

Die Standmengen hochbeanspruchter Schmiedegesenke werden immer öfter durch verschleißfeste Auftrags-schweißungen gesteigert. Ebenso nimmt der Anteil reparaturgeschweißter Gesenkgravuren zu. Im Schweißgefüge werden je nach Schweißwerkstoff Festigkeiten  $R_m$  von 1700 bis 2100 N/mm<sup>2</sup> erreicht. Wegen der schlechten Zerspanbarkeit dieser geschweißten Werkstoffe werden solche Gesenkgravuren derzeit fast ausschließlich funkenerosiv bearbeitet. Versuche, auf eine spanende Bearbeitung umzustellen, scheiterten in der Praxis bislang häufig an der mangelnden Prozeßsicher-

heit beim Fräsen. Die hohe Härte insbesondere im Bereich der Schweißkruste, erhebliche Härteschwankungen und Gefügeinhomogenitäten wie Schlackeneinschlüsse und Lunken lassen den Zerspanungsprozeß als kaum beherrschbar erscheinen.

Hoher Kostendruck und immer engere Terminvorgaben zwingen jedoch dazu, verstärkt nach Möglichkeiten einer wirtschaftlichen und schnelleren spanenden Bearbeitung hochfester Gesenke zu suchen. Schneidstoffe und Werkzeuge unterliegen einer ständigen Weiterentwicklung, die Anbieter versprechen enorme Leistungspotentiale in der Hartbearbeitung.

Dies war die Ausgangssituation eines Entwicklungsprojektes (Teilprojekt im

ICCP3: IDS-CAD/CAM-Projekt), mit dessen Durchführung die GIF in Dortmund beauftragt wurde. Ziel war es, aufbauend auf den Erkenntnissen früherer ICCP-Entwicklungsprojekte einen technologisch-wirtschaftlichen Leistungsvergleich zwischen dem Senkerodieren und der NC-Fräsbearbeitung zu erarbeiten.

Unter der Maßgabe einer möglichst direkten Umsetzbarkeit der Ergebnisse in die betriebliche Praxis wurden die Untersuchungen ausschließlich an repräsentativen Gesenkgravuren aus der laufenden Produktion durchgeführt.

## Wirtschaftliche Bearbeitung aufgeschweißter Schmiedegesenke: Erodieren oder Fräsen?

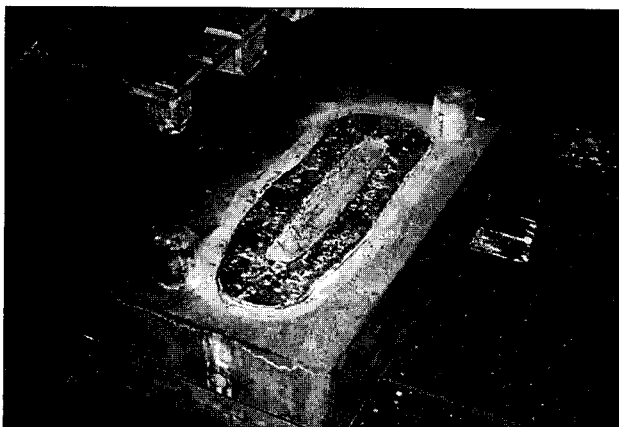
Rafael Bieker, Dortmund

Dr.-Ing. Rafael Bieker, Jahrgang 1958, Studium Maschinenbau an der RWTH Aachen, 1991 Promotion auf dem Gebiet CAD/CAM-NC-Fräsbearbeitung von Stahlhohlformen. Seit 1991 geschäftsführender Gesellschafter der GIF Gesellschaft für innovative Fertigungstechnik mbH in Dortmund (Werkzeug- und Formenbau). Außerhalb der Geschäftsführungstätigkeit für den Dienstleistungsbereich – Beratung und Entwicklung zum Einsatz moderner Technologien im Werkzeugbau – zuständig.

