

REISHAUER

Gear Grinding Technology

68. Ausgabe

Sonderdruck

JAHRBUCH

Schleifen, Honen, Läppen und Polieren

Verfahren und Maschinen

Optionen des Verzahnungswälzschleifens zur
gezielten Beeinflussung von Werkstückoberflächen

Walter Graf

Hans-Werner Hoffmeister / Berend Denkena (Hrsg.)

 **Vulkan Verlag**

1.17 Optionen des Verzahnungswälzschleifens zur gezielten Beeinflussung von Werkstückoberflächen

Walter Graf

1.17.1 Einleitung

Nur hochgenau bearbeitete Zahnräder garantieren die optimale Funktion von Getrieben in Fahrzeugen und Flugzeugen aller Art. Moderne Getriebe verlangen eine zuverlässige Drehmomentübertragung bei hoher Leistungsdichte, niedrigem Gewicht und minimaler Geräuscherzeugung. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht stehen tiefste Stück- und Lebenszykluskosten im Zentrum und die Produktion fordert herausragende Qualität sowie höchste Konstanz. Seit geraumer Zeit steht die zunehmende Reduzierung von Kraftstoffverbrauch und CO₂-Ausstoß zusätzlich in den Lastenheften der Getriebehersteller. Das Einhalten der Gesetzgebungen in den Hauptautomobilmärkten wie Europa, USA und China stellt hohe technische und wirtschaftliche Herausforderungen an die Automobilhersteller [1] (**Bild 1**).

Dieser Artikel konzentriert sich auf den Beitrag, den das kontinuierliche Wälzschleifen von Getrieberädern leistet, um die genannten Forderungen zu erfüllen. Diese beziehen sich nicht nur auf Verbrennungsmotoren, denn auch alternative Antriebssysteme wie zum Beispiel Elektroantriebe verbrauchen weniger Energie und laufen deutlich leiser mit effizienten Verzahnungen.

Drei Bearbeitungstechnologien stehen im Fokus dieser Ausarbeitung und beschreiben, wie das Schleifen und Polieren der Zahnflanken die Effizienz des gesamten Getriebes positiv beeinflusst. Zwei Technologien – Low Noise Shifting (LNS) und Polierschleifen – modifizieren die Oberflächenstruktur, um unter anderem Geräuschanregung und Reibung zu vermindern. Die dritte Technologie, das verschränkungsorientierte Schleifen (Twist Control Grinding, abgekürzt TCG), ermöglicht gezielte Veränderungen der

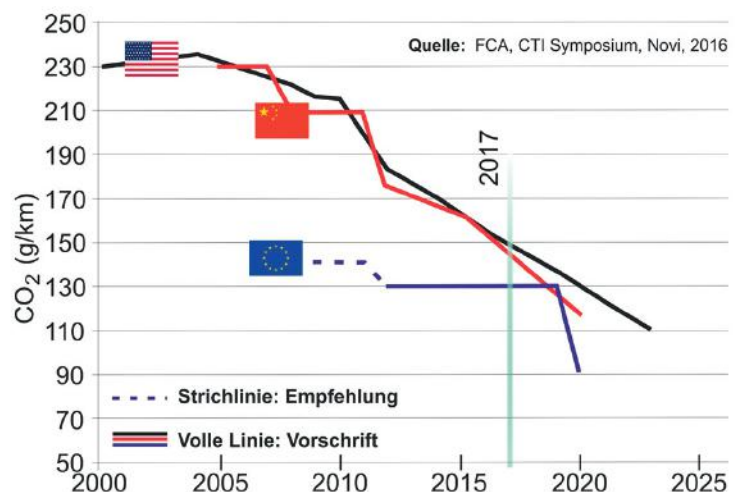
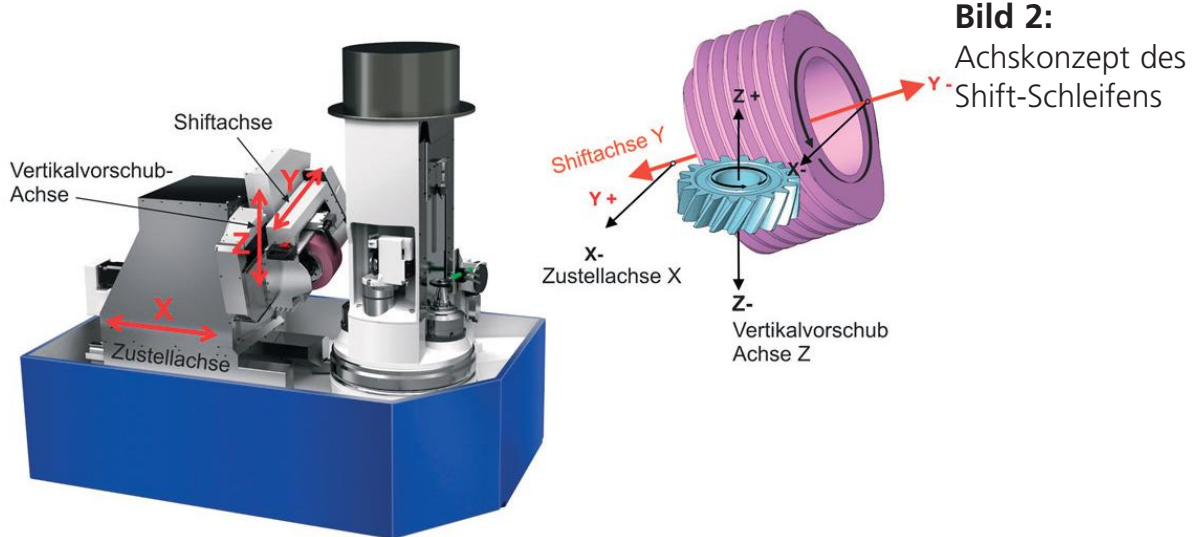
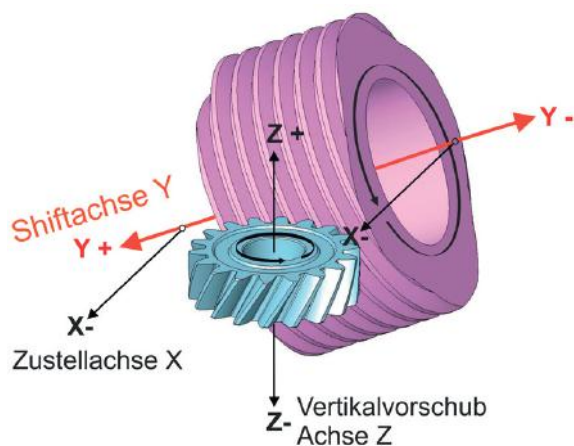


Bild 1: Zulässiger CO₂-Ausstoß in Europa, USA und China

**Bild 2:**

Achskonzept des Shift-Schleifens

**Bild 3:** Wälzschleifkinematik

Zahnflankengeometrie und der Flächentraganteile. Erhöhte Traganteile führen zu einer höheren Leistungsdichte. TCG-geschliffene Zahnräder können auch zu einer Reduzierung des Geräuschpegels führen.

