

Abrichten mit Diamanträdern

# Abrichtpotenziale genutzt beim Zahnrad-Wälzschleifen

Dass ein Abrichtvorgang mit diamantbelegtem Abrichtrad gegenüber dem klassischen Abrichten wirtschaftliche Vorteile hat, lässt sich nicht nur kinematisch belegen, sondern auch anhand aktueller Maschinenkonzepte.

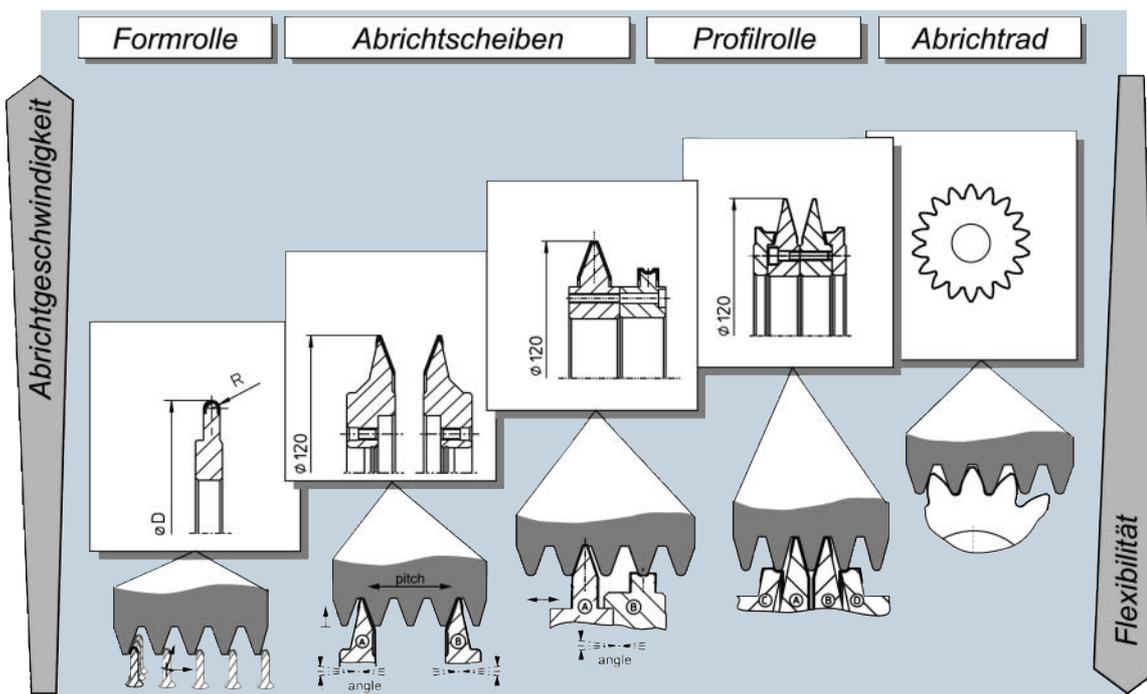
VON ANTOINE TÜRICH

→ Zahnräder gehören im Fahrzeuggetriebebau nach wie vor zu den wichtigsten Maschinenelementen und dienen der Momenten- und Drehzahlwandlung zwischen dem Motor und den Fahrzeugrädern. Stetig steigende Leistungen der Motoren sowie der zu übertragenden Drehmomente stellen dabei erhebliche Anforderungen an das Getriebe und die darin verbauten Zahnräder. Der Hartfeinbearbeitung der in solchen Getrieben verwendeten Zahnräder kommt demnach als letztem quali-

tätsbestimmenden Fertigungsschritt in der Prozesskette in zunehmendem Maße eine wichtige Bedeutung zu. Ein Verfahren, das diesen Anforderungen hinsichtlich Qualität und Wirtschaftlichkeit gerecht wird, ist das kontinuierliche Wälzschleifen.