### Geschweißte Gesenke prozeßsicher fräsen

Zunächst erstellte Vergleichskostenkalkulationen für ein typisches Teilespektrum zeigten, daß hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Fräsbearbeitung zwischen großvolumigen und feingliedrigeren Gravuren unterschieden werden muß. Bei

**Bild 1** | Wirtschaftliche Bearbeitung geschweißter Gesenke.



größeren Formen (zum Beispiel Achsschenkel, Kurbelwellen, **Bild 1**) sind bereits für das Vorfäsen und Fertigerodieren erhebliche Kostenvorteile zu erwarten, während bei kleineren Gravuren (beispielsweise Pleuel für Pkw-Motoren, kleine Hebel) das Ergebnis nicht so klar erkennbar ist, da hier das große Abtragsvolumen mit entsprechend langen Erodierzeiten fehlt.

Es handelt sich um grundsätzlich verschiedene Bearbeitungsaufgaben, nicht nur hinsichtlich der Geometrie und der einzusetzenden Fräser (Durchmesser, Auskraglänge, Steifigkeit), sondern auch im Hinblick auf den zu bearbeitenden Schweißwerkstoff. Während großvolumigere Gravuren im Schweißgefüge Festigkeiten  $R_m$  von 1 650 bis 1 850 N/mm<sup>2</sup> erreichen, werden kleinere Formen mit Schweißgut gefüllt, das extrem hohe Festigkeiten bis 2 100 N/mm<sup>2</sup> aufweist.

Voruntersuchungen an einem typischen Schweißwerkstoff der niedrigeren Festigkeitsklasse hatten als Ergebnis, daß die Schruppbearbeitung bei angepaßten Schnittbedingungen prozeßsicher beherrschbar ist. **Bild 2** zeigt einen Leistungsvergleich verschiedener Schneidstoffe für die Schruppbearbeitung (Torusfräser  $D = 32$  mm,  $r = 6$  mm, Ausräumschnitt  $a_e = 20$  mm,  $a_p = 3$  mm).

Bei den Hartmetallen schneidet die K-Qualität aufgrund der hohen Verschleißfestigkeit am günstigsten ab. Die Schnittgeschwindigkeit muß jedoch im Vergleich zum reinen Gesenkstahl deutlich gesenkt werden. Die Bearbeitung sollte unbedingt auf horizontalen Ebenen im reinen Gleichlauf vorgenommen werden. Erheblich höhere Zerspanleistungen (Faktor 4) liefern Hochleistungsschneidstoffe wie CBN (kubisches Bornitrid). Voraussetzung hierfür ist jedoch die absolute Einhaltung stabiler Prozeßbedingungen: das heißt ausreichende Fräsersteifigkeit (zum Beispiel bei  $D = 32$  mm:  $l_{kmax} = 50$  mm, zum Vergleich bei Hartmetall  $l_{kmax} = 80$  mm) und Vermeidung von Aufmaßüberhöhungen, die den Fräser zu Schwingungen anregen. Besondere Anforderungen sind auch an die Steifigkeit der Fräsmaschine (hier vor allem der Spindel) zu stellen.

Die strikte Einhaltung der prozeßstabilen Frässtrategien ist nur in einer NC-Fertigung gewährleistet. So ist beispielsweise beim Einsatz von CBN grundsätzlich im Gegenlauf zu fräsen. Das CAD/CAM-System muß über technologisch optimierte NC-Funktionen verfügen, die diese Frässtrategien möglichst ohne Eingriff des Bedieners in prozeßfähige NC-Programme umsetzen. Dies gilt

ebenso für den Einsatz von hartmetallbestückten Werkzeugen.

Schweißwerkstoffe, die nach dem Schweißen noch nicht völlig ausgehärtet sind, führen aufgrund ihrer Gefügezusammensetzung zu extrem hohem Werkzeugverschleiß und sind daher für CBN ungeeignet.