Das kontinuierliche Wälzschleifen hat sich als das produktivste Verfahren der Hartfeinbearbeitung von hochgenauen Zahnrädern durchgesetzt. Der Wälzschleifprozess basiert auf einer abrichtbaren, keramisch gebundenen Schleifschnecke. Vereinfacht dargestellt, kann die Kinematik des Prozesses als Schraubwälzgetriebe verstanden werden, das mit zusätzlichen Achsbewegungen versehen ist: der X-Zustellung, welche die Zustelltiefe der Schleifschnecke im Schleifprozess regelt und einer vertikalen Vorschubbewegung in Richtung Z. Hinzu kommt eine seitliche Bewegung in Richtung Y, das sogenannte Shiften, das sicherstellt, dass beim qualitätsbestimmenden Schlichthub immer im unverbrauchten Bereich der Schleifschnecke geschliffen wird. **Bild 2** und **Bild 3** zeigen das Achskonzept und die Wälzschleifkinematik.

1.17.2 Standard Shift-Schleifen und Low-Noise-Shifting

Das Verfahren „Shift-Schleifen“, heute meist unter seiner Zusatzfunktion „Low-Noise-Shifting“ oder LNS bekannt, wurde von der Firma Reishauer 1986 erfunden und seit-

dem ständig weiterentwickelt. Das Shift-Schleifen arbeitet mit einer zusätzlichen Achsbewegung der Achskinematik im Prozess des kontinuierlichen Wälzschleifens (**Bild 4** und **Bild 5**). Die seitliche Shift-Bewegung in Richtung Y stellt sicher, dass die Schleifschnecke im Schlichthub nie an der gleichen Stelle schleift und somit beim Schlichthub immer unverbrauchte Schleifkörner im Einsatz sind. Der Anwender bestimmt den Shift-Wert für den Schrapp- und den Schlichthub. Die Zusatzfunktion, Low-Noise-Shifting (LNS), modifiziert im Hintergrund den vom Anwender gewählten Shift-Wert des Schlichthubes, um eine spezifische Oberflächenstruktur zu erhalten, wie dies in **Bild 6** dargestellt wird. Zwischen Schrappen und Schlichten wird ein sogenannter Shift-Sprung ausgeführt, um die Schleifschnecke wirtschaftlich zu nutzen. Die Zone, die zum Schlichten verwendet wurde, kann so nochmals für das nächste Werkstück genutzt werden, da in diesem Shift-Bereich die Schleifschnecke beim Schlichten nicht zu stark belastet wurde.

Das kontinuierliche Wälzschleifen generiert feinste Schleifspuren, die als axiale Wellenform in Flankenlinienrichtung über die Zahnflanken verlaufen. Im Low-Noise-Shifting

Bild 4: Shift-Schleifen

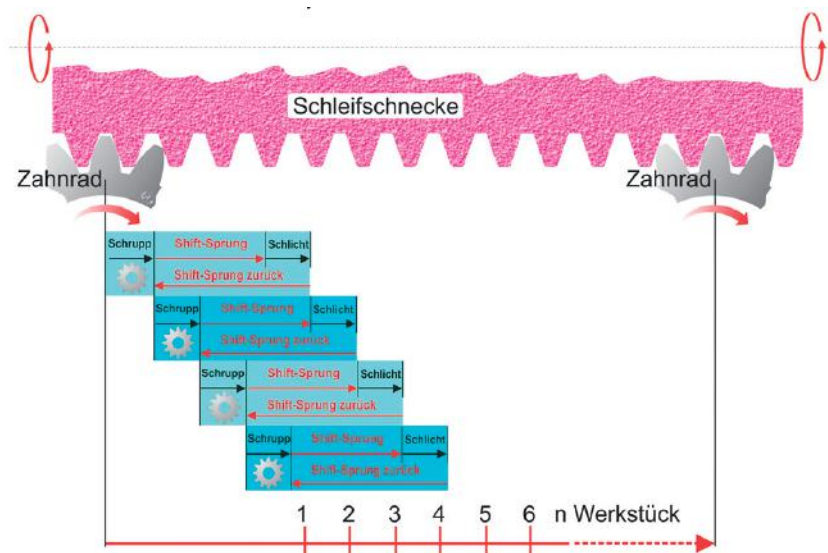
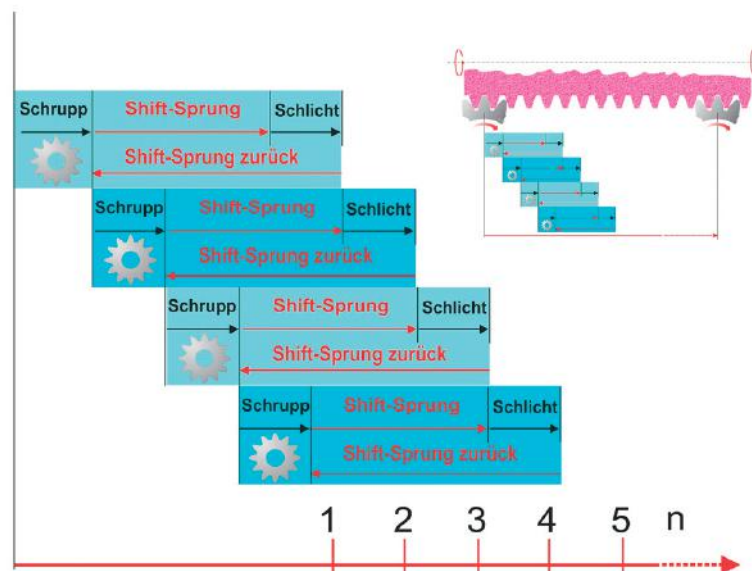


