



**impulstec** INDUSTRIAL SHOCK WAVE FRAGMENTATION TECHNOLOGY

# Bessere Verwertungsmöglichkeiten **von Verbundmaterialien** mittels **Schockwellentechnologie**

## **Ressourceneffizienz vor Ort**

Freiberg, den 24. November 2016

Dr. Norbert Berg (ImpulsTec)

Stefan Eisert (ImpulsTec)



1. Ressourceneffizienz in verschiedenen Bereichen

2. Funktionsweise des Schockwellenverfahrens

3. Sortenreine Aufbereitung/Zerkleinerung von Abfallmaterialien

3.1 Aufbereitung von Elektroschrott (Mobiltelefone, Leiterplatten, ...)

3.2 Recycling von Li-Ionen Batterien/ Pouchzelle

3.3 Recycling von Solarmodulen

4. Zusammenfassung

# 1. Ressourceneffizienz in verschiedenen Bereichen



## Einsparungen bei Primär- und Sekundärprozessen

- Primärprozeß für 1 t Kupferherstellung benötigt ca. **165 t** Kupfererz
- Gewinnung von 1 t Kupfer aus Altmaterial/Abfall durch Sekundärprozesse benötigt nur **8 t** Rohstoffe (inkl. Energie, Diesel, ...)  
→ **157 t** Ressourcen eingespart (Quelle: ALBA Group/Fraunhofer Umsicht 2016)

## Reduzierung von Materialien und Einsatz effektiverer Technologien

- Niedrigere  $C_w$ - Werte in der Automobilindustrie und weniger Gewicht  
→ geringere Verbrauchswerte
- Effizienzsteigerung beim Fügen von Materialien:  
Höhere Ressourceneffizienz =  $\frac{\text{Verbindungseigenschaften verbessern (z.B. Festigkeit)}}{\text{Ressourcen minimieren (z.B. Material, Energie)}}$

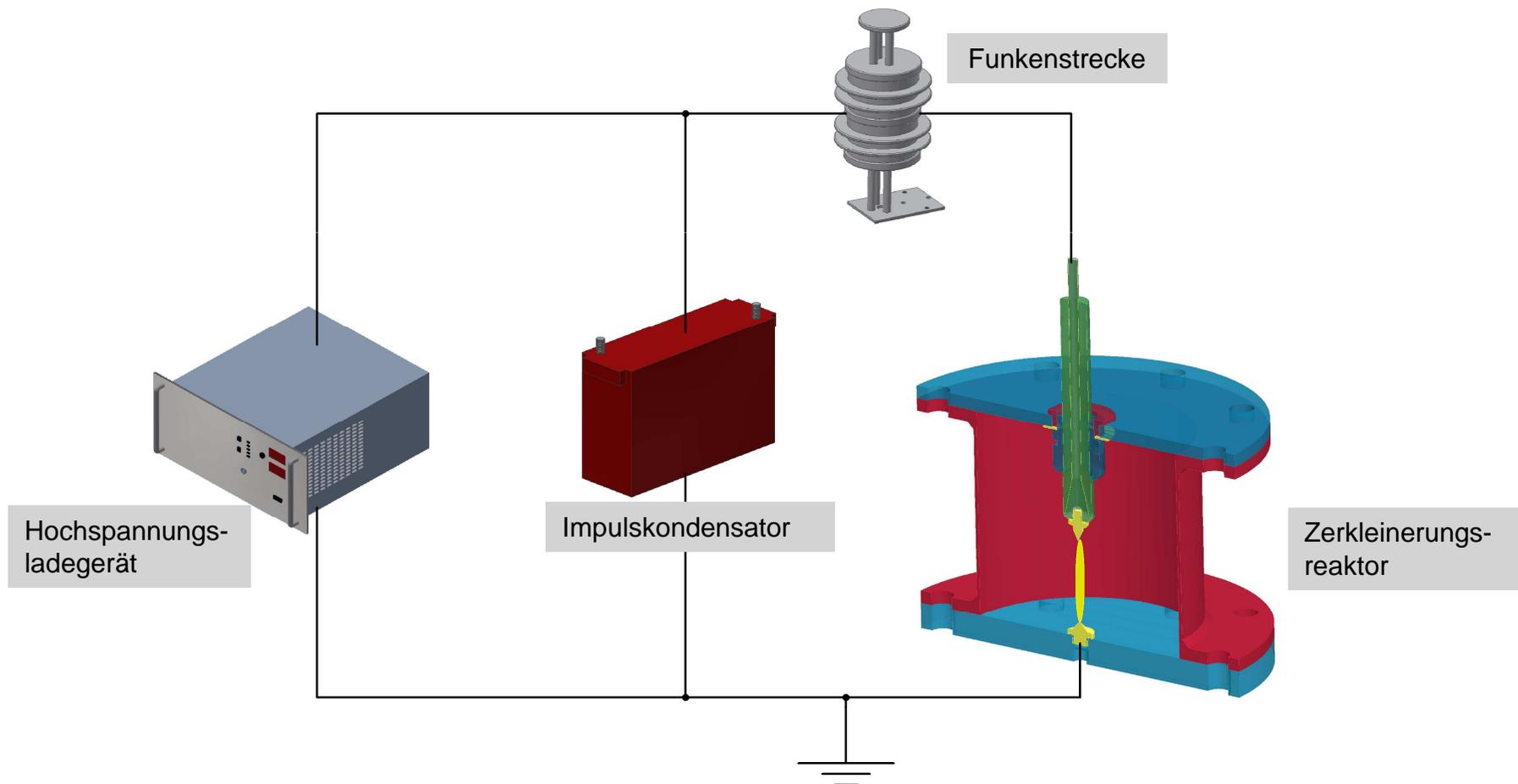
## Sortenreine Erfassung und Sortierung (bessere Sekundärprozesse)

