

ENTDECKEN + VERSTEHEN + ANWENDEN

FERTIGUNGSVERFAHREN – NEU BETRACHTET. EIN KALENDER DES SFB/TRR 136 PROZESSSIGNATUREN



GEFÖRDERT DURCH
DFG Deutsche
Forschungsgemeinschaft

Eine neue Perspektive auf Fertigungsverfahren

Fertigungsverfahren sind industriell-technische und handwerkliche Prozesse, mit deren Hilfe Güter und Waren hergestellt werden. Jede Produktion basiert auf solchen Verfahren, wie zum Beispiel dem **Bohren, Fräsen, Gießen, Schmieden** oder **Löten**. Um eine Übersicht zu schaffen, sind die verschiedenen Fertigungsverfahren in der Norm DIN 8580 in 6 Gruppen unterteilt. Diese Einteilung orientiert sich an dem Verfahren, mit dem das Material bearbeitet wird und daran, wie sich der Zusammenhalt des Materials verändert. So lässt sich Material zum Beispiel **umformen, trennen** oder **beschichten**.

Der transregionale Sonderforschungsbereich 136 „Funktionsorientierte Fertigung auf der Basis charakteristischer Prozesssignaturen“ – kurz: SFB/TRR 136 Prozesssignaturen – verfolgt eine neue Perspektive, indem er eine prozessorientierte Einteilung der Wirkung von Fertigungsverfahren

auf das bearbeitete Material verfolgt. Man unterscheidet zwischen mechanischen, thermischen und chemischen Wirkungen der Fertigungsverfahren. Diese neuartige Betrachtungsweise soll es ermöglichen, nicht nur die Geometrie des Bauteils, sondern auch den Werkstoffzustand beziehungsweise dessen Veränderung in der Fertigung berücksichtigen zu können.

Der SFB/TRR 136 Prozesssignaturen ist ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderter interdisziplinärer Sonderforschungsbereich. Er ist an den Universitäten Bremen, Aachen und Stillwater (USA) angesiedelt. Das Team des SFB / TRR 136 besteht aus über 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus zehn verschiedenen Instituten und Lehrstühlen.

Redaktion. Malte Behlau, Melanie Kaesler und Jan Kebel
Design + Layout. Benjamin Reiter

EXPERIMETALL.de



Hydrostatisches Festwalzen einer planen (ebenen) Oberfläche. | Ulrich Reiß

2021 JANUAR

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

ENTDECKEN
VERSTEHEN
ANWENDEN

[EXPERIMENTALL.de](https://www.experimentall.de)

Festwalzen

Das Festwalzen ist ein umformendes Verfahren mit ausschließlich mechanischer Hauptwirkung. Je nach Ziel der Bearbeitung heißt es auch Glattwalzen. Den Kern des Verfahrens bilden sogenannte Festwalzkörper. Diese können beispielsweise eine Keramikugel oder eine gehärtete Walze sein. Der Festwalzkörper wird mit einer definierten Kraft auf das Werkstück aufgesetzt und dann maschinell über den zu bearbeitenden Bereich geführt. Die Festwalzkraft wird mechanisch oder hydraulisch erzeugt.

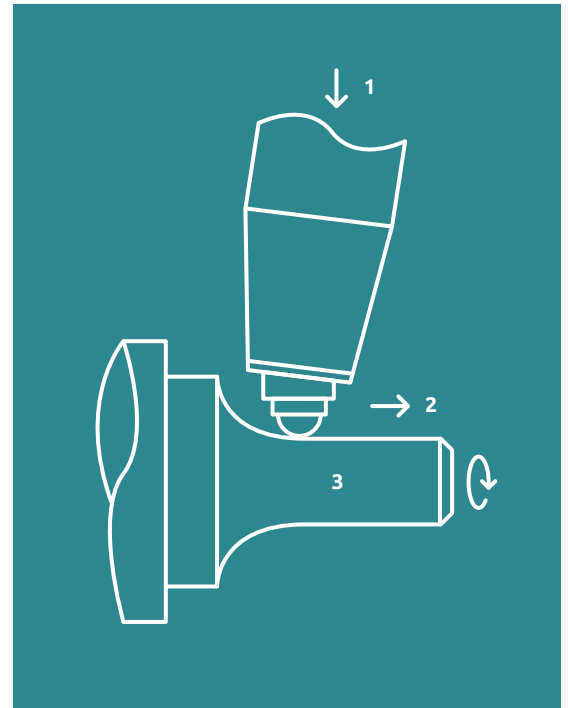
Durch Festwalzen lassen sich glatte, teils spiegelnde Oberflächen herstellen und die **Randzoneneigenschaften*** des Werkstücks positiv verändern. Es ist sowohl eine Steigerung der Härte als auch das Einbringen von Druckeigenspannungen möglich. Das Ergebnis ist eine erhöhte Biegewechsel- und Verschleißfestigkeit des Bauteils.

Das Festwalzen ist häufig einer der letzten Bearbeitungsschritte in der Fertigungskette. Es findet zum Beispiel Anwendung im Automobilbau bei der Herstellung von Kurbel- und Nockenwellen, im Leichtbau sowie in der Luftfahrt- und Medizintechnik.

