

# **ARBEITSWISSENSCHAFTLICHE ERKENNTNISSE**

## Forschungsergebnisse für die Praxis

### **Schwingungsminderung – Bohrwerkzeuge**

*Schenk, Th.*

#### **Verminderung der Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems durch Optimierung von Hammerbohrwerkzeugen**

##### **Inhalt**

- 1 Einleitung**
- 2 Übersicht über Hammerbohrwerkzeuge**
- 3 Ableitung der Grundlagen für die Werkzeugoptimierung aus den Erkenntnissen zum Bohrprozeß**
- 4 Konstruktionsprinzipien für Hammerbohrer**
- 5 Konstruktionsbeispiele**
- 6 Ergebnisse der Erprobung der Prototypen**
- 7 Zusammenfassung**
- 8 Schrifttum**

Ergebnisse aus dem im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Sozialordnung, Bonn, und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, durchgeführten Forschungsvorhaben, dargestellt in der Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin - Forschung - Fb 721 von

*Weinert, K.; Gillmeister, F.; Michel, O.*

#### **Verminderung der Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems durch Optimierung von Schlag- und Hammerbohrern**

Nachdruck und auszugsweise Wiedergabe nur mit ausdrücklicher vorheriger Zustimmung der BAuA, Dortmund, gestattet

## 1 Einleitung

Mit dem Einsatz von handgehaltenen und handgeführten vibrierenden Maschinen (z. B. Schlagbohrmaschinen und elektropneumatische Bohrhämmer) sind für die Beschäftigten teilweise hohe Schwingungsbelastungen des Hand-Arm-Systems verbunden. Die Folge dieser Belastungen können – in Abhängigkeit von der Expositionsdauer – Durchblutungsstörungen, Nerven- und Muskelerkrankungen, krankhafte Veränderungen der Knochen und der Gelenke in Händen und Armen sowie Erkrankungen der Halswirbelsäule sein.

Intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten haben in letzter Zeit zu einer deutlichen Reduzierung der Schwingungsemission bei vielen Handmaschinen geführt. Für die optimale Konstruktion von Schlagbohrmechanismen und die Möglichkeiten zur schwingungs isolierten Ankopplung der Griffe an Handmaschinen wurden bereits umfassende Untersuchungen durchgeführt und wirksame Lösungen entwickelt. Bei dem derzeitigen Angebot an unterschiedlichen Bohrwerkzeugen besteht jedoch für den Anwender die Frage, welches Werkzeug in Kombination mit der entsprechenden Handmaschine zur geringsten Schwingungsbelastung für die Bedienpersonen führt.

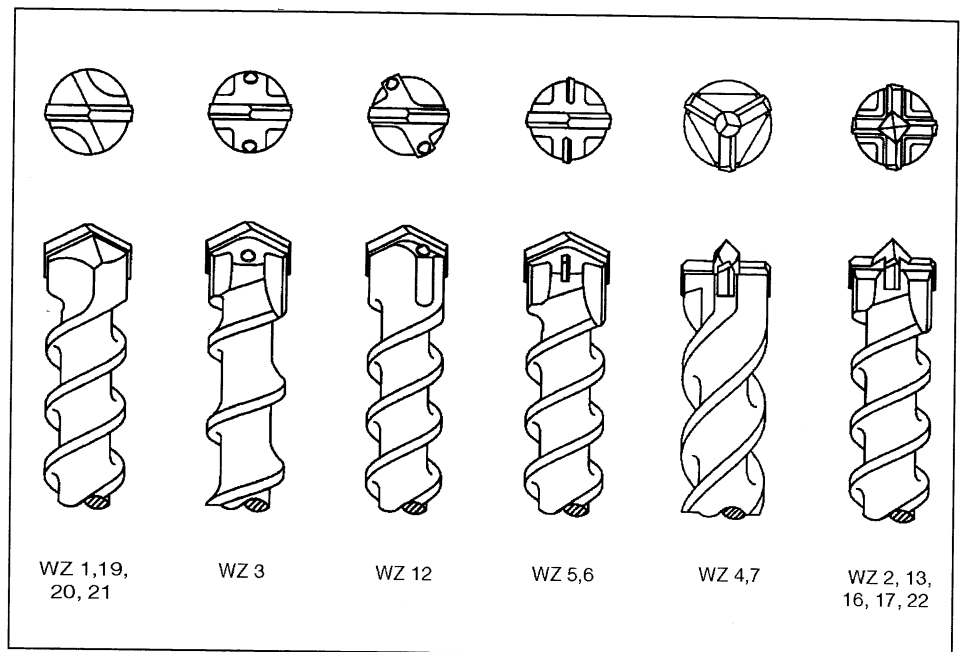
Der Einfluß der Schneidengestaltung von Bohrwerkzeugen auf die Maschinenschwingungen wurde in der Vergangenheit nur in Einzelbeispielen ermittelt [1 ... 5]. Erst im Rahmen eines Forschungsprojektes der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin erfolgte eine systematische Untersuchung mit einer breiten Palette von Schneidenformen [6]. Das Ziel war die Ableitung von Konstruktionsprinzipien für optimierte Bohrwerkzeuge, die ohne Verminderung der Bohrleistung im Sinne einer primären Schwingungsschutzmaßnahme zu einer geringeren Schwingungsbelastung der Bedienperson führen. Eine detaillierte Erläuterung der gewonnenen Ergebnisse ist auch in [7 ... 10] enthalten.

## 2 Übersicht über Hammerbohrwerkzeuge

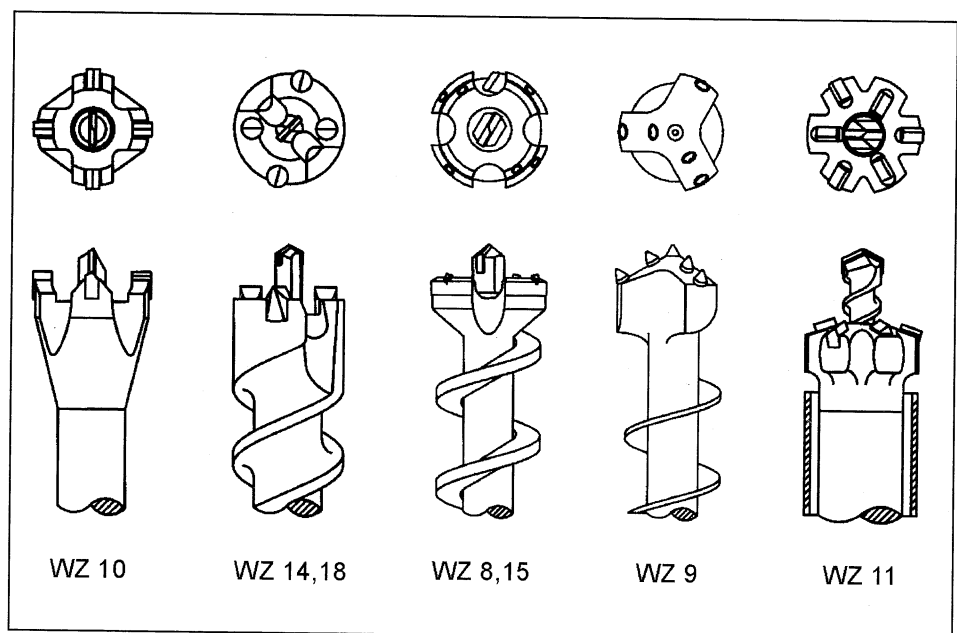
Die im Bau- und Baunebengewerbe üblicherweise eingesetzten Hammerbohrer wurden für die schwingungstechnischen Untersuchungen in drei Gruppen eingeteilt:

- Ø 16 mm – Verwendung für die Schwerlastbefestigung mittels Konsolen
- Ø 25 mm – Verwendung für die Installation
- Ø 40 – 50 mm – Durchbruchbohrer für Wand- und Mauerdurchbrüche

Eine Auswahl der auf dem Werkzeugmarkt angebotenen vielfältigen Formen von Monoblockbohrern und Mauerkronen ist in den **Bildern 1 und 2** zusammengestellt. In den folgenden Bildern werden die Darstellung der Schneidenanordnungen als Piktogramme und die entsprechenden Werkzeugnummern als Identifikationshilfen herangezogen. **Tabelle 1** enthält die Zusammenstellung der wichtigsten Parameter aller handelsüblichen Hammerbohrer, die bei den Untersuchungen herangezogen wurden. Die Werkzeuge (WZ) sind anhand ihrer Numerierung der **Tabelle 1** zuzuordnen.



