

# Honen

Umweltbewusst und kostengünstig Fertigen

Bearbeitet von  
Ulrich Klink

1. Auflage 2015. Buch. XII, 222 S.  
ISBN 978 3 446 44192 7  
Format (B x L): 17,2 x 24,5 cm  
Gewicht: 604 g

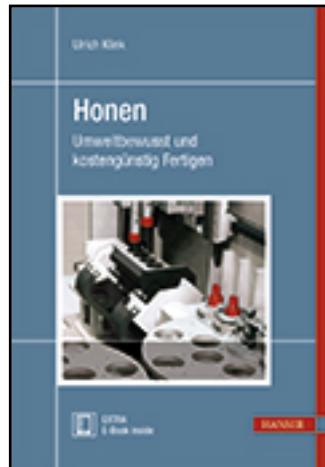
[Weitere Fachgebiete > Technik > Produktionstechnik > Fertigungstechnik](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

**beck-shop.de**  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

# HANSER



Leseprobe

Ulrich Klink

Honen

Umweltbewusst und kostengünstig Fertigen

ISBN (Buch): 978-3-446-44192-7

ISBN (E-Book): 978-3-446-44147-7

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44192-7>

sowie im Buchhandel.

# Vorwort

Inspiriert zu diesem Buch wurde ich durch die Tätigkeit als Mitverfasser des Werkes Heisel/Klocke/Uhlmann/Spur „Handbuch Spanen“ Carl Hanser Verlag, von Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann Technische Universität Berlin und von Herrn Volker Herzberg, Projektleiter beim Carl Hanser Verlag München.

Im komplexen Gebiet des Honens liegen nur sehr wenige zusammenhängende Publikationen in Form von Fachbüchern vor.

In dem vorliegenden Buch werden die theoretischen Grundlagen des Honens wissenschaftlich aufgearbeitet und die Wirkmechanismen zur praktischen Umsetzung mit den zielgerichteten Betriebsmitteln im Zusammenhang aufgezeigt.

Basierend auf meiner über 40-jährigen Erfahrung, bezieht sich das Buch mit dem spezifischen Fachwissen auf das Langhubhonen in praxisnaher Aufbereitung. Zur Komplettierung der wichtigsten Honverfahren sind in kurzen Zügen auch das Kurzhubhonen und das Verzahnungshonen strukturiert aufbereitet worden.

Mit diesem zusammenhängenden Werk, ohne Vollständigkeitsanspruch, habe ich versucht, eine transparente Übersicht über die ständig gewachsenen Hontechniken zu geben. Umfangreiche Literaturhinweise dienen zur weiteren Vertiefung dieser komplexen und zukunftsfähigen Technologien.

Dieses Buch wendet sich an Führungs- und Fachkräfte aus Forschung, Entwicklung, Konstruktion, Planung, Fertigung und Qualitätssicherung. Ebenso an Auszubildende und Studenten, sowie wissenschaftliche Mitarbeiter der Fach- und Hochschulen und entsprechenden Instituten.

Für die sachkundige Durchsicht des Manuskripts sei dem früheren Konstruktionsleiter der Firma Gehring, Herrn Alfred Walter bestens gedankt. Für die engagierte Mithilfe bei Ausarbeitungen möchte ich mich ganz besonders bei Herrn M.Sc. Raphael Mack bedanken. Ebenso sei den Herren M.sc. Max Schmid und cand. mach. Martin Dellin für Ihre tatkräftige Unterstützung bei der Manuskripterstellung Dank gesagt.

