt werden.

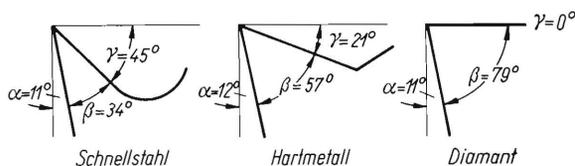


Bild 63. Vergleich der Schneidenwinkel an Werkzeugen aus Schnellstahl, Hartmetall und Diamant für die Zerspaltung von Aluminium (nach *Krekeler* [6]).

Der Freiwinkel α ist bei weichen Schnittgütern meist Null oder gar negativ. Er beträgt bei härteren Schnittgütern bis 14°, damit die Berührungsstelle und damit die Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück möglichst klein wird.

Normalschnitt und ziehender Schnitt

Neben den beiden besprochenen Schnittarten „Messerschnitt“ und „Scherschnitt“, die von der Betrachtung der Schneidwirkung in einer Querschnittsebene der Schneide ausgehen, unterscheiden wir noch nach der Führung der Schneiden in der Schnittfläche den drückenden und den ziehenden Schnitt.

Wird eine Schneide eines Werkzeuges nicht nur senkrecht zu ihrer Schneidkante, sondern auch noch zusätzlich in Richtung ihrer Schneidkante bewegt, so sprechen wir von einem ziehenden Schnitt. Den Schnitt senkrecht zur Schneidkante nennen wir den Normal- oder drückenden Schnitt.

Der ziehende Schnitt ist umso zügiger, je grösser die ziehende gegenüber der drückenden Bewegung ist. Ist v die resultierende Geschwindigkeit eines Schneidenpunktes O (Bild 23), v_t die Komponente in tangentialer und v_n die Komponente in senkrechter Richtung zur Schneidkante, so lässt sich die Zügigkeit

des Schnittes als das Verhältnis $v_t/v_n = \tan \lambda$ ausdrücken.

Bei grosser Zügigkeit ($\lambda > 45^\circ$, $v_t/v_n > 1$) besteht die besondere Wirksamkeit des ziehenden Schnittes in einer „Feinsägen“-Wirkung⁷⁾ der mikroskopisch feinen, von den Schleifriefen der Keilflächen herührenden Schartenspitzen längs der Schneidkante. Diese Feinsägenwirkung kommt hauptsächlich bei weichen Schnittgütern zur Geltung, da die Spitzen bei härteren Schnittstoffen rasch verlorengehen.

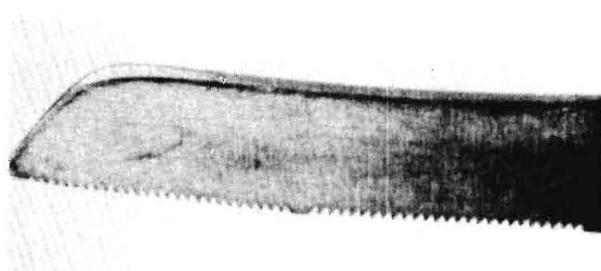


Bild 64. Schneide einer gezahnten Messerklinge für druckempfindliche Schnittgüter.

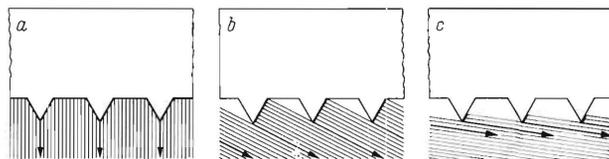


Bild 65. Feinsägenwirkung einer gezahnten Messerklinge.
a Beim Schnitt senkrecht zur Schneide keine Ritzwirkung
b Ist die Schnittrichtung geneigt zur Schneide, dann verkürzt sich die aktive Schneidenlänge; Erhöhung des Flächendruckes an den Zähnen bei gleichem Gesamtschnittdruck.
c Bei sehr grosser Zügigkeit dringen die Zahnspitzen bereits bei einem sehr kleinen Gesamtschnittdruck ein (wichtig bei druckempfindlichem Schnittgut, z.B. Tomaten).

Für weiche, druckempfindliche Schnittgüter (weiche Wurst, Tomaten, frisches Brot) hat man in Erkenntnis dieser besonderen Wirkung gezahnte Klingen (Bild 64) herausgebracht. In Bild 65 ist das Ritzen der Zähne, die im wesentlichen in der Erhöhung des Flächendruckes an den Zahnspitzen bei gleichzeitig kleinem Gesamtschnittdruck besteht, schematisch dargestellt. Es ist leicht einzusehen, dass die Zügigkeit des Schnittes sehr gross sein muss, um diese Feinsägenwirkung zu erzielen.

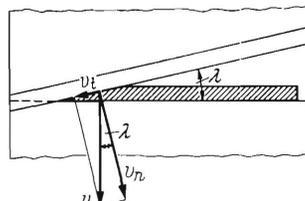


Bild 66. Schrägschnitt bei grossen Schnittlängen zum Kraftausgleich.