**Bild 1: Variationen der Schneidenform für Monoblock-Bohrwerkzeuge  
Durchmesser: 16 mm, 25 mm und 40 mm – 50 mm**



**Bild 2: Variationen der Schneidenform für Durchbruchbohrer und  
Mauerkronen  
Durchmesserbereich 40 mm – 50 mm**

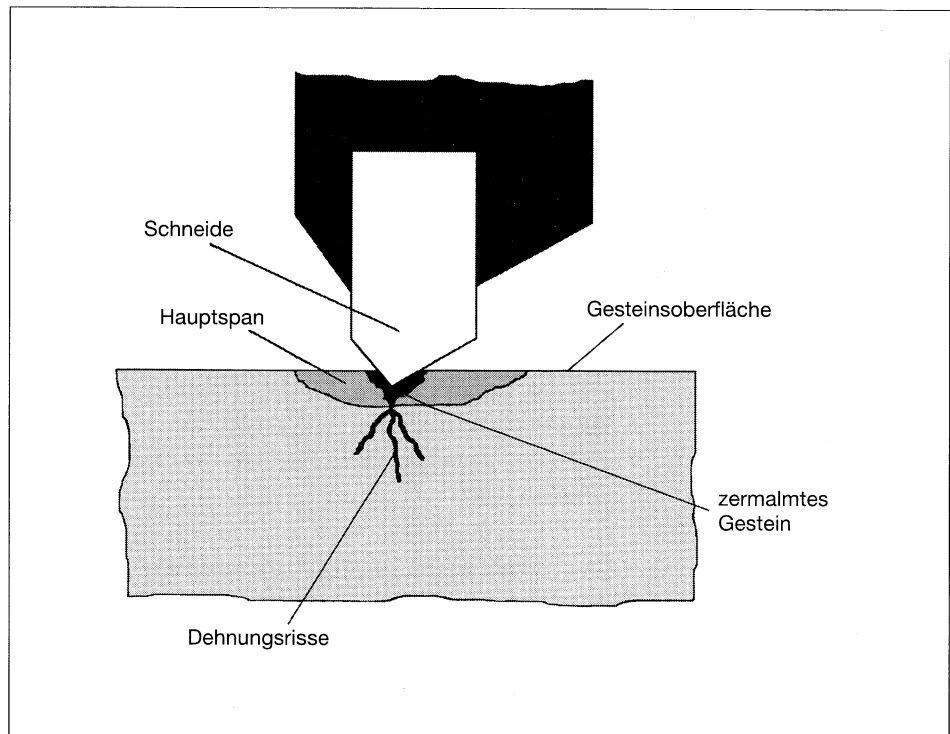
WZ-Nr.	Werkzeugaufnahme	Durchmesser [mm]	Arbeitslänge [mm]	Gesamtlänge [mm]	Schneidkantenlänge [mm]	Masse [g]
1	KW	25	250	410	29	721
2	SDS-Max	25	200	320	61	603
3	SDS-Max	25	200	320	33	638
4	SDS-Max	25	180	320	41	598
5	KW	25	250	400	38	737
6	KW	42	420	550	64	2390
7	SDS-Max	42	430	570	58	2638
8	SDS-MAX	43,5	450	590	25	1740
9	KW	43,5	450	590	10	1774
10	KW	43,5	Krone	380	41	1445
11	Ratio	42	Krone	575	60	1592
12	SDS-Max	25	200	320	33	570
13	KW	42	400	530	78	2050
14	KW	40	Krone	550	38	1584
15	SDS-Max	45	200	590	25	1783
16	Ratio	42	250	440	78	1415
17	KW	25	250	410	61	728
18	KW	50	Krone	550	44	1740
19	SDS-Plus	16	175	250	18,5	183
20	SDS-Plus	16	370	450	18,5	327
21	SDS-Plus	16	200	260	18,5	232
22	SDS-Plus	16	175	250	21	205

**Tabelle 1: Ausgewählte Werkzeuge zum Forschungsvorhaben [6]**

### 3 Ableitung der Grundlagen für die Werkzeugoptimierung aus den Erkenntnissen zum Bohrprozeß

Das Hammerbohrverfahren ist den schlagenden Verfahren zuzuordnen. Das Schlagbohren ist ein rein kerbendes Verfahren zum Bohren mineralischer Werkstoffe. Mit Hilfe eines mechanischen, pneumatischen oder elektro-pneumatischen Schlagwerkes wird ein periodischer Schlagimpuls in das Werkzeug eingeleitet. Am Wirkort wird dadurch eine relativ hohe Kraftspitze erzeugt. Der Wirkmechanismus „Kerben“ wird daher geprägt durch das Eindringen eines geometrisch definierten Schneidenkörpers in das Gestein.

Im Wirkungsbereich bilden sich Zug- und Druckspannungszonen aus, die in der Primärspannungszone zu einem Zermalmern des Gesteins durch eine große Zahl von Mikrorissen führen. Die Bindungskräfte zwischen den Partikeln oder Kristallen werden aufgehoben und in unmittelbarer Umgebung der Schneide zerfällt der Werkstoff zu Gesteinsmehl. Zum anderen entstehen durch die über den Schneidkeil eingebrachte Zerspankraft in der Sekundärspannungszone Risse im mineralischen Gefüge, die zur eigentlichen Spanentstehung führen, wenn die Reißlänge so groß ist, daß die Reißfläche die Bohrungsoberfläche wieder erreicht. Zusätzlich können sich beim Zusammentreffen mehrerer dieser Spannungsrisse – erzeugt bei verschiedenen Werkzeugstellungen – größere Werkstoffteile vom Werkstück ablösen (**Bild 3**).

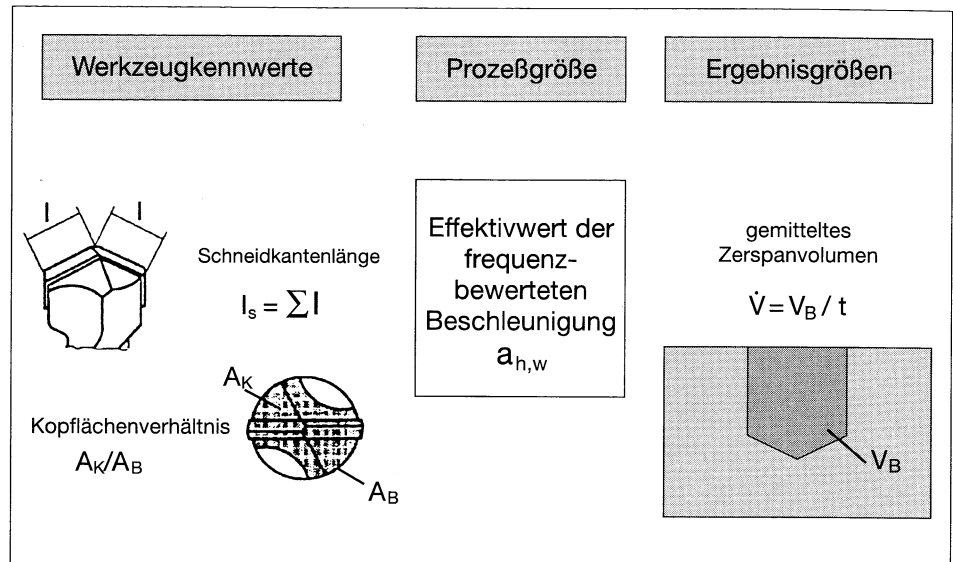


**Bild 3: Zertrümmerungsvorgänge im Gestein**

Im **Bild 4** ist zum einen erläutert, welche Größen zur Parameteranalyse herangezogen wurden, zum anderen ist dargestellt, wie diese definiert sind. Es handelt sich hierbei um die Kennwerte Schneidkantenlänge und Kopfflächenverhältnis sowie um die Meßergebnisse der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung nach [11] und das mittlere Zerspanvolumen.