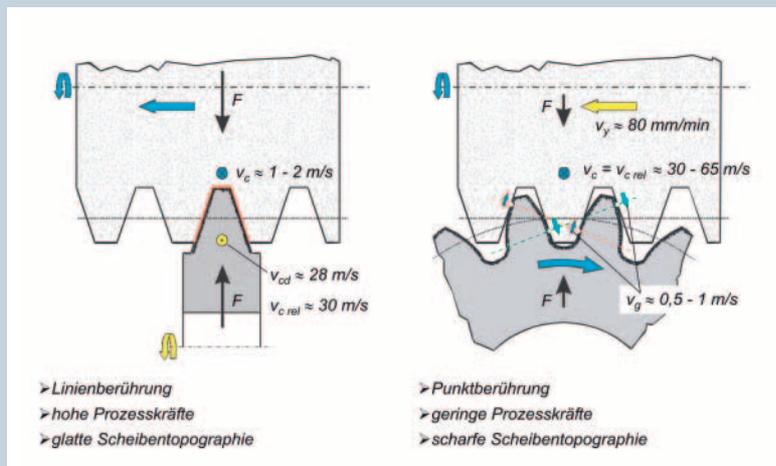
Das kontinuierliche Wälzschleifen gehört zu den generierenden Verfahren und arbeitet mit zylinderförmigen Schleifschnecken, die in ihrem Normalschnitt einem Zahnstangenprofil beziehungsweise einem Bezugsprofil entsprechen. Die Qualität der gefertigten Zahnräder hängt neben den gewählten Bearbeitungsparametern in entscheidender Weise von der

Profilgenauigkeit der Schleifschnecke beim Abrichtprozess ab. Das Abrichten geschieht üblicherweise innerhalb der Maschine mit speziellen Profilvorrichtungen und ist mit einem Gewindedrehprozess vergleichbar. Die Drehzahl der Schleifschnecke muss dabei mit der axialen Vorschubbewegung des Profilierwerkzeugs entsprechend der Axialsteigung der Schnecke synchronisiert werden [1]. Dies realisiert man über eine elektronische Kopplung der entsprechenden NC-Achsen. Als Profilierwerkzeuge stehen eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme zur Verfügung, die, wie in Bild 1 dargestellt,

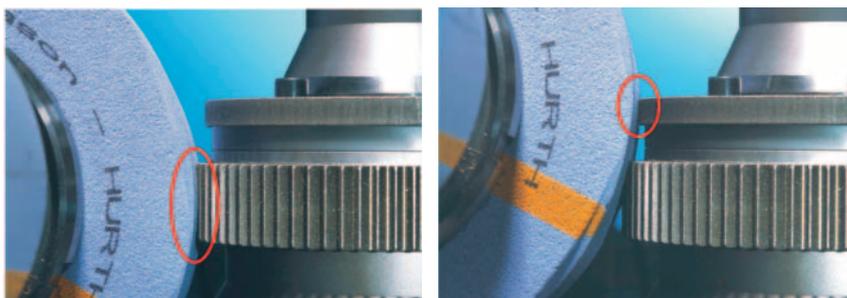


1 Vieles ist möglich: Abrichtsysteme für das kontinuierliche Wälzschleifen [2]

## → Technologischer Vergleich der Abrichtverfahren



**2** Links im Bild wird mit Abrichtrolle abgerichtet, während rechts das Abrichten mit Abrichtzahnrad zu sehen ist.  $F$  Bearbeitungskraft,  $v_c$  Schnittgeschwindigkeit,  $v_{cd}$  Schnittgeschwindigkeit Abrichtwerkzeug,  $v_{c,rel}$  Relativgeschwindigkeit,  $v_g$  Geschwindigkeitskomponente in Profilrichtung,  $v_y$  Vorschubgeschwindigkeit



**3** Wirtschaftlich: Abrichten der Flanken (links) und des Kopfes einer zylindrischen Schleifscheibe mit einem Abrichtzahnrad

hinsichtlich Abrichtgeschwindigkeit und Flexibilität gruppiert werden [2].

### Wahl des Abrichtverfahrens je nach Anforderungsprofil

Beim Abrichten unterscheidet man zwischen Formrollen, Abrichtscheiben und Profilrollen (konventionelle Systeme) sowie Abrichtzahnradern (neue Technologie), die in der genannten Reihenfolge in ihrer Flexibilität hinsichtlich Profilmodifikationen abnehmen, hingegen in ihrer Abrichtgeschwindigkeit und somit der Wirtschaftlichkeit zunehmen [2]. Ein entscheidender Nachteil der konventionellen Systeme, die nach dem Gewindedrehprinzip arbeiten, ist die Tatsache, dass die Abrichtzeit mit zunehmender Gangzahl zunimmt, weil jeder Gang nacheinander einzeln abgerichtet wird. Der Zeitvorteil, der sich beim Schleifen mit mehrgängigen Schne-

cken erzielen lässt, wird somit durch die zunehmende anteilige Abrichtzeit zum Teil wieder aufgezehrt. Ferner können die ständigen Teilvorgänge zu Teilungsfehlern zwischen den einzelnen Gängen und somit zu Genauigkeitsproblemen führen.

