

# Abtragtechnik

## Elektrochemisches Senken:

### Abtragsvorgang:

Anode (Werkstück):  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$   
Kathode (Werkzeug):  $2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow 2(\text{OH}) + \text{H}_2$   
Gesamt:  $\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}_2$   
kein Verbrauch des Elektrolyts, Na und Cl Ionen beteiligen sich nicht am Prozess

### Vorteile:

kein Werkzeugverschleiß, geringe Gratbildung, komplette Formen herstellbar, zu Erodieren vgl. hoch produktiv, keine Randzonenschädigung (da kein mech. Abtrag), geringer Wärmeeintrag, doppelt gekrümmte Flächen mgl.

### Nachteile:

langsam, relativ hohe Toleranzen (100µm), Entstehung von  $\text{H}_2$ , Energieaufwändig, nur elektr. leitfähige Mater.

### Produktivität beim EC-Senken:

Faraday'sches Gesetz:  $m := \frac{\eta \cdot A_m \cdot I_A \cdot t}{n \cdot F}$   
= Die Produktivität ist nur von der Stromdichte und dem spez. Abtragsvolumen abhängig  $V := \frac{\eta \cdot A_m \cdot S \cdot A \cdot t}{n \cdot F \cdot \rho}$   $v_f := \frac{V}{A \cdot t}$   $v_f := \left( \frac{\eta \cdot A_m}{n \cdot F \cdot \rho} \right) \cdot S$   $v_f := v_{sp} \cdot S$

$\eta$ ...Stromausbeute,  $A_m$ ...Atommasse,  $I_A$ ...Strom,  $t$ ...Zeit,  $n$ ...Wertigkeit des Atoms,  $S$ ...Stromdichte,  $F$ ...Faradaykonstante  $F=96497\text{As}$ ,  $v_{sp}$ ...Werkstückkonstante

Maßnahmen zur Erhöhung: Stromdichte +, Werkstoffauswahl, Elektrolyt (passivierend, nicht passivier.)  
→ Stromausbeute +, Werkstoff-Elektrolyt-Kombination

Keinen Einfluß: Werkzeugwerkstoff, Spannung, Elektrolytströmungsgeschwindigkeit und temperatur

### Welche Größe beeinflussen den Eintrittswirkspalt?:

Ohmsches Gesetz:  $R := \frac{b}{A \cdot \chi}$  ( $\chi$ ) :=  $\frac{1}{\Omega \cdot \text{cm}}$   $R$ ...Widerstand  
 $b$ ...Wirkspaltbreite  
 $\chi$ ...elektrische Leitfähigkeit (0.1-0.6)  
 $U_E := U_{AG} - U_Z$   $U_E := I_A \cdot R$  mit  $S := \frac{I_A}{A}$  ist  $U_E := \frac{S \cdot b}{\chi}$   
Grundgleichung:  $b := \frac{U_{AG} - U_Z \cdot \chi}{S}$   $U_{AG}$ ...Anlagenspannung (ca. 20V)  
 $U_Z$ ...Zersetzungsspannung  
 $U_Z = U_k + U_a$  (Spannungsabfall Kat/Anod)

Phasengrenzschichten:

### Welche Größen beeinflussen den geometrischen Wirkspalt längs der Elektrolytströmung:

Leitfähigkeitseinfluß: höhere Elektrolyttemperatur -> höhere Leitfähigkeit/Abtrag -> größerer Spalt  
 $\text{H}_2$ -Entstehung: hohe Temp: Ausgasen von  $\text{H}_2$  -> Bläschen verringern Leitfähigkeit

Geometrieeinfluß:  $b := f(\sin \alpha) \rightarrow b_\alpha := \frac{(U_{AG} - U_Z) \cdot \chi}{S \cdot \sin \alpha}$  es kommt zu Verrundungen der Ecken und zur Vergrößerung des Wirkspaltes  
bei kleinen Radien: Einfluß der Laplace Transformation

