

KfK-PFT 18  
November 1982  
(1. Ex.)

**Förderungsprogramm Fertigungstechnik  
des Bundesministers  
für Forschung und Technologie**

**Stanzen von Löchern hoher  
Formtreue und Oberflächengüte  
in dickwandigen Bauteilen aus  
Stahl durch Anwendung der  
Feinschneidtechnologie**

W. König und F. Rotter  
Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre  
Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren  
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

H. Willwacher, U. Roth, K.-H. Virnich, Rud. Muhr  
Muhr und Bender, Attendorn

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**

Kernforschungszentrum Karlsruhe 8500  
Zentralbücherei

PROJEKTTRAEGERSCHAFT FERTIGUNGSTECHNIK  
FORSCHUNGSBERICHT KfK-PFT 18

STANZEN VON LOECHERN HOHER  
FORMTREUE UND OBERFLAECHEGUEETE IN  
DICKWANDIGEN BAUTEILEN AUS STAHL DURCH  
ANWENDUNG DER FEINSCHNEIDTECHNOLOGIE

VON

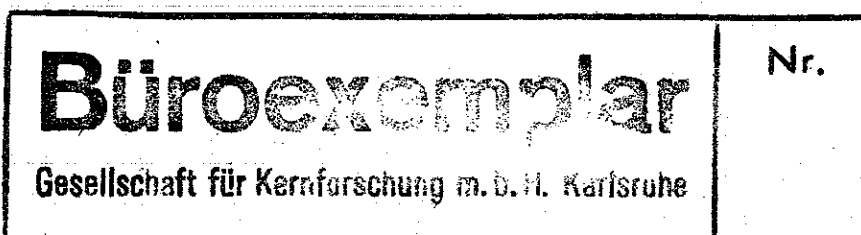
W. KOENIG; F. ROTTER

LABORATORIUM FUER WERKZEUGMASCHINEN UND BETRIEBLEHRE  
LEHRSTUHL FUER TECHNOLOGIE DER FERTIGUNGSVERFAHREN  
RHEINISCH-WESTFAELISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ACHEN

H. WILLWACHER; U. ROTH; K.H. VIRNICH; RUD. MUHR  
MUHR UND BENDER, ATTENDORN

DIE DIESEM BERICHT ZUGRUNDE LIEGENDEN ARBEITEN WURDEN MIT  
MITTELN DES BUNDESMINISTERIUM FUER FORSCHUNG UND  
TECHNOLOGIE (BMFT) GEFOERDERT

PROJEKTTRAEGER: KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH, KARLSRUHE  
IDENTIFIKATION: O2VV298;ATT-MUB/23



52 SEITEN  
7 TABELLEN  
29 ABBILDUNGEN  
15 LITERATURSTELLEN

## Übersicht

Weiche, kohlenstoffarme Stähle und weichgeglühte Qualitätsstähle mit höherem Kohlenstoff- und Legierungsgehalt lassen sich je nach Schnittliniengeometrie bis zu einer Blechdicke von 14 mm feinschneiden.

Wegen der besonderen Bedeutung, die das Lochen von Stählen für den Stahlbau hat, sollte mit der vorliegenden Untersuchung der Anwendungsbereiche des Feinschneidens auf allgemeine Baustähle bei Blechdicken zwischen 12 und 20 mm erweitert werden.

Die Ergebnisse zeigen, daß durch Optimierung der Prozeßparameter die Zielsetzung erreicht werden kann. Durch Feinschneiden gelochte Werkstücke zeigen gutes Bauteilverhalten bei schwingender Beanspruchung. Das Verfahren zeichnet sich durch seine Wirtschaftlichkeit gegenüber spanender Fertigung aus.

## Summary

König, W.; Rotter, F.; Willwacher, H.; Roth, U.; Virnich, K.-H.; Muhr, Rud.;  
Punching Holes of High Accuracy for Shape and Surface Quality of Thickwalled Structural Components of Steel by Applying Fine-Blanking Technology

Mild low carbon steel and structural steel parts of thickness up to 14 mm are being considered as parts for fine-blanking.

In consideration of the distinctive importance of punching of structural steel the submitted investigation should extend the application of fine-blanking to larger thickness from 12 mm to 20 mm.

The influence of various parameters of processing on the quality of the holes, the micro structure near the shearzone and effects on durability were investigated.

It is shown that holes with cleanly sheared surface can be produced by fine-blanking economically.

## **PFT-Berichte**

Die Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH koordiniert und betreut als Projektträger im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT) das Förderprogramm Fertigungstechnik (PFT). Hierbei arbeitet sie eng mit Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft und Einrichtungen der öffentlichen Hand zusammen. Als Projektträger gibt sie die Schriftenreihe PFT-Berichte heraus.

Diese Schriftenreihe hat den Zweck, die im Programm PFT entwickelten und erprobten neuen Verfahren und Technologien zur Verbesserung der Fertigungstechnik bekannt zu machen und ihre rasche und breite Anwendung und Nutzung in der Praxis zu unterstützen.

Verantwortlich für den Inhalt sind die Autoren. Die Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH übernimmt keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter.

**Druck und Verbreitung:**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Postfach 3640 · 7500 Karlsruhe 1**

**Bundesrepublik Deutschland**

| Inhalt   | Seite |
|--|-------|
| 1. Einleitung  | 1     |
| 1.1 Problemstellung  | 2     |
| 1.2 Zielsetzung  | 5     |
| 2. Versuchsbedingungen   | 5     |
| 2.1 Versuchsaufbau   | 5     |
| 2.2 Versuchsdurchführung   | 7     |
| 3. Ergebnisse der Feinschneidversuche                              | 8     |
| 3.1 Einflüsse von Werkzeuggestalt und Kräften auf die Lochqualität | 8     |
| 3.2 Einflüsse von Werkstoffqualität und Werkstückgeometrie         | 14    |
| 3.3 Einflüsse auf die Randzone der Schnittfläche                   | 21    |
| 3.4 Werkzeugbelastung und Verschleiß                               | 27    |
| 4. Bauteilverhalten  | 35    |
| 4.1 Methodik der Dauerschwingversuche                              | 35    |
| 4.2 Ergebnisse der Dauerschwingversuche                            | 36    |
| 5. Entwicklung einer Feinschneidmaschine                           | 40    |
| 6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen                                | 43    |
| 6.1 Vergleich des Feinschneidens mit herkömmlichen Methoden        | 43    |
| 6.2 Neue Anwendungsbereiche  | 47    |
| 7. Zusammenfassung   | 48    |
| 8. Literaturverzeichnis  | 50    |

## 1. Einleitung

Bei der Fertigung von Bauteilen für den Stahlbau ist das Lochen von Flach- und Profilstählen von besonderem Interesse. Die Fertigung der Löcher erfolgte bisher spanend durch Bohren oder in einer Kombination von Stanz- und Zerspanverfahren, wie Normalschneiden und Reiben.

Normalgeschnittene Löcher weisen in der Lochleibung einen hohen Anteil als Bruchfläche auf und weichen stark von der zylindrischen Form ab, Bild 1.



Bild 1: Schnittfläche eines normalgeschnittenen Loches

Bei höher beanspruchten Bauteilen sind normalgeschnittene Löcher für die Kraftübertragung ungeeignet - im Stahlbau mit Hinblick auf DIN 1000 /1/ sogar unzulässig - und müssen in der Regel durch eine spanende Bearbeitung nachbehandelt werden.

Diese Fertigungsschritte sind jedoch zeit- und kostenaufwendig, da hierzu mehrere Arbeitsgänge und verschiedene Werkzeuge notwendig sind. Aufgrund der spezifischen Verfahrensmerkmale des Stanzverfahrens Feinschneiden - Erzielung glatter, rissfreier Schnittflächen in einem Arbeitsgang - bot sich die Anwendung dieser Technologie zum Lochen von Stahlbauteilen an.

1.1 Problemstellung

Die Durchführung des Feinschneidvorgangs ist an ein spezielles Werkzeug und an eine bestimmte Pressenbauart gebunden /2/.

Zum Feinschneiden benötigt man eine dreifach wirkende Presse, die die Kräfte für Schneidstempel sowie Gegenhalter und Ringzacke regelbar aufbringt. Die Verfahren Normalschneiden und Feinschneiden sind in Bild 2 gegenübergestellt.

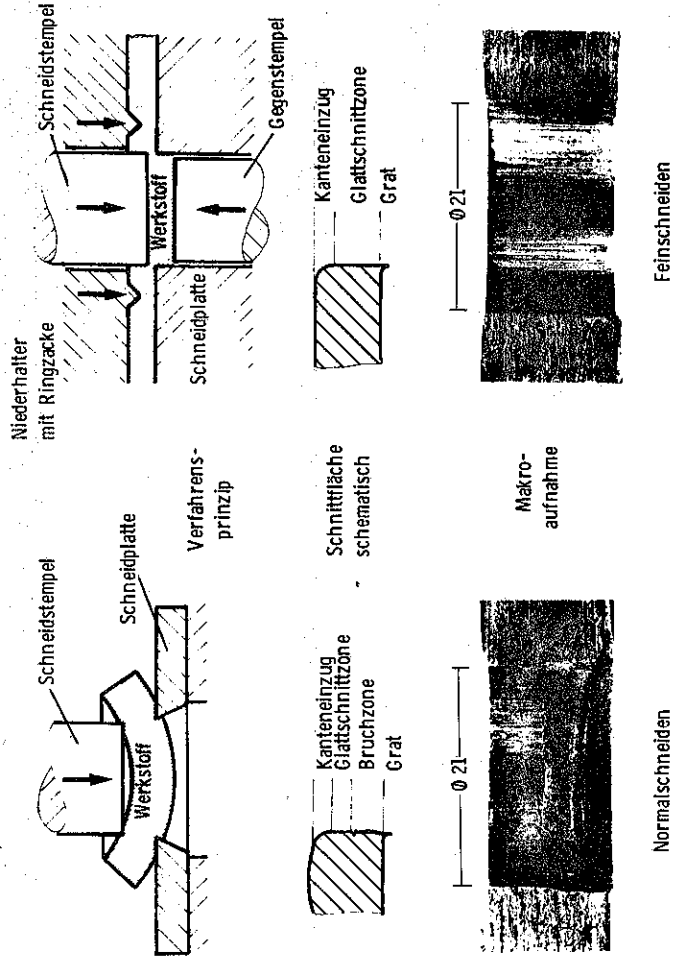
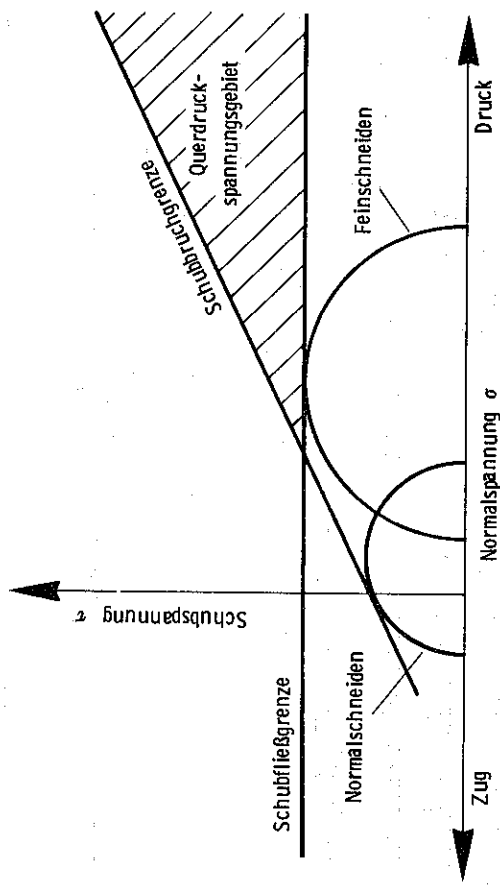


Bild 2: Verfahrensvergleich Normalschneiden - Feinschneiden

Das Arbeitsprinzip des Feinschneidens beruht darauf, den Werkstoff während des gesamten Schneidvorgangs innerhalb und außerhalb der Schnittrinne so einzuspannen, daß Zugspannungen weitestgehend vermieden werden. Durch Verwendung eines Niederhalters mit Ringzacke, eines Gegenhalters und eines kleinen Schneidspalts versucht man, einen Spannungszustand zu erzeugen, bei dem der Mohr'sche Spannungskreis im Druckspannungsbereich liegt und die Schubbruchgrenze zu größeren Werten verschoben ist, Bild 3.



nach Jahnke, Retzke, Weber

Bild 3: Spannungszustände beim Normalschneiden und Feinschneiden

Wenn es gelingt, diesen Zustand über dem gesamten Schneidvorgang zu erzeugen, fließt der Werkstoff über der ganzen Blechdicke, wobei sich eine glatte, rißfreie Schnittfläche ausbildet. Eine Werkstofftrennung durch Bruch erfolgt erst im Schnittgrat, wenn der Schneidstempel aus dem Werkstoff austritt.

Da es sich beim Feinschneiden um einen Kaltfließprozeß handelt, liegt die Problematik einerseits in der optimalen Bestimmung der Werkzeugparameter

- Werkzeuggeometrie
- Ringzackenkraft
- Gegenhalterkraft

und wird andererseits durch die Werkstückparameter

- Schnittliniengeometrie
- Blechdicke
- Werkstoffqualität

wesentlich bestimmt /3/.

In der Praxis gelten heute weiche kohlenstoffarme Stähle bis 14 mm Blechdicke als feinschneidbar, wenn die Schnittliniengeometrie nicht zu kompliziert ist. Das gleiche gilt für Qualitätsstähle mit geringem Kohlenstoff- und Legierungsgesamt bei Blechdicken bis 10 mm. Werkstücke mit größerer Blechdicke und Stähle mit höheren Kohlenstoff- und Legierungsgehalten gelten besonders bei ferritisch-perlitischem Gefüge als schwer feinschneidbar und müssen zum Feinschneiden durch Weichglühen wärmebehandelt werden /4,5,6,7,12,13,14,15/.

Im vorliegenden Forschungsvorhaben sollten jedoch Bleche feingeschnitten werden, die sich durch folgende Schwierigkeitsmerkmale auszeichnen:

- Blechdickenbereich 10 bis 20 mm
- unbehandelte Werkstoffe der Qualitäten St 37 und St 52 mit ferritisch-perlitischem Gefüge
- Werkstoffoberfläche verzundert.

### 1.2 Zielsetzung

Ziel des Vorhabens war es, Löcher mit glatten, rißfreien Lochwandungen und hoher Maß- und Formgenauigkeit durch Feinschneiden wirtschaftlich zu fertigen. Das Bauteilverhalten so gefertigter Werkstücke sollte dabei auf keinen Fall schlechter sein, als es bei den konventionell gefertigten Teilen der Fall ist.

Während bisher die Anwendung des Feinschneidens nur bei Flachmaterial bekannt ist, sollte eine Lösung gefunden werden, die auch das Feinschneiden von Profilstählen ermöglichen sollte.

## 2. Versuchsbedingungen

### 2.1 Versuchsaufbau

Alle Grundsatzversuche wurden mit einem von der Fa. Muhr und Bender gebauten Werkzeug auf einer hydraulischen Feinschneidpresse, Fabrikat Feintool/SMG, Typ HFA 400 am Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der RWTH Aachen durchgeführt, Bild 4.