Bei Blechen, Pappe und dergl., also bei Körpern, deren Schnittlänge gross ist im Verhältnis zur Schnitthöhe, erreicht man schon durch einen kleinen Schnittwinkel (Bild 66) eine erhebliche Verminderung

7) Es ist wohl im wesentlichen ein Ritzen bzw. ein Sägen ohne Spanbildung.

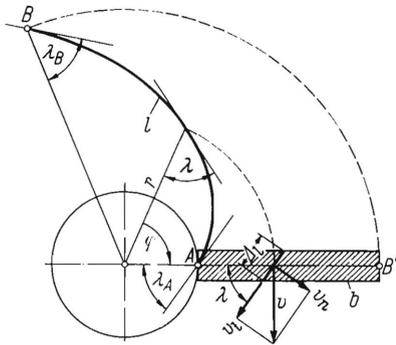


Bild 67. Schneidwerk eines Scheibenradhäckslers.
l aktive Messerschneide
b passive Gegenschneide des Mundstückes

zung der maximalen Schnittkraft gegenüber einem Normalschnitt mit dem Neigungswinkel $\lambda = 0$. Dieser Kraftausgleich bei kleinem Neigungswinkel der Schneide hat jedoch nichts mit der Schnittdruckverminderung durch die „Feinsägenwirkung“ sehr zügig geführter Schneiden zu tun. Aber auch hier gibt es Übergänge, wie beispielsweise den Scheibenradhäckslers in Bild 67, bei dem sowohl die „Feinsäge“, als auch der Kraftausgleich zur Wirkung kommt.

Zu der Schnittkraftverminderung beim ziehenden Schnitt durch die „Verjüngung“ des Keilwinkels und die Änderung der Reibungsverhältnisse in den Keilflächen ist früher bereits Stellung genommen worden [1].

Die Schneidkante

Die Feinheit einer Schneide ist nicht, wie manchmal irrtümlich angenommen wird, durch einen kleinen Keilwinkel β gekennzeichnet, sondern durch die mikroskopische Feinheit, bis zu der dieser Winkel erhalten ist. In Bild 68 und 69 ist die extrem grobe Schneide eines Messersechses für die Bodenbearbeitung mit einem Keilwinkel $\beta = 10^\circ$ (s.a. Bild 39) und die extrem feine Schneide einer Rasierklinge mit dem gleichen Keilwinkel $\beta = 10^\circ$ (s.a. Bild 50) vergrößert übereinander gezeichnet, um in drastischer Weise die Besonderheit einer Feinschneide zu charakterisieren. Beide Schneiden sind bezüglich des ihnen zugeordneten Schnittgutes (Ackerboden bzw. Barthaare) als „scharfe“, d.h. schneidfähige Schneiden anzusprechen, trotzdem die grobe Sechschneide einen Abrundungshalbmesser von rund 0,5 mm gegen einen solchen der Rasierklinge von nur etwa 0,5 μ hat. Erst in der 500-fachen Vergrößerung ist bei der Rasierklinge eine Abrundung der Schneidkante zu erkennen (Bild 70). Vergewahrtigt man sich, dass der Abrundungsdurchmesser der Sechschneide in dieser Vergrößerung bereits einen halben Meter beträgt, so erkennt man an diesen beiden absichtlich extrem gewählten Beispielen, wie gross der Unterschied des Feinheitsgrades der Schneiden sein kann.

Die Schneidfähigkeit einer Schneide ist also keine nur von der Form der Schneide abhängige, ab-

solute Grösse, sondern eine relative, auf das jeweilige Schnittgut bezogene Grösse (mit der für die Bearbeitung des Bodens scharfen Sechschneide kann man sich nicht rasieren).

Schneidfähigkeit und Schneidhaltigkeit

Bei der Arbeit verlieren die Schneiden allmählich durch Verschleiss ihre Schneidfähigkeit – sie werden stumpf. Die Schnittkraft wird grösser, die Führung der Schneide schwieriger und die Güte der Schnittoberflächen schlechter. Je schneller bei einem bestimmten Schnittgut die Schneidfähigkeit einer Klinge durch Verschleiss abnimmt, um so geringer ist ihre sogenannte Schneidhaltigkeit (in der Metallzerspanung als „Standzeit“ definiert).

Wenn man einmal von den sehr groben Schneiden für die Bodenbearbeitung absieht, so liegen die Schneidkanten der technisch wichtigen Schneiden einschliesslich ihres Rückganges durch Verschleiss bis zum völligen Stumpfwerden in einem Bereich von 0 bis 0,3 mm (siehe schraffiertes Gebiet in Bild 69). Bei Feinschneiden ist der Bereich wesentlich kleiner und liegt z.B. bei Rasierklingen zwischen 0 und 4 μ (einschl. des Schneidenrückganges durch Ver-

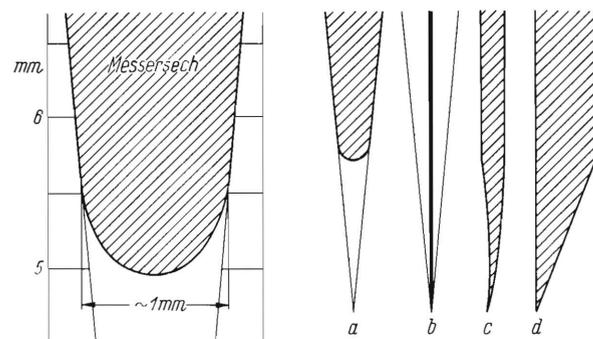


Bild 68. Vergleich der makroskopischen Form von vier verschiedenen Schneiden (Vergrößerung 4:1).