***Summe aller physikalisch, chemisch und technologisch beschreibbaren Eigenschaften des Werkstoffs in der Randzone. Die Beschreibung umfasst den Skalenbereich vom atomaren bis zum polykristallinen Maßstab.**

Festwalzbearbeitung eines rotationssymmetrischen Bauteils

- 1 — Festwalzkraft
- 2 — Bewegung Festwalzwerkzeug
- 3 — rotierendes Werkstück





Funkenflug beim Flatschleifen. | Ulrich Reiß

2021 FEBRUAR

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28

ENTDECKEN
VERSTEHEN
ANWENDEN

[EXPERIMENTALL.de](https://www.experimentall.de)

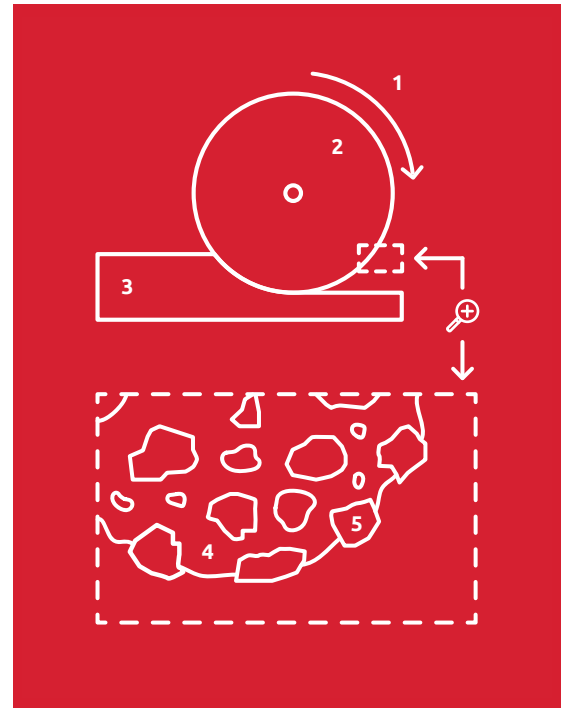
Schleifen

Schleifen ist ein trennendes (zerspanendes) Fertigungsverfahren mit thermo-mechanischer Wirkung. Anders als beim Fräsen oder Bohren handelt es sich um ein Verfahren mit **geometrisch unbestimmter Schneide**. Schleifprozesse kommen häufig zur präzisen Endbearbeitung von Bauteilen zum Einsatz, bei denen eine hohe Oberflächengüte von Bedeutung ist.

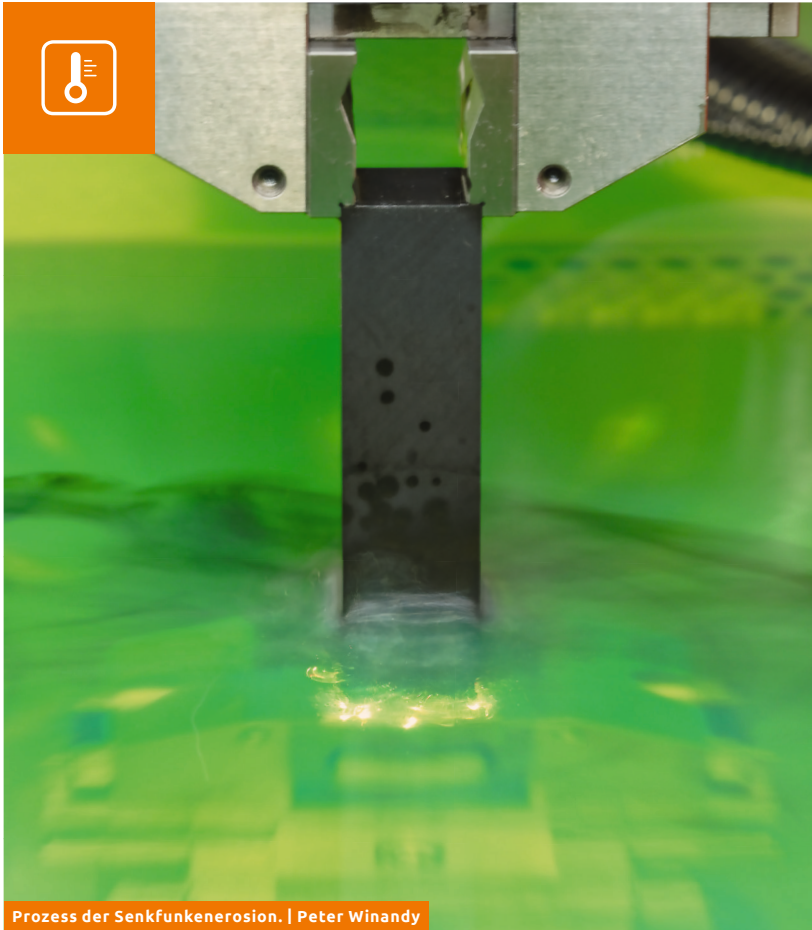
Die Trennarbeit beim Schleifen leisten die Schleifkörner. Als Schleifkörner kommen meist in eine Bindung eingebettete Hartstoffe zum Einsatz. Die unregelmäßige Geometrie der Schleifkörner kann im Vorhinein nicht festgelegt werden. Bei konventionellen Schleifmaschinen finden sie in Form von rotierenden Schleifscheiben Anwendung. Sobald diese mit dem Bauteil in Kontakt geraten, tragen sie dort kontinuierlich Material (**Span**) von dessen Oberfläche ab. Starke Reibung verursacht eine hohe Wärmeentwicklung, die sich beim Schleifen nicht vollständig über den Span abführen lässt. Um eine **thermische Bauteilschädigung** zu vermeiden, ist daher der Einsatz eines **Kühlschmierstoffes** erforderlich.

Kinematik eines Flachsleifprozesses (oben) und Aufbau einer Schleifscheibe (unten).