Neuffen im März 2015

*Ulrich Klink*



# Inhalt

<b>Vorwort .....</b>	<b>V</b>
<b>Geleitwort .....</b>	<b>XI</b>
<b>1 Allgemeines.....</b>	<b>1</b>
1.1 Geschichtliches .....	1
1.2 Einleitung und Übersicht der Honverfahren.....	4
<b>2 Langhubhonen.....</b>	<b>7</b>
2.1 Langhubhonvarianten mit Bauteilcharakteristika .....	8
2.1.1 Innenrundhonen.....	8
2.1.2 Innenprofilhonen.....	10
2.1.3 Außenrundhonen .....	10
2.1.4 Hybridverfahren .....	11
2.2 Verfahrensmerkmale.....	12
2.3 Maschinenarten .....	14
2.3.1 Vertikal-Langhubhonmaschinen.....	17
2.3.1.1 Baugrößenordnung 1: Maschinen für Kleinserien – Ausführung A: Ø 25 – 370 mm,.....	17
Ausführung B: Ø 60 – 110 mm.....	17
2.3.1.2 Baugrößenordnung 2: Maschinen für Kleinteile Ø 0,6 bis 10 mm .....	20
2.3.1.3 Baugrößenordnung 3: Maschinen für kleinere bis mittlere Ø von 8 bis 45 mm.....	22
2.3.1.4 Baugrößenordnung 4: Maschine für mittlere bis große Durchmesser von 30 bis 250 mm.....	24
2.3.1.5 Baugrößenordnung 5: Modulare Honbearbeitungszentren von Ø 70 bis 125 mm.....	26
2.3.1.6 Baugrößenordnung 6: Großhonmaschinen für große Ø von 60 bis 1.500 mm.....	32

2.3.2	Horizontal-Langhubhonmaschinen .....	32
2.4	Honsysteme: Werkzeug-, Werkstück-Zuordnungen .....	34
2.4.1	Verbindungselemente mit Werkzeugaufnahme .....	38
2.4.2	Werkstückaufnahme (Vorrichtung) .....	38
2.4.2.1	Beispiele von „starren“ Werkstückaufnahmen gemäß Honsystem A .....	39
2.4.2.2	Beispiele von „schwimmenden“ Werkstückaufnahmen gemäß Honsystem B .....	43
2.4.2.3	Beispiele von „kardanischen“ Werkzeugaufnahmen gemäß Honsystem C .....	45
2.5	Werkzeugarten .....	48
2.5.1	Innenhon-Werkzeuge .....	49
2.5.1.1	Leisten-Honwerkzeuge, zustellbar während des Honens ..	50
2.5.1.2	Vollmantelwerkzeuge .....	59
2.5.1.3	Honwerkzeuge für Kleinstbohrungen .....	64
2.5.2	Außenhon-Werkzeuge .....	65
2.5.3	Hon-Schneidbeläge .....	66
2.5.3.1	Schneidbeläge mit Diamant und CBN .....	69
2.5.3.2	Konstruktive Auslegung von Honbelägen .....	72
2.5.3.3	Aufbereitung von Honwerkzeugen mit Diamant- und CBN-Leisten-Systemen .....	72
2.5.3.4	Konventionelle Schneidstoffe .....	74
2.6	Kühlschmierstoff (KSS) .....	77
2.6.1	Kühlschmierstoffe beim Honen .....	77
2.6.2	Anforderungen an die Kühlschmierstoffe .....	80
2.6.2.1	Prozessanforderungen .....	80
2.6.2.2	Anforderungen und Handling .....	82
2.7	Vertikal-Innenrundhonmaschinen .....	86
2.7.1	Honleisten-Zustellsysteme .....	86
2.7.1.1	Hydraulische Zustellung (kraftschlüssig) .....	86
2.7.1.2	Mechanische Schrittzustellung (formschlüssig) .....	87
2.7.1.3	Doppelzustellsysteme .....	89
2.7.2	Messsysteme an Honmaschinen .....	89
2.7.2.1	Direkt Messsysteme .....	91
2.7.2.2	Indirekt Messsysteme .....	95
2.7.3	Formregelungseinrichtungen .....	98
2.7.4	Berechnungsverfahren .....	99
2.7.4.1	Schnittgeschwindigkeit .....	100
2.7.4.2	Hublänge und Honleistenlänge .....	103