- a Sechschneide
- b Rasierklinge
- c Sensenschneide
- d Mähmesser Klinge

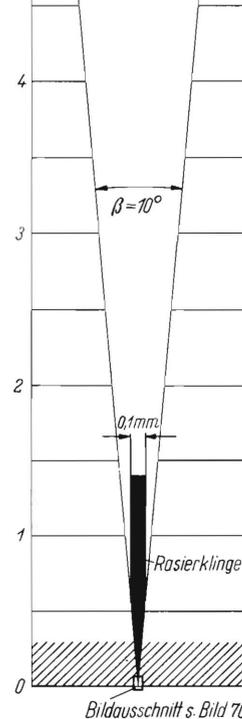


Bild 69. Die makroskopische Form einer sehr groben und einer sehr feinen Schneide mit einem Keilwinkel $\beta = 10^\circ$ (Vergrößerung 20:1).

Bildausschnitt s. Bild 70



Bild 70 (links). Die Mikroform einer neuen Rasierklinge (Vergrößerung 500:1, vergrößerte Wiedergabe des Ausschnittes in Bild 69). Im vordersten Teil der Schneide ist die Lämpfase auf einer Keillänge von etwa $20\ \mu$ zu erkennen.

Keilwinkel $\beta = 10^\circ$ Abrundungshalbmesser etwa $0,5\ \mu$

Bild 71 (Mitte). Mikroform einer Sensenschneide nach Bild 68c, mit dem Wetzstein geschärft (Vergrößerung 500:1). Unterseite des Sensenblattes rechts im Bilde.

Makrokeilwinkel $\beta = 8^\circ$ Mikrokeilwinkel $\beta = 37^\circ$

Bild 72 (rechts). Mikroform einer neuen Mähmesser Klinge nach Bild 68d (Vergrößerung 500:1).

Keilwinkel $\beta = 21^\circ$

Die wellige Schnittkante des Keiles links im Bilde rührt von den Schleifriefen auf der Klingeunterseite her, die in einem spitzen Winkel zu der Schneide verlaufen. Die Schleifriefen auf der Fase rechts im Bilde verlaufen senkrecht zur Schneidkante, daher ist die Schnittkante der Faserfläche im Bilde gerade.

In den Querschnitt der neuen Klinge ist die Keilform (weisse Umrisslinie) der abgenutzten Schneide nach 16,5 Std. Mähzeit eingezeichnet. Rückgang der Schneidkante etwa $130\ \mu$.

schleiss). Bei der Mähmesser Klinge nach Bild 72 wurde nach 16,5 Stunden Mähzeit im Roggen ein Schneidenrückgang von $\sim 130\ \mu$ gemessen⁸⁾. Die Sensenschneide (Bild 71), die ohne Gegenschneide frei schneidet, wird bei einem sehr viel geringeren Schneidenrückgang als die Mähmesser Klinge „stumpf“ sein, was durch das häufige Nachschärfen der Sense mit dem Wetzstein bestätigt wird.

Wenn man mit Schneidwerkzeugen Versuche durchführt, so taucht sehr bald die Frage auf, wie scharf ist eine bestimmte Versuchsschneide oder, nachdem sie eine gewisse Zeit gearbeitet hat, wie stumpf ist sie geworden. Man kann diese Frage indirekt

durch ein Testverfahren zu beantworten versuchen, indem man mit der Versuchsschneide ein Testschnittgut, z.B. geschichtete Papierblättchen [7] oder Zelluloidfilme [8] vor, während und nach dem Versuch schneidet und aus dem Schnitterfolg Schlüsse auf den Zustand der Schneide zieht.

Dabei ergeben sich mehrere grundsätzliche Schwierigkeiten: die Schneidfähigkeit ist, wie bereits erwähnt, eine relative, von den Eigenschaften des Schnittgutes abhängige Grösse. Beispielsweise kann eine Mähmesser Klinge beim Grasschnitt stumpf geworden sein, während sie danach im Getreide noch stundenlang zur Zufriedenheit arbeitet. Dieselbe Klinge ist also stumpf und scharf zugleich, je nachdem ob man Gras oder Getreide mit ihr schneiden will. Die Schneidfähigkeit ist ausserdem in erheblichem Masse von der Führung der Schneide abhängig: der Schnitt einer gebrauchten Rasierklinge

8) Bei der Betrachtung der stark vergrößerten Schneiden nach Bild 70 bis 72 muss man sich, um keine falschen Rückschlüsse zu ziehen, die Grössenordnung der Bildausschnitte an Hand des beigegebenen Massstabes vergegenwärtigen. Die wirkliche Länge der in den Bildern gezeigten Keilstücke beträgt nur $2/10\ \text{mm}$, gibt also nur den äussersten Teil der Schneidkante wieder.

kann in senkrechter Richtung zur Schneide unbefriedigend sein, während die Klinge im zügigen Schnitt noch durchaus schneidfähig ist.

