

– GEWINDEN MIT WALTER PROTOTYP

Präzise, sicher,
wirtschaftlich



2 Index

4 Allgemeine Einführung ins Thema

8 Programmübersicht

9 Gewindebohren

12 Gewindeformen

13 Gewindefräsen

14 Produktinformationen

14 Gewindebohren

28 Gewindeformen

34 Gewindefräsen

40 Werkzeugauswahl

40 Gewindebohren

44 Gewindeformen

46 Gewindefräsen

48 Technische Informationen

48 Allgemein

74 Gewindebohren

94 Gewindeformen

101 Gewindefräsen

112 Anhang

Technik, Trends und Innovationen in der Gewindeherstellung

Es gibt unterschiedliche Verfahren, um ein Gewinde herzustellen. Wir konzentrieren uns in diesem Handbuch auf das **Gewindebohren**, das **Gewindeformen** und das **Gewindefräsen** mit Werkzeugen von Walter Prototyp. Darüber hinaus werden im Rahmen dieses Handbuchs allgemeingültige technische Informationen zu diesen Verfahren dargelegt.

Bei der Herstellung von Innengewinden ist das **Gewindebohren** immer noch das am häufigsten verwendete Verfahren. Bei der Werkzeugentwicklung stehen Prozesssicherheit, Qualität und Herstellkosten pro Gewinde im Fokus.

Wir haben große Anstrengungen im Bereich der Makro-/Mikro-Geometrie sowie bei den Beschichtungen unternommen, um auch unter ungünstigen Bedingungen eine hohe Prozesssicherheit zu gewährleisten. Die Kosten pro Gewinde können durch den Einsatz unserer Hochleistungs-Werkzeuge der Eco- und Synchrospeed-Serie drastisch reduziert werden. Noch geringere Kosten je Gewinde können mit Vollhartmetall-Werkzeugen realisiert werden. Unsere HSC-Linie setzt hier neue Maßstäbe – auch in Stahlwerkstoffen. Diese Werkzeuge sind die erste Wahl in der Massenproduktion, zum Beispiel in der Mutter- oder Automobilindustrie.

Das **Gewindeformen** hat sich als Verfahren zur Innengewindeherstellung in den letzten 20 Jahren rasant entwickelt. Brauchte man früher für den Einsatz dieser Werkzeuge überwiegend Öl als Kühlschmierstoff, ist es heute dank gezielter Weiterentwicklung der Formkanten-Geometrie und der Beschichtung möglich, nahezu alle formbaren Werkstoffe (auch rostfreie Stähle) mit einer 5 %-Emulsion auf jedem Bearbeitungszentrum zu formen. Dabei hat sich die statische und insbesondere die dynamische Festigkeit der geformten Gewinde durch die Verwendung von Emulsion sogar noch weiter verbessert.

jüngster Vergangenheit das sogenannte **„Orbital-Gewindefräsen“** einen Namen gemacht. Damit können Anwender erstmals sehr tiefe (z.B. $3 \times D_N$) und darüber hinaus sehr kleine (z.B. M1,6) Innengewinde auch in anspruchsvollen Werkstoffen absolut prozesssicher herstellen.

Zum Schluss noch ein Tipp: Verwenden Sie zur Auswahl des optimalen Verfahrens unsere neue Software **Walter GPS**, den Nachfolger des bewährten CCS. Hier können Sie alle Herstellverfahren direkt miteinander vergleichen und sich dann für die wirtschaftlichste Alternative entscheiden.

Der Schneidstoff Hartmetall hat beim Gewindeformen schon lange Einzug gehalten. Absolute Spitzenwerte erreichen wir heute mit unserer Protodyn® HSC-Linie.

Das **Gewindeformen** ist oftmals die wirtschaftlichste Methode, um ein Innengewinde herzustellen. Vorausgesetzt, dieses Verfahren ist für das jeweilige Bauteil zugelassen.

Was die Prozesssicherheit und Gewindequalität angeht, liegt das **Gewindefräsen** unangefochten an der Spitze. Neben den klassischen Fräsverfahren hat sich in



Produktive Prozesse mit Walter Prototyp

Es ist heute praktisch unmöglich, steigende Produktionskosten unmittelbar über steigende Stückkosten direkt an den Kunden weiterzugeben. Dies gilt für Konsumgüter wie für Investitionsgüter gleichermaßen. Erfolgreiche Unternehmen schließen diese Ertragslücke durch eine konsequente Produktivitätssteigerung in der Fertigung.

Als Hersteller von Präzisionswerkzeugen für die Zerspanung können wir hier einen großen Beitrag leisten, wie das Schaubild zeigt. Zwar machen die Werkzeugkosten nur rund 3 % der gesamten Bearbeitungskosten aus. Die Bearbeitungszeit allerdings schlägt mit 30 % der Zerspanungskosten deutlich zu Buche.

Das heißt: mit leistungsfähigen Zerspanungswerkzeugen von Walter Prototyp lassen sich die Bearbeitungskosten deutlich senken. Eine Steigerung der Schnittparameter führt zu einer enormen Kostenersparnis. Weil der Werkzeugpreis also einen fast zu vernachlässigenden Einfluss auf die gesamten Bearbeitungskosten hat, werden Werkzeuge der Kompetenzmarke Walter Prototyp nicht am reinen Werkzeugpreis gemessen, sondern an der überproportionalen Steigerung der Produktivität und damit am Einsparpotential für unsere Kunden.

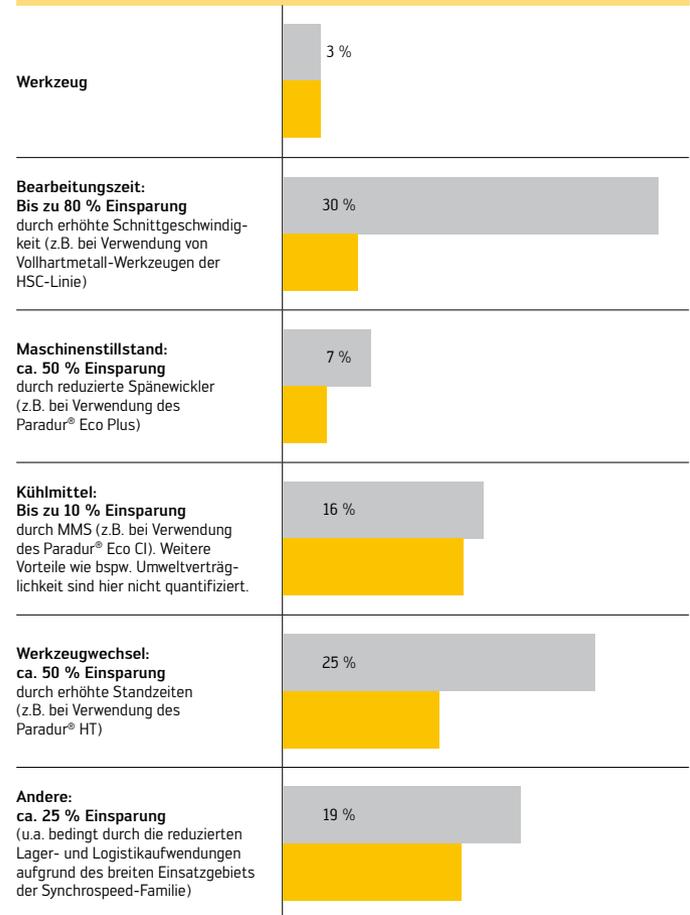
Aus diesem Grund forcieren wir bei Walter Prototyp in unserem Werkzeugsortiment die HSC-Bearbeitung (High Speed Cutting) mit Vollhartmetall-Werkzeugen. Damit sind zum Beispiel bei der Zerspanung niedrig legierter Stähle Schnittgeschwindigkeiten von bis zu 50 m/min möglich. Im Gewinden ein bemerkenswertes Ergebnis! Besonders anspruchsvollen Kunden, denen es auf maximale Produktivität ankommt, bietet Walter Prototyp zusätzlich zur HSC-Linie speziell für die Synchronbearbeitung entwickelte Werkzeuge an.

Die Minimalmengenschmierung (MMS) ist ein weiterer Faktor, wenn es um die Senkung der Zerspanungskosten geht, wie die nebenstehende Grafik zeigt. Walter Prototyp bietet seinen Kunden auch hier speziell angepasste Beschichtungen.

Kurz zusammengefasst: Der Anteil der reinen Werkzeugkosten beträgt zwar nur 3 % an den tatsächlichen Fertigungskosten, aber das Werkzeug beeinflusst entscheidend die restlichen 97 % der Kosten.

Lassen Sie sich von unseren Experten das Einsparpotential in Ihrer Fertigung durch Werkzeuge von Walter Prototyp aufzeigen.

Bearbeitungsaufwendungen im Vergleich



Bis zu 45% Gesamt-einsparung

■ bisher
■ mit Walter Prototyp

Walter Prototyp Gewindevorwerkzeug – Nomenklatur/Werkzeuggruppierung

| Gewindebohren* | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Prototex®... Gewindebohrer mit Schälanschnitt | Paradur®... Gewindebohrer mit rechtsgedrallten Spannuten | Paradur®... gerade genutete Werkzeuge |
| Gewindeformen | | Gewindefräsen** |
|  |  |  |
| Protodyn®... Gewindeformer ohne Schmiernuten | Protodyn® S ... Gewindeformer mit Schmiernuten | TM ... TM = Thread Mill... |

*** Ausnahmen Gewindebohren:**

- Paradur® N mit Anschnittform D sowie Paradur® Combi: gedrahlte Werkzeuge zur Herstellung von Durchgangsgewinden
- Paradur® HT, Paradur® GG und Paradur® Enginge: gerade genutete Werkzeuge für Grundlochgewinde (in Materialien mit guten Spanbrücheigenschaften)
- NPT/NPTF Gewindebohrer: rechtsgedrahlte Werkzeuge für Grund- und Durchgangslöcherbearbeitung

**** Ausnahmen Gewindefräsen:**

- TME (Thread Mill External): Werkzeug zur Herstellung von Außengewinden

Gewindebohrer für universelle Anwendungen

| Typenbeschreibung | Handbuchseite | Bearbeitung | Gewindetiefe | Werkstückstoffgruppe | | | | | | |
|--|---------------|-------------|----------------------|----------------------|------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------|
| | | | | P Stahl | M Nichtrostender Stahl | K Gusseisen | N NE-Metalle | S Schwererspanbare Werkstoffe | H Harte Werkstoffe | O Andere |
|  Prototex® Eco HT – universelle Anwendung – für Nass- und MMS-Bearbeitung | 14 + 15 | DL | 3,5 x D _N | ●● | ●● | ●● | ●● | ● | | ● |
|  Paradur® Eco Plus – universelle Anwendung – für Nass- und MMS-Bearbeitung – Nachfolger des bewährten Paradur® Eco HT | 14 + 15 | GL | 3 x D _N | ●● | ●● | ●● | ● | ● | | ● |
|  Prototex® Synchrospeed – Synchronbearbeitung – universelle Anwendung – h6 Schafttoleranz | 16 + 17 | DL | 3,0 x D _N | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | | ● |
|  Paradur® Synchrospeed – Synchronbearbeitung – universelle Anwendung – h6 Schafttoleranz | 16 + 17 | GL | 2,5 x D _N | ●● | ●● | ●● | ● | ● | | ● |

GL = Grundlochbearbeitung
DL = Durchgangslöcherbearbeitung

●● Hauptanwendung
● weitere Anwendung

Gewindebohrer für spezielle Anwendungen

| Typenbeschreibung | Handbuchseite | Bearbeitung | Gewindetiefe | Werkstückstoffgruppe | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|----------------------|----------------------|------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------|--|----|
| | | | | P Stahl | M Nichtrostender Stahl | K Gusseisen | N NE-Metalle | S Schwererspanbare Werkstoffe | H Harte Werkstoffe | O Andere | | |
|  Paradur® Eco CI – für kurzspanende Werkstoffe – für Nass- und MMS-Bearbeitung | 18 | GL + DL | 3 x D _N | | | ●● | ●● | | | | | ●● |
|  Paradur® HT – für Stähle mittlerer bis hoher Festigkeit sowie für kurzspanende Werkstoffe – Innenkühlung erforderlich | 19 | GL | 3,5 x D _N | ●● | | ●● | ● | | | | | ● |
|  Prototex® X-pert P – für Werkstoffe geringer bis mittlerer Festigkeit | 20 + 21 | DL | 3 x D _N | ●● | | | ● | | | | | ● |
|  Paradur® X-pert P – für Werkstoffe geringer bis mittlerer Festigkeit | 20 + 21 | GL | 3,5 x D _N | ●● | | | ● | | | | | ● |
|  Prototex® X-pert M – für rostfreie und höherfeste Stähle | 22 + 23 | DL | 3 x D _N | ● | ●● | | | | | | | |
|  Paradur® X-pert M – für rostfreie und höherfeste Stähle | 22 + 23 | GL | 2,5 x D _N | ● | ●● | | | | | | | |

| Typenbeschreibung | Handbuchseite | Bearbeitung | Gewindetiefe | Werkstückstoffgruppe | | | | | | | | |
|---|---------------|-------------|--------------------|----------------------|------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------|--|----|
| | | | | P Stahl | M Nichtrostender Stahl | K Gusseisen | N NE-Metalle | S Schwererspanbare Werkstoffe | H Harte Werkstoffe | O Andere | | |
|  Prototex® TiNi Plus – für die Bearbeitung hochfester und zum Klemmen neigender Ti- und Ni-Legierungen mit Emulsion | 24 + 25 | DL | 2 x D _N | | | | | | | | | ●● |
|  Paradur® Ti Plus – für die Bearbeitung hochfester und zum Klemmen neigender Ti-Legierungen mit Emulsion | 24 + 25 | GL | 2 x D _N | | | | | | | | | ●● |
|  Prototex® HSC – für höherfeste und hochfeste Stahlwerkstoffe – h6 Schafttoleranz – Innenkühlung erforderlich – Vollhartmetall | 26 | DL | 2 x D _N | ●● | | ●● | | | | | | |
|  Paradur® HSC – für höherfeste und hochfeste Stahlwerkstoffe bis 55 HRC – h6 Schafttoleranz – Innenkühlung erforderlich – Vollhartmetall | 27 | GL | 2 x D _N | ●● | | ●● | | | | | | ●● |

GL = Grundlochbearbeitung
DL = Durchgangslotbearbeitung

●● Hauptanwendung
● weitere Anwendung

Gewindformer

| Typenbeschreibung | Handbuchseite | Bearbeitung | Gewindetiefe | Werkstückstoffgruppe | | | | | | |
|--|---------------|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------|------------|----------------------------|------------------|--------|
| | | | | P | M | K | N | S | H | O |
| | | | | Stahl | Nichtrostender Stahl | Gussseisen | NE-Metalle | Schwerzspanbare Werkstoffe | Harte Werkstoffe | Andere |
|  <p>Protodyn® S Eco Plus* – für universelle Anwendung – höhere Performance gegenüber Protodyn® S Plus – für Nass- und MMS-Bearbeitung</p> | 28 | GL + DL | 3,5 x D _N | ●● | ●● | | ●● | ● | | |
|  <p>Protodyn® S Plus* – für universelle Anwendung</p> | 29 | GL + DL | 3,5 x D _N | ●● | ●● | | ●● | ● | | |
|  <p>Protodyn® Eco LM – für weiche, zum Schmieren neigende Werkstoffe</p> | 30 | GL + DL | 2 x D _N | ● | | | ●● | ●● | | |
|  <p>Protodyn® S Eco Inox* – speziell für die Bearbeitung rostfreier Stähle mit Emulsion</p> | 31 | GL + DL | 3,5 x D _N | ● | ●● | | ● | ● | | |
|  <p>Protodyn® S Synchrospeed* – für universelle Anwendung – Synchronbearbeitung – h6 Schafttoleranz</p> | 32 | GL + DL | 3,5 x D _N | ●● | ●● | | ●● | ● | | |
|  <p>Protodyn® S HSC* – für hohe Formgeschwindigkeiten – h6 Schafttoleranz – Vollhartmetall</p> | 33 | GL | 3,5 x D _N | ●● | ● | | ●● | ● | | |

* Ausführung mit Schmiernuten, gekennzeichnet durch S

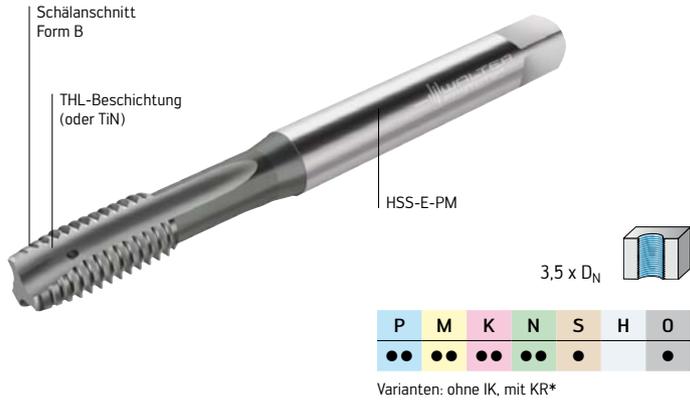
Gewindfräser

| Typenbeschreibung | Handbuchseite | Bearbeitung | Gewindetiefe | Werkstückstoffgruppe | | | | | | |
|--|---------------|--------------|--|----------------------|----------------------|------------|------------|----------------------------|------------------|--------|
| | | | | P | M | K | N | S | H | O |
| | | | | Stahl | Nichtrostender Stahl | Gussseisen | NE-Metalle | Schwerzspanbare Werkstoffe | Harte Werkstoffe | Andere |
|  <p>TMC Gewindfräser – mit Senkfase für universelle Anwendung</p> | 34 + 35 | GL + DL | 2 x D _N | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | | ● |
|  <p>TMG Gewindfräser – ohne Senkfase – für universelle Anwendung</p> | 35 | GL + DL | 1,5 x D _N 2 x D _N | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | | ● |
|  <p>TMO Orbitalgewindfräser – für kleine und tiefe Gewinde in universeller Anwendung</p> | 36 + 37 | GL + DL | 2 x D _N 3 x D _N | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | | ● |
|  <p>TMO HRC Orbitalgewindfräser – für kleine und tiefe Gewinde in harten Materialien bis 65 HRC</p> | 37 | GL + DL | 2 x D _N | ●● | | | | ● | ●● | ● |
|  <p>TMD Bohrgewindfräser – für Aluminium- und Graugussbearbeitung</p> | 38 + 39 | GL + DL | 2 x D _N | | | ●● | ●● | | | |
|  <p>TME Gewindfräser 20 – für Außengewinde</p> | - | Außengewinde | 2 x D _N | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | | ● |

GL = Grundlochsbearbeitung
DL = Durchgangslochsbearbeitung

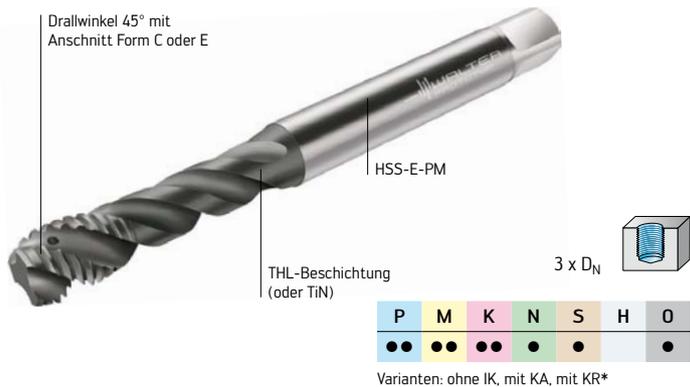
●● Hauptanwendung
● weitere Anwendung

Die High-Tech-Allrounder



Prototex® Eco HT

Typ: E2021342



Paradur® Eco Plus

Typ: EP2051312

Das Werkzeug

- universeller Hochleistungsgewindebohrer
- THL-Hartstoffbeschichtung minimiert Aufbauschneidenbildung und garantiert hohe Standzeiten

Prototex® Eco HT:

- spezieller Schälanschnitt Form B garantiert hohe Prozesssicherheit

Paradur® Eco Plus:

- reduzierte Neigung zu Ausbrüchen durch abgeschrägtes Führungsteil
- Gewinde bis annähernd zum Bohrungsgrund bei Variante mit Anschnittform E

Die Anwendung

- Einsatz in lang- und kurzspanenden Materialien ab ca. 200 N/mm² bis ca. 1300 N/mm² Zugfestigkeit
- geeignet für Synchronbearbeitung und geeignet für den Einsatz in Ausgleichsfuttern

Ihre Vorteile

- Reduzierung der Werkzeugvielfalt durch breites Einsatzgebiet
- gesteigerte Produktivität durch hohe Schnittgeschwindigkeiten und hohe Standzeiten
- spezielle Geometrie für sichere Prozesse auch in weichen Materialien
- MMS-Bearbeitung möglich

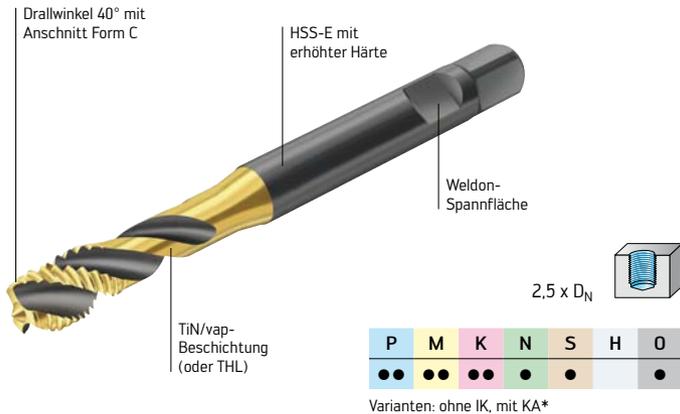
* IK = Innere Kühlmittelzufuhr
 KA = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt axial
 KR = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt radial

Verschleissfest, universell einsetzbar



Prototex® Synchrospeed

Typ: S2021305



Paradur® Synchrospeed

Typ: S2051305

Das Werkzeug

- hoher Flankenhinterschliff und kurzes Gewindeteil für höchste Schnittgeschwindigkeiten
- h6 Schafttoleranz (z.B. zur Verwendung in Schrumpffuttern)
- Schaftdurchmesser an Standard-Schrumpffutter angepasst

Besonderheiten des Paradur® Synchrospeed:

- Variante mit TiN/vap-Beschichtung: vaporisierte Spannuten für perfekte Spannbildung und optimalen Späne-transport; TiN-Beschichtung für erhöhten Verschleißwiderstand
- Innenkühlung mit axialem Austritt im Standardprogramm

Praxistipp:

Die Verwendung von Spannfittern mit Minimalausgleich (z.B. Prototex C) ist bei Synchronbearbeitung generell zu empfehlen (Vorteil: erhöhte Standzeit und gesteigerte Prozesssicherheit).

Die Anwendung

- Einsatz auf Werkzeugmaschinen mit Synchronspindel (nicht geeignet für Ausgleichsfutter oder Schneidapparate)
- universeller Einsatz in allen lang- und kurzspanenden Werkstoffen

Prototex® Synchrospeed:

- Einsatz bis ca. 1400 N/mm²

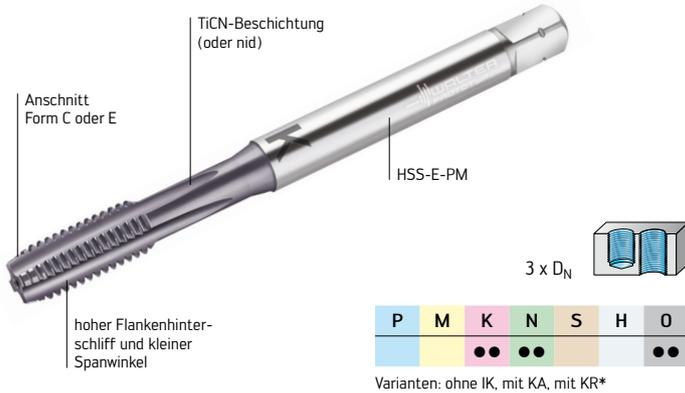
Paradur® Synchrospeed:

- Einsatz bis ca. 1300 N/mm²

Ihre Vorteile

- gesteigerte Produktivität durch hohe Schnittgeschwindigkeiten und lange Standzeiten
- reduzierte Werkzeugkosten durch universellen Einsatz in kurz- und langspanenden Werkstoffen
- ausgezeichnete Gewindeoberfläche dank sehr scharfer Schneidkanten
- Verschneiden durch Synchronbearbeitung ausgeschlossen

Höchste Geschwindigkeit bei kurzspanenden Werkstoffen



Paradur® Eco CI

Typ: E2031416

Das Werkzeug

- innovative Oberflächenbehandlung Xtra-treat für bestes Verschleißverhalten bei der Zerspaltung abrasiver, kurzspanender Werkstoffe
- erhöhte Nutenzahl reduziert Schneidbelastung und erzeugt kurze Späne
- Toleranzlage 6HX für maximale Standzeit
- Ausführungen mit axialen oder radialen Kühlmittelaustritten für optimalen Spantransport bei tiefen Grund- und Durchgangsgewinden

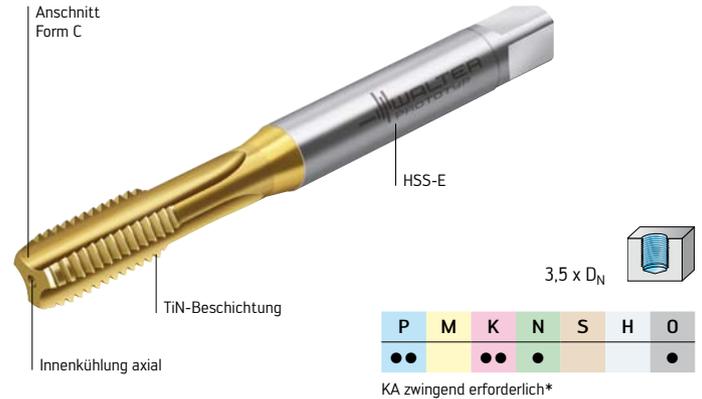
Die Anwendung

- Grund- und Durchgangsgewinde in kurzspanenden Werkstoffen
- ISO K: vorwiegend für GJL (GG) Materialien; in GJS (GGG) Materialien bis maximal 2 x D_N Gewindetiefe; vermikulares Gusseisen (wie z.B. GJV450)
- ISO N: Mg-Legierungen sowie abrasive AISI-Legierungen mit Si-Anteil > 12 %

Ihre Vorteile

- niedrigere Fertigungskosten pro Gewinde aufgrund von hohen Schnittgeschwindigkeiten und langen Standzeiten
- gleichmäßiges Verschleißverhalten und daher absolute Prozesssicherheit
- reduzierte Werkzeugkosten, da Einsatz für Grund- und Durchgangsgewinde möglich
- MMS-Bearbeitung möglich

Kurze Taktzeit, optimaler Spanbruch



Paradur® HT

Typ: 2031115

Das Werkzeug

- Schneidengeometrie erzeugt kurze Späne auch in langspanenden Materialien
- axiale Innenkühlung und gerade Nuten ermöglichen optimalen Transport der kurz gebrochenen Späne
- erhöhter Flankenhinterschliff für höhere Schnittgeschwindigkeiten
- lange Ausführungen mit verlängerten Spannuten im Standardprogramm

Die Anwendung

- Grundlochgewinde in lang- und kurzspanenden Werkstoffen
- ISO P: Stahlwerkstoffe mit 600 - 1.400 N/mm² Zugfestigkeit,
- ISO K: Grauguss (GGG)
- ISO N: AISI-Legierungen > 12 % Si-Anteil, Cu-Legierungen und Mg-Legierungen

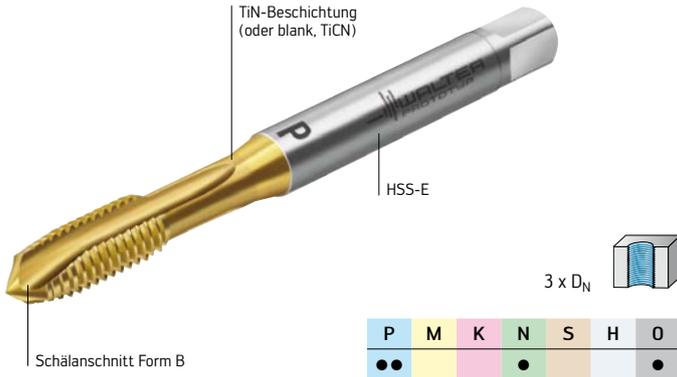
Ihre Vorteile

- höhere Schnittgeschwindigkeit und höhere Standzeit im Vergleich zu konventionellen Grundlochgewindebohrern
- keine Wirrspäne, d.h. weniger Maschinenstillstand
- höchste Prozesssicherheit auch bei tiefen Gewinden
- Standardprogramm mit großen Abmessungen

- typische Einsatzgebiete:
 - Automobilindustrie (Nockenwelle, Kurbelwelle, Pleuel)
 - große Gewindeabmessungen (Allgemeiner Maschinenbau, Getriebewellen, Gehäuse, etc.)