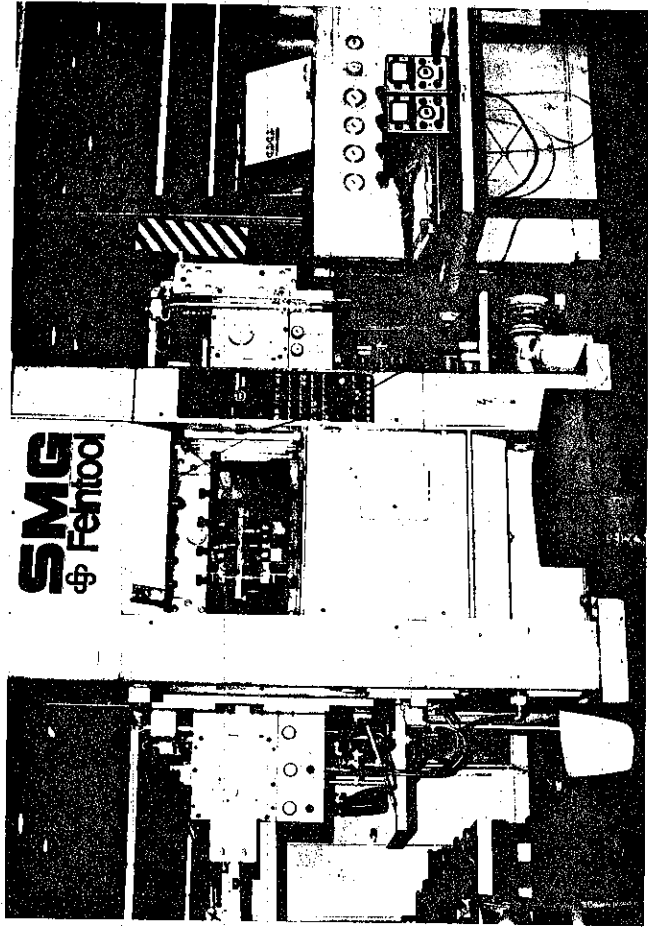


Bild 4: Versuchsstand im WZL der RWTH Aachen

Die Prozeßkräfte an Schneidstempel, Gegenhalter und Niederhalter wurden mittels DMS-Applizierung und einer entsprechenden Meßkette ermittelt.

Als Schneidstoffe wurden anfangs ein Gemisch aus Feinschneidöl und Molybdändisulfidpaste, später nur noch Feinschneidöl eingesetzt.

Die Schneidgeschwindigkeit betrug in der Regel  $v_c = 12 \text{ mm/sec}$ .

## 2.2 Versuchsdurchführung

Für die Versuchsdurchführung wurden Bedingungen hinsichtlich Werkstoffqualität und Werkstückgeometrie gewählt, die auf der einen Seite der Anwendung in der Praxis entsprechen, andererseits im Hinblick auf die Durchführbarkeit als nicht unmöglich erschienen.

Der Lochdurchmesser wurde auf  $D = 21 \text{ mm}$  festgelegt.

Als Werkstoff wurde Flachstahl in den Blechdicken 10,12,14, 16,18 und 20 mm eingesetzt, die Breite des Flachstahls betrug in allen Fällen 80 mm. Die Werkstoffqualitäten waren Baustähle nach DIN 17100, deren chemische Zusammensetzung in Tabelle 1 und deren mechanische Kennwerte in Tabelle 2 aufgeführt sind.

| Qualität | C    | Si   | Mn   | P     | S     | Al   |
|----------|------|------|------|-------|-------|------|
| RSt 37-2 | 0,14 | 0,16 | 0,44 | 0,006 | 0,032 | --   |
| USt 37-2 | 0,18 | --   | 0,53 | 0,012 | 0,035 | --   |
| RSt 52-3 | 0,20 | 0,46 | 1,48 | 0,019 | 0,027 | 0,03 |

Tabelle 1: chemische Zusammensetzung der Werkstoffe

| Qualität            | $R_{eH} \text{ N/mm}^2$ | $R_m \text{ N/mm}^2$ | A %  | Z %  | $R_e/R_m$ |
|---------------------|-------------------------|----------------------|------|------|-----------|
| RSt 37-2            | 261,4                   | 379,5                | 41,1 | 66,4 | 0,69      |
| USt 37-2            | 265,1                   | 399,2                | 39,9 | 62,1 | 0,66      |
| RSt 52-3            | 389,4                   | 621,0                | 28,6 | 59,4 | 0,62      |
| RSt 37-2<br>geglüht | 243,4                   | 368,5                | 38,8 | 70,5 | 0,66      |

Tabelle 2: mechanische Kennwerte der Werkstoffe

### 3. Ergebnisse

3.1 Einflüsse von Werkzeuggestalt und Kräften auf die Lochqualität (Glattschnitt und Lochgeometrie)

Ziel des Vorhabens war es, glatte ein- und abrisffreie Lochwandungen zu erzeugen. Eine glatte Lochwandung gewährt hohe Maßgenauigkeit, läßt ein besseres Tragbild von Schrauben und Nieten erwarten und führt aufgrund fehlender Kerbwirkungen zu besserem Bauteilverhalten bei schwingender Beanspruchung.

Hierzu mußten zuerst die Prozeßbedingungen ermittelt werden, bei denen vollkommen glatte Lochwandungen entstehen.

Die Lochgeometrie der glattgeschnittenen Löcher wurde durch folgende Größen bestimmt:

- Lochdurchmesser
- Konizität
- Kanteneinzughöhe
- Rundheitsfehler

Um die Geometrie der glattgeschnittenen Löcher möglichst einfach bestimmen zu können, wurden die Lochdurchmesser an drei verschiedenen definierten Stellen mittels 3-Punkt-Mikrometer gemessen.

Die Meßstellen waren:

- D1 bei der bezogenen Schnitttiefe von  $s/4$  (Einzugseite)
- D2 bei der bezogenen Schnitttiefe von  $s/2$  (Blechmitte)
- D3 bei der bezogenen Schnitttiefe von  $3s/4$  (Gratseite)

### 3.1.1 Schneidspalt

Die Größe des Schneidspalts hat auf die Erzielung des Glattschnitts einen großen Einfluß. Dabei kommt es im wesentlichen nicht auf die absolute Größe des Schneidspalts, sondern auf seine relative, auf die Blechdicke bezogene, Größe an. Da der Schneidspalt aus Gründen der Werkzeugsicherheit möglichst groß, im Hinblick auf den Glattschnittanteil jedoch klein sein sollte, wurde der Glattschnittanteil in Abhängigkeit vom relativen Schneidspalt  $u_s$  bei sechs verschiedenen Schneidspaltgrößen ermittelt.

Bild 5 zeigt den Glattschnittanteil für die Schneidspalte zwischen  $u_s = 0,25\%$  und  $u_s = 4\%$  bei einer Ringzackenkraft von  $FR = 300\text{ kN}$  und Variation der Parameter Niederhalter ohne Ringzacke, Niederhalter mit Ringzacke (eine Ringzacke) und Ringzacke auf Niederhalter und Schneidplatte (zwei Ringzacken).

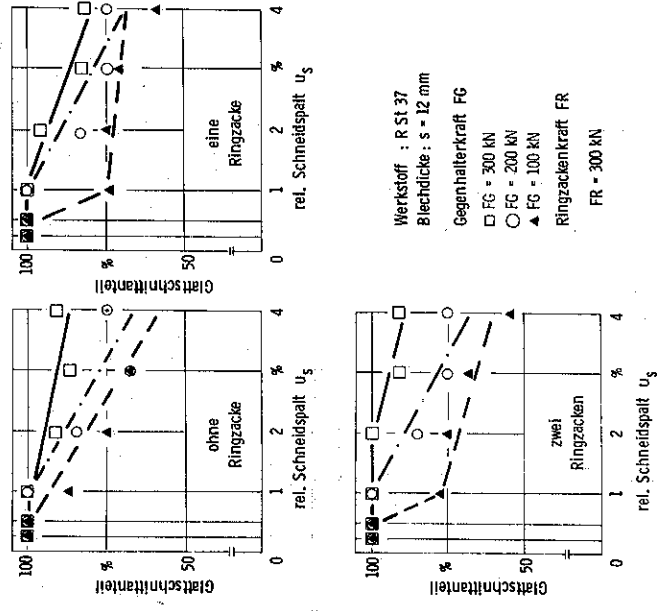
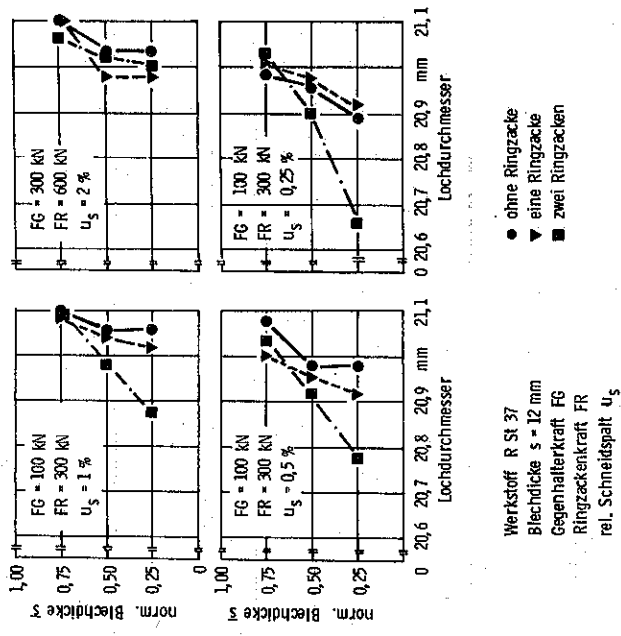


Bild 5: Einfluß des relativen Schneidspalts auf den Glattschnittanteil beim Feinschneiden von Löchern

Generell kann gesagt werden, daß der Glattschnittanteil mit kleiner werdendem Schneidspalt zunimmt. Während bei Schneidspalten von  $u_s > 0,5$  % ein vollkommener Glattschnitt von 100 % nur unter bestimmten Kraftverhältnissen und bei Verwendung von einer bzw. zwei Ringzacken erreicht wird, beträgt der Glattschnittanteil bei Schneidspalten von  $u_s \leq 0,5$  % bei allen Versuchsvarianten 100 %.

Schneidspalte von  $u_s \leq 0,5$  % ergeben bei Verwendung von nur einer Ringzacke oder ebenem Niederhalter maßgenaue Löcher mit geringer Konizität, Bild 6.



Werkstoff R St 37  
Bleichdicke  $s = 12$  mm  
Gegenhalterkraft FG  
Ringzackenkraft FR  
rel. Schneidspalt  $u_s$

● ohne Ringzacke  
▼ eine Ringzacke  
■ zwei Ringzacken

Bild 6: Lochgeometrie feingeschnittener Löcher bei Grenzbedingungen für vollkommenen Glattschnitt

### 3.1.2 Gegenhalterkraft

Die Gegenhalterkraft soll beim Feinschneiden im wesentlichen Druckspannungen im Werkstück induzieren und die Durchbiegung des Butzens vermeiden.

Eine Erhöhung der Gegenhalterkraft erhöht den Glattschnittanteil besonders im Bereich von Schneidspalten über  $u_s = 0,5$  %. Für Schneidspalte  $u_s < 0,5$  % kann keine Aussage getroffen werden, da hier die Wirkung des kleinen Schneidspalts sicherlich stärker den Glattschnitt beeinflusst als die Gegenhalterkraft.

Eine Steigerung der Gegenhalterkraft kann somit die Nachteile größerer Schneidspalte in Hinsicht auf Glattschnitt kompensieren.

Die Lochgeometrie wird jedoch durch hohe Gegenhalterkräfte negativ beeinflusst. Die Konizität der Löcher nimmt mit wachsender Gegenhalterkraft erheblich zu, Bild 7.

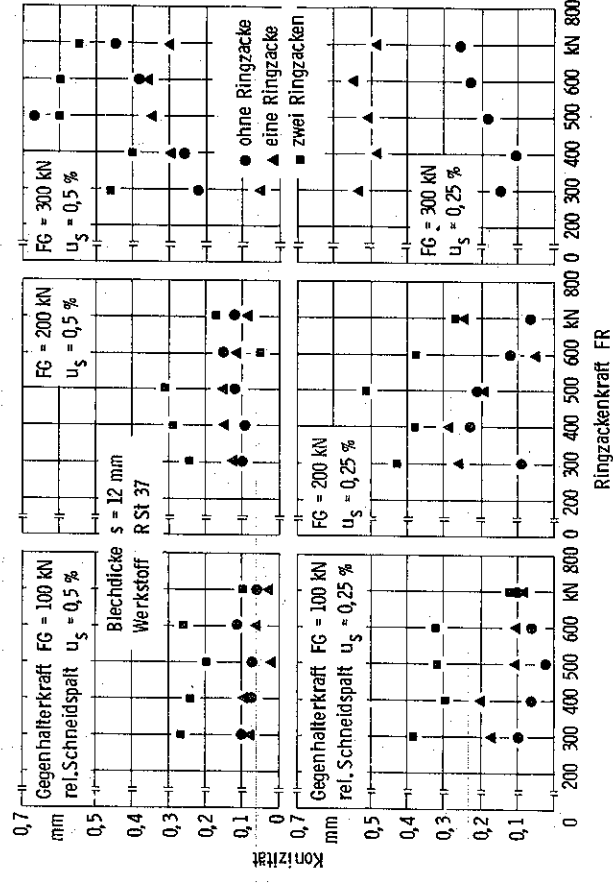


Bild 7: Konizität feingeschnittener Löcher mit  $D = 21$  mm Durchmesser

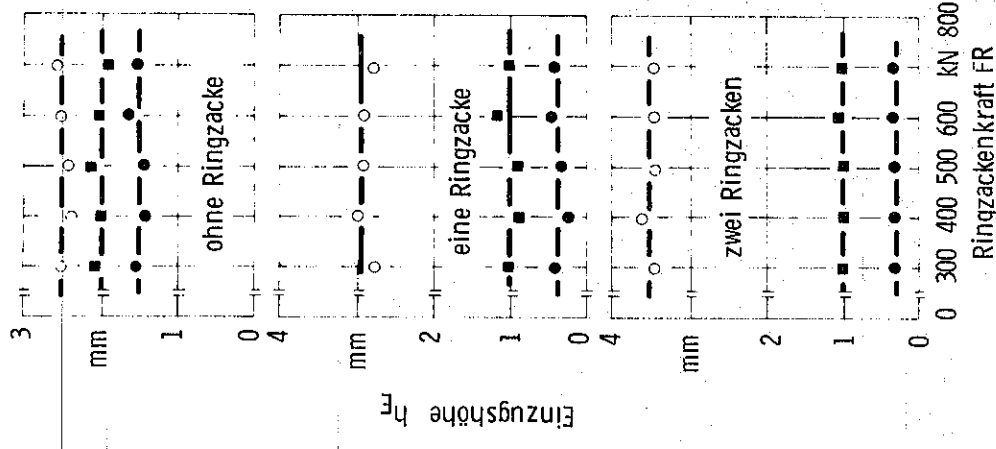
### 3.1.3 Ringzacken und Ringzackenkraft

Bei Verwendung von Ringzacken tritt gegenüber einem ebenen Niederhalter eine vernachlässigbar kleine Erhöhung des Glattschnittanteils ein. Auch die Ringzackenkraft hat nur geringen Einfluß auf den Glattschnitt, lediglich bei einem Schneidspalt von  $u_s = 1\%$  bewirkten höhere Ringzackenkraft verbesserten Glattschnitt.

Die Verwendung von zwei Ringzacken führt zu einer großen Konizität, die deutlich über den Werten liegt, die ohne bzw. mit einer Ringzacke erreicht werden, Bild 6.

Während bei niedrigen Gegenhalterkräften die Ringzackenkraft keinen Einfluß auf die Lochgeometrie hat, nimmt die Konizität bei großer Gegenhalterkraft mit steigender Ringzackenkraft zu. Die besten Lochformen werden bei niedrigen Gegenhalterkräften und Verwendung einer bzw. keiner Ringzacke erreicht, Bild 7.