- Beispiel Deutschland: 14 % der verwendeten Rohstoffen wurden 2010 aus Abfällen gewonnen → Tendenz steigend

## 2.1 Funktionsweise der Schockwellentechnologie



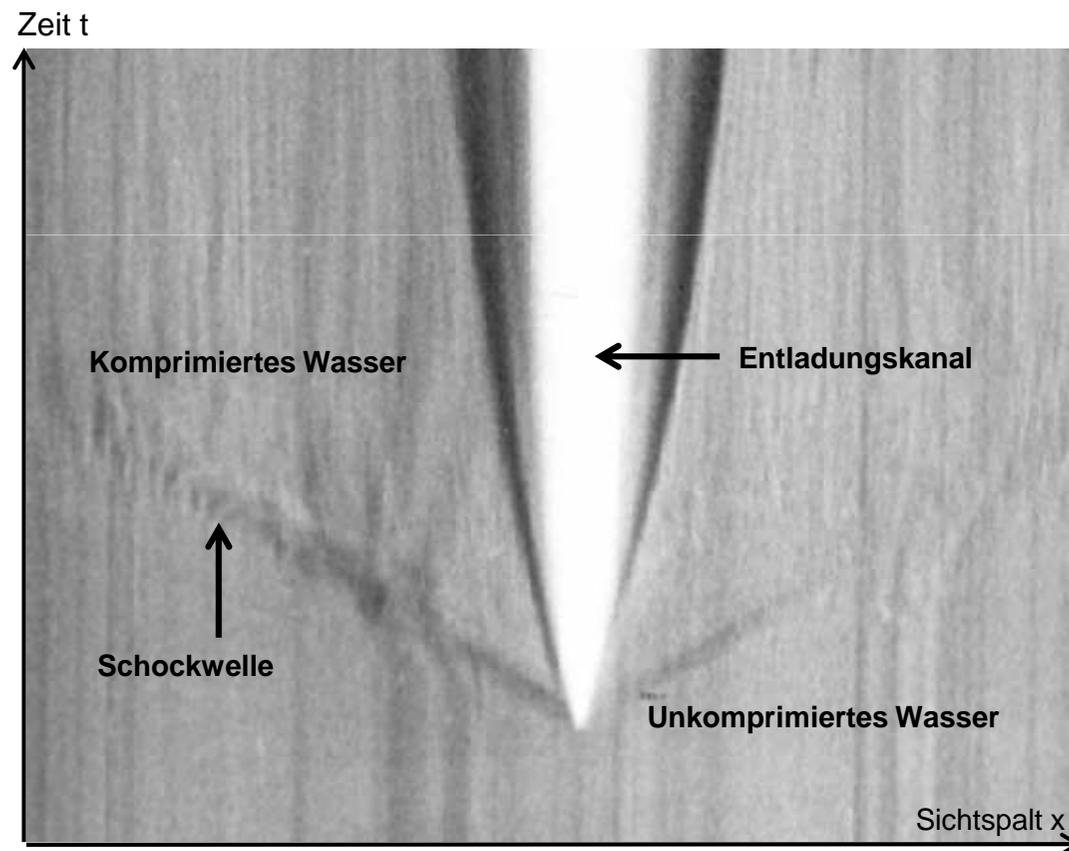
Schema des Entladekreises



## 2.2 Zerkleinerungsmechanismus



Zeitlicher Verlauf innerhalb eines schmalen Sichtspaltes auf den Entladungskanal



- Funkenkanalausbildung zwischen Elektroden einer Unterwasserfunkenstrecke
- Umliegende Flüssigkeit wird komprimiert
- Grenze zu unkomprimiertem Wasser = „Schockwelle“
- Hohe Druckgradienten führen zur Fraktionierung des Materials („Spallation“)

## 2.3 Vorteile des Zerkleinerungsverfahrens



### Selektivität auf mechanische Eigenschaften

- homogene Einkopplung von Druckwellen in das Mahlgut
- Brüche vorzugsweise an mechanisch schwächster Stelle

### Selektivität auf akustische Eigenschaften

- Materialien mit verschiedenen akustischen Eigenschaften
- Phaseninversion (Reflexion am festen Ende) oder
- Überlagerung mit einlaufender Welle (Reflexion am losen Ende)

### Selektivität auf elektrische Eigenschaften

- vorrangige Energieeinkopplung in leitfähigen Komponenten



**EHZ weist eine hohe Selektivität an den Materialgrenzflächen auf**

## 3.1 Recycling von Elektroschrott



Bild: Leiterplatte eines Handys nach der Schockwellenbehandlung

### Ziele

- Zerlegung von Baugruppen in ihre Einzelkomponenten (Gehäuse, Leiterplatte)
- Anreicherung von Wertstoffen (Au, Ag, Pd)
- effizientere Verwertung der wertstoffhaltigen Komponenten
- Zerlegung von Elektronikgeräten mit fest integriertem Akku

