

# 1

## Allgemeines

### ■ 1.1 Geschichtliches

Das ständige Bestreben der Menschheit war seit eh und je die Qualität in den verschiedenen technischen Bereichen weiterzuentwickeln. Als Präzedenzfall dafür kann sicher die Entwicklung der Bohrungen über Jahrtausende bis zum heutigen Entwicklungsstand gesehen werden. Explizit an einigen Beispielen wird im Folgenden die Entwicklungsgeschichte der Bohrungsherstellung aufgezeigt.

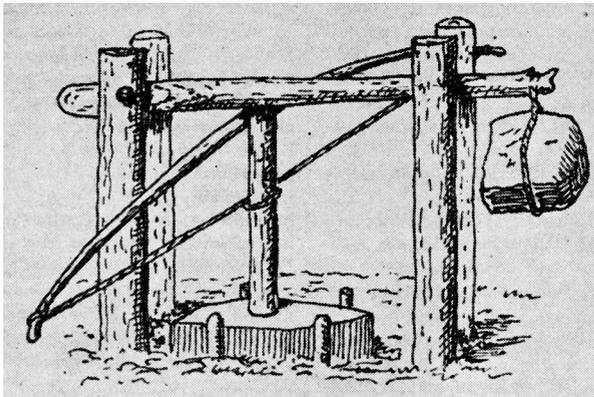
Eine runde Scheibe als Fortbewegungsmittel, mit einer mittigen Ausnehmung, die Faszination Rad, muss auch schon in frühen Zeiten geboren worden sein. Im deutschen Südwesten, im Olzreuter Ried bei Bad Schussenried (Landkreis Biberach) haben Archäologen erneut Holzstücke gefunden, die einer kleinen Gruppe weltweit ältester Räder zuzuordnen sind (Stand September 2015). Bereits 2009 wurden hier mehrere große Scheibenräder aus der Zeit um 2900 v. Chr. bei Grabungen entdeckt. Bei den jetzt ausgegrabenen Gegenständen handelt es sich wohl um ca. 5000 Jahre alte Modellräder mit einem Durchmesser von ca. 7 – 10 Zentimetern (Bild 1.1).



**Bild 1.1** Faszination Rad um 2900 v. Chr.

Zwei grundlegend verschiedene Auslegungen konnten festgestellt werden: Räder mit feststehender Achse, wie sie die frühen Hochkulturen des Orients nutzten, und Räder mit rotierender Achse, wie sie in den prähistorischen Pfahlbauten-Siedlungen rund um die Alpen nachgewiesen und später in Westeuropa weiterentwickelt wurden. In der Steinzeitsiedlung von Olzreute begegnen sich beide Erfindungen. Die Modellräder, mit den kleinen Durchmessern könnten als Spielzeug, technisches Demonstrationsobjekt oder gar als ritueller Gegenstand verwendet worden sein.

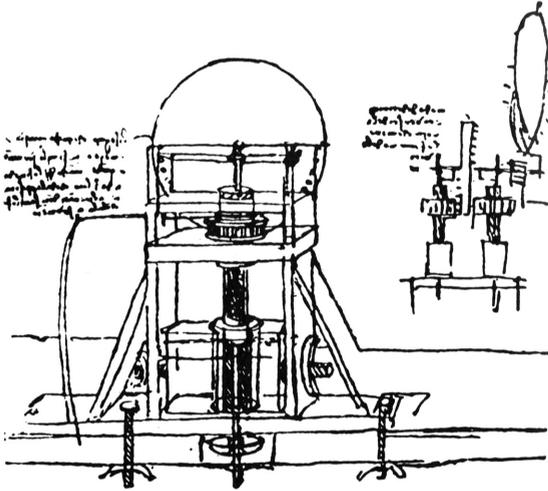
In Bild 1.2 ist das Bohren mit dem Fiedelbogen um ca. 4000 v. Chr. dargestellt. Den eigentlichen Abtrag bewirkten „Abrasive“ wie Sand- und Schmirgelkörner, die – an der Bohrstelle zugeführt – vom „Bohrer“, einem hohlen Knochen, auf das Werkstück gedrückt und mithilfe des Fiedelantriebs hin und her bewegt wurden. Die „Vorschubkraft“ wurde von dem angekoppelten Stein eingeleitet und so das Loch in das Werkstück gerieben (Mommerts 1981).