### Passivschichten:

Definition: Entstehen bei passivierenden Elektrolyten an Elektroden: hoher Übergangswiderstand, bringen die EC-Reaktion zum Erliegen

Beseitigungsverfahren: (Strömungsgeschwindigkeit, EC-Schleifen)

## Elektrolyt:

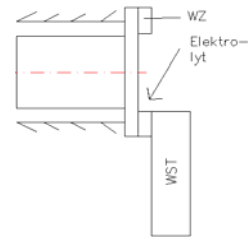
Aufgaben: Stromleitung (10kA), Einleitung der elektrochemischen Reaktion, Beseitigung der Passivschichten, Abtransport von Wärme und Abtragsprodukten

hoher Elektrolytdurchsatz: sehr hohe Wärmeentstehung: sonst verdampfen des Elektrolyts, Abtransport von Abtragsprodukten und H<sub>2</sub>

passivierende Elektrolyte: NaNO<sub>3</sub>, nichtrostend, an Anode und Kathode können Passivschichten entstehen  
nichtpassivierende El.: NaCl: keine Passivsch. ABER: Rostproblem: WS müssen sofort gesäubert werden

## Elektrochemisches Schleifen = Elvierschleifen:

Methoden: - mit konstanter Kraft andrücken  
Nachteil: Schleifscheibenverschleiß, damit mehr Kraft nötig  
-> Vorschubgeschwindigkeit (Produktivität) sinkt  
- mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit  
Vorteile: konstanter Schleifdruck, damit konst. Werkstückverhalten, berechenbare Produktivität



Produktivitätssteigerung: Anpressdruck und/oder Vorschubgeschwindigkeit erhöhen

## Erodieren:

### Abtragsvorgang:

Das Abtragen erfolgt durch aufeinanderfolgende, zeitlich und räumlich getrennte nichtstationäre oder quasistationäre Lichtbögen (Funken)

### Technologien:

jede Technologie gilt nur für die spez. Jeweilige Prozesskonfiguration (Maschinen- und Werkstoffkonf., Impulsgenerator, Dielekt., Vorschub, Draht/Elektrolyt)

### Vorteile:

komplizierte Gestalten, harte Werkstoffe, hohe Genauigkeiten und gute Oberflächen

### Nachteile:

nur elektrisch leitfähige Materialien, niedrige Produktivität, hohe Randzonenschädig.  
-> geringe Biegebruchfestigkeit (50% zur Schleifqualität)

## Dielektrikum:

Aufgaben: *Isolation* (Iso. des WS während Impulspause), *Ionisation* (opt. Bedingung für Aufbau des elektrischen Feldes, schnelle Deionisation nach Impulsende, Einschnürung des Entladekanals), *Kühlung* (Plasmakanal ca. 10kK, Werkstück, Kondensation der Metaldämpfe in der Flüssigkeit), *Abtransport der Abtragspartikel*  
Arten: *CH-Dielektrika* (Senkero, Abtragsrate+, Verschleiß-, Randzonenschädig., Entsorg.-)  
*Deionisiertes Wasser* (Drahtero., Rauheit+, Kühlung+, Entsorg.+, Abtragsrate-, Verschleiß+)

## Senk-Elektroden:

Graphit: höhere Abtragsraten (höhere Stromdichte), ger. Verschleiß, ger. Dichte (WZ+), ger. Wärmedehnung (höhere Genauigkeit), höchste Oberflächengüten erzielbar  
ABER: höherer Preis, Bearbeitung nur in spez. Maschinen (Stäube)  
Kupfer: geringere Neigung zu Lichtbogenbildung bei kleinen Spalten, bessere Oberflächengüten im Extrembereich, ABER: hohe Dichte, schlechtere Bearbeitbarkeit

## Draht-Elektroden:

Mantel: verzinkt: preiswert, einfach  
CuZn: Verbesserung des Frequenzverhältnisses, höhere Abtragsraten, Drahttrissgef. -