Bild 5: Shift-Schleifen
Detail



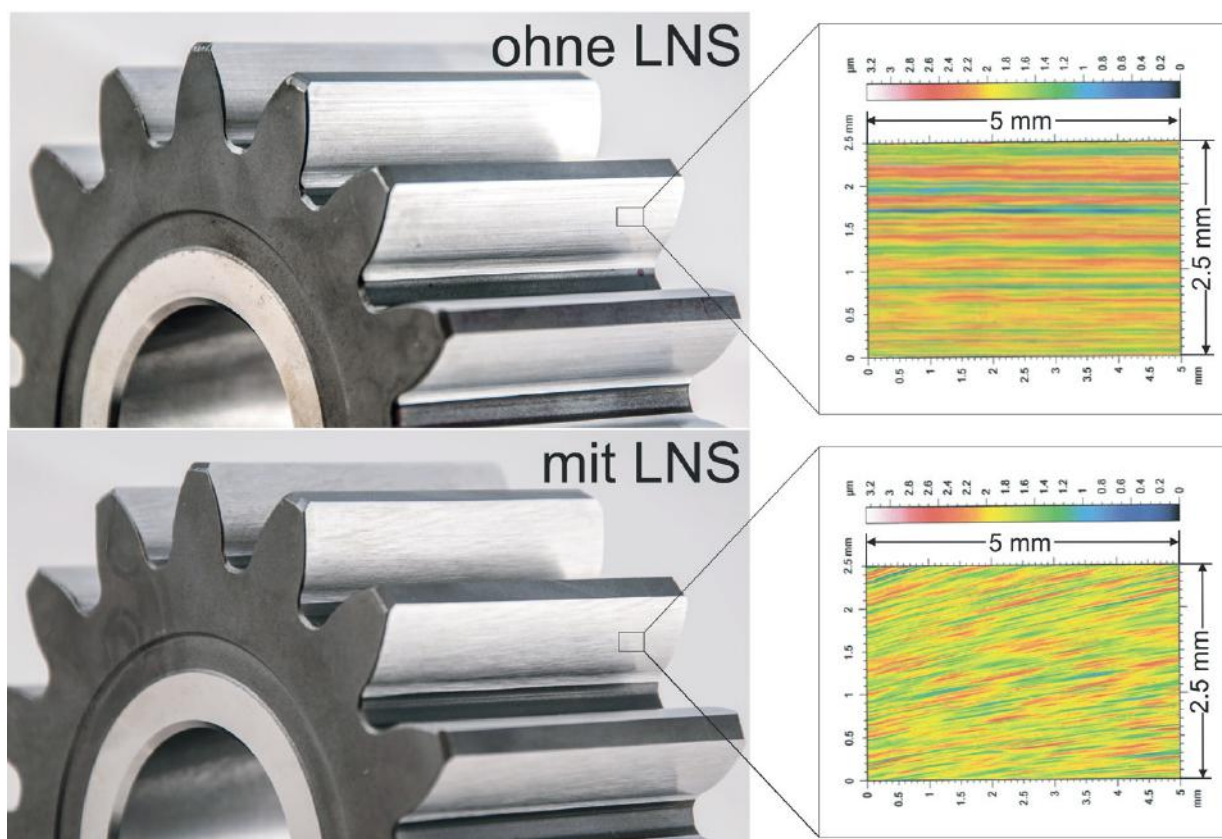


Bild 6: Zahnflankenoberflächenstruktur mit und ohne Shift-Schleifen

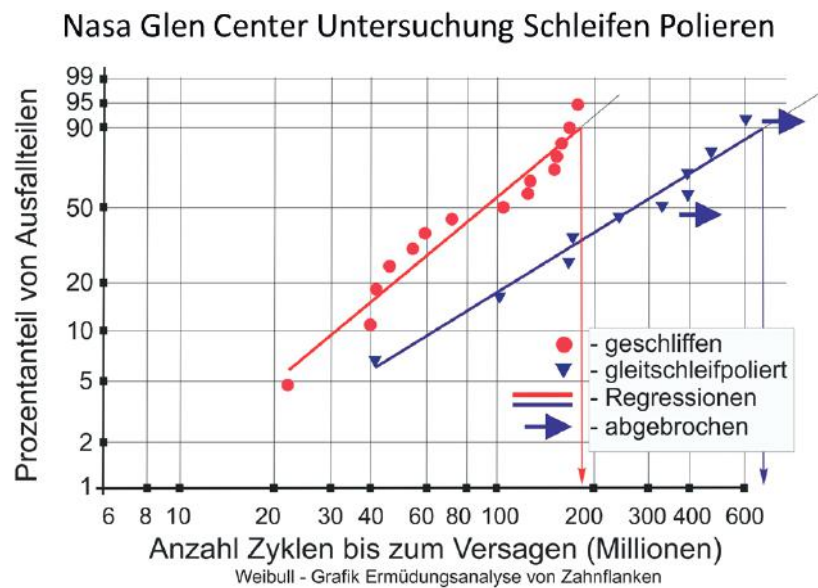
verändert eine vordefinierte Shift-Bewegung der Schleifschnecke während des letzten Bearbeitungshubes die axial verlaufenden Berührlinien und verkürzt damit die Welligkeiten in Flankenlinienrichtung. Die Struktur dieser Oberfläche hat damit einen diffuseren Charakter und erschwert eine Geräuschanregung deutlich. Low-Noise-Shifting erlaubt heute die Paarung von wälzgeschliffenen Zahnradern, die zuvor die Kombination Wälzschleifen und Honen erforderten, um die Geräusentwicklung insbesondere im Drehzahlenbereich unter 3.000 U/min zu mindern. Dank dieses Verfahrens laufen gepaarte, wälzgeschliffene Zahnradern wesentlich leiser als Zahnradern ohne LNS-Prozess.

Bild 6 zeigt die Beeinflussung des Low-Noise-Shift-Schleifens auf die Oberflächenstruktur von Zahnflanken. LNS wandelt die regelmäßige Struktur aus dem herkömmlichen kontinuierlichen Wälzschleifen in diffuse Oberflächenstrukturen um, die Getriebe deutlich leiser laufen lassen.

1.17.3 Polierschleifen von Zahnflanken

Wo LNS bereits Geräuschemissionen dank seiner besonders geschliffenen Oberflächenstruktur deutlich verringert, optimiert der nächste Innovationsschritt, das Polierschleifen, die Oberflächengüte der Verzahnungen im kontinuierlichen Wälzschleifprozess. Das Polierschleifen von Zahnflanken hat aber als erstes Ziel, die Tragfähigkeit der Zahnflanken – bei unveränderter Baugröße – zu erhöhen und somit die Energieeffizienz der Verzahnung zu verbessern. Diese Energieersparnis im Getriebe überträgt sich signifikant auf die Leistungsbilanz des gesamten Fahrzeuges.

Bild 7: Vergleich von geschliffenen und gleitgeschliffenen Zahnradern



Die Forderungen nach geringerem Energieverbrauch und CO_2 -Ausstoß verlangen nach intensiver Entwicklungsarbeit an Verbrennungsmotor und Getriebe. Eine Forschungsarbeit von Ford und Ricardo zeigt auf, dass Kraftstoffeinsparungen dank effizienter Getriebe nur halb so viel kosten, wie vergleichbare Einsparungen im Motorenbau [2]. Erhöhung der Leistungsdichte von Getrieben heißt: Eine gezielte und genaue Definition der Zahnflankentopografie zur Optimierung des Zahneingriffs unter Last bei gleichzeitiger Reduzierung der Oberflächenrauheit auf den Zahnflanken. Erst diese Maßnahmen realisieren die gewünschte erhöhte Tragfähigkeit. Bereits im Jahr 2002 bestätigte ein Forschungsvorhaben am NASA Research Center in Glenn die Überlegenheit der höheren Tragfähigkeit der im Gleitschleifverfahren polierten Zahnradern gegenüber herkömmlich geschliffenen mit einer etwa viermal höheren Lebensdauer [3] (**Bild 7**).