**Bild 1.2** Bohrapparat mit Fiedelantrieb (Europa) um 4000 v. Chr. (Foto: Deutsches Museum)

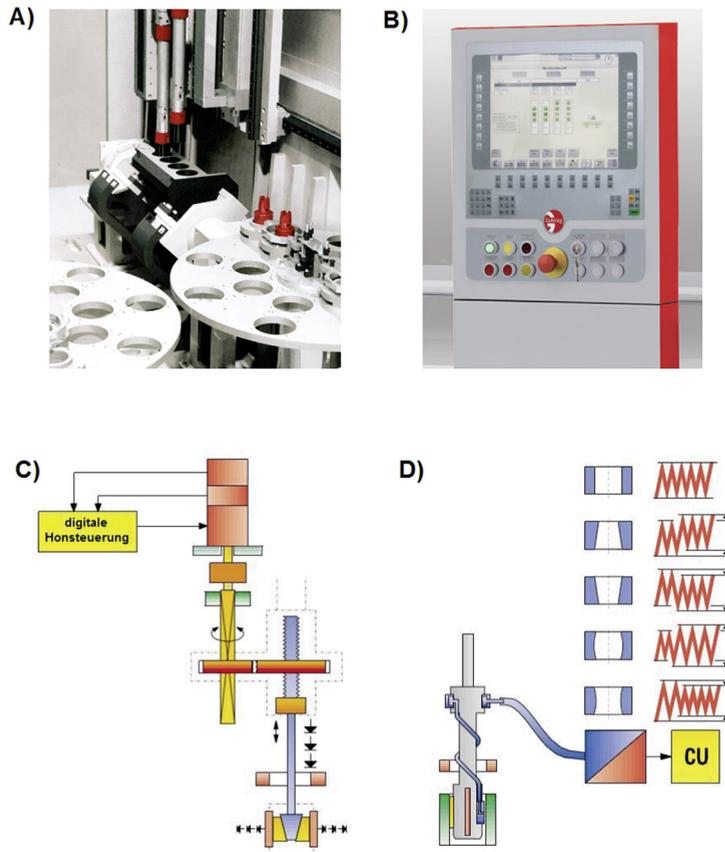
Bereits eine Analogie zur heutigen Definition des Feinbearbeitungsverfahrens Honen kann man in den Handskizzen von Leonardo da Vinci, datiert um das Jahr 1500, erkennen (Bild 1.3). Die Einheit wird beschrieben als Maschine zum Ausschleifen von Hohlzylindern. Bei seiner Konzeption wird der Zylinder stehend auf dem Maschinentisch mit zwei Klemmbacken radial gespannt. Ein bohrungsfüllendes, sogenanntes Schmirgelholz, mit schrägen Nuten zur Öl- und Schmirgelzufuhr, sowie zum Abtransport des Materialabtrags, wird auf- und abwärts bewegt. Die Einleitung der Hubbewegung erfolgt manuell über ein großes vertikal angeordnetes Antriebsrad. Die Bewegung wird über das Getriebesystem mit dem außenverzahnten Rad über ein entsprechendes Innengewinde auf die Gewindespindel mit dem gekoppelten Schmirgelholz übertragen. Durch den Drehrichtungswechsel des Antriebsrades kann der Auf- und Abwärtshub bewirkt werden. Zweifellos sind

bereits schon zu dieser Zeit einige Grundaspekte zum heutigen high Technology Honen geboren worden. So wurde schon damals den Vorteilen des bohrungsfüllenden Werkzeugs, der Hubbewegung mithilfe der Gewindespindel und den feinen Abtragsmöglichkeiten am Bohrungsumfang mit undefinierter Schneide Beachtung geschenkt. Erst viele hundert Jahre später wurden diese Basismerkmale ergänzt mit der kontinuierlichen rotatorischen Bewegung und der radialen Schneidstoff-Zustellung mit gebundenen Korn-Abrasivstoffen (Flores 1992).



**Bild 1.3** Handskizze von Leonardo da Vinci um 1500 n. Chr.: Maschine zum Ausschleifen von Hohlzylindern. Rechts im Bild ist noch eine 2-Spindel-Maschine angedeutet.

Bei der heutigen Bohrungsherstellung ist nicht nur die eigentliche Funktion der Bohrung an sich vordergründig, sondern auch die Qualität und Wirtschaftlichkeit. So sind zum Beispiel wichtige Herstellungskriterien Reibungsreduzierungen, die einhergehen mit Energieeinsparungen und zum Beispiel CO<sub>2</sub>-Reduzierungen oder Lärminderungen durch hochgenaue Funktionsteile unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Aspekte. Für derartige Fertigungsaufgaben werden neuartige Hontechniken eingesetzt, wie sie exemplarisch in Bild 1.4 aufgezeigt werden. So die pneumatischen In-Prozess-Messungen zur Maß- und Formregelung (Bild 1.4 D) in Verbindung mit elektromechanischen Honleisten-Schrittzustellungen und Kraftsensorik (Bild 1.4 C), welche heute Maß- und Formgenauigkeiten um 1 µm in der Großserienfertigung möglich machen. Automatische Werkzeugwechsler (Bild 1.4 A) und digitale Honsteuerungen (Bild 1.4 B) sind ebenfalls Bestandteile von modernen Honanlagen.