Vollkommen unabhängig von der Anzahl der zu profilierenden Gänge arbeitet hingegen das Abrichten mit einem Abrichtzahnrad. Die Grundidee besteht darin, das Erzeugungsprinzip ›Schnecke bearbeitet Zahnrad‹ umzukehren. Setzt man anstelle eines normalen Zahnrad ein mit Diamanten belegtes Meisterrad ein, so wird beim Abwälzen beider Partner das entsprechende zahnstangenförmige Bezugsprofil im Normalschnitt der Schnecke erzeugt. Abrichtzahnrad und Schleifscheibe stehen gemäß ihrer Steigungs- oder Schrägungswinkel im erforderlichen Achsabstand  $A$  unter gekreuzten Achsen zueinan-

der. Die Erzeugung des Bezugsprofils findet in der gemeinsamen Arbeitsebene, dem Normalschnitt, statt. Während die Schleifscheibe mit einer vorgegebenen Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  rotiert, folgt das Abrichtzahnrad im der Abwälzung entsprechenden Übersetzungsverhältnis. Um die gesamte Schneckenbreite zu bearbeiten, ist zudem eine Bewegung in axialer Richtung entlang der Schnecke erforderlich.

### Abrichtzahnrad ermöglicht beliebig hohe Geschwindigkeit

Aus der Kinematik des Abrichtens mit Abrichtzahnrad, die der beim eigentlichen Bearbeitungsprozess sehr ähnlich ist, ergibt sich ein weiterer entscheidender Vorteil dieses Verfahrens. Wird bei den konventionellen Abrichtsystemen die Drehzahl der Schleifscheibe von der maximalen Vorschubgeschwindigkeit  $v_y$  des Abrichtwerkzeugs entlang der Schneckenachse begrenzt (blauer Pfeil Bild 2 links), ist das beim Abrichten mit Abrichtzahnrad nicht der Fall. Die Abrichtdrehzahl kann hierbei innerhalb des zur Verfügung stehenden Drehzahlbereiches der Antriebe beliebig hoch gewählt werden und entspricht üblicherweise der bei der Bearbeitung eingesetzten Schnittgeschwindigkeit zwischen 30 und 65 m/s. Beim konventionellen Abrichten hingegen wird nur eine Schneckenrotationsgeschwindigkeit bis 2 m/s erreicht.

Dieser erhebliche Drehzahlunterschied der Schleifscheibe beim Abrichten und Bearbeiten wird als Nachteil gesehen, weil die Ausdehnung der Schnecke infolge der Fliehkräfte sowie der Wuchtzustand vollkommen verschieden sind. Die für den Werkstoffabtrag wichtige Relativgeschwindigkeit  $v_{c,rel}$  zwischen den Diamantkörnern des jeweiligen Abrichtwerkzeugs sowie den Schneidkörnern der Schleifscheibe bewegt sich bei beiden Verfahren hingegen in vergleichbarer Größenordnung. Beim Abrichten mit Abrichtzahnrad wird diese tangential zum Schneckenumfang orientierte relative Schnittgeschwindigkeit  $v_{c,rel}$  >>>

#### i HERSTELLER

Gleason-Hurth Maschinen und  
Werkzeuge GmbH, 80809 München  
Tel. 089/3 54 01-4 35  
Fax 089/3 54 01-4 16  
→ [www.gleason.com](http://www.gleason.com)

»» zusätzlich durch eine aus der Abwälzung resultierende und senkrecht dazu stehende Geschwindigkeitskomponente  $v_g$  in Profiltrichtung überlagert. Dieses so genannte Höhengleiten sowie der vorliegende Punktkontakt erzeugen eine insgesamt schneidfreudigere Scheibentopografie als beim herkömmlichen Abrichten und führen damit zu verlängerten Abrichtintervallen. Ein weiterer wesentlicher Unterschied besteht darin, dass es sich beim konventionellen Abrichten mit Rollen oder Scheiben um ein profilierendes Verfahren mit Linienberührung und beim Abrichten mit Abrichtrad um ein generierendes Prinzip mit Punktberührung handelt. Dies wiederum bedingt geringere Prozesskräfte beim Abrichten mit Abrichtrad und erlaubt damit höhere Abrichtzustellungen pro Hub, was sich letztendlich in der Wirtschaftlichkeit positiv bemerkbar macht.