Für die Fräsbearbeitung mit CBN wurde ein spezielles Werkzeug entwickelt, **Bild 3**. Die runden Standardwechselplatten werden von stabilen Klemmfingern in formschlüssige Plattensitze gepreßt, so daß diese auch unter großem Schnittdruck gesichert sind. Trotz der erheblich höheren Schneidstoffkosten im Vergleich zum Hartmetall können die Kosten je Meter Fräsweg bei stabilen Prozeßbedingungen um fast 50% reduziert werden.

Dem Schlichtfräsen von größeren Gravuren sind durch größere Auskraglängen enge Grenzen gesetzt. Tiefliegende kleine Eckenradien bieten kaum eine ausreichende Prozeßstabilität, so daß im Regelfall lediglich vorgefräst und anschließend fertigerodiert werden kann.

Eine völlig andere Bearbeitungssituation stellt sich für feingliedrige Gesenke dar. Zum einen werden Fräser mit erheblich kleineren Durchmessern (typisch  $d < 10$  mm) eingesetzt. Kürzere Auskraglängen und eine sehr viel geringere Schneidenbelastung aufgrund der kleinen Spanquerschnitte bieten grundsätzlich gute Voraussetzungen für eine Fräsbearbeitung dieser Gravuren. Allerdings läßt die extrem hohe Härte der hier verwendeten Schweißwerkstoffe mit 56 bis 60 HRC eine prozeßsichere spanende Bearbeitung zunächst kaum denkbar erscheinen.

Untersuchungen an einer typischen Gravur – **Bild 4** zeigt ein „Doppelgabelstück“ mit den Hauptabmessungen  $l = 160$  mm,  $b = 55$  mm,  $t_{\max} = 17$  mm,  $r_{\min} = 1$  mm – haben jedoch gezeigt, daß dies bei richtiger Werkzeugwahl und angepaßter Prozeßauslegung beherrschbar ist. Ziel war es, die komplett aufgeschweißte Gravur so vorzufräsen, daß nur unter Einsatz einer Schlichtelektrode fertigerodiert werden kann. Die zuvor durchgeführte Vergleichskalkulation ergab, daß allein mit der Einsparung der Schruppelek-

trode und des Schrupperodierprozesses ein Kostenvorteil gegenüber der reinen Erodierbearbeitung zu erreichen ist.

Vorversuche zur Zerspanbarkeit des extrem harten Schweißgefüges wurden mit Vollhartmetallfräsern aus Ultrafeinstkornhartmetall der Qualität K10 (Korngröße 0,6 bis 0,8  $\mu$ m) durchgeführt. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Gravurgeometrie wurden geradstirnige Fräser  $D = 8$  mm mit Eckenradius  $r = 2$  mm und einer Auskraglänge  $l_k = 25$  mm eingesetzt.

Wider Erwarten zeigten diese Fräser auch unter typischen Schruppbedingungen ein hohes Maß an Prozeßsicherheit und eine lange Standzeit, **Bild 5**. Bei Schnittgeschwindigkeiten  $v_c$  von 20 bis 80 m/min wurde ein gleichmäßig abrasiver Freiflächenverschleiß bei Standwegen bis 8 m beobachtet (Gleichlaufräsen, Trockenbearbeitung).