**Bild 1.4** Hontechnik um 2019 (nach Gehring) Endbearbeitung von Bohrungen durch Honen  
 A) Modulares Honzentrum mit automatischem Werkzeugwechsel-System  
 B) Digitale Honsteuerung mit bedienerfreundlichen dezentralen Stationspulten  
 C) Elektromechanische Schrittzustellung mit Kraftsensorik  
 D) Pneumatische In-Prozess-Messung mit Maß- und Formregelung

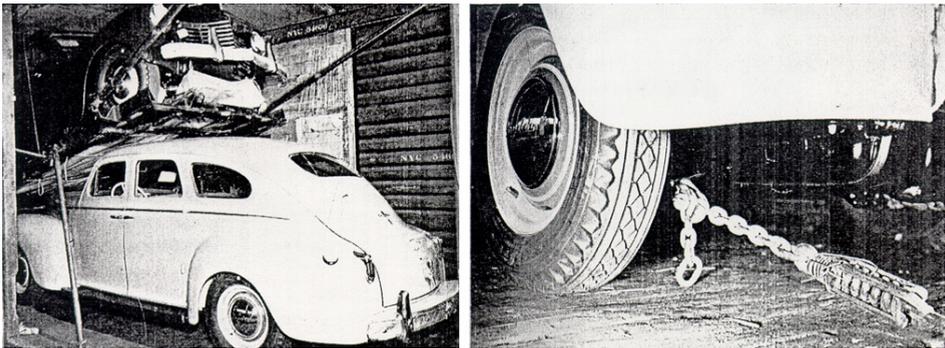
## ■ 1.2 Einleitung und Übersicht der Honverfahren

Das Langhub-Honverfahren entwickelte sich aufgrund des Strebens, in der Metallbearbeitung Bohrungen form- und maßgenau und mit funktionsgerechter Oberfläche herstellen zu können. Schon um das Jahr 1910 wurden in Deutschland zum ersten Mal Bohrungen durch Honen bearbeitet. Dabei wurde als Honwerkzeug ein längsgeteilter, mit Schmirgelleinwand belegter Holzzyylinder verwendet, dessen Hälften mit Federn an die Bohrungswand angedrückt wurden. Das Werkzeug

wurde von Hand gedreht und gleichzeitig in der Bohrung hin- und hergeführt. Später wurde daraus ein Aluminiumkolben, den man auf einer Ständerbohrmaschine auf und ab bewegte und gleichzeitig umlaufen ließ. Das Bearbeitungsverfahren wurde damals Ziehschleifen genannt.

Industriell wurde das Honverfahren zunehmend zu Beginn des 20. Jahrhunderts eingesetzt. Schrittmacher dieser Erfindung war sicher unter anderem die funktionell notwendige Qualität von Kolbenlaufbahnen bei der anlaufenden Produktion von Verbrennungsmotoren in der industriellen Fertigung. Henry Ford ließ 1923 in Detroit bereits etwa 1000 Kraftwagen pro Tag produzieren. Er war der erste, der das Honverfahren in der Massenfertigung einsetzte. Im Jahre 1926 fand dieses Bearbeitungsverfahren auch in europäischen Automobilfirmen Eingang. Dabei wurde das Wort „Honing“, das Fein-Abschleifen bedeutet, in „Honen“ eingedeutscht.

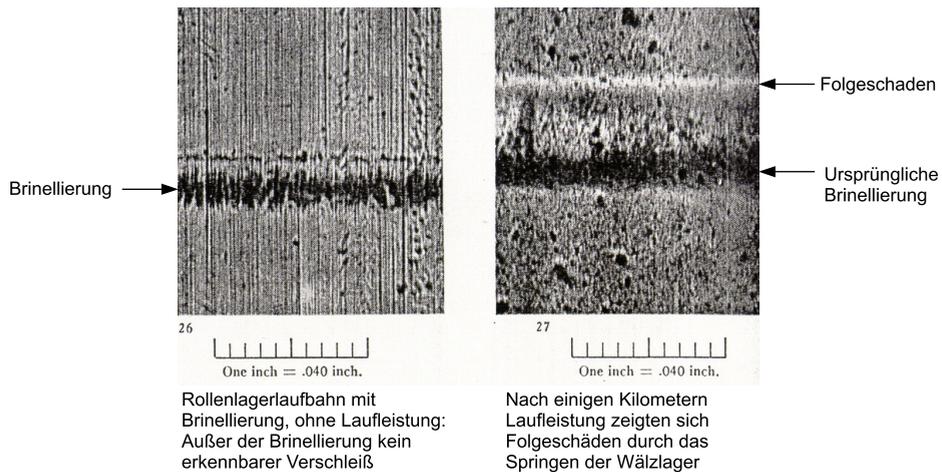
Ein anderer Ursprung ergab sich bei der Entwicklung des Kurzhubhönens (Superfinish-Verfahren). In den 1930er-Jahren wurde beim Bahntransport (Bild 1.5) neuer Kraftfahrzeuge in den USA durch auftretende Stöße und Erschütterungen an den geschliffen bearbeiteten Laufbahnen der Wälzlager immer wieder Radlagerschäden in Form von Mulden und Eindrücken (Setzmarkierung) festgestellt, die von den Wälzkörpern herrührten (Bild 1.6).



**Bild 1.5** Kalifornien, USA 1934 (nach Thielenhaus)

Bei Autos, die von Detroit mit der Bahn geliefert wurden, erzeugten die Radlager nach dem Abladen beim Fahren klickende Geräusche.