Der Kanteneinzug wird bei geringen Gegenhalterkräften durch die Verwendung von Ringzacken verringert; ein Einfluß der Ringzackenkraft konnte dabei nicht festgestellt werden, Bild 8.



Werkstoff RSt 37  
Blechdicke  $s = 12$  mm  
bez. Schneidspalt  $u_s = 0,5\%$

Gegenhalterkraft:

- FG = 100 kN
- FG = 200 kN
- FG = 300 kN

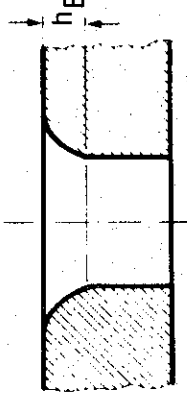


Bild 8: Einfluß von Ringzacke und Kräften auf den Kanteneinzug beim Feinschneiden von Löchern

### 3.1.4 Werkzeugvarianten

Zur Erzielung eines glatten Loches in einem Blechstreifen ist der Schneidkantenradius am Schneidstempel verrundet, die Schneidkante an der Schneidplatte ist scharfkantig.

Untersuchungen mit unterschiedlichen Schneidkantenradien am Schneidstempel sollten zeigen, ob die Schneidkantenverrundung einen Einfluß auf den Glattschnitt oder die Maßgenauigkeit ausübt. Es wurden Schneidstempel mit den Schneidkantenradien  $SKR = 0,7$  mm,  $SKR = 0,55$  mm und  $SKR = 0,4$  mm eingesetzt.

Bei der Versuchsdurchführung mit verschiedenen Schneidspaltgrößen von  $u_s = 0,25$  % und  $u_s = 0,5$  % und unter Verwendung eines Niederhalters ohne Ringzacke bzw. mit Ringzacke und bei konstanten Kräften (Gegenhalterkraft  $FG = 100$  kN und Ringzackenkraft  $FR = 300$  kN) zeigte sich, daß der Schneidkantenradius in diesen Größen keinen Einfluß auf den Glattschnittanteil hat. Im Aussehen und in der Geometrie der Lochwandungen konnten keine Veränderungen festgestellt werden.

Der Einsatz eines Gegenstempels, dessen Kante angefast war, sollte zeigen, ob sich diese Variante positiv auf die Reibung zwischen Gegenstempel und Schneidbüchse auswirkt. Während weder ein Einfluß auf den Glattschnittanteil noch auf die Maßgenauigkeit ermittelt werden konnte, neigt die Schneidkante der Schneidbüchse bei angefastem Gegenstempel eher zu Kantenbrüchen als bei nicht angefasten Gegenstempeln.

### 3.2 Einflüsse von Werkstoffqualitäten und Werkstückgeometrie

Bisher wurden Löcher von  $D = 21$  mm Durchmesser in Flachstahl der Qualität R St 37, Blechdicke  $s = 12$  mm feingeschnitten und die Prozeßparameter dabei optimiert. Eine Erweiterung der Versuche erfolgte in Hinblick auf den Einsatz von billigerem, unberuhigtem Stahl, der Steigerung der Blechdicke und der Werkstofffestigkeit sowie der Verkleinerung des Verhältnisses Lochdurchmesser/Blechdicke.

#### 3.2.1 Einfluß der Vergießart auf die Lochqualität

Im Stahlbau werden auch unberuhigt vergossene Stahlqualitäten verarbeitet, bei denen jedoch mit größeren Werkstoffinhomogenitäten und damit verbundenen Qualitätsverlusten zu rechnen ist.

Um den Einfluß der Vergießart des Stahls auf die Qualität feingeschnittener Löcher zu ermitteln, wurden je 20 Löcher in Flachstahl der Qualität RSt 37 als auch in Flachstahl USt 37 bei unterschiedlichen Prozeßparametern geschnitten und die Bedingungen für vollkommenen Glattschnitt ermittelt.

Das Erzielen glatter Lochwände im unberuhigten Stahl USt 37 erfordert gegenüber der beruhigten Qualität RSt 37 höhere Ringzackenkraft bzw. Gegenhalterkräfte, da bei niedrigen Kräften Rattermarken oder Werkstoffausbrüche in Umfangsrichtung auftraten, Bild 9.

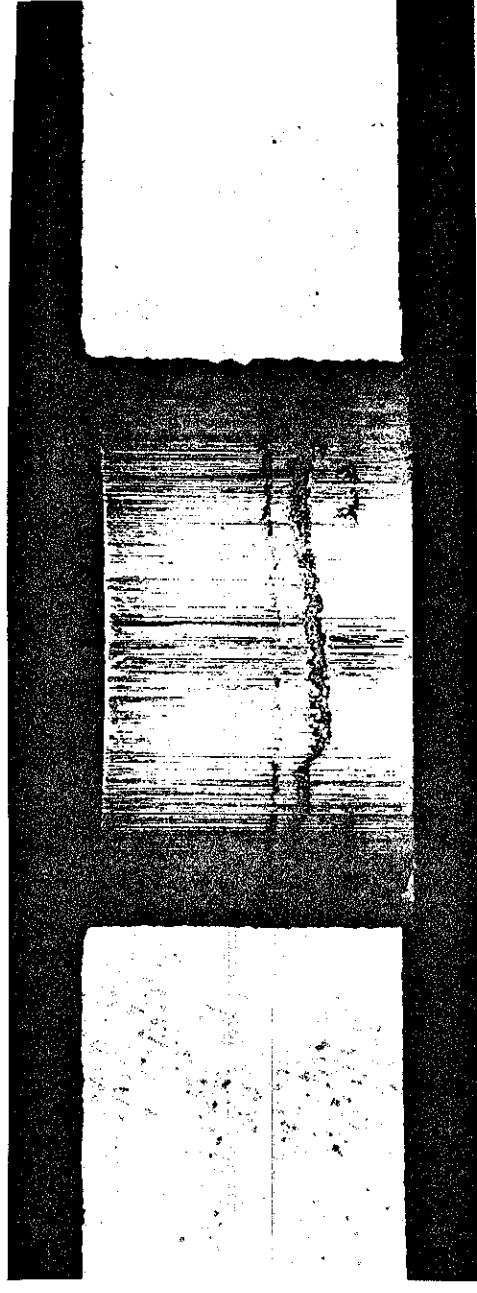


Bild 9: Lochwandungen mit starker Rattermarke in USt 37

Das Auftreten dieser Rattermarken war für eine Prozesseinstellung weder konstant noch gleich stark, was den Schluß zuläßt, daß der Grund hierfür in der Inhomogenität des Werkstoffs zu suchen ist.

Die Lochungen wurden bei Schneidspalten von  $u_s = 0,25$  % und  $u_s = 0,5$  % durchgeführt, für USt 37 ließ sich vollkommener Glattschnitt erst durch Gegenhalterkräfte von  $FG = 200$  kN sicher realisieren.

Ein Einfluß der Vergießart auf die Lochgeometrie war nicht festzustellen.

### 3.2.2 Versuche zur Steigerung der Blechdicke

Bei Blechdicken von 14 und 16 mm wurde der Lochdurchmesser weiterhin mit  $D = 21$  mm konstant gehalten, aufgrund des gleichen absoluten Schneidspalts von  $u = 0,060$  mm ergab sich für die Blechdicke  $s = 14$  mm ein relativer Schneidspalt von  $u_s = 0,43$  % und für die Blechdicke  $s = 16$  mm ein relativer Schneidspalt von  $u_s = 0,37$  %.

Beide Bleche aus RSt 37 ließen sich problemlos mit Gegenhalterkräften von  $FG = 100$  kN und Ringzackenkräften von  $FR = 300$  kN feinschneiden.

### 3.2.3 Versuche bei höherer Werkstofffestigkeit

Neben den Werkstoffen RSt 37 und USt 37 kommt im Stahlbau der Werkstoff RSt 52-3 mit höheren mechanischen Kennwerten ( $R_{eH} = 389$  N/mm<sup>2</sup>,  $R_m = 621$  N/mm<sup>2</sup>) zum Einsatz.

Unter verschiedenen Prozessparametern wurden die Glattschnittbedingungen und die Lochgeometrien bei den Blechdicken

$s = 10$  mm  
 $s = 14$  mm  
 $s = 16$  mm

bestimmt.

Für die Versuche bei größeren Blechdicken  $s = 14$  mm und  $s = 16$  mm wurden die Aktivelemente des Werkzeuges gewechselt, um einem Werkzeugbruch vorzubeugen. Die hierbei eingesetzten Werkzeugelemente waren auf einen Schneidspalt von  $u = 0,08$  mm abgestimmt, so daß sich für die Blechdicke  $s = 14$  mm ein relativer Schneidspalt von  $u_s = 0,57$  % und für die Blechdicke  $s = 16$  mm ein relativer Schneidspalt von  $u_s = 0,5$  % ergab.

Die zum Erreichen von vollkommenem Glattschnitt notwendigen Parameter sind in Tabelle 3 aufgeführt.

|             |                |               |               |
|-------------|----------------|---------------|---------------|
| $s = 10$ mm | $u_s = 0,6$ %  | $FG = 200$ kN | $FR = 200$ kN |
| $s = 14$ mm | $u_s = 0,57$ % | $FG = 200$ kN | $FR = 400$ kN |
| $s = 16$ mm | $u_s = 0,5$ %  | $FG = 200$ kN | $FR = 300$ kN |

Tabelle 3: Prozessparameter für vollkommenen Glattschnitt

Eine Steigerung der Gegenhalter- und Ringzackenkraft erwies sich im Hinblick auf das Arbeitsergebnis nur dann als sinnvoll, solange noch kein vollkommener Glattschnitt erzielt wurde.

### 3.2.4 Einfluß des Lochabstandes auf die Maßgenauigkeit der Löcher

In Versuchsreihen mit unterschiedlichen Lochabständen wurde geprüft, ob Einflüsse auf die Maß- und Formgenauigkeit der Löcher nachweisbar sind.

In Dubbel I werden die zulässigen Loch- und Randabstände wie folgt angegeben: Der minimale Lochabstand von Lochmitte zu Lochmitte wird mit  $e_{min} = 3D$  angegeben, der maximale Lochabstand mit  $e_{max} = 6D$ . Der Lochabstand wird auch als Lochteilung bezeichnet.

Der minimale Abstand der Lochmitte zum Profilrand soll  $e_{1min} = 2D$  betragen.

Ausgehend von dem in Dubbel I geforderten minimalen Lochabstand  $e_{min} = 63$  mm (auch Nennabstand genannt) wurden die Abstände im Bereich zwischen  $33$  mm  $< e < 78$  mm variiert.

Im Bereich des Nennabstandes von  $e = 3D$  tritt bei allen Löchern sowohl an der Einzugseite als auch an der Gratseite ein Untermaß auf. Die Durchmesserabweichung vom Nennmaß beträgt an der Einzugseite  $\Delta D_1 < 0,040$  mm und an der Gratseite  $\Delta D_3 < 0,100$  mm. Die Konizität nimmt mit kleinerem Lochabstand zu und beträgt im Bereich des Nennabstandes  $0,06 < \Delta D_{\max} < 0,10$  mm.

Eine Verkleinerung des Lochabstandes bewirkt an der Einzugseite eine Vergrößerung des Lochdurchmessers, an der Gratseite eine Verkleinerung des Lochdurchmessers.

Bei besonders kleinen Lochabständen, hier  $e = 33$  mm, bewirkt eine Ringzacke eine bedeutend größere Konizität als dies bei Verwendung eines ebenen Niederhalters der Fall ist, Bild 10.

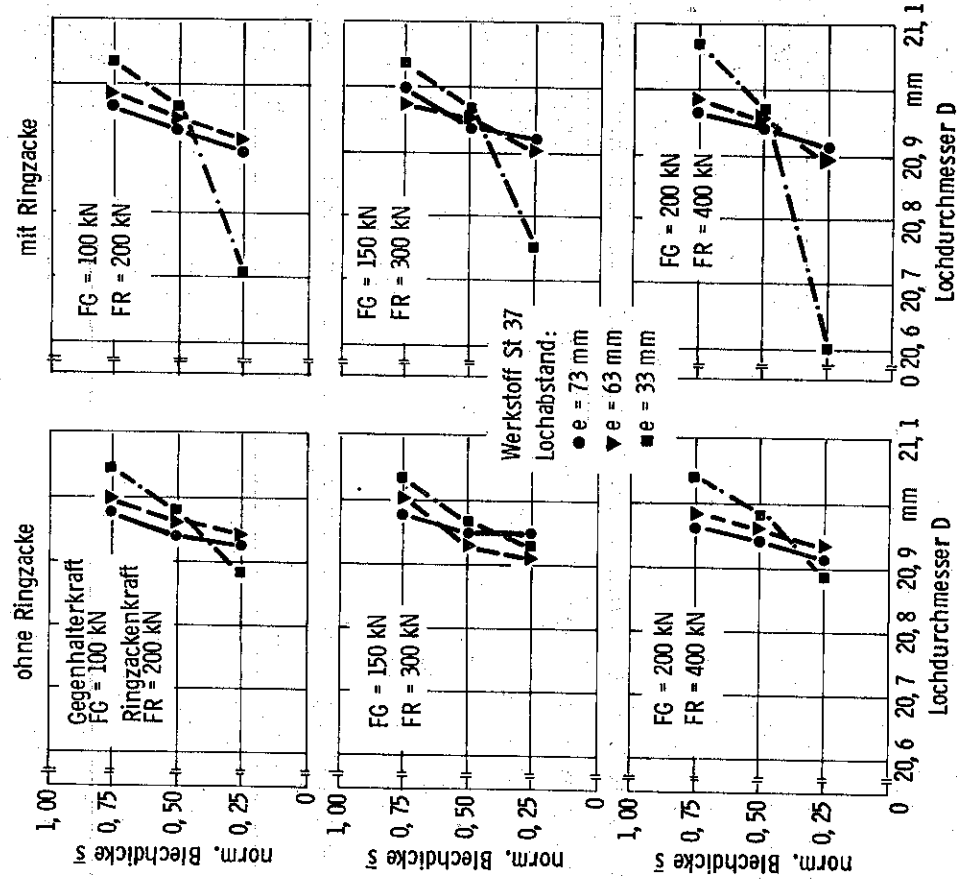


Bild 10: Einfluß des Lochabstandes des auf die Formgenauigkeit feingeschnittener Löcher

### 3.2.5 Bestimmung der Lochgeometrie ausgewählter Löcher mittels 3-D-Koordinatenmeßmaschine und Talyrond-Rundheitsmeßgerät

Bisher wurden die Lochdurchmesser mittels 3-Punkt-Mikrometer an den Lochtiefen  $s/4$ ,  $s/2$  und  $3s/4$  bestimmt. Eine genauere Bestimmung der Lochkontur ermöglichte der Einsatz einer 3-D-Koordinatenmeßmaschine.

Es wurden ohne Ringzacken feingeschnittene Löcher von  $D = 21$  mm Durchmesser in Flachstahl der Qualitäten RSt 37, USt 37 und RSt 52-3 vermessen.

Alle Löcher weisen einen konischen bzw. leicht parabolischen Querschnitt auf, die Durchmesserdifferenz zwischen Einzugseite und Gratseite liegt in der Regel unter  $\Delta D = 0,13$  mm, der Rundheitsfehler beträgt  $8,5 \mu\text{m} < f_R < 39,6 \mu\text{m}$ .

Vergleicht man diese Meßwerte mit denen, die mittels Dreipunktmikrometer ermittelt wurden, so zeigen sich keine gravierenden Unterschiede. Die Ergebnisse decken sich in der Aussage, daß die Konizität mit steigenden Kräften größer wird. Die maximale Durchmesserdifferenz liegt bei Blechdicken bis  $s = 16$  mm in der Regel unter  $\Delta D_{\max} = 0,130$  mm.