### Anwendungsbeispiele

- Mobiltelefone
- Leiterplatten
- Kondensatoren
- Laptops

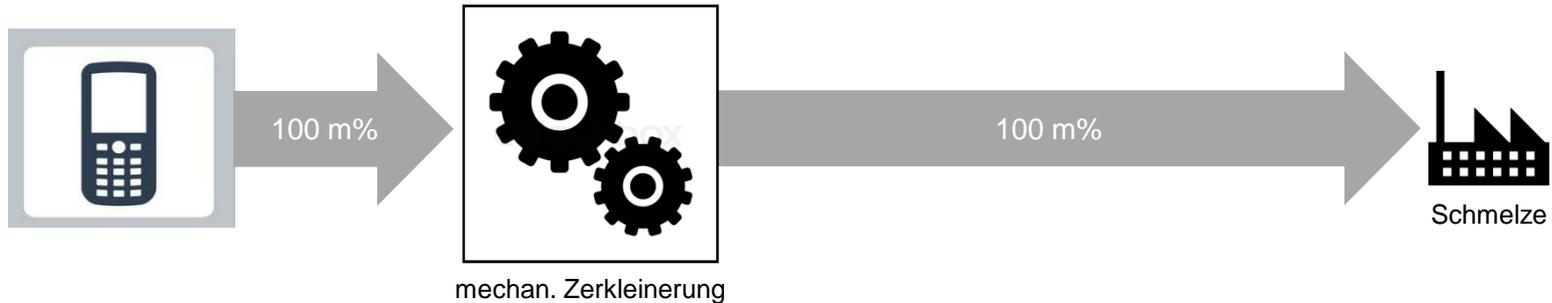


# Mobiltelefon

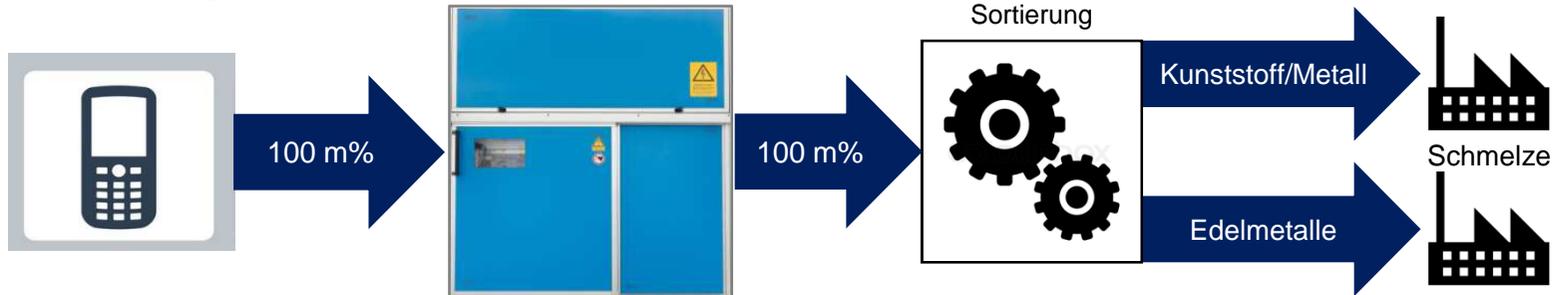
# Schockwellenaufbereitungsprozess **Mobiltelefone**