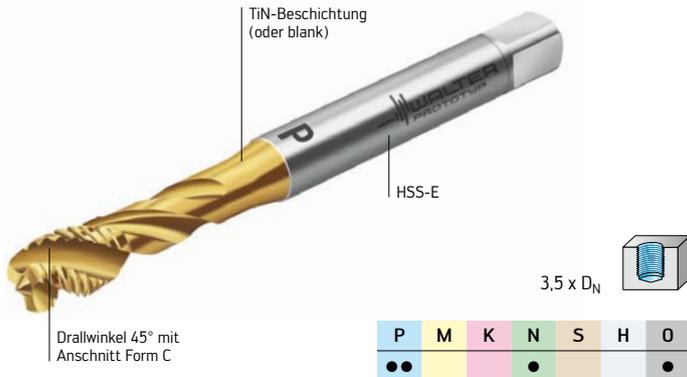
* IK = Innere Kühlmittelzufuhr
 KA = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt axial
 KR = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt radial

Großes Programm, hohe Wirtschaftlichkeit



Prototex® X-pert P

Typ: P2031005



Paradur® X-pert P

Typ: P2051905

Das Werkzeug

- geringer Flankenfreiwinkel und daher kein Verschneiden in weichen Werkstoffen

Prototex® X-pert P

- Varianten mit reduzierter Nutenanzahl im Standardprogramm

Paradur® X-pert P

- lange Spannuten für tiefe Gewinde
- abgeschrägtes Führungsteil verhindert Ausbrüche

Die Anwendung

Prototex® X-pert P

- ISO P:
 - Variante mit 3 Nuten: < 1000 N/mm² Zugfestigkeit
 - Variante mit 2 Nuten: < 700 N/mm² Zugfestigkeit (erhältlich bis Abmessung M6)
- ISO N: AlSi-Legierungen mit 0,5 bis 12 % Si-Anteil
- Ausführung mit reduzierter Nutenanzahl eignet sich aufgrund besserer Spanbildung hervorragend für weiche, langspannende Werkstoffe (optimal bei der Bearbeitung weicher Baustähle, wie z.B. St37)

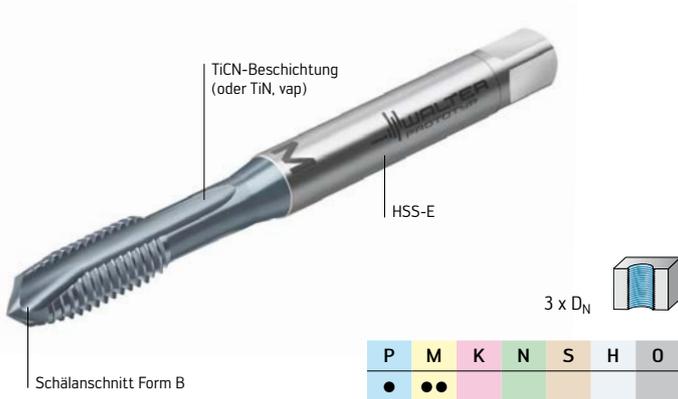
Paradur® X-pert P

- ISO P: Stahl < 1000 N/mm², vorzugsweise in langspannenden Materialien
- ISO N: AlSi-Legierungen mit 0,5 bis 12 % Si-Anteil

Ihre Vorteile

- wirtschaftlich bei kleineren und mittleren Losgrößen
- hohe Flexibilität und kurze Lieferzeiten, da umfassendes Standardprogramm (vielfältige Gewindeprofile, Abmessungen und Toleranzen auf Lager)
- Gewinde mit sehr guter Oberflächenqualität durch großen Spanwinkel

Prozesssicher in Stahl und Guss



Prototex® X-pert M

Typ: M2021306

Das Werkzeug

- höhergelegter Kern garantiert lehrenhaltige Gewinde und sorgt für sicheres Entgraten im Gewinde – wichtig vor allem bei der Bearbeitung rostfreier Werkstoffe
- erhöhter Flankenfreiwinkel für die Zerspanung von Werkstoffen, die zum Klemmen neigen

Besonderheiten des Paradur® X-pert M:

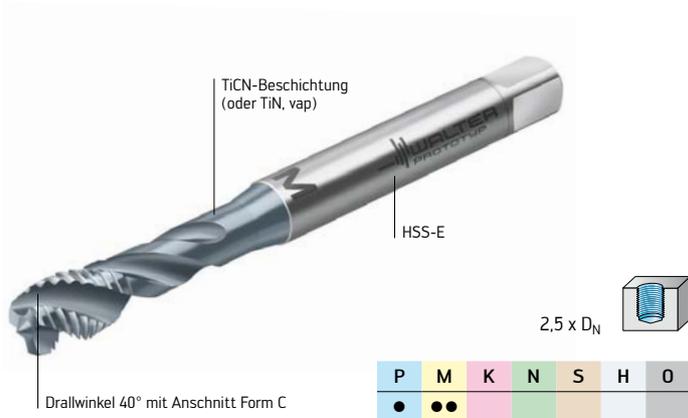
- abgeschrägtes Führungsteil zur Vermeidung von Ausbrüchen

Die Anwendung

- ISO M: rostfreie Stähle von 350 bis 1200 N/mm²
- ISO P: sehr gut geeignet für Stähle von 700 bis 1200 N/mm²

Ihre Vorteile

- hohe Prozesssicherheit in langspannenden und zum Klemmen neigenden Werkstoffen
- wirtschaftlich bei kleineren und mittleren Lösgrößen
- hohe Flexibilität und kurze Lieferzeiten, da umfassendes Standardprogramm (vielfältige Gewindeprofile, Abmessungen und Toleranzen auf Lager)
- weniger Werkzeugvielfalt da Einsatz in ISO M und ISO P Materialien



Paradur® X-pert M

Typ: M2051306

Stark in hochfestem Titan



Prototex® TiNi Plus

Typ: 2021763

Das Werkzeug

- speziell für die Bearbeitung von ISO S Materialien mit **Emulsion** konzipierte Geometrie
- sehr hoher Flankenfreiwinkel zur Reduktion von Reibung in klemmenden Materialien
- durch geringen Spanwinkel auf die Zerspanung harter Materialien abgestimmt
- verschleißfeste, titanfreie ACN-Beschichtung reduziert Aufschweißungen

Die Anwendung

- Anwendungen in der Luft- und Raumfahrttechnik sowie der Medizintechnik
- speziell für hochfeste und zum Klemmen neigende Titanlegierungen von 700 bis 1400 N/mm² Zugfestigkeit

Prototex® TiNi Plus

- auch in Nickellegierungen einsetzbar

Ihre Vorteile

- oftmals kann mit Emulsion anstelle von Öl gearbeitet werden
- hohe Prozesssicherheit durch hohe Werkzeugstabilität
- lange Standzeiten durch innovative Hartstoffbeschichtung und stabile Schneidkanten
- ausgezeichnete Gewindequalität



Paradur® Ti Plus

Typ: 2041663

Lange Standzeiten, höchste Geschwindigkeiten



Prototex® HSC

Typ: 8021006

Das Werkzeug

- spezielles Vollhartmetall mit hoher Verschleißfestigkeit und gleichzeitig hoher Zähigkeit
- längere Standzeit durch erhöhte Nutenzahl
- Schafttoleranz h6 (z.B. zur Verwendung in Schrumpffuttern)

– Die Anwendung

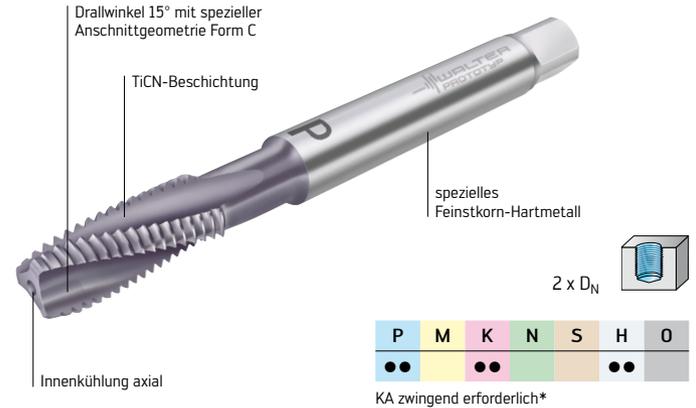
- ISO P: Stähle von ca. 700 bis 1400 N/mm² Zugfestigkeit
- ISO K: vorwiegend GJS (GGG) Werkstoffe
- Großserienfertigung mit dem Ziel minimaler Kosten pro Gewinde
- Massenfertiger mit Fokus auf Produktivitätssteigerung

Ihre Vorteile

- minimale Fertigungskosten und höchste Produktivität durch bis zu 3fach höhere Schnittgeschwindigkeit gegenüber HSS-E Gewindebohrern
- optimale Maschinenauslastung aufgrund hoher Standzeiten

Voraussetzungen:

- Innenkühlung
- stabile Einsatzbedingungen
- moderne Bearbeitungszentren oder moderne Transferanlagen
- für Hartmetallwerkzeuge wird generell Synchronbearbeitung und die Verwendung von Spannfuttern mit Minimalausgleich (z.B. Protoflex C) empfohlen (steigert Standzeit und erhöht Prozesssicherheit)



Paradur® HSC

Typ: 8041056

Das Werkzeug

- spezielle Anschnittgeometrie und Drallreduzierung für kurz gebrochene Späne auch in langspanenden Materialien
- Schafttoleranz h6 (z.B. zur Verwendung in Schrumpffuttern)

Die Anwendung

- ISO P/H: Stahlwerkstoffe ab ca. 700 N/mm² bis 55 HRC
- ISO K: Gusswerkstoffe wie z.B. GGG40, GJV450, ADI800
- Großserienfertigung mit Blick auf minimale Kosten pro Gewinde
- Massenfertiger mit Fokus auf Produktivitätssteigerung

Ihre Vorteile

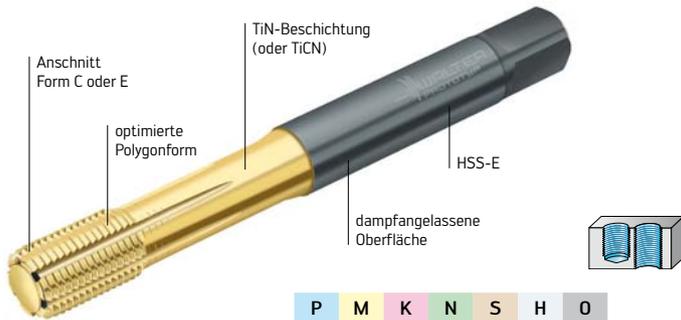
- minimale Fertigungskosten und höchste Produktivität durch bis zu 3fach höhere Schnittgeschwindigkeit gegenüber HSS-E Gewindebohrern
- weniger Werkzeugwechsel und damit optimale Maschinenauslastung aufgrund hoher Standzeiten
- hohe Prozesssicherheit durch perfekten Spanbruch

Voraussetzungen:

siehe Prototex® HSC Seite 26

* IK = Innere Kühlmittelzufuhr
 KA = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt axial
 KR = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt radial

Der High-Tech-Gewindeformer



| | P | M | K | N | S | H | O | |
|-----------------------------|----|----|---|----|---|---|---|----------------------|
| Protodyn® S Eco Plus | ●● | ●● | | ●● | ● | | | 3,5 x D _N |
| Varianten: ohne IK, mit KR* | | | | | | | | |
| Protodyn® Eco Plus | ●● | ● | | ●● | ● | | | 3 x D _N |
| Varianten: ohne IK, mit KA* | | | | | | | | |

Protodyn® S Eco Plus

Typ: EP2061745

Das Werkzeug

- neuartige TiN-Beschichtung und zusätzliche Dampfbehandlung für höchste Standzeiten ohne Kaltverschweißungen
- innovative Anschnittgeometrie sorgt für besseres Einlauf- und Verschleißverhalten
- spezielle Oberflächenbehandlung und optimierte Polygonform führen zu höheren Standzeiten durch reduzierte Reibung (wichtig für MMS)
- Ausführungen mit radialer Innenkühlung für große Gewindetiefen im Standardprogramm

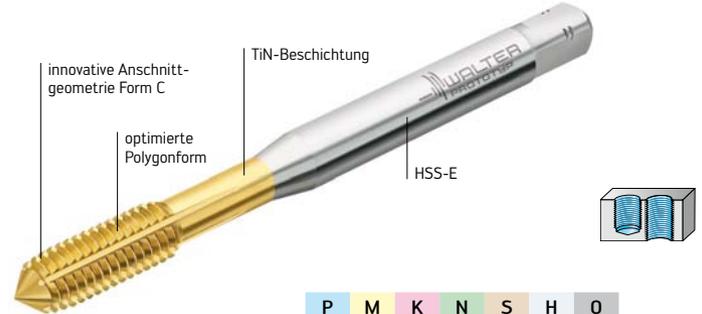
Die Anwendung

- universeller Hochleistungs-Gewindeformer zum Einsatz in allen formbaren Werkstoffen bis ca. 1200 N/mm²
- Variante mit TiCN-Beschichtung speziell für die Bearbeitung kohlenstoffhaltiger Stähle sowie abrasiver Aluminiumlegierungen

Ihre Vorteile

- weniger Werkzeugwechsel, optimale Maschinenauslastung sowie gesteigerte Produktivität durch hohe Formgeschwindigkeiten und lange Standzeiten
- reduzierte Kühlschmierstoffkosten durch Möglichkeit zur MMS-Bearbeitung
- höhere Performance im Vergleich zum Protodyn® S Plus

Geringe Werkzeugkosten, gute Performance



| | P | M | K | N | S | H | O | |
|------------------|----|----|---|----|---|---|---|----------------------|
| Protodyn® S Plus | ●● | ●● | | ●● | ● | | | 3,5 x D _N |
| Protodyn® Plus | ●● | ● | | ●● | ● | | | 3 x D _N |

Protodyn® S Plus

Typ: DP2061705

Das Werkzeug

- innovative Anschnittgeometrie für ein besseres Einlauf- und gleichmäßigeres Verschleißverhalten
- optimierte Polygonform für reduzierte Reibung und höhere Standmenge

Die Anwendung

- universeller Einsatz in allen formbaren Werkstoffen bis ca. 1200 N/mm²

Ihre Vorteile

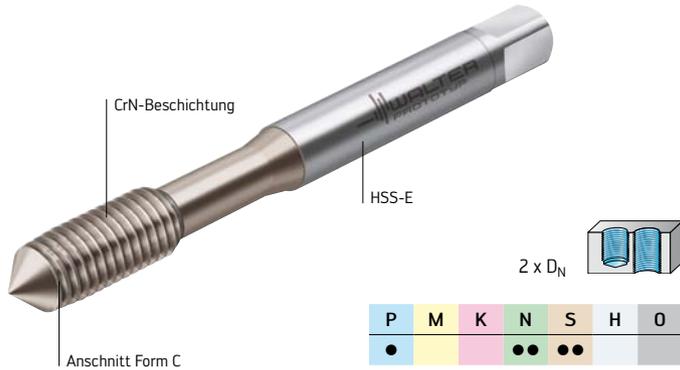
- niedrigerer Einkaufspreis (und geringere Performance) im Vergleich zum Protodyn® S Eco Plus
- Reduzierung der Werkzeugvielfalt da universeller Einsatz in breitem Werkstoffspektrum

* IK = Innere Kühlmittelzufuhr

KA = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt axial

KR = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt radial

Starke Lösung für weiche Werkstoffe



Protodyn® Eco LM

Typ: E2061604

Das Werkzeug

- titanfreie CrN-Beschichtung

Anmerkung:

Für Gewinde > 2 x D_N empfiehlt es sich, Schmiernuten in das Gewindeteil einzuschleifen, was durch Umarbeitung kurzfristig machbar ist.

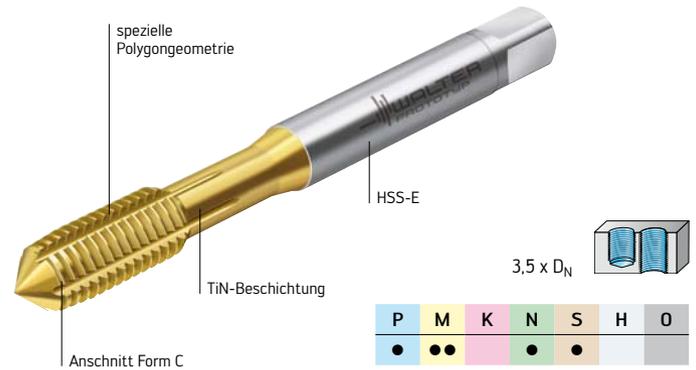
Die Anwendung

- für langspanende, weiche und zum Schmieren neigende Werkstoffe
- von ca. 200 bis 700 N/mm² Zugfestigkeit
- ISO N: AlSi-Legierungen bis 12 % Si-Anteil sowie langspanende Kupferlegierungen
- ISO S: Ti-Legierungen bis ca. 1100 N/mm² (bei Verwendung von heavy duty Öl)
- stark bei mäßig guten Schmierbedingungen, bei denen TiN oder TiCN zum Aufschweißen neigen
- geeignet für MMS

Ihre Vorteile

- gesteigerte Prozesssicherheit und höhere Standzeiten durch minimierte Aufschweißneigung
- Bearbeitung von Al-Knet- und Gusslegierungen mit **Emulsion** anstatt Öl möglich

Der Spezialist für die Rostfreibearbeitung



Protodyn® S Eco Inox

Typ: E2061305

Das Werkzeug

- spezielle Polyongeometrie ermöglicht die Bearbeitung von rostfreien Stählen mit **Emulsion**

Die Anwendung

- Bearbeitung von rostfreien Stählen mit Emulsion

Anmerkung:

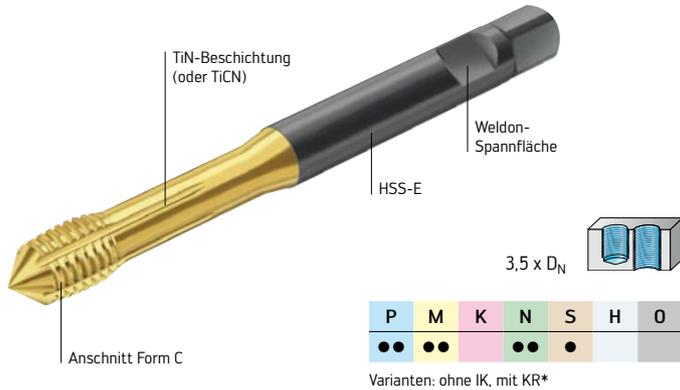
Mit herkömmlichen Gewindeformern können rostfreie Stähle nur mit Öl bearbeitet werden. BAZ werden jedoch i.d.R. mit Emulsion betrieben. Für das Gewindeformen müssten die Maschinen angehalten werden, um das Gewinde manuell mit Öl zu befüllen. Zusätzlich zur erhöhten Bearbeitungsdauer besteht dann die Gefahr, dass die Emulsion aufgrund des eingebrachten Öls kippt.

- Einsatz in allen formbaren Werkstoffen möglich, Performance ist im Vergleich zu universellen Gewindeformern allerdings geringer

Ihre Vorteile

- Reduktion der Bearbeitungszeit bei rostfreien Materialien, da kein manuelles Eingreifen in den Bearbeitungsprozess erforderlich ist
- kein Umkippen der Emulsion, da kein Eintrag von Fremddöl

Synchron stark, universell einsetzbar



Protodyn® S Synchronspeed

Typ: S2061305

Das Werkzeug

- kurzes Gewindeteil für reduzierte Reibung und hohe Formgeschwindigkeiten
- Varianten mit radialer Innenkühlung für große Gewindetiefen im Standardprogramm
- Schafttoleranz h6 (z.B. zur Verwendung in Schruppfuttern)

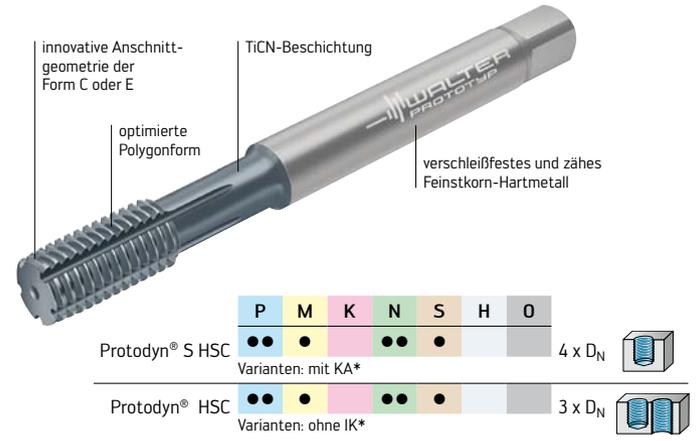
Die Anwendung

- Einsatz auf Werkzeugmaschinen mit Synchronspindel; nicht geeignet für Ausgleichsfutter oder Schneidapparate
- universeller Einsatz in nahezu allen formbaren Werkstoffen bis ca. 1200 N/mm²
- für MMS geeignet
- die Verwendung von Spannfuttern mit Minimalausgleich (z.B. Prototflex C) wird generell empfohlen (Vorteil: erhöhte Standzeit und gesteigerte Prozesssicherheit)

Ihre Vorteile

- hohe Produktivität durch hohe Formgeschwindigkeiten
- Reduzierung von Lagerhaltungskosten durch universellen Einsatz
- Verwendung von einfachen, robusten Spannfuttern ohne Ausgleichsmechanismus möglich

Lange Standzeiten, höchste Geschwindigkeiten



Protodyn® S HSC

Typ: HP8061716

Das Werkzeug

- optimierte Polygonform reduziert Reibung und erhöht Standmengen
- neuartige Ansnittgeometrie für gleichmäßigen Verschleißverlauf
- h6 Schafttoleranz (z.B. zur Verwendung in Schruppfuttern)

Protodyn® S HSC:

- Schmiernuten und axiale Kühlmittelzufuhr für tiefe Grundlochgewinde bis 4 x D_N

Die Anwendung

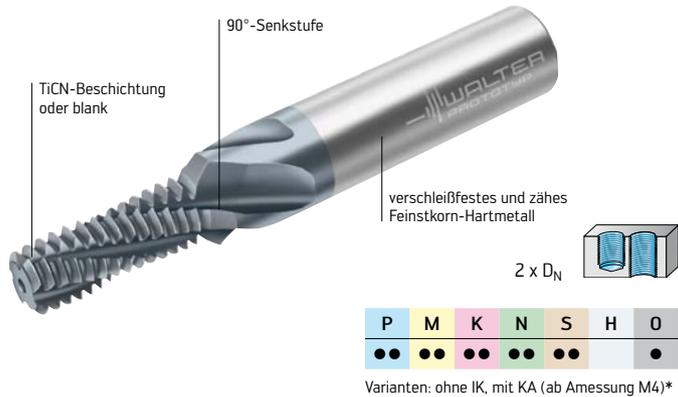
- ISO P: Stahl bis 1200 N/mm² Zugfestigkeit
- ISO M: rostfreie Materialien bis 1000 N/mm² Zugfestigkeit (vorzugsweise mit Öl)
- ISO N: AlSi-Legierungen bis 12 % Si-Anteil sowie Ni-Legierungen kleiner 900 N/mm² Zugfestigkeit

Ihre Vorteile

- höchste Produktivität durch erhöhte Formgeschwindigkeiten
- weniger Werkzeugwechsel durch sehr hohe Standzeiten
- attraktives Preis-Leistungs-Verhältnis in der Großserienfertigung
- bestmögliche Nutzung der Bohrtiefe, da spitzenloses Werkzeug

* IK = Innere Kühlmittelzufuhr
 KA = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt axial
 KR = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt radial

Universell mit Senkstufe



VHM-Gewindefräser TMC - Thread Mill Countersink

Typ: H5055016

Das Werkzeug

- Vollhartmetall-Gewindefräser mit Senkstufe
- Rundlaufgenauigkeit < 10 µm für hervorragende Gewindequalität und hohe Standzeiten

Die Anwendung

- universelle Anwendung in breitem Materialspektrum bis ca. 1500 N/mm² Zugfestigkeit bzw. 48 HRC

Ihre Vorteile

- hohe Standzeit und hohe Schnittwerte durch verbessertes Substrat
- sehr gute Laufruhe und weicher Schnitt durch optimierte Geometrie

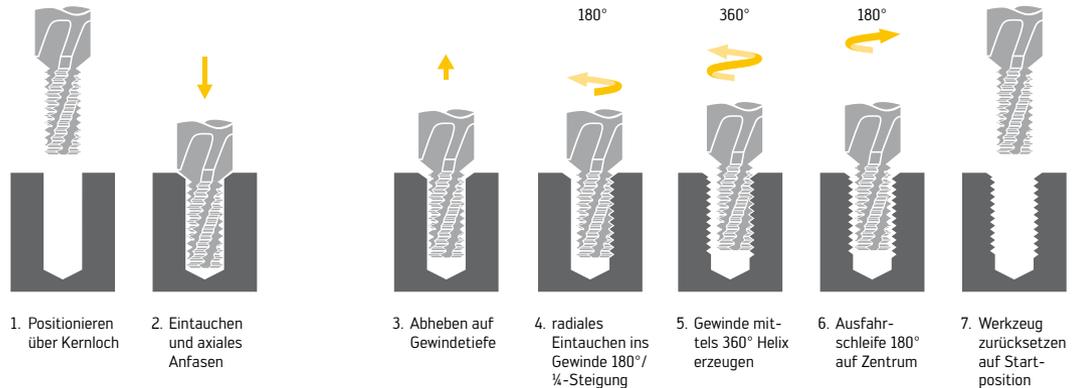


Anmerkung:

Ist keine Senkstufe erforderlich, empfiehlt sich die Verwendung von Gewindefräsern der Familie **TMG**. Deren Anwendungsgebiet deckt sich mit dem der Familie TMC. Die Gewindefräser TMC beginnen im Standardprogramm bei der Abmessung M3, die kleinste Abmessung der Familie TMG ist M6.