Unter Beachtung der Kennwerte der gemäß **Tabelle 1** verwendeten Werkzeuge sowie der Prozeß- und Ergebnisgrößen wurden die Zusammenhänge

dieser Größen analysiert. In [6] wurden noch mit anderen Parametern weiterführende Untersuchungen durchgeführt, auf die aber an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll.



**Bild 4: Parameter zur Analyse von Hammerbohrwerkzeugen**

Zur Vereinfachung wurde bei der folgenden Analyse die Gruppe der Versuchswerkzeuge mit einem Durchmesser von 25 mm als Gruppe 1 und die mit einem Durchmesser im Bereich 40 mm bis 50 mm als Gruppe 2 bezeichnet. (Da bei den Werkzeugen mit einem Durchmesser von 16 mm nur zwei unterschiedliche Varianten für die Schneidenformen zur Verfügung standen, konnte diese Werkzeuggruppe für die Parameteranalyse nicht herangezogen werden.)

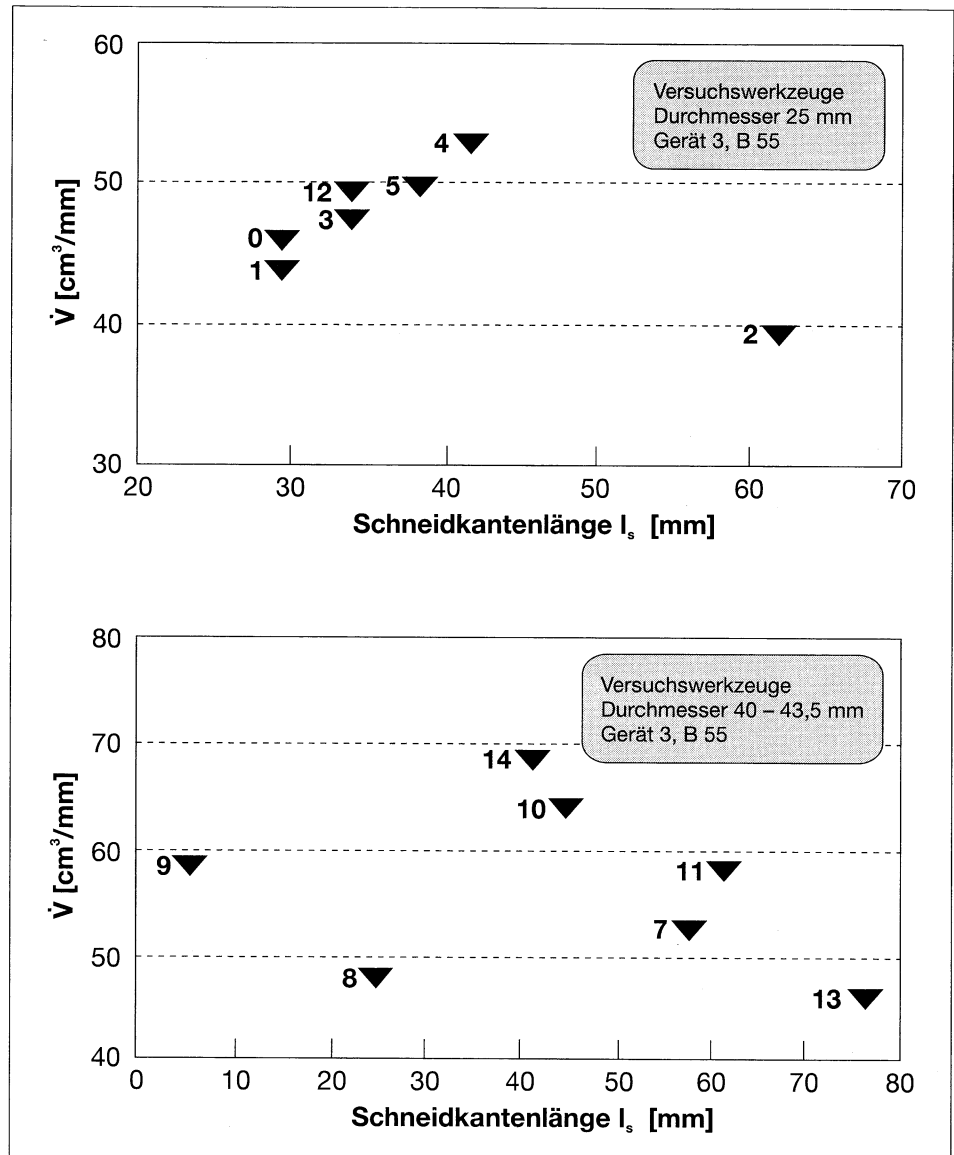
Für die Abhängigkeit des Kopflächenverhältnisses von der Schneidkantenlänge ergab sich bei beiden Bohrergruppen der einfache Zusammenhang, daß das Kopflächenverhältnis wächst, wenn die Schneidkantenlänge vergrößert wird.

Der Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung an den Griffen der verwendeten Bohrhämmer zeigte bei den Werkzeugen der Gruppe 1 keine ausgeprägte Abhängigkeit von der Kantenlänge der Schneiden. Werkzeuge mit identischen Schneidkantenlängen variierten bedingt durch unterschiedliche Anordnung der Hartmetallelemente. Auch die Bohrwerkzeuge der Gruppe 2 ließen keinen direkten Zusammenhang der Beschleunigungswerte mit der Länge der Schneidkanten erkennen.

Ein wichtiger Zusammenhang ergibt sich, wenn die gemittelten Zerspanvolumina der beiden Werkzeuggruppen jeweils über der Schneidkantenlänge aufgetragen werden (**Bild 5**). In Gruppe 1 ist Werkzeug 4, welches drei radial angeordnete Schneiden besitzt und drei Wendelgänge aufweist, hinsichtlich der erzielten Bohrleistung herausragend. Das ist u. a. auch durch den guten Bohrmehltransport begründet.

In der zweiten Gruppe sind die Werkzeuge 8 und 9 näher zu betrachten.

Gemeinsames Kennzeichen der Werkzeuge ist der Einsatz von Meißelspitzen im äußeren radialen Bereich und damit eine geringe Schneidkantenlänge. Der Zerspanprozeß mit Meißelspitzen unterscheidet sich dadurch, daß mit zunehmendem Eindringweg die an der Energieübertragung beteiligte Fläche überproportional wächst. Die spezifische Energie sinkt, der Zerspanungsprozeß wird negativ beeinflusst, so daß die Feinheit des Bohrmehls zunimmt.