## Hauptzielgrößen:

Rauheit: Kraterförmige Oberfläche, Mittel: Nachschnitte mit kleiner werdenden Aufmaß  
Einflüsse: Entladedauer, Impulsstrom: mittlere Entladeenergie - ->Rauheit -

Genauigkeit:

Abtragsrate: Einflüsse: Entladedauer, Tastverhältnis, Impulsstrom  
(Verschleiß): Einflüsse: Entladedauer (hoch), Tastverhältnis, Impulsstrom



Restriktive ZG: Oberflächenrauheit, Optimierbare ZG: Verschleiß, Abtragsrate, informative ZG: Wirkspalte

## Randzonenschädigung beim Drahterodieren:

Randzone (weiße Sch.): Abrupte Abschreckung Werkstoff, Material des WZ kann eingedrungen sein, Poren+Risse  
Umwandlungszone: Phasenumwandlung unterhalb des Schmelzpunktes, Gefügefehler (Korngrenzenrisse)  
Eigenspannungszone: Eigenspannungen bis tief ins Gefüge  
Unbeeinflusstes Gefüge: keine durch Erodierprozess entstandenen Eigenspannungen mehr

**Nachschnitte:**

Charakteristika:

1. Hauptschnitt ins Volle mit hoher Entladeenergie, 2.-n. Feinschnitte ger. Entladeenergie  
 Nachschnitt muß kleiner als Drahtdurchmesser sein, damit kein Schnitt ins Volle entsteht  
 Zeit: HS: 75%, NS1: 9%, NS2: 9%, NS3: 6%, da höhere Schnittrate und höherer Vorschub  
 Verbesserung der Oberflächenrauigkeit und Genauigkeit, NICHT Randzonenschädigung

Motivation:

**Schleppfehler:**

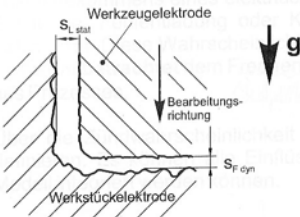
bei höheren Werkstücken und aufgrund der Spülverhältnisse treten bauchige Drahtführungen (Schleppfehler) bes. in der WS-Mitte auf (1-5µm)  
 Bei Nachschnitten: Drahtspannkraft erhöhen um Balligkeit zu reduzieren

**Produktivität:**

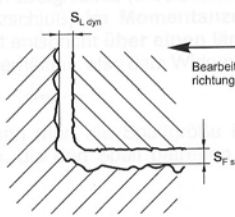
1 Erodieren 10 Elysieren 100 Schleifen 1000 Fräsen

**Spalte:**

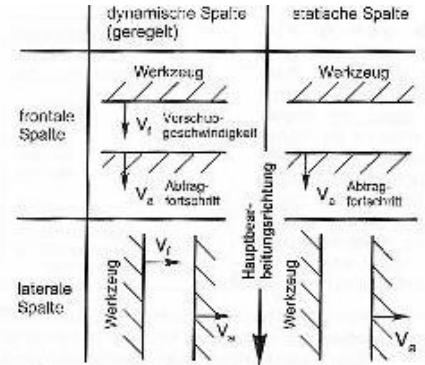
Vertikales Einsenken



Seitliches (Planetäres) Auslenken



In dynamischen (geregelt) Spalt wird die Spaltweite (indirekt) so eingestellt, dass eine optimale Prozessqualität (Zündwahrscheinlichkeit) vorherrscht.  
 Im statischen Spalt hingegen erfolgt der Abtrag so lange, bis die Zündwahrscheinlichkeit auf praktisch null abgesunken ist.