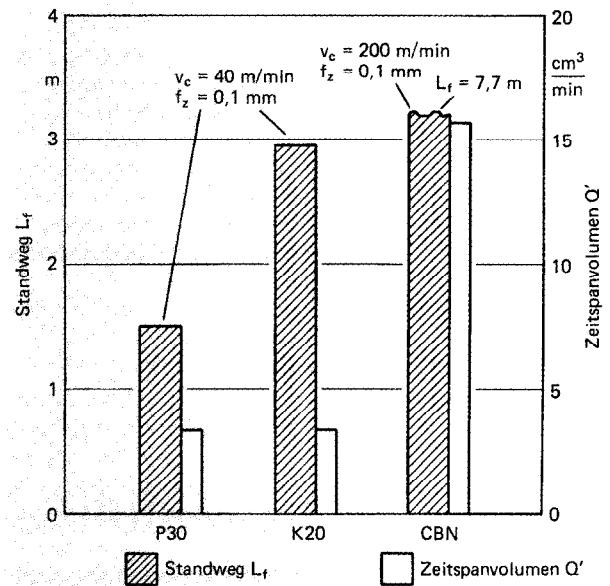
Weiterführende Untersuchungen haben gezeigt, daß neben der feinkörnigen Hartmetallqualität vor allem die Fräsergeometrie (Eckenradius  $r > 2$  mm, stark positive Schneidengeometrie) für dieses stabile Prozeßverhalten verantwortlich ist. Mit Hilfe weiterer Standzeituntersuchungen wurden die verschleißbestimmenden Einflußgrößen (Schnittwerte und Eingriffsbedingungen) optimiert. Darauf aufbauend wurde die Gravur „Doppelgabelstück“ wie folgt konturnah vorgefräst, **Bild 6**:

Vorschub pro Zahn  $f_z = 0,1$  mm, axiale Schnitttiefe  $a_p = 2$  mm, radiale Eingriffsbreite  $a_e = 6$  mm.

Frässtrategien:

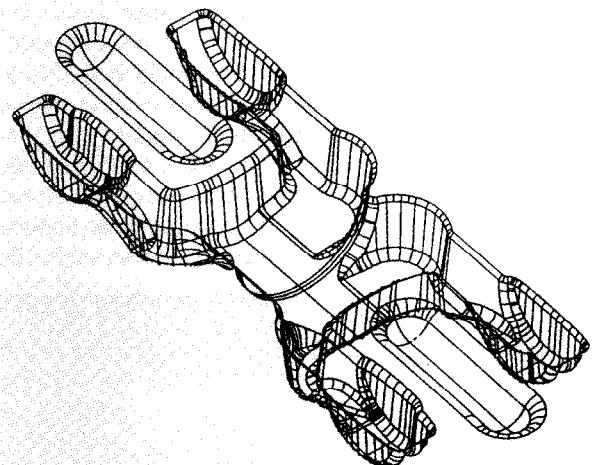
Umrißfräsen im Gleichlauf (Eintauchen auf Spiralbahn, Neigung 5°).

Die Schnittbedingungen wurden so gewählt, daß die gesamte Gravur mit einer Werkzeugstandzeit vollständig und prozeßsicher bearbeitet werden konnte. Anschließend wurde mit einem kleineren Torusfräser ( $D = 6$  mm,  $r = 2$  mm,  $z = 4$ ) im Umriß vorgeschlichtet. Die gesamte Bearbeitung dauerte 40 min. Das verbleibende Restaufmaß betrug  $a_{\min} = 0,3$  bis 0,7 mm. Aufgrund der



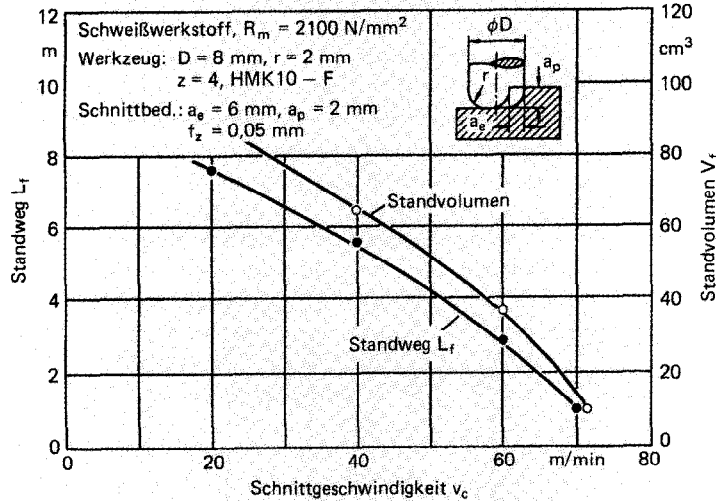
**Bild 2 | Leistungsvergleich für die Schruppbearbeitung.**