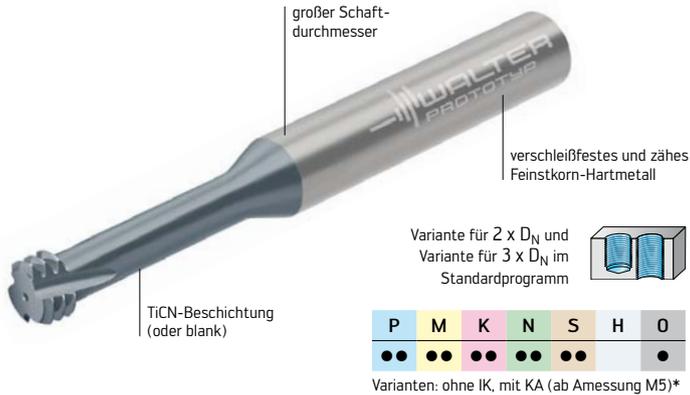
Die Strategie:

Gewindefräsen TMC



* IK = Innere Kühlmittelzufuhr
 KA = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt axial
 KR = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt radial

Höchste Prozesssicherheit bei kleinsten Gewinden



Gewindefräser TMO - Thread Mill Orbital

Typ: H5087016

Das Werkzeug

- kurzes Schneidenteil, kleiner Drallwinkel und positiver Spanwinkel für reduzierte Kräfte und weichen Schnitt
- großer Schaftdurchmesser für vibrationsfreien Einsatz auch bei großer Ausspannlänge
- stabile Grundkonstruktion mit großem Seelendurchmesser

Die Anwendung

- universeller Einsatz in breitem Werkstoffspektrum bis 1500 N/mm² Zugfestigkeit bzw. 48 HRC
- ausgezeichnete Zerspanungseigenschaften auch bei höherfesten und zum Klemmen neigenden Werkstoffen (z.B. hochfeste rostfreie Stähle und Ti-Legierungen)

Ihre Vorteile

- hohe Standzeit durch innovative Frässtrategie
- kleine und tiefe Gewinde (z.B. M1,6, 3 x D_N Tiefe) prozesssicher herstellbar
- Einsatz dort vorteilhaft, wo konventionelle Werkzeuge an ihre Grenzen stoßen:
 - Bearbeitung schwerzerspanbarer Werkstoffe wie z.B. Inconel
 - Herstellung tiefer Gewinde
 - Abhilfe, wenn bei konventionellen Gewindefräsern aufgrund konischer Gewinde (mehrfache) radiale Schnittaufteilungen notwendig wären



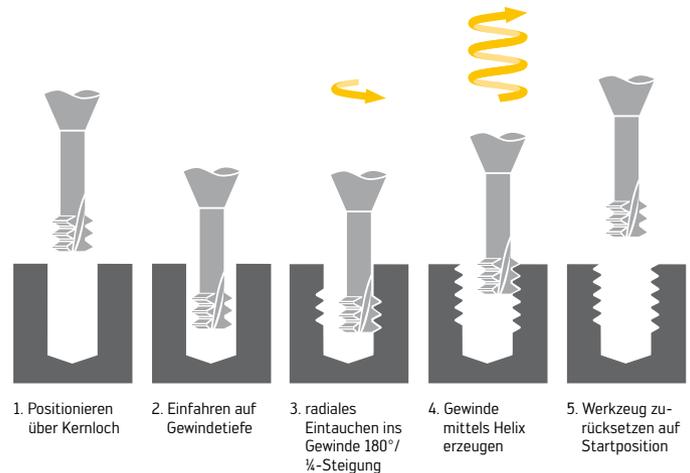
Anmerkung:

Orbitalgewindefräser sind auch in der Ausführung TMO HRC erhältlich. Diese Werkzeuge sind speziell für die Bearbeitung gehärteter und hochfester Materialien ausgelegt.

Primäres Einsatzgebiet: gehärtete Stähle bis 65 HRC, Stähle und legierte Stähle ab 1400 bis 1600 N/mm²

Die Strategie:

Orbital-Gewindefräsen TMO

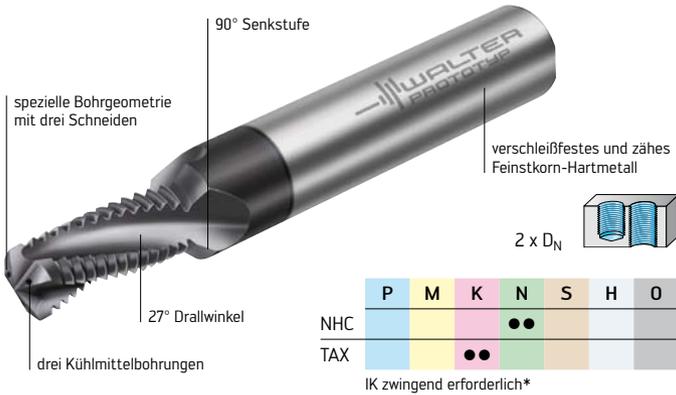


* IK = Innere Kühlmittelzufuhr

KA = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt axial

KR = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt radial

Bohren, Senken und Gewinden in einem Zug



VHM-Bohrgewindefräser TMD - Thread Mill Drill

Typ: H5075018

Das Werkzeug

- Vollhartmetall-Bohrgewindefräser
- Schneidlänge und Senkstufe abgestimmt auf $2 \times D_N$ Gewindetiefe
- TAX-Beschichtung für ISO K Materialien
- NHC-Beschichtung für ISO N Materialien

Die Anwendung

- ISO K: Gusswerkstoffe wie z.B. GG25 (GGG Materialien können nur in Ausnahmefällen bearbeitet werden. Teilweise kann die Bearbeitung dieser Materialien durch ein zweischneidiges Sonderwerkzeug ermöglicht werden.
- ISO N: Gussaluminium ab 7 % Si-Gehalt; kurzspannende Mg- und Cu-Legierungen
- direkte Bearbeitung vorgegossener Kernlöcher

Ihre Vorteile

- höhere Wirtschaftlichkeit bei weniger als 8 gleichartigen Gewinden je Bauteil im Vergleich zu konventionellen Werkzeugen**
- Produktivitätssteigerungen durch Verkürzung der Prozesszeiten um bis zu 50 %
- Einsparung von Plätzen im Werkzeugmagazin
- exakte Positionierung von Kernloch und Gewinde

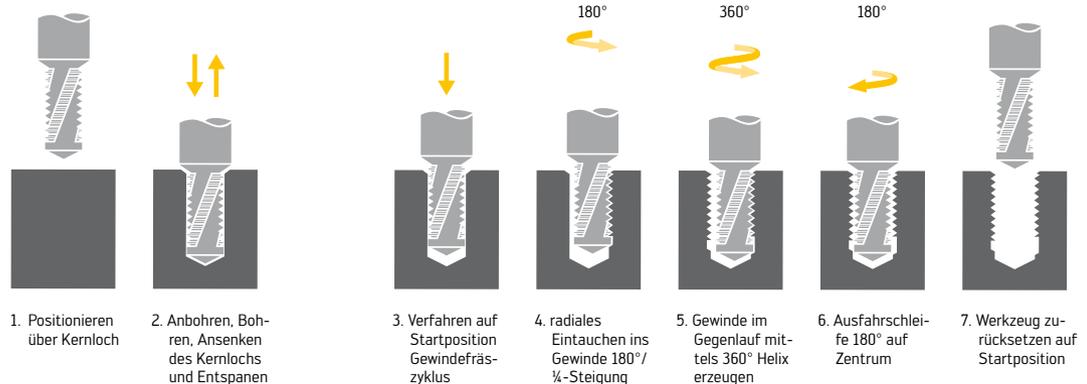
Praxistipp:

Sinnvoll ist die Verwendung des TMD auch dann, wenn ein einziges Gewinde eine andere Spezifikation aufweist als alle anderen Gewinde des Bauteils.
Beispiel: 13 Gewinde je Bauteil. 12 davon M8, 1 Gewinde M6. Anstatt Kernlochbohrer und Gewindewerkzeug zu verwenden, kann dieses Gewinde wirtschaftlicher mit dem TMD hergestellt werden.

** Vorteilhaftigkeit kann in Abhängigkeit der Span-zu-Span Zeit variieren

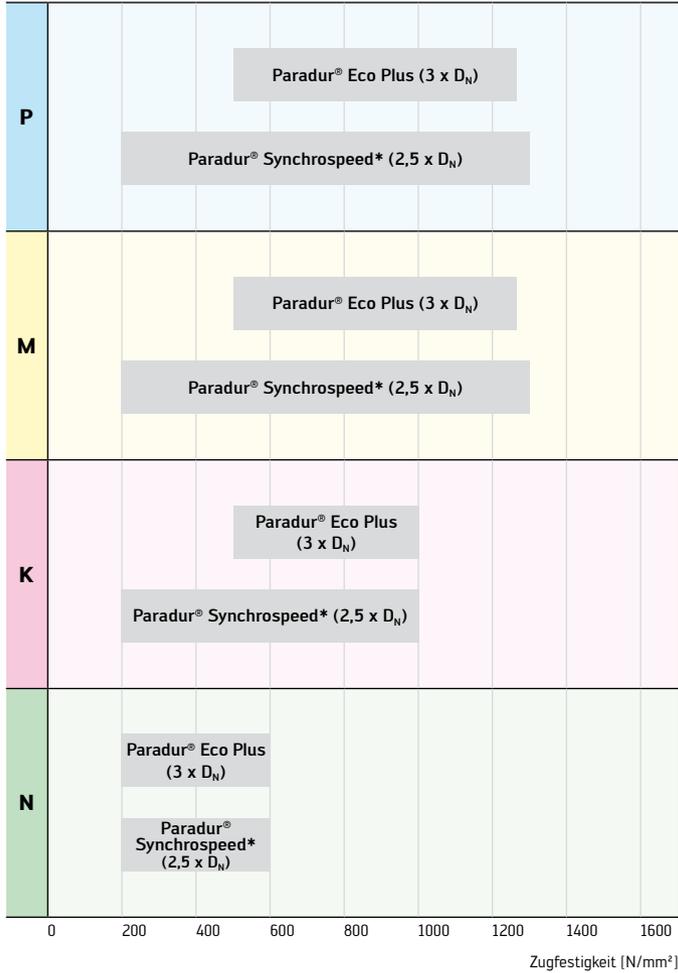
Die Strategie:

Bohrgewindefräsen TMD mit Senkstufe



* IK = Innere Kühlmittelzufuhr
KA = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt axial
KR = Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt radial

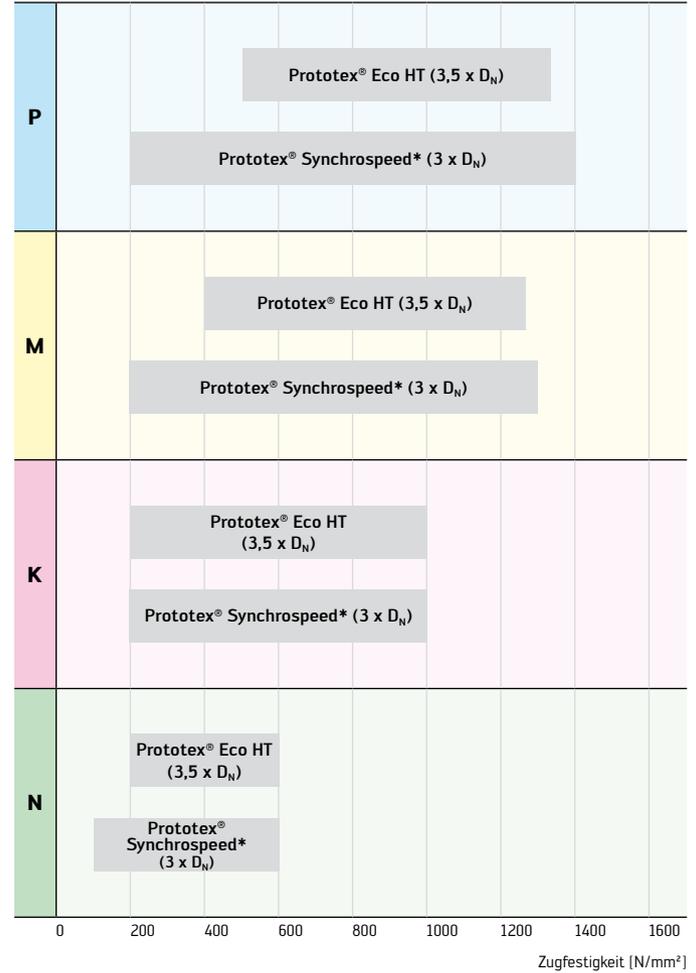
Universelle Grundlochgewindebohrer



■ Schneidstoff HSS-E oder HSS-E-PM

* nur für Synchrobearbeitung

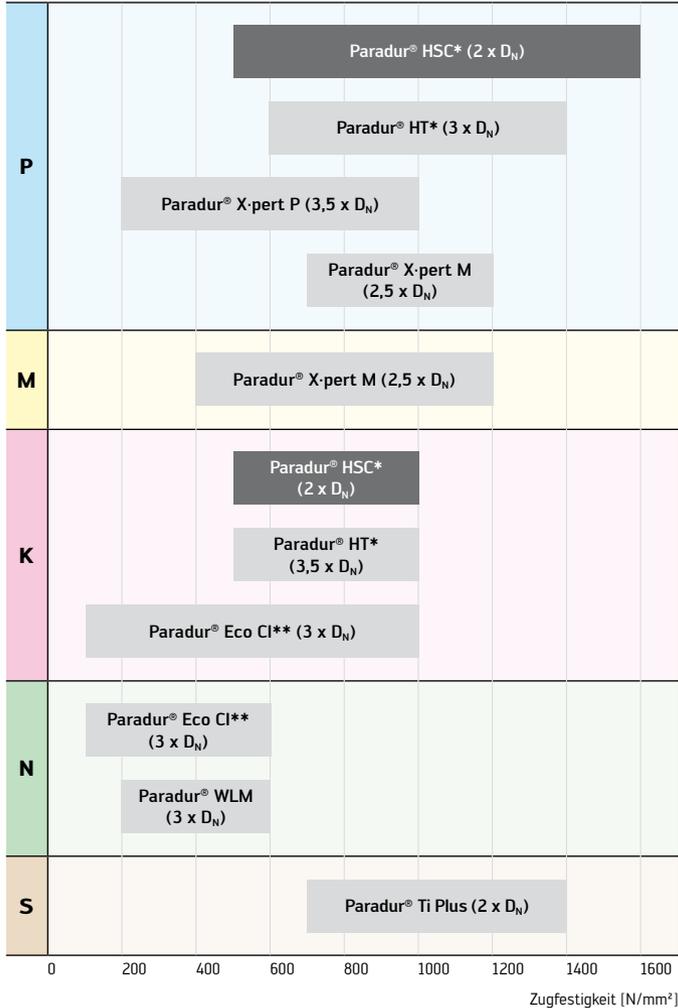
Universelle Durchgangslochgewindebohrer



■ Schneidstoff HSS-E oder HSS-E-PM

* nur für Synchrobearbeitung

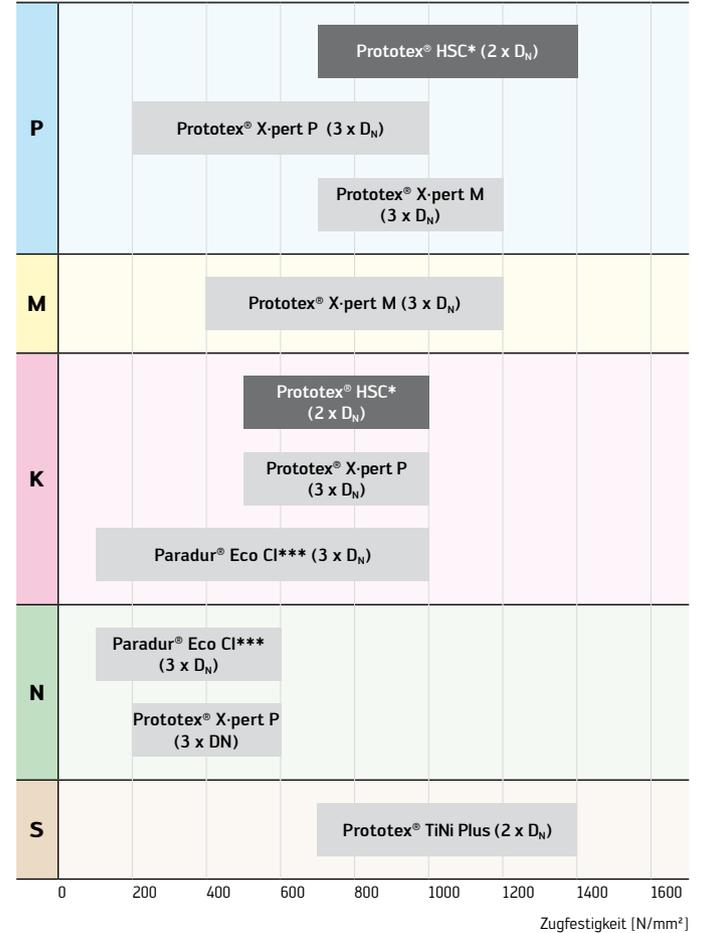
Grundlochgewindebohrer für spezielle Anwendungen



■ Schneidstoff Vollhartmetall
 ■ Schneidstoff HSS-E oder HSS-E-PM

* Innenkühlung erforderlich
 ** nur für kurzspanende Materialien; Innenkühlung empfehlenswert

Durchgangslochgewindebohrer für spezielle Anwendungen



■ Schneidstoff Vollhartmetall
 ■ Schneidstoff HSS-E oder HSS-E-PM

* Innenkühlung erforderlich
 *** nur für kurzspanende Materialien

Gewindeformer

- Hauptanwendung
- weitere Anwendung

| | | Gewindetiefe | | | 2,0 x D _N | | 3,5 x D _N | | | |
|-----------------------------|---|-----------------------------------|------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Typ | | | Protodyn® Eco LM | Protodyn® Plus | Protodyn® S Eco Plus | Protodyn® S Eco Inox | Protodyn® S Synchro-speed | Protodyn® S HSC |
| | | Produktinformationen: Seite | | | 30 | 29 | 28 | 31 | 32 | 33 |
| Werkstoffgruppe | Gliederung der Werkstoffhauptgruppen | | Brinell-Härte HB | Zugfestigkeit R _m N/mm ² |  |  |  |  |  |  |
| | Werkstückstoff | | | | | | | | | |
| P | Unlegierter und niedrig legierter Stahl | geglüht (vergütet) | 210 | 700 | ●● | ●● | ●● | ● | ●● | ● |
| | | Automatenstahl | 220 | 750 | ●● | ●● | ●● | ● | ●● | ● |
| | | vergütet | 300 | 1010 | | ●● | ●● | ● | ●● | ●● |
| | | vergütet | 380 | 1280 | | ● | ● | ● | ● | ●● |
| | | vergütet | 430 | 1480 | | | | | | |
| | Hochlegierter Stahl und hochlegierter Werkzeugstahl | geglüht | 200 | 670 | | ●● | ●● | ● | ●● | ● |
| gehärtet und angelassen | | 300 | 1010 | | ●● | ●● | ● | ●● | ●● | |
| gehärtet und angelassen | | 400 | 1360 | | | | | | | |
| Nichtrostender Stahl | ferritisch/martensitisch, geglüht | 200 | 670 | | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | |
| | martensitisch, vergütet | 330 | 1110 | | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● | |
| M | Nichtrostender Stahl | austenitisch, Duplex | 230 | 780 | | ●● | ●● | ●● | ●● | ●● |
| | | austenitisch, ausgehärtet (PH) | 300 | 1010 | | ● | ● | ● | ● | ● |
| K | Grauguss | | 245 | - | | | | | | |
| | Gusseisen mit Kugelgraphit | ferritisch, perlitisch | 365 | - | | | | | | |
| | GGV (CGI) | | 200 | - | | | | | | |
| N | Aluminium-Knetlegierungen | nicht aushärtbar | 30 | - | ●● | ●● | ●● | ● | ●● | ●● |
| | | aushärtbar, ausgehärtet | 100 | 340 | ●● | ●● | ●● | ● | ●● | ●● |
| | Aluminium-Gusslegierungen | ≤ 12 % Si | 90 | 310 | ●● | ●● | ●● | ● | ●● | ●● |
| | | > 12 % Si | 130 | 450 | | | | | | |
| | Magnesiumlegierungen | | 70 | 250 | | | | | | |
| | Kupfer und Kupferlegierungen (Bronze/Messing) | unlegiert, Elektrolytkupfer | 100 | 340 | ●● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Messing, Bronze, Rotguss | | 90 | 310 | | | | | | | |
| Cu-Legierungen, kurzspanend | | 110 | 380 | | | | | | | |
| hochfest, Ampco | | 300 | 1010 | | | | | | | |
| S | Warmfeste Legierungen | Fe-Basis | 280 | 940 | | | | | | |
| | | Ni- oder Co- Basis | 250 | 840 | | ●● | ●● | ● | ●● | ●● |
| | | Ni- oder Co- Basis | 350 | 1080 | | | | | | |
| | Titanlegierungen | Reintitan | 200 | 670 | ●● | | | | | |
| | | α- und β-Legierungen, ausgehärtet | 375 | 1260 | ●● | | | | | |
| | | β-Legierungen | 410 | 1400 | ●● | | | | | |
| | Wolframlegierungen | | 300 | 1010 | | | | | | |
| Molybdänlegierungen | | 300 | 1010 | | | | | | | |

Gewindefräser

- Hauptanwendung
- weitere Anwendung

| | | | | | |
|-----------------------------|--|----------------------|---------|-----|--|
| Gewindetiefe | 1,5 x D _N 2,0 x D _N | 2,0 x D _N | | | 2,0 x D _N 3,0 x D _N |
| Typ | TMG | TMC | TMO HRC | TMD | TMO |
| Produktinformationen: Seite | 35 | 34 | 37 | 38 | 36 |

| Werkstoffgruppe | Gliederung der Werkstoffhauptgruppen | | Brinell-Härte HB | Zugfestigkeit R _m N/mm ² |  |  |  |  |  |
|---|---|-----------------------------------|------------------|---|---|---|---|---|---|
| | Werkstückstoff | | | | | | | | |
| P | Unlegierter und niedrig legierter Stahl | geglüht (vergütet) | 210 | 700 | ●● | ●● | | | ●● |
| | | Automatenstahl | 220 | 750 | ●● | ●● | | | ●● |
| | | vergütet | 300 | 1010 | ●● | ●● | | | ●● |
| | | vergütet | 380 | 1280 | ●● | ●● | | | ●● |
| | | vergütet | 430 | 1480 | ●● | ●● | ●● | | ●● |
| Hochlegierter Stahl und hochlegierter Werkzeugstahl | geglüht | 200 | 670 | ●● | ●● | | | ●● | |
| | gehärtet und angelassen | 300 | 1010 | ●● | ●● | | | ●● | |
| | gehärtet und angelassen | 400 | 1360 | ●● | ●● | ●● | | ●● | |
| Nichtrostender Stahl | ferritisch/martensitisch, geglüht | 200 | 670 | ●● | ●● | | | ●● | |
| | martensitisch, vergütet | 330 | 1110 | ●● | ●● | ● | | ●● | |
| M | Nichtrostender Stahl | austenitisch, Duplex | 230 | 780 | ●● | ●● | | | ●● |
| | | austenitisch, ausgehärtet (PH) | 300 | 1010 | ●● | ●● | | | ●● |
| K | Grauguss | ferritisch, perlitisch | 245 | - | ●● | ●● | | ●● | ●● |
| | | Gusseisen mit Kugelgraphit | 365 | - | ●● | ●● | | ●● | ●● |
| | | GGV (CGI) | 200 | - | ●● | ●● | | ●● | ●● |
| N | Aluminium-Knetlegierungen | nicht aushärtbar | 30 | - | ●● | ●● | | ●● | ●● |
| | | aushärtbar, ausgehärtet | 100 | 340 | ●● | ●● | | ●● | ●● |
| | Aluminium-Gusslegierungen | ≤ 12 % Si | 90 | 310 | ●● | ●● | | ●● | ●● |
| | | > 12 % Si | 130 | 450 | ●● | ●● | | ●● | ●● |
| | Magnesiumlegierungen | | 70 | 250 | ●● | ●● | | ●● | ●● |
| | Kupfer und Kupferlegierungen (Bronze/Messing) | unlegiert, Elektrolytkupfer | 100 | 340 | ●● | ●● | | ●● | ●● |
| | | Messing, Bronze, Rotguss | 90 | 310 | ●● | ●● | | ●● | ●● |
| Cu-Legierungen, kurzspanend | | 110 | 380 | ●● | ●● | | ●● | ●● | |
| | hochfest, Ampco | 300 | 1010 | ●● | ●● | | ●● | ●● | |
| S | Warmfeste Legierungen | Fe-Basis | 280 | 940 | ●● | ●● | | | ●● |
| | | Ni- oder Co- Basis | 250 | 840 | ●● | ●● | | | ●● |
| | | Ni- oder Co- Basis | 350 | 1080 | ●● | ●● | | | ●● |
| | Titanlegierungen | Reintitan | 200 | 670 | ●● | ●● | | | ●● |
| | | α- und β-Legierungen, ausgehärtet | 375 | 1260 | ●● | ●● | | | ●● |
| | | β-Legierungen | 410 | 1400 | ●● | ●● | | | ●● |
| Wolframlegierungen | | 300 | 1010 | ●● | ●● | ● | | ●● | |
| Molybdänlegierungen | | 300 | 1010 | ●● | ●● | ● | | ●● | |
| H | Gehärteter Stahl | | 50 HRC | - | | | ●● | | |
| | | | 55 HRC | - | | | ●● | | |
| | | | 60 HRC | - | | | ●● | | |