Vor allem aber kann der Beurteilung der Schneidfähigkeit nicht eine bestimmte, sondern es müssen je nach dem Arbeitsziel verschiedene, oft schwer zu definierende „Messgrößen“ zugrundegelegt werden.

Der einfachste Fall scheint der zu sein, die Schneidfähigkeit nach dem Trennerfolg am Schnittgut („geschnitten“ oder „nicht geschnitten“) zu beurteilen. Der Schnitter beurteilt z.B. die Schneidfähigkeit einer Sense danach, ob bei einem Hieb sämtliche Halme einwandfrei geschnitten wurden, oder ob die Schneide einzelne Halme nicht mehr angegriffen hat und diese Halme ungeschnitten stehen geblieben sind. Bei der Grasmähmaschine führen diese ungeschnittenen Halme zu Verstopfungen des Schneidwerkes [9]. Bei Schneidversuchen an Einzelhalmen kann man diese Beurteilungsart der Schneidfähigkeit statistisch unterbauen und durch Einführen weiterer Beurteilungsklassen („glatt geschnitten“, „geschnitten“, „teilweise geschnitten“, „nicht geschnitten“) noch mehr differenzieren [10]. Die Abgrenzung der Klassen bleibt aber schwierig und die Beurteilung der Fälle mehr oder weniger subjektiv gefärbt.

Trotzdem wird in der Praxis die Notwendigkeit der Nachschärfung sehr oft nach solchen optischen Gesichtspunkten entschieden, und dies umso mehr, je höhere Anforderungen an die Güte der Schnittoberfläche gestellt werden. Wir denken dabei an den hohen Feinheitsgrad, der von den Oberflächen eines Mikrotomschnittes für mikroskopische Untersuchungen oder von den Metalloberflächen bei der Feinstbearbeitung durch Zerspanung verlangt wird. Die „Technische Oberflächenkunde“ versucht die Beschaffenheit der Oberflächen auch zahlenmässig zu erfassen [11]. Der Trennerfolg und die Güte der Schnittoberfläche bleiben aber messtechnisch schwierig zu erfassende Beurteilungsgrößen der Schneidfähigkeit einer Schneide.

Dagegen ist messtechnisch verhältnismässig einfach, die Grösse der Schneidkraft und des Schnittarbeitsbedarfes zu erfassen. Sehr oft werden diese zur Beurteilung der Veränderung der Schneidfähigkeit durch den Verschleiss während der Arbeit herangezogen. Wenn die Schneidkraft ohne Veränderung des Schneidvorganges und an dem Originalschnittgut festgestellt wird, ist sie eine wertvolle Kenngrösse bei der Durchführung von Schneidversuchen. Bei Verwendung eines Testschnittgutes ist aus den angeführten Gründen grösste Vorsicht bei der Deutung der Ergebnisse geboten und das umso mehr, je mehr der Teststoff technologisch von dem Originalschnittgut abweicht.

Eine weitere Kenngrösse für die Schneidfähigkeit ist die mikrogeometrische Form der Schneid-

kante und deren Veränderung durch den Verschleiss bei der Arbeit. Es liegt nahe, die Feinheit der Schneidkante, d.h. ihre mikrogeometrische Form sowie ihre Veränderung während der Arbeit festzustellen und sie in eine einfache Beziehung zum Schnitterfolg zu bringen. Aber wenn es schon schwierig ist, die mikrogeometrische Form der technischen Oberflächen messtechnisch zu erfassen und darzustellen [11], wieviel schwieriger ist dies bei räumlichen Gebilden, wie es die Schneidkante darstellt.

Wallichs und Hunger [12] haben durch ein Messverfahren die Veränderung der Meisselschneiden auf der Freifläche erfasst, indem sie die sogenannte Verschleissmarkenbreite e gemessen (Bild 73) und in Beziehung zur Drehbarkeit von Leichtmetallen gebracht haben. Die Verschleissmarke ist aber eine Erscheinung an Drehmeisseln für Leichtmetalle und tritt bei anderen Schneidwerkzeugen in dieser Form nicht auf. Dieses Messverfahren lässt sich also auf andere Schneidwerkzeuge nicht ohne weiteres übertragen.

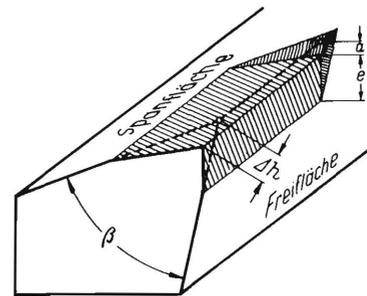


Bild 73. Normalschnitt durch die abgenutzte Drehmeisselschneide nach längerer Drehdauer [12].