**Bild 3 | CBN-bestückter Schaftfräser.**

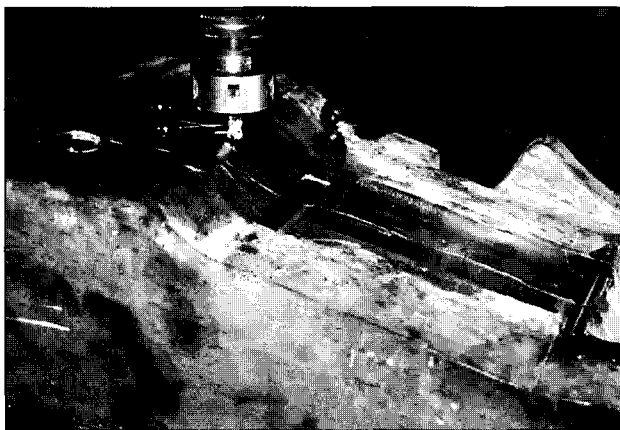
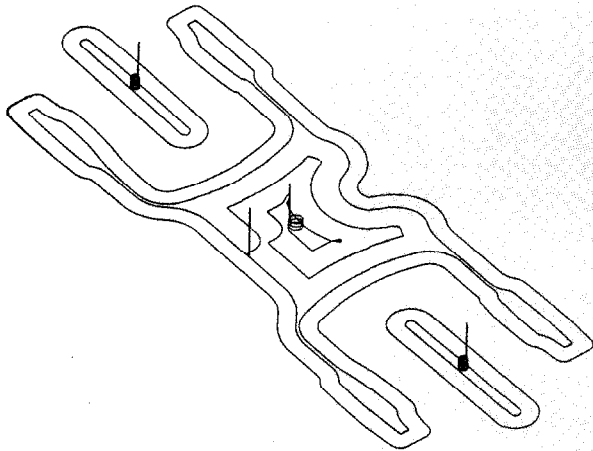


**Bild 4 | Basisgravur „Doppelgabelstück“.**

**Bild 5 | Standzeitverhalten von Ultrafeinstkornhartmetallfräsern.**



**Bild 6 | Ausräumen des Gesenkes „Doppelgabelstück“.**



**Bild 7 | Gravur „Scharnierhebel“, fertigbearbeitet durch Fräsen.**

Stufe 1: konturangepaßtes Ausräumen

gleichmäßigen Restaufmaßstruktur konnte beim anschließenden Senkerodieren wie geplant auf die Schruppelektrode verzichtet werden. Die Schlichterodierzeit für die so vorgefräste Gravur betrug 30 min, dies entspricht der Zeit, die auch in der reinen Erodierbearbeitung für diesen Prozeß benötigt wurde. Das Ergebnis wurde an insgesamt drei

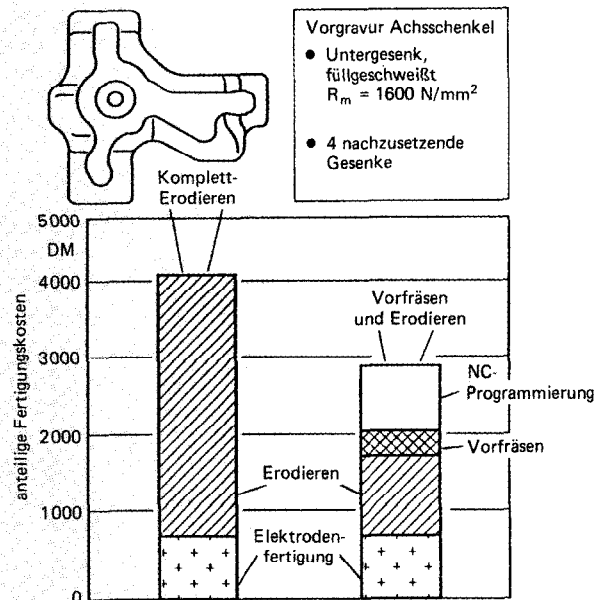
Gravuren unter Produktionsbedingungen verifiziert.