Ein anderes Forschungsvorhaben an der FZG der TU München untersuchte den Einfluss einer verbesserten Oberflächenrauheit auf die Einflussfaktoren des Festigkeitsnachweises nach DIN 3990 [4]. Diese Untersuchungen bestätigten, dass eine Verminderung der Oberflächenrauheit der Zahnflanken von einem industrietypischen Wert von $R_a \approx 0,4 \text{ mm}$ auf $R_a \leq 0,15 \text{ mm}$, eine deutliche Erhöhung der Zahnflankentragfähigkeit zur Folge hatte. Diese Verbesserung wurde der erheblichen Reduktion von Graufleckigkeit und der Grübchenbildung (Micro-Pitting) zugeschrieben. Wie auch bei vorangegangenen Studien, wurden diese Untersuchungen mit Zahnradern durchgeführt, die im Gleitschleifverfahren poliert wurden.

1.17.3.1 Verbesserte Oberflächenqualität

Wegen dieser vielversprechenden Resultate haben Hersteller von Automobilgetrieben begonnen, sich nach effizienteren Methoden als der des bisher genutzten Gleitschleifens umzuschauen, um die gewünschten und möglichen Oberflächengüten kostengünstig in der Serienfertigung zu erreichen. Als ideale Alternative bietet sich heute das kontinuierliche Wälzschleifen an, das als produktivstes Hartfein-Bearbeitungsverfahren für Automobil-Verzahnungen gilt und in der praktischen Anwendung weit verbreitet ist. Das diesem Prozess zugeordnete Polierschleifverfahren erhöht die Betriebseffizienz

und die Tragfähigkeit der Zahnflanken deutlich. Mit diesem Verfahren wird die Rauheit einer im kontinuierlichen Wälzschleifprozess bearbeiteten Verzahnung auf ein mit dem Gleitschleifen vergleichbares Niveau zu reduziert, ohne die Makrogeometrie, die Flankentopografie oder die Randzoneneigenschaften der aktiven Zahnflanken negativ zu beeinflussen.

1.17.3.2 Prozessbeschreibung

Das hier beschriebene Polierschleifverfahren ist in das kontinuierliche Wälzschleifen integriert und verzichtet auf Werkzeugwechsel und Prozessunterbrüche, da das Verfahren mit einer Zweizonen-Schleifschnecke nur ein Schleifwerkzeug für die gesamte Bearbeitung einsetzt (**Bild 8**). Dieses Polierschleifen verwendet im zweiten Bereich der Schleifschnecke eine elastische Kunstharzbindung für die Schlichtbearbeitung, die die Spitzenhöhe des Rauheitsprofils (sogenannte Peaks) reduziert und dadurch den Traganteil signifikant erhöht. Weiterer Vorteil: Die Geometrie der gesamten Schleifschnecke wird mit den herkömmlichen Abrichtprozessen in der Maschine auf den vorprofilierten Schleifkörper übertragen.

Schrupp- und der Schlichthub werden mit der keramischen Schleifzone ausgeführt. Nach dem Schlichthub geht das Werkstück mit einem sogenannten Shift-Sprung in die kunstharzgebundene Polierzone und wird mit einem oder mehreren Schlichthüben poliergeschliffen (**Bild 9**).

Das Polierschleifen verändert in keiner Weise die Flankentopographie der Verzahnungsflanken in deren aktiven Bereich. Die Charakteristik poliergeschliffener Oberflächen kann mit der Wahl verschiedener Schleifscheibenspezifikationen und Bindungssysteme bestimmt werden. Das Polierschleifen realisiert Rautiefen $R_z \leq 1,2 \mu\text{m}$ und Mittenrauwerte $R_a \leq 0,15 \mu\text{m}$.

Das Polierschleifen unterscheidet sich hinsichtlich der Schleifkinematik deutlich von den bekannten Gleitschleifverfahren. Motivation genug für das FZG an der TU München, um den Einfluss verschiedener Fertigbearbeitungsvarianten beim kontinuierlichen Wälzschleifen auf den Wirkungsgrad der Verzahnungen im Getriebe in einem unabhängigen Gutachten zu untersuchen. Die poliergeschliffenen und die normalgeschliffenen Zahnräder wurden unter einer Belastung von 1.350 N/mm^2 getestet und



Bild 8: Zwei-Zonenschleifscheibe

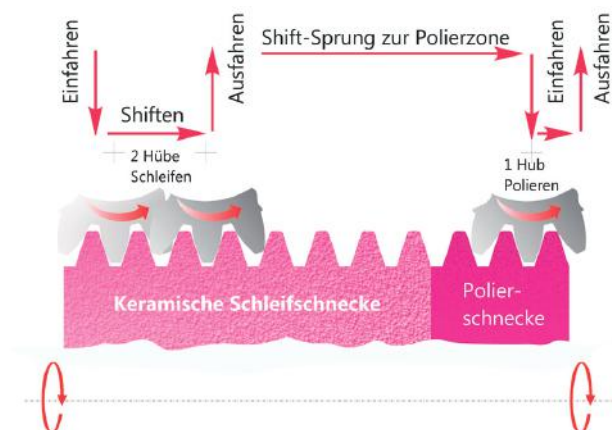
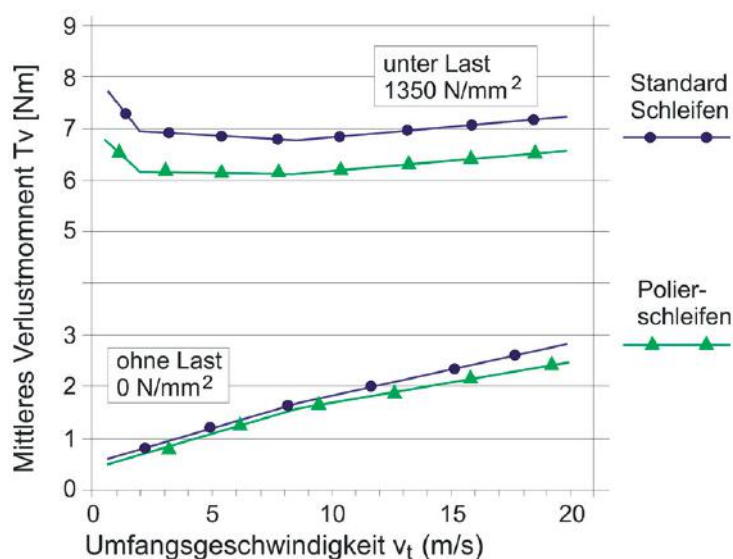


Bild 9: Polierschleifprozess

Bild 10: Drehmomentverlust
Schleifen gegen Polieren



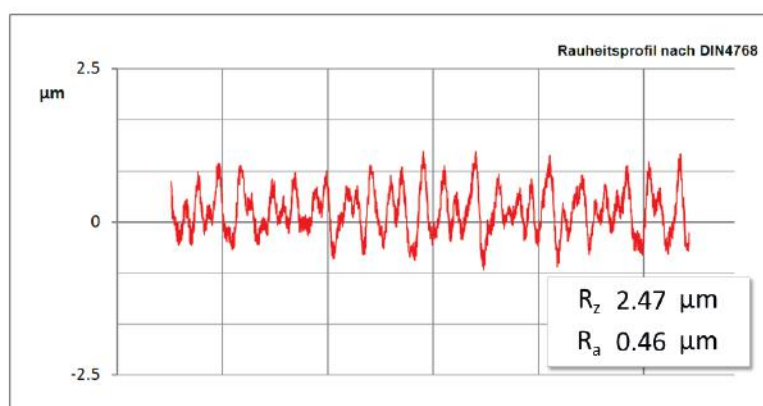
verglichen. Im Vergleich zu den normalgeschliffenen Zahnrädern wiesen die poliergeschliffenen Räder eine Reibungsverminderung des mittleren Verlustmomentes T_v von 15 % auf, und die Beharrungstemperatur des Prüfstandgetriebes reduzierte sich bei den poliergeschliffenen Rädern um 4 °C [4]. Aus dieser signifikanten Reibungsminde- rung lassen sich Treibstoffeinsparungen und eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes ableiten (**Bild 10**).