Vergleich der Verfahren zur Gewindeherstellung

| | Vorteile | | Nachteile | |
|---------------|--|--|---|---|
| Gewindebohren | <ul style="list-style-type: none"> – keine besonderen Anforderungen an die Maschine | <ul style="list-style-type: none"> – fast alle zerspanbaren Werkstoffe können bearbeitet werden | <ul style="list-style-type: none"> – Spanabfuhr stellt häufig eine Herausforderung dar und bedingt die Werkzeugvielfalt sowie spezielle Modifikationen (vor allem bei tiefen Grundlochgewinden in langspannenden Materialien) – reduzierte Werkzeugstabilität durch Spannuten; Bruchgefahr steigt | <ul style="list-style-type: none"> – Gefahr von Ausschuss bei Werkzeugbruch – Prozess kann sensibel auf chargenbedingte Veränderungen der Eigenschaften des Werkstückmaterials reagieren – erhöhte Gefahr von Maschinenstillstand wegen Spänewicklern |
| Gewindeformen | <ul style="list-style-type: none"> – hohe Prozesssicherheit <ul style="list-style-type: none"> • keine Späne und daher keine Probleme bei der Spanabfuhr: auch tiefe Gewinde sind somit prozesssicher herstellbar • geringe Bruchgefahr durch stabile Werkzeuge – hohe Gewindequalität <ul style="list-style-type: none"> • höhere statische und dynamische Festigkeit des Gewindes aufgrund von Kaltverfestigung • sehr gute Gewindeoberfläche mit geringer Rauhtiefe | <ul style="list-style-type: none"> – höhere Standzeit im Vergleich zum Gewindebohren – Werkzeuge können sehr universell eingesetzt werden – GL- und DL-Gewinde mit einem Werkzeug | <ul style="list-style-type: none"> – Gefahr von Ausschuss bei Werkzeugbruch – Einsatzgebiet begrenzt durch Bruchdehnung, Zugfestigkeit und Gewindesteigung | <ul style="list-style-type: none"> – engere Toleranz des Kernloches erhöht die Fertigungskosten; Wirtschaftlichkeitsvergleich mit dem Gewindebohren unbedingt erforderlich – nicht zugelassen in der Nahrungsmittelindustrie, in der Medizintechnik und in der Luftfahrtindustrie |
| Gewindefräsen | <ul style="list-style-type: none"> – hohe Flexibilität <ul style="list-style-type: none"> • universeller Einsatz der Werkzeuge in den verschiedensten Materialien • ein Werkzeug für Grund- und Durchgangsgewinde • unterschiedliche Gewindeabmessungen (bei gleicher Steigung) mit einem Werkzeug herstellbar • beliebige Toleranzlagen mit einem Werkzeug herstellbar • ein- und mehrgängige Gewinde sowie Rechts- und Linksgewinde mit einem Werkzeug herstellbar | <ul style="list-style-type: none"> – hohe Prozesssicherheit <ul style="list-style-type: none"> • keine Gefahr von Spänewicklern • kein Ausschuss bei Werkzeugbruch • niedriges Drehmoment auch bei großen Abmessungen • schräge Ein- und Ausläufe sind unproblematisch • Bearbeitung dünnwandiger Bauteile dank geringer Schnittdrücke möglich – geringe Spindelbelastung durch gleichmäßigen Bewegungsablauf – sehr gute Gewindeoberfläche | <ul style="list-style-type: none"> – hohe Werkzeugkosten im Vergleich zu HSS-E Gewindebohrern und -formen – 3D-CNC-Maschine absolut erforderlich – aufwendigere Programmierung | <ul style="list-style-type: none"> – in der Massenfertigung ist das Gewindefräsen dem Gewindebohren und -formen in Bezug auf Wirtschaftlichkeit oft unterlegen |

| | Prozesssicherheit | Bearbeitungsgeschwindigkeit | Universalität/Flexibilität | Standmenge | Werkzeugkosten | Gewindetiefe | typische Losgrößen |
|---------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|------------|----------------|--------------|----------------------|
| Gewindebohren | - | + | - | - | - | + | gering bis sehr hoch |
| Gewindeformen | + | + | + | ++ | + | ++ | gering bis sehr hoch |
| Gewindefräsen | ++ | - | ++ | + | + | - | gering bis mittel |

– Referenz
 + höher als Referenz
 ++ deutlich höher als Referenz

Toleranzlagen von Gewindebohrern und -formern

Die Toleranzlage des hergestellten Innengewindes hängt nicht nur von den Werkzeugmaßen ab, sondern auch vom Werkstoff und den Bearbeitungsbedingungen. In manchen Fällen ist es vorteilhaft, von der Norm abweichende Abmaße zu wählen. Diese Tolerierung wird durch ein der Toleranzklasse nachgestelltes X kenntlich gemacht (z.B. 6HX anstatt 6H). Es gilt zu beachten, dass sich diese X-Lagen von Hersteller zu Hersteller unterscheiden, da sie ausschließlich auf Werksnormen basieren.

Gewindebohrer, welche für zähe Werkstoffe konzipiert sind, werden bei Walter Prototyp in X-Lage gefertigt, um den rückfedernden Eigenschaften der Werkstoffe entgegenzuwirken. Bei Walter Prototyp bedeutet dies für Gewindebohrer die Anhebung der Abmaße um eine halbe Toleranzlage. Die für rostfreie Stähle konzipierte Produktfamilie X-pert M ist daher in X-Lage ausgeführt. Gewindebohrer für hochfeste Titan- und Nickellegierungen sind aus demselben Grund in X-Lage bemessen.

Werden abrasive Werkstoffe wie z.B. Grauguss bearbeitet und stellt Verschleiden kein Problem dar, ist es ebenfalls sinnvoll, die Werkzeuge in X-Lage zu fertigen. Aufgrund der Tolerierung in X-Lage wird die Standzeit erhöht – denn es dauert länger, bis das Werkzeug so stark verschlissen ist, dass sich die Gutseite der Gewindelehre nicht mehr eindrehen lässt. Aus diesem Grund wird beispielsweise der Gewindebohrer Paradur® Eco Cl in eben dieser Toleranzlage produziert.

Gewindeformer werden ausschließlich in X-Lage hergestellt, da das Material beim Gewindeformen stärker zurückfedert als beim Gewindeformen. Die X-Lagen für Gewindeformer unterscheiden sich zwar von denen für Gewindebohrer, dies hat jedoch keinen Einfluss auf die Toleranz des herzustellenden Muttergewindes – wie aus unten stehender Tabelle hervorgeht.

Die Toleranzklasse des Werkzeugs (z.B. 4H) entspricht dem Toleranzfeld des Muttergewindes, für welches das Werkzeug ausgelegt ist. Dass mit diesen Werkzeugen aber auch andere Toleranzfelder erzeugt werden können, ist in unten stehender Tabelle dargestellt.

Nachträglich auf dem Muttergewinde aufgetragene Beschichtungen müssen beim Gewindebohrer mit einem Aufmaß ausgeglichen werden. Dieses Aufmaß lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$A = T \times f \text{ mit } f = \frac{2}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

A stellt das zu ermittelnde Aufmaß dar, T die Schichtdicke der nachträglich aufgetragenen Beschichtung und α gibt den Flankenwinkel an.

Beispiel:

Metrisches Gewinde, galvanischer Überzug der Dicke 25 μ m

Mit dem Flankenwinkel von 60° ergibt sich:

$$f = \frac{2}{\sin \frac{60^\circ}{2}} = \frac{2}{0,5} = 4$$

daraus folgt

$$A = 0,025 \text{ mm} \times 4 = 0,1 \text{ mm}$$

Soll eine normale Schraubverbindung erzielt werden, muss also ein Werkzeug der Toleranzklasse 6H + 0,1 gewählt werden.

Anmerkung:

Beim Gewindefräsen können mit einem Werkzeug beliebige Toleranzlagen erzeugt werden, da die Toleranzlagen über die Programmierung festgelegt werden.

| Toleranzklasse Werkzeug | | herstellbares Toleranzfeld des Muttergewindes | | herstellbares Toleranzfeld des Muttergewindes | | | technische Anwendung |
|-----------------------------------|---|---|----|---|----|----|---|
| DIN Bezeichnung für Gewindebohrer | Werksnorm für Gewindebohrer und Gewindeformer | | | | | | |
| IS01/4H | 4HX | 4H | 5H | – | – | – | Schraubverbindung mit wenig Spiel |
| IS02/6H | 6HX | 4G | 5G | 6H | – | – | normale Schraubverbindung |
| IS03/6G | 6GX | – | – | 6G | 7H | 8H | Schraubverbindung mit viel Spiel |
| 7G | 7GX | – | – | – | 7G | 8G | vorbeugend gegen Verzug bei Wärmebehandlung |

Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen

| | blank | vap | nid (nit + vap) | TiN | TiCN | THL |
|------------------------|---|--|---|--|--|---|
| primäre Einsatzgebiete | <ul style="list-style-type: none"> – sehr tiefe Grundlöcher in weichen Stählen – Verwendung bei Problemen mit Spanabfuhr | <ul style="list-style-type: none"> – vor allem für rostfreie Materialien – in weichen, zähen und zum Aufschweißen neigenden Werkstoffen – für sehr tiefe Grundlochgewinde | <ul style="list-style-type: none"> – DL: Stahl bis 1200 N/mm², Guss- und Al-Bearbeitung; – GL: nur kurzspanende Werkstoffe (GG, AlSi-Leg. > 7 % Si, C70); Stähle mit hohem Perlitgehalt; – nicht für rostfreie, zum Klemmen neigende Materialien | <ul style="list-style-type: none"> – niedriglegierte Stähle – rostfreie Materialien – für Ni-Legierungen geeignet | <ul style="list-style-type: none"> – legierte und unlegierte Stähle – abrasive Materialien wie Grauguss, AlSi- (> 5 % Si), Cu-Bronze-Leg. – universelle Schicht für GFR bis 48 HRC – für Ni-Leg. geeignet | <ul style="list-style-type: none"> – Stähle allgemein und v.a. rostfreie Stähle – tiefe Grundlöcher – MMS-Bearbeitung – GJS (GGG) |
| Merkmale | <ul style="list-style-type: none"> – geringere v_c/Standmenge im Vergleich zu beschichteten Wkz – eng gerollte Späne | <ul style="list-style-type: none"> – verbessert Kühlschmiermittel-Haftung und reduziert damit Aufschweißungen – geringere v_c/Standmenge gegenüber beschichteten Werkzeugen – verbesserte Spanabfuhr | <ul style="list-style-type: none"> – höhere Standzeit durch erhöhte Oberflächenhärte – steigende Sprödigkeit – nidamiert bedeutet nitriert und vaporisiert | <ul style="list-style-type: none"> – universelle Schicht – für viele Werkstoffe geeignet – nicht für Ti-Legierungen | <ul style="list-style-type: none"> – verschleißresistent gegenüber abrasiven Werkstoffen – gut geeignet für VHM-Werkzeuge – nicht für Ti-Leg. | <ul style="list-style-type: none"> – bessere Spanbildung als TiN und TiCN – Neigung zu Aufschweißungen in manganhaltigen Werkstoffen |
| Optik |  |  |  |  |  |  |

| | CrN | NHC | DLC | ACN | TAX | Diamant |
|------------------------|--|---|--|--|---|---|
| primäre Einsatzgebiete | <ul style="list-style-type: none"> – Gewindebohren von Al- und Cu-Leg. – Gewindeformen von Ti-Leg. – Bearbeitung von schmierenden Stählen | <ul style="list-style-type: none"> – NE-Metalle (Cu-, Messing-, Bronze-, Ti-Legierungen) – AlSi-Leg. mit bis zu 12 % Si-Anteil | <ul style="list-style-type: none"> – zum Schmieren neigende Al-Legierungen | <ul style="list-style-type: none"> – Ti-Legierungen – Ni-Legierungen | <ul style="list-style-type: none"> – universelle Anwendung beim Gewindefräsen – auch für gehärtete Stähle und HSC-Bearbeitung | <ul style="list-style-type: none"> – abrasive Materialien wie AlSi-Leg. > 12 % Anteil |
| Merkmale | <ul style="list-style-type: none"> – reduziert Aufschweißungen | <ul style="list-style-type: none"> – reduziert Aufbauschneidenbildung – resistent gegen abrasiven Verschleiß – scharfe Schneidkanten möglich, da dünne Schicht | <ul style="list-style-type: none"> – teilweise erhebliche Standzeitverlängerungen möglich | <ul style="list-style-type: none"> – keine Affinität zu Titanlegierungen, da titanfreie Schicht | <ul style="list-style-type: none"> – hohe Temperaturbeständigkeit – universelle Schicht | <ul style="list-style-type: none"> – resistent gegen abrasiven Verschleiß |
| Optik |  |  |  |  |  |  |

Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen

| | Zugfestigkeit gering bis mittel | | | | | | | | Zugfestigkeit mittel bis hoch | | Zugfestigkeit gering bis hoch | | | Zugfestigkeit gering bis sehr hoch |
|-----------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|---|-----|---------|-------------------------------|-----|-------------------------------|-----|------|------------------------------------|
| | P | M | K | N | S | H | | | | | | | | |
| Material | X | X | X | | | | | | X | | X | X | X | X |
| | | X | X | | | | | | X | | X | X | | X |
| | | X | X | | | | | | X | | X | X | X | X |
| | X | X | X | X | X | | X | X | | | X | | | |
| | | | | X | | | | | | X | | | | |
| | | | | | | | | | | | X | | | X |
| Oberflächenbehandlung | blank | vap | TiN | CrN | NHC | | DLC | Diamant | nid | ACN | TiCN | THL | TAFT | TAX |
| Gewindebohren | X | X | X | X | | | X | | X | X | X | X | X | |
| Gewindeformen | | | X | X | | | X | | | | X | | | |
| Gewindefräsen | | | | | X | | X | X | | X | X | | | X |
| Bohrgewindefräsen | | | | | X | | | | | | | | | X |

Beschichtungsauswahl Gewindeformen

| Werkstoff | TiN | TiCN |
|-----------------------------------|-----|------|
| Magnetweicheisen | ●● | ● |
| Baustahl | ●● | ● |
| Kohlenstoffstahl | ● | ●● |
| Stahl legiert | ●● | ● |
| Stahl vergütet | ●● | ● |
| rostfreier Stahl | ● | ●● |
| austenitisch | ● | ●● |
| ferritisch, martensitisch, duplex | ● | ●● |
| hochwarmfest | ● | ●● |
| Al/Mg unlegiert | ●● | ● |
| Al, legiert Si < 0,5 % | ● | ●● |
| Al, legiert Si < 0,5 % ... 10% | ● | ●● |
| Al, legiert Si > 10 % | ● | ●● |

●● Empfehlung ● mögliche Anwendung

Kühlung und Schmierung

Üblicherweise spricht man in diesem Zusammenhang von „Kühlmittel“, obwohl beim Gewindeschneiden und insbesondere beim Gewindeformen die Schmierung von größerer Bedeutung ist als die Kühlung. Man unterscheidet zwischen folgenden Methoden der Kühlmittelzufuhr:

- äußere Kühlmittelzufuhr
- äußere Kühlmittelzufuhr über achsparallele Austritte am Futter
- „innere“ Kühlmittelzufuhr über Nuten am Schaft
- Innere Kühlmittelzufuhr (= IK) mit Kühlmittelaustritt axial (= KA)
- Innere Kühlmittelzufuhr mit Kühlmittelaustritt radial (= KR)

Die äußere Kühlmittelzufuhr ist die am weitesten verbreitete Methode und funktioniert in den meisten Fällen. Bei vertikaler Bearbeitung von Grundloch-Gewinden füllt sich die Kernloch-Bohrung mit Kühlmittel (außer bei sehr kleinen Bohrdurchmessern), was vorteilhaft für die Gewindebearbeitung ist.

Bei Durchgangsgewinden kann sich das Kernloch zwar nicht füllen, da die Späne beim Gewindebohren aber in Vorschubrichtung gefördert werden und beim Gewindeformen keine Späne entstehen, kann das Kühlmittel auch bei tieferen Gewinden bis zum Anschnitt vordringen. Der Kühlmittelstrahl sollte möglichst parallel zur Werkzeugachse eingestellt sein.

Problematisch wird die äußere Zufuhr bei der Bearbeitung tiefer Gewinde mit horizontaler Spindelstellung. Das Kühlmittel kann in diesem Fall nicht immer bis zur Schneide vordringen. Beim Grundloch-gewindebohren erschweren die ablaufenden Späne zusätzlich die Kühlmittel-zufuhr.

Die achsparallele Zufuhr über Kühlnuten am Schaft bringt erhebliche Vorteile, weil das Kühlmittel unabhängig von der Werkzeuglänge immer zuverlässig an der Schneide ankommt. Zu beachten ist lediglich, dass mit zunehmender Drehzahl das Kühlmittel radial weggeschleudert wird, wenn der Kühlmitteldruck zu niedrig ist.

Die innere Kühlmittelzufuhr stellt sicher, dass das Kühlmittel zu jedem Zeitpunkt an die Schneide herangeführt wird. Somit ist eine optimale Kühlung und Schmierung der Schneide stets gewährleistet. Darüber hinaus wird ggf. der Spänetransport unterstützt.

| Werkstoffgruppe | Werkstoff | Gewindeschneiden | Gewindeformen | Gewindefräsen |
|-----------------|--|--|--|-----------------------|
| P | Stahl | Emulsion 5 % | Emulsion 5–10 % | Emulsion/MMS/Blasluft |
| | Stahl 850–1200 N/mm ² | Emulsion 5–10 % | Emulsion 10 % oder Öl (Protofluid) | Emulsion/MMS/Blasluft |
| | Stahl 1200–1400 N/mm ² | Emulsion 10 % oder Öl (Protofluid) | Emulsion 10 % oder Öl (Protofluid oder Hardcut 525) | Emulsion/MMS/Blasluft |
| | Stahl 1400–1600 N/mm ² entspricht 44–49 HRC | Öl (Protofluid oder Hardcut 525) | Formen ist in der Regel nicht möglich | Emulsion/MMS/Blasluft |
| M | Rostfreier Stahl | Emulsion 5–10 % oder Öl (Protofluid) | Öl (Protofluid) [Emulsion 5–10 % nur mit speziellen Werkzeugen möglich (Protodyn® S Eco Plus)] | Emulsion |
| K | Grauguss GG | Emulsion 5 % | Formen ist nicht möglich | Emulsion/MMS/Blasluft |
| | Kugelgraphitguss GGG | Emulsion 5 % | Emulsion 10 % | Emulsion/MMS/Blasluft |
| N | Aluminium bis max. 12 % Si | Emulsion 5–10 % | Emulsion 5–15 % | Emulsion/MMS/Blasluft |
| | Aluminium über 12 % Si | Emulsion 5–10 % | Emulsion 5–10 % Formen nur in Ausnahmefällen sinnvoll | Emulsion/MMS/Blasluft |
| | Magnesium | Öl (Protofluid) | Formen bei Raumtemperatur ist nicht möglich | Trocken |
| | Kupfer | Emulsion 5–10 % | Emulsion 5–10 % | Emulsion/MMS/Blasluft |
| S | Titanlegierungen | Emulsion 10 % oder Öl (Protofluid oder Hardcut 525) | Öl (Hardcut 525) | Emulsion |
| | Nickellegierungen | Emulsion 10 % oder Öl (Protofluid oder Hardcut 525) | Öl (Protofluid oder Hardcut 525) | Emulsion |
| H | Stahl > 49 HRC | Öl (Hardcut 525) nur mit Hartmetall-Werkzeugen möglich | Formen ist nicht möglich | Trocken/MMS |
| O | Kunststoffe | Emulsion 5 % | Formen ergibt keine maßhaltigen Gewinde | Emulsion/MMS |

Kühlung und Schmierung – Gewindebohren

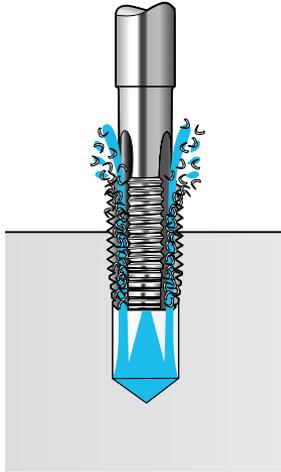
Beim **Grundlochgewindebohren** gilt es zwei Fälle zu unterscheiden:

Fall 1: Kurze Späne

Die besten Ergebnisse in Bezug auf Performance und Prozesssicherheit werden dann erreicht, wenn die Späne kurz gebrochen werden können. Diese kurzen Späne können dann problemlos durch das Kühlmittel aus dem Gewinde ausgespült werden. Die Späne kurz zu brechen gelingt am Besten mit gerade genuteten Gewindebohrern (z.B. Paradur® HT). Bei Grundloch-Gewinden ist KA zu empfehlen.

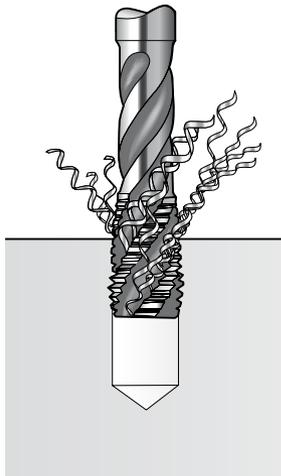
Anmerkung:

Bei der Herstellung von Grundlochgewinden in kurzspanenden Materialien ohne IK sammeln sich die Späne am Bohrungsgrund. Ist der Sicherheitsabstand zu knapp bemessen, läuft das Werkzeug auf die Späne auf und kann brechen.



Fall 2: Lange Späne (Späne können nicht gebrochen werden)

Bei Stählen unterhalb von 1000 N/mm^2 oder auch grundsätzlich bei rostfreien Stählen und anderen hochzähnen Werkstoffen gelingt es in der Regel nicht, den Span kurz zu brechen. In diesen Fällen muss der Span über spiralisierte Werkzeuge abgeführt werden. Ist eine Innenkühlung vorhanden, unterstützt das Kühlmittel lediglich den Spänetransport. In einigen Fällen kann mit schwächer gedrahten Gewindebohrern gearbeitet werden, wodurch die Standzeit ansteigt.



Kühlung und Schmierung – Gewindefräsen

Beim **Gwindefräsen** ist generell die Nassbearbeitung anzustreben, sollte jedoch nur Anwendung finden, wenn eine gleichmäßige Kühlung gewährleistet werden kann. Die sonst auftretenden Thermoschocks begünstigen Mikrorisse, welche wiederum zu Ausbrüchen führen und damit die Standzeit des Werkzeuges senken. Bei der Nassbearbeitung mit extern zugeführtem Kühlschmierstoff kann eine gleichmäßige Kühlung häufig nicht sichergestellt werden. Trockenbearbeitung mit Druckluft ist beim Gewindefräsen grundsätzlich möglich, es sind dann allerdings Einbußen bei der Standzeit hinzunehmen.

Bei der Grundlochbearbeitung ist die Verwendung eines Werkzeuges mit axialem Kühlmittelaustritt generell zu empfehlen. Optimal ist dann die Verwendung von Emulsion. Da das Werkzeug komplett umspült wird, treten keine Thermoschocks auf. Zudem unterstützt der Kühlmittelstrahl die Spanabfuhr und sorgt so für einen sicheren Prozess. Alternativ können hier auch intern zugeführte Druckluft oder MMS verwendet werden, was allerdings zu einer geringeren Standzeit führt. Die Herstellung von Grundlochgewinden mit extern zugeführter Emulsion ist nicht zu empfehlen, da sich unter Umständen Späne in der Kernlochbohrung ansammeln, was sich negativ auf die Standzeit auswirkt. Weiterhin besteht bei extern zugeführtem Kühlschmierstoff ein erhöhtes Risiko von Thermoschocks.

Für die Herstellung von Durchgangsgewinden empfiehlt sich die externe Zufuhr von Emulsion, MMS oder alternativ Druckluft. Die Nassbearbeitung kann hier unter Umständen jedoch zu Problemen führen, da bei externer Kühlmittelzufuhr eine gleichmäßige Kühlung des Werkzeuges nicht immer gewährleistet werden kann. Vor allem bei kleinen Gewindeabmessungen besteht die Gefahr, dass das extern zugeführte Kühlmittel nicht gänzlich in die enge Bohrung eindringen kann, wodurch eine gleichmäßige Kühlung des Werkzeuges nicht sichergestellt werden kann.

Anmerkung:

Fehlende Kühlung stellt beim Gewindefräsen weniger ein Problem dar als sporadische Kühlung.

Kühlung und Schmierung – Gewindeformen

Die Kühlung und vor allem die Schmierung sind beim Gewindeformen von zentraler Bedeutung. Bei unzureichender Schmierung nimmt die Oberflächenqualität des Gewindes drastisch ab, wie diese Aufnahmen zeigen:

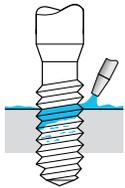


schuppige Oberfläche bei unzureichender Schmierung; Abhilfe: Schmiernuten

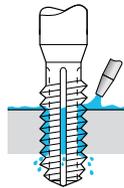


glatte Oberfläche bei hervorragender Schmierung

Man unterscheidet zwei grundsätzliche Werkzeugtypen: **Gewindeformer mit Schmiernuten** und **Gewindeformer ohne Schmiernuten**. Die unterschiedlichen Anwendungsbereiche sind nachfolgend erläutert.



ohne Schmiernuten



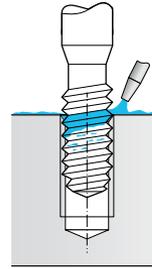
mit Schmiernuten

Der Einsatzbereich von Werkzeugen ohne Schmiernuten ist beschränkt auf:

- Blechdurchzüge
- Durchgangsgewinde bis $1,5 \times D_N$ (da sich kein Kühlmittel in der Kernlochbohrung sammeln kann)
- Grundlochgewinde bei vertikaler Bearbeitung (bei sehr tiefen Grundlochgewinden wird KA empfohlen)

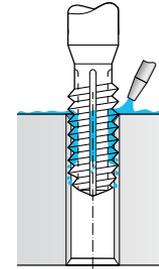
Schmiernuten sorgen für eine gleichmäßige Schmierung auch im unteren Bereich tieferer Gewinde, weshalb Gewindeformer mit Schmiernuten universeller einsetzbar sind. Vertikale Durchgangsgewinde bis ca. $3,5 \times D_N$ sind mit Schmiernuten auch ohne IK herstellbar.

Für die Werkzeugauslegung sollte zwischen vier unterschiedlichen Fällen unterschieden werden:



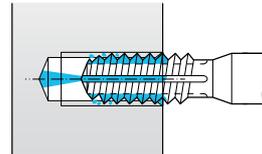
Vertikale Grundlochbearbeitung

Schmiernuten und innere Kühlmittelzufuhr nicht erforderlich; externe Kühlmittelzufuhr ist ausreichend (bei sehr tiefen Gewinden wird KA empfohlen).



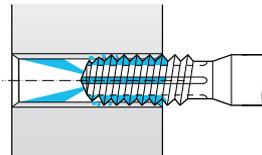
Vertikale Durchgangslochbearbeitung ($> 1,5 \times D_N$)

Schmiernuten sind erforderlich; innere Kühlmittelzufuhr ist nicht notwendig. Über die Schmiernuten kann das extern zugeführte Kühlschmiermittel zu den Formkanten vordringen (bei sehr tiefen Gewinden wird KR empfohlen).