## Klassischer mechanischer Aufbereitungsprozess



## Aufbereitungsprozess mittels Schockwellen

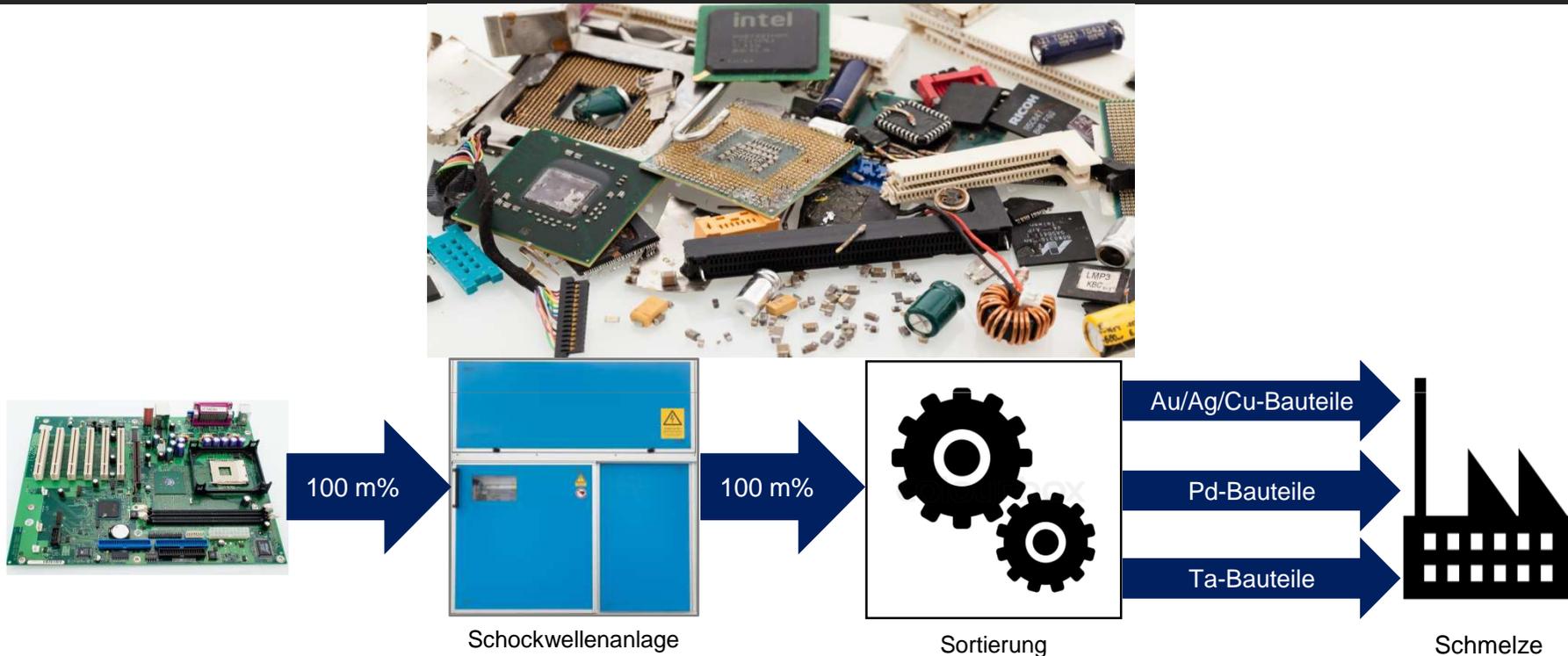


- Bessere Verwertungsmöglichkeiten der Edelmetallkonzentrate in Schmelzprozessen (mind. 2f-ach höhere Ausgangskonzentrationen)
- Reduzierung der Aufarbeitungskosten bei der Schmelze um mehr als 50 % durch Masseentfrachtung
- Höhere Vergütung der Edelmetalle wegen geringerer Verluste durch Schockwellenbehandlungsprozesses
- Betriebskosten Schockwellenzerkleinerung (Strom, Wasser, Verschleiß): <200 €/t



# Leiterplatten

# Schockwellenaufbereitungsprozess Leiterplatten



- separate Verwertung der abgelösten Bauteile → Erschließung ungenutzter Rohstoffpotentiale (z.B. Ta, Sn)
- bessere Aufarbeitungskonditionen in Schmelze (höhere Ausgangskonzentrationen, Masse-Entfrachtung, Reduzierung von Abschlägen)
- Reduzierung von Edelmetallverlusten durch den Schockwellenbehandlungsprozesses
- Betriebskosten Schockwellenzerkleinerung (Strom, Wasser, Verschleiß): <250 €/t



# Tantalkonden- satoren

# Schockwellenaufbereitungsprozess **Kondensatoren**

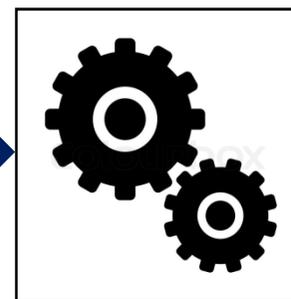


100 m%



Schockwellenanlage

100 m%



Sortierung

Reststoffe (Kunststoff)

Ta-Konzentrat



Schmelze

- Zerlegung auf mikroskopischer Ebene, je nach Beanspruchungsintensität bleibt der Tantal-Körper intakt
- Sortierung des Materialgemisches nach der Schockwellenbehandlung
- gezielte Verwertung des Tantalkonzentrats
- Betriebskosten Schockwellenzerkleinerung (Strom, Wasser, Verschleiß): <500 €/t