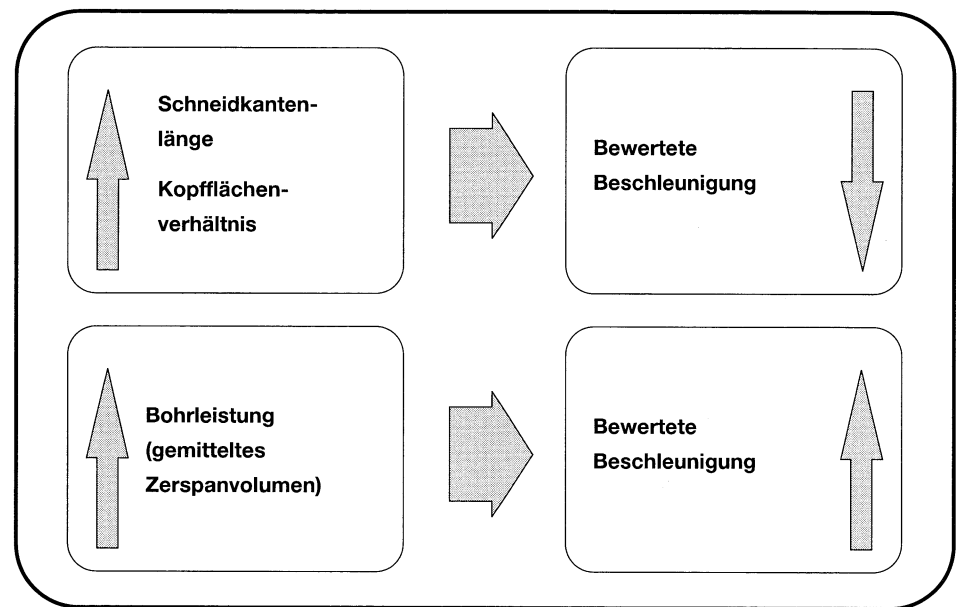
**Bild 5: Abhängigkeit des gemittelten Zerspanvolumens  $\dot{V}$  von der Schneidkantenlänge für Werkzeuge gemäß Tabelle 1**

Die Verdichtung der in **Bild 5** dargestellten Ergebnisse führt zu der Schlußfolgerung, daß es für beide Werkzeuggruppen eine optimale Schneidkantenlänge von ca. 40 mm gibt, wobei auch die Schneidenanordnung zu beachten ist. Mit einer weiteren Steigerung der Schneidkantenlänge ist eine Verringerung der möglichen Zerspanleistung verbunden.

Insgesamt wurden folgende Zusammenhänge für die Werkzeugkennwerte sowie die Prozeß- und Ergebnisgrößen festgestellt (**Bild 6**):

- Mit Zunahme der Schneidkantenlänge und damit auch des Kopfflächenverhältnisses sinkt der Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung an der Handmaschine. Gleichzeitig sinkt die Bohrleistung.
- Eine Zunahme des mittleren Zerspanvolumens und damit der Bohrleistung hat in der Regel eine Erhöhung der Griffbeschleunigungen zur Folge.

Diese für die gesuchten Optimierungskriterien widersprüchlichen Ergebnisse müssen bei der Neukonstruktion von Bohrwerkzeugen entsprechend beachtet werden.



**Bild 6: Zusammenhang der Analysegrößen**

#### 4 Konstruktionsprinzipien für Hammerbohrer

Die in [6] durchgeführten Untersuchungen und speziell die Ergebnisse aus den **Bildern 5 und 6** führen zu der Möglichkeit, Anforderungen für optimierte Hammerbohrwerkzeuge zu formulieren.

**Für Werkzeuge mit einem Durchmesser bis zu 25 mm ergeben sich daraus folgende Kriterien:**

- Spitzenwinkel von 150° bis 180°
  - Spitzenwinkel 150°: Hauptschneiden ergänzen durch Meißelspitzen
  - Spitzenwinkel 180°: exponierte Zentrierspitze mit Freiraum, ggf. sekan-tenartig gebrochene Schneiden
- Optimierung der Bohrmehlabfuhr:
  - schlanke Kopfgestaltung
  - Applikation einer Absaugeinrichtung
  - alternativ zur Absaugung 2- bzw. 3-gängige Wendeln
  - variable Wendelsteigung



- Optimierung des Kopfflächenverhältnisses und der Schneidkantenlänge
- Vermeidung von Kernquerschnittsänderungen

**Für Werkzeuge mit einem Durchmesser von 40 mm bis 50 mm gelten folgende Forderungen:**

- Spitzenwinkel 180°
- exponierter Zentrierbohrer, der mit einem klassischen zweischneidigen Hartmetallplättchen bestückt ist
- Optimierung der Bohrmehlabbfuhr
  - schlanke Kopfgestaltung
  - Applikation einer Absaugeinrichtung
  - alternativ zur Absaugung 2- bzw. 3-gängige Wendeln
  - variable Wendelsteigung
- Optimierung des Kopfflächenverhältnisses und der Schneidkantenlänge
- Vermeidung von Kernquerschnittsänderungen
- Meißelspitzen oder Hartmetallsegmente mit kurzen Kantenlängen einsetzen
- Brecherzonen im mittleren bis äußeren Radienbereich
- Werkzeuge ohne Schnittstellen ausführen

Mit Hilfe dieser Kriterien wurden beispielhaft Hammerbohrwerkzeuge konzipiert und gebaut, deren Einsatz unter Berücksichtigung der bewerteten Beschleunigung an den Maschinen und der notwendigen Einwirkungsdauer eine Minimierung der Schwingungsbelastung am Handgriff von Bohrhämmern erwarten läßt.

## **5 Konstruktionsbeispiele**

Es wurden für die Gruppen 1 (Durchmesser 25 mm) und 2 (Durchmesser 40 mm bis 50 mm) jeweils zwei verschiedene Werkzeugprototypen konstruiert und gefertigt.

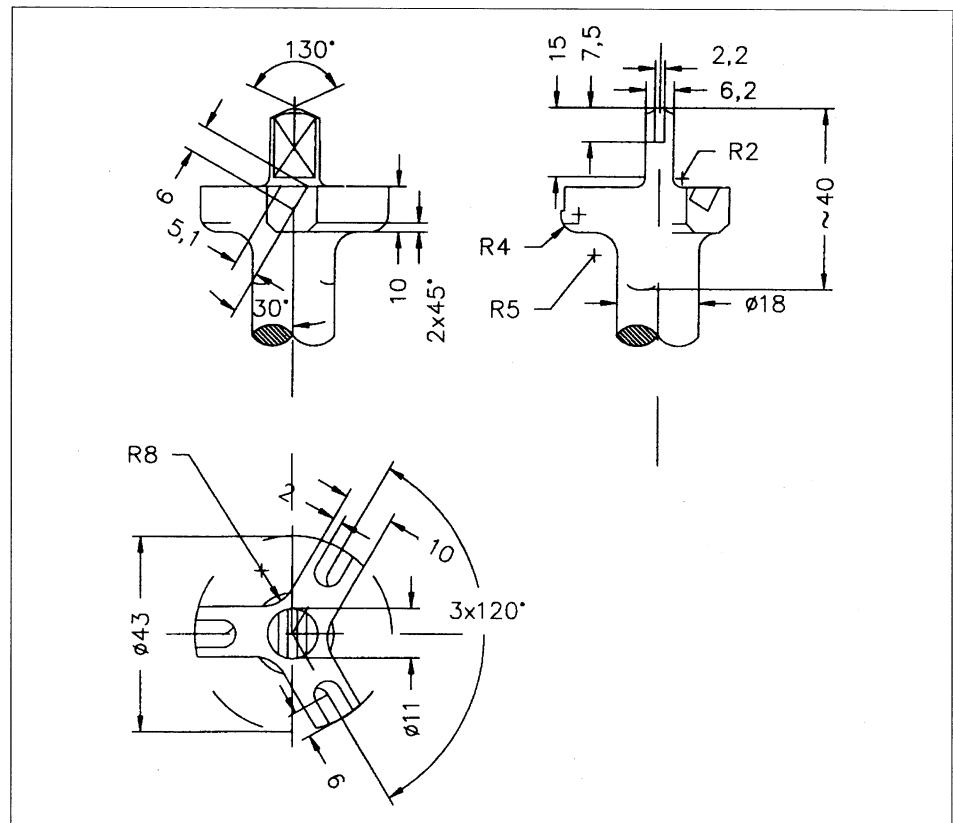
Erfahrungen aus den durchgeführten Versuchsreihen haben gezeigt, daß mit einem Absaugsystem die Leistungsfähigkeit eines Werkzeugs deutlich gesteigert werden kann. Aus diesem Grund ist bei den Prototypen ein einfaches Absaugsystem vorgesehen worden. Die Arbeits- bzw. Gesamtlängen der Bohrer liegen zwischen 460 mm und 580 mm. Das ausgewählte Einstekende entspricht dem Typ „SDS-Max«. Für den Werkzeuggrundkörper ist ein Werkstoff eingesetzt worden, der sich in der Praxis für den Anwendungsbereich Hammerbohrwerkzeuge bewährt hat.