- 1 — Rotationsrichtung
- 2 — Schleifscheibe
- 3 — Werkstück
- 4 — Bindung
- 5 — Schleifkörner



2021 MÄRZ



Prozess der Senkfunkenerosion. | Peter Winandy

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

ENTDECKEN
VERSTEHEN
ANWENDEN

EXPERIMETALL.de

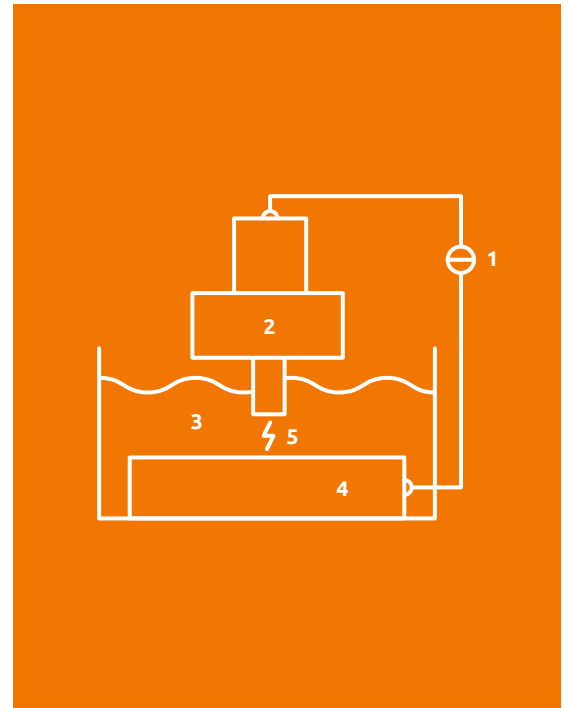
Senkfunkenerosion

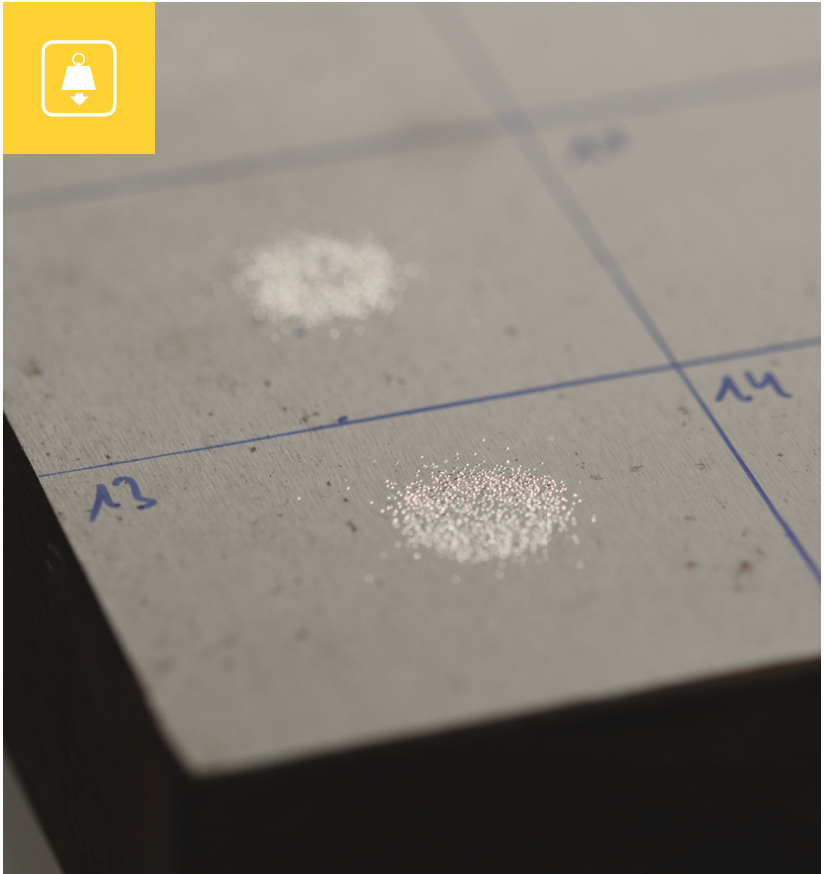
Bei der Funkenerosion (**EDM: electrical discharge machining**) handelt es sich um ein trennendes (**abtragendes**) Fertigungsverfahren mit thermischer Hauptwirkung.

Die Funktion des Werkzeugs übernimmt eine elektrisch leitende Elektrode, die im Prozess sehr nah (<0,5 mm) an das ebenfalls leitfähige Bauteil herangeführt wird. Nach Erhöhung der elektrischen Spannung erfolgt eine elektrische Entladung und ein Funke schlägt von der Elektrode auf das Bauteil über: Ein kleines Materialvolumen schmilzt und verdampft punktförmig. Dabei gewährleistet ein **nichtleitendes Zwischenmedium**, ein sogenanntes **Dielektrikum** (zum Beispiel ein Ölbad), einen gezielten Funkenüberschlag. Die so erreichte Lokalisierbarkeit der Funken macht EDM zu einem langsamen, jedoch sehr präzisen und flexiblen Verfahren. Es treten kaum mechanische Kräfte auf, die das Bauteil beeinflussen könnten. Speziell bei kleinen Bauteilen oder sehr komplexen Geometrien und immer dann, wenn besonders genau gefertigt werden soll, ist das von Nutzen.

Senkfunkenerosion: Das Werkzeug bildet das Gegenstück der zu schaffenden Werkstückform.