Bei Chrysler (USA) wurden diese Schäden zum ersten Mal richtig erkannt und durch die Erfindung des Superfinish-Verfahrens beseitigt. Durch das Superfinish hatte man die „Weichhaut“ entfernt, eine amorphe Schicht, welche sich beim Schleifen aufgrund der hohen Zerspannungstemperaturen und Arbeitsdrücken auf dem Bauteil bildete.



**Bild 1.6** Beschädigungen an der Lagerlaufbahn vom Bahntransport (nach Thielenhaus)

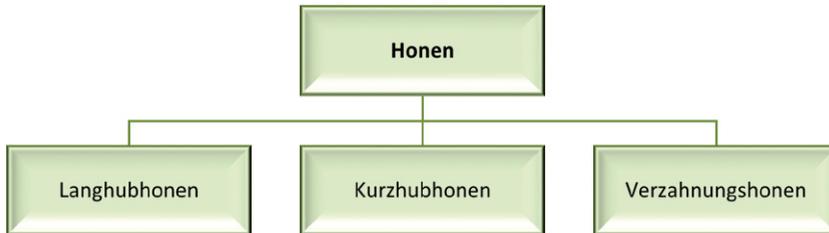
Daraus zog man den Schluss, dass die bis dahin angewendeten Fertigungsverfahren um ein neues Verfahren ergänzt werden mussten, das unter geringerer Wärmeentwicklung und bei geringeren Arbeitsdrücken abläuft.

Das Wort „Superfinish“, das für dieses Verfahren damals und in der Praxis heute noch verwendet wird, bedeutet dem Sinne nach die „allerletzte“ Bearbeitungsstufe. 1940 berichtet der Chrysler Mitarbeiter D. A. Wallace darüber in seiner ersten Veröffentlichung. Damals stellte Chrysler für seinen Eigenbedarf bereits Superfinishmaschinen nach dem heutigen Bewegungsprinzip her. Später waren es mehrere Firmen in den USA, in Deutschland und in der UdSSR, die auf diesem Gebiet Entwicklung betrieben und Superfinishgeräte und -maschinen herstellten und auf den Markt brachten.

Nach DIN 8589-14 ist Honen das Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden, wobei die vielschneidigen Werkzeuge eine aus zwei Komponenten bestehende Schnittbewegung ausführen, von denen mindestens eine Komponente hin- und hergehend ist, sodass die bearbeitete Oberfläche auch definiert überkreuzende Spuren aufweist. Weitere Begriffsbestimmungen enthalten die Normen DIN 8580, 8635, DIN ISO 525 und DIN ISO 603-10.

Die Bearbeitung von Werkstücken mit den unterschiedlichsten Formen, Abmessungen und Oberflächenmodifikationen durch Honen ist in den vergangenen 20 Jahren aufgrund seiner Anpassungsfähigkeit beachtlich ausgedehnt worden. So sind neben den klassischen Honverfahren und den vielfältigen Modifikationen, Verfahrenskombinationen wie die Hybridbearbeitung „Laserhonen“ und „Honen mit Fluidstrahlen“ seit Jahren in der Großserienfertigung beim Langhubhonen im Einsatz. Außer den Langhubhonorvarianten wurden auch verschiedene andere Honver-

fahren weiterentwickelt. Die in der Praxis geläufige Unterteilung der Honverfahren (Bild 1.7) ergibt sich aus der Kinematik des Bewegungsvorgangs. Je nach der Hubumkehrlänge von Werkzeug bzw. Werkstück unterscheidet man zwischen Langhubhonen (Kap. 2), früher Ziehschleifen, und Kurzhubhonen (Kap. 8), oft auch Superfinish (ursprünglich von Chrysler) oder einfach Finishen, Microfinishen oder Schwingschleifen genannt. Nach Form und Lage der Bearbeitungsstelle am Werkstück und der jeweiligen Maschinenkonfiguration wird weiter unterteilt in Innenhonen, Außenhonen und dem Sonderverfahren Verzahnungshonen (Kap. 9).



**Bild 1.7** Übersicht der Honverfahren (nach iht-Klink)

### Literatur

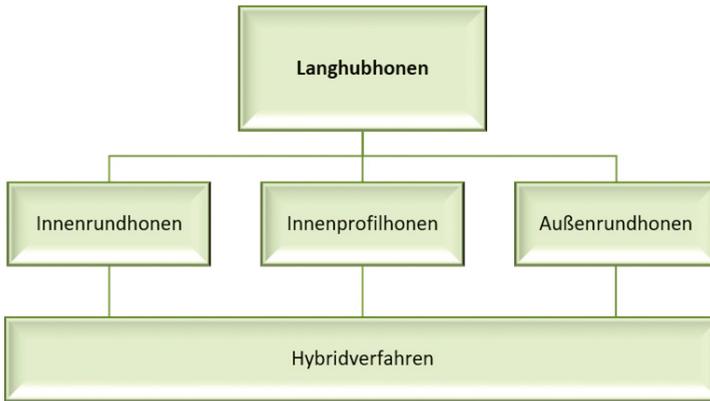
Flores, Gerhard: Grundlagen und Anwendungen des Honens; Vulkan-Verlag, Essen 1992