Die Schneidensegmente und die Meißelspitzen sind, soweit sinnvoll, dem Standardprogramm von Anbietern entnommen worden. Notwendige Änderungen wurden durch Erodieren vorgenommen. Die Fixierung der Elemente durch Hartlot entspricht ebenfalls den üblichen Bedingungen, welche beim Einsatz von Hartmetallschneiden zur schlagenden Bearbeitung anzutreffen sind.

Der Bohrmehltransport durch eine direkte Absaugung am Bohrlochgrund

geschah mit Hilfe eines Kunststoff-Rohrsystems. Bei der Anpassung der Systeme war darauf zu achten, daß der sich bildende Ringraum ausreichend groß dimensioniert war, um das sich bildende Bohrklein ungehindert absaugen zu können. Speziell bei den Werkzeugen mit Durchmesser 25 mm mußte das System genau abgestimmt werden, da das geforderte grobkörnige Bohrmehl und die ungehinderte Übertragung des Schlagimpulses im Grundkörper quasi gegenläufige Forderungen darstellen. Der zur Verfügung stehende Ringraum ergibt sich demnach aus dem maximalen Innendurchmesser des Absaugrohres und dem minimalen Kernquerschnitt des Werkzeugs. Die Verbindung zum Sauger erfolgte durch Standardelemente.

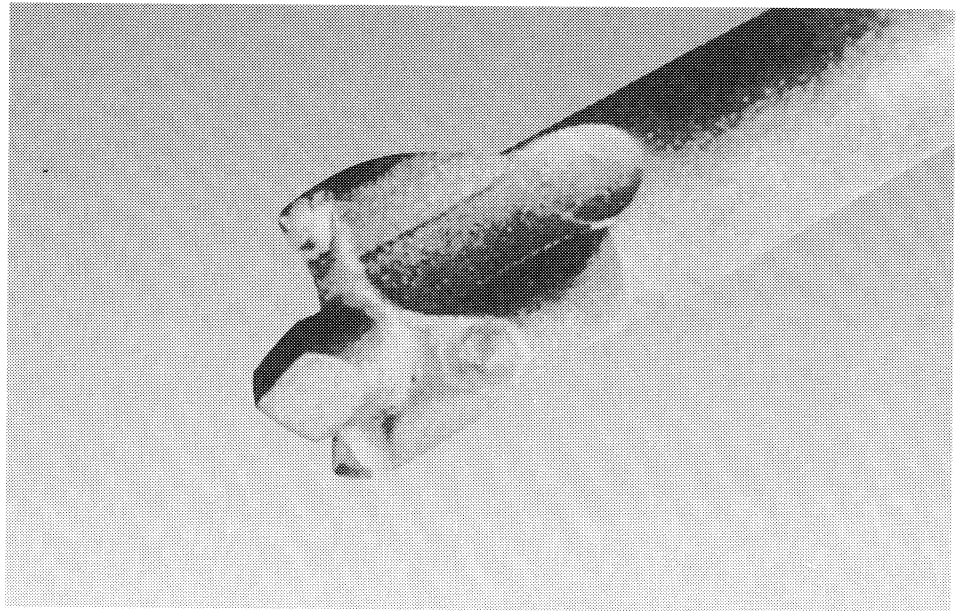
Die Konstruktionsskizze für ein Prototypenwerkzeug (**Bild 7**) mit einem Durchmesser von 43 mm soll beispielhaft zeigen, wie die Gestaltung der Werkzeuge stattgefunden hat. In diesem Beispiel ist den geometrischen Vorgaben der vorhandenen Schneidsegmente Rechnung getragen worden, indem die Schneidkörperaufnahme zur Schlagachse so ausgerichtet wurde, daß nach Applikation des Schneidkörpers die gebräuchlichen Schneidwinkel beim Hammerbohren realisiert werden konnten. Aus den bisherigen Erfahrungen heraus sind Brecherzonen vorgesehen worden, um gezielt grobes Bohrmehl zu erzeugen.



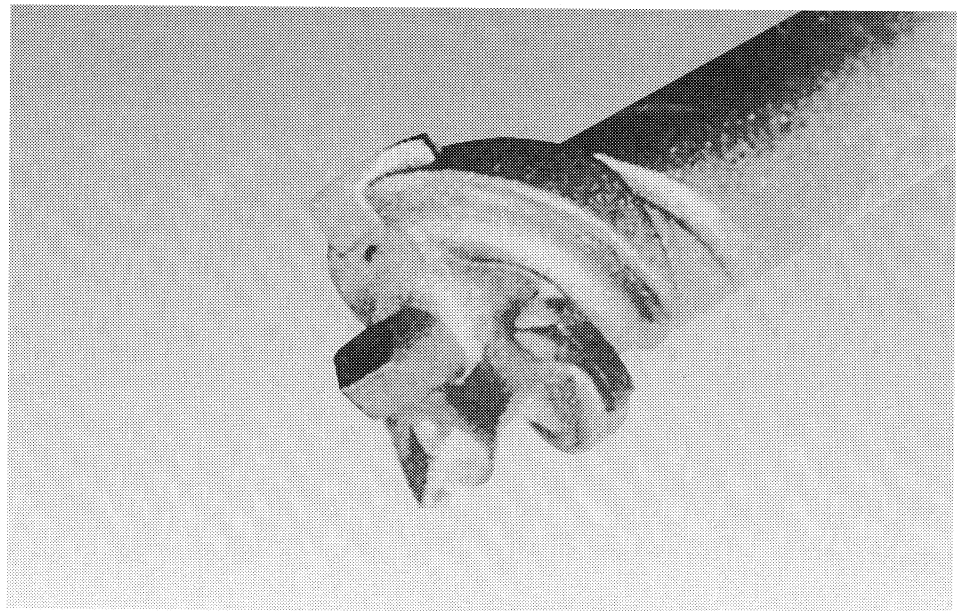
**Bild 7: Konstruktion von Prototypenwerkzeugen**

Der rückwärtige Bereich des Werkzeugkopfes ist geprägt durch das Optimierungsziel der ungehinderten Bohrmehlabbfuhr direkt vom Wirkort. Folgerichtig ist versucht worden, dort den Werkstoffeinsatz zu minimieren. Die Schneidenaufnahmen reduzieren sich übergangslos auf den Kernquerschnitt, wodurch gleichzeitig Auflagen für das Saugrohr entstehen.

Zur Verdeutlichung der unterschiedlichen Entwicklungsrichtungen, welche bei den verschiedenen Prototypen favorisiert wurden, sollen die **Bilder 8 und 9** dienen.