### Das Abrichtrad kann auch geradzahnt ausgeführt sein

Bild 3 zeigt ein im Eingriff befindliches Abrichtrad sowie die dazugehörige Kopfrolle zum Abrichten der Flanken und des Außendurchmessers einer zylindrischen Schleifschnecke. Das Abrichtrad muss nicht unbedingt der Geometrie des zu bearbeitenden Werkstücks entsprechen, sondern nur dasselbe Bezugsprofil aufweisen. Somit kann dieses (siehe Bild) auch geradzahnt ausgeführt sein, was zum einen in der Herstellung und Diamantbelegung einfacher ist und zum anderen die größtmögliche Zahnkopfstärke und somit Stabilität aufweist. Profilmodifikationen des zu bearbeitenden Werkstücks wie Balligkeiten, Kopf- oder Fußrücknahmen müssen – wie bei konventionellen Abrichtwerkzeugen – entsprechend im Diarad hinterlegt sein. Somit kann ein Abrichtrad analog zu einem Wälzfräser für all diejenigen Werkstücke verwendet werden, die dasselbe Bezugsprofil aufweisen.

Die gewünschten Flankenlinienmodifikationen des zu bearbeitenden Werkstücks werden beim kontinuierlichen Wälzschleifen ausschließlich über die Maschinenkinematik erzeugt. Das Abrichtrad selbst hat deshalb keinerlei Flankenlinienmodifikationen und kann über der gesamten Breite zum Abrichten genutzt werden.

Ein Abrichtzyklus besteht generell aus zwei Vorgängen: dem Abrichten der Flanken

und dem Abrichten des Außendurchmessers der Schleifschnecke. Auf Grund der beschriebenen Vorteile der Punktberührung und der niedrigeren Prozesskräfte lässt sich das Abrichtaufmaß der Schnecke in nur ein bis zwei Hüben gegenüber sechs bis acht Hüben beim klassischen Abrichten abtragen und erfolgt somit erheblich schneller. Zudem gelangt beim Flankenabrichten je nach Zustellung nur ein kleiner Breitenanteil des Abrichtrades in Kontakt. Ist dieser Bereich verschlissen, kann ähnlich wie beim Schleifen durch Shiften in Axialrichtung ein neuer ungenutzter Breitenbereich des Abrichtrades verwendet werden. Durch dieses Versetzen lässt sich die Standzeit des Werkzeugs erheblich steigern und liegt in der Größenordnung von 1000 Abrichtungen.

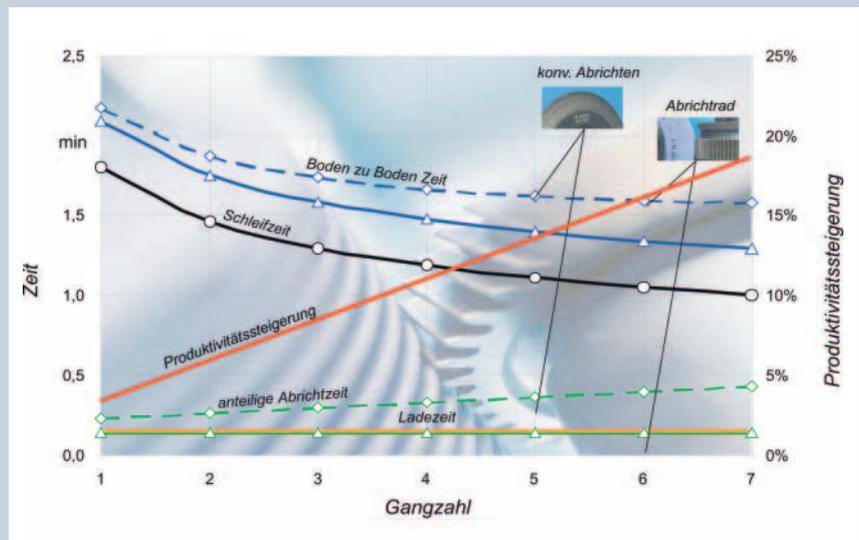
Sind die Flanken der Schnecke abgerichtet, ist es nötig, den Außendurchmesser um denselben radialen Betrag zurückzusetzen. Hierzu verwendet man die integrierte zylindrische Kopfrolle. Um das gesamte Werkzeug so kompakt wie möglich zu gestalten, ist diese so dicht am Abrichtrad positioniert, dass die Gänge der Schnecke während des Kopfabrichtens noch durch die Zahnluken verlaufen, ohne diese zu berühren. Um dies zu gewährleisten, wird beim Kopfabrichten mit der-

selben Wälzkopplung wie beim Flankenabrichten gefahren.