- 1 — Generator
- 2 — Werkzeug
- 3 — Dielektrikum
- 4 — Werkstück
- 5 — Funke





Einzelne mit variierten Parametern kugelgestrahlte Bereiche einer S235-Stahlplatte. | Maria Hilken

2021 APRIL

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

ENTDECKEN
VERSTEHEN
ANWENDEN

EXPERIMETALL.de

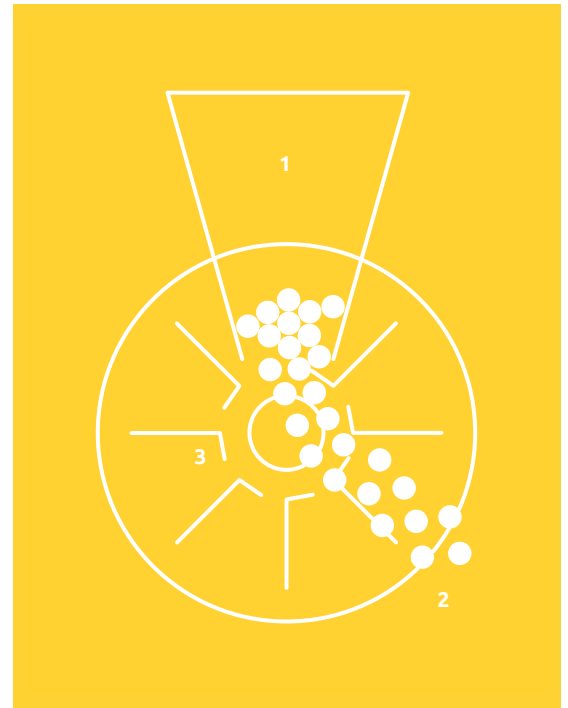
Kugelstrahlen

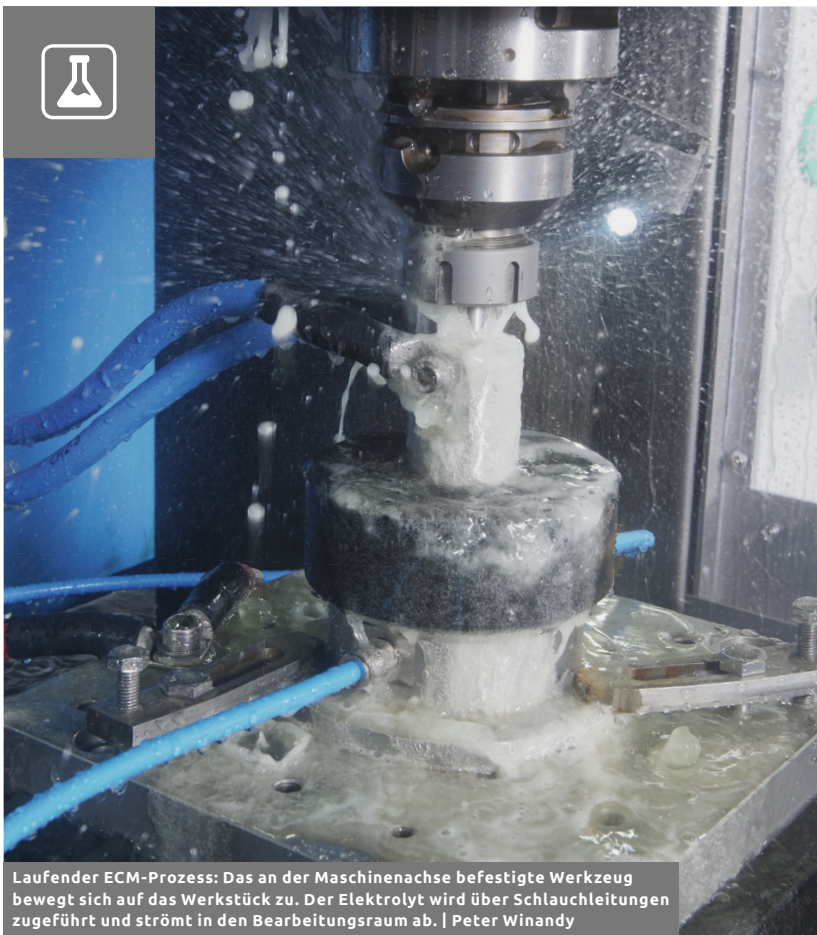
Beim Kugelstrahlen wird eine Vielzahl kleiner Kugeln oder Partikel beschleunigt und auf einem Werkstück zum Aufprall gebracht. Das Verfahren hat verschiedene Einsatzbereiche wie die Nachbearbeitung von gegossenen oder geschmiedeten Metallteilen, das Umformen und die Verfestigung von Werkstoffoberflächen. Bei Letzterem prallen Partikel, die eine höhere Festigkeit als das zu bearbeitende Werkstück besitzen, auf dessen Oberfläche. Hierdurch verformt sich die Werkstoffoberfläche plastisch und wird somit verfestigt – dies ist auch selektiv und punktuell möglich.

Zur Beschleunigung der Partikel kommen zum Beispiel Druckluft- oder Schleudranlagen zum Einsatz. Typische Kugeldurchmesser liegen in der Regel zwischen 0,6 und 2 mm. Als Kugelmaterialeien werden zum Beispiel Metall oder Keramik verwendet.

Beim rotierenden Rad werden die Partikel mithilfe der Zentrifugalkräfte beschleunigt.

- 1 — Trichter
- 2 — Partikel
- 3 — Wurfschaufel





Laufender ECM-Prozess: Das an der Maschinenachse befestigte Werkzeug bewegt sich auf das Werkstück zu. Der Elektrolyt wird über Schlauchleitungen zugeführt und strömt in den Bearbeitungsraum ab. | Peter Winandy