**Werkzeug P1**

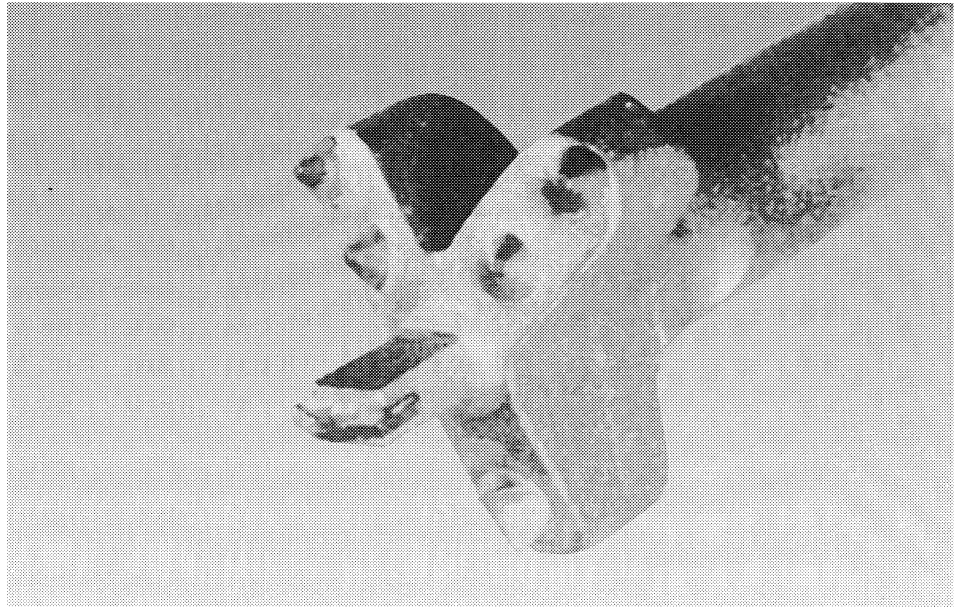


**Werkzeug P2**

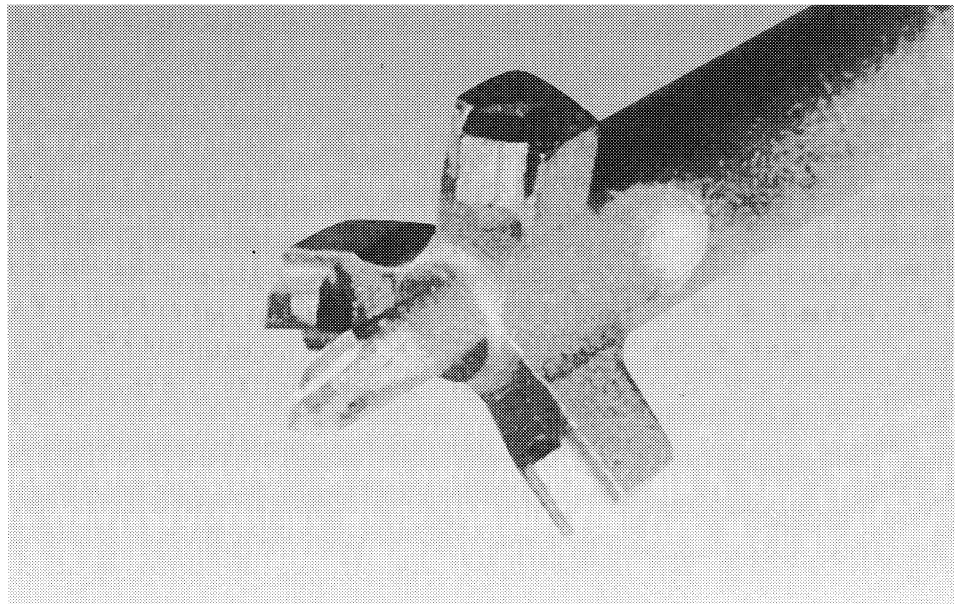
**Bild 8: Prototypenwerkzeuge mit Durchmesser 25 mm**

Der Prototyp 1 (siehe **Bild 8**, oben) hat drei punktsymmetrisch unter einem Teilkreiswinkel von  $120^\circ$  angeordnete Meißelspitzen zur Bearbeitung des Bohrlochgrundes. Die Ausrichtung der einzelnen Elemente ist derart, daß das Bohrungskaliber durch die Mantellinie der Kegel erzeugt wird. Zur Zentrierung ist zusätzlich ein meißelförmiger Hartmetalleinsatz verwendet worden. Das Werkzeug weist einen Spitzenwinkel von  $140^\circ$  auf. Der Übergang

vom Kopf zum Kernquerschnitt ist mit Taschen versehen worden, um den Bohrmehltransport zu begünstigen.



**Werkzeug P3**



**Werkzeug P4**

**Bild 9: Prototypenwerkzeuge mit Durchmesser 45 mm**

Beim Prototyp 2 (siehe **Bild 8**, unten) ist der prinzipielle Aufbau des Werkzeugkopfes identisch zum vorgenannten. Alternativ zu den Meißelspitzen sind im vorliegenden Fall jedoch Schneidensegmente gewählt worden. Der zugehörige Spitzenwinkel beträgt  $180^\circ$ . Wesentliche Unterschiede ergeben sich weiterhin in der Gestaltung des Kopfes. Mit diesem Prototypen ist versucht worden, den Bohrmehltransport durch einen bis zum Wirkort ausgebildeten dreigängigen Wendelansatz mit einer Steigung von 36 mm pro Umdre-

hung zu optimieren. Die Übergangszone zum Kernquerschnitt bildet auch bei diesem Typ die Anlagefläche für das Saugrohr. Eingebrachte Ausfräsungen schaffen größeren Freiraum zum ungehinderten Transport des Bohrkleins.

Bei einem Durchmesser von 45 mm treten keine nennenswerten Probleme auf, das anfallende Bohrklein in einem Ringraum abzusaugen. Der Kernquerschnitt der beiden Prototypen P3 und P4 ist daher identisch mit demjenigen im Bereich des Einsteckendes. Die Schneidenformen bzw. die Schneidenanordnung des Werkzeugs P3 (siehe **Bild 9**, oben) sind dreiflügelig und asymmetrisch. Zu den Schneidenaufnahmen, die mit einem zylinderförmigen Hartmetallsegment mit angeschliffener Schneidkante bestückt sind, wurden zwei weitere Flügel jeweils unter einem Winkel von 135° ausgerichtet. Diese Flügel tragen je zwei Meißelspitzen. Der Spitzenwinkel beträgt 140°. Zur Zentrierung dient bei diesem Werkzeug eine zweiseitige Hartmetallplatte klassischer Bauart. Der Zentrierbohrer besitzt durch seine Länge von 15 mm eine exponierte Lage zu den Hauptschneiden.

Die Teilfunktion Zentrieren wird beim Werkzeug P4 (siehe **Bild 9**, unten) in analoger Weise gelöst. Der weitere Aufbau des Werkzeugkopfes ist punktsymmetrisch. Die drei Flügel sind im Winkel von 120° zueinander angeordnet. Als Schneidenkörper ist jeweils ein Hartmetallsegment verwendet worden. Die Schneidkanten bearbeiten den gleichen Kreisring auf dem Bohrgrundloch, so daß sich ein ausgeprägter Freiraum in Form einer Brecherzone ergibt.

In **Tabelle 2** sind die wichtigsten Daten der vier Prototypenwerkzeuge zusammengefaßt.

Werkzeug	Werkzeugaufnahme	Durchmesser [mm]	Arbeitslänge [mm]	Gesamtlänge [mm]	Masse [g]
P1	SDS-Max	25	460	580	1006+ Absaugung 176
P2	SDS-Max	25	460	580	1015+ Absaugung 161
P3	SDS-Max	40	460	580	1176+ Absaugung 224
P4	SDS-Max	40	460	580	1137+ Absaugung 224

**Tabelle 2: Zusammenstellung der Prototypenwerkzeuge**

## 6 Ergebnisse der Erprobung der Prototypen

Die Ergebnisse der Erprobung der Prototypenwerkzeuge P1, P3 und P4 sind im Vergleich mit den Ergebnissen, die mit ausgewählten Versuchswerkzeugen (vergleiche **Bilder 1 und 2**) erzielt wurden, in den **Bildern 10 und 11** dargestellt. (Für das Werkzeug P2 liegen nur unvollständige Ergebnisse vor, siehe [6].)