### Boden-zu-Boden-Zeit verdeutlicht die Vorteile

Die Wirtschaftlichkeit des Abrichtens mit diamantbelegtem Abrichtrad gegenüber dem klassischen Abrichten lässt sich sehr einfach anhand der Boden-zu-Boden-Zeit

#### → Wirtschaftlichkeitsdarstellung des Abrichtens



4 Überzeugend: Zykluszeitvergleich am Beispiel eines Achsantriebsrads



5 Praktische Umsetzung: Diese aktuelle Wälzschleifmaschine ›Gleason 245TWG‹ für Werkstücke von 10 bis 245 mm Durchmesser mit einem Modul von 0,5 bis 4 mm richtet das Werkzeug nach dem neuen Verfahren ab



**6** Im Eingriff: Das Diamant-Abrichttrad beim Konditionieren der Schleifschnecke im Arbeitsraum der ›245TWG‹. Das Rad ist in die Spannvorrichtung des Werkstücks integriert

belegen (Bild 4). Sie setzt sich zusammen aus der eigentlichen Schleifzeit, der Ladezeit sowie der anteiligen Abrichtzeit. Die Schleifzeit reduziert sich mit zunehmender Gangzahl der Schleifschnecke und hat prinzipiell einen asymptotischen Verlauf. Die Ladezeit ist von der Gangzahl der Schnecke und dem Abrichtverfahren vollkommen unabhängig. Entscheidend ist die anteilige Abrichtzeit. Diese ist der Quotient aus der eigentlichen Abrichtzeit und der Anzahl an Teilen zwischen zwei Abrichtzyklen. Wie oben erläutert, nimmt beim Abrichten mit Abrichttrad die Abrichtzeit mit steigender Gangzahl nicht zu, sondern bleibt auf einem konstanten Niveau. Demgegenüber nimmt beim konventionellen Abrichten die anteilige Abrichtzeit mit steigender Gangzahl stetig zu. In Summe führt das zu einer Produktivitätssteigerung, die umso stärker ausfällt, je höher die verwendete Gangzahl ist. Diese kann beim Einsatz einer siebengängigen Schnecke bis zu 18 Prozent im Vergleich zum konventionellen Abrichten betragen. Somit ist dieses Verfahren besonders zum Schleifen mit hochgängigen Schnecken prädestiniert. Die Zeitvorteile, die sich hierdurch beim Schleifen ergeben, lassen sich mit einem diamantbelegten Abricht-

rad voll ausschöpfen, wohingegen beim konventionellen Abrichten ein gewisser Zeitanteil von der steigenden Abrichtzeit aufgezehrt wird.

### Für das Abrichten sind keine Zusatzachsen erforderlich

Die Umsetzung dieses neuen Abrichtverfahrens wurde erstmals auf einer Wälzschleifmaschine des Typs ›245TWG‹ realisiert. Bild 5 zeigt die Gesamtmaschine, Bild 6 ihren Arbeitsraum. Das Abrichttrad wurde in die Aufspannvorrichtung des zu bearbeitenden Werkstücks integriert, wodurch sich viele Vorteile in Bezug auf das Handling und die Wiederholgenauigkeit ergeben. Das Abrichttrad wird beim Rüstvorgang einmal auf die Vorrichtung montiert sowie gegenüber der Schnecke indiziert und verbleibt an seinem Ort. Ein Einwechseln zum jeweiligen Abrichtvorgang kann somit entfallen, wodurch eine sehr gute Wiederholbarkeit der Abrichtergebnisse sichergestellt ist. Wie beschrieben, weicht die Geometrie des Abrichtrades von dem zu bearbeitenden Werkstück sowohl im Schrägungswinkel als auch in der Zähnezahl ab; sie haben lediglich dasselbe Bezugsprofil.

Die Grundgeometrie der Abrichträder, hinsichtlich Breite, Bohrungs- und Außendurchmesser, wurde standardisiert, wodurch sich weitere Vorteile ergeben. Endlich wird klar, dass man zum Abrichten mit dem Abrichttrad keinerlei Zusatzachsen benötigt. Es werden nur die vorhandenen, hochgenauen NC-Achsen verwendet. Die Maschine ist dadurch einfacher in ihrer Konstruktion und somit preiswerter als herkömmliche Ausführungen. ■

## LITERATUR

- 1** Türich, A.: Werkzeug-Profilherstellung für das Verzahnungsschleifen. Dissertation Universität Hannover 2002
- 2** Lierse, T.: Abrichten von Schleifwerkzeugen für die Verzahnbearbeitung. Aditec-Seminar ›Feinbearbeitung von Stirnrädern in der Serie. Aachen, 3. bis 4. Dezember 2003

---

**Dr.-Ing. Antoine Türich** ist Leiter Technologie Entwicklung bei Gleason-Hurth in München  
 → [atuerich@gleason.de](mailto:atuerich@gleason.de)