2021 MAI

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

ENTDECKEN
VERSTEHEN
ANWENDEN

EXPERIMETALL.de

ECM

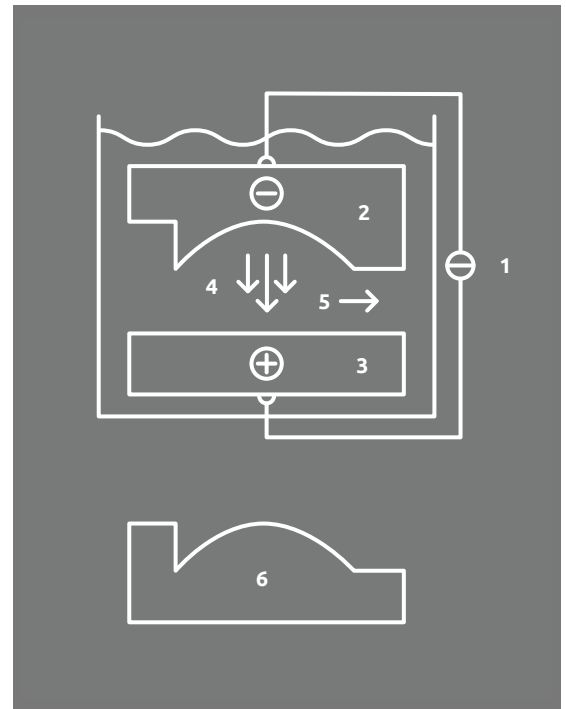
Die elektrochemische Metallbearbeitung (ECM) ist ein Fertigungsverfahren mit chemischer Hauptwirkung. Die Realisierung der chemischen Reaktion (Elektrolyse) erfolgt durch das Anlegen einer externen elektrischen Spannung.

Das leitfähige Werkzeug bildet den Minuspol (**Kathode**), das Bauteil den Pluspol (**Anode**). Die Salzionen der **Elektrolytflüssigkeit** reagieren mit dem metallischen Gitters. Auf diesem Weg werden die Ionen herausgelöst und das Bauteilmaterial nach und nach abgetragen, bis die gewünschte Zielgeometrie erreicht ist. Die Notwendigkeit einer ausreichenden Elektrolyt-Spülung macht eine zielgerichtete, kleinflächige Bearbeitung zwar schwierig, der Ablauf der chemischen Reaktion auf atomarer Ebene sorgt jedoch für die Erreichbarkeit extrem hoher **Oberflächengüten***. Diese Eigenschaft ist insbesondere bei der **Elektropolitur** von Nutzen, einer speziellen Art des ECM, bei dem sich **Rauheitsspitzen** gezielt abtragen lassen und die Bauteiloberfläche ohne thermischen oder mechanischen Einfluss geglättet werden kann.

***Die Oberflächengüte beschreibt die Rauheit der Werkstückoberfläche. Diese ist unter anderem abhängig vom Fertigungsverfahren. Je feiner das Verfahren ist, desto kleiner kann der Rauheitswert werden. Ein kleiner Rauheitswert bedeutet eine hohe Oberflächengüte.**

ECM-Prozess: Durch die Elektrolyse bildet sich das Werkzeug als Negativ im Werkstück ab.

- | | |
|-----------------|------------------------|
| 1 — Stromquelle | 4 — Vorschubrichtung |
| 2 — Werkzeug | 5 — Elektrolytströmung |
| 3 — Werkstück | 6 — Fertiges Bauteil |





2021 JUNI

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				

ENTDECKEN
VERSTEHEN
ANWENDEN

[EXPERIMENTALL.de](https://www.experimentall.de)

Bearbeitung eines Werkstücks mit der Stirnseite eines Schaftfräasers. | Ulrich Reiß

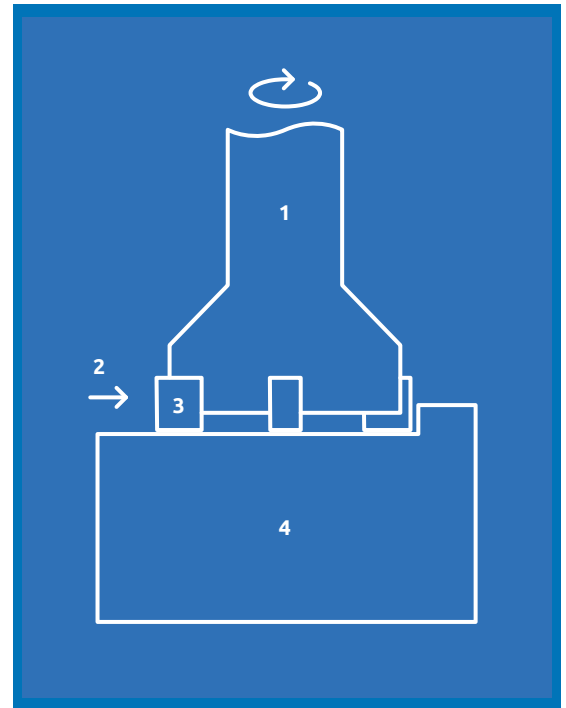
Fräsen

Fräsen ist ein spanendes Fertigungsverfahren mit meist thermo-mechanischer Hauptwirkung. Welche Wirkung tatsächlich überwiegt, hängt von vielen Prozessparametern (zum Beispiel **Schnittgeschwindigkeit** oder **Vorschub**) ab.

Anders als etwa das Schleifen oder Polieren ist das Fräsen ein Verfahren mit **geometrisch bestimmter Schneide**. Die geometrische Gestalt der Schneiden des Fräswerkzeugs ist bekannt und im Vorhinein nach den Erfordernissen frei wählbar. Beim Fräsen wird mit einem rotierenden Werkzeug Material (**Span**) vom Bauteil abgetrennt. Besonders für die Bearbeitung ebener (**planer**) Flächen ist es ein bedeutsames Verfahren. Häufig ist auch beim Fräsen der Einsatz eines **Kühlschmierstoffes** erforderlich, der eine zu große, reibungsbedingte thermische Beeinflussung des Bauteils verhindert.