Zur Kennzeichnung der mit den neu konstruierten Hammerbohrern erreichbaren Schwingungsminderung ist ein Parameter notwendig, der einen Vergleich der durch die einzelnen Werkzeuge verursachten unterschiedlichen Schwingungsbelastungen unter Berücksichtigung der erzielten Bohrleistung ermöglicht. Hierzu wurde eine Normierung der Schwingungsbelastung auf eine einheitliche Bohrleistung mittels einer Größe in Anlehnung an die Beurteilungsschwingstärke  $K_r$  vorgenommen. Die Beurteilungsschwingstärke  $K_r$  ist gemäß VDI 2057 [12] ein Einzahlwert zur Beschreibung der Gesamtbeanspruchung durch Schwingungsexposition während eines Arbeitstages. Die Beurteilungsdauer  $T_r$  beträgt hierbei 8 Stunden. Wenn für einen bestimmten Arbeitsvorgang während einer Expositionsdauer  $T_e$  der energieäquivalente Mittelwert der Schwingstärke  $K_{eq}$  unter Verwendung der Beziehung

$$K_{eq} = 6,3 \cdot a_{h,w}$$

meßtechnisch bestimmt wurde, ergibt sich die Beurteilungsschwingstärke aus folgender Gleichung:

$$K_r = K_{eq} \cdot \sqrt{\frac{T_e}{T_r}}$$

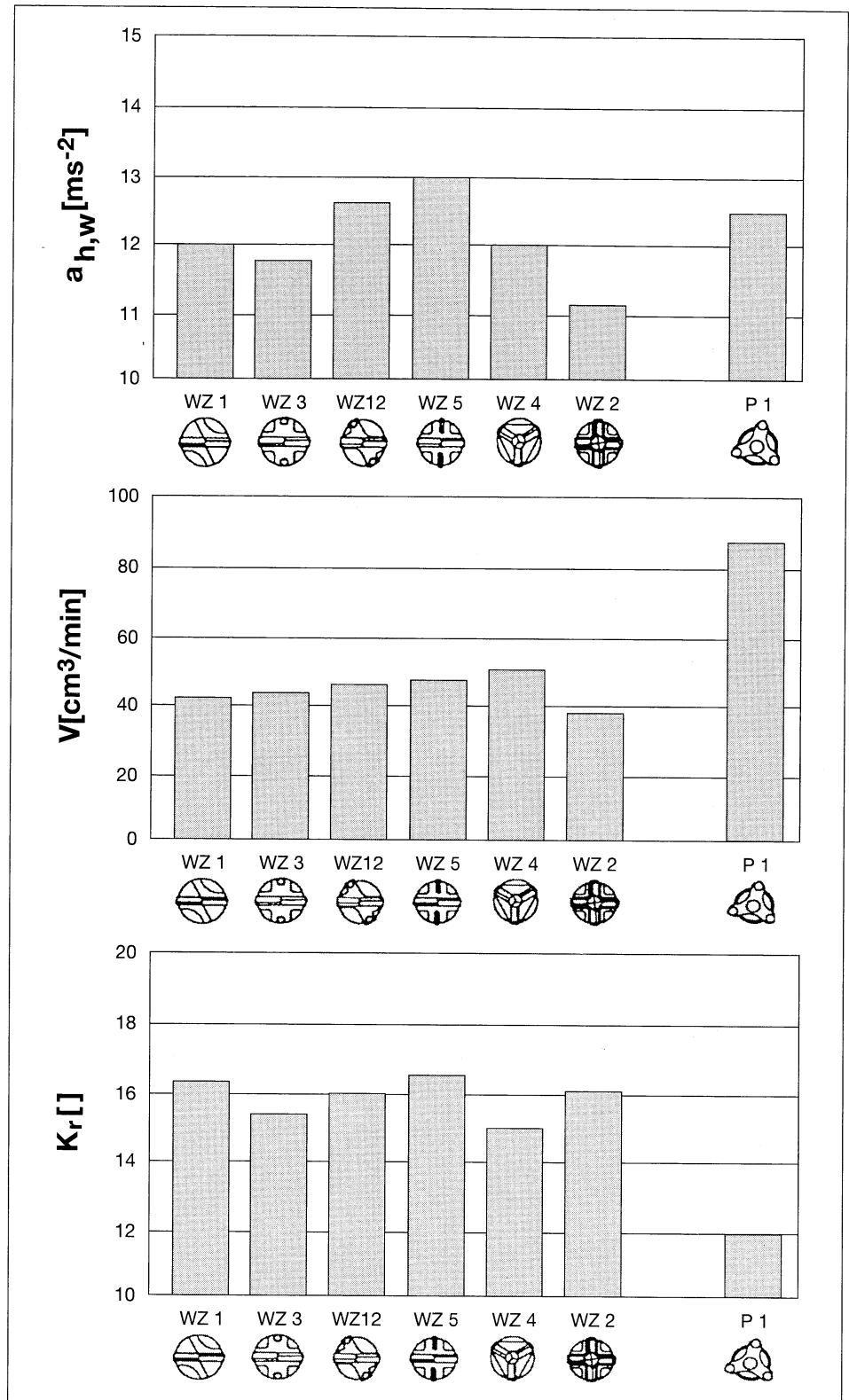
Die Expositionsdauer  $T_e$  wurde in den in [6] beschriebenen Untersuchungen auf der Vergleichsbasis eines abzubauenen Normvolumens  $V_N$  von  $1000 \text{ cm}^3$  nach folgender Meßvorschrift bestimmt:

$$T_e = \frac{V_N}{V_{WZ}}$$

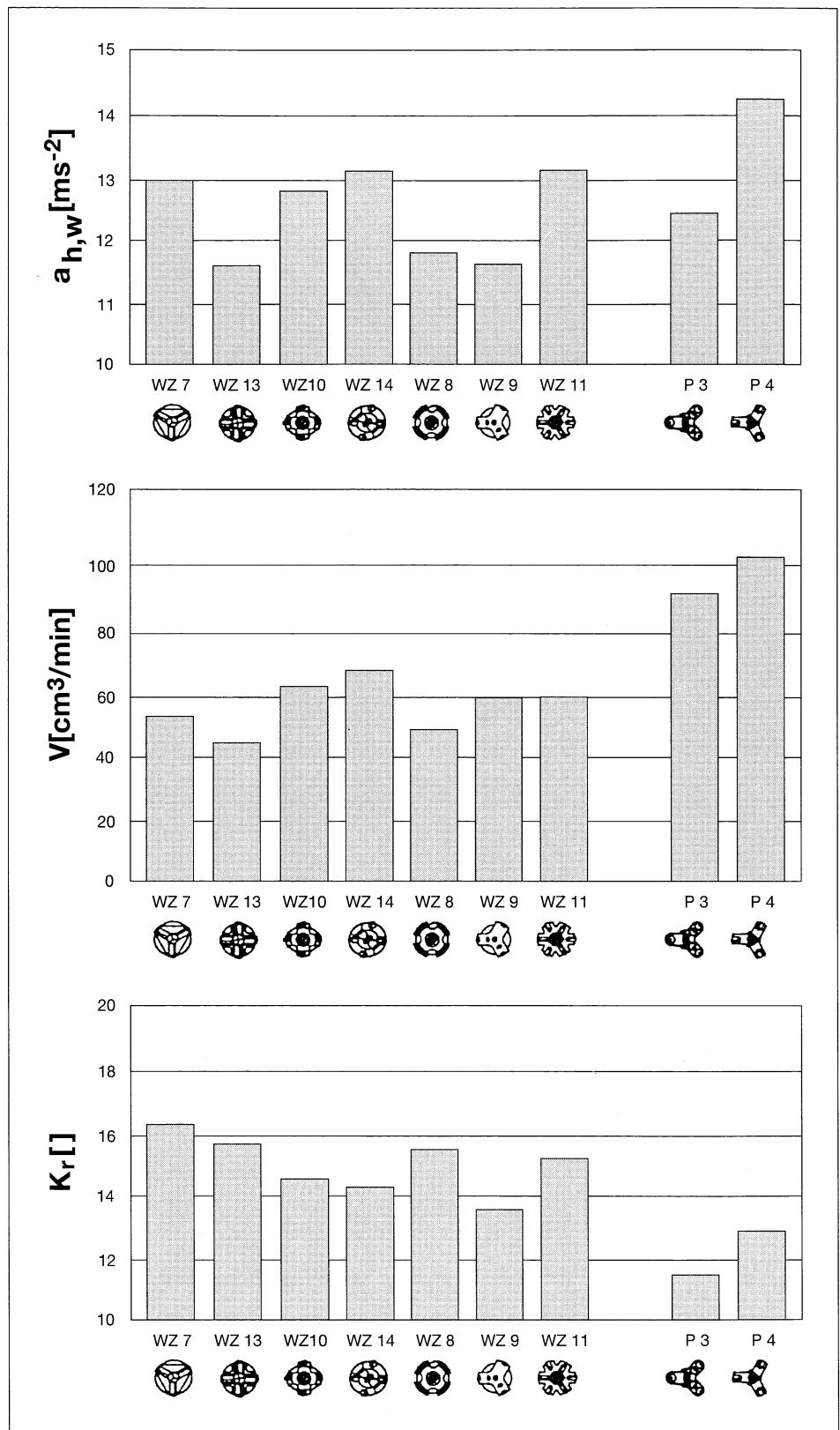
Hierbei ist  $V_{WZ}$  das gemittelte Zerspanvolumen des entsprechenden Bohrwerkzeugs.