- a Schneidkantenversetzung auf der Freifläche
- e Verschleissmarkenbreite auf der Freifläche
- Δh Schneidkantenrückgang durch Verschleiss

Der Schneidkantenrückgang Δh bzw. a wurde gelegentlich auch mittels einer auf dem Werkzeughalter eingespannten Messlupe gemessen. Man findet jedoch selten Angaben über diese Messgrösse in Abhängigkeit von der Schneiddauer, Schnittgeschwindigkeit od. dgl. dargestellt.

Mit der Nadel des Oberflächenmessgerätes nach Forster [13, 14] lässt sich mit hoher Genauigkeit die Rauigkeit von Oberflächen abtasten und als überhöhte Profilkurven registrieren. Dasselbe Gerät kann auch zum Messen der Schartigkeit von Werkzeugschneiden [15, 16] mit Hilfe einer Saphirmessschneide verwendet werden. Zum Messen des Schneidkantenrückganges eignet sich jedoch dieses Gerät nicht.

Die Schartigkeit einer Schneide lässt sich auch mikroskopisch als Schattenriss im Durchlicht darstellen und vermessen; dieses Verfahren hat gegenüber dem Forsterschen Verfahren allerdings den Nachteil des begrenzten Sehfeldes.

Ermittlung der Schneidenform und des Schneidenverschleisses

Bei den in der Landtechnik üblichen Schneidwerkzeugen mussten wir bei der Ermittlung der mikroskopischen Form der Schneidkante und deren Veränderung bei der Arbeit eigene Wege gehen, weil sowohl die Schartigkeit als auch der Schneidenrückgang bis zehnmal so gross wie bei der Zerspanung sein kann, und die Messverfahren dieser Grössenordnung angepasst werden mussten. Bei der Hochzüchtung der Verfahren ergab sich im Verlauf der Arbeiten, dass sie auch für wesentlich feinere Schneiden Anwendung finden können.

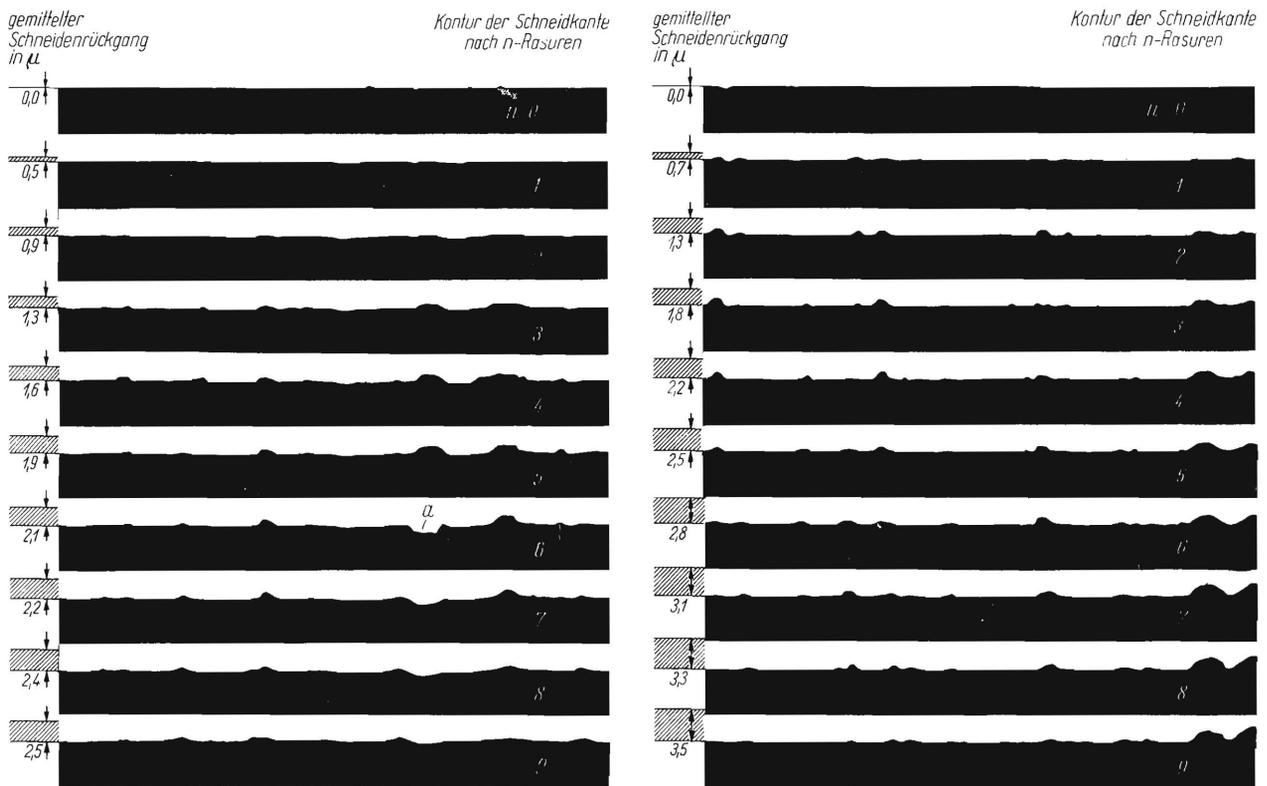


Bild 74 und 75. Kontur und Rückgang einer Rasierklingschneide im Verlaufe von 9 Rasuren.