**Stromquellen:**

Arten:

Vorteile:

Nachteile:

Anwendung:

**Statische Impulsgeneratoren**

Ohmsche Spannungsquelle (konst. U)  
 R-Stromquelle (Vorgabe U,I)  
 Impulsenergie konstant  
 Pulsparameter/-Form reproduzierbar  
 komplizierter Aufbau  
 Problematisch bei sehr kurzen Pulsen (Trägheit der Bauelemente)  
 alle Bereiche

**RC-Generatoren**

Spannungsquelle (konst. U)

einfacher Aufbau  
 hohes Maß an Selbstregelung  
 Impulsenergie nicht reproduzierbar  
 Parameterkopplung, keine def. Pause, bipolare Pulse und hoher Verschleiß  
 erosive Bearbeitung, Feinstschlicht-Bearbeitung beim drahteros. Schneiden

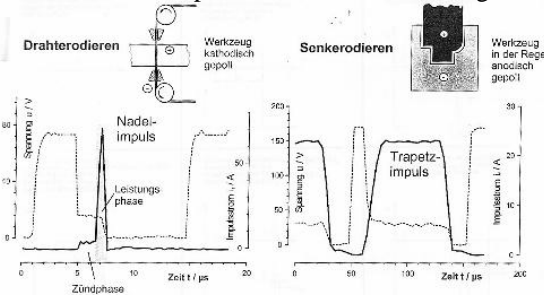
Ohmsche U-Quelle:  
 (Draht:günst. Anbieter)

V: einfacher Aufbau, billig, hohe Flankensteilheit  
 N: keine konst. Stromamplitude, diskrete Stromstufung, geringer Wirkungsgrad

R-Stromquelle:

V: konstanter Impulsstrom  
 N: komplex, diskrete Stromstufung, Zündstufe erforderlich, ger. Wirkungsgrad/Flankensteilheit

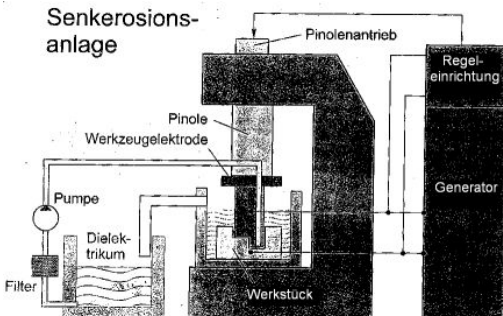
**Stromimpulse:**



*isofrequente Impulstaktung:* höhere Prozessstab, Entladedauer nicht reprod., selten angewandt  
*Isoenergetische Impulstaktung:* reproduzierbare Impulsparam., Anwendung beim Senkerod)  
**Drahterodieren:** kurze Nadelimpulse  
 Hohe Ströme, im ns-Bereich  
**Elysieren:** längere Trapezpulse mit geringeren Strömen

**Senkerodieren:**

Senkerosions-anlage

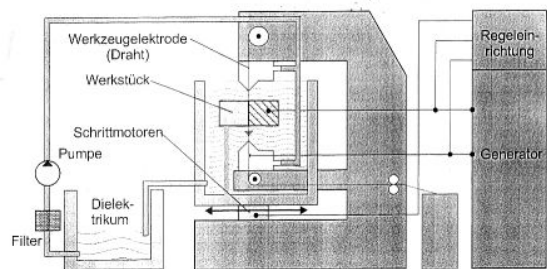


- negatives Abbilden der Werkzeugelektrode im Werkstück
- hohe Präzision, ABER geringe Produktivität
- Anwendung: Mikrobearbeitung, Werkzeugbau
- Spülung

**Planetärerodier:**

einer rein abbildenden Bewegung werden weitere Bewegungen überlagert oder nachgeschaltet, wobei Eine zielgerichtete geometrische Vergrößerung der Abbildung folgt. Grenze zum Bahnerod. ist fließend = kein reines Einsenken mehr

**Drahterodieren:**



- höchste Präzision, aber geringe Produktivität
- Gestalterzeugung durch Abtragsvorgang, bei dem def. geführter Draht das Werkzeug ist
- Erzeugung von Durchbrüchen, Konik möglich
- Drahtspülung: HS im Bad, NS: von oben+unten