# 2

## Langhubhonen

Beim Langhubhonen wird wie beim Honen allgemein mit gebundenen Abrasivstoffen, den Honleisten, Werkstoff von der Werkstückoberfläche fein abgespannt. Das Langhubhonen (Bild 2.1) ist die meist angewandte Honvariante und wird hauptsächlich für Innenrundhonaufgaben eingesetzt. Wie der Name schon aussagt, arbeitet man im Vergleich zum Kurzhubhonen mit relativ langen Hübten. Die Schnittgeschwindigkeiten sind im Vergleich zu anderen spanenden Verfahren relativ niedrig, liegen überwiegend im Bereich von 30 bis 100 m/min und bewirken eine verhältnismäßig geringe Erwärmung. Der Kühlschmierstoff sorgt dabei für die notwendige Schmierung, Kühlung und Spülung. Wie mit keinem anderen Endbearbeitungsverfahren ist beim Langhubhonen die Oberfläche modifizierbar und funktionell anpassbar. Durch die Möglichkeiten von geringsten Abtragsraten pro Hub sind in Verbindung mit Honmesseinrichtungen engste Maßtoleranzen gesichert erreichbar. Das bohrungsfüllende Honwerkzeug mit der großflächigen Schneidkorneinwirkung der Honbeläge bewirkt eine schnelle Verbesserung der Formfehler. Die verfahrensspezifische gegenseitige Orientierung von Werkzeug und Werkstück bringt eine gleichachsige Bearbeitung mit sich. So ist mit geringstem Materialabtrag bei Beibehaltung der Bohrungslage eine Verbesserung der Makrogeometrie bei einer funktionsgerechten Mikrogeometrie möglich. Durch relativ einfache Modifizierung der herkömmlichen Hontechnik sind neben den üblichen Maß-, Form- und Oberflächenverbesserungen auch Winkel und Planschlagkorrekturen, wie z. B. bei Pleuelstangen, Getrieberädern und Steuerschiebern, in engen Toleranzgrenzen möglich. Durch weitere Einengung der sonst üblichen Freiheitsgrade können Lagekorrekturen von Bohrungen bewirkt werden; zum Beispiel bei der Achsabstandskorrektur von 2-Takt-Pleuelstangen. Auch das Positionshonen in Verbindung mit Schrupphonen stellt eine weitere Verfahrensvariante dar, wie sie beispielsweise bei Kolbenlaufbahnen von Motorblöcken, um Feindreihen zu ersetzen, in den letzten Jahren in der Großserie umgesetzt wurde.



**Bild 2.1** Übersicht Langhubhonorvarianten (nach iht-Klink 2021)

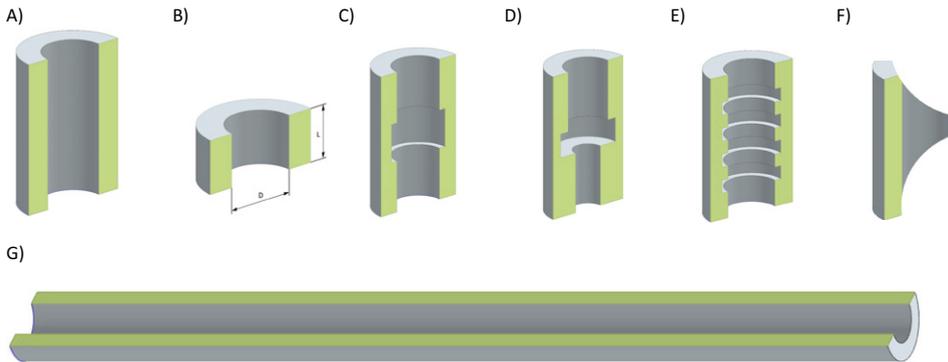
Die vorteilhafte Ausbildung von Druckeigenspannungen in der Randzone durch Honen wurde zu einem weiteren Qualitätsmerkmal, vor allem bei kleinen Bohrungen ( $< 3 \text{ mm } \varnothing$ ) in der Kraftstoffeinspritztechnik (Klink, Flores 2003).

Je nach Funktionsprofil sind die Oberflächenarten gestaltbar bis zu einer Oberflächengüte von ca.  $R_z = 0,3 \text{ } \mu\text{m}$ . Bei den hochgenauen Einspritzpumpeanteilen für Benzin- und Dieseleinspritzsystemen liegen in vollautomatischen Großserienanlagen, bei Taktzeiten unter 20 s, die Zylinderformqualitäten und Maßtoleranzen bereits bei  $< 0,5 \text{ } \mu\text{m}$  und  $< 1 \text{ } \mu\text{m}$ .