Aufgrund der Ergebnisse bei der Bestimmung von Lochdurchmesser, Konizität und Rundheitsfehler kann gesagt werden, daß die erzielte Lochqualität dem in DIN 7154 angegebenen Toleranzfeld H11 gerecht werden kann. Das hier geforderte Übermaß von  $0 < \overline{u} < 0,130$  mm für Schraubenlöcher im Stahlbau bei Verwendung von Passschrauben kann erzielt werden, wenn die elastische Rückfederung des Werkstoffes durch ein entsprechendes Übermaß am Schneidstempel berücksichtigt wird.



### 3.2.6 Versuche bei kleineren Lochdurchmessern

Eine Verkleinerung des Lochungsverhältnisses  $D/s$  wurde erzielt, indem Löcher von  $D = 15$  mm und  $D = 10$  mm Lochdurchmesser in Flachstahl RSt 37, Blechdicke  $s = 12$  mm ohne Ringzacke feingeschnitten wurden. Der verwendete Schneidspalt betrug  $u = 0,06$  mm, die Kraftparameter wurden auf ein einstellbares Minimum von  $FG = 50$  kN Gegenhalterkraft und  $FR = 100$  kN Ringzackenkraft abgesenkt.

Hier konnte ein Loch mit vollkommen glatter Lochwandung feingeschnitten werden, Bild 11, dessen Geometrie ein  $D/s$ -Verhältnis hat, das für das Normalschneiden bereits als nicht mehr durchführbar gilt /8/.

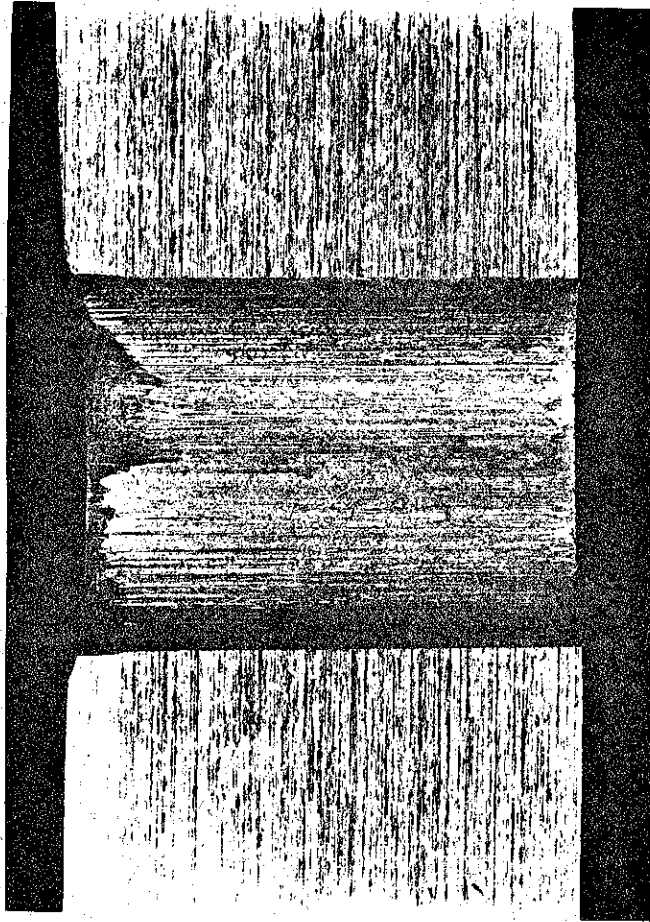


Bild 11: Feingeschnittenes Loch  $D = 15$ ,  $s = 20$ , RSt 37

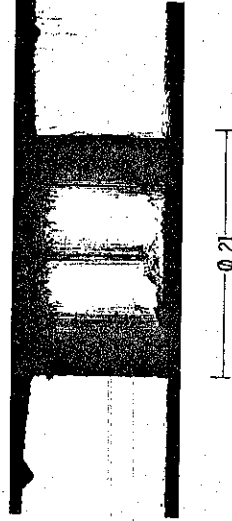
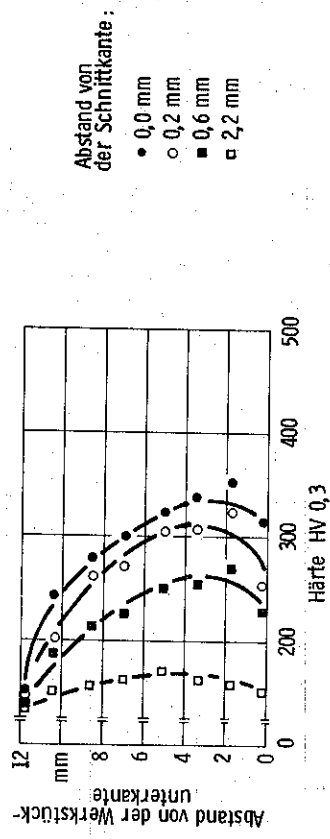
### 3.3 Einflüsse auf die Randzone der Schnittfläche

Da der Feinschneidvorgang ein Fließprozeß ist, kommt es zum Werkstofffluß in Schneidrichtung und in Blechebene.

Die mit jedem Kaltfließvorgang verbundene Kaltverfestigung tritt beim Feinschneiden ebenso auf. Dabei lassen sich je nach Prozessparameter unterschiedliche Einflüsse auf die Verformungen in der Randzone durch Härtemessungen feststellen.

#### 3.3.1 Einfluß des Schneidspaltes

Um die prinzipiellen Härteunterschiede zwischen vollkommen glattgeschnittenen Löchern und Lochwandungen mit Abriß festzustellen, wurden die Randzonen der Löcher untersucht, die bei den Schneidspalten  $u_s = 0,25$  %,  $u_s = 0,5$  % und  $u_s = 2$  % geschnitten wurden. Das Aussehen der Lochwandungen sowie der Härteverlauf in der Randzone ist in den Bildern 12, 13 und 14 dargestellt.



Stempeldurchmesser  $D = 21$  mm  
 Blechdicke  $s = 12$  mm  
 Bez. Schneidspalt  $u_s = 2,0$  %  
 Gegenhalterkraft  $FG = 200$  kN  
 Ringzackenkraft  $FR = 500$  kN  
 Werkstoff RSt 37-2  
 eine Ringzacke

Bild 12: Schnittfläche bei 2 % Schneidspalt



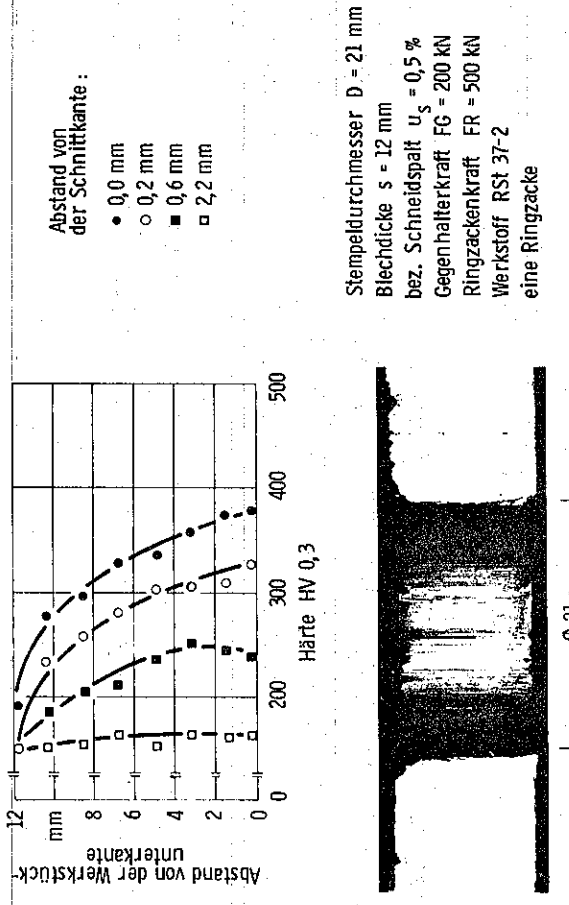


Bild 13: Schnittfläche bei 0,5 % Schneidspalt

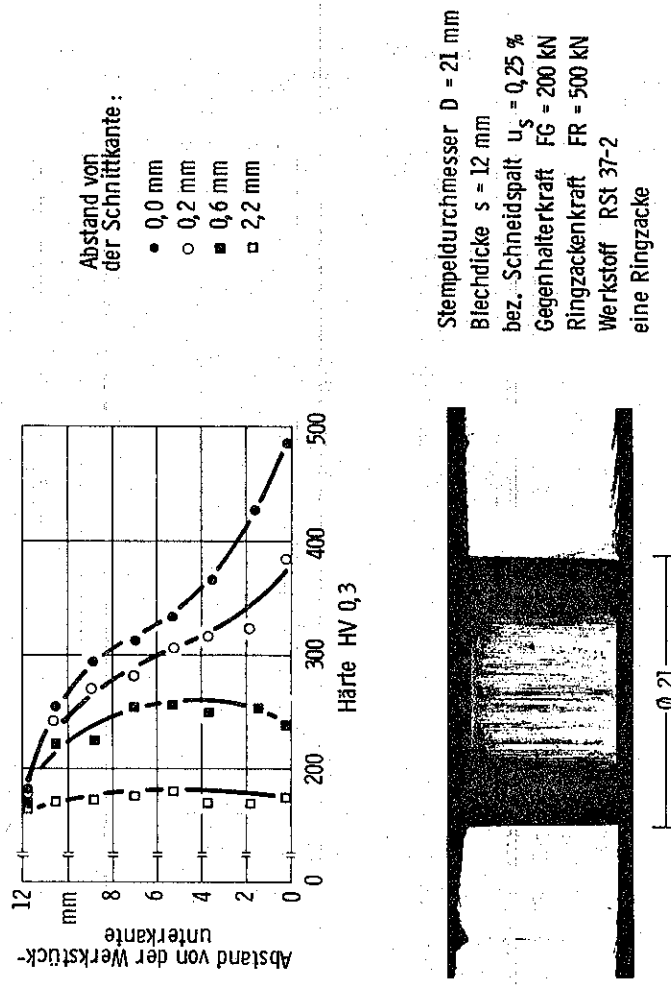


Bild 14: Schnittfläche bei 0,25 % Schneidspalt

Es ist klar zu erkennen, daß die Schneidspaltgröße wesentlichen Einfluß auf den Verlauf der Härte und auch auf die erreichte Höchst Härte hat.

Je kleiner der Schneidspalt ist, desto größer ist die örtliche Härtesteigerung durch Kaltverformung.

Liegt in der Lochleibung ein Abriss vor ( $u_s = 2\%$ ), so weist die Härtekurve einen Verlauf mit Maximum auf, das auf Höhe des Abrisses liegt, Bild 12.

Ist die Schnittfläche vollkommen glatt, liegt das Härtemaximum an der Werkstoffunterkante, Bild 13; die Größe des Schneidspaltes bewirkt bei vollkommenem Glattschnitt eine Vergrößerung der kaltverfestigten Zone, Bild 14.

Die Größe des Schneidspaltes wirkt sich auf die Kaltverfestigung der Randzone an der Einzugsseite anders aus als an der Gratseite, Bild 15.

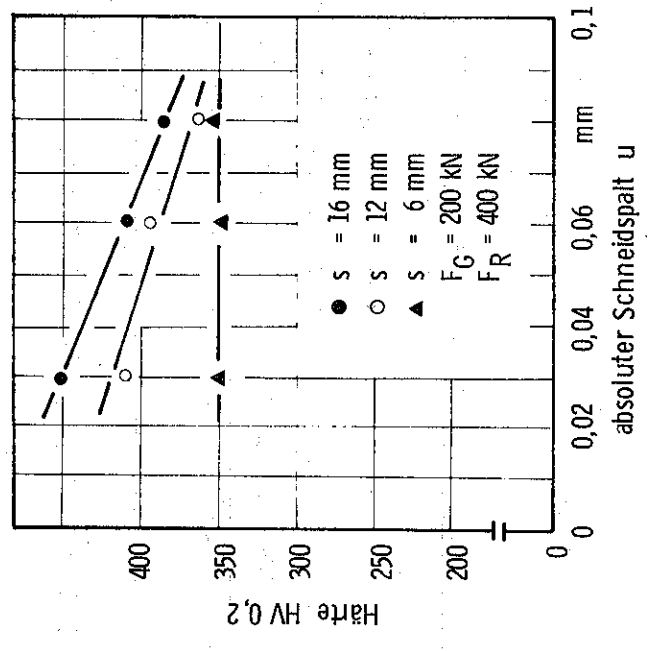


Bild 15: Härteverlauf in Abhängigkeit vom Schneidspalt

Während die Härte in der Einzugzone unabhängig von der Größe des relativen Schneidspalts sind, nimmt die Verfestigung in der Probenmitte und an der Gratseite mit wachsendem relativen Schneidspalt ab. Die Abnahme der Härte ist an der Gratseite stärker ausgeprägt als in der Probenmitte. Dies bedeutet, daß die Härte bei einer Extrapolation der jeweiligen Kurvenverläufe von einer bestimmten Schneidspaltgröße an in der Probenmitte größere Werte annähme als an der Gratseite.

Die Härte würde dann einen Verlauf annehmen, wie er bei einer Lochwandung mit Abriß (s. Bild 12) auftritt.

### 3.3.2 Einfluß der Gegenhalterkraft

Bei konstantem relativen Schneidspalt ist der Härteverlauf direkt an der Schnittfläche fast unabhängig von der Größe der Gegenhalterkraft. Die Härte nimmt an der Gratseite mit steigender Gegenhalterkraft nur unwesentlich zu. Betrachtet man jedoch den Härteverlauf im Abstand von 0,2 mm bzw. 0,6 mm von der Schnittkante, so ist sowohl ein quantitativer Anstieg der Härteverläufe als auch ein Übergang vom Kurvenverlauf mit relativem Maximum zu stetig steigenden Härteverläufen zu verzeichnen, Bild 16.

### 3.3.3 Einfluß einer Ringzacke auf das Werkstoffverhalten in der Randzone

Vergleicht man den Härteverlauf in der Randzone eines feingeschnittenen Loches, das einmal mit einer Ringzacke, zum anderen Mal ohne Ringzacke feingeschnitten wurde, so lassen sich folgende Aussagen treffen:

Die maximal erreichten Härteverläufe an der Gratseite sind in etwa gleich groß.

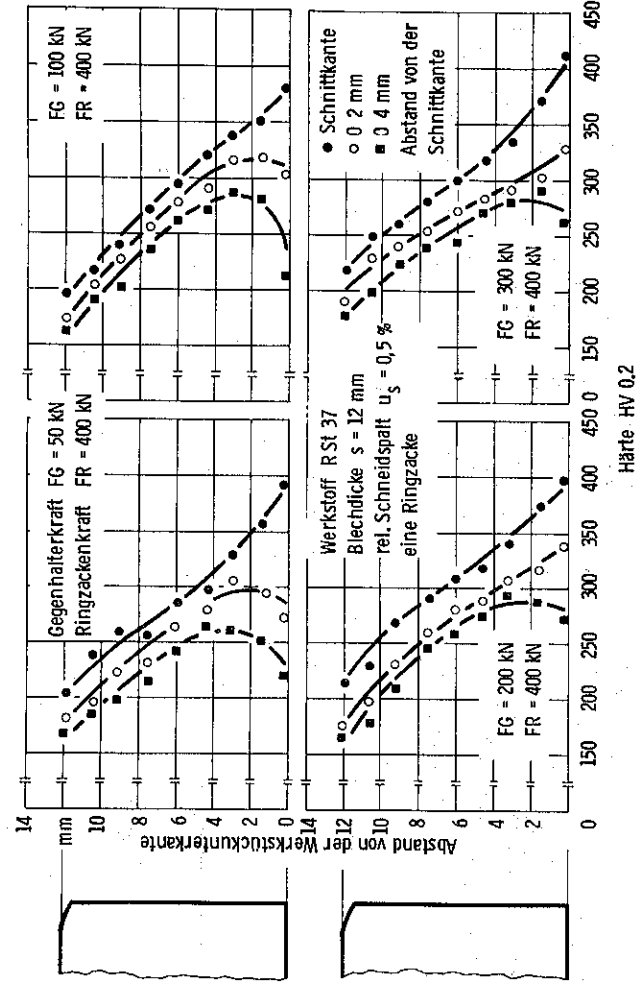


Bild 16: Härteverlauf an feingeschnittenen Lochwandungen bei unterschiedlichen Gegenhalterkräften

Bei der Lochwandung, die ohne Ringzacke geschnitten wurde, ist die Aufhärtung im Bereich des Schnittbeginns bedeutend stärker als bei der mit Ringzacke geschnittenen Probe.