Wichtig in diesem Kontext: Der Polierschleifprozess trägt nur die Spitzen des Rauheits- profils (die Peaks) ab und verringert damit die Kernrauheit, ohne aber den Riefenbe- reich (die sogenannten Valleys) der geschliffenen Oberfläche völlig zu entfernen. Nur so verbleibt ein bestimmtes Ölrückhaltevolumen an den Zahnflanken und der Ölfilm zwischen den sich kämmenden Zahnflanken kann nicht abreißen (**Bild 11** und **Bild 12**).

Der Oberflächenmesswert R_a ist zur Bestimmung von Oberflächentraganteilen mit Ölrückhaltevolumen nicht ausreichend, wie dies von Stewart beschrieben wurde:

„Tribologen konnten aufzeigen, dass die ideale Tragfläche zwar glatt ist, aber relativ tiefe Riefen besitzt, um Schmierstoff zu halten und zu verteilen. Die Quantifizierung und die Beschreibung solcher Oberflächen war schon immer ein Problem. Seit ihrer

Bild 11: Rauheitsprofil
nach dem Schleifen



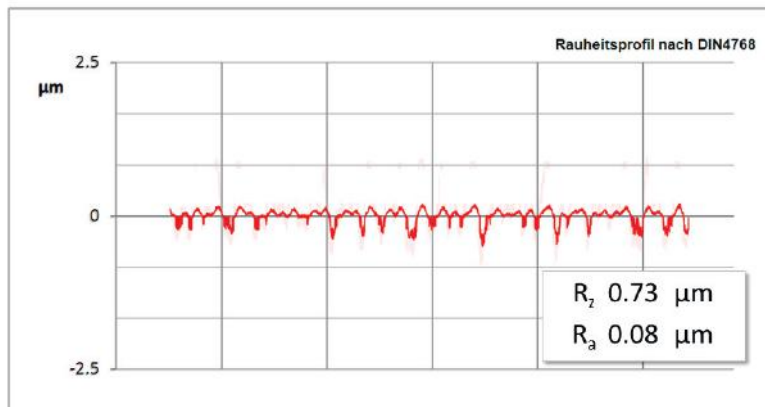


Bild 12: Rauheitsprofil nach dem Polierschleifen

Einführung hat sich die Materialtraganteilskurve als einzig brauchbare Methode erwiesen, Oberflächen entsprechend zu charakterisieren, trotzdem wird sie aber selten in Spezifikationen verwendet.“ [5]. [Übersetzt aus dem Englischen durch den Autor.]

Bild 13 zeigt die Materialtraganteilskurve, auch Abbott-Kurve genannt. Diese Kurve ist in der Tat ein besserer Indikator für die Bestimmung der Tragfähigkeit und des Abriebverhaltens von Zahnflanken als der Oberflächenrauheitswert R_a . Der arithmetische Mittenrauwert R_a unterscheidet nicht zwischen Spitzenhöhen und Riefentiefen und hat somit geringen Informationswert in Bezug auf Traganteile von Oberflächen.

Wie beschrieben, zeigen die wissenschaftlichen Studien, dass gleit- oder poliergeschliffene Oberflächen die Leistung von Getrieben erhöhen, da die höheren Traganteile Grübchenbildung (Micro-Pitting) vermindern und so Lebensdauer und Effizienz erhöhen. Industrierversuche haben diese Resultate bestätigt, wie das nachstehende Beispiel von Planetenrädern zeigt, die mittels des kontinuierlichen Wälzschleifverfahrens geschliffen wurden. Grübchenbildung (Micro-Pitting) führt zu einer Verschlechterung der Getriebeleistung und zu Geräuschanregung (NVH). **Bild 14** zeigt die Resultate eines Versuches, in dem Planetenräder von Automatikgetrieben konventionell wälzgeschliffenen und poliergeschliffenen Rädern gegenübergestellt werden. Danach wurden die Räder in Getrieben verbaut und auf einem Prüfstand einem 100.000 km-Dauertestlauf unterzogen. Das vor dem Dauertest erfasste Gewicht der einzelnen Zahnräder wurde nach dem Prüfstandlauf erneut gemessen: Die poliergeschliffenen Räder sahen nicht nur optisch besser aus, sondern wiesen auch die geringsten Gewichtsverluste, sprich Abrieb, auf.

Rk, Rpk, Rvk, Mr1 und Mr2

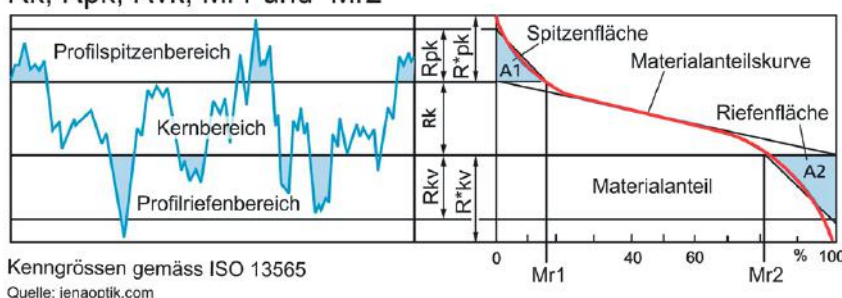
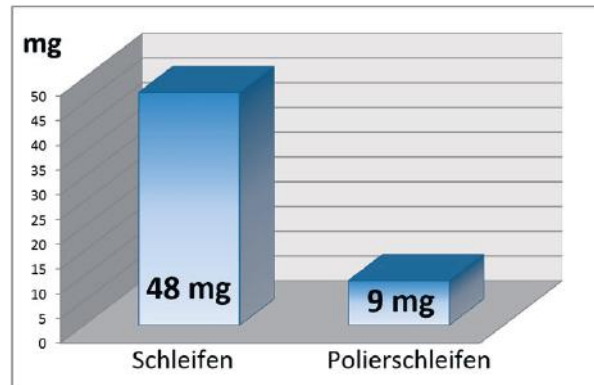


Bild 13: Abbott-Kurve

Bild 14: Testversuch
Vergleich Schleifen –
Polierschleifen

Materialverlust in mg nach 100'000 km Testlauf



Test : 100,000 km Dauertest unter konstanter Belastung und bei wechselndem Geschwindigkeitsprofil

Die direkte Integration des Polierschleifens in das kontinuierliche Wälzschleifen reduziert Investitionen, wenn ein Anwender schon Reishauer-Wälzschleifmaschinen nutzt. Zudem kann der Anwender seine bestehenden Abrichtwerkzeuge des konventionellen Wälzschleifens weiterverwenden. Das hier beschriebene Polierschleifen kann sofort vom Bedienpersonal adaptiert werden, da es nur geringer Schulung bedarf. Auch wenn das Polierschleifverfahren eine geringe Zykluserhöhung wegen der Polierhübe mit sich bringt, wird dies mit erhöhter Produktqualität mehr als nur kompensiert; vor allem dann, wenn die Erhöhung von Traganteil und Leistungsdichte eines Getriebes im Fokus steht.