## ■ 2.1 Langhubhonorvarianten mit Bauteilcharakteristika

### 2.1.1 Innenrundhonen

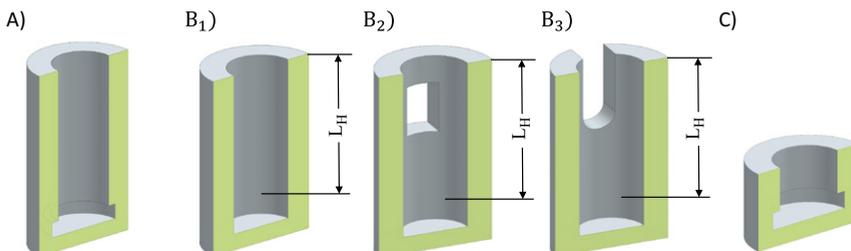
Innenrundhonen hat von den Langhub-Honverfahren das breiteste und größte Anwendungsspektrum und bildet somit auch die umfangreichsten Grundlagen und aussagekräftigsten Erkenntnisse für die entsprechenden Ausführungen in diesem Buch. Es ist das Honen i. d. R. von kreiszylindrischen Innenflächen und kann für vollflächige und unterbrochene Durchgangsbohrungen, auseinanderliegende Bohrungen, Bohrungen mit Ringnuten und Stufenbohrungen mit gleicher Bohrungsachse eingesetzt werden (Bild 2.2).



**Bild 2.2** Honbare runde Durchgangsbohrungen

- A) vollflächige Bohrung
- B) kurze Bohrung mit  $L/D < 1$
- C) auseinanderliegende kurze Bohrungen mit gleicher Bohrungsachse
- D) Stufenbohrung
- E) mehrfach durch Ringnuten unterbrochene Bohrung
- F) Teilbohrung
- G) überlange Bohrungen von  $L/D > 10$  bis 100

Bei Sacklochbohrungen (Bild 2.3) sind Sondermaßnahmen erforderlich, um das Qualitätsziel über die ganze Bohrungslänge, insbesondere am Bohrungsgrund und an den Öffnungen der Bohrungswand (Wandungsfenster) zu erreichen. Der nicht mögliche Honleistenüberlauf am Bohrungsgrund wird durch Wirkzeiterhöhung, wie z. B. Kurzhubhonen und/oder Hubverzögerung, sowie durch Schneidflächenvergrößerung in diesem Bereich kompensiert. Zur Qualitätssicherung an großen Wandungsfenstern sind meist Segmentwerkzeuge zur großflächigen Überdeckung notwendig. Die hochharten Schneidstoffe, wie z. B. Diamanthonleisten, mit ihrer außerordentlich hohen Formhaltigkeit sind ein weiterer wesentlicher Faktor, die Qualität auch bei Sacklochbohrungen über große Stückzahlen hinweg konstant zu sichern.



**Bild 2.3** Honbare runde Sacklochbohrungen:

- A) mit Freistich am Bohrungsende
- B<sub>1</sub>) ohne Freistich, jedoch mit vorgegebener Bearbeitungslänge  $L_H$  und Qualitätsvorgabe
- B<sub>2</sub>) wie B<sub>1</sub>, jedoch mit Wandungsfenster
- B<sub>3</sub>) wie B<sub>1</sub>, jedoch mit offener Längsnut
- C) kurze Sacklochbohrung mit  $L/D < 1$  und kleinem Freistich

# Index

## Symbole

3D-Charakterisierung 244  
3-fach Kardanvorrichtung 45

## A

Abbott-Kurve 230, 231  
Abrichtprozess 301  
Abtrag 122  
Abtragsleistung 29  
Abtragstemperatur 275  
Abtragsvorgänge 259  
Adaptiver Langhubhon 272  
additiv gefertigtem Werkzeuganschluss  
59, 60  
Alternative Maschinenteknik 190  
Anbaugeräte 296  
Anpressdruck 112, 114, 280  
Anpresskraft 281  
Antriebsleistung 28, 288  
Arbeitsbereiche 18  
Arbeitsprinzip 15  
Aufbereitung von Honwerkzeugen 70  
Aufbereitung von Kühlschmierstoffen 87  
Aufnahmetechnik 37, 46  
Auslegungsmöglichkeiten 17  
Außenhonwerkzeug 12  
Außenrundhonen 12  
Axial-Drallnuten 12

## B

Bandfinish-Bearbeitung 291  
Bandvorschub 290

Baugrößenanordnung 18  
Bauteilspektrum 125  
Bearbeitungsgeometrien 276  
Bearbeitungsspektrum 277  
Bearbeitungszentren 189  
Bearbeitungszugaben 118  
Berechnungsgrundlagen 279  
Berechnungsverfahren 108  
Bindungsmaterial 67  
Bindungswerkstoff 66  
Bohrungen, profilierte 12  
Bohrungsunterbrechung 180  
Bornitrid 69, 70  
Bürstentgraten 185

## C

CNC-Positioniersystem 182  
CO<sub>2</sub>-Emissionen 277  
coolEX® 195  
Coronieren 299

## D

DIAHON-System 195  
Diamant 62, 66, 67, 70  
DIN 8589-14 278  
Direkthonen 299  
Direkt Messsysteme 100  
doppelgelenkige Werkzeugaufnahme 36  
Doppelhonwerkzeug 49  
doppelkardanischen Gelenkes 207  
doppelkardanische Werkzeug-  
aufnahme 36