Vergrösserung 1200 : 1

Bild 74 (links) Messstelle I Bild 75 (rechts) Messstelle III (Messstellen siehe Bild 78)

Die mikrogeometrische Form des Schneidenkeiles wird in einem Abgiessverfahren ermittelt, das den grossen Vorteil hat, dass die Versuchsschneide weder zerstört noch in ihrem Gefüge verändert zu werden braucht und der Verschleiss während des Versuches an ein und derselben Schneide verfolgt werden kann. Zu diesem Zweck werden die Schneiden in einem der bekannten Metalle mit niedrigem Schmelzpunkt (weniger als 100°C) eingegossen, entformt und von den Abgüssen unter besonderen Vorsichtsmassnahmen Querschliffe hergestellt. In Bild 70 bis 72 sind vergrösserte Querschliffe von den Abgüssen einer neuen Rasierklinge, einer neuen Mähmessenklinge und einer mit dem Wetzstein nachgeschärften Sense wiedergegeben. Die starke Vergrösserung (500 : 1) lässt erkennen, mit welcher Genauigkeit Einzelheiten

der äussersten Schneidkanten wiedergegeben werden⁸⁾. Vergleicht man den in Bild 72 angedeuteten Verschleiss der Mähmessenklinge mit dem Querschnitt der Rasierklingschneide, in dem sogar die $20\ \mu$ breite Läppfase zu erkennen ist, so darf man feststellen, dass die Genauigkeit des Verfahrens mindestens zur Feststellung der Verschleissform von Mähmessenklingen ausreicht.

Der Schneidkantenrückgang durch den Verschleiss wurde von Markierungen aus, die auf einer der Keilflächen der Schneide angebracht waren, mikroskopisch vermessen. Schneidkante und Markierung müssen gleichzeitig im Messokular zu sehen sein, um

die Abstände mit dem Okularmikrometer ohne Zuhilfenahme der Objektschlittenverstellung ausmessen zu können. Auch hier mag als Nachweis der Genauigkeit des Verfahrens der Schneidenrückgang einer Rasierklinge dienen:

In Bild 74 und 75 ist für die Messstellen I und III die optisch ermittelte Profilkurve der neuen Rasierklinge und ihre Veränderung während 9 Rasuren dargestellt und am Rande der jeweilige, in der angegebenen Weise ermittelte Schneidenrückgang gegenüber der neuen Rasierklinge angetragen. Der Verschleiss der Schneidkante erfolgt durch feinsten Abrieb der Grundmasse des Klingenwerkstoffes, in die die sehr viel härteren Karbide eingebettet sind. Durch den Härteunterschied zwischen der Grundmasse

8) siehe Seite 130 unten.

und den Karbidkörnern bilden diese mehr und mehr hervorstehende Zacken, die viel langsamer verschleissen als die Grundmasse. Ist die Grundmasse um ein Karbidkorn sehr weit zurückgetreten, so können diese Körner unter Bildung einer kleinen Scharte ausbrechen (Bild 74, Rasur 6, Stelle a). In Bild 76 sind durch Anätzen der Schneidoberfläche die eingelagerten Karbidkörner gut zu erkennen.

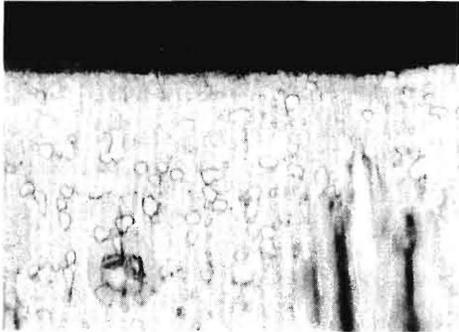


Bild 76. Die harten Karbidkörner sind in der angeätzten Schneidoberfläche gut zu erkennen.
Vergrößerung 1200 : 1
Die Unschärfen auf der rechten Bildseite sind auslaufende Schleifriefen.

Um auch hier die richtige Vorstellung von den Grössenverhältnissen zu bekommen, ist in Bild 77 ein Querschnitt durch ein Barthaar gezeigt; der kleine Durchmesser des elliptischen Querschnittes ist unter Berücksichtigung der verschiedenen Vergrößerungen etwa 1,5mal so gross wie die in Bild 74 und 75 gezeigte Länge der Schneidkantenausschnitte.