2.7.4.3 Schnittkräfte.....	104
2.7.4.4 Anpressdruck.....	106
2.7.4.5 Oberflächenrauheit .....	108
2.7.4.6 Bearbeitungszugaben und Honzeiten .....	109
2.7.4.7 Zerspanungskennwerte.....	114
2.7.5 Werkstoff- und Bauteilspektrum beim Honen.....	116
2.7.6 Verfahrensvarianten mit Arbeitsbeispielen.....	118
2.7.6.1 Honen kleiner Bohrungen .....	120
2.7.6.2 Dornhonen.....	124
2.7.6.3 Peak-Honen.....	128
2.7.6.4 Plateauhonen .....	129
2.7.6.5 Koaxialhonen .....	136
2.7.6.6 FMF-Hybridhonverfahren: Honen-Fluidstrahlen-Microfinishen.....	138
2.7.6.7 LH-Hybridhonverfahren: Laserhonen .....	142
2.7.6.8 Positionshonen am Beispiel der Zylinderbohrung .....	145
2.7.6.9 Formhonen am Beispiel Zylinderlaufbahn eines Verbrennungsmotors.....	148
2.7.6.10 Nanotechnologie für Kolbenlaufbahnen.....	151
2.7.6.11 Honen mit Entgraten .....	156
<b>3 Langhubhonen auf Bearbeitungszentren.....</b>	<b>159</b>
3.1 Kombiniertes Bearbeitungszentrum (MAG-System).....	161
3.2 Konventionelles Bearbeitungszentrum (DIAHON-System).....	165
<b>4 Qualitätsmerkmale beim Langhubhonen.....</b>	<b>169</b>
4.1 Grobgestaltabweichungen mit Messtechnik .....	170
4.2 Feingestaltabweichung.....	175
4.2.1 Rauheit .....	175
4.2.1.1 Ra – arithmetischer Mittlerrauwert .....	175
4.2.1.2 Rmax – Maximale Rautiefe DIN 4748:1990 .....	176
4.2.1.3 Rz – gemittelte Rautiefe (nach DIN EN ISO 4287).....	177
4.2.1.4 R3z – Grundrautiefe (keine Normkenngröße).....	179
4.2.1.5 Rmr – Materialanteil des Profils.....	179
4.2.1.6 Kenngrößen zur Beurteilung von plateauartigen Oberflächen (nach DIN EN ISO 13 565).....	182
4.2.1.7 Rk – Kernrautiefe.....	183
4.2.2. Welligkeit.....	186

<b>5 Kurzhubhonen .....</b>	187
5.1 Kurzhubhonorvarianten nach Bearbeitungsgeometrien und spezifischen Bauteilen.....	188
5.2 Verfahren .....	190
5.2.1 Verfahrensmerkmale .....	190
5.2.2 Berechnungsgrundlagen.....	191
5.2.3 Verfahrensvarianten .....	192
5.2.3.1 Oszillationsfinishen als Einstechverfahren mit Beispielen.....	193
5.2.3.2 Oszillationsfinishen als Durchlauf- und Längsbearbeitung .....	195
5.2.3.3 Rotationsfinishen als Einstechverfahren für Plan- und sphärische Flächen.....	195
5.3 Maschinen.....	197
5.3.1 Zustellsysteme, Werkzeuge mit Schneidmittel .....	197
5.3.2 Kühlsmierstoff (KSS) mit Aufbereitung .....	199
5.3.3 Rotationsfinish-Maschine für Planflächen als Vertikalbearbeitung	199
5.3.4 Modulare Rotations-Finishmaschine auch als Feinstbearbeitungszentrum .....	202
5.3.5 Finishmaschine mit Band-Technologie .....	202
5.4 Bearbeitungsbeispiele.....	204
5.5 Kurzhubhon-Anbaugeräte .....	206
<b>6 Verzahnungshonen .....</b>	207
6.1 Einleitung.....	207
6.2 Geschichtliches .....	207
6.3 Verfahrensvarianten.....	209
6.4 Qualitätsmerkmale .....	212
6.5 Wirtschaftlichkeit .....	213
6.6 Leistungshonmaschine für Verzahnungen.....	214
6.7 Zusammenfassung und Teilespektrum.....	215
<b>Literatur .....</b>	217
<b>Index .....</b>	219

Rundheit  $\bigcirc \leq 6 \mu\text{m}$

Oberfläche  $= 1 - 3 \mu\text{m } R_z$

Taktzeit  $\leq 40 \text{ s.}$

### Auslegung auf drei Stufen-Honprozess:

Wirtschaftliche Honzugabe:

$$\Delta d_{wz} = 2 \cdot (R_z + t_v) = 2 \cdot (14+12) = 0,052 \text{ mm}$$

+ Ø-Toleranz (30  $\mu\text{m}$ ) vor dem Honen = 0,052... 0,082 mm.