Dornhonen 136, 206  
Dornhonwerkzeug 60, 208  
Dornwerkzeug 136  
Drallnuten 12  
Drehantrieb 14  
Dreh-Fräszentren 195  
Drehmoment 114  
Druckeigenspannungen 10, 19, 129, 275  
Durchlaufbearbeitung 282, 285

## E

Eingangsgößen 108  
Einleisten-Honwerkzeug 50  
Einstechverfahren 281, 282, 283  
Endqualität 121  
Erodiertechnik 75  
Ex-Cell-O-Verfahren 298

## F

fab-Wert 265  
Fässler 298, 300, 304  
FDream®-Werkzeug 197  
Feinstbearbeitungszentrum 289  
Festdorn-Honwerkzeug 199  
Finishbandtechnik 285  
Finishsteine 286  
Flammpunkt 81  
flexible Endbearbeitung 205  
Fluidstrahlen 151  
FMF-Hybridhonverfahren 151  
Formhonen 12, 160  
Formhonwerkzeug 54  
Formregelungseinrichtungen 107  
Freilegung 72  
Freistich 11

## G

Geradheitsmessung 132  
Geschichtliches 1  
Gestaltabweichungen 220  
Giwerzew 265  
Gleithonen 147

Grob 191  
Grobgestaltabweichungen 220  
Grobgestaltsabweichungen 222  
Großflächenwerkzeug 53  
Großhonmaschinen 31  
G-Wert 123

## H

Handling 15, 87  
Hartmetall 132  
Hauptbewegungen 278, 280  
Hauptkomponenten 17  
Hauptspindelantrieb 20  
Hochgeschwindigkeitshub 57  
Honband-Technologie 278  
Honbare Bohrungen 11  
Honbeläge 67, 69  
Honleistenanalyse 253  
Honleistenlänge 112  
Honleistenoberfläche 250  
Honleisten-Zustellsystem 16, 95  
Honmaschinenarten 16  
Honmodul 24  
Honprozess 108, 122  
Honspindel 57  
Honsystem 33, 34  
Honteilespektrum 12  
Honverfahren 4  
Honzeiten 118  
Honzentren 25  
Honzugabe 118, 122  
Horizontal-Großhonmaschine 33  
Horizontal-Langhubhonmaschinen 31  
Hubbewegung 16  
Hublänge 112  
Hülsenhonwerkzeug 56  
Hybridverfahren 13  
Hydraulikventile 139  
Hydro-Dehnspannung 57

## I

Indirekt Messsysteme 104  
Industrieroboters 215

Innenprofilhonen 12  
Innenrundhonen 10  
In-Prozess-Messung 174

## K

Keramik 132  
Kinematik 14  
Kleinstbohrung 132  
Kleinstbohrungen 62, 129  
Kleinteile-Honmaschine 32  
Koaxialbearbeitung 196  
Koaxialhonen 149  
Koaxialhonwerkzeug 58  
Kolbenlaufbahn 9  
Kombiniertes Verfahren 14  
Kombiwerkzeug 196, 197  
Komplettbearbeitung 189, 194  
Konditionierung 72  
konische Bohrungen 12  
Konischhonwerkzeug 54  
Kontur- und Rauheitsmessung 237  
konventionelle Schneidstoffe 66  
Konventionelle Schneidstoffe 77  
Konzentration 71  
Koordinatengeschliffene Bohrung 136  
Korngröße 78  
Kornüberstand 73  
Korrosionsschutzwirkung 87  
Kreuzschliff-Superfinishen 283, 284  
KSS-Zuführtechniken 87, 91  
Kühlaggregate 287  
Kühlschmierstoff 68, 79, 286  
Kühlschmierstoff Aufbereitung 286  
Kühlung 79  
Kühlwirkung 86  
Kurbelwelle 292  
Kurzhubhonen 275, 276  
Kurzhubhonvarianten 276

## L

Lageabweichungen 224  
Lagekorrekturen 9  
Lagergassenbearbeitung 137

Langhubhonen 9  
Langhubhonvarianten 10  
Langhubinnenhonen 109  
Längsbearbeitung 282  
Laserhonen 155  
Laufbahnbearbeitung 282  
Leisten-Honwerkzeug 48  
Leistungshonmaschine 304  
Lift-&-Carry-Transfer 25  
Linearfinishen 278  
Linearmotor 28

## M

MAG 191  
Maschinen 296  
Maschinenarten 15  
Maschinenbeispiel 171  
Maschinenkonzepte, modular 16  
Materialabtrag 118  
Mechanische Schrittzustellung 96  
Medizintechnik 186  
Mehrfachbearbeitung 45  
Mehrkantprofil 12  
Mehrleisten-Honwerkzeug 48  
Messbüchse 100  
Messdorn 100  
Messsystem 98  
Messtechnik 220, 221, 222  
Messverfahren 171  
Messzeitpunkt 171  
Microcut Honing-System 132  
Mikrobrechen 263  
Mikroermüden 262  
Mikropflügen 261  
Mikrospanen 262  
Mirkofurchen 261  
modularen Einheiten 289  
Motorblock 14