Horizontale Grundlochbearbeitung

Schmiernuten und innere Kühlmittelzufuhr notwendig. Axialer Kühlmittelaustritt ausreichend.



Horizontale Durchgangslochbearbeitung

Schmiernuten erforderlich. Innere Kühlmittelzufuhr mit radialem Austritt wird empfohlen.

Minimalmengenschmierung

Kühlschmiermittel dienen in der spanenden Fertigung zur Reduzierung des Werkzeugverschleißes, zur Wärmeabfuhr von Werkstück und Maschine und zur Unterstützung des Spanbruchs sowie des Spänetransports. Darüber hinaus werden Werkstück, Werkzeug und Vorrichtungen von Späneresten befreit. Alles zusammen wichtige Voraussetzungen für eine effiziente, störungsfreie und wirtschaftliche Fertigung.

Die Kosten für Beschaffung, Pflege und Entsorgung der Kühlschmiermittel steigen jedoch immer weiter an. Auch die schlechte Umweltverträglichkeit von Kühlschmierstoffen und die davon ausgehende Gesundheitsgefahr für Maschinenbediener werden zunehmend kritisch betrachtet. Wie schon auf Seite 7 dargestellt, belaufen sich die Kosten des Kühlschmierstoffs auf ca. 16 % der gesamten Fertigungskosten. Daher ist die Reduzierung des Schmiermittelverbrauchs aus ökonomischen und ökologischen Interessen von großer Bedeutung für nachhaltig arbeitende, erfolgreiche Unternehmen.

Realisiert werden kann dieses Vorhaben durch Minimalmengenschmierung (MMS). Bei MMS wird der Druckluft eine geringe Menge hochwirksamer Schmiermittel zugesetzt. Trotz kleinster Dosierung dieser Schmiermittel (ca. 5-50 ml/Std.) können damit Aufschweißungen klebender Werkstoffe verhindert werden. Darüber hinaus kann mittels MMS durch Verringerung der Reibung die Prozesstemperatur herabgesetzt werden.

Im einfachsten Fall wird der Schmierstoff von außen zugeführt. Diese Methode kann kostengünstig für bestehende Maschinen nachgerüstet werden, stößt allerdings bei Gewinden ab einer Tiefe von $1,5 \times D_N$ an ihre Grenzen. Die Zuführung des Schmierstoffes über die Spindel ist vorteilhaft und sollte beim Kauf neuer Maschinen berücksichtigt werden.

Die durch MMS veränderten Anforderungen an die Werkzeuge müssen bei deren Konstruktion beachtet werden. So müssen die Werkzeuge zum Beispiel so ausgelegt werden, dass bei der Bearbeitung möglichst wenig Wärme entsteht – kleine oder gar negative Spanwinkel gilt es daher zu vermeiden. Ebenfalls gilt es die Geometrie so zu gestalten, dass auch ohne die unterstützende Wirkung eines Kühlschmierstoffes ein sicherer Spantransport erreicht wird. Vor allem die Beschichtung nimmt bei der MMS-Bearbeitung eine zentrale Rolle ein, denn die Hartstoffschicht übernimmt zu einem großen Teil die Aufgabe der Schmierung. Weiterhin dient die Beschichtung zur Verringerung der Reibung sowie zur Wärmeisolation des Werkzeugs.

Bei Gewindetiefen $> 1,5 \times D_N$ ist eine innere Kühlmittelzufuhr mit radialen Austritten Voraussetzung für MMS. Weiterhin müssen die Kühlmittelkanäle im Werkzeug so ausgelegt werden, dass eine Entmischung des Öl-Luft-Gemisches nicht auftritt.

Walter Prototyp empfiehlt für MMS die speziell für Gewindebohrer entwickelte THL-Beschichtung. Standardmäßig ist diese Beschichtung für die Werkzeuge Paradur® Eco Plus (Nachfolger des bewährten Paradur® Eco HT), Prototex® Eco HT sowie für Paradur® und Prototex® Synchrospeed erhältlich. Die THL-Beschichtung verfügt über eine Schmierstoffschicht, welche selbst bei MMS für sehr gute Reibverhältnisse sorgt und zusätzlich Aufbauschneiden verhindert. Im Verlauf der Lebensdauer des Werkzeugs wird die Schicht kontinuierlich geglättet.

Beim Gewindeformen sind die Familien Protodyn® Eco Plus, Eco LM und Synchro-speed für Minimalmengenschmierung geeignet.

Ihre Vorteile durch MMS-Bearbeitung mit Walter Prototyp Werkzeugen:

- Senkung der Produktionskosten und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit
- Reduzierung der Kühlsschmierstoff-, Wartungs- und Entsorgungskosten
- Reduzierung der Energiekosten
- Vermeidung der gesundheitlichen Risiken für Mitarbeiter
- oftmals keine Leistungseinbußen im Vergleich zur Nassbearbeitung
- wannenartige Bauteile füllen sich nicht mit Kühlschmierstoff
- reduzierter Aufwand für Bauteilreinigung

Anmerkung:

Beim Gewindefräsen ist im Unterschied zum Gewindebohren und -formen Trockenbearbeitung generell möglich, es sind dann allerdings Einbußen bei der Standzeit hinzunehmen. Wird trocken gearbeitet, ist die Verwendung von Blasluft zur Unterstützung des Spantransports zu empfehlen. Beim Gewindefräsen ist MMS gegenüber Nassbearbeitung oftmals vorteilhaft, da das Werkzeug keinen Thermoschocks ausgesetzt ist.

| Werkstoffe, die für MMS-Bearbeitung geeignet sind | Werkstoffe, die nicht für MMS-Bearbeitung geeignet sind |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> – nicht oder niedrig legierte Stähle sowie Stahlguss $< 1000 \text{ N/mm}^2$ – Grauguss – Messing – AlSi-Legierungen – Kupfer-Legierungen | <ul style="list-style-type: none"> – hochfeste, hochlegierte Stähle – Ti- und Ni-Legierungen – rostfreie Stähle |

Anmerkungen:

- Beim Gewindefräsen können auch hochfeste und gehärtete Werkstoffe mit MMS bearbeitet werden.
- In der Praxis können Fälle auftreten, bei denen die oben genannte Einteilung nicht zutreffend ist.

Spannmittel

Gewindeschneidfutter, auch als Werkzeugaufnahmen bezeichnet, sind das Bindeglied zwischen Spindel und Werkzeug.

Aufgaben der Werkzeugaufnahme beim Gewindebohren und -formen:

- Übertragung des Drehmoments
- ggf. axialer und/oder radialer Ausgleich von Differenzen zwischen Spindelposition und Werkzeug-Sollposition

Aufgaben der Werkzeugaufnahme beim Gewindefräsen:

- Übertragung des Drehmoments
- Abdrängung des Werkzeugs minimieren (Futter muss steif in Bezug auf radiale Kräfte sein)
- Dämpfung von Schwingungen

Allgemeine Aufgaben:

- Übergabe des Kühlschmierstoffs aus der Spindel an das Werkzeug
- Schutz der Spindellagerung im Falle eines Werkzeugbruchs
- Schutz des Werkzeugs vor Bruch (kann nur in beschränktem Maß realisiert werden)

Hinsichtlich des Zusammenspiels zwischen Spindel und Vorschub ist beim Gewindebohren und -formen entscheidend, ob und wie genau Spindeldrehzahl und Vorschubgeschwindigkeit aufeinander abgestimmt (synchronisiert) sind oder nicht.

Anmerkung:

Alle gängigen Fräsfutter können für das Gewindefräsen verwendet werden. Für das Gewindebohren- und -formen gibt es spezielle Futter, die im Folgenden dargestellt sind.

Wichtige Arten von Werkzeugaufnahmen für Gewindebohrer und -former

Schnellwechselfutter mit axialem Ausgleich

Vorteile:

- Einsatz auf synchronen und nicht-synchronen Maschinen
- Ausgleich axialer und radialer Positionsabweichungen
- robuste Ausführung

Nachteile:

- aufwendigere Technik als bei starren Futter
- kein Schutz vor Verschneiden, da sich das Werkzeug selbst führen muss

Schnellwechselfutter sind im Standard-Produktprogramm von Walter verfügbar.



Synchronfutter mit Minimalausgleich

Vorteile:

- Kompensation der Axialkräfte und dadurch deutliche Steigerung der Standmenge
- Kombination der Vorteile von starren Futter mit denen von Ausgleichsfutter

Nachteile:

- teuer in der Anschaffung im Vergleich zu starren Futter
- Einsatz nur auf synchronen Werkzeugmaschinen

Synchronfutter mit Minimalausgleich sind im Standard-Produktprogramm von Walter verfügbar.



Wichtige Arten von Werkzeugaufnahmen für Gewindebohrer und -former

Gewindeschneidapparat

Vorteile:

- Einsatz auf synchronen und nicht-synchronen Maschinen
- Schonung der Spindel, da die Drehrichtungs-umkehr vom Futter vorgenommen wird
- kürzeste Zykluszeiten, da die Spindel nicht beschleunigt oder verzögert werden muss; deshalb vor allem interessant für die Massenfertigung

Nachteile:

- aufwendige Technik
- hohe Instandhaltungskosten
- Drehmomentstütze erforderlich
- hohe Anschaffungskosten



Schrumpffutter, starres Spannzangenfutter, Weldon-Futter (v.l.n.r)

Vorteile:

- einfache, kostengünstige und robuste Ausführung
- Schrumpffutter: sehr hohe Rundlaufgenauigkeit

Nachteile:

- nur auf synchronen Werkzeugmaschinen einsetzbar
- aufgrund minimaler Steigungsdifferenzen entstehen Axialkräfte, welche auf Werkzeugflanken wirken und die Standzeit reduzieren



Schrumpffutter, Spannzangenfutter und Weldon-Futter sind im Standard-Produktprogramm von Walter verfügbar.

Synchronbearbeitung beim Gewindebohren- und formen

Um die Prozesszeiten beim Gewindebohren und -formen zu reduzieren, wird zunehmend mit höheren Drehzahlen und Schnittgeschwindigkeiten (HSC = High Speed Cutting) gearbeitet. Speziell zur Realisierung hoher Schnittgeschwindigkeiten empfiehlt sich die Synchronbearbeitung.

Das Synchrongewindeschneiden setzt eine Maschine voraus, welche die Drehbewegung der Hauptspindel und die Vorschubbewegung synchronisiert. Das Gewindewerkzeug führt sich nicht selbst über seine Geometrie, sondern wird allein durch den Vorschub und die Spindeldrehzahl der Maschine gesteuert. Heutzutage sind die meisten Bearbeitungszentren für die Synchronbearbeitung geeignet.

Grundsätzlich können alle Gewindebohrer- und -former synchron eingesetzt werden. Walter Prototyp bietet jedoch speziell für die Synchronbearbeitung konzipierte Werkzeuge mit der Bezeichnung Synchrospeed an. Kennzeichnend für diese Werkzeuggruppe sind der extrem hohe Flankenfreiwinkel sowie der extra kurze Gewindeteil. Werkzeuge der Familie Synchrospeed können ausschließlich synchron eingesetzt werden. Demgegenüber stehen die Werkzeuge der Eco Familie, welche sowohl synchron als auch konventionell sehr gute Ergebnisse erzielen.

Synchrongewindebohrer können sowohl mit üblichen Weldon-Futtern als auch mit Spannzangenfuttern (nach Möglichkeit mit Vierkant-Mitnahme) aufgenommen werden. Beide Spannmittel haben den Nachteil, dass die auftretenden Axialkräfte nicht kompensiert werden können.

Eine bessere Alternative ist das Gewindeschneidfutter Protoflex C mit Minimalausgleich. Protoflex C ist ein Gewindeschneidfutter für Bearbeitungszentren mit Synchronsteuerung. Es gewährleistet einen genau definierten Minimalausgleich und ist auf die Geometrie der Synchrospeed-Werkzeuge abgestimmt.

Was ist das Besondere am Protoflex C?

Im Gegensatz zu konventionellen Synchron-Gewindeschneidfuttern basiert Protoflex C auf einem präzise gefertigten Flexteil („Flexor“) mit hoher Federhärte, das Lageabweichungen im Mikrobereich radial wie axial ausgleicht. Der patentierte Mikrokompensator wird aus einer für die NASA entwickelten Speziallegierung hergestellt und zeichnet sich durch lange Lebensdauer und Wartungsfreiheit aus. Handelsübliche Synchronfuttern verwenden hierfür Kunststoffteile, die mit der Zeit ihre Flexibilität verlieren. Ein Mikroausgleich ist dann nicht mehr gegeben.

Die Druckkräfte auf die Gewindebohrerflanken werden bei Einsatz des Gewindeschneidfutters Protoflex C deutlich reduziert, dadurch ergeben sich:

- höhere Prozesssicherheit durch geringere Bruchgefahr – besonders bei kleinen Abmessungen
- längere Standzeit der Gewindewerkzeuge durch weniger Reibung
- eine bessere Oberflächenqualität an den Gewindeflanken

Für den Kunden bedeutet der Einsatz des Gewindeschneidfutters Protoflex C höchste Produktivität bei gleichzeitig reduzierten Werkzeugkosten, und zwar sowohl beim Gewindebohren als auch beim Gewindeformen.



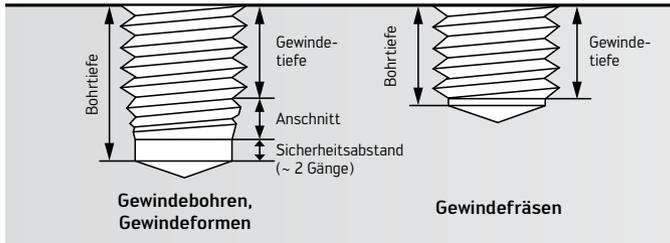
Synchrongewindeschneidfutter Protoflex C

Flexor mit Minimalausgleich

Hinweise zum Kernloch

Tiefe der Kernlochbohrung

Bohrtiefe \geq nutzbare Gewindetiefe (+ Anschnittlänge) + Sicherheitsabstand



Anmerkung:

Die eventuell vorhandene Spitze des Gewindewerkzeugs muss bei der Berechnung der erforderlichen Tiefe der Kernlochbohrung berücksichtigt werden. Dabei ist zwischen Vollspitze und abgesetzter Spitze zu unterscheiden. Gewindefräser haben im Vergleich

zu Gewindebohrern und -formern weder Anschnittbereich noch Spitze, weshalb Gewinde bis annähernd zum Bohrungsgrund möglich sind. Verschneiden ist beim Fräsprozess ausgeschlossen, deshalb ist kein zusätzlicher axialer Sicherheitsabstand notwendig.

Durchmesser der Kernlochbohrung beim Gewindebohren und -fräsen

Faustformel:

Bohrungsdurchmesser = Nenndurchmesser - Steigung

Beispiel Abmessung M10

Bohrungsdurchmesser = 10,0 mm - 1,5 mm = **8,5 mm**

Durchmesser der Kernlochbohrung beim Gewindeformen

Faustformel:

Bohrungsdurchmesser = Nenndurchmesser - f x Steigung

- Toleranz 6H: f = 0,45

- Toleranz 6G: f = 0,42

Beispiel Abmessung M10

Bohrungsdurchmesser = 10,0 mm - 0,45 x 1,5 mm = 9,325 mm = **9,33 mm**

Spezielle Hinweise zum Gewindeformen

Anmerkung:

Der empfohlene Durchmesser der Kernlochbohrung ist auf dem Schaft von Walter Prototyp Gewindeformern aufgebracht.



Bei der Auswahl des Bohrwerkzeugs sind zusätzlich die in unten stehender Tabelle aufgeführten zulässigen Toleranzen der Kernlochbohrung zu beachten, um einen sicheren Formprozess und eine angemessene Standzeit zu gewährleisten.

| Gewindesteigung | Toleranz Vorbohrdurchmesser |
|----------------------------|-----------------------------|
| $\leq 0,3$ mm | $\pm 0,01$ mm |
| $> 0,3$ mm bis $< 0,5$ mm | $\pm 0,02$ mm |
| $\geq 0,5$ mm bis < 1 mm | $\pm 0,03$ mm |
| ≥ 1 mm | $\pm 0,05$ mm |

Aufgrund dieser Toleranzen, die im Vergleich zum Gewindeverschneiden enger ausfallen, ist das Gewindeformen nicht in allen Fällen wirtschaftlicher als das Gewindebohren.

Praxistipp:

Der Kerndurchmesser des Gewindes entsteht beim Gewindeformen während des Formprozesses und ist daher abhängig vom Fließverhalten des Materials. Im Gegensatz dazu ist der Kerndurchmesser beim Gewindebohren und -fräsen bereits durch die Kernloch-

bohrung bestimmt. Daher ist eine Lehrgang des Gewinde-Kerndurchmessers nach dem Formen zwingend erforderlich. Die Toleranzen der Innengewinde-Kerndurchmesser sind auf Seite 116 aufgeführt.

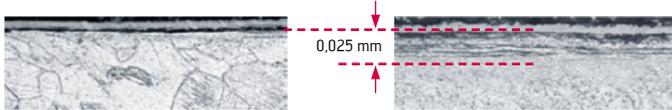
Anmerkung:

Das Produktprogramm von Walter Titec ist auf die Vorbohrdurchmesser für Gewindebohren und -formen abgestimmt.

Randzonenaufhärtung

Oftmals wird die Gewindeherstellung als alleinstehender Prozess betrachtet. Dies ist nicht sinnvoll, da die vorhergehende Bohroperation erheblichen Einfluss auf das anschließende Gewinden hat.

Beim Bohren der Kernlochbohrung wird die Randzone des Werkstückmaterials durch mechanische und thermische Effekte beeinflusst. Die daraus resultierende Gefügeveränderung zeigen die beiden Mikroaufnahmen:



neuer Bohrer:
Randzone nahezu unverändert

verschlissener Bohrer:
Randzonenbeeinflussung

Die Härte der Randzone ist bei einem verschlissenen Bohrer deutlich höher als bei einem Neuwerkzeug. Auch die Verwendung hoher Schnittparameter beim Bohren führt zu einer Aufhärtung der Randzone. Obwohl diese Aufhärtung lediglich innerhalb eines sehr kleinen Abstands zur Bohroberfläche auftritt, resultiert daraus eine erhebliche Reduktion der Standzeit des Gewindewerkzeugs (vgl. Beispiel unten).

Zusammenfassung:

- Die Standzeit des Gewindewerkzeugs sinkt mit steigender Härte der Randzone.
- Die Härte der Randzone steigt mit zunehmendem Verschleiß des Bohrwerkzeugs sowie bei hohen Schnittparametern oder verrundeten Schneidkanten an.

Beispiel: Material C70, Bohrdurchmesser 8,5 mm, Bohrungstiefe 24,5 mm

| | verschlissener Bohrer | neuer Bohrer |
|--------------------------|-----------------------|---------------|
| Randzonenhärte | 450 HV | 280 HV |
| Randzonbreite | 0,065 mm | ≈ 0 |
| Standmenge Gewindebohrer | 70 Gewinde | > 350 Gewinde |

Praxistipp:

Bei Standzeitproblemen ist zusätzlich zum Gewindeherstellungsprozess auch der vorhergehende Bohrprozess sowie das Bohrwerkzeug selbst zu betrachten!



Grundtypen

Grundloch

Kurzspanende Materialien

Gerade genutete Gewindebohrer fördern den Span nicht. Daher sind sie nur für kurzspanende Werkstoffe oder kurze Gewinde einsetzbar.

Anmerkung:

Ohne Innenkühlung sammeln sich die Späne im Grund der Bohrung. Ist der Sicherheitsabstand zu knapp bemessen, kann das Werkzeug auf die Späne auflaufen und brechen.

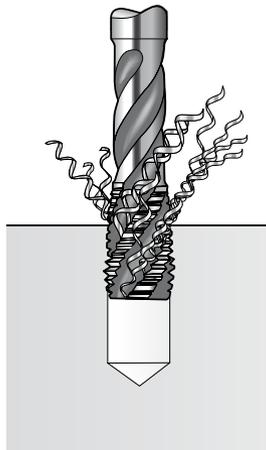
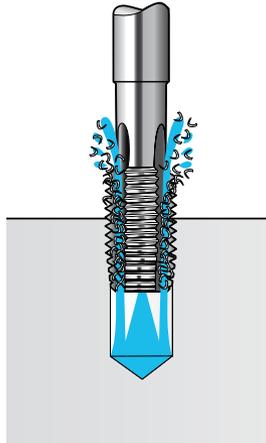
Verfügt der Gewindebohrer über eine axiale Kühlmittelzufuhr, sind mit gerade genuteten Werkzeugen auch tiefere Gewinde möglich, da die Späne entgegen der Vorschubrichtung ausgespült werden. Voraussetzung ist allerdings, dass die Späne kurz gebrochen werden (z.B.: Paradur® HT, Gewindetiefe bis $3,5 \times D_N$).

Im Vergleich zu gedrahten Werkzeugen haben gerade genutete Gewindebohrer eine höhere Standzeit.

Einige gerade genutete Werkzeuge können auch für Durchgangslöcher in Materialien mit guten Spanbrucheigenschaften eingesetzt werden (z.B. Paradur® Eco CI).

Langspanende Materialien

Rechtsspiralige Gewindebohrer fördern den Span Richtung Schaft. Je zäher, bzw. langspanender der zu bearbeitende Werkstoff und je tiefer das Gewinde, desto höher der erforderliche Spiralwinkel.

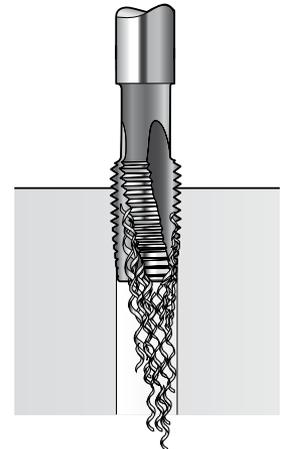
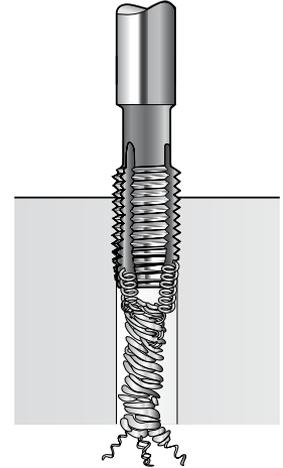


Durchgangsloch

Langspanende Materialien

Gewindebohrer mit Schälanschnitt fördern den Span nach vorne in Vorschubrichtung.

Gewindebohrer mit Schälanschnitt sind die erste Wahl für die Herstellung von Durchgangsgewinden in langspanenden Materialien.



Linksspiralige Gewindebohrer

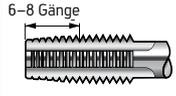
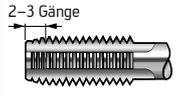
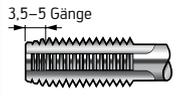
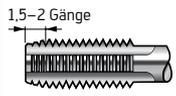
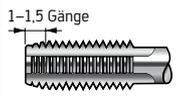
(wie auch Gewindebohrer mit Schälanschnitt) fördern den Span nach vorne in Vorschubrichtung.

Sinnvoll sind Werkzeuge mit Linksspirale nur dann, wenn eine sichere Spanabfuhr mit einem Schälanschnitt nicht gewährleistet werden kann. Werkzeugbeispiel: Paradur® N des Typs 20411 und 20461

Anschnittformen in Anlehnung an DIN 2197

Bitte beachten Sie:

- längere Anschnitte erhöhen die Standzeit
- längere Anschnitte reduzieren die Schneidkantenbelastung, welche mit zunehmender Materialfestigkeit an Bedeutung gewinnt
- kürzere Anschnitte ermöglichen Gewinde bis annähernd zum Bohrungsgrund
- längere Anschnitte erhöhen das erforderliche Drehmoment

| Form | Anzahl der Gänge im Anschnitt | Ausführung und Anwendung |
|------|--|--|
| A |  6–8 Gänge | gerade genutet  kurzspannende Werkstoffe kurze Durchgangsgewinde in mittel- und langspannenden Werkstoffen |
| | | gerade genutet mit Schälanschnitt  mittel- und langspannende Werkstoffe |
| C |  2–3 Gänge | rechts gedallt  mittel- und langspannende Werkstoffe |
| | | gerade genutet  kurzspannende Werkstoffe |
| D |  3,5–5 Gänge | links gedallt  langspannende Werkstoffe |
| | | gerade genutet  kurzspannende Werkstoffe |
| E |  1,5–2 Gänge | rechts gedallt  kurzer Gewindeauslauf in mittel- und langspannenden Werkstoffen |
| | | gerade genutet  kurzer Gewindeauslauf in kurzspannenden Werkstoffen |
| F |  1–1,5 Gänge | rechts gedallt  sehr kurzer Gewindeauslauf in mittel- und langspannenden Werkstoffen |
| | | gerade genutet  sehr kurzer Gewindeauslauf in kurzspannenden Werkstoffen |

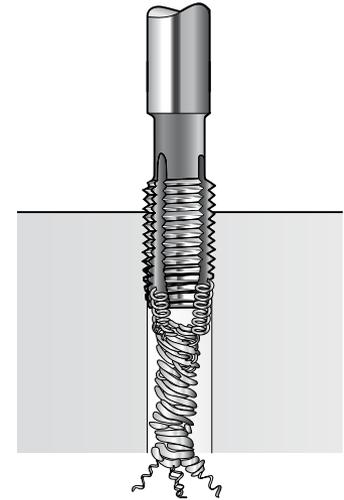
Spanquerschnitte

Für Durchgangsgewinde werden vorwiegend längere Anschnittformen verwendet.

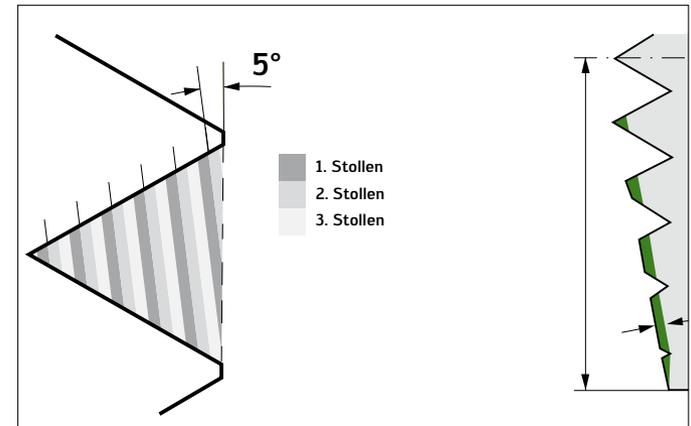
Langer Anschnitt

(z.B. Form B) bewirkt:

- erhöhte Standzeit
- großes Drehmoment
- kleiner Spanquerschnitt
- geringe Belastung der Anschnittzähne



Form B

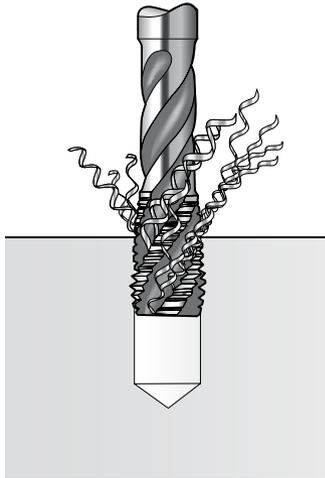


Spanquerschnitte

Bei Grundlochgewinden werden vorwiegend kürzere Anschnittformen gewählt, was nicht nur dadurch begründet ist, dass das Gewinde häufig bis zum Bohrungsgrund reichen soll.