Die Härteverläufe sind in Bild 17 dargestellt.

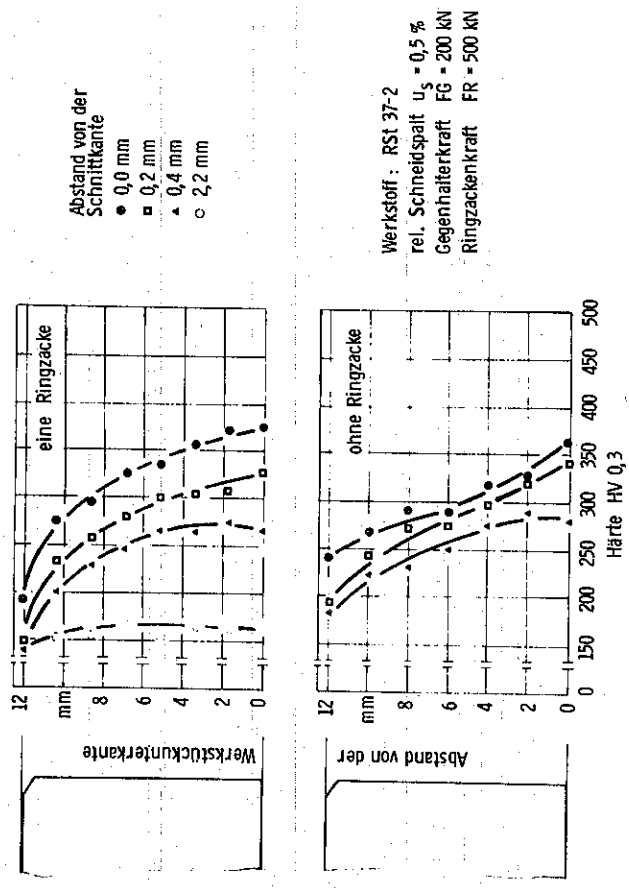


Bild 17: Einfluss einer Ringzacke auf den Härteverlauf

### 3.3.4 Einfluss der Blechdicke

Härtemessungen bei verschiedenen Blechdicken ergaben einen Anstieg der Härtewerte mit der Blechdicke für normierte Maßpunkte in der Lochwandung, Bild 18.

Es ist zu erkennen, daß die Härtewerte sowohl an der Einzugsseite, wie auch in Blechmitte und an der Gratseite mit steigender Blechdicke zunehmen.

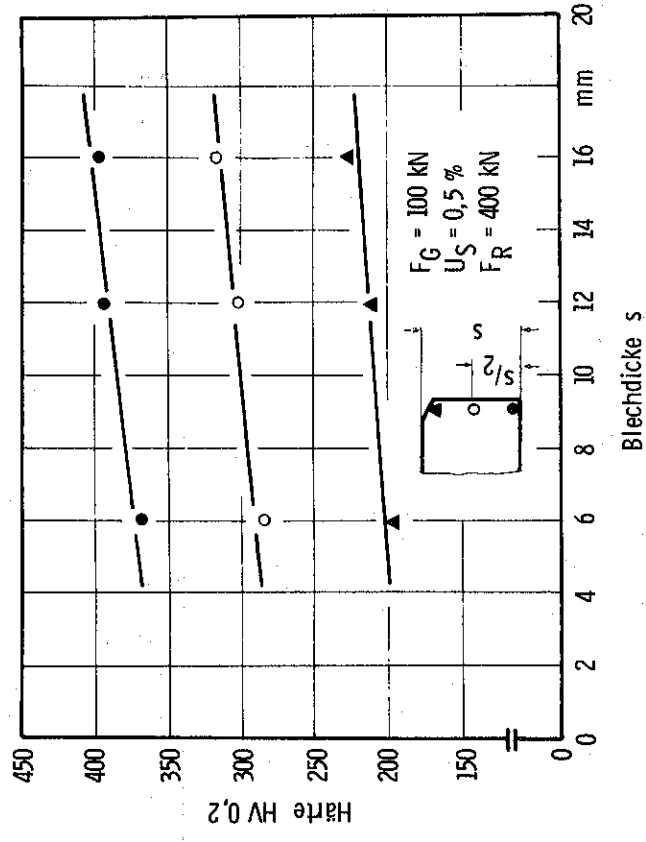


Bild 18: Härte der Schnittfläche bei verschiedenen Blechdicken

## 3.4 Werkzeugbelastung und Verschleiß

### 3.4.1 Untersuchungen zur Bestimmung von Schneidkraft und Schneidarbeit

Basis für die Konstruktion einer geeigneten Presse bzw. für die Auslegung eines funktionsfähigen Werkzeuges ist die Kenntnis der erforderlichen Schneidkraft und Schneidarbeit sowie der Stempelkraft und Stempelarbeit.

Unter Stempelkraft bzw. Stempelarbeit wird hier die Größe verstanden, die der tatsächlichen Belastung entspricht; Schneidkraft und Schneidarbeit ergeben sich durch Berücksichtigung der Gegenhalterkraft. Die Schneidkraft ergibt sich aus der Subtraktion der Gegenhalterkraft von der Stempelkraft.

Gegenhalterkraft und Ringzackenkraft haben Einfluss auf die Stempelbelastung, Bild 19 und 20.

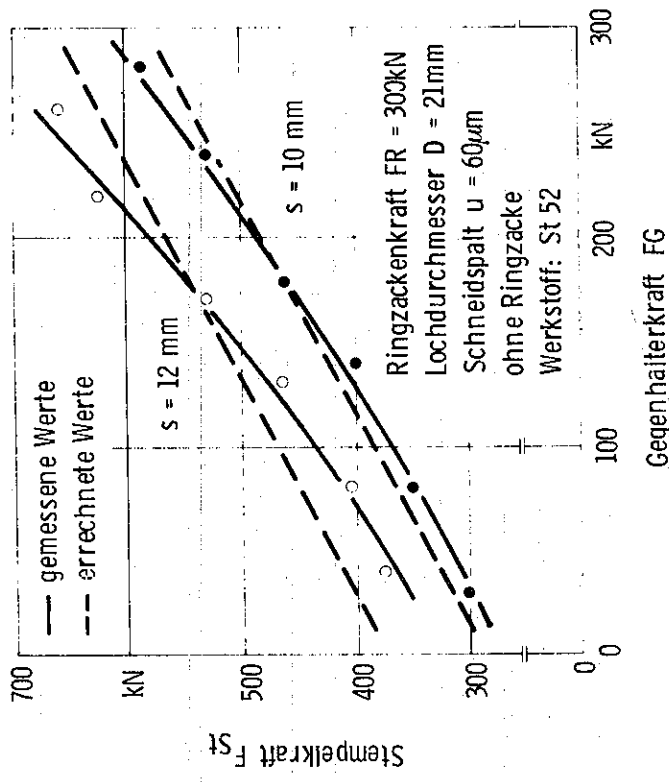


Bild 19: Verlauf der Stempelkraft in Abhängigkeit von der Gegenhalterkraft

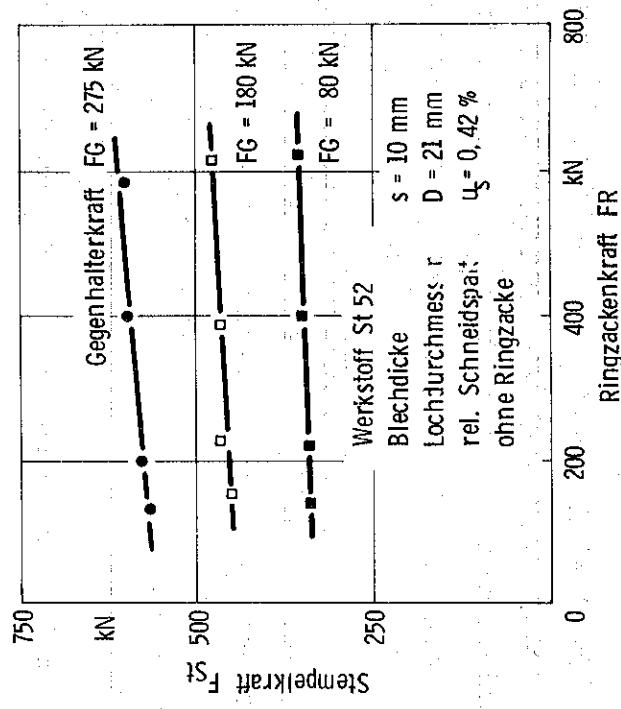


Bild 20: Verlauf der Stempelkraft in Abhängigkeit von der Ringzackenkraft

Die Stempelkraft  $F_{St}$  nimmt mit steigender Gegenhalterkraft zu. Dabei liegen die gemessenen Kräfte für hohe Gegenhalterkräfte über den errechneten Werte für niedrige Gegenhalterkräfte darunter. Der Grund hierfür dürfte in einem stärkeren radialen Werkstofffluss liegen, der eine Erhöhung der Reibkräfte zwischen Werkstoff und Schneidplattenwandung zur Folge hat. Der Anstieg der Stempelkraft mit steigender Ringzackenkraft ist im Vergleich zu steigenden Gegenhalterkräften gering, Bild 20.

Während die Schneidkraft beim Normalschneiden durch Vergrößerung des Schneidspalts gesenkt werden kann, läßt sich eine Veränderung der Schneidkraft im Bereich der Schneidspaltgrößen  $0,25 \% \leq u_s \leq 1,5 \%$  nicht feststellen, Bild 21.

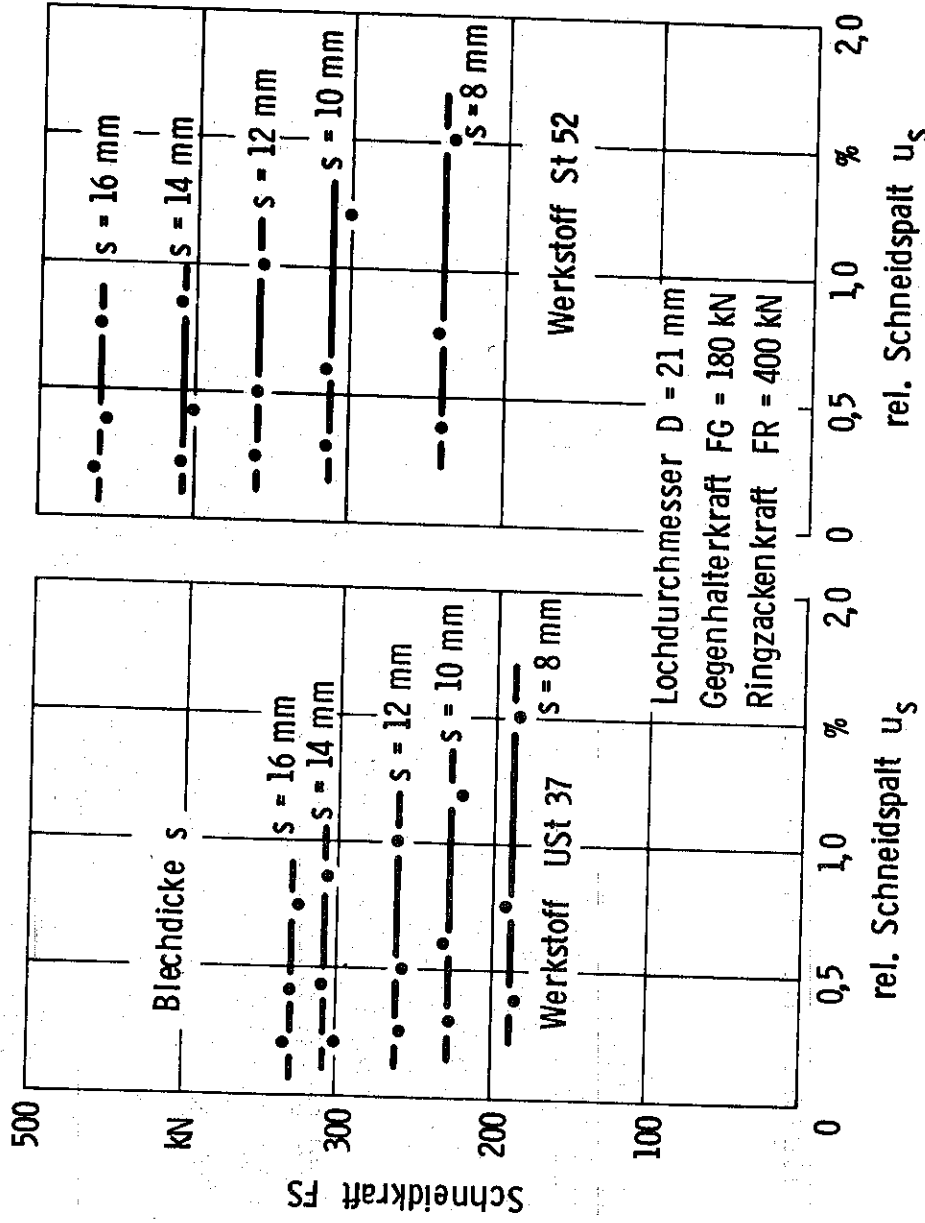


Bild 21: Einfluß von Schneidspalt und Blechdicke auf die Schneidkraft

Die Schneidkraft nimmt mit steigender Blechdicke zu, die Werte liegen beim Werkstoff St 52 entsprechend der Werkstofffestigkeit höher als beim Werkstoff St 37. In Bild 22 sind die Meßwerte und die berechneten Werte für die Schneidkraft dargestellt. Die Grenzen des Streubandes für die berechneten Schneidkraftwerte ergeben sich aus den minimalen bzw. maximalen Werkstoffkennwerten. Entsprechende Werte ergeben sich für die Arbeit, Bild 23.