## N

Nadelverschlussdüse 136

## O

- Oberflächenanalytik 264
- Oberflächengüte 78
- Oberflächenmesstechnik 237
- Oberflächenrauheit 116
- Ölhalte- und Transportmechanismen 152
- Ölrückhaltevolumen 234
- Optische Messtechnik 239
- Optische Qualitätsprüfung 75
- Oszillationsfinishen 281, 282
- ovale Negativformen 12

## P

- Paarungshonen 184
- Palettenumlauf-Transportsystem 185
- Peak-Honen 141
- Pinolen 12
- PKW-Getrieberad 304
- Planetenräder 45
- Planschlagkorrekturen 9
- Plateau-Honen 142
- pneumatischer Staudruckmessung 172
- Polymerbeton 288
- Portalhönmaschine 182, 183
- Positionshonen 35
- Post-Prozess-Messung 175
- Prozessregelung 289

## Q

- Qualitätskennwerte 188
- Qualitätsmerkmale 10, 41, 54, 189
- Qualitätsmerkmale beim Langhubhonen 219
- Qualitätsstand 20

## R

- $R_{3z}$ -Wert 228
- Radialfinishen 278
- Radialoszillation 276, 281
- Radialspanntechnik 39
- Randzone 129, 275

- Rauheit 121
- $R_a$ -Wert 225, 233
- Reiben und Honen 196
- Reibhönwerkzeug 196
- Reibungsreduzierung 277
- Reibwert 114
- Reinigungsanlage 287
- Reinigungssystem 88
- $R_k$ -Wert 234
- $R_{max}$ -Wert 226
- $R_{mr}$ -Wert 229
- Roboterhonen 205
- Rotationsfinishen 275, 283
- Rotationsfinish-Maschine 287
- Rückzugsriefen 197
- Rundheitsmessung 163
- $R_{vk}$ -Wert 233
- $R_z$ -Wert 227

## S

- Sacklochbohrungen 11
- Sackloch-Werkzeug 52
- Saphir 132
- Säulenkonzept 290
- Schaftwerkzeug 61
- Schieberhülse 134
- Schleifzahnrad 298
- Schmierung 79
- Schmierwirkung 86
- Schneidbeläge 63
- Schneidkornart 78
- Schneidkornverteilung 253
- Schneidmittel 285
- Schneidstoffe 64
- Schnittgeschwindigkeit 13, 109
- Schnittkräfte 113
- Schrittzähler 104
- Selbstschärfeffekt 73, 284
- Sensitiv-adaptives Honen 273
- Sinterwerkstoffe 125
- Spanbildung 259
- sphärische Flächen 283
- sphärischen Anwendungsbereich 282
- sphärische Ringformen 282

Spiral-Gleithonen 148  
Spritzwerkzeugverschlussdüse 135  
Spülung 79  
Spülwirkung 85  
Statische Messebenen 177  
Steinanpresskraft 280  
Steinbreite 280  
Steinlänge 280  
Steuerbohrung 139  
Steuergehäuse 197  
Steuerhülsen 58  
Steuerung 27  
Steuerventile 134  
Stufenbohrungen 10  
Superfinish 270

## T

Taktile Messtechnik 238  
Teilbohrung 11  
Teilespektrum 306  
Teilespektrum beim Verzahnungshonen 306  
Teleservice 18  
Titanlegierungen 125  
Tribologie, Kraft-Weg gebundene Zustellung 259  
tribologisches System 13  
trochoidförmige 12

## U

Umfangsgeschwindigkeit des Werkstücks 279  
Unrundhонwerkzeug 55

## V

Ventilblöcke 199  
Ventile 134  
Verdichtergehäuse 206  
Verfahren 278  
Verfahrenskinematik 278

Verfahrensmerkmale 14, 278  
Verfahrensstruktur 281  
Verfahrensvarianten 280  
verkettetes modulares System 30  
Vertikal-Innenrundhонmaschinen 95  
Vertikal-Langhubhонmaschinen 18  
Volldornwerkzeug 133  
Vollmantelwerkzeug 56  
Vorbearbeitung 118  
Vorrichtung 46  
Vw-Werte 124

## W

Wälzhonen 297  
Wassermischbare Kühlschmierstoffe 82  
Werkstoffabtrag 118, 120  
Werkstoffrandzone 278  
Werkstoffspektrum 125  
Werkstückaufnahme 36, 284, 288  
– schwimmende 41  
– starre 38  
Werkzeugarten 46  
Werkzeuge 285, 300  
Werkzeugwechsler 24, 25  
Werkzeugzustellung 58  
Wirtschaftlichkeit 67

## Z

Zahnradbohrung 43  
Zahnräder 44  
Zahnradhonen 298, 300  
Zeitsteuerung 107  
Zerspanungskennwerte 123  
Zugabe 119  
Zustellkraft 115  
Zustelloptimierung 288  
Zustellsysteme 24, 95, 285  
Zustellung 16, 95  
Zylinderbüchse 39  
Zylinderlaufbahn 160, 163