Durch diese Überlegungen wird die Beurteilungsschwingstärke eine Kenngröße, die die Bearbeitungsgeschwindigkeit und die am Handgriff gemessenen Schwingungen in Relation zueinander setzt. Zu einer tatsächlichen Minderung der Schwingungsbelastung bei praktischen Arbeitstätigkeiten kommt es nur dann, wenn die tägliche Arbeitsleistung konstant bleibt und aufgrund der erhöhten Bohrleistung mit optimierten Werkzeugen eine kürzere tägliche Expositionsdauer erreicht wird. (Beispiel: Durchführung von Installationen in einer Wohnung mit einer vorgegebenen Anzahl von Löchern und Durchbrüchen.)

Die Prototypen zeigen bei Auswertung der Effektivwerte der bewerteten Griffbeschleunigung, daß sich diejenigen mit applizierten Meißelspitzen betragsmäßig durchaus im Bereich der Versuchswerkzeuge befanden. Eine Verwendung von Schneidensegmenten führt zu einer Erhöhung der Beträge. Die Zerspanungsleistungen der entwickelten Werkzeuge liegen jedoch deutlich über denen der Versuchswerkzeuge. Die abschließende Bewertung der neu konstruierten Hammerbohrer durch die Bestimmung der Beurteilungsschwingstärke  $K_r$  fällt – bedingt durch die deutliche Leistungssteigerung – insgesamt positiv zugunsten der Prototypen aus.



**Bild 10: Vergleich der Versuchsergebnisse der Versuchs- und Prototypenwerkzeuge, Durchmesser 25 mm (oben: Effektivwert der bewerteten Beschleunigung; Mitte: gemitteltetes Zerspanvolumen; unten: Beurteilungsschwingstärke)**



**Bild 11: Vergleich der Versuchsergebnisse der Versuchs- und Prototypenwerkzeuge, Durchmesser 45 mm**  
 (oben: Effektivwert der bewerteten Beschleunigung; Mitte: gemittelttes Zerspanvolumen; unten: Beurteilungsschwingstärke)



## 7 Zusammenfassung

Als eine Möglichkeit der Verminderung der Schwingungsbelastung des Menschen am Arbeitsplatz wurde der Einfluß der Schneidenform des Bohrwerkzeugs auf das dynamische Verhalten von Bohrhämmern untersucht. Dabei standen die von der Handmaschine ausgehende Vibrationsbelastung des Hand-Arm-Systems sowie die Zerspanleistung des Bohrwerkzeugs im Mittelpunkt der schwingungstechnischen Untersuchungen. Eine Verknüpfung der Effektivwerte der bewerteten Beschleunigung an den Handgriffen mit der Bohrleistung diente als Beurteilungsmaßstab.

Ausführliche Schwingungsuntersuchungen mit einer aktuellen Auswahl von Bohrwerkzeugen führten zur Definition von Anforderungen an die Optimierung von Hammerbohrwerkzeugen, die mit der Entwicklung von vier Prototypenwerkzeugen direkt umgesetzt wurden.

Der Vergleich der Meßergebnisse zeigt, daß durch die modifizierte Gestaltung der Bohrer die gemittelte Zerspanleistung ohne Vergrößerung der bewerteten Beschleunigung signifikant gesteigert werden kann. Daraus resultiert gleichzeitig, daß die arbeitsphysiologische Kenngröße „Beurteilungsschwingstärke  $K_r$ “ geringer wird. Mit den entwickelten Prototypenwerkzeugen lag die Verminderung der Beurteilungsschwingstärke bei ca. 25 %.

Durch Kombination der hier beschriebenen Einzelmaßnahme zum primären Schwingungsschutz mit weiteren Primär- und Sekundärmaßnahmen läßt sich die Schwingungsbelastung beim Arbeiten mit Bohrhämmern weiter reduzieren.

## 8 Schrifttum

- [1] *Besigk, B.*: Beitrag zur Leistungssteigerung von Gesteinsbohrern. Bohrtechnik Brunnenbau 7 (1956) 5, S. 135–142
- [2] *Cronjäger, L.; Hesse, M.; Hecker, R.*: Entwicklung eines numerischen Simulationsmodelles und experimentelle Untersuchungen zur Beschreibung des Werkzeugverhaltens beim schlagenden Bohren. Forschungsbericht DFG Cr 42/5 und 42/8-2, Deutsche Forschungsgemeinschaft 1981/85
- [3] *Czudaj, K.*: Beitrag zur Optimierung des spangebenden Gesteinsbohrens. Freiburger Forschungshefte A 532, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1974
- [4] *Kirchberg, S.; Kinne, J.; Schatte, M.*: Konstruktionsrichtlinie schwingungsgeminderter handgeführter Arbeitsmittel mit Schlagwirkung. Bericht Nr. 871 des ehemaligen Zentralinstituts für Arbeitsschutz der DDR, Dresden, 1984
- [5] *Jahn, R.*: Einflußgrößen auf die Beschleunigung elektropneumatischer Bohrhämmer. Diss. Universität Dortmund, 1985

- [6] *Weinert, K.; Gillmeister, F.; Michel, O.*: Verminderung der Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems durch Optimierung von Schlag- und Hammerbohrern. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz - Forschung - Fb 721, Dortmund, 1995
- [7] *Michel, O.; Gillmeister, F.*: Ein Beitrag zur Optimierung von Hammerbohrwerkzeugen. wt Werkstatttechnik, Produktion und Management 83 (1993) 10, S. 40
- [8] *Weinert, K.; Michel, O.; Gillmeister, F.*: A Contribution to Optimize the Cutting Edge Angle of Hammer Drill. Annals of the German Academic Society for Production Engineering, Research and Development in Germany, Vol. I/1 (1993), S. 89–92
- [9] *Weinert, K.; Michel, O.; Gillmeister, F.*: Schneidengestalt und Leistung von Hammerbohrwerkzeugen. BMT Baumaschine und Bautechnik (1994) 2, S. 74–78
- [10] *Weinert, K.; Gillmeister, F.*: Reduction of the Vibration Exposure of the Hand-Arm-System by Optimization of Rotary Hammer Drills. Central European Journal of Public Health, 4 (1996) 1, S. 36–39
- [11] DIN 45671, Teil1: Messung mechanischer Schwingungen am Arbeitsplatz, Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung. September 1990
- [12] VDI 2057: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen; Blatt 1: Grundlagen, Gliederung, Begriffe. Blatt 2: Bewertung. Mai 1987