Das Abscheren des Spanes beim Grundlochgewinde stellt ein gewisses Problem dar. Wenn der Span zu dünn wird, legt sich dieser beim Reversieren lediglich um und kann nicht mehr abgetrennt werden. Der Span wird zwischen Bauteil und Anschnitt-Freifläche gequetscht. Dies kann zum Werkzeugbruch führen, weshalb lange Anschnitte der Form A, B und D nicht für Grundlochgewinde geeignet sind, da diese Formen dünne Späne erzeugen.

Ein Vorteil kurzer Anschnitte ist, dass zahlenmäßig weniger Späne entstehen. Zusätzlich wird der Spantransport durch den größeren Spanquerschnitt begünstigt.

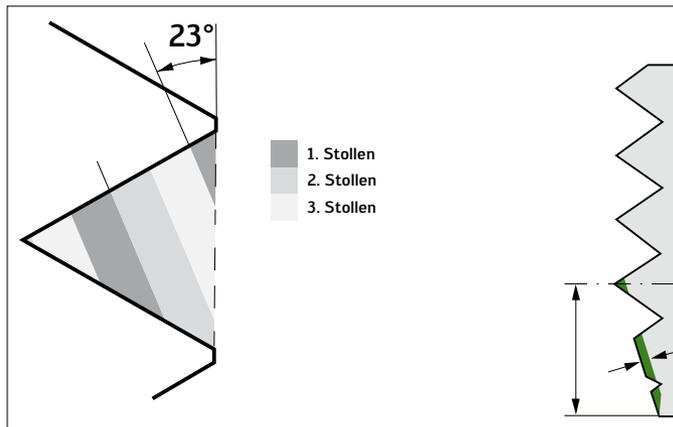


Kurzer Anschnitt

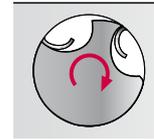
(z.B. Form E) bewirkt:

- kleines Drehmoment
- großer Spanquerschnitt
- große Belastung der Anschnittzähne
- reduzierte Standzeit
- optimierter Spantransport

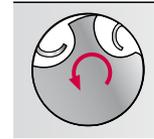
Form E



Schneidvorgang Grundlochgewinde



Der Gewindebohrer befindet sich noch im Schnitt und kommt zum Stillstand. Im Moment des Stillstands befinden sich alle Schneiden im Anschnitt noch im Spanprozess.



Das Umschalten auf Rücklauf ist bereits erfolgt. Die zuvor entstandenen Späne bleiben zunächst stehen. Das Rückdrehmoment an dieser Stelle ist annähernd Null.



Die Späne berühren den Rücken des nachfolgenden Schneidstollens. Hier steigt das Rückdrehmoment sprunghaft an. Der Span muss jetzt abgesichert werden. Da der Anschnitt des Gewindebohrers einen Freiwinkel hat und zudem beim Zurückdrehen der konische Anschnitt aus dem Gewinde axial herausläuft, kann der Span zwangsläufig nicht mehr direkt an der Spanwurzel erfasst werden. Deshalb ist eine gewisse Stabilität (Dicke) des Spanes erforderlich.



Der Span wurde abgesichert und das Rückdrehmoment reduziert sich auf die Reibung zwischen Führungsteil und geschnittenem Gewinde.

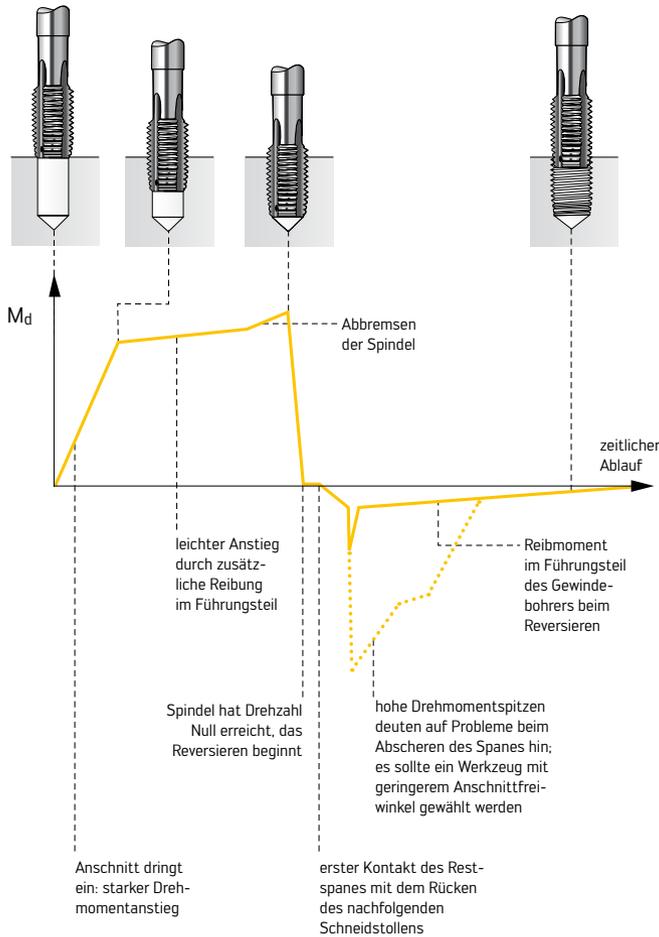
Anmerkung:

Durchgangsgewindebohrer können nicht für die Grundlochbearbeitung eingesetzt werden, da diese einen höheren Anschnittfreiwinkel aufweisen und der Span möglicherweise nicht abgesichert wird, sondern sich zwischen Anschnitt und Gewinde verklemmt. Dies kann zu Ausbrüchen im Anschnitt

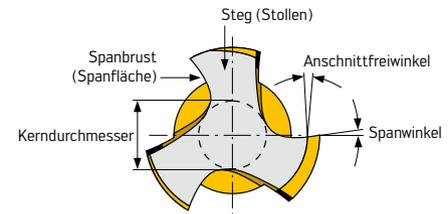
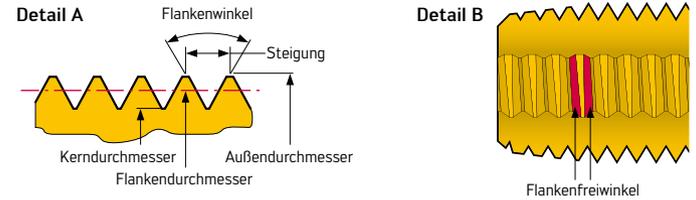
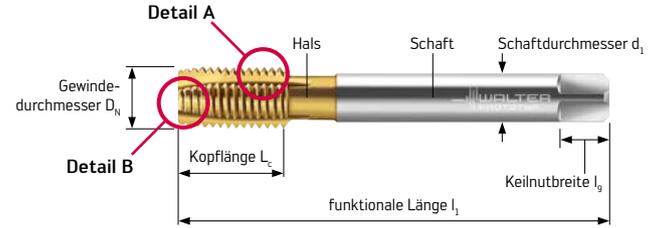
und im Extremfall zum Bruch des Gewindebohrers führen. Der Anschnittfreiwinkel von Grundlochgewindebohrern ist daher immer geringer als der von Durchgangsgewindebohrern, da Grundlochgewindebohrer die Spanwurzel beim Reversieren abscheren müssen.

Schneidvorgang Grundlochgewinde

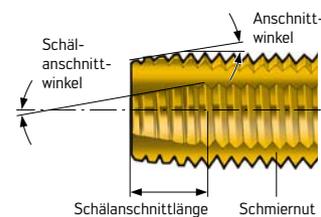
Drehmomentverlauf beim Gewindeschneiden eines Grundlochgewindes



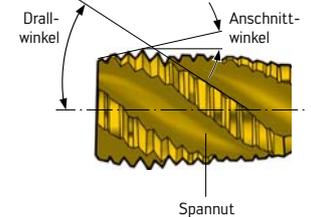
Winkel und Merkmale am Gewindebohrer



Durchgangsloch-Gewindebohrer mit Schälanschnitt



Grundloch-Gewindebohrer mit Rechtsdrill

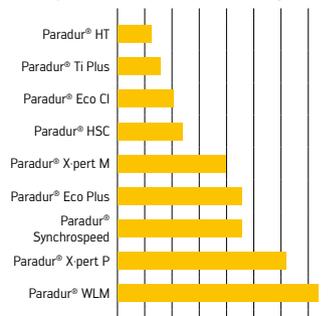


Geometriedatenvergleich

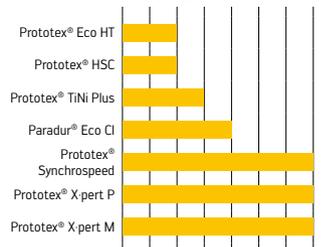
Ein kleinerer **Spanwinkel**:

- erhöht die Stabilität der Schneidkanten (bei großen Spanwinkeln können Ausbrüche im Bereich des Anschnitts auftreten)
- produziert in der Regel besser beherrschbare Späne
- erzeugt schlechtere Oberflächen am Bauteil
- erhöht die Schnittkräfte, bzw. das Schnittmoment
- ist für die Bearbeitung härterer Werkstoffe erforderlich
- erhöht die Neigung zum Zusammendrücken des zu bearbeitenden Materials, d.h. der Gewindebohrer schneidet sich weniger frei und macht dadurch etwas engere Gewinde

Spanwinkel Grundloch-Werkzeuge



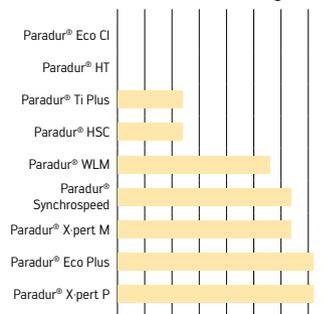
Spanwinkel Durchgangsloch-Werkzeuge



Ein höherer **Drallwinkel**:

- begünstigt die Spanabfuhr
- senkt die Stabilität des Werkzeugs und begrenzt dadurch das maximale Schnittmoment
- senkt die Stabilität der Zähne
- reduziert die Standzeit

Drallwinkel Grundloch-Werkzeuge



Flankenfreiwinkel:

Der Flankenfreiwinkel muss auf das zu bearbeitende Material abgestimmt sein. Werkstoffe mit höherer Festigkeit sowie Werkstoffe, die zum Klemmen neigen, erfordern einen höheren Flankenfreiwinkel. Mit erhöhtem Freiwinkel werden die Führungseigenschaften des Werkzeugs schlechter, weshalb es bei der Verwendung von Ausgleichsfuttern zu Verschneiden in weichen Materialien kommen kann.

Praxistipp: Überprüfung des Flankenfreiwinkels

Ein Gewindebohrer sollte sich leicht in das zuvor geschnittene Gewinde eindrehen lassen, ohne dabei nachzuschneiden. Ist das nicht möglich, sollte eine Werkzeugtyp mit höherem Flankenfreiwinkel gewählt werden.

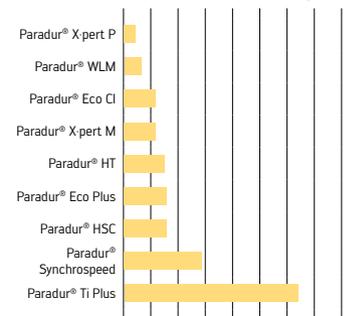
Schälanschnittwinkel:

Der Schälanschnittwinkel ist begrenzt durch Anschnittlänge und Nutenzahl, da mit höherem Schälanschnittwinkel die Stollenbreite im ersten Gang des Anschnitts reduziert wird. Dies bedingt eine sinkende Stabilität der Schneide (die Gefahr von Ausbrüchen im Bereich des Anschnitts steigt an). Ein höherer Schälanschnittwinkel begünstigt allerdings die Spanabfuhr in Vorschubrichtung. Bei zu kleinen Schälanschnittwinkeln kann die Spanabfuhr problematisch werden. Abhilfe kann durch linksgedrallte Werkzeuge geschaffen werden.

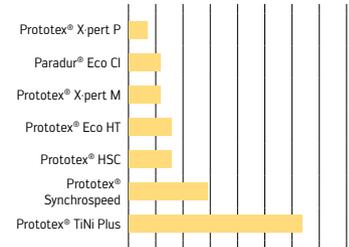
Anschnittfreiwinkel:

Durchgangsgewindebohrer haben einen ca. 3-mal so großen Anschnittfreiwinkel wie Grundlochgewindebohrer. Begründung siehe Seite 80.

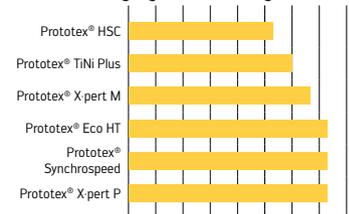
Flankenfreiwinkel Grundloch-Werkzeuge



Flankenfreiwinkel Durchgangsloch-Werkzeuge



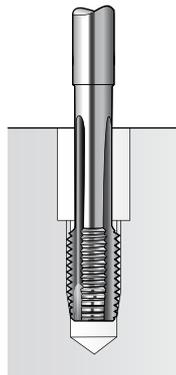
Schälanschnittwinkel Durchgangsloch-Werkzeuge



Besonderheiten beim Gewindebohren

Tiefliegende und tiefe Grundlochgewinde

- nach Möglichkeit gerade genutete Gewindebohrer mit axialer Kühlmittelzufuhr oder hochgedrallte Grundlochgewindebohrer mit blanker oder vaporisierter Spanbrust verwenden:
 - Paradur® HT (gerade genutet)
 - Paradur® Synchrospeed mit Tin/vap-Beschichtung (gedrallt)
- für rostfreie Stähle und allgemein als Problemlöser empfehlen wir das Gewindeformen; für das Gewindebohren von rostfreien Stählen sind spiralförmige Grundlochgewindebohrer absolut erforderlich:
 - Gewindeformen: Protodyn® S Eco Inox
 - Gewindebohren: Paradur® X-pert M



Schräger Gewindeaustritt

- Gewindebohrer mit möglichst langem Führungsteil und maximaler Stabilität verwenden (z.B. Prototex® X-pert P, Prototex® X-pert M)
 - Schrägen bis zu 30° relativ unproblematisch
- Alternative: Gewindefräsen



Gewinde mit wesentlich tieferer Kernlochbohrung als Gewindetiefe

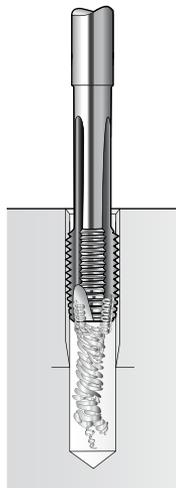
- Durchgangsgewindebohrer mit modifiziertem Schälanschnitt verwenden:
 - Anschnittinterschliff auf den Wert eines Grundlochgewindebohrers reduzieren
 - Anschnittlänge auf ca. 3 Gang kürzen

Vorteil: höhere Standzeit als hochspiralförmige Grundlochgewindebohrer

Nachteil: Späne verbleiben in Bohrung

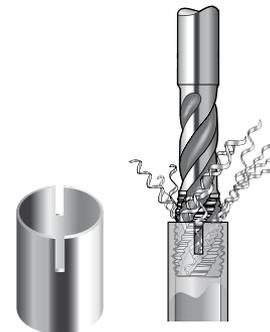
- für kurzspanende Werkstoffe wie z.B. GG25 können auch gerade genutete Werkzeuge ohne Schälanschnitt eingesetzt werden:
 - Paradur® Eco Cl

- selbstverständlich können für diese Bearbeitung auch hochspiralförmige Grundlochgewindebohrer eingesetzt werden



Geschlitzte Gewinde

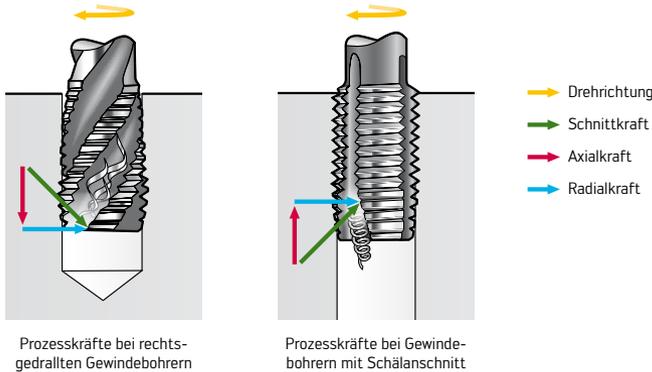
- geschlitzte Gewinde sollten mit hochspiralförmigen Werkzeugen bearbeitet werden:
 - Paradur® X-pert M
 - Paradur® X-pert P
 - Paradur® Eco Plus



Prozesskräfte beim Gewindebohren

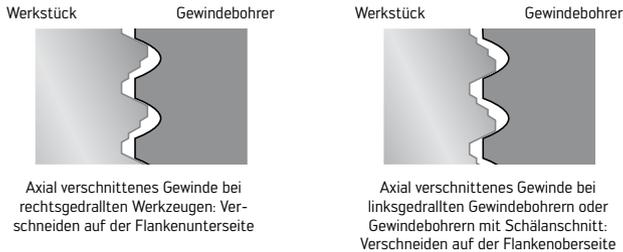
Beim Gewindeschneiden treten werkzeugbedingte Axialkräfte auf. Rechtsgedrallte Gewindebohrer erfahren eine Axialkraft

in Vorschubrichtung. Bei Gewindebohrern mit Schälanschnitt wirkt diese Kraft entgegen der Vorschubrichtung.



Bei der Verwendung von Ausgleichsfuttern können diese Axialkräfte dazu führen, dass die Gewinde zu groß geschnitten werden – man spricht von axialem Verschneiden. Begünstigt wird das axiale

Verschneiden durch den Einsatz von hochspiraligen Werkzeugen mit hohem Flankenfreiwinkel in weichen Materialien oder durch unpassende Schneidkantenbehandlung.

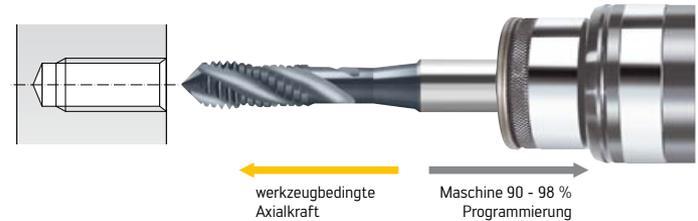


Für weitere Informationen zum Verschneiden sowie für Gegenmaßnahmen siehe Seite 91 (Probleme und Lösungen Gewindebohren).

Vorschubprogrammierung bei Verwendung von Ausgleichsfuttern

Bei der Verwendung von Gewindeschneidfuttern mit Längenausgleich müssen die bei der Bearbeitung auftretenden, werkzeugbedingten Axialkräfte beachtet werden.

Bei **spiraligen Grundlochgewindebohrern** entsteht eine Axialkraft in Vorschubrichtung. Dieser Kraft muss durch Minus-Programmierung entgegengewirkt werden.



Die üblichen Vorschubwerte für diesen Bearbeitungsfall liegen zwischen 90 und 98 % des theoretischen Vorschubs. Der theoretische Vorschub lässt sich mit folgender Formel ermitteln:

$$V_f = n \times p$$

n = Drehzahl; p = Gewindesteigung

Bei **linksgedrallten Werkzeugen**, bzw. bei **Gewindebohrern mit Schälanschnitt** drehen sich die Verhältnisse um – es entstehen Axialkräfte entgegen der Vorschubrichtung.



Hier empfiehlt sich die Programmierung des theoretischen Vorschubs.

Modifikationen

| | Negativfase (Secur Fase) | Verkürzter Anschnitt | Drallreduzierung im Anschnitt | Gewinde abgeschrägt | Spanbrust blank |
|--|--|---|--|---|---|
| | | | | | |
| Spanbildung | Späne werden enger gerollt, kürzere Späne | Späne werden enger gerollt, weniger Späne | Späne werden enger gerollt, kürzere Späne | keine Veränderung | Späne werden enger gerollt, kürzere Späne |
| Standmenge | | | unbeschichtet: beschichtet: | | |
| Gewindequalität | | | unbeschichtet: beschichtet: | | |
| Spanungsdicke | | | | | |
| Drehmoment | | | | | |
| Anwendungsbeispiel | Vermeidung von Späne- wicklern in Baustählen wie St52, C45, usw. | Gewinde bis nahe zum Bohrungsgrund, verbesserte Span- beherrschung | Optimierung der Span- bildung in Stählen und Aluminium | Probleme mit Ausbrüchen oder Aufschweißungen im Führungsteil | Optimierung der Span- bildung in Stählen, Kurbel- wellenbearbeitung |
| Standardwerkzeuge mit der entsprechen- den Modifikation | Paradur® Secur Paradur® HSC Prototex® HSC | alle Werkzeuge mit Anschnittform E/F | Paradur® Ni 10 Paradur® HSC | Paradur® Eco Plus Paradur® X-pert M Paradur® Synchrospeed | Alle unbeschichteten Werkzeuge sowie Paradur® Synchrospeed (TiN-vap) |

steigt bleibt unverändert sinkt sinkt stark

Probleme und Lösungen

Spanbeherrschung:

Die Spanbeherrschung ist beim Gewindebohren von Grundlöchern, vor allem bei tiefen Grundlöchern in zähen, langspanenden Materialien, ein zentrales Thema. Probleme bei der Spanbeherrschung zeigen sich durch Späneknäuel, zufällig auftretende Drehmomentspitzen, Zahnausbrüche im Führungsteil und/oder Totalbruch.

Abhilfe:

Zur Optimierung der Spanbeherrschung können Standard-Gewindebohrer modifiziert* oder Neukonstruktionen erstellt werden:

- Anschleifen einer Drallreduzierung um kurze Späne zu erhalten
- Reduzierung des Spanwinkels um enger grollte und kürzere Späne zu erhalten
- bei schwach gedrahten oder gerade genuteten Werkzeugen können oben genannte Maßnahmen kombiniert und durch axiale Kühlschmiermittelzufuhr ergänzt werden, wodurch das Ausspülen der kurzen Späne unterstützt wird; vor allem bei der Massenfertigung ist dies eine bewährte Methode zur Steigerung der Prozesssicherheit und Produktivität
- Aufschleifen der Spanbrust, bzw. blanke Drallreduzierung; dadurch werden gut beherrschbare Späne erzeugt
- TiN/TiCN-Beschichtungen durch THL ersetzen, da THL bessere Spanbildungseigenschaften aufweist; blanke oder vaporisierte Werkzeuge anstatt beschichtete verwenden
- Anschnitt kürzen (Umarbeit) – es entstehen weniger und dickere Späne
- Nutenzahl reduzieren (Neukonstruktion), die Spandicke steigt an und die Stabilität des Werkzeugs wird erhöht
- Werkzeug mit Negativfase einsetzen (z.B. Paradur® Secur)

Grundsätzlich gilt:

Je höher die Materialfestigkeit und je geringer die Bruchdehnung des Werkstoffs, desto besser können die Späne beherrscht werden. Bei weichen Baustählen, niedrig legierten Stählen und bei rostfreien Stählen niedriger Festigkeit gestaltet sich die Spanbeherrschung am schwierigsten.

Je mehr Einwirkungen auf die Spanbildung durch die zuvor genannten Maßnahmen erfolgen, desto schlechter wird die Qualität der Gewindeoberfläche. Daher sind die Maßnahmen unbedingt mit den Kundenanforderungen abzustimmen.

- Gewindeformen oder Gewindefräsen: Materialien, bei welchen die Spanbeherrschung beim Grundlochgewindebohren problematisch ist, lassen sich zumeist spanlos durch Formen bearbeiten. Ist Gewindefräsen nicht zulässig, kann das Gewindefräsen als Problemlöser eingesetzt werden. Hier entstehen prozessbedingt kurze Späne.



Beispiel für Ausbrüche bei Problemen mit der Spanbeherrschung

Verschneiden:

Die Geometrie von Gewindebohrern ist auf bestimmte Anwendungsfälle zugeschnitten. Bei unsachgemäßem Einsatz können Gewindebohrer zu große Gewinde erzeugen – man spricht hierbei vom Verschneiden.

Anmerkung:

Weitgehend ausgeschlossen ist das Verschneiden beim Gewindeformen, Gewindefräsen und beim synchronen Gewindefräsen.

Verschneiden tritt am ehesten bei höher-spiraligen Grundlochgewindebohrern auf. Die aufgrund des Drallwinkels entstehende Axialkraft in Vorschubrichtung kann den Gewindebohrer schneller in das Loch hineinziehen als es der eigentlichen Steigung entspricht – man spricht hier vom Korkeziehereffekt und dem sogenannten **axialen Verschneiden**. Durchgangslochgewindebohrer erfahren geometriebedingt Axialkräfte entgegen der Vorschubrichtung, was ebenfalls zu **axialem Verschneiden** führen kann. Begünstigt wird das axiale Verschneiden beim Einsatz von Gewindebohrern mit hohem Flankenfreiwinkel in weichen Materialien oder durch unpassende Schneidkantenbehandlung.



Axial verschnittenes Grundlochgewinde

Gewindebohrer, die aus den zuvor genannten Gründen verschneiden, produzieren systematisch zu große Gewinde. Sporadisches Verschneiden kann auftreten, wenn auf das Werkzeug wegen eines Spänestaus oder aufgrund von Materialaufschweißungen einseitige Radialkräfte wirken – man spricht hier von **radialem Verschneiden**.

Abhilfe:

- Synchronbearbeitung
- auf das Material abgestimmte Werkzeuge verwenden
- geeignete Beschichtung wählen (gegen radiales Verschneiden)
- Spanbeherrschung optimieren (gegen radiales Verschneiden)
- Gewindebohrer mit geringerem Drallwinkel verwenden
- Gewindebohrer mit Spezialbehandlung verwenden:
 - Paradur® X-pert P; Paradur® Eco Plus
 - Prototex® X-pert P; Prototex® Eco HT
- Gewindefräsen
- Gewindeformen



Axial verschnittenes Durchgangsgewinde

* Die Modifikationen sind auf Seiten 88 - 89 umfassend erläutert und anschaulich dargestellt.

Probleme und Lösungen

Gewindeoberfläche:

Die Gewindeoberfläche wird bestimmt durch:

- das Fertigungsverfahren: Schneiden, Formen, Fräsen
- den Verschleiß des Werkzeugs
- die Geometrie
- die Beschichtung
- den zu bearbeitenden Werkstoff
- das Kühlschmiermittel und dessen Verfügbarkeit im Funktionsbereich des Werkzeugs

Anmerkung:

Beim Gewindeschneiden und Gewindeformen hat man kaum eine Möglichkeit, die Oberflächengüte über die Schnittdaten zu beeinflussen. Im Gegensatz dazu können beim Gewindefräsen Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten unabhängig voneinander gewählt werden.