Bild 77. Mikroschnitt durch ein Barthaar.
Vergrößerung 300 : 1

Nach Bild 78 ergibt sich der mittlere Schneidenrückgang bei 9 Rasuren zu etwa 3 μ . Hält man dagegen den 10- bis 100-fachen Verschleiss einer Mähmesser Klinge (Bild 72), so genügt auch bei diesem Verfahren die Genauigkeit bei der Ermittlung des Schneidenrückganges. Aus Bild 78 und 79 geht noch hervor, dass der Verschleiss in der Mitte dieser Klinge (Messstelle III bis V) grösser ist als nach den Ecken zu (Messstelle I und II). Es kann aber auch je nach Führung der Klinge das Umgekehrte eintreten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Systematik der Technologie des Schneidens sehr

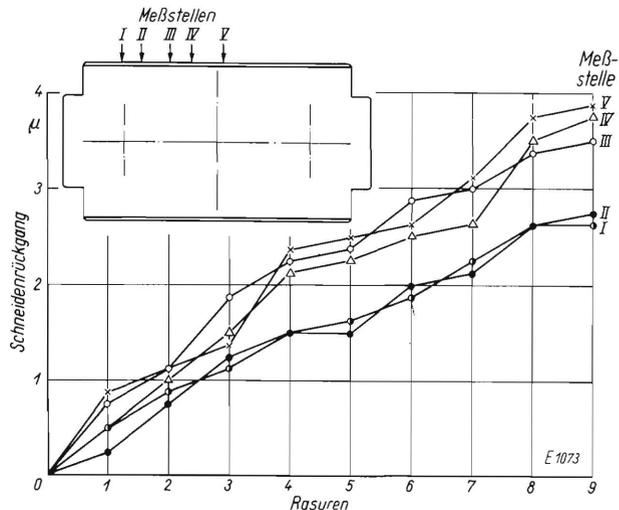


Bild 78. Schneidenrückgang einer Rasierklinge an fünf Messstellen im Verlaufe von 9 Rasuren.

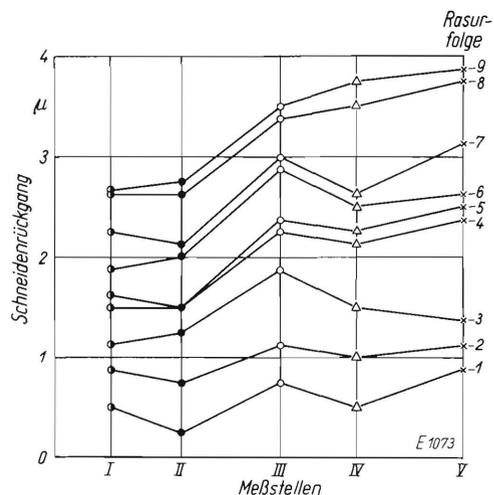


Bild 79. Die Grösse des Schneidenverschleisses längs der Schneidkante nach der 1. bis 9. Rasur.

wohl möglich ist. Die vorliegende Studie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit; sie möchte im wesentlichen auf eine Lücke in der allgemeinen Mechanischen Technologie wie der der Schneidtechnik im besonderen hinweisen.

Die beiden Messverfahren werden bei der Untersuchung gewisser Schneidprobleme [17] eine willkommene Hilfe sein.

Schrifttum

- [1] Stoppel, Th.: Was weiss man heute vom Schneiden? Der Schneidvorgang. RKTL-Schrift Heft 91, Berlin 1939. S. 78/97. (Mit zahlreichen Schrifttumsangaben.)
- [2] Söhne, W.: Das mechanische Verhalten des Ackerbodens bei Belastungen. Grundlgn.d.Landtechn. Heft 1. Düsseldorf 1951, S. 93.
- [3] Rathje, Johannes: Der Schnittvorgang im Sande. VDI-Forschungsheft 350. Berlin 1931.
- [4] Schwed, F.: Forschung und Forschungsergebnisse zur Schnitt-Theorie. Z. VDI 76 (1932) 1257 ff.
- [5] Smekal, Adolf: Grundvorgänge der Hartzerkleinerung. Z. VDI 81 (1937) 1321/1326.

- [6] *Krekeler, Karl*: Zerspanbarkeit der metallischen und nichtmetallischen Werkstoffe. Berlin 1951. S. 38.
- [7] *Knapp, Werner*: Über die Schneidfähigkeit und Schneidhaltigkeit von Messerklingen. Diss. T.H. Aachen 1928.
- [8] *Fischer-Schlemm, W.E.*: Der Einfluss des Watenwinkels auf die Schneidhaltigkeit von Mähmesserklingen (In diesem Heft).
- [9] *Schulze, K.H.*: Über den Schneidvorgang an Grashalmen (In diesem Heft).
- [10] *Gronarz, Hans*: Untersuchungen über den Schneidvorgang bei Mähmaschinen. Diss. T.H. Hannover 1925. Landmaschine (1928) S. 693 ff. und 709 ff.
- [11] *Schmaltz, G.*: Technische Oberflächenkunde. Berlin 1936.
- [12] *Wallich, A. und F. Hunger*: Untersuchung der Drehbarkeit von Leichtmetallen. Masch.bau/Betrieb 16 (1937) S. 81 ff.
- [13] *Forster, A.*: Oberflächenmessung durch Profiltasten. Werkstattstechn./Masch.bau 39 (1949) 161/66.
- [14] *Kienzle, O. und A. Heiss*: Die Oberflächenabstastung in zwei Richtungen. Werkstattstechn./Masch.bau 41 (1951) 73/81.
- [15] *Heiss, A.*: Schartigkeit von Werkzeugschneiden. Theorie und Messung derselben mittels Saphirmessschneide. Werkstattstechn./Masch.bau 41 (1951) 233/238.
- [16] *Dinglinger, E.*: Die Schneiden-Schartigkeit von Hartmetall nach dem Feinstschleifen mit Diamantschleifscheiben. Werkstattstechn./Masch.bau 42 (1952) 50/55.
- [17] *Stroppe, Th.*: Studien über den Verschleiss von Schneiden für halmartiges Schnittgut. (In diesem Heft).
- [18] *Mialki, Werner*: Zerkleinerung von Weichstoffen in der Lebensmittelverarbeitung. Chemie-Ingenieur-Technik 23 (1951) 473/476.