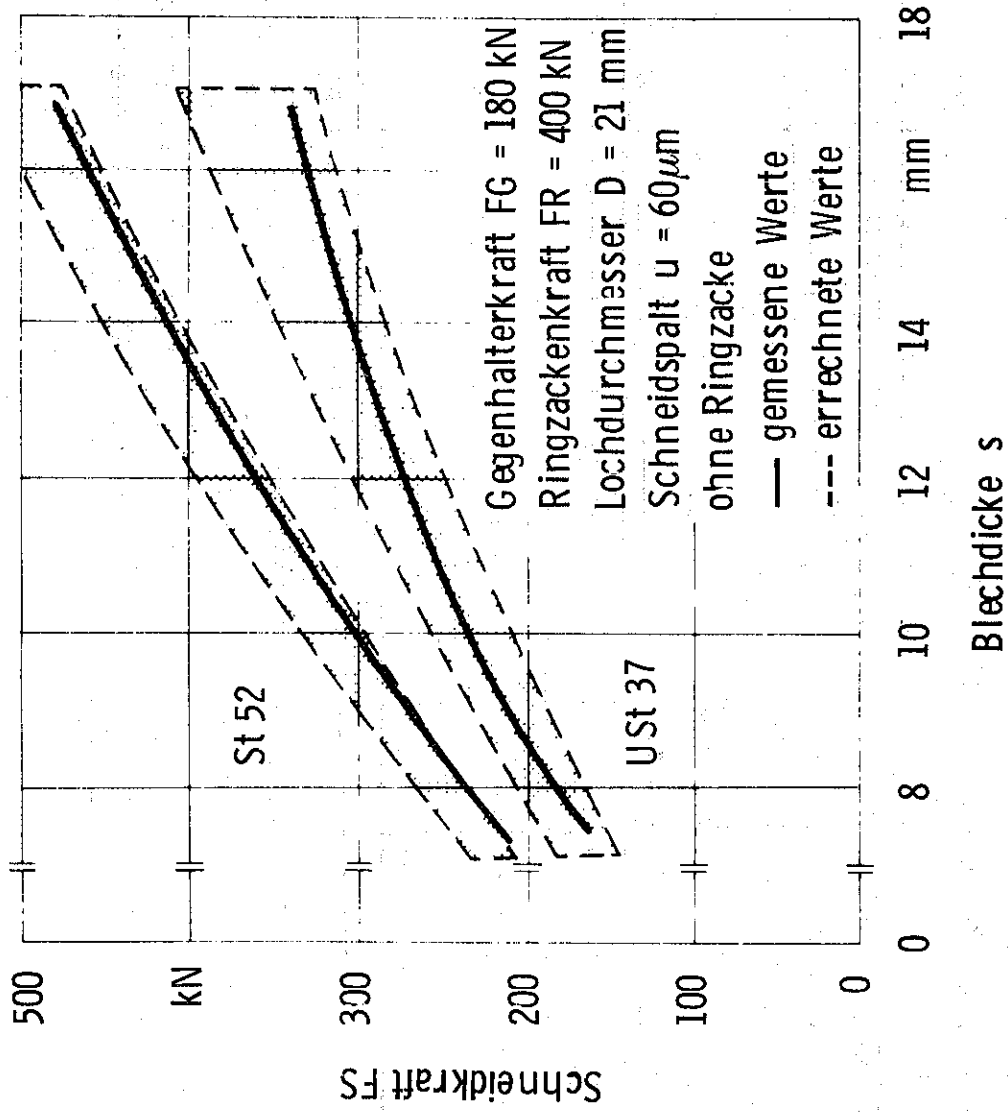


Bild 22: Vergleich gemessener und berechneter Schneidkräfte

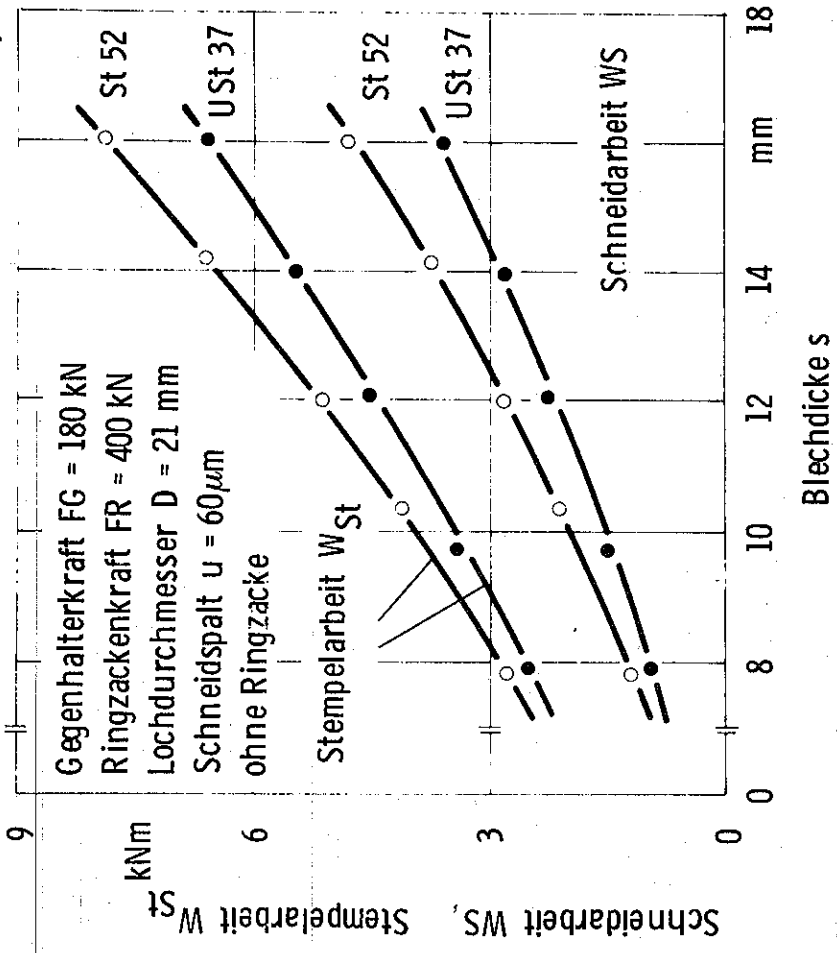


Bild 23: Arbeitsbedarf beim Feinschneiden von Löchern

### 3.4.2 Werkzeugverschleiß

In den bisher durchgeführten Versuchen kamen in erster Linie Schneidstempel mit  $D = 21$  mm Lochdurchmesser zum Einsatz. Diese Stempel erreichten eine Standzeit von über 2000 Lochungen und waren darüber hinaus noch einsetzbar.

Die für die speziellen Verschleißuntersuchungen gewählten Parameter sind Tabelle 4 zu entnehmen.

| Versuchsserie                                  | I              | II             | III                     | IV                      |
|--|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| Stempeldurchmesser D<br>in mm                  | 15             | 15             | 15                      | 13                      |
| Blechdicke s<br>in mm                          | 10             | 10             | 10                      | 16                      |
| Lochungsverhältnis<br>D/s                      | 1,5            | 1,5            | 1,5                     | 0,81                    |
| absoluter Schneid-<br>spalt u in $\mu\text{m}$ | 60             | 60             | 60                      | 80                      |
| bezogener Schneid-<br>spalt $u_s$ in %         | 0,6            | 0,6            | 0,6                     | 0,5                     |
| Gegenhalterkraft<br>FG in kN                   | 200            | 200            | 200                     | 125                     |
| Niederhalter<br>FR in kN                       | 150            | 150            | 150                     | 150                     |
| Anzahl der Ring-<br>zacken                     | 0              | 0              | 0                       | 0                       |
| Werkstoff                                      | UST 37         | UST 37         | UST 37                  | UST 37                  |
| Schmierstoff                                   | Tergon<br>1740 | Tergon<br>1735 | Tergon<br>1735/<br>1740 | Tergon<br>1735/<br>1740 |

Anmerkung: Bei Versuchsserie III war der Schneidstempel TiN-beschichtet

Tabelle 4: Versuchsbedingungen der Verschleißuntersuchungen

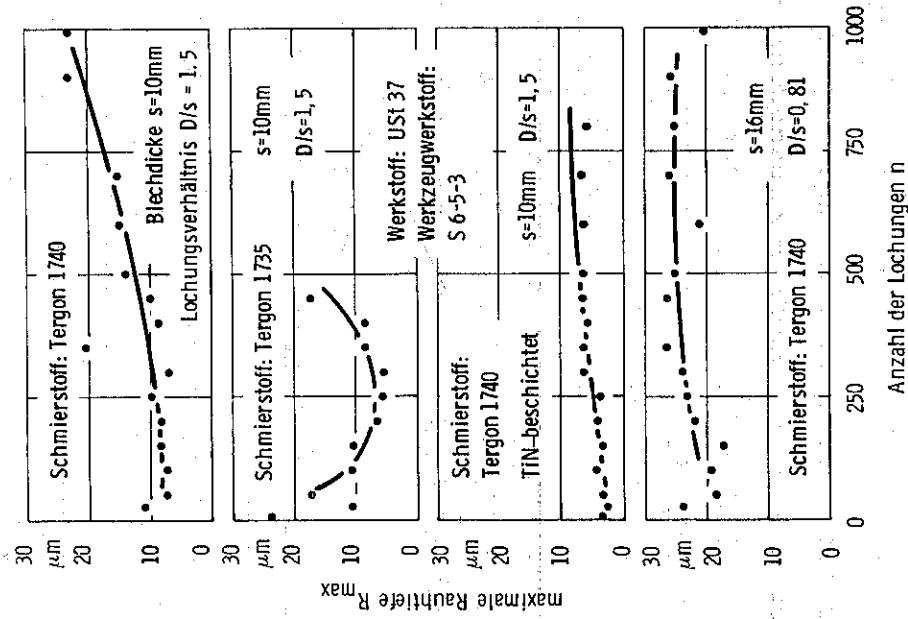
Die Auswertung der Versuchsserien I - IV erfolgte durch folgende Messungen:

- Messung von Schneidkraft und Rückzugskraft am Schneidstempel mittels DMS
- Profilmessung an der Stempelmantelfläche mittels Perth-O-Meter
- optische Beurteilung der Stempelflächen
- Rauhtiefenmessung an der Lochwandung mittels Perth-O-Meter in Umfangsrichtung

Beim Feinschneiden dicker Bleche entstehen am Schneidstempel anfänglich Aufschweißungen sowie adhäsiver Verschleiß an der Schneidkante, während bei größeren Schnitzzahlen abrasiver Mantelflächenverschleiß überwiegt.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß bei Verwendung des Schmiermittels Tergon 1735 der Verschleiß als auch die Rautiefen an der Lochwandung größer sind als bei Tergon 1740. Die Bildung von Aufschweißungen können beide Schneidöle nicht verhindern.

Die Beschichtung des Schneidstempels mit Titanitrid wirkt sich günstig auf die Qualität der Lochwandungen aus. Da es zwischen Werkzeug und Werkstoff zu keinen Verschweißungen kommt, bleibt die Stempeloberfläche im Vergleich zum unbeschichteten Schneidstempel relativ glatt und weist einen geringeren Verschleiß auf. Die Lochwandungen haben kleinere Rauheiten; die maximale Rauhtiefe  $R_{\text{max}}$ , der Rauheitskennwert, der die Riefen in der Schnittfläche berücksichtigt, liegt besonders niedrig, Bild 24.



**Bild 24:** Rauhtiefe der Lochwandungen in Abhängigkeit von der Lochungszahl

Mit sinkendem D/s-Verhältnis wurde bei den durchgeführten Versuchen der Schneidweg größer. Damit kann die Ausbildung eines lückenlosen Schmierfilms mit steigender Eindringtiefe des Stempels in den Werkstoff nicht mehr gewährleistet werden, wodurch die Rauheit der Schnittfläche größer wird.

Mit steigender Anzahl der Lochungen nehmen die Rauheiten der Schnittflächen i.a. zu. In Versuchsserie IV ist diese Tendenz wegen der großen Grundrauheit nicht zu erkennen. Die Rauheit der Lochwandungen ist an der Gratseite um das 1,5 - 2-fache größer als in der Nähe des Einzugs.

Die Schneidkräfte lagen für Versuchsserie I - III zwischen FS = 400 - 420 kN, für Serie IV zwischen FS = 310 - 315 kN.

Mit steigender Lochungszahl zeigte sich für die Schneidkraft keine einheitliche Tendenz; die Rückzugskraft zeigte besonders bei den Serien III und IV ein Ansteigen mit wachsender Nutzungsdauer.

Für Serie I, II und IV lagen die Rückzugskräfte zwischen FR = 10 - 20 kN, in Serie III stiegen die Rückzugskräfte kontinuierlich von FR = 15 kN auf FR = 30 kN an.

Stempel III brach nach 791 Lochungen während des Rückzugvorgangs. Die Kraftmessschriebe zeigten, daß, verglichen mit den vorangegangenen Lochungen, keine Erhöhung der Kräfte zu verzeichnen war. Beim Rückzug ist der Stempel auf Zug belastet, die mittlere Spannung betrug ca.  $170 \text{ N/mm}^2$ , lag also relativ niedrig. Diese Fakten lassen darauf schließen, daß Werkstoffermüdung (Ermüdungsrisse) zum Versagen geführt hat. Das gleiche traf auch für den Stempel der Versuchsreihe II zu, der nach 462 Lochungen einen quer über die Stirnfläche verlaufenden Riß aufwies. Die Stempel der Versuchsreihen I und IV erreichten eine Standzahl, die über 1.000 lag.

#### 4. Bauteilverhalten

Neben der geometrischen Bestimmung der Lochqualität war das Bauteilverhalten der feingeschnittenen Teile von besonderem Interesse, da die Zielsetzung des Vorhabens dahinging, daß die Qualität der feingeschnittenen Werkstücke mindestens so gut sein sollte, wie die der konventionell gefertigten.

Hierzu wurden am Fraunhofer Institut für Betriebstechnik, Darmstadt, Dauerschwingversuche durchgeführt, bei denen gebohrte, gebohrt und geriebene, normalgeschnittene und feingeschnittene Flachproben zum Einsatz kamen.

##### 4.1 Methodik der Dauerschwingversuche

Zu diesem Zweck wurden einfach gelochte, d.h. innengekerbte Flachproben der Stahlqualitäten USt 37-2 und St 52-3 mit einem Querschnitt von  $80 \times 14 \text{ mm}^2$  und einer Länge von 600 mm durch die oben genannten Verfahren hergestellt. Bei den feingeschnittenen Proben wurde nochmals unterschieden zwischen solchen, die zum einen bei unterschiedlichen Schneidspalten und zum anderen sowohl ohne als auch mit Ringzacke gefertigt wurden.

Die Versuche wurden unter Axialbelastung in einer mechanischen Einspannvorrichtung für Flachproben auf einem 600 kN Horizontalpulser (Bauart Schenk) mit elektronischer Kraftmeß- und Regeleinrichtung durchgeführt. Die Prüffrequenz betrug ca. 32 Hz.

Da bei der Versuchdurchführung mit dem Spannungsverhältnis  $S = \sigma_u / \sigma_0 = -1$  auch Druckbeanspruchungen von den Flachstäben aufgenommen werden mußten, wurde ein mögliches Ausknicken der Stäbe nach bewährtem Prinzip durch eine teflonbeschichtete Knicksicherung unterbunden.

Der Ansatz für die Auswertung der Versuche erfolgt auf der Basis von Nennspannungen für den Nettoquerschnitt unmittelbar an der Kerbstelle der Flachstäbe. Es wurden zwei Beanspruchungshorizonte  $\sigma_{a1}$  und  $\sigma_{a2}$  im Zeitfestigkeitsbereich so festgelegt, daß unter Berücksichtigung bekannter Gesetzmäßigkeiten für Neigung, Abknickpunkt und Streuspanne der Wöhlerlinie zutreffende Dauerfestigkeitsschätzwerte für einen definierten Vergleich der unterschiedlichen Fertigungsvarianten der beiden Werkstoffe St 52-3 und Stahl USt 37-2 abgeleitet werden können.

##### 4.2 Ergebnisse der Dauerschwingversuche

Im gegebenen Fall der innengekerbten Flachstäbe läßt sich bei konsequenter Anwendung der vorliegenden Erfahrungswerte für Stähle vergleichbarer Festigkeit ein Wöhlerlinienstreuband festlegen, das durch den Neigungsexponenten  $k = 5$  für Stahl St 52-3 /9/ und  $k = 7$  für Stahl USt 37-2 /10/ und den Abknickpunkt bei der Schwingzahl  $N = 1 \cdot 10^6$  für den Übergang vom Zeit- auf den Dauerfestigkeitsbereich sowie eine Streubreite  $T_\sigma = 1 : \sigma_{10} / \sigma_{90} = 1 : 1,26$  gekennzeichnet ist.