Optimierung der Gewindeoberfläche beim Gewindeschneiden:

- Gewindeschneiden durch Gewindeformen oder Gewindefräsen ersetzen
- Spanwinkel vergrößern
- geringere Spannungsdicke durch längeren Anschnitt oder erhöhte Nutzahl (bei Grundlochgewindebohrern verschlechtert sich dadurch allerdings die Spanbildung)
- TiN und TiCN erzeugen in Stahl i.d.R. die besten Oberflächen (in Al erzeugen blanke Werkzeuge oder CrN und DLC Schichten die besten Oberflächen)



Gewindebohrer mit TiCN-Schicht in AISI7



Gewindebohrer mit DLC-Schicht in AISI7

- Emulsion anreichern oder Öl anstelle von Emulsion verwenden
- Kühlschmierstoff direkt dem Funktionsbereich zuleiten
- Werkzeug früher durch ein neues ersetzen

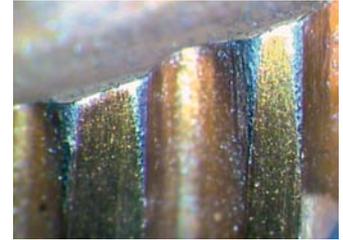
Einige der vorgeschlagenen Maßnahmen führen zwar zu einer Verbesserung der Oberflächenqualität, gehen aber mit einer Verschlechterung der Spanbeherrschung einher – was vor allem bei tiefen Grundlöchern problematisch ist. Auch hier gilt es wiederum einen Kompromiss unter Beachtung der Kundenanforderungen zu wählen.

Verschleiß:

Eine hohe Härte sorgt für einen hohen Widerstand gegen Verschleiß und damit für eine hohe Standzeit. Eine Steigerung der Härte führt i.d.R. aber zu reduzierter Zähigkeit.

Bei kleinen Abmessungen und hochspiraligen Werkzeugen ist eine hohe Zähigkeit erforderlich, da ansonsten Totalbrüche auftreten können.

Bei Gewindeformern, gerade genuteten und schwachspiralisierten Werkzeugen sowie bei der Bearbeitung von abrasiven Materialien mit geringer Festigkeit kann die Härte des Werkzeugs i.d.R. problemlos erhöht werden.

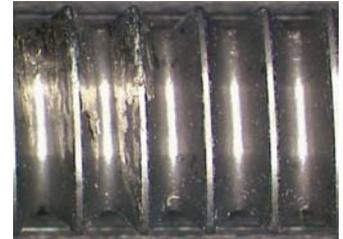


Beispiel für abrasiven Verschleiß

Aufschweißungen am Werkzeug:

In Abhängigkeit vom zu bearbeitenden Material sind als Problemlöser spezielle Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen zu empfehlen:

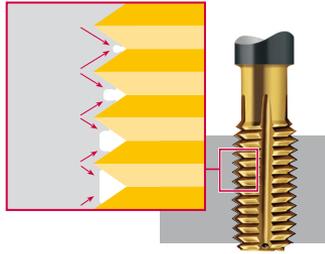
- Al und Al-Legierungen: blank, CrN, DLC, WC/C
- weiche Stähle und rostfreie Stähle: vap
- weiche Baustähle: CrN



Beispiel für Aufschweißungen

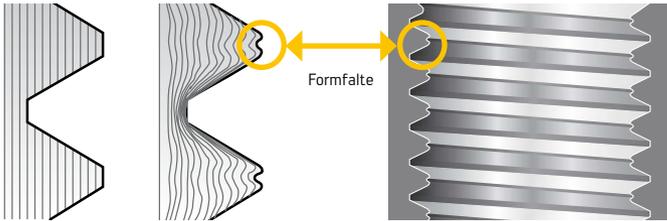
Verfahrensgrundlagen

Das Gewindeformen ist ein Verfahren zur spanlosen Herstellung von Innengewinden durch Kaltumformung. Der Werkstoff wird durch Materialverdrängung zum Fließen gebracht. Dadurch wird ein in sich verdichtetes Gewindefprofil erzeugt. Die beim Gewindebohren erforderlichen Spannungen können daher entfallen, was die Stabilität des Werkzeugs erhöht.



Durch Kaltverfestigung in Verbindung mit dem ununterbrochenen Faserverlauf von geformten Gewinden (vgl. Abbildung unten rechts) steigen sowohl die Ausreißfestigkeit bei statischer Belastung als auch die Dauerfestigkeit bei dynamischer

Belastung deutlich an. Demgegenüber steht der unterbrochene Faserverlauf, wie er beim Gewindebohren und Gewindefräsen vorliegt (vgl. Abbildung unten links).



Es ist zu beachten, dass bei geformten Gewinden im Bereich des Kammes stets eine Formfalte entsteht. Deshalb ist das Gewindeformen nicht in allen Branchen zulässig. Konkrete Einschränkungen sind nebenstehend aufgeführt.

- Nahrungsmittelindustrie und Medizintechnik (Keimbildung im Bereich der Formfalte)
- automatische Bauteilverschraubung (Verkleben der Schraube in der Formfalte möglich)
- im Flugzeugbau nicht zugelassen

Prädestiniert ist das Gewindeformen für die Massenfertigung – also zum Beispiel für die Automobilindustrie. Aufgrund der spanlosen Herstellung von Gewinden in Verbindung mit der hohen Werkzeugstabilität durch das geschlossene Polygonprofil lassen sich äußerst sichere Prozesse umsetzen. Darüber hinaus können im Vergleich zum Gewindebohren oftmals höhere Schnittparameter bei gleichzeitig höheren Standmengen realisiert werden. Im Vergleich zum Gewindebohren ist beim Gewindeformen ein ca. 30 % höheres Drehmoment erforderlich.

Anmerkung:

Beim Gewindeformen unterliegt die Kernlochbohrung im Vergleich zum Gewindebohren und Gewindefräsen einer engeren Tolerierung. Deshalb ist das Gewindeformen nicht in allen Fällen die wirtschaftlichere Alternative. Einzelfallbetrachtungen sind daher absolut erforderlich. Für Formeln zur Berechnung erforderlicher Kernlochbohrungen sei auf Seite 70 - 71 verwiesen.

Die verschiedenen Anschnittformen sind bei unterschiedlichen Einsatzfällen sinnvoll:

- Form D, 3,5 - 5,5 Gang: Durchgangsgewinde
- Form C, 2 - 3,5 Gang: Grundloch- und Durchgangsgewinde
- Form E, 1,5 - 2 Gang: Grundlochgewinde

Ungefähr 65 % aller in der Industrie zu bearbeitenden Werkstoffe sind formbar. Die Grenzen sind unten stehend aufgezeigt:

- spröde Werkstoffe mit Bruchdehnung kleiner als 7 % wie z.B.:
 - GG
 - Si-Legierungen mit Si-Anteil > 12 %
 - kurzspannende Cu-Zn-Legierungen
 - Duroplaste
- Gewindesteigung > 3 mm (besonders wirtschaftlich ist das Formen bei Steigungen $\leq 1,5$ mm)
- Zugfestigkeit > 1200 - 1400 N/mm²

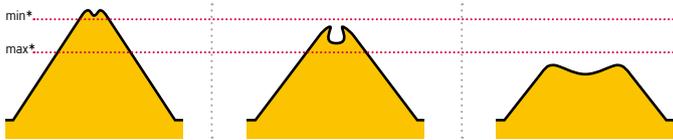
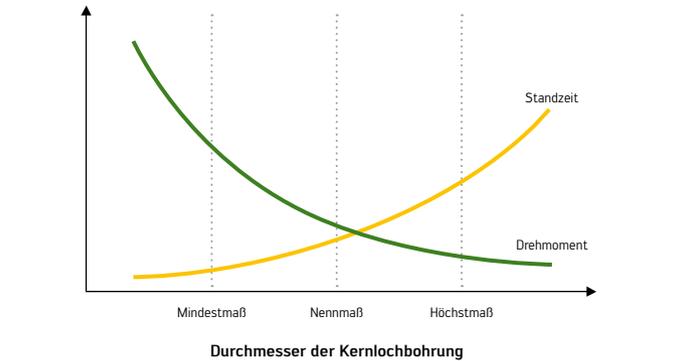
Typische Materialien für das Gewindeformen sind:

- Stahl
- rostfreier Stahl
- weiche Kupferlegierungen
- Al-Knetlegierungen

Einfluss des Vorbohrungsdurchmessers

Der vorgebohrte Durchmesser des Kernlochs hat großen Einfluss auf den Gewindeformprozess. Zum einen wird das erforderliche Drehmoment sowie die Standmenge des Gewindeformers

beeinflusst, zum anderen aber auch die Ausformung des Gewindes. Diese Zusammenhänge sind in der Grafik anschaulich dargestellt.



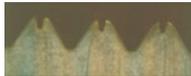
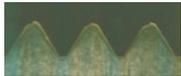
* Toleranz des erzeugten Kerndurchmessers nach DIN 13-50

Beispiel: M16 x 1,5-6H, 42CrMo4; Rm = 1100 N/mm²

Vorbohr-Ø: 15,22 mm
→ Kern-Ø: 14,37 mm

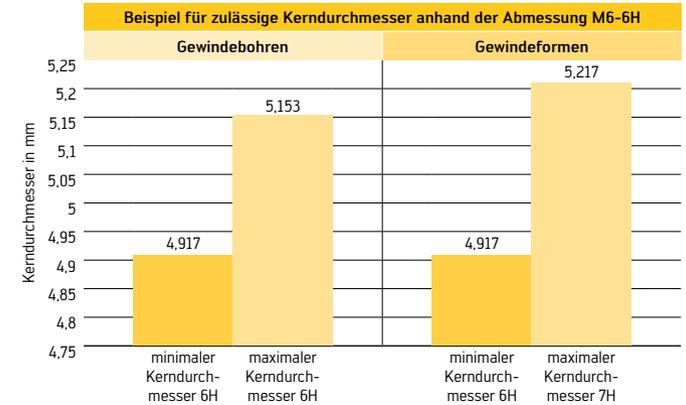
Vorbohr-Ø: 15,3 mm
→ Kern-Ø: 14,51 mm

Vorbohr-Ø: 15,34 mm
→ Kern-Ø: 14,62 mm



Für geformte Gewinde sind nach DIN 13-50 größere Kerndurchmesser als beim Gewindebohren zulässig. So ist etwa bei einem geformten Gewinde der Toleranzklasse 6H zwar der minimale Gewinde-Kerndurchmesser der Toleranzklasse 6H

einzuhalten, der maximale Gewinde-Kerndurchmesser ist jedoch an die Toleranzklasse 7H angelehnt. Dieser Zusammenhang ist in unten stehendem Diagramm anhand eines Beispiels dargestellt.



Praxistipp:

Vor allem in der Massenfertigung ist es lohnenswert, den Vorbohrdurchmesser zu optimieren. Hierbei gilt:
Der Vorbohrdurchmesser sollte so groß wie möglich und so klein wie nötig gewählt werden.

Je größer der Vorbohrdurchmesser, desto:

- höher die Standmenge des Werkzeugs
- leichter und sicherer der Formprozess
- geringer das erforderliche Drehmoment

Es ist darauf zu achten, dass die Lehrenhaltigkeit des Gewindes erhalten bleibt!

Empfohlene Vorbohrdurchmesser können der Tabelle auf Seite 116 entnommen werden.

Anmerkung:

Abhängigkeit von Vorbohrdurchmesser und Gewinde-Kerndurchmesser:

Wird das Kernloch um 0,04 mm größer gebohrt, so vergrößert sich der Gewinde-Kerndurchmesser (nach dem Formen) um 0,08 mm – also um den Faktor 2.

Modifikationen

| | grafische Darstellung | Wirkung | Nebeneffekt |
|---|---|---|---------------------------------|
| Anschnitt Form D |  | erhöhte Standmenge | geringfügig erhöhte Taktzeit |
| Anschnitt Form E |  | Gewinde bis annähernd zum Bohrungsgrund und geringfügig kürzere Taktzeit | sinkende Standmenge |
| radiale Kühlmittelaustritte |  | verbesserte Kühl- und Schmierbedingungen (für tiefe Gewinde und anspruchsvolle Materialien) | höhere Werkzeugkosten |
| Schmiernuten am Schaft |  | bessere Kühl- und Schmierbedingungen (nicht so effizient wie radiale Kühlmittelaustritte) | - |
| verlängerte Gesamtlänge |  | Bearbeitung schwer zugänglicher Stellen möglich | - |
| Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen |  | Abstimmung der Beschichtung auf den konkreten Anwendungsfall | eventuell höhere Werkzeugkosten |

Probleme und Lösungen

Grundsätzlich ist das Gewindeformen äußerst prozesssicher. Vor allem bei tiefen Grundlöchern in weichen oder zähen Materialien, bei denen beim Gewindebohren am ehesten Probleme mit der Spanabfuhr auftreten, kommen die Vorteile des Gewindeformens voll zum Tragen. Daher ist das Gewindeformen selbst als echter „Problemlöser“ zu betrachten. Es ist ein technisch schöner Zufall, dass gerade diejenigen Materialien, welche am häufigsten Spanprobleme verursachen – wie z.B. St52, 16MnCr5, C15 – gut geformt werden können.

Gwindeformen ist auch dann vorteilhaft, wenn eine sehr hohe Oberflächengüte gefordert wird. Die Rautiefen von geformten Gewinden sind i.d.R. wesentlich niedriger als die von geschnittenen.

Trotz der Vorteile, die durch das spanlose Herstellen von Gewinden entstehen, sind auch beim Gewindeformen gewisse Punkte zu beachten, um einen sicheren Prozess zu gewährleisten:

- der Vorbohrdurchmesser ist im Vergleich zum Gewindebohren enger toleriert (z.B. bei M6 ± 0,05 mm)
- es dürfen keine Späne vom Bohren im Kernloch zurückbleiben; dies kann durch Spiralbohrer mit Innenkühlung, bzw. durch Gewindeformer mit axialem Kühlmittelaustritt sichergestellt werden; im letzteren Fall sollte der Gewindeformer vor dem Formen für kurze Zeit über dem Kernloch positioniert werden
- das erforderliche Drehmoment ist beim Gewindeformen höher als beim Gewindebohren; gegebenenfalls ist daher der Futtereinstellwert zu erhöhen

- dem Kühlschmiermittel und der Kühlschmiermittelversorgung muss beim Formen eine höhere Aufmerksamkeit gewidmet werden; ein kurzzeitiger Trockenlauf hat größere Auswirkungen als beim Gewindeformen. Dies hängt damit zusammen, dass höhere Flächenpressungen auf die Formkanten einwirken, und dass die Schmiernuten beim Formen geringere Querschnitte haben als die Spannuten von Gewindebohrern. Aufgrund der kleineren Schmiernuten erhält der Gewindeformer eine höhere Stabilität, die aufgrund des erhöhten Drehmoments aber auch erforderlich ist. Größere Schmiernuten würden infolge der hohen Kraftereinwirkung leicht zu ausbrechenden Formkanten führen. Details zur korrekten Kühlung und Schmierung sind auf Seite 60 zu finden.
- der Reibwert verringert sich für jede Beschichtung mit zunehmender Temperatur; daher können höhere Formgeschwindigkeiten höhere Standmengen zur Folge haben
- namhafte Automobilhersteller fordern oftmals das Einhalten einer bestimmten Traghöhe des Gewindes; mit Standardwerkzeugen kann dies nicht immer prozesssicher gewährleistet werden

Anmerkung:

Walter Prototyp ist in der Lage, die Anforderungen der Automobilhersteller mit Sonderprofilen sicher umzusetzen.

Probleme und Lösungen

Grenzfälle des Gewindeformens:

Es fällt schwer klare Grenzen für das Formen anzugeben, da es immer Ausnahmen gibt, bei denen Grenzen erfolgreich überschritten wurden – oder aber erst gar nicht erreicht wurden.

– Zugfestigkeit

Je nach Werkstoff und Schmierbedingungen liegt die Grenze bei ca. 1200 N/mm². Es sind jedoch Fälle bekannt, in denen rostfreier Stahl mit HSS-E-Gwindeformern und das als schwererspanbar geltende Inconel 718 mit VHM-Gwindeformern gut geformt werden konnten. Beide Materialien hatten eine Festigkeit von ca. 1450 N/mm².

– Bruchdehnung

Im Allgemeinen wird ein Mindestwert für die Bruchdehnung von 7 % angegeben. Allerdings sind auch hier Fälle bekannt, in denen z.B. GGG-70 mit nur etwa 2 % Bruchdehnung geformt wurde. Augenscheinlich waren in diesem Fall jedoch winzige Risse in den Flanken erkennbar, welche vom Anwender akzeptiert wurden. In solchen Fällen sollte aber nicht mit einer erhöhten Festigkeit durch das Formen ausgegangen werden.

– Steigung und Gewindepfil

Bei Steigungen größer 3 bis 4 mm müssen die Grenzen für die oben genannten Zugfestigkeiten nach unten korrigiert werden. Gewindearten mit steilen Flanken (z.B. 30° bei Trapezgewinden) sind im Einzelfall zu untersuchen.

– Si-Gehalt

AlSi-Gusslegierungen können geformt werden, wenn der Silizium-Anteil nicht über 10 % liegt. Auch hier sind jedoch Fälle bekannt, in denen der Si-Gehalt bei 12-13 % lag. Allerdings sind dann

Abstriche in der Oberflächenqualität sowie bei der Ausreißfestigkeit des Gewindes hinzunehmen.

– Formfalte

Die unweigerlich auftretende Formfalte am Kamm des Gewindes kann dann zum Problem werden, wenn Schrauben automatisch eingedreht werden. Die ersten Gewindegänge fädeln sich bisweilen in die Formfalte ein. Auch bei Komponenten für die Lebensmittelindustrie und Medizintechnik werden geformte Gewinde vermieden, weil Verunreinigungen in der Formfalte durch Waschen nicht zuverlässig beseitigt werden können.

Anmerkung:

Walter Prototyp ist in der Lage, Sonderwerkzeuge auszulegen, bei welchen die Formfalte unter bestimmten Voraussetzungen geschlossen werden kann. Es sind Fälle bekannt, bei denen Kunden deshalb das Gewindeformen entgegen ihrer ursprünglichen Haltung zugelassen haben.



Gewindeprofil mit Standardformer



Gewindeprofil mit Sonderformer

– Luftfahrtindustrie

In der Luftfahrtindustrie ist das Gewindeformen nicht zugelassen. Gefügeveränderungen, wie sie beim Gewindeformen oder Schweißen auftreten, werden hier grundsätzlich vermieden.

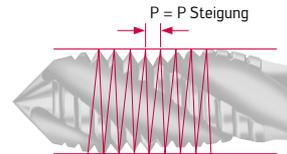
Verfahrensgrundlagen

Grundlegende Aspekte des Gewindefräsens:

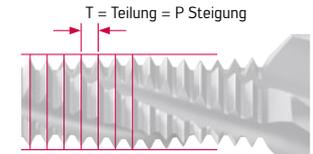
- Werkzeugmaschine mit 3D-CNC-Steuerung ist erforderlich (ist heute weitgehend Standard)
- konventionelles Gewindefräsen ist bis ca. 2,5 x D_N Tiefe möglich, Orbital-Gwindefräsen bis ca. 3 x D_N Tiefe

- höhere Werkzeugkosten im Vergleich zum Gewindebohren
- bei Gewinden mit kleiner Steigung und großer Abmessung ist das Gewindefräsen oftmals schneller als das Gewindebohren und -formen

Im Gegensatz zum Gewindebohren- und -formen wird beim Gewindefräsen die Steigung durch die CNC-Steuerung erzeugt.



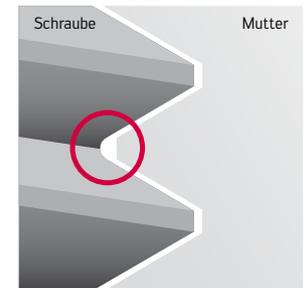
Gewindebohren: Die Gewindesteigung P wird vom Gewindebohrer/-former erzeugt.



Gwindefräsen: Die Gewindesteigung P wird von der CNC-Steuerung (Zirkularprogramm) erzeugt.

Theoretisch könnte ein Innengewindefräser auch zur Herstellung eines Außengewindes eingesetzt werden. Die so erzeugten Gewinde entsprechen allerdings nicht der Norm, da Außengewinde zur Minimierung der Kerbwirkung im Kern verrundet sind und der Außendurchmesser zu klein erzeugt wird.

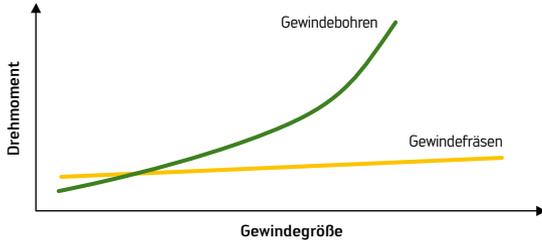
Da der Gewinde-Lehrring das Gewinde am Flankendurchmesser prüft, bleibt die Lehrenhaltigkeit jedoch erhalten.



Verfahrensgrundlagen

Mit zunehmender Gewindegröße steigt das erforderliche Drehmoment im Gegensatz zum Gewindebohren und -formen beim Gewindefräsen nur moderat an.

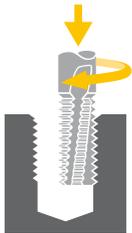
Daher können auch große Gewinde auf Maschinen mit geringerer Antriebsleistung gefertigt werden.



Das Gewindefräsen ist ein äußerst prozesssicheres Herstellungsverfahren. Es entstehen generell kurze Späne, weshalb die Spanabfuhr kein Problem darstellt. Für das Gewindefräsen sind

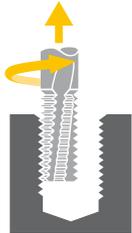
außerdem keine speziellen Spannfutter erforderlich – nahezu alle gängigen Fräsfutter lassen sich auch für das Gewindefräsen einsetzen.

Es ist zwischen zwei grundsätzlichen Fräsprozessen zu unterscheiden:



Gegenlaufräsen

(Beim Rechtsgewinde von oben nach unten) Das Gegenlaufräsen wird bevorzugt bei der Bearbeitung von gehärteten Materialien oder zur Abhilfe gegen konische Gewinde eingesetzt.



Gleichlaufräsen

(Beim Rechtsgewinde von unten nach oben) Gleichlaufräsen erhöht die Standzeit und beugt Rattermarken vor, begünstigt jedoch die Konizität von Gewinden.

Anmerkung:

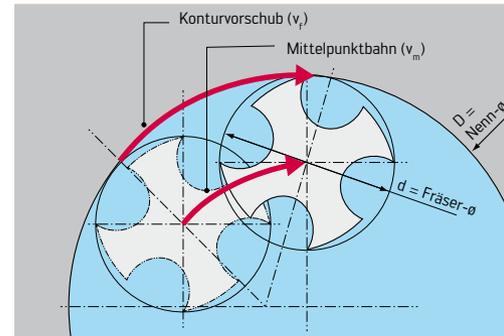
Walter GPS ermittelt automatisch den richtigen Prozess für den jeweiligen Bearbeitungsfall und beachtet dabei sowohl werkzeugspezifische als auch bearbeitungsspezifische Details.

Vorschubkorrektur

Da das Gewindefräsen auf einer Kreisbahn stattfindet, und so die Schneide einen größeren Weg als das Werkzeugzentrum zurücklegt, muss zwischen Konturvorschub und Werkzeugmittenvorschub unterschieden werden. Da der Werkzeugvorschub immer auf den Werkzeugmittelpunkt bezogen ist, muss der Fräsvorschub reduziert werden.

Anmerkung:

Beim Bolzengewindefräsen sind die Verhältnisse genau umgekehrt.



Walter GPS nimmt diese Reduktion bei der Erstellung des CNC-Programms automatisch vor. Manche CNC-Steuerungen reduzieren den Vorschub aus dem gleichen Grund ebenfalls automatisch. Die Reduzierung des Vorschubs auf der Kreisbahn muss dann im CNC-Programm mit einem entsprechenden G-Befehl deaktiviert werden. Ob die Maschine den Vorschub automatisch korrigiert, kann durch einen Vergleich der von GPS berechneten Zykluszeit mit der tatsächlichen Zykluszeit bestimmt werden.

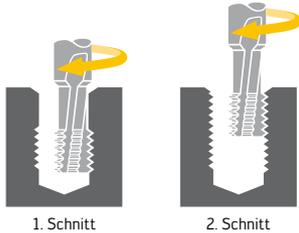
Praxistipp:

Um festzustellen, ob die Werkzeugmaschine den Vorschub automatisch korrigiert, kann das Programm beim Einfahren ohne Arbeitseingriff getestet werden. Ein Vergleich der tatsächlichen Zykluszeit mit der von Walter GPS ermittelten Zeit zeigt an, ob der Vorschub im CNC-Programm angepasst werden muss.

Verfahrensgrundlagen

Zur Reduzierung der auf das Werkzeug einwirkenden Radialkräfte können Schnittaufteilungen vorgenommen werden:

Axiale Schnittaufteilung

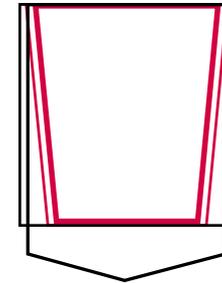


Anmerkung:

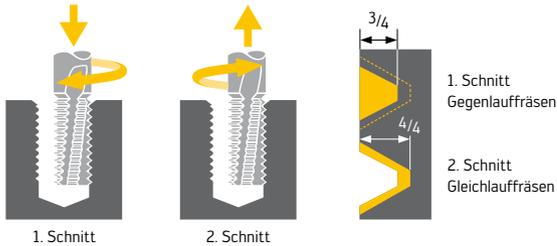
Bei der axialen Schnittaufteilung ist darauf zu achten, dass der Gewindefräser immer um ein Vielfaches der Steigung versetzt wird.

Aufgrund der Schnittkräfte ist es normal, dass ein Gewindefräser am Schaft weniger abgedrängt wird, als an der vorderen Schneidkante. Dies führt zu konischen Gewinden. Bei einem konventionellen Gewindefräser muss daher bei der Stahl-

bearbeitung pro mm Gewindetiefe mit einer Konizität von ungefähr 1/1000 mm gerechnet werden. Dies ist durch die auf den Gewindefräser einwirkenden Radialkräfte begründet.