Ausgangspunkt der Honstufen-Auslegung ist die Fertighonstufe mit welcher zielorientiert primär die Endoberfläche, in diesem Fall von 1 bis 3  $\mu\text{m } R_z$  erreicht werden muss. Aus der gemittelten Oberflächenvorgabe von 2  $\mu\text{m } R_z$  ergibt sich im Ablesebeispiel in Abbildung 97 A die Diamanthonleiste D20 mit einem gesicherten Materialabtrag in Abbildung 97 B von 15  $\mu\text{m}$  im Durchmesser. Die Zwischenhonleiste muss wiederum der Fertighonleiste die funktionell gesicherten Vorgaben für die wirtschaftliche Bearbeitung liefern. Das heißt, die D20-Leisten bewirken einen Abtrag im Radius von 7,5  $\mu\text{m}$ , also darf die vorausgehende Zwischenhonleiste keine rauere Oberfläche erzeugen. In Abbildung 97 A ergibt sich bei der Vorgabe von 3 bis 6  $\mu\text{m } R_z$  (gemittelt 5  $\mu\text{m } R_z$ ) eine Diamantleiste von D64. Die Vorhonstufe wird analog der beschriebenen Vorgehensweise ausgelegt. Die Zusammenhänge eines 3-Stufen-Honprozesses sind in Tabelle 16 veranschaulicht.

**Tab 16** Honstufen-Auslegung einer Grauguss-Kolbenlaufbahn aus Tabelle 15 (nach iht-Klink)

Honstufen-Auslegung				
	Oberfläche Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Diamantleiste	Materialabtrag im Radius/ im Ø [ $\mu\text{m}$ ]	Taktzeit / Honzeit
Stufe 3: Fertighonen	1-3	D20	7,5/15	
Stufe 2: Zwischen- honen	3-6	D64	12,5/25	40/30 s
Stufe 1: Vorhonen	6-10	D151	20/40	
Vorbearbeitung	10-14	feingebohrt		

Als Grundregel gilt:

Min. Materialabtrag (im Radius) > Ausgangsoberfläche.

Nicht relevant sind dabei Abweichungen beim Vorhonen auf Grund der Vorbearbeitungstoleranz im Durchmesser.

### 2.7.4.7 Zerspanungskennwerte

Um eine fundierte Prozessoptimierung vornehmen zu können ist beim Honen die Kennwertermittlung über eine große Anzahl von Bohrungen notwendig. Viel Potenzial ist oft beim Werkzeug zur Schneidbelagoptimierung gegeben. Nicht zielführend ist hier zum Beispiel Abtragswerte oder Verschleißwerte isoliert zu erfassen, sondern die Kenndaten transparent zu bündeln für eine gesamtheitliche Kostenbetrachtung. So kann im Schneidbelag-Vergleich der  $G$ -Wert, das Verhältnis von abgespantem Werkstoffvolumen zum Volumen des Honbelagverschleißes, der entscheidende wirtschaftliche Faktor für eine Schneidbelag-Spezifikation sein, da mit steigendem  $G$ -Wert (Tab. 17) analog die Belagkosten pro Bohrung sinken. Für die  $G$ -Wert-Ermittlung gilt:

$$G = \frac{V_w}{V_s} \quad (11)$$

mit:

$V_w$  abgespantes Werkstoffvolumen

$V_s$  Volumen des Schneidbelagabriebs

(Schneidbelagabmessungen: Breite  $B$ , Höhe  $H$ , Länge  $L$  vgl. auch Abb. 68).

Ein weiterer Vergleichswert zur Prozessoptimierung ist mit dem auf die Schneidfläche bezogenen Zeitspannungsvolumen (Tab. 17) gegeben.

Für das bezogene Zeitspannungsvolumen gilt:

$$V'_w = \frac{V_w}{t \cdot A_s} \left[ \frac{\text{mm}^3}{\text{s} \cdot \text{mm}^2} \right] \quad (12)$$

mit:

$t$  die Honzeit

$A_s$  die Schneidbelagfläche.

Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Zerspanungskennwerte sind gleichartige Werkstücke, bei gleichartigen Maschinenkonzepten, Betriebsmitteln sowie denselben Einstellparametern.

**Tab. 17** G- und  $V'_w$ -Werte für verschiedene Anwendungsfälle (Spur, Stöferle 1980, aktualisiert und ergänzt iHt, Klink 2015)

Werkstück	Kolbenlaufbahnen für ZKG Vorhonen	Zylinderbüchse Schrupphonen	Kolbenlaufbahn für ZKG Positionshonen	Zahnrad Vorhonen	Einspritzpumpenelement Vorhonen	Gezogenes Stahlrohr Vorhonen
Werkstoff	GG	GG	GG	gehärteter Stahl (62HRC)	gehärteter Stahl (62HRC)	S355 (EN 10025) alte Bezeichn.: St 52 (DIN17100)
Bohrungsbemessung						
Durchm. [mm]	80	130	80	45	10	100
Länge [mm]	140	310	140	30	62	1.500
Werkzeugtyp	Achtleisten-Werkzeug	Achtleisten-Werkzeug	Achtleisten-Werkzeug	Sechsleisten-Werkzeug	Einleisten-Werkzeug	Sechsleisten-Werkzeug
Schneidbelag [mm]	8 (4 x 2 x 80)	8 (5 x 3 x 200)	8 (4 x 3 x 80)	6 (4 x 3 x 30)	1 (2 x 2 x 60)	6 (13 x 13 x 150)
(B x H x L)						
Schneidmittel	Diamant	Diamant	Diamant	Bornitrid	Bornitrid	Edelkorund
$G = \frac{\Delta V_w}{\Delta V_s} \left[ \frac{mm^3}{mm^3} \right]$	3.000	13.000	11.500	2.300	1.700	10 bis 18
Honzeit t [s]	30	60	30	40	20	240
$V_w' = \frac{\Delta V_w}{t \cdot A_s} \left[ \frac{mm^3}{s \cdot mm^2} \right]$	0,017	0,07	0,15	0,02	0,02	0,02

### 2.7.5 Werkstoff- und Bauteilspektrum beim Honen

Gehont werden können nahezu alle technisch genutzten Werkstoffe. Dies ist begründet durch die Möglichkeit der sehr flexiblen Anpassung von Schneidleisten- und Kühlschmierstoff-Spezifikationen an das zu bearbeitende Material. Dabei lässt sich heute das gehonte Werkstoffspektrum in etwa wie folgt aufgliedern:

- Grauguss 40 %
- Stahl, gehärtet 30 %
- Stahl, weich 10 %
- Aluminium-Legierungen 10 %
- Sinterwerkstoffe, Buntmetalle, Titanlegierungen
- sonstige 10 %.

Die Werkstoffe kommen vor allem zur Anwendung im Kraftfahrzeugbau, in der Hydraulik- und Pneumatikindustrie, im Werkzeug- und Werkzeugmaschinenbau, in der Kältemaschinenindustrie, im Bereich der Feinwerktechnik und Mechatronik, im Elektromaschinenbereich, bei optischen Komponenten, bei der Medizintechnik und in der Luftfahrt. Beim Anwendungsschwerpunkt Kraftfahrzeugbau wiederum ist das Zylinderkurbelgehäuse der Schrittmacher bei der Werkstoffentwicklung. Allein für die Kolbenlaufbahn sind je nach Motorkonzept zahlreiche neuartige Werkstoffe in den vergangenen Jahren zur Serienreife gebracht worden, so zum Beispiel neue GG-, AlSi- und thermische Beschichtungsvarianten. Im gehärteten Bereich liegt der größte Anteil bei den Bauteilen aus der Einspritzpumpenindustrie. Werkstücke aus konventionellen und innovativen Werkstoffen sind exemplarisch in Abbildung 98 und 99 aufgeführt.