Die sich durch die unterschiedlichen Neigungsexponenten ergebende flachere Neigung für USt 37-2 erklärt sich aus der Tatsache, daß das Verhältnis zwischen statischer Zugfestigkeit und Dauerfestigkeit bei  $N = 10^6$  Schwingspielen beim relativ weichen Stahl USt 37-2 geringer ist als beim härtesten Werkstoff St 52-3.

Von dieser Festlegung ausgehend wurden die Versuchspunkte in der Weise ausgewertet, daß die Einzelergebnisse innerhalb des hier zu betrachtenden Zugfestigkeitsbereichs durch das Wöhlerstreuband optimal ausgemittelt werden. Durch Auftragung der Wöhlerlinie mit der Überlebenswahrscheinlichkeit  $P_u = 50\%$  mit den entsprechenden Neigungsexponenten für USt 37-2 und



St 52-3 bis zu der Lastspielzahl  $N = 1 \cdot 10^6$  läßt sich dann der geschätzte Dauerschwingfestigkeitswert  $\sigma_D$  entnehmen.

Aus den Wöhlerschaubildern Bild 25 und 26 geht hervor, daß das Fertigungsverfahren "Feinschneiden" den herkömmlichen Verfahren in Bezug auf Dauerfestigkeit erheblich überlegen ist.

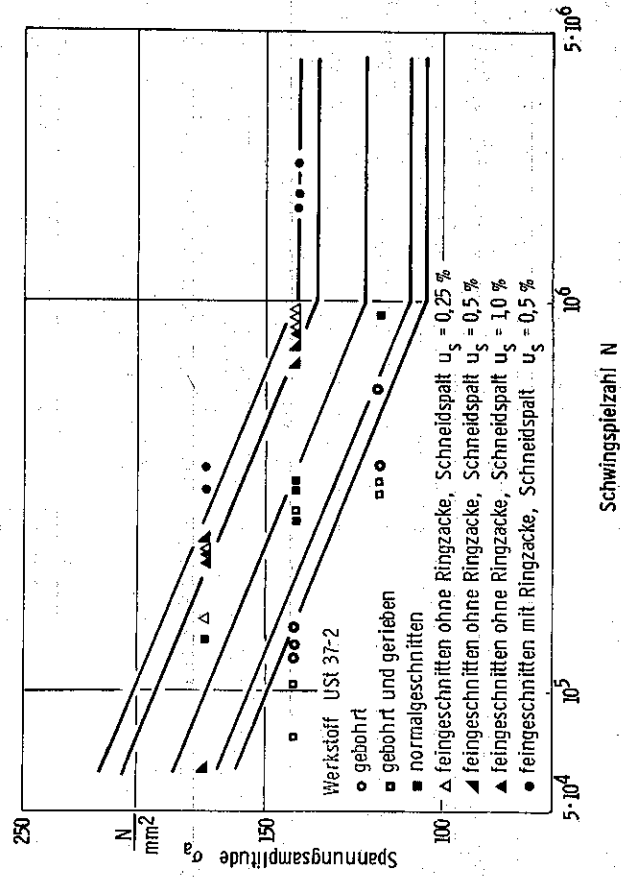


Bild 25: Wöhlerschaubild für Proben der Qualität USt 37-2

Für die verwendeten Werkstoffe St 52-3 und USt 37-2 ist der Einfluß der verschiedenen Fertigungsverfahren vergleichbar. Ein signifikanter Unterschied aufgrund verschiedener Schneidspaltgrößen ist nicht erkennbar.

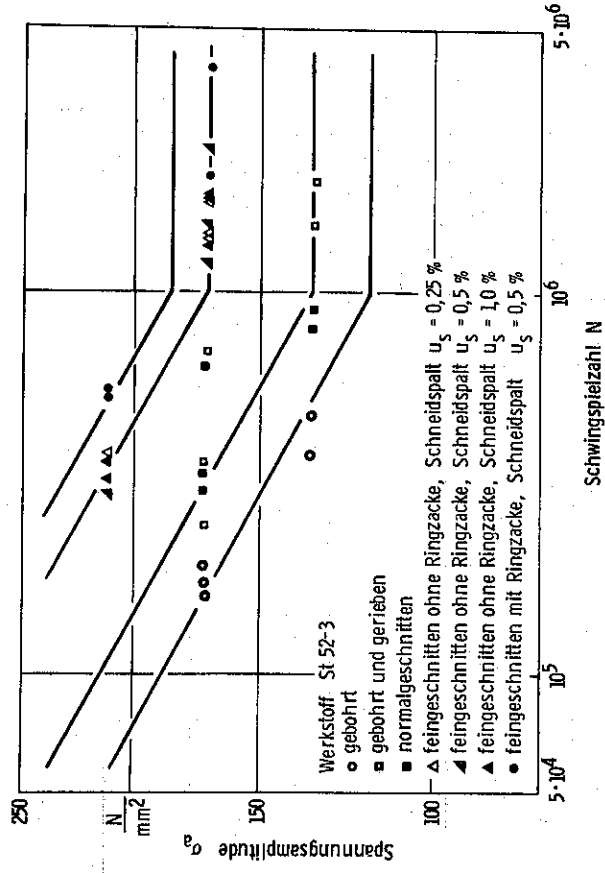


Bild 26: Wöhlerschaubild für Proben der Qualität St 52

Entgegen den Erwartungen wirkt sich die Verwendung einer Ringzacke vorteilhaft auf die Dauerfestigkeit der Bauteile aus, Tabelle 5.

Auffallend ist, daß die Dauerfestigkeit der normalgeschliffenen Probe nicht unter dem Wert der spanend bearbeiteten Probe liegt. Der dem Bohren nachgeschaltete Reibvorgang bewirkt eine Anhebung der Dauerfestigkeit, die beim Stahl St 52 ausgeprägter ist, als bei der Qualität USt 37-2. Diese Werte liegen jedoch wesentlich niedriger als bei den feingeschliffenen Proben.

Werkstoff      Versuchsreihe      Symbol      geschätzter bezogener Dauerfestigkeitswert  $\sigma_A$  (N/mm<sup>2</sup>)      DF-Wert  $\sigma_A, i/\sigma_A$  ge

| Werkstoff                                       | Versuchsreihe                       | Symbol | geschätzter bezogener Dauerfestigkeitswert $\sigma_A$ (N/mm <sup>2</sup> ) | DF-Wert $\sigma_A, i/\sigma_A$ ge |
|---|-------------------------------------|--------|--|-----------------------------------|
| St 52   | 1. Reihe: gebohrt                   | ○      | 118  | 1,0                               |
|   | 2. Reihe: gebohrt und gerieben      | □      | 140  | 1,19                              |
|   | 3. Reihe: konventionell geschnitten | ■      | 140  | 1,19                              |
|   | 4.1 Reihe: feingeschnitten (0,25 %) | ▲      | 170  | 1,44                              |
|   | 4.2 Reihe: feingeschnitten (0,5 %)  | ◄      | 170  | 1,44                              |
| 4.3 Reihe: feingeschnitten (1,0 %)              | ▲                                   | 170    | 1,44   |                                   |
| 5. Reihe: feingeschnitten (0,5 %) mit Ringzacke | ●                                   |        |  |                                   |

|   |                                     |     |      |      |
|---|-------------------------------------|-----|------|------|
| Ust 37-2  | 1. Reihe: gebohrt                   | ○   | 104  | 1,0  |
|   | 2. Reihe: gebohrt und gerieben      | □   | 107  | 1,03 |
|   | 3. Reihe: konventionell geschnitten | ■   | 120  | 1,15 |
|   | 4.1 Reihe: feingeschnitten (0,25 %) | ▲   | 135  | 1,30 |
|   | 4.2 Reihe: feingeschnitten (0,5 %)  | ◄   | 135  | 1,30 |
| 4.3 Reihe: feingeschnitten (1,0 %)              | ▲                                   | 135 | 1,30 |      |
| 5. Reihe: feingeschnitten (0,5 %) mit Ringzacke | ●                                   | 140 | 1,35 |      |

Tabelle 5: Einfluß des Fertigungsverfahrens auf die Dauerfestigkeit

5. Entwicklung einer Feinschneidmaschine

Ziel des Vorhabens war es, neben der Optimierung und Weiterentwicklung der Feinschneidtechnologie auch ein wirtschaftliches Verfahren zur Erweiterung von konventionellen Pressen zu Feinschneidpressen zu finden. Ein naheliegender Gedanke war dabei, vorhandene konventionelle Pressen nach Entwicklung modularer Zusatzsysteme umzurüsten. Schon in der Konstruktionsphase stellte sich allerdings heraus, daß dieser Weg wirtschaftlich nicht beschritten werden konnte, da die notwendigen Umänderungen an den vorhandenen Pressen zu umfangreich gewesen wären. Es wurde deshalb beschlossen, eine völlig neue Maschine zu konzipieren, die jedoch in möglichst vielen Details mit der bei Mubea aufgelegten Serie konventioneller Pressen übereinstimmen sollte. Diese Forderung war mit dem bereits eingeführten Konzept auf dem Markt erhältlicher Feinschneidpressen nicht zu erfüllen. Aus diesem Grund wurde eine Lösung mit nachfolgenden Zielsetzungen erarbeitet.

1. Übernahme möglichst vieler Baugruppen aus dem bekannten hydraulischen Pressenprogramm.
2. Variabler Werkzeugeinbau durch gleiche Nebenzyylinderkräfte in Tisch- und Stößelplatte.
3. Optimale Bedienungs- und Werkzeugeinbauhöhe, um Gruben bzw. Podestkosten zu vermeiden. Gleichzeitig wird dadurch eine bessere Umstellmöglichkeit der Maschine erreicht.

Um die in Punkt 3. beschriebenen Vorteile zu erreichen, war es erforderlich, das Prinzip der herkömmlichen Feinschneidpressen mit Schnittkraft von unten abzuändern. Durch diese Forderung ergab sich in der Konstruktion ein Maschinenständer mit dem Hauptzylinder (Schneidkraft) oben. Der Ständer wurde in bewährter Schweißkonstruktion (Kastenform) gebaut, spannungsfrei gegläht und spanend bearbeitet.

Bei der Konzeption der Hydraulik und Elektrik mußten die Bestimmungen der UVV erfüllt werden, was einen entsprechenden Aufwand in Hydraulik und elektrischer Steuerung mit sich brachte.

Bild 27 zeigt eine Gesamtansicht der fertigen Maschine ohne Werkzeug.

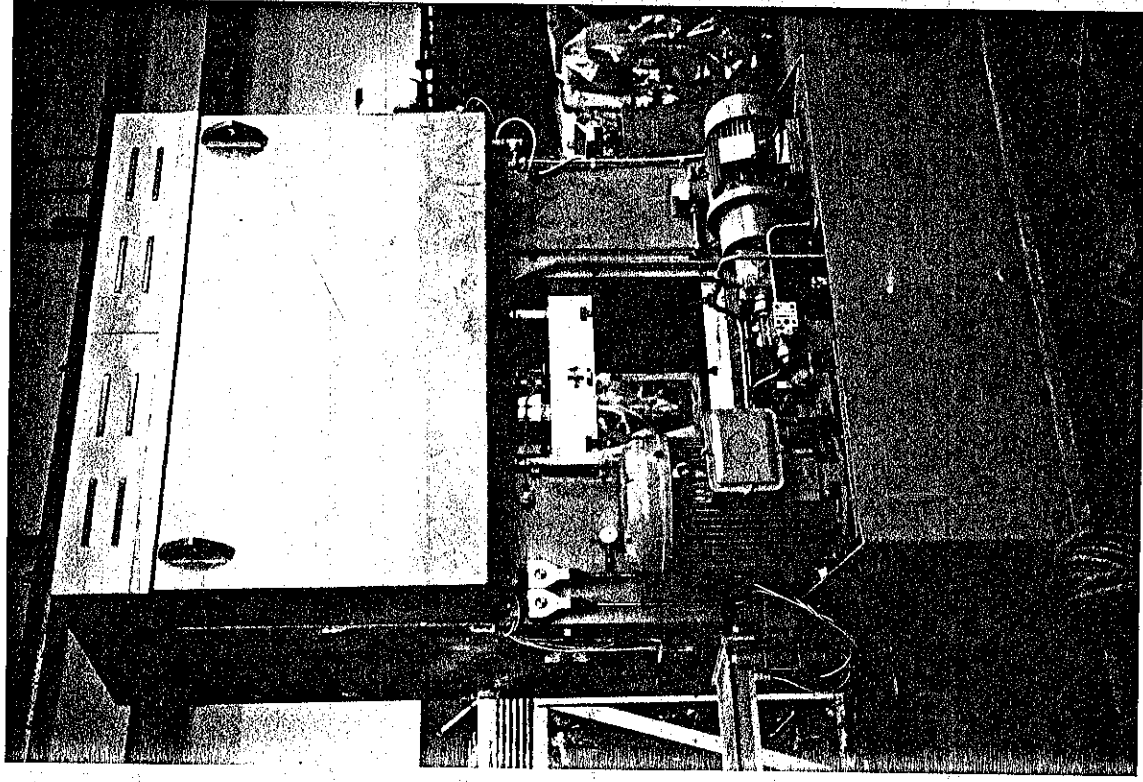


Bild 27: Feinschneidmaschine der Fa. Muhr und Bender

Die Schneidversuche wurden anfangs an Flachstahl mit einem symmetrischen 4-Säulen Werkzeug durchgeführt; später wurde ein 2-Säulenwerkzeug eingesetzt, das sowohl das Feinschneiden von Flach- als auch von Profilstählen ermöglichte, Bild 28.

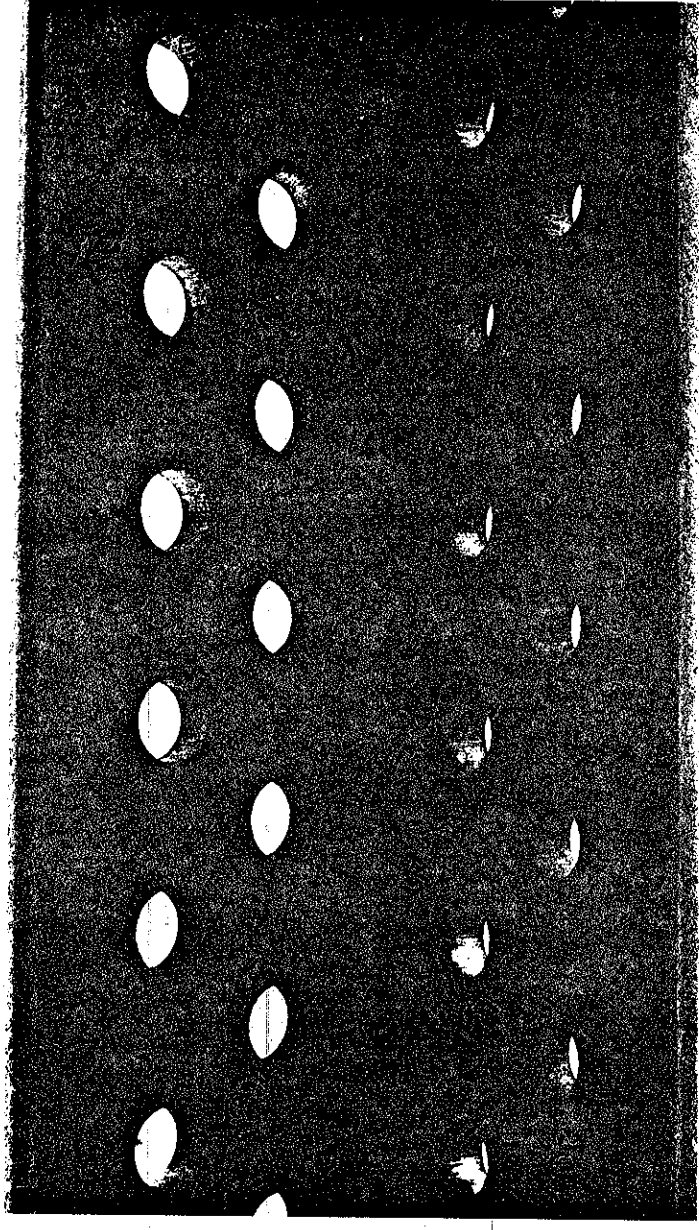


Bild 28: Winkelstahl mit feingeschnittenen Löchern

Die von der Fa. Mubea konstruierten und gefertigten Werkzeuge und die Feinschneidpresse wurden mit Erfolg in einem Langzeitversuch auf ihre Funktionstüchtigkeit überprüft.