Schematische Darstellung der Bewegungen beim Umfangs-Planfräsen

- | | | | |
|---|---------------|---|-----------|
| 1 | Werkzeug | 3 | Schneide |
| 2 | Vorschubkraft | 4 | Werkstück |





Bearbeitung eines Werkstücks mit einem Drehmeißel
im Längs-Runddrehverfahren. | Ulrich Reiß

2021 JULI

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

ENTDECKEN
VERSTEHEN
ANWENDEN

EXPERIMENTALL.de

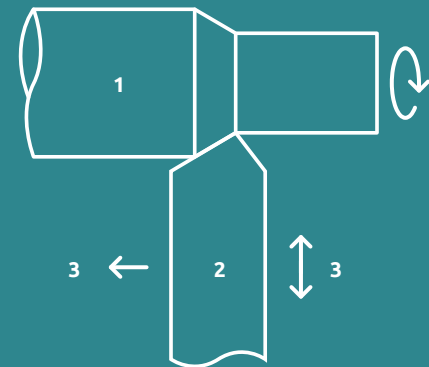
Drehen

Wie das Fräsen ist auch das Drehen ein spanendes Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide. Die Bezeichnung weist darauf hin, dass sein Gebrauch jedoch nicht primär zur Schaffung ebener Flächen erfolgt.

Es findet (meist) bei der Bearbeitung rotationssymmetrischer Bauteile Anwendung. Im Gegensatz zum Fräsprozess rotiert das Bauteil und wird von einem nicht rotierenden **Drehmeißel** bearbeitet. Dieser kann sich parallel (für **zylindrische** Geometrien) oder senkrecht (für **ebene** Geometrien) zur Rotationsachse des Bauteils bewegen. Häufig findet das Drehen in Verbindung mit dem Schleifen Verwendung. Das ist zum Beispiel dann der Fall, wenn die geforderte Oberfläche durch den Drehprozess allein nicht oder nicht wirtschaftlich erzielbar ist. Drehprozesse kommen auch bei der Fertigung von Gewinden und zahlreichen weiteren Konturen zum Einsatz.

Schematische Darstellung der Bewegungen beim Längs-Runddrehen.

- 1 — rotierendes Werkstück / Welle
- 2 — Werkzeug
- 3 — Bewegung Werkzeug





Mittels EBSD im Rasterelektronenmikroskop erzeugtes Bild
einerschleifgehärteten Probe aus 42CrMo4 Stahl. | Lisa Ehle

2021 AUGUST

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

ENTDECKEN
VERSTEHEN
ANWENDEN

EXPERIMENTALL.de

Fertigungsverfahren beeinflussen das Gefüge

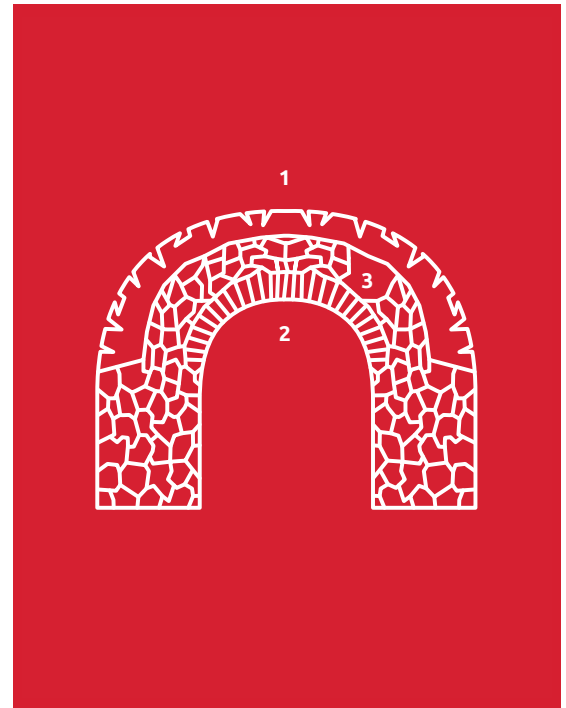
Fertigungsverfahren wirken je nach Prozess mechanisch, thermisch oder chemisch auf den metallischen Werkstoff ein und verändern dessen Randzoneneigenschaften. Hinweise auf die Veränderung geben mikroskopisch kleine Körner, aus denen das Gefüge aufgebaut ist.

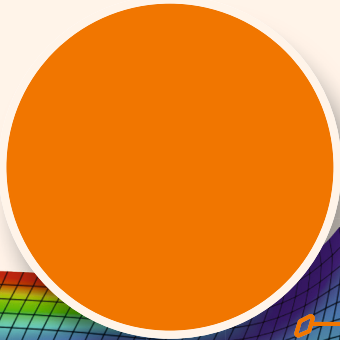
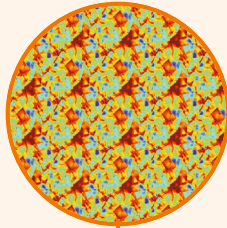
Das Gefüge von geschliffenen Proben lässt sich mittels Rasterelektronenmikroskop untersuchen, das anstelle von Licht mit einem Elektronenstrahl arbeitet und Informationen über die chemische Zusammensetzung und Kornstruktur liefert.

Das so erzeugte Bild einer schleifgehärteten Probe aus 42CrMo4-Stahl ist auf der Vorderseite dargestellt. Links oben ist die aus großen Körnern bestehende ursprüngliche Kornstruktur zu sehen. Die mittlere kleinere Kornstruktur ist durch Reibungswärme entstanden. Die sehr kleinen Körner und Verformungen an der Oberfläche (unten) entstammen dem thermo-mechanischen Einfluss des Schleifens. Die Einfärbungen der einzelnen Körner geben Hinweise auf ihre Kristallorientierung.

Einfluss des Biegens auf die Kornstruktur.
Innen und außen wird das Material spröder.