#### V8-Motorengehäuse mit Werkstoffvarianten der Kolbenlaufbahn

- Al-Si-Werkstoffe (Klink, Flores, Gehring Firmenschrift)
- Thermische Spritzschichten (Flores, Gehring Firmenschrift)
- Nickeldispersionsschichten, galvanisch (Flores 1992)



#### R4-Motorengehäuse mit Werkstoffvarianten

- GG
- GGV (Gusseisen mit Vermikulargraphit) (Klink, Flores 2000)



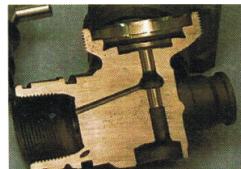
#### 2-Taktzylinder für Motorsägen

- Al-Grundkörper mit Kolbenlaufbahn-Beschichtung
- Nickeldispersionsschicht (Nikasil, Galnikal)
  - Chromschicht (Chromal) (Flores 1992)



#### Kältemaschinen

- Kühlschrank-Kompressorenbau
- GG



#### Einspritzpumpenteile

- 100Cr6, Härte HRc 62

Abb. 98 Werkstoff- und Bauteilspektrum beim Honen (iht-Klink)

## Gehonte Lagerungen an verschiedenen Werkstoffen

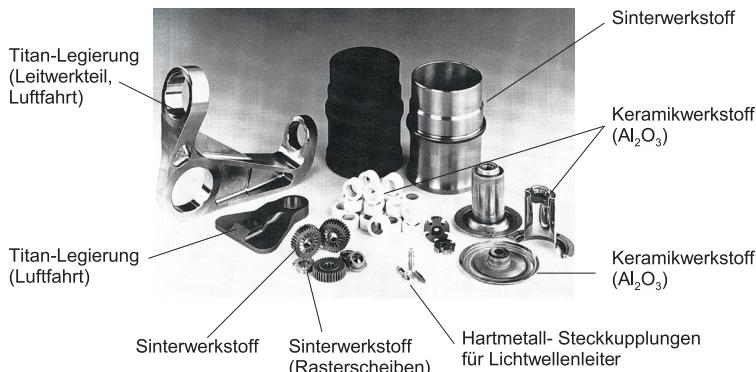


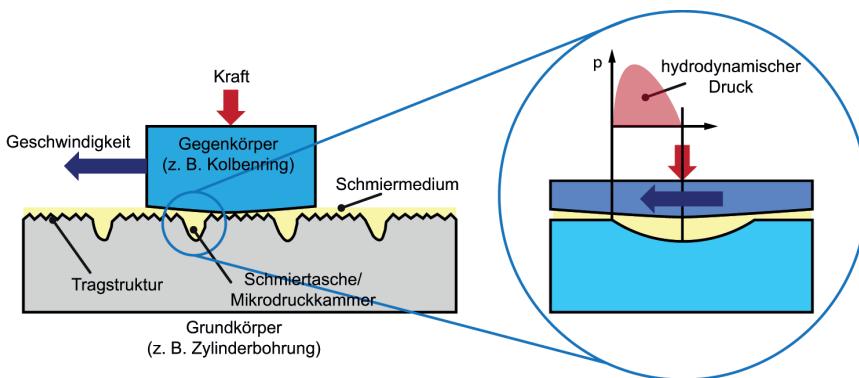
Abb. 99 Gehonte Lagerungen (nach Gehring und iht-Klink)

### 2.7.6 Verfahrensvarianten mit Arbeitsbeispielen

Die immer höher beanspruchten Bohrungen, im Besonderen mit Gleitfunktion, stehen zwangsläufig im Interesse funktionaler und fertigungstechnischer Entwicklungsprozesse. Die Entwicklung des Honverfahrens orientiert sich an Parametern wie Vorbearbeitung, Werkstoffeigenschaften, Funktionsanforderungen, Fertigungstoleranzen und den Bedingungen und Anforderungen bei der fortwährenden Miniaturisierung vieler Bauteile. Diese Situation führte in den letzten Jahren zu zahlreichen Neuentwicklungen von Verfahrensvarianten, welche die Bereiche Prozessauslegung, Werkzeugdesign, Schneidstoffe und Maschinenbauarten betrafen. Durch die gute Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Zielsetzungen einer Bohrungsbearbeitung ist das Honverfahren ein Prozess mit hoher Innovationskraft und Zukunftsfähigkeit. Im folgenden Abschnitt werden Fortschritte bei miniaturisierten Bauteilen den Kleinstbohrungen, beim Dornhonen, Peak-Honen, bei den bifunktionalen Honsystemen wie Plateauhonen, Spiral-Gleithonen sowie Koaxialhonen und Anwendungen, bei denen das Verfahren mit anderen Prozessen kombiniert wird, den sogenannten Hybridverfahren wie Laserhonen oder Honen mit Fluidstrahlen, vorgestellt.