1.17.4 Verschränkungsorientiertes Schleifen (Twist Control Grinding)

Von Zahnrädern wird in erster Linie die zuverlässige Übertragung hoher Drehmomente und Leistungen bei niedrigem Gewicht und geringer Geräuschanregung erwartet. Das gelingt am besten, wenn die Lastverteilung möglichst über die gesamte Zahnflankenfläche erfolgt. Alle Schleifverfahren, die aufgrund von modifizierten Schrägverzahnungen eine Änderung des Achsabstandes Schleifschnecke/Zahnrad beim Schleifen zur Folge haben, produzieren natürliche Verschränkungen, die als geometrische Abweichungen von einer idealen Flankentopologie der optimalen Lastenverteilung entgegenwirken. Weil diese Abweichungen in der Regel nur geringfügige Größenordnungen annehmen, haben die Getriebehersteller sie bisher in den meisten Fällen toleriert. Schon früh hat die Reishauer AG zukünftige, höhere Anforderungen an die Flankentopologie antizipiert und führte vor Jahren eine Methode zum verschränkungsorientierten topologischen Schleifen ein. Dieses erstmals eingesetzte topologische Verfahren korrigiert Abweichungen und bietet neue Freiheitsgrade in der Auslegung von Getrieben. Mit diesem Verfahren lässt sich die Flankengeometrie gezielt verändern, um die Lastverteilung zwischen zwei Zahnrädern zu optimieren und deren Dauerfestigkeit zu erhöhen. Mithilfe des Verfahrens kann die Kontaktfläche der Radpaarung vergrößert werden, um eine maximale Tragfähigkeit bei guten Geräuscheigenschaften des Getriebes zu gewährleisten. Das hilft besonders – aber nicht ausschließlich – schnell drehenden Elektroantrieben und verhindert das sonst entstehende hochfrequente „Sirren“ von Zahnrädern. In Verbrennungsmotoren, die auch in Zukunft eine

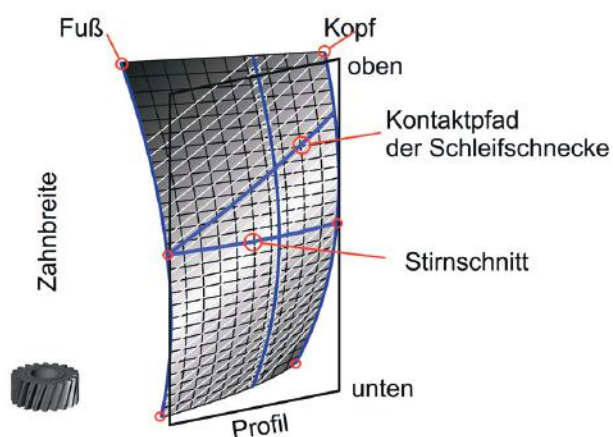


Bild 15: Natürliche Verschränkung der Zahnflanke

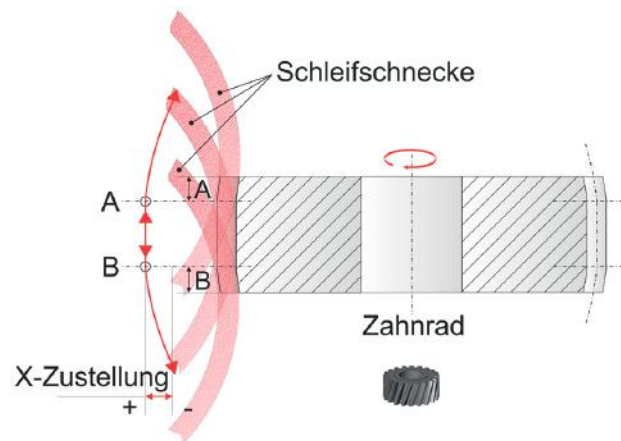


Bild 16: Kontaktpfad der Schleifschnecke beim Balligschleifen

zentrale Rolle spielen werden, sorgen die sehr laufruhigen Getriebe für niedrigeren Kraftstoffverbrauch und CO₂-Ausstoß.

Die Verschränkung entsteht in Folge der Geometrie und der Kinematik des kontinuierlichen Wälzschleifens von Schrägverzahnungen mit Breitenballigkeit und Endrücknahmen. Wie **Bild 15** zeigt, verläuft der Kontaktpfad zwischen Schleifschnecke und Werkstückflanke beim Schleifen von Schrägverzahnungen prozessbedingt nicht in der Stirnschnittebene des Werkstücks.

Beim Schleifen der Zahnflanke können in Abhängigkeit von Schrägungswinkel und Hubrichtung Kopf und Fuß eines Stirnschnitts der Zahnflanke nicht zeitgleich bearbeitet werden. Modifikationen in Flankenrichtung wie die Modifizierung der Breitenballigkeiten oder Endrücknahmen erzeugt die Maschine nur dann, wenn der Achsabstand zwischen Schleifschnecke und Werkstück während der Bearbeitung verändert wird (**Bild 16**).

So entsteht beim Schleifen einer Schrägverzahnung eine Verschränkung, weil der Kontaktpfad zwischen Werkstück und Schleifwerkzeug nicht entlang des Stirnschnittes einer Verzahnung verlaufen kann, sondern bogenförmig schräg über die Zahnflanke (**Bild 17**). Nur so kann mit einer definierten Position der Schleifschnecke entlang der Zahnbreite ein kompletter Zahnbreitenbereich geschliffen werden. Allerdings wird in jeder Breitenposition dieses Bereiches nur ein Durchmesser bei der gegebenen Position der Schleifschnecke bearbeitet. Da sich der Kontaktpfad mit dem Axialvorschub der Schleifschnecke entlang der Zahnbreite des Werkstücks bewegt, wird insgesamt die Zahnbreite in ihrer vollen Breite und Höhe bearbeitet. Verlangt die Auslegung des Zahnrades eine Breitenballigkeit C_{β} , wird dieser Bewegung nun eine bogenförmige Bahn als radiale Zustellung überlagert. Da der Kontaktpfad zwischen Werkzeug und Werkstück aber nicht in einem Stirnschnitt liegt, sondern bogenförmig über die Flanke verläuft, wird eine Breitenposition der Zahnflanke mit unterschiedlichen Zustellungen über der Zahnhöhe bearbeitet. Die eigentlich korrekte Zustellung gilt aber nur für die Bearbeitung am Wälzkreis. An allen anderen Durchmessern kommt es zu einer Abweichung von der eigentlichen Sollposition. Diese Abweichung führt dazu, dass an der