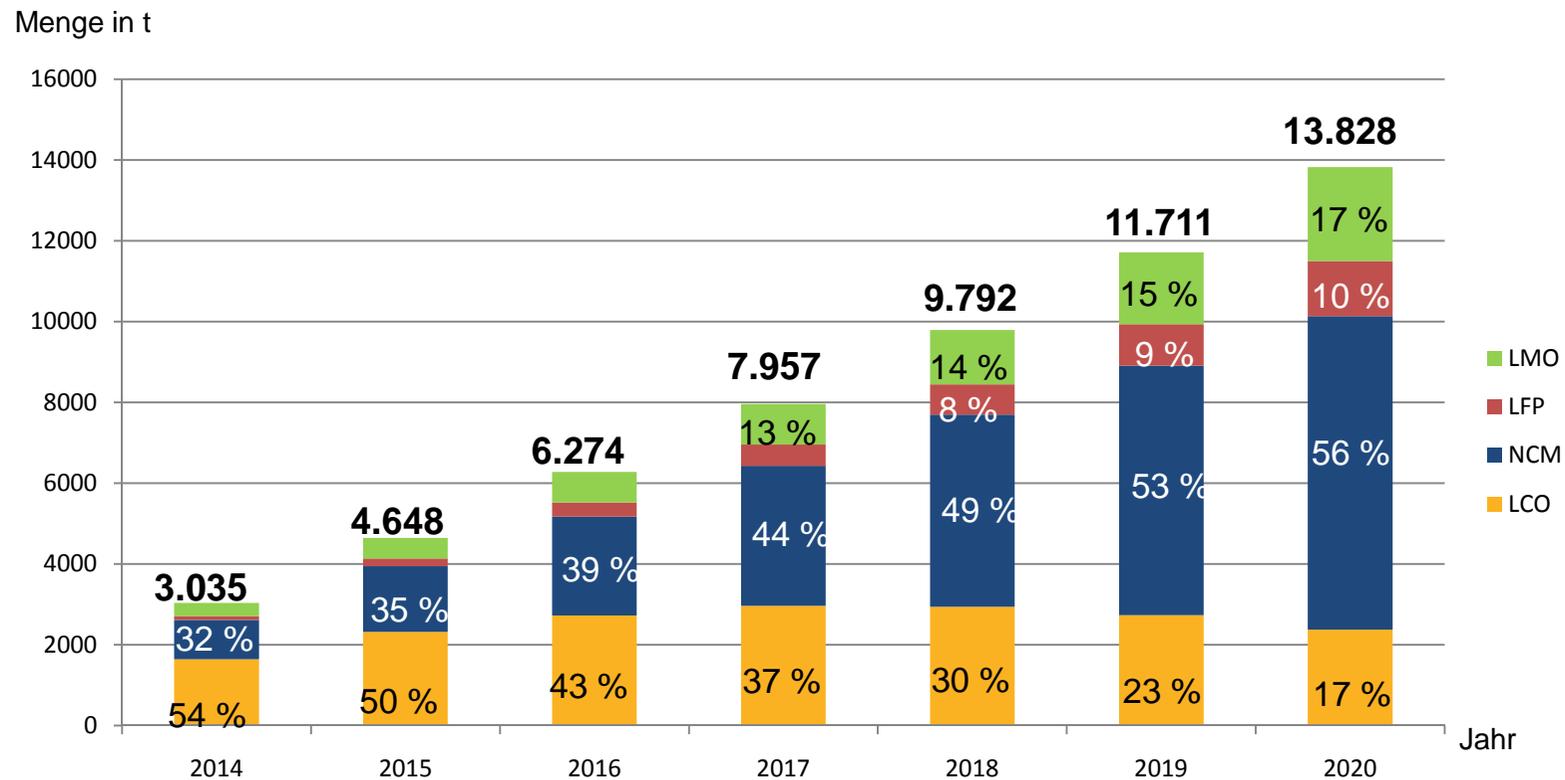


# Li-Ionen Batterien

## 3.2.1 Recycling von Li-Ionen Batterien: Abfallmengen



### Abfallmengenprognose Li-Ionen Batterien in der EU 2014-2020



Quelle: Weyhe (2013)

## 3.2.2 Recycling von Li-Ionen Batterien



Bild: Kathodenmaterial aus der Batteriezellenfertigung

### Ziele

- Rückgewinnung von hochwertigen Batteriematerialien aus Produktionsabfällen der Zellfertigung (**Inline- Recycling**)
- Recycling von EOL-Zellen
- sicheres Öffnen der Zellen durch Gefahrstoffpassivierung im Prozessmedium