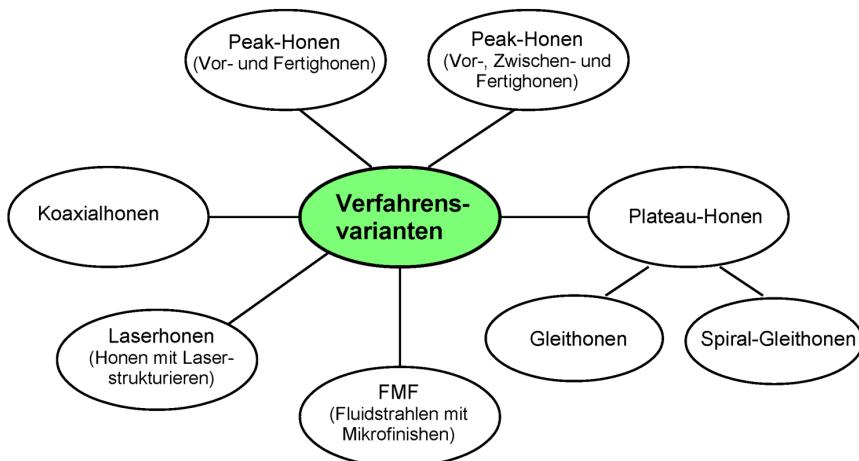
Wie bei keinem anderen Endbearbeitungsverfahren, kann beim Honen die verfahrensspezifische mikrogeometrische Modifizierbarkeit genutzt werden, wobei die funktionsfähige Lauffläche, welche die tribologischen Anforderungen erfüllt, das Ergebnis der Honbearbeitung am Ende der Wertschöpfungskette ist (Abb. 100). Die Honbearbeitung erfolgt auf Einzelmaschinen, verketteten Einzelmaschinen, Modul-

systemen oder auf Transferhonanlagen. Ausgehend von der feingebohrten Oberfläche sind für die Korrektur von Maßgenauigkeit, Formgestalt und Oberfläche meist 2 bis 3 Honoperationen notwendig. Je nach Vorbearbeitungsqualität, entsprechend der notwendigen Materialzugabe und geforderter Endqualität ist der Honprozess mit unterschiedlichen Komponenten und Betriebsmitteln ausgelegt.



**Abb. 100** Tribologisches System und Aufbau des hydrodynamischen Drucks (Abeln, Flores, Klink 2002) und Abeln (2006)

Als Schrittmacher dienten bei der topographischen Entwicklung sicher schwerpunkt-mäßig die Kolbenlaufbahnen von Verbrennungsmotoren und beim Genauigkeitshonen (Maß, Form, Oberfläche) die hochgenauen Einspritzpumpenteile und Steuergehäuse. In Abbildung 101 sind die aktuellen, am meisten in Serie eingeführten Varianten des Honverfahrens aufgezeigt.



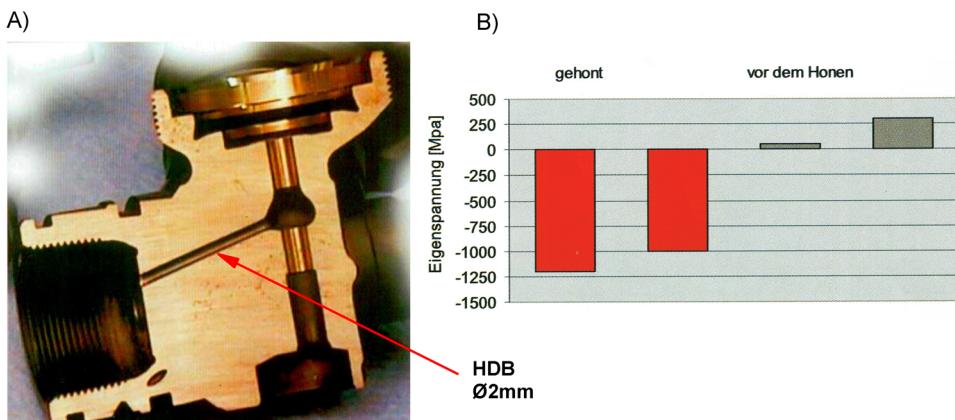
**Abb. 101** In Serie eingeführte Varianten des Honverfahrens (nach iht-Klink 2012)