Anhand einer weiteren Gravur, **Bild 7**, wurden auch die Möglichkeiten einer Schlichtbearbeitung erfolgreich erprobt. Hier sind im Einzelfall jedoch noch Entwicklungsarbeiten notwendig, um diese Technologie auch in der Praxis erfolgreich umzusetzen, da bislang nur wenig Erfahrung (eine Basisgravur) für diese sehr anspruchsvolle Bearbeitungsaufgabe vorliegt.

### Zeit- und kostenoptimale Fertigungsfolge

Am Beispiel eines aufgeschweißten Achsschenkelgesenkes (Produktionsteil) zeigt sich sehr deutlich, welche Kosteneinsparungspotentiale im Vorfräsen großvolumiger Gravuren stecken, **Bild 8**.

Durch das große Abtragsvolumen in der Gravur wurden beim reinen Senkerodieren rund 38 h benötigt. Je



**Bild 8 | Wirtschaftlichkeitsvergleich für das Vorfräsen und Fertigerodieren: Beispiel Achsschenkel.**

Werkzeug: Torusfräser  $D = 8 \text{ mm}$ ,  $r = 2 \text{ mm}$ ,  $z = 4$ ,  $l_k = 20 \text{ mm}$ , Ultrafeinstkorn K10.

Schnittbedingungen: Schnittgeschwindigkeit  $v_c = 40 \text{ m/min}$ ,

Bild 9 | Zeitvergleich für alternative Fertigungsfolgen.