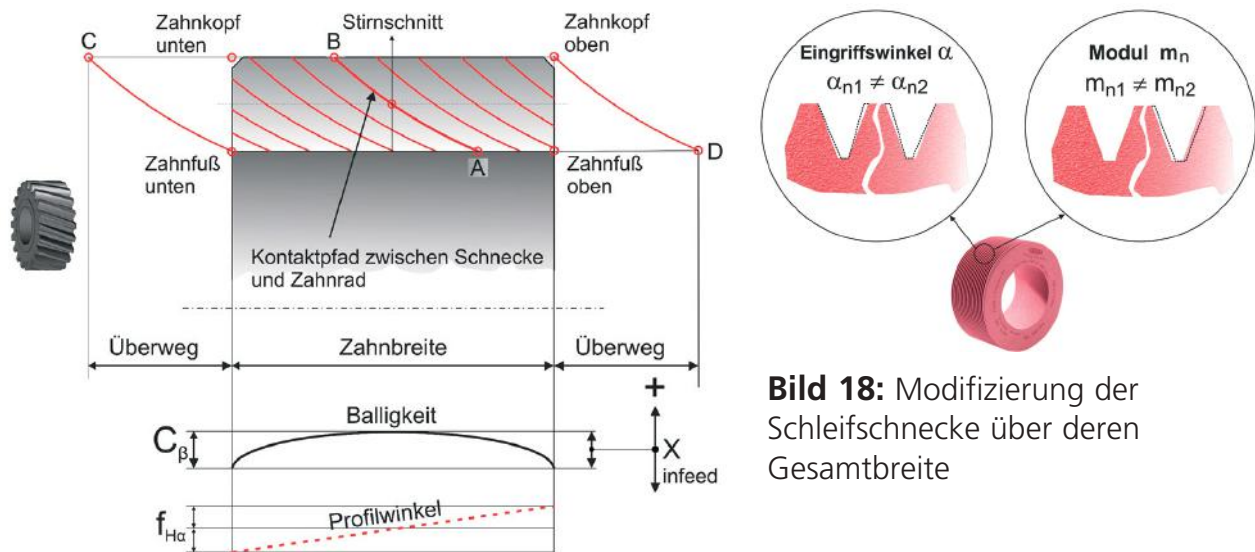


Bild 17: Kontaktpfad zwischen Schleifschnecke und Zahnrad

Bild 18: Modifizierung der Schleifschnecke über deren Gesamtbreite

einen Stirnseite der Zahnflanke im Kopf zu viel und im Fuß zu wenig Material abgetragen wird. Auf der anderen Seite wird im Kopf zu wenig und im Fuß zu viel Material entfernt. Dieser Zusammenhang wird in Bild 17 dargestellt. Die Abweichung äußert sich also nach der Bearbeitung durch eine $f_{H\alpha}$ -Abweichung in jedem Stirnschnitt. Es kommt somit durch die über der Zahnbreite bogenförmige Bahn im Zusammenspiel mit dem bogenförmigen Kontaktpfad zu einem über der Zahnbreite kontinuierlich veränderlichen $f_{H\alpha}$. Die Differenz zwischen den $f_{H\alpha}$ -Werten an den beiden Rändern der Verzahnung kennzeichnet die Profilverschränkung [6].

Die Firma Reishauer hat für das kontinuierliche Wälzschleifen eine Methode zur vollständigen Eliminierung einer Verschränkung oder zur Erzeugung einer definierten Soll-Verschränkung entwickelt. Diese Methode variiert gezielt die Eingriffsteilung der Schleifschnecke entlang der Schleifschneckenbreite, indem der Modul- oder der Eingriffswinkel der Schleifschnecke verändert wird (**Bild 18**). Beide Größen lassen sich auch gleichzeitig variieren [7, 8].

Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt brachte diese Methode des verschränkungsorientierten Schleifens den Anwender in eine gewisse Abhängigkeit vom Maschinenbauer, musste doch Letzterer für den Kunden jeden Prozess individuell berechnen und auslegen. Zudem brauchte jedes Werkstück seine spezifische Abrichtrolle. Da wegen der erwähnten Qualitätsanforderungen an Getriebe zukünftig verschränkungsfreies oder verschränkungsorientiertes Schleifen notwendig wird, entwickelte Reishauer nun zwei Optionen:

- das Erzeugen einer verschränkungsfreien „Topologie auf Knopfdruck“ und
- das Erzeugen einer gezielten Verschränkung, die in zwei Stirnebenen definierbar ist.

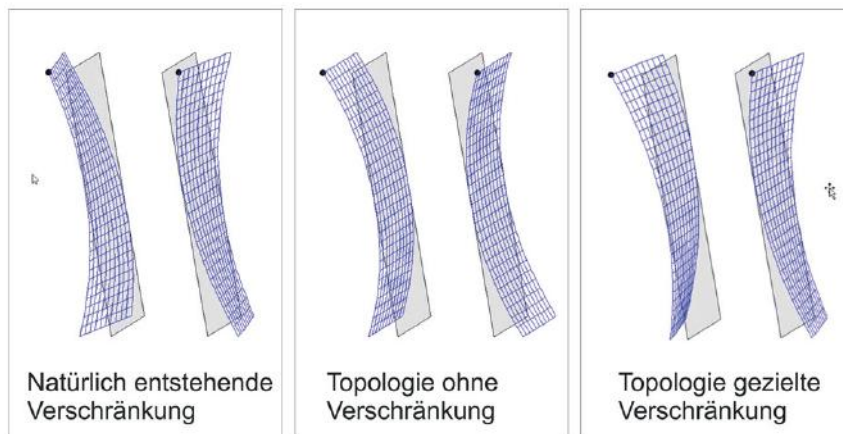


Bild 19: Topologie-Optionen

Die erste Option, das Erzeugen einer verschränkungsfreien „Topologie auf Knopfdruck“, eliminiert mit einem einzigen Knopfdruck die üblichen Verfahrensverschränkungen vollständig. Weitere Vorteile: Das Verfahren nutzt Standard-Diamantabrichtwerkzeuge, sogenannte Doppelkegelscheiben, und die Bedienerfreundlichkeit des Einrichtens unterscheiden sich nicht von der des konventionellen Wälzschleifens.

Die zweite Option, das Erzeugen einer gezielten Verschränkung, realisiert beliebige Verschränkungen auf einfachste Weise in zwei definierbaren Stirnebenen. Auch dort werden Standard-Diamantabrichtwerkzeuge verwendet und Einfachheit wie Bedienerfreundlichkeit des Einrichtens gleichen der des konventionellen Wälzschleifens.

In diesem Kontext kann der Anwender insgesamt drei mögliche Optionen nutzen, die **Bild 19** visualisiert: die „natürlich entstehende Verschränkung“, die „Topologie ohne Verschränkung“ und die „Topologie gezielte Verschränkung“. Das Bild zeigt zwei gepaarte Zahnflanken; die sich berührenden Flanken vom treibenden und vom angetriebenen Zahnrad. Die Gitternetzstruktur stellt die theoretische und die geometrisch „perfekte“ Zahnflanke dar.