Radiale Schnittaufteilung



Vorteile:

- größere Gewindetiefen herstellbar
- reduzierte Gefahr eines Werkzeugbruchs
- auch bei relativ labiler Aufspannung ist Gewindefräsen möglich
- wirkt konischen Gewinden entgegen

Nachteile:

- erhöhter Werkzeugverschleiß
- höhere Fertigungszeit

Um diesem physikalischen Gesetz entgegenzuwirken, ist die Geometrie von Gewindefräsern bereits leicht konisch ausgeführt. Bei erschwerten Bearbeitungsbedingungen kann es trotzdem erforderlich sein, Abhilfe durch eine der folgenden Maßnahmen zu schaffen:

- (mehrfache) radiale Schnittaufteilung
- alle radialen Schnitte im Gegenlauf ausführen
- am Ende des Prozesses einen Leerschnitt ohne zusätzliche Zustellung fahren

Anmerkung:

Alternativ können auch Orbitalgewindefräser (TMO) eingesetzt werden, welche zylindrische Gewinde bis zum Bohrungsgrund erzeugen.

Oben genannte Maßnahmen erhöhen zwar die Zykluszeit, sind in manchen Fällen jedoch unvermeidbar, falls die Lehnhaltigkeit der Gewinde anders nicht gewährleistet werden kann. Vor allem bei eng tolerierten Gewinden sowie bei schwierig zu bearbeitenden Materialien (wie z.B. Inconel) ist diese Konizität problematisch für die Lehnhaltigkeit der Gewinde.

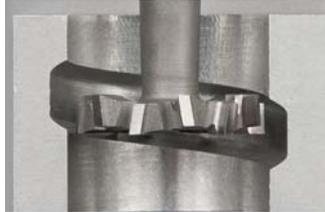
Profilverzerrung

Aufgrund des diagonalen Fräsens im Steigungswinkel wird das Gewindeprofil des Werkzeugs verzerrt auf das Bauteil

übertragen. Diese sogenannte Profilverzerrung ist unten stehend anhand eines anschaulichen Beispiels dargestellt.



Keine Steigung – keine Profilverzerrung



Steigung P = 12 – Profilverzerrung vorhanden

Anmerkung:

Je mehr sich der Fräserdurchmesser dem Gewinde- Nenndurchmesser annähert und je höher die Gewindesteigung, desto ausgeprägter ist die Profilverzerrung.

Um lehrenhaltige Gewinde zu erzeugen, sind folgende Regeln zu beachten:

Gewinde metrisch:

Fräserdurchmesser $\leq \frac{2}{3}$ x Gewinde- Nenndurchmesser

Gewinde metrisch fein:

Fräserdurchmesser $\leq \frac{3}{4}$ x Gewinde- Nenndurchmesser

Beispiel Profilverzerrung bei Gewinde M18 x 1,5

| Durchmesser Gewindefräser in mm | Flankenversatz durch Profilverzerrung in mm |
|---------------------------------|---|
| 16 | 0,0386 |
| 14 | 0,0167 |

Mit kleinen Gewindefräsern lassen sich theoretisch beliebig große Gewinde herstellen. Die Standmenge sinkt jedoch mit steigender Gewindesteigung, und auch die

Stabilität des Werkzeugs sowie die Länge des Schneideteils sind begrenzendere Faktoren.

Anmerkung:

Sondergewinde sowie Gewinde mit geringen Flankenwinkeln bedürfen aufgrund der Profilverzerrung einer Überprüfung hinsichtlich der technischen Machbarkeit.

CNC-Programmierung

CNC-Programmierung mit Walter GPS

Grundsätzlich wird empfohlen, das CNC-Programm mit Walter GPS zu erzeugen. Dies ist absolut sinnvoll, da GPS im Gegensatz zu vorgefertigten Maschinenzyklen die Stabilität des Werkzeugs einberechnet und bei etwaiger Überlastung des Werkzeugs eine Reduzierung der Schnittdaten oder eine radiale Schnittaufteilung vorsieht.

Anmerkung:

Es ist vorteilhaft, eine radiale Schnittaufteilung bei gleichbleibendem Zahnvorschub vorzunehmen, anstatt einen Schnitt zu wählen und den Zahnvorschub herabzusetzen. Bei einem zu geringen Zahnvorschub verschleißt die Schneide nämlich überproportional.

Walter GPS ermöglicht es, selbst unerfahrenen Anwendern ein Gewindefräseprogramm für 7 verschiedene Steuerungen sicher und einfach zu erstellen. Im Gegensatz zum Vorgänger CCS wurde die Handhabung deutlich erleichtert. Darüber hinaus wird automatisch die wirtschaftlichste Strategie zur Herstellung des Gewindes vorgeschlagen.

Jede Programmzeile ist mit Kommentaren versehen, so dass die Bewegungen der Maschine stets nachvollziehbar sind (verschiedene Sprachen wählbar). Untenstehend ein Beispiel für ein CNC-Programm zum Fräsen eines Innengewindes auf einer Steuerung nach DIN 66025.

| Comment | Code |
|---|--|
| Tool radius presetting | ,Tol. 6H: R=Rprg/-0.045 mm |
| Tool call in | 01 M6 T |
| Selection of working plane | 02 G90 G17 |
| Spindle on | 03 S5640 M3 |
| 2 mm above workpiece surface on centerline of thread | 04 G00 X0.000 Y0.000 Z2.000 |
| Start incremental programming | 05 G91 |
| Move to required depth on centerline of the predrilled hole | 06 G00 Z-17.375 |
| Set approach path for entry loop | 07 G41 G01 X0.000 Y3.750 F1450 |
| Move to the contour starting point | 08 G03 X0.000 Y-8.750 Z0.375 I0.000 J-4.375 F176 |
| Thread milling | 09 G03 X0.000 Y0.000 Z1.500 I0.000 J5.000 F363 |
| Move out of the contour | 10 G03 X0.000 Y8.750 Z0.375 I0.000 J4.375 |
| Reset to centerline | 11 G40 G01 X0.000 Y-3.750 |
| Retract from thread | 12 G00 Z15.125 |
| Start absolute programming | 13 G90 |

CNC-Programmierung

Der Programmerradius „Rprg.“

Der Programmerradius – abgekürzt Rprg. – stellt eine wichtige Größe für das Einrichten dar. Der Rprg. wird auf Basis des Flankendurchmessers des Gewindefräasers berechnet und ermöglicht das sofortige Herstellen lehrenhaltiger Gewinde. Das Herantasten an den Korrekturwert entfällt. Der Rprg. kann vom Schaft des Werkzeugs abgelesen werden und ist beim Rüsten der Maschine bei der Erstellung des CNC-Programms in die Werkzeugtabelle der CNC-Steuerung einzugeben.

Der Rprg. ist so definiert, dass bei der Verwendung im CNC-Programm rechnerisch das Kleinstmaß der Gewindetoleranz erreicht wird. Erstellt man das CNC-Programm mittels GPS, wird ein Korrekturmaß angezeigt, mit welchem die Toleranzmitte der gewählten Gewindetoleranz erreicht werden kann. Das Korrekturmaß muss vom Rprg. subtrahiert werden, anschließend ist der korrigierte Rprg. in die CNC-Steuerung einzugeben.



Im Laufe der Verwendung des Werkzeugs verschleifen die Schneidkanten, das Werkzeug wird stärker abgedrängt, und die Gewinde werden zu eng. Über die Reduktion des Rprg. kann dieser Verschleiß ausgeglichen werden – es werden weiterhin lehrenhaltige Gewinde erzeugt. Empfohlen werden Korrekturschritte in der Höhe von 0,01 mm. Bei kleinen Werkzeugen ist eine Korrektur des Rprg. im Vergleich zu größeren Werkzeugen nicht so oft möglich, da die Radialkräfte ansteigen und damit die Gefahr eines Werkzeugbruchs zunimmt. Sollen die Werkzeuge nachgeschliffen werden, empfiehlt es sich daher, diese nach 80 % der maximalen Standmenge auszutauschen.

Modifikationen

| grafische Darstellung | Modifikation | Effekt |
|-----------------------|---|--|
| | Senk- und Planstufe | Senkung und Planstufe in einem Werkzeug |
| | Kühlnuten am Schaft | gezielte Kühlung ohne Schwächung des Werkzeugquerschnitts im Schneidenbereich |
| | radiale Kühlmittelaustritte | gezielte Kühlung bei Durchgangsgewinden |
| | Gewindegänge entfernt | reduzierte Schnittkräfte aber längere Bearbeitungszeit, da zwei Umläufe erforderlich |
| | Entgratschneide | Entfernen des unvollständigen Gewindegangs am Gewindeeinlauf ohne zusätzlichen Arbeitsgang |
| | erstes Gewindeprofil stirnseitig verlängert | Anfasen der Kernlochbohrung |
| | Hals einschleifen | ermöglicht axiale Schnittaufteilungen – sinnvoll für tiefe Gewinde |

Probleme und Lösungen

| | | Problemstellung | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|------------------|---------------|------------------|
| | | Rattermarken | geringe Standzeit | Schneidkanten- ausbruch | konische Gewinde | Werkzeugbruch | Lehrenhaltigkeit |
| Schnittdaten/Strategie/Einstellungen | f_z in [mm/Zahn] | + | + | 🔍 | - | - | |
| | v_c in [m/min] | - | - | 🔍 | | 🔍 | |
| | Programmierung | | | 🔍 | | 🔍 | 🔍 |
| | Gleichlauf | ✓ | ✓ | | | | |
| | Gegenlauf | | | | ✓ | | ✓ |
| | Schnittaufteilung | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | Programmiererrad. [Rprg.] | | | | | | - |
| | Kühlung | | + | + | | | |
| Werkstück | Aufspannung | 🔍 | + | + | 🔍 | 🔍 | 🔍 |
| | Vorbohrdurchmesser | 🔍 | + | 🔍 | 🔍 | 🔍 | + |
| | Spanabfuhr | | + | + | | 🔍 | |
| Werkzeug | Stabilität/Geometrie | 🔍 | + | + | 🔍 | 🔍 | + |
| | Auskraglänge | - | - | - | - | - | - |
| | Drallwinkel | + | | | + | | |
| | Beschichtung | | 🔍 | | | | |
| | Rundlaufgenauigkeit | 🔍 | 🔍 | 🔍 | | 🔍 | 🔍 |

Legende:

🔍 überprüfen
 -reduzieren
 +verbessern/erhöhen
 ✓bevorzugt verwenden

TMO – Spezialisten für komplexe Aufgaben:

Werkzeuge der Familie TMO können oftmals als Problemlöser herangezogen werden. Etwa wenn tiefe Gewinde hergestellt werden müssen, gehärtete Materialien zu bearbeiten sind oder aber wenn konventionelle Gewindefräser konische Gewinde erzeugen. Nähere Informationen dazu auf Seite 36 und 102 - 105.

Konische Gewinde:

Erläuterungen und Lösungen zum Problem sind auf Seiten 102 - 105 zu finden.

Anmerkung:

Die Verwendung von Werkzeugen der Familie TMO ist eine technisch sehr gute Alternative, um zylindrische Gewinde zu erzeugen.

Kühlung und Schmierung:

Probleme, die durch Kühlung und Schmierung bedingt sind, sowie die entsprechenden Abhilfemaßnahmen sind auf Seite 59 beschrieben.

Hartbearbeitung:

- nur speziell für die Hartbearbeitung geeignete Werkzeuge verwenden (TMO HRC und Gewindefräser Hart 10)
- Bearbeitung möglichst im Gegenlauf (siehe Empfehlung Walter GPS)
- größten, erlaubten Vorbohrdurchmesser wählen
- bei Problemen mit der Zylindrizität von Gewinden einen Leerschnitt fahren oder Werkzeuge der Familie TMO HRC verwenden
- keinen Kühlschmierstoff verwenden, sondern die harten Späne mit Blasluft oder MMS aus der Bohrung entfernen

Formeln

Drehzahl

$$n \text{ [min}^{-1}\text{]} \qquad n = \frac{v_c \times 1000}{d_1 \times \pi} \qquad \text{[min}^{-1}\text{]}$$

Schnittgeschwindigkeit

$$v_c \text{ [m/min]} \qquad v_c = \frac{d_1 \times \pi \times n}{1000} \qquad \text{[m/min]}$$

Vorschubgeschwindigkeit

$$v_f \text{ [mm/min]} \qquad v_f = p \times n \qquad \text{[mm/min]}$$



Kerndurchmesser Gewindebohren und -fräsen

M Metrisches ISO Regelgewinde

| Kurzzeichen nach DIN 13 | Innengewinde-Kerndurchmesser (mm) | | Bohrer-Ø (mm) |
|----------------------------|--------------------------------------|--------|------------------|
| | 6H min | 6H max | |
| M 2 | 1,567 | 1,679 | 1,60 |
| M 2,5 | 2,013 | 2,138 | 2,05 |
| M 3 | 2,459 | 2,599 | 2,50 |
| M 4 | 3,242 | 3,422 | 3,30 |
| M 5 | 4,134 | 4,334 | 4,20 |
| M 6 | 4,917 | 5,153 | 5,00 |
| M 8 | 6,647 | 6,912 | 6,80 |
| M 10 | 8,376 | 8,676 | 8,50 |
| M 12 | 10,106 | 10,441 | 10,20 |
| M 14 | 11,835 | 12,210 | 12,00 |
| M 16 | 13,835 | 14,210 | 14,00 |
| M 18 | 15,294 | 15,744 | 15,50 |
| M 20 | 17,294 | 17,744 | 17,50 |
| M 24 | 20,752 | 21,252 | 21,00 |
| M 27 | 23,752 | 24,252 | 24,00 |
| M 30 | 26,211 | 26,771 | 26,50 |
| M 36 | 31,670 | 32,270 | 32,00 |
| M 42 | 37,129 | 37,799 | 37,50 |

MF Metrisches ISO Feingewinde

| Kurzzeichen nach DIN 13 | Innengewinde-Kerndurchmesser (mm) | | Bohrer-Ø (mm) |
|----------------------------|--------------------------------------|--------|------------------|
| | 6H min | 6H max | |
| M 6 x 0,75 | 5,188 | 5,378 | 5,25 |
| M 8 x 1 | 6,917 | 7,153 | 7,00 |
| M 10 x 1 | 8,917 | 9,153 | 9,00 |
| M 10 x 1,25 | 8,647 | 8,912 | 8,75 |
| M 12 x 1 | 10,917 | 11,153 | 11,00 |
| M 12 x 1,25 | 10,647 | 10,912 | 10,75 |
| M 12 x 1,5 | 10,376 | 10,676 | 10,50 |
| M 14 x 1,5 | 12,376 | 12,676 | 12,50 |
| M 16 x 1,5 | 14,376 | 14,676 | 14,50 |
| M 18 x 1,5 | 16,376 | 16,676 | 16,50 |
| M 20 x 1,5 | 18,376 | 18,676 | 18,50 |
| M 22 x 1,5 | 20,376 | 20,676 | 20,50 |

UNC Unified Coarse Gewinde

| Kurzzeichen nach ASME B 1.1 | Innengewinde-Kerndurchmesser (mm) | | Bohrer-Ø (mm) |
|--------------------------------|--------------------------------------|--------|------------------|
| | 2B min | 2B max | |
| Nr. 2-56 | 1,694 | 1,872 | 1,85 |
| Nr. 4-40 | 2,156 | 2,385 | 2,35 |
| Nr. 6-32 | 2,642 | 2,896 | 2,85 |
| Nr. 8-32 | 3,302 | 3,531 | 3,50 |
| Nr. 10-24 | 3,683 | 3,962 | 3,90 |
| $\frac{1}{4}$ -20 | 4,976 | 5,268 | 5,10 |
| $\frac{5}{16}$ -18 | 6,411 | 6,734 | 6,60 |
| $\frac{3}{8}$ -16 | 7,805 | 8,164 | 8,00 |
| $\frac{1}{2}$ -13 | 10,584 | 11,013 | 10,80 |
| $\frac{5}{8}$ -11 | 13,376 | 13,868 | 13,50 |
| $\frac{3}{4}$ -10 | 16,299 | 16,833 | 16,50 |

UNF Unified Fine Gewinde

| Kurzzeichen nach ASME B 1.1 | Innengewinde-Kerndurchmesser (mm) | | Bohrer-Ø (mm) |
|--------------------------------|--------------------------------------|--------|------------------|
| | 2B min | 2B max | |
| Nr. 4-48 | 2,271 | 2,459 | 2,40 |
| Nr. 6-40 | 2,819 | 3,023 | 2,95 |
| Nr. 8-36 | 3,404 | 3,607 | 3,50 |
| Nr. 10-32 | 3,962 | 4,166 | 4,10 |
| $\frac{1}{4}$ -28 | 5,367 | 5,580 | 5,50 |
| $\frac{5}{16}$ -24 | 6,792 | 7,038 | 6,90 |
| $\frac{3}{8}$ -24 | 8,379 | 8,626 | 8,50 |
| $\frac{1}{2}$ -20 | 11,326 | 11,618 | 11,50 |
| $\frac{5}{8}$ -18 | 14,348 | 14,671 | 14,50 |

G Rohrgewinde

| Kurzzeichen nach DIN EN ISO 228 | Innengewinde-Kerndurchmesser (mm) | | Bohrer-Ø (mm) |
|------------------------------------|--------------------------------------|--------|------------------|
| | min | max | |
| G $\frac{1}{8}$ | 8,566 | 8,848 | 8,80 |
| G $\frac{1}{4}$ | 11,445 | 11,890 | 11,80 |
| G $\frac{3}{8}$ | 14,950 | 15,395 | 15,25 |
| G $\frac{1}{2}$ | 18,632 | 19,173 | 19,00 |
| G $\frac{5}{8}$ | 20,588 | 21,129 | 21,00 |
| G $\frac{3}{4}$ | 24,118 | 24,659 | 24,50 |
| G 1 | 30,292 | 30,932 | 30,75 |

Kerndurchmesser Gewindeformen

M Metrisches ISO Regelgewinde, Toleranz 6H

| Kurzzeichen nach DIN 13 | Innengewinde-Kerndurchmesser nach DIN 13-50 (mm) | | Vorbohr-Ø (mm) |
|----------------------------|---|--------|-------------------|
| | 6H min | 7H max | |
| M 1,6 | 1,221 | - | 1,45 |
| M 2 | 1,567 | 1,707 | 1,82 |
| M 2,5 | 2,013 | 2,173 | 2,30 |
| M 3 | 2,459 | 2,639 | 2,80 |
| M 3,5 | 2,850 | 3,050 | 3,25 |
| M 4 | 3,242 | 3,466 | 3,70 |
| M 5 | 4,134 | 4,384 | 4,65 |
| M 6 | 4,917 | 5,217 | 5,55 |
| M 8 | 6,647 | 6,982 | 7,40 |
| M 10 | 8,376 | 8,751 | 9,30 |
| M 12 | 10,106 | 10,106 | 11,20 |
| M 14 | 11,835 | 12,310 | 13,10 |
| M 16 | 13,835 | 14,310 | 15,10 |

MF Metrisches ISO Feingewinde, Toleranz 6H

| Kurzzeichen nach DIN 13 | Innengewinde-Kerndurchmesser nach DIN 13-50 (mm) | | Vorbohr-Ø (mm) |
|----------------------------|---|--------|-------------------|
| | 6H min | 7H max | |
| M 6 x 0,75 | 5,188 | 5,424 | 5,65 |
| M 8 x 1 | 6,917 | 7,217 | 7,55 |
| M 10 x 1 | 8,917 | 9,217 | 9,55 |
| M 12 x 1 | 10,917 | 11,217 | 11,55 |
| M 12 x 1,5 | 10,376 | 10,751 | 11,30 |
| M 14 x 1,5 | 12,376 | 12,751 | 13,30 |
| M 16 x 1,5 | 14,376 | 14,751 | 15,30 |

Härtevergleichstabelle

| Zugfestigkeit Rm in N/mm ² | Brinellhärte HB | Rockwellhärte HRC | Vickershärte HV | PSI |
|--|-----------------|----------------------|-----------------|-----|
| 150 | 50 | | 50 | 22 |
| 200 | 60 | | 60 | 29 |
| 250 | 80 | | 80 | 37 |
| 300 | 90 | | 95 | 43 |
| 350 | 100 | | 110 | 50 |
| 400 | 120 | | 125 | 58 |
| 450 | 130 | | 140 | 66 |
| 500 | 150 | | 155 | 73 |
| 550 | 165 | | 170 | 79 |
| 600 | 175 | | 185 | 85 |
| 650 | 190 | | 200 | 92 |
| 700 | 200 | | 220 | 98 |
| 750 | 215 | | 235 | 105 |
| 800 | 230 | 22 | 250 | 112 |
| 850 | 250 | 25 | 265 | 120 |
| 900 | 270 | 27 | 280 | 128 |
| 950 | 280 | 29 | 295 | 135 |
| 1000 | 300 | 31 | 310 | 143 |
| 1050 | 310 | 33 | 325 | 150 |
| 1100 | 320 | 34 | 340 | 158 |
| 1150 | 340 | 36 | 360 | 164 |
| 1200 | 350 | 38 | 375 | 170 |
| 1250 | 370 | 40 | 390 | 177 |
| 1300 | 380 | 41 | 405 | 185 |
| 1350 | 400 | 43 | 420 | 192 |
| 1400 | 410 | 44 | 435 | 200 |
| 1450 | 430 | 45 | 450 | 207 |
| 1500 | 440 | 46 | 465 | 214 |
| 1550 | 450 | 48 | 480 | 221 |
| 1600 | 470 | 49 | 495 | 228 |
| | | 51 | 530 | 247 |
| | | 53 | 560 | 265 |
| | | 55 | 595 | 283 |
| | | 57 | 635 | |
| | | 59 | 680 | |
| | | 61 | 720 | |
| | | 63 | 770 | |
| | | 64 | 800 | |
| | | 65 | 830 | |
| | | 66 | 870 | |
| | | 67 | 900 | |
| | | 68 | 940 | |
| | | 69 | 980 | |

Drehmoment-Einstellung von Gewindeschneidfuttern

Richtwerte für Drehmoment-Einstellung von Gewindeschneidfuttern

| Gewindeart | Abmessung [mm] | Steigung [mm] | Einstellwert Drehmoment Gewindeschneiden [Nm] | Bruchmoment Gewindebohrer [Nm] | Einstellwert Drehmoment Gewindeformen [Nm] |
|------------|----------------|---------------|---|--------------------------------|--|
| M, MF | 1 | ≤ 0,25 | 0,03* | 0,03 | 0,07* |
| M, MF | 1,2 | ≤ 0,25 | 0,07* | 0,07 | 0,12 |
| M, MF | 1,4 | ≤ 0,3 | 0,1* | 0,1 | 0,16 |
| M, MF | 1,6 | ≤ 0,35 | 0,15* | 0,15 | 0,25 |
| M, MF | 1,8 | ≤ 0,35 | 0,24* | 0,24 | 0,3 |
| M, MF | 2 | ≤ 0,4 | 0,3* | 0,3 | 0,4 |
| M, MF | 2,5 | ≤ 0,45 | 0,5 | 0,6 | 0,6 |
| M, MF | 3 | ≤ 0,5 | 0,7 | 1 | 1 |
| M, MF | 3,5 | ≤ 0,6 | 1,2 | 1,6 | 1,5 |
| M, MF | 4 | ≤ 0,7 | 1,7 | 2,3 | 2,4 |
| M, MF | 5 | ≤ 0,8 | 3 | 5 | 4 |
| M, MF | 6 | ≤ 1,0 | 5,5 | 8,1 | 8 |
| M, MF | 8 | ≤ 1,25 | 12 | 20 | 17 |
| M, MF | 10 | ≤ 1,5 | 20 | 41 | 30 |
| M, MF | 12 | ≤ 1,75 | 35 | 70 | 50 |
| M, MF | 14 | ≤ 2,0 | 50 | 130 | 75 |
| M, MF | 16 | ≤ 2,0 | 60 | 160 | 85 |
| M, MF | 18 | ≤ 2,5 | 100 | 260 | 150 |
| M, MF | 20 | ≤ 2,5 | 110 | 390 | 160 |
| M, MF | 22 | ≤ 2,5 | 125 | 450 | 170 |
| M, MF | 24 | ≤ 3,0 | 190 | 550 | 260 |
| M, MF | 27 | ≤ 3,0 | 220 | 850 | 290 |
| M, MF | 30 | ≤ 3,5 | 320 | 1100 | 430 |
| M, MF | 33 | ≤ 3,5 | 350 | 1600 | 470 |
| M, MF | 36 | ≤ 4,0 | 460 | 2300 | 650 |
| M, MF | 39 | ≤ 4,0 | 500 | | |
| M, MF | 42 | ≤ 4,5 | 700 | | |
| M, MF | 45 | ≤ 4,5 | 750 | | |
| M, MF | 48 | ≤ 5,0 | 900 | | |
| M, MF | 52 | ≤ 5,0 | 1000 | | |
| M, MF | 56 | ≤ 5,5 | 1300 | | |

Basis für oben stehende Tabelle: Material 42CrMo4, Zugfestigkeit 1000 N/mm², Gewindetiefe 1,5 x D_N. Mit Hilfe der Umrechnungstabelle können die Werte auf andere Werkstoffe übertragen werden.

Bei mit * gekennzeichnete Abmessungen übersteigt das zur Herstellung eines 1,5 x D_N tiefen Gewindes erforderliche Drehmoment das Bruchmoment des Werkzeugs. Abhilfe: Fertigung des Gewindes in mehreren Arbeitsgängen.

Umrechnung für andere Werkstoffe

| Werkstoff | Faktor |
|------------------------------|--------|
| Stahl weich | 0,7 |
| Stahl 1200 N/mm ² | 1,2 |
| Stahl 1600 N/mm ² | 1,4 |
| rostfreier Stahl | 1,3 |
| GG/GGG | 0,6 |
| Aluminium/Kupfer | 0,4 |
| Ti-Legierungen | 1,1 |
| Ni-Legierungen | 1,4 |

Die Tabelle dient zur Drehmoment-Einstellung von Gewindeschneidfuttern, sofern diese einstellbar sind. Wird das Drehmoment zu hoch eingestellt, riskiert man Werkzeugbruch. Bei zu niedriger Einstellung kann das Werkzeug während der Bearbeitung stecken bleiben – die Maschine läuft aber weiter. Wenn dann der Druckausgleich nicht ausreicht, wird das Werkzeug zerstört und die Maschine kann beschädigt werden.

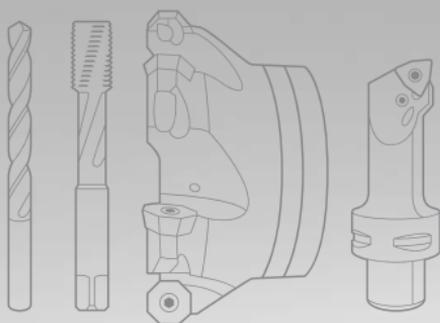
Walter AG

Derendinger Straße 53, 72072 Tübingen
Postfach 2049, 72010 Tübingen
Deutschland

www.walter-tools.com

www.facebook.com/waltertools

www.youtube.com/waltertools



Walter Deutschland GmbH

Frankfurt, Deutschland

+49 (0) 69 78902-100, service.de@walter-tools.com

Walter (Schweiz) AG

Solothurn, Schweiz

+41 (0) 32 617 40 72, service.ch@walter-tools.com

Walter Austria GmbH

Wien, Österreich

+43 (1) 5127300-0, service.at@walter-tools.com