- 1 ——— Streckung der Körner
- 2 ——— Stauchung der Körner
- 3 ——— Neutrale Zone





Zweiskalige Simulation des Festwalzprozesses, bei der die Werkstoffmodifikationen auf Polykristall- und Gefügebene berechnet werden | Christian Gierden

2021 SEPTEMBER

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

ENTDECKEN
VERSTEHEN
ANWENDEN

EXPERIMETALL.de

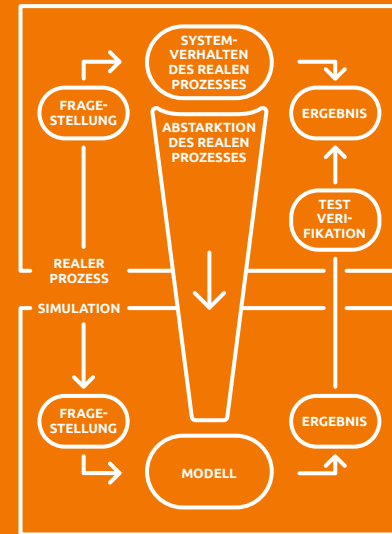
Simulation

Fertigungsverfahren laufen häufig so schnell ab, dass es schwierig ist, die Beanspruchung des Werkstücks messtechnisch zu erfassen. Neben Messungen sind Simulationen der Fertigungsverfahren daher essentiell, um einen detaillierten Einblick in die im Material ablaufenden Vorgänge wie Temperatur- und Spannungsverläufe zu bekommen.

Unter Simulation versteht man die Berechnung eines Modells. Zur Erstellung eines Modells wird ein reales System, z. B. ein Werkstück während eines Fertigungsverfahrens, mathematisch als Verbindung zwischen Ursache und Wirkung beschrieben. Erkenntnisse aus der Simulation können dann unter anderem auch zur Optimierung des realen Systems verwendet werden.

Neben den Einblicken in die vorliegende Beanspruchung und Modifikation des Werkstücks führt diese Vorgehensweise in Forschung und Entwicklung zu einer Zeit- und Kostenersparnis, da aufwendigen Experimente entfallen.

Verbindung zwischen Simulation und realem Prozess





2021 OKTOBER

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

ENTDECKEN
VERSTEHEN
ANWENDEN

[EXPERIMENTALL.de](https://www.experimentall.de)

Eingriff des Wälzfräasers in das Zahnrad. | Eckhard Berthold

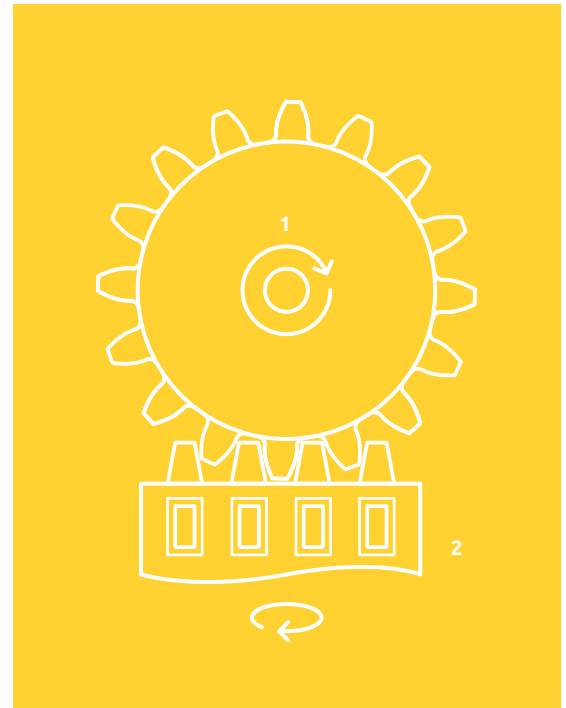
Wälzfräsen

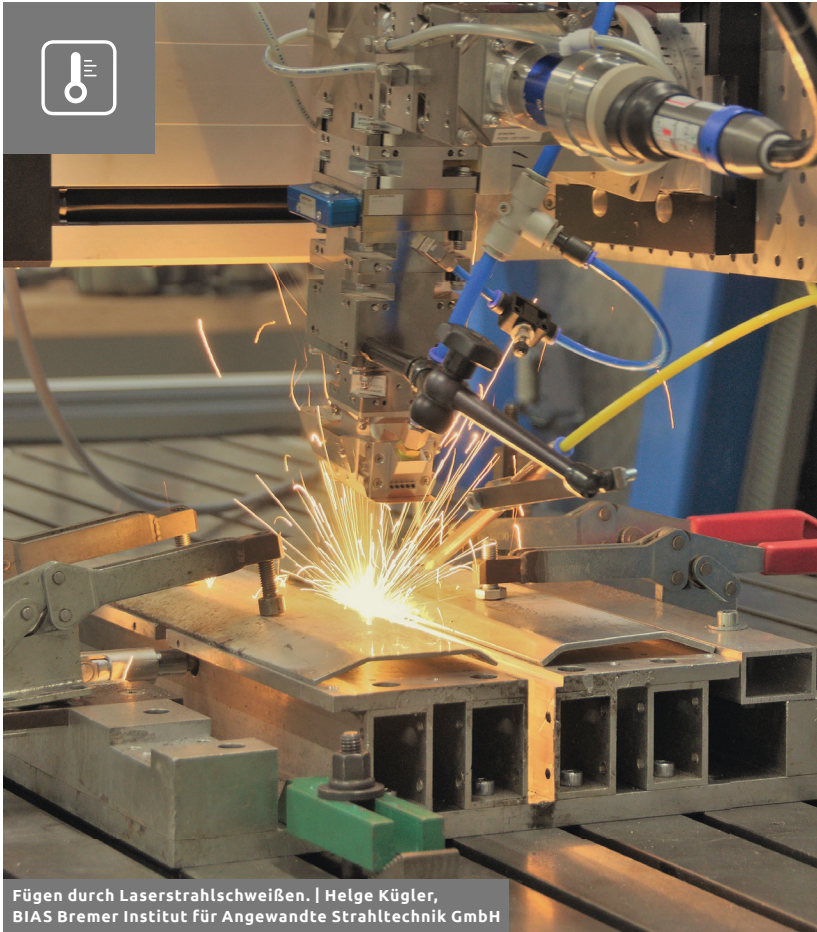
Das **Wälzfräsen** ist ein Teilbereich des Fräsens, der bei der **Zahnradfertigung** Anwendung findet.