Die „natürlich entstehende Verschränkung“ zweier gepaarter Zahnflanken auf der linken Seite zeigt deutlich die verringerten Kontaktflächen. Die „Topologie ohne Verschränkung“ illustriert die größeren Kontaktflächen beider Flanken, die eine Lastverteilung der Kraftübertragung optimieren. Die gleiche Optimierung zeigt der rechte Bildabschnitt „Topologie gezielte Verschränkung“. Dort behält die linke Flanke die natürliche entstehende Verschränkung bei, die rechte Flanke aber sorgt mit einer gezielten Gegenverschränkung für eine optimale Lastverteilung und Kraftübertragung.

1.17.5 Schlussfolgerung

Das kontinuierliche Wälzschleifen wird sich mit den drei hier vorgestellten Technologieoptionen auch in der Zukunft als eines der produktivsten Verfahren der Hartfeinbearbeitung von hochgenauen Zahnradern behaupten. Das Verfahren bietet Getriebebaukonstrukteuren genau die Freiheitsgrade, die es ihnen erlauben, sich kreativ den technologischen und umweltpolitischen Herausforderungen zu stellen.

Reishauer Zahnflankenschleifen in Schweizer Präzision

Nur hochgenaue Zahnräder garantieren die optimale Funktion und Verlässlichkeit der Getriebe in Fahrzeugen und Flugzeugen. Heutigen modernen Getrieben werden eine zuverlässige Drehmomentübertragung bei hoher Leistungsdichte, niedrigem Gewicht und minimaler Geräuschemission abverlangt. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht stehen geringe Stück- und Lebenszykluskosten im Zentrum, wobei die Produktion eine konstante geometrische Qualität von unter $1\ \mu\text{m}$ ($1/1000\ \text{mm}$) fordert.

Das kontinuierliche Wälzschleifen, ein von Reishauer im Jahr 1945 entwickeltes Schleifverfahren, hat sich als das produktivste Verfahren zur Hartfeinbearbeitung von hochgenauen Zahnrädern durchgesetzt. Reishauer Verzahnungsschleifmaschinen stellen sicher, dass die erwähnten Industrieforderungen vollumfänglich erfüllt werden. Unsere Maschinensysteme nehmen weltweit eine Schlüsselrolle in der Fertigung von Präzisionszahnrädern ein. Reishauer Maschinen bieten der Fahrzeug- und Getriebeindustrie weltweit zusätzlich wichtige neue Impulse und Freiheitsgrade, wie die Wälzschleiftechnologie wesentlich zur Reduzierung von Geräuschemissionen bei Elektroantrieben und zu geringerem Kraftstoffverbrauch bei Verbrennungsmotoren beitragen kann.

Der Wälzschleifprozess basiert auf einer mittels Diamantwerkzeugen abrichtbaren keramischen Schleifschnecke. Vereinfacht dargestellt, kann die Kinematik des Prozesses als Schraubwälzgetriebe verstanden werden. Mit präzis definierten Achsbewegungen trägt die Schleifschnecke Material vom Zahnrad ab und erzeugt kontinuierlich Werkstücke in der geforderten Genauigkeit.

Circle of Competence

Das Fundament der Reishauer Wälzschleiftechnologie ist das eigene Leistungssystem: der Reishauer Circle of Competence. Die Zahnradschleifmaschine steht mit ihren quantitativen und qualitativen Leistungswerten an oberster Stelle der von Reishauer entwickelten Technologien zur Serienfertigung hochpräziser Zahnräder. Um die hohe Ausbringung der Maschinen bei konstanter Qualität und tiefen Stückkosten sicherzustellen, wurde die technische Kompetenz in den Bereichen Werkzeuge, Automation und Verfahrenstechnologie kontinuierlich auf- und ausgebaut. Heute produziert und liefert Reishauer alles aus einer Hand und garantiert aufgrund dessen eine lange Nutzungsdauer des gesamten Maschinensystems sowie tiefere Lebenszykluskosten.



„Global Player“

Mit praktisch 100% Export gilt Reishauer durchaus als „Global Player“. Europa, Amerika und Asien teilen sich den Weltmarkt der Getriebefertigung in etwa zu je einem Drittel. In all diesen Regionen verlassen sich Automobilhersteller und deren Zulieferer vorbehaltlos auf die Qualität und Produktivität von Reishauer Zahnflankenschleifmaschinen. Um die geforderte Kundennähe zu realisieren, bieten Reishauer Niederlassungen in Europa, Amerika und Asien ihren Kunden umfassende Unterstützung durch Service und technische Beratung vor Ort. Zudem haben alle Niederlassungen uneingeschränkten Zugang zur umfangreichen technischen Knowledge Data Base der Muttergesellschaft.

Schleiftechnologie Made in Switzerland

Die hohe Fertigungstiefe gilt als weiterer, wesentlicher Bestandteil des Reishauers Leistungssystems. Alle Kernkomponenten werden in den eigenen Schweizer Werken entwickelt und gefertigt, um echte Schweizer Qualität zu garantieren.

Die Entwicklung geht weiter

Die Mobilität wird auch in Zukunft zunehmen und mit ihr wird sich die Reishauer Gruppe weiter entwickeln. Was immer der Mix der Antriebssysteme sein wird, die Anforderungen an deren Zahnräder werden steigen. Reishauer ist gut positioniert, sich nicht nur auf dem Markt zu behaupten, sondern auch neue technologische Impulse zu setzen.



Literatur

- [1] Lee, R.: The race to GHG regulatory compliance. FCA US LLC, CTI Symposium May 2016, Novi, USA
- [2] Murphy, M.: Transmission Technology Development, Drivers and Challenges, Autointelligence 2013
- [3] Krantz, T.: Gear Durability improved by Superfinishing. NASA Research Center Glenn, April 2002
- [4] Forschungsreport FVA 453, I1 + Ib, Randzonentragfähigkeit – Zahnflanke. Abschlussbericht FVA 2007, FZG Report 3520, Technische Universität München
- [5] Stewart, M.: Anew Approach to the Bearing Area Curve. SME Technical Paper, International Honing Technologies, May 1-3, 1990, Novi, Michigan, USA
- [6] Röthlingshöfer, T.; Wesely, K.: Reishauer Twist Control Grinding. A Summary for Practitioners. Internes Dokument, Reishauer AG, 2014
- [7] Thyssen, W.: Schleifschnecke, Profilierzahnrad und Verfahren zum u. a. Profilieren der Schleifschnecke. Reishauer AG, 2009, Patentschrift DE 10 2004 057 596 B4 04.06.2009
- [8] Jankowski, R., 2007, Profiliermethoden zur Erzeugung modifizierter Schleifschnecken. Reishauer AG, 2007, Patentschrift DE 197 06 867 B4 06.12.2007

REISHAUER

Gear Grinding Technology