### 2.7.6.1 Honen kleiner Bohrungen

Die zunehmende konstruktive Miniaturisierung von technologisch hochwertigen Produkten und Bauteilen macht ebenso eine fertigungstechnische Anpassung notwendig. Je nach Funktionsprofil stehen hohe Anforderungen hinsichtlich Maßgenauigkeit, Bohrungsgeometrie und Oberfläche oder die Definition von Toleranzgrenzen für Druckeigenspannungen in der Randzone der gehonten Fläche im Vordergrund. Einzelne Verfahrenskomponenten müssen jeweils auf die unterschiedlichen Funktionsziele der Honbearbeitung abgestimmt werden. Neben der Erfüllung der Qualitätsanforderungen sind wirtschaftliche Werkzeugstandzeiten, auch bei kleinsten Schneidmittelvolumina und stabile Prozesse, die wesentlichen Forderungen der Serienfertigung (Klink, Flores 2003).

#### Aktuelle Anforderung an die Honbearbeitung von Kleinstbohrungen

Mit Honen werden Kleinstbohrungen in den Bereichen Kraftstoffeinspritzung, Kommunikationstechnik, Mechatronik, Mikropneumatik und Feinwerktechnik bearbeitet. Schrittmacher der Entwicklung auf diesem Gebiet sind nach wie vor die vielen anspruchsvollen Bauteile aus dem Bereich der Kraftstoffeinspritztechnik. Neben den geometrischen Genauigkeiten, werden bei den fluidbeanspruchten Hochdruckbohrungen vor allem funktionsgerechte Randzonen von Oberflächen mit hoher Dauerfestigkeit ohne Rissbildungsgefahr benötigt (Abb. 102).



**Abb. 102** A) Hochdruckbauteil mit fluidbeanspruchter Hochdruckbohrung (HDB), B) Eigenspannungen vor und nach dem Honen (Klink, Flores 2003)

### **Vergleiche von Verfahren der Endbearbeitung**

Für diese miniaturisierten Bearbeitungen im Bereich um und  $< 2$  mm im Durchmesser kommen in der Regel Bearbeitungsverfahren mit undefinierter Schneidengeometrie, d. h. mit gebundenem Diamant- oder CBN-Kristall in Frage. Hartzerspanungsprozesse mit definierter Schneidgeometrie haben sich zumindest in der Breite nicht durchsetzen können, da die Geometrien von etwas längeren Kleinstbohrungen konstruktiv den Einsatz von Hartdrehwerkzeugen ausschließen. Die verbleibenden Verfahren sind daher Honen und Schleifen.

Welches Verfahren wann einzusetzen ist, hängt ab von zahlreichen Details, die im Einzelfall zu beurteilen sind. Jeder Prozess hat seine Anwendungsnischen auf Grund spezifischer Verfahrensmerkmale, die jeweils vorteilhaft genutzt werden können. Mit den Anwendungsprofilen der einzelnen Verfahren (Abb. 103) sind diese Anwendungsnischen dargestellt. Es wird deutlich, dass Honen und Schleifen Prozesse sind, die weniger konkurrieren, sondern sich technologisch und wirtschaftlich sinnvoll ergänzen können, zum Beispiel bei der Steigerung der Maßgenauigkeit. In anderen Fällen können sich die Verfahren jedoch gegenseitig ausschließen. Hohe Druckeigenspannungen zum Beispiel erfordern den Einsatz des Honverfahrens. Auf Grund der Linienberührungen und der Kinematik kann Innenrundschleifen hier den Forderungen nicht gerecht werden.