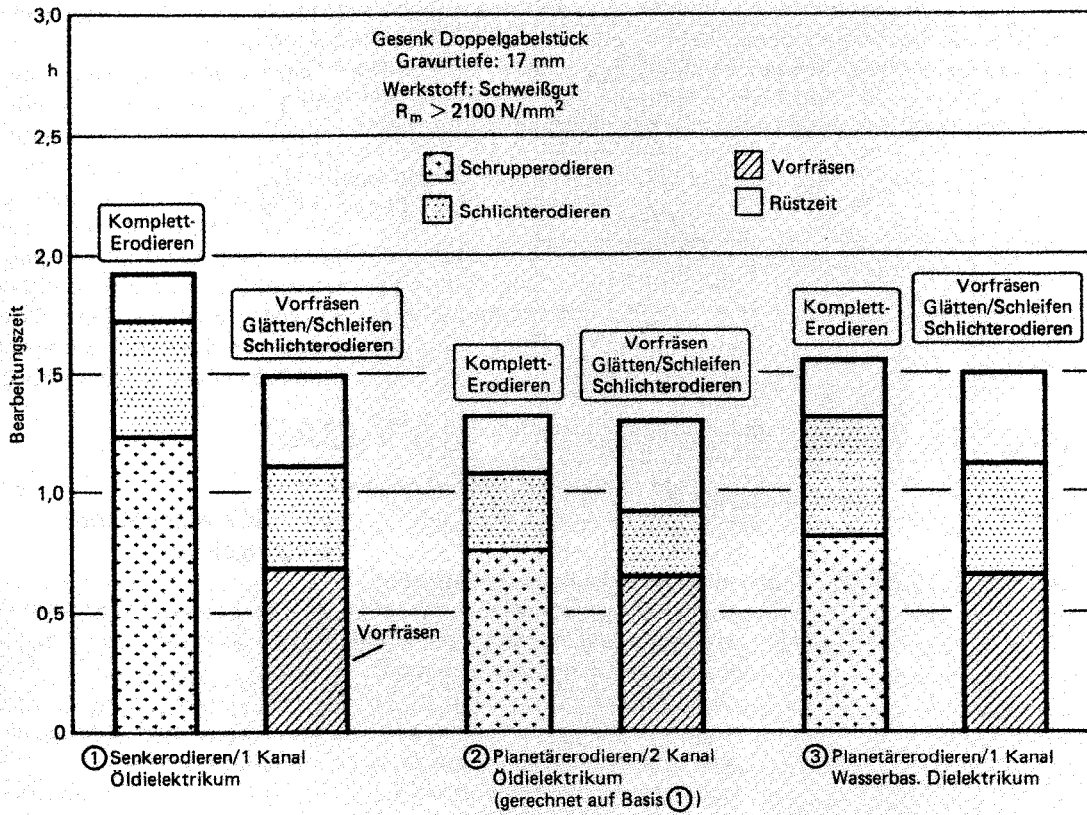
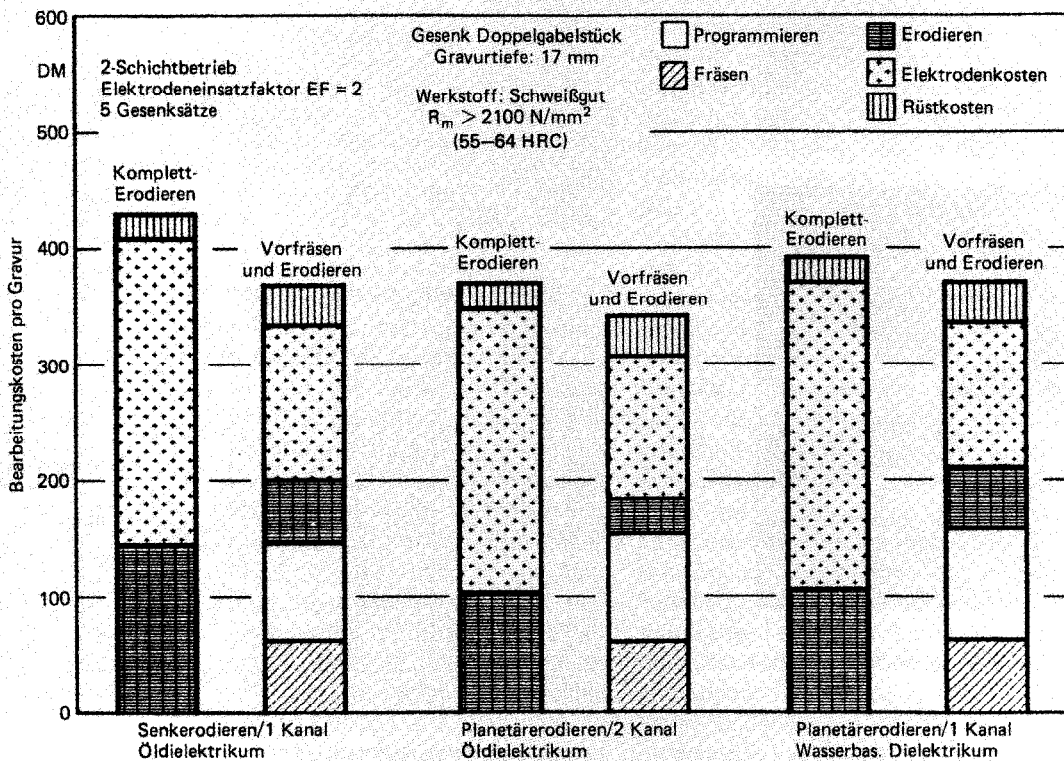


Bild 10 | Wirtschaftlichkeitsvergleich.



nach Aufmaßstruktur des Schweißgutes treten erhebliche Prozessstörungen beim Anerodieren auf, die Bearbeitungszeit schwankt be-

trächtlich. Durch einen groben Vorfräsprozess von 2,5 h kann diese Zeit um mehr als 50% reduziert werden. Obwohl die Schruppelektrode

nach wie vor notwendig ist und zusätzlich Programmierkosten für das Vorfräsprogramm berücksichtigt wurden, ergibt sich dennoch eine

Kosteneinsparung von insgesamt 25%.