Die Drehung des Werkzeugs (**Wälzfräser**) erzeugt die Schnittbewegung. Der Wälzfräser hat die Form einer **Schnecke**. Zusammen mit dem Bauteil (dem späteren Zahnrad) entsteht auf diese Weise ein **Schneckengetriebe** und eine Drehbewegung ist die Folge. Um die **Zahlücken** des Zahnrads zu fräsen, bewegt sich der Wälzfräser parallel zur Rotationsachse des Bauteils an diesem entlang und wälzt eine **Verzahnung** auf dem Bauteil ab. Das Wälzfräsen ist ein flexibles Verfahren, mit dem sich nahezu alle erwünschten Zahnradarten und Zahnradgeometrien erzeugen lassen.

Prinzipiskizze eines Wälzfräsprozesses

- 1 — rotierendes Werkstück
- 2 — Wälzfräser





Fügen durch Laserstrahlschweißen. | Helge Kügler,
BIAS Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik GmbH

2021 NOVEMBER

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

ENTDECKEN
VERSTEHEN
ANWENDEN

[EXPERIMENTALL.de](https://www.experimentall.de)

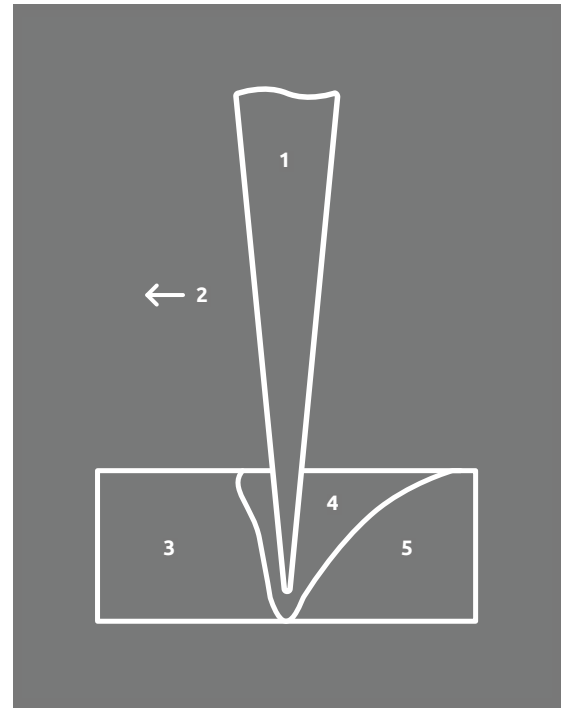
Laserstrahlschweißen

Laserstrahlschweißen ist ein thermisches Fügeverfahren. Durch einen fokussierten Laserstrahl werden die zu fügenden Bauteile in einem kleinen Bereich sehr schnell aufgeschmolzen und können so **stoffschlüssig*** miteinander verbunden werden. An besonders schwer zugänglichen Stellen bietet diese Art des Schweißens gegenüber konventionellen Schweißverfahren einen enormen Vorteil. Der Laserstrahl kann auch aus einer vergleichsweise großen Entfernung seine Wirkung zielgenau entfalten. Dabei ist die Herstellung hochwertiger Schweißnähte mit hoher Geschwindigkeit möglich.

***Stoffschlüssige Verbindungen bezeichnen Verbindungen durch atomare oder molekulare Kräfte. Es handelt sich dabei um nicht lösbare Verbindungen. Das bedeutet, dass sie ohne eine Zerstörung des Werkstücks nicht wieder aufgehoben werden können.**

Laserstrahlbasiertes Schweißen. Der Laserstrahl ermöglicht eine schlanke und tiefe Naht.

- | | |
|---------------------|-----------------|
| 1 — Laserstrahl | 4 — Schmelzbad |
| 2 — Schweißrichtung | 5 — Schweißnaht |
| 3 — Werkstück | |





Ultrapräzises Quer-Plandrehen mit einem Diamantwerkzeug zur Erzeugung einer Oberfläche | Tjarden Zielinski

2021 DEZEMBER

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

ENTDECKEN
VERSTEHEN
ANWENDEN

[EXPERIMENTALL.de](https://www.experimentall.de)

Präzisionszerspanung

Im Bereich der hochgenauen Präzisionszerspanung kommen trennende Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide zum Einsatz.

Die für den SFB/TRR 136 Prozesssignaturen relevanten Werkstoffmodifikationen werden jedoch auf einer erheblich kleineren Skala erzeugt. Hier steht die Betrachtung einer **Randzonenbeeinflussung** im Mikrometerbereich im Fokus. Neben der anspruchsvollen Bearbeitung stellt hier auch die Messung der **Prozessgrößen** eine Herausforderung im SFB/TRR 136 dar. Schwierigkeiten im Hinblick auf die Erfassung dieser Prozessgrößen und der **Energieeinbringung** (mechanischer und thermischer Gestalt) im Mikrobereich begegnet der SFB mit hoch spezialisierten Methoden wie etwa **aufgedruckten Thermoelementen**.

Bei der Präzisionszerspanung werden häufig nur wenige Mikrometer dicke Werkstoffschichten vom Werkstück abgetrennt.

1 μm = 0,001 mm

Mikrometer (μm) \rightarrow 1/1000 Millimeter