Gleichzeitig wurde dabei mit Hilfe von Dehnungsmessern die Verwindungssteifigkeit des Maschinenkörpers überprüft. Diese Messungen konnten in einem vereinfachten Verfahren dadurch vorgenommen werden, daß die Relativbewegungen der acht äußeren Eckpunkte des Werkzeugeinsatzes zueinander gemessen wurden.

Bei Höchstbelastung der Maschine wurden vernachlässigbar kleine Dehnungen festgestellt, die jedoch völlig gleiche Abstandsänderungen der Eckpunkte des Werkzeuges anzeigten.

Hieraus kann geschlossen werden, daß der Maschinenkörper über eine ausreichende Verwindungssteifigkeit verfügt.

## 6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

### 6.1 Vergleich des Feinschneidens mit herkömmlichen Methoden

Für einen Kostenvergleich bietet sich bei Materialstärken  $s \geq 12$  mm nur das Bohren von Löchern an, da das andere in DIN 1000 angegebene Bearbeitungsverfahren - Normalstanzen und Aufreiben - für die Serienfertigung ungeeignet ist.

Vergleicht man die Verfahren Bohren und Feinschneiden am Beispiel eines 16 mm dicken Flachstahles mit 8 Löchern, wobei sowohl Bohrwerk als auch Feinschneidpresse mit automatischen Vorschüben versehen sein sollen, ergibt sich bei einer kritischen Fertigungsmenge von 50 Löchern/Stunde ein wirtschaftlicher Vorteil für das Feinschneiden, Bild 29.

Ein Vergleich der Fertigungszeiten zeigt, daß durch Feinschneiden die sechsfache Stückzahl pro Zeiteinheit gefertigt werden kann, Tabelle 6.

Die Berechnung der Bearbeitungskosten pro Werkstück, basierend auf den Maschinenstundensätzen, verdeutlicht die erhebliche Kosteneinsparung durch das Feinschneiden, Tabelle 7.

Darüber hinaus kann ein Bohrwerk nur 24 Werkstücke/h bearbeiten, daher sind 6 Bohrwerke notwendig, um eine dem Feinschneiden adäquate Stückzahl bearbeiten zu können.

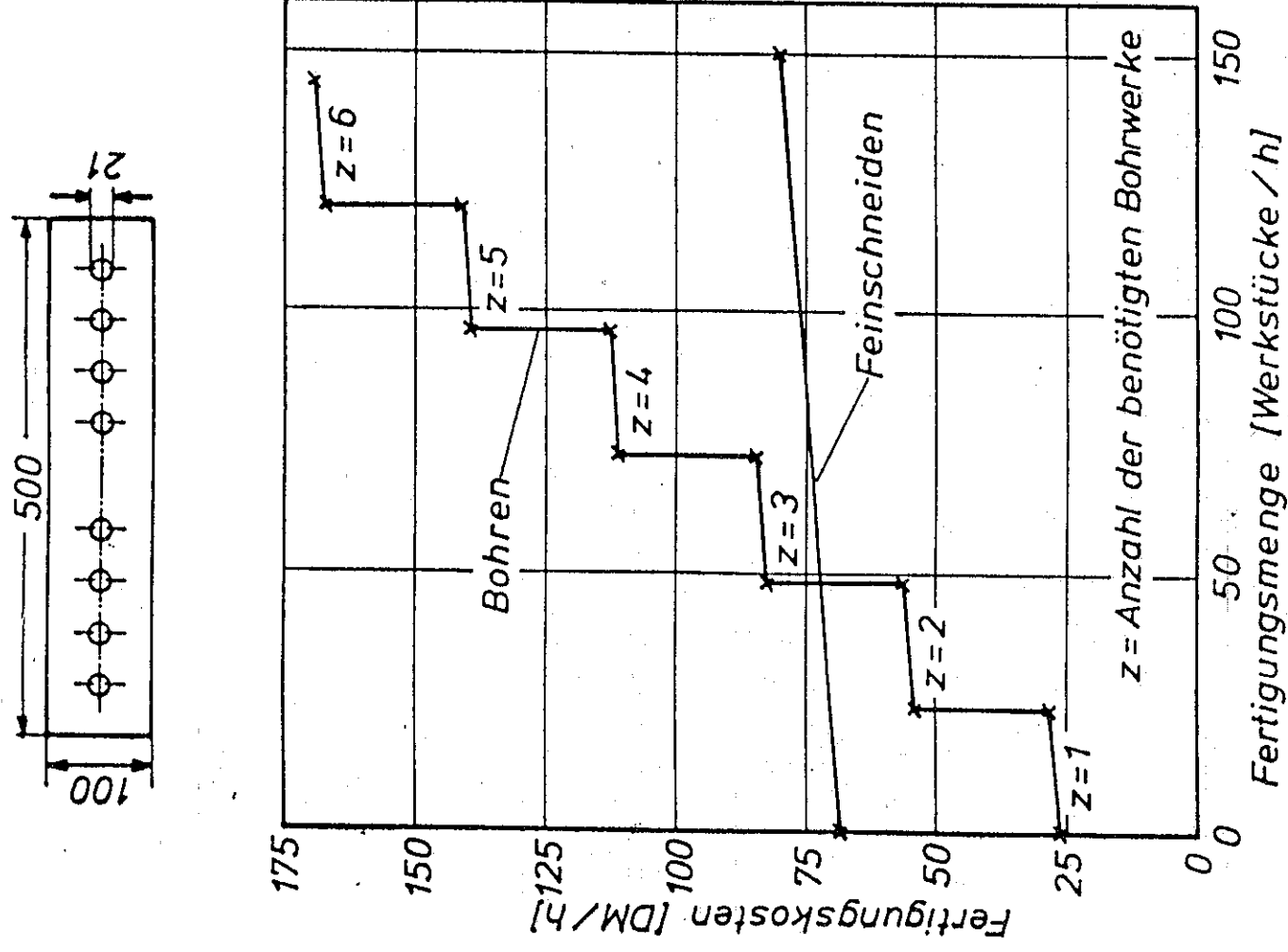


Bild 29: Kostenvergleich Bohren - Feinschneiden

Bohren Feinschneiden

|  |                |               |
|--|----------------|---------------|
| <u>Nebenzeiten</u>                     |                |               |
| Einlegen und Auswerfen des Werkstückes | 4 sec.         | 4 sec.        |
| Vorschub (Rasterschiene)               | 8 x 1 sec.     | 8 x 1 sec.    |
| <u>Hauptzeiten</u>                     |                |               |
| Lochherstellung                        | 8 x 17 sec.    | 8 x 1,5 sec.  |
| Bearbeitungszeit                       | 148 sec./Stück | 24 sec./Stück |
| Bearbeitete Werkstücke pro Stunde      | 24 Stück/h     | 150 Stück/h   |

Anmerkungen:

Lochdurchmesser 21 mm, Werkstückdicke 16 mm

Bohrwerk: Schnittgeschwindigkeit 20 m/min, Vorschubgeschwindigkeit 0,2 mm/Umdrehung

Feinschneidpresse: Schnittgeschwindigkeit 20 mm/min, maximale Schneidkraft 1 MN

Tabelle 6: Vergleich der Fertigungszeiten Bohren - Feinschneiden

Bohrwerk Feinschneidpresse

|                        |              |               |
|------------------------|--------------|---------------|
| Anschaffungswert       | 80.000,-- DM | 250.000,-- DM |
| <u>Fixe Kosten</u>     |              |               |
| Abschreibung           | 10,70 DM/h   | 33,30 DM/h    |
| Zinsen                 | 3,20 DM/h    | 10,00 DM/h    |
| Lohnkosten             | 12,50 DM/h   | 25,00 DM/h    |
| Summe Fixkosten        | 26,40 DM/h   | 68,30 DM/h    |
| <u>Variable Kosten</u> |              |               |
| Werkzeugkosten         | 1,00 DM/h    | 10,00 DM/h    |
| Energiekosten          | 0,80 DM/h    | 1,50 DM/h     |
| Summe variabler Kosten | 1,80 DM/h    | 11,50 DM/h    |

|  |               |               |
|--|---------------|---------------|
| Stundensatz                              | 28,20 DM/h    | 79,80 DM/h    |
| Bearbeitungskosten bei 150 Werkstücken/h | 1,18 DM/Stück | 0,53 DM/Stück |

Anmerkungen: Abschreibungszeitraum 5 Jahre,  
Zinssatz 12 %, 1.500 Arbeitsstunden/Jahr

Feinschneidpresse 1 Arbeitskraft  
Bohrwerk 1/2 Arbeitskraft

Tabelle 7: Vergleich der Fertigungskosten

### 6.2 Neue Anwendungsbereiche

Wie schon erwähnt, müssen gemäß DIN 1000 geschnittene Löcher in Stahlbauteilen ab 12 mm Dicke spanend nachgearbeitet werden. Die durchgeführten Schwingfestigkeitsuntersuchungen haben gezeigt, daß bei Bauteilen mit feingeschnittenen Löchern mit einer wesentlich höheren Lebensdauer gerechnet werden kann, als bei konventionell gelochten Teilen. Darüber hinaus wurde nachgewiesen, daß die geometrischen Abweichungen das in DIN 7154 festgelegte Toleranzfeld H 11 nicht überschreiten.

Im Stahlbau und insbesondere im Gittermastenbau werden heute relativ kostenaufwendige Folgeprozeßanlagen oder reine Bohranlagen eingesetzt. Die Herstellung der Löcher in Flach- oder Winkelleisen bzw. in Knotenblechen durch Feinschneidverfahren kann bei gleichzeitiger Qualitätsverbesserung in erheblichem Maße Kosten senken, sofern die Produktion größerer Stückzahlen erforderlich ist.

Arbeitsgänge wie Vorschub der Werkstücke, Positionierung der Löcher sowie Ablängen können leicht NC-gesteuert im Verbund mit weiteren Fertigungseinheiten realisiert werden.

Wegen der größeren Dauerfestigkeit feingeschnittener Bauteile gegenüber gebohrten oder aufgeriebenen Teilen dürfte einer Zulassung des Feinschneidens für Materialstärken größer 12 mm in DIN 1000 nichts im Wege stehen.

### 7. Zusammenfassung

Es ist möglich, in Flachstahl der Qualitäten RSt37, USt 37 und RSt 52 im Blechdickenbereich von 10 bis 20 mm feinzuschneiden. Der Lochdurchmesser kann dabei kleiner als die Blechdicke sein.

Wesentlicher Prozeßparameter zur Erzielung des Glattschnitts ist ein kleiner Schneidspalt, der etwa 0,5 % der Materialdicke betragen sollte. Es wurden die Einflußgrößen von Gegenhalterkraft, Ringzackenkraft, Ringzacken- und Schneidkanten-geometrie der aktiven Schneidelemente auf die Qualität der Schnittfläche sowie die Maß- und Formgenauigkeit der Löcher untersucht. In Versuchsreihen mit unterschiedlichen Lochabständen wurde ermittelt, daß bei einem nach Dubbel /11/ minimal zulässigen Lochabstand von  $e_{\min} = 3 D$  die Maß- und Formgenauigkeit nicht beeinträchtigt wird. Die Qualität der Löcher genügt dem Toleranzfeld H11.

Kraft- und Arbeitsbedarf wurden in Abhängigkeit verschiedener Prozeßgrößen untersucht und mit errechneten Werten verglichen.

Ein Verschleiß der Werkzeugelemente macht sich in der Lochqualität bei einer Standmenge unter 1.000 Lochungen nicht eindeutig bemerkbar.

Schwingversuche an innengekerbten Flachproben (einfach gelocht) weisen für feingeschnittene Löcher eine höhere Lebensdauer als konventionell gelochte Bauteile auf.

Die so gewonnenen Erkenntnisse wurden als Grundlage für die Konstruktion von speziellen Werkzeugen und Feinschneidmaschinen für das Lochen von Flach- und Winkelstahl sowie Blechen im Stahlbau verwendet.

Anhand eines Anwendungsbeispiels wurden die Herstellungskosten für ein gebohrtes Werkstück ermittelt und den Kosten des im Feinschneidverfahren hergestellten Werkstücks gegenübergestellt.

Literaturverzeichnis

- |     |  |  |
|-----|--|--|
| /1/ | DIN 1000                                 | Stahlbauten  |
| /2/ | DIN 8580                                 | Fertigungsverfahren  |
| /3/ | VDI 3345                                 | Feinschneiden  |
| /4/ | Haack, J.<br>Birzer, F.                  | Feinschneiden - Handbuch<br>für die Praxis,<br>Feintool AG, Lyss/Schweiz   |
| /5/ | Birzer, F.<br>Haack, J.<br>Kurzhöfer, G. | Feinschneiden und Feinschneid-<br>werkstoffe; Feintool AG Lyss,<br>Hoesch Werke, Hohenlimburg<br>Schwerte AG   |
| /6/ | Beck, G.                                 | Die Bedeutung des Werkstück-<br>werkstoffes beim Feinschneiden,<br>Bänder, Bleche, Rohre<br>(1973) Heft 8 und 9  |
| /7/ | Singer, H.                               | Wirtschaftliches Feinschneiden<br>mit optimalen Werkstoffen;<br>Techn. Rundschau (1976)12,S.13-15<br>Techn. Rundschau (1976)19,S.19-21   |
| /8/ | Reichel, W.<br>Katz, R.                  | Das Stanzen von Löchern in<br>Theorie und Praxis,<br>Blech 15(1968)S.24-34   |
| /9/ | Haibach, E.<br>Matschke, C.              | Schwingfestigkeit von Stahl Ck 45<br>bei verschiedenen Formzahlen und<br>Spannungsverhältnissen,<br>Fraunhofer-Institut für Betriebs-<br>festigkeit, Darmstadt<br>Bericht Nr. FB-129(1980) |

- /10/ Ostermann, H.  
Schütz, N.  
Einfluß unterschiedlicher und häufiger Vorbelastungen auf die Schwingfestigkeit gebohrter Flachstähle aus St 37, Teil A: Wöhlerversuche  
Lab. i. Betriebsfestigkeit, Darmstadt, Bericht Nr. FB-53 (1964)
- /11/ Dubbel  
Taschenbuch für den Maschinenbau I  
13. Auflage, Springer Verlag
- /12/ Kurzhöfer, G.  
Wirtschaftliches Feinstanzen durch bessere Stahlgelüge, Schweizer Maschinenmarkt Nr. 72(1972)33, S.44-47
- /13/ Krämer, W.  
Untersuchungen über das Genau-schneiden von Stahl und Nicht-eisenmetallen  
Verlag W. Girardet, Essen (1979)
- /14/ Radtke, H.  
Untersuchung des Feinstanzvorgangs  
Forschungsbericht NRW Nr. 2152, Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen (1970)
- /15/ König, W.  
Rotter, F.  
Straßburger, Ch.  
Maid, O.  
Neue Möglichkeiten in der Feinschneidtechnologie durch hochfeste, perlitarne Stähle, tz für Metallbearbeitung, Heft 3, (1982)