Weitere Einsparungen ließen sich erreichen, wenn die Gravur so konturnah vorgefräst werden könnte, daß auf die Schruppelektrode verzichtet werden kann. Dies ist jedoch auf ideale Bedingungen hinsichtlich Fräserauskraglängen und -durchmesser beschränkt.

Kleine, feingliedrigere Gravuren wie das untersuchte „Doppelgabelstück“ zeigen weniger deutliche Ergebnisse hinsichtlich Durchlaufzeitverkürzung und Kosteneinsparung durch das Vorfräsen. Um überhaupt Einsparungen zu erzielen, muß die Gravur so gut vorgefräst werden, daß die Schruppelektrode entfällt, **Bild 9 und 10**. Die Ursache hierfür ist vor allem in den relativ kurzen Schrapperodierzeiten für Gesenke dieser Größenordnung zu suchen. Das Einsparungspotential ist dadurch von vornherein begrenzt.

Die Verkürzung der Gesamtbearbeitungszeit richtet sich nach der verwendeten Erodier-technologie. Für das konventionelle einkanalige

Senkerodieren wird immerhin eine Zeiteinsparung von rund 20% erreicht. Durch das konturnah Vorfräsen können in diesem Fall die Fertigungskosten um etwa 15% reduziert werden. Bei den anderen Erodier-technologien fällt dieser Unterschied etwas kleiner aus.

Läßt sich eine feingliedrige Gravur im geschweißten Zustand durch Fräsen fertigbearbeiten, so können die Fertigungskosten deutlicher reduziert werden. Im Beispiel des Gesenkes „Scharnierhebel“ ergab eine Nachkalkulation einen Kostenvorteil für das Fräsen von 20%. Allerdings muß hierbei beachtet werden, daß die Schlichtbearbeitung einer solchen hochfesten Gravur mit kleinsten Fräserdurchmessern (zum Beispiel  $D = 3 \text{ mm}$ ) eine anspruchsvolle Bearbeitungsaufgabe und deshalb mit einem gewissen „Entwicklungsaufwand“ verbunden ist.

**Ausblick** | **Im Rahmen eines praxisorientierten Entwicklungsprojektes wurden die Möglichkeiten und die Grenzen der Fräsbearbeitung geschweißter Schmiedegesenke mit der derzeit verfügbaren Zerspanungstechnologie aufgedeckt.**

**Der Wirtschaftlichkeitsvergleich zeigte einen erheblichen Unterschied für große und kleine, feingliedrige Gravuren. Ohne Einschränkung kann gesagt werden, daß das Vorfräsen großer Gravuren in der Regel zu deutlichen Zeit- und Kosteneinsparungen führt (in vielen Fällen 20 bis 30%). Sehr viel knapper fällt das Ergebnis für kleine Gravuren aus. Hier liegen die Einsparungen mit 10 bis 15% deutlich niedriger.**

**Insgesamt bleibt festzuhalten, daß die Möglichkeit des Vor- und Fertigfräsen der geschweißten Gravur eine Alternative zur reinen Senkerodierbearbeitung ist. Je nach Anwendungsfall leistet das Fräsen einen wichtigen Beitrag zur Steigerung von Wirtschaftlichkeit und Flexibilität im Gesenkbau. Auch angesichts der steigenden Entsorgungskosten für Erodierschlamm ist die Fräsbearbeitung eine wichtige Verfahrensalternative.**