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode
Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Kloth

Anschrift des Verfassers: Obering. Theodor Stroppe, (20b) Braunschweig, Bundesallee 50

STUDIEN ÜBER DEN VERSCHLEISS VON SCHNEIDEN FÜR HALMARTIGES SCHNITTGUT

Von Th. Stroppe

Das Schneidwerk der Mähmaschinen, von dem in Bild 1 des vorhergehenden Aufsatzes [1] ein Ausschnitt gezeigt wurde, ist für den Getreide- wie auch den Grasschnitt das gleiche. Ein wesentlicher Unterschied liegt in der Führung der Mähmesser. Beim Schnitt der weichen Gräser müssen die Mähmesserklingen mit verhältnismässig enger Passung über die Gegenschneide (Fingerplatte) geführt werden, während bei den Getreidehalmen infolge ihrer grösseren Steifigkeit die Klaffung bis zu 1 mm betragen kann, ohne dass unter halbwegs günstigen Bedingungen die Schnittwirkung wesentlich beeinflusst wird. Ein Unterschied besteht ausserdem in der Messergeschwindigkeit, die bei den Grasmähern bis zu 50% höher als bei den Getreidemähern ist. Die Schneidkanten der Klingen sind gerade (Bild 1) oder mit feinen Zahnspitzen versehen. Die nachstehend beschriebenen Verschleissversuche wurden mit sogenannten glatten Klängen (d.s. Klängen mit gerader Schneidkante) durchgeführt. Eine Betrachtung über die Versuchserfahrungen mit gerippten Klängen schliesst sich an.

Im neuen wie auch im abgenutzten Zustand wurde die Form der Mikroschneide im Abgiessverfahren ermittelt und die Schneidkante und deren Rückgang in dem im vorhergehenden Aufsatz [1] angegebenen Messverfahren an jeweils 22 Messstellen (Bild 1) festgestellt. Bei den Versuchen wurde der Schneidverschleiss in seiner Verteilung über die Klingenslänge, in Abhängigkeit von der Zeit bzw. von der Flächenleistung sowie von der Härte des Schneiden-

werkstoffes und der Art des Schnittgutes (Gras und Getreide) ermittelt.

Mit Rücksicht auf die kurze Erntezeit durften die Mähversuche nicht stunden- oder gar tagelang zum Vermessen der im Versuch abgenutzten Klängen unterbrochen werden, obwohl es versuchstechnisch sehr angenehm gewesen wäre, den allmählichen Schneidenrückgang an ein und denselben Klängen zu ermitteln, um dadurch Unterschiede im Klingenswerkstoff weitgehend auszuschalten. Es mussten deshalb

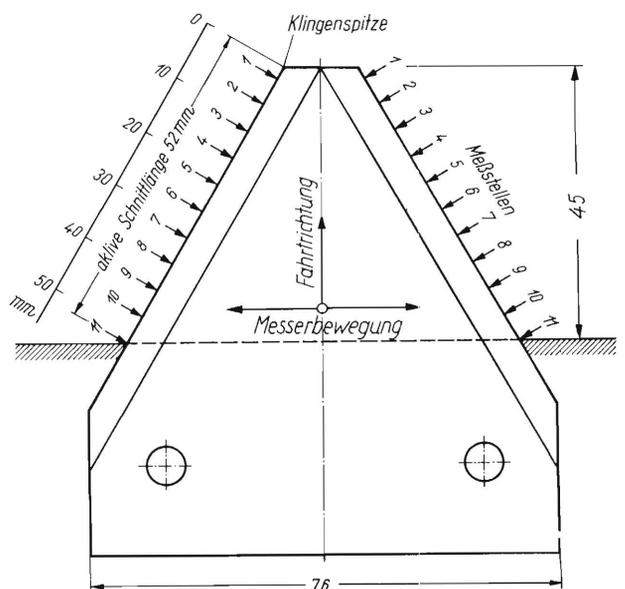


Bild 1. Mähmesser Klinge nach DIN Land 300 mit den Messstellen zur Ermittlung des Schneidverschleisses.