### Anwendungsbeispiele

- Kathodenmaterial
- Li-Ionen Batteriezellen
- Geräteakkus

### 3.2.3 Li-Ionen Batt. nach 10 s Schockwellenbehandlung



Öffnen der Batteriezelle



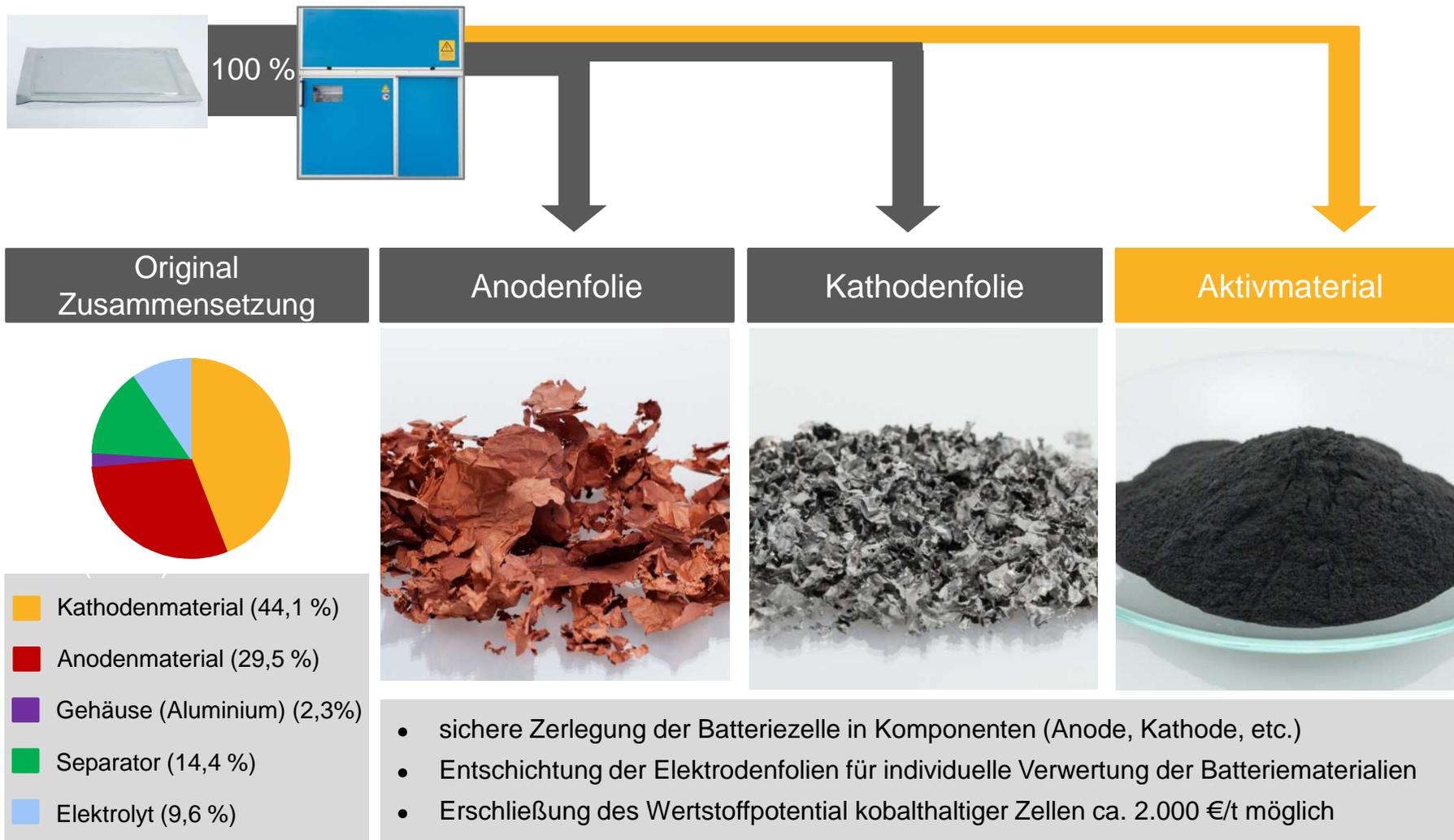
# Li-Ionen Batterie nach 50 sec Schockwellenbehandlung



Zerlegung der Batteriezelle in Einzelkomponenten



## 3.2.4 Aufbereitungsprozess Pouchzelle (Li-Ionen Zelle)





# Solarmodule

## 3.3 Recycling von Solarmodulen



Bild: polykristallines Siliziummodul vor der Schockwellenbehandlung

### Ziele

- gezielte Auftrennung an Grenzfläche zwischen Glas-Halbleiter-Polymerfolie
- Freilegung des Halbleitermaterials
- Abtrennung und Anreicherung des Halbleitermaterials
- Rückgewinnung von hochwertigem Frontglas

### Anwendungsbeispiele

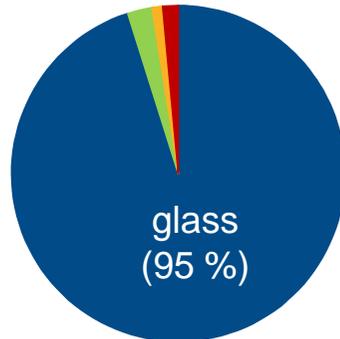
- Dünnschichtmodule (CdTe, CIS, CIGS)
- Siliziummodule

## 3.3.1 Aufbereitungsprozess CdTe-Solarmodule



- selektive Zerlegung an der Grenzfläche zwischen Frontglas, Halbleiterschicht und Polymerfolie mit Rückseitenglas
- dadurch Abtrennung von hochwertigem Frontglas möglich

Original  
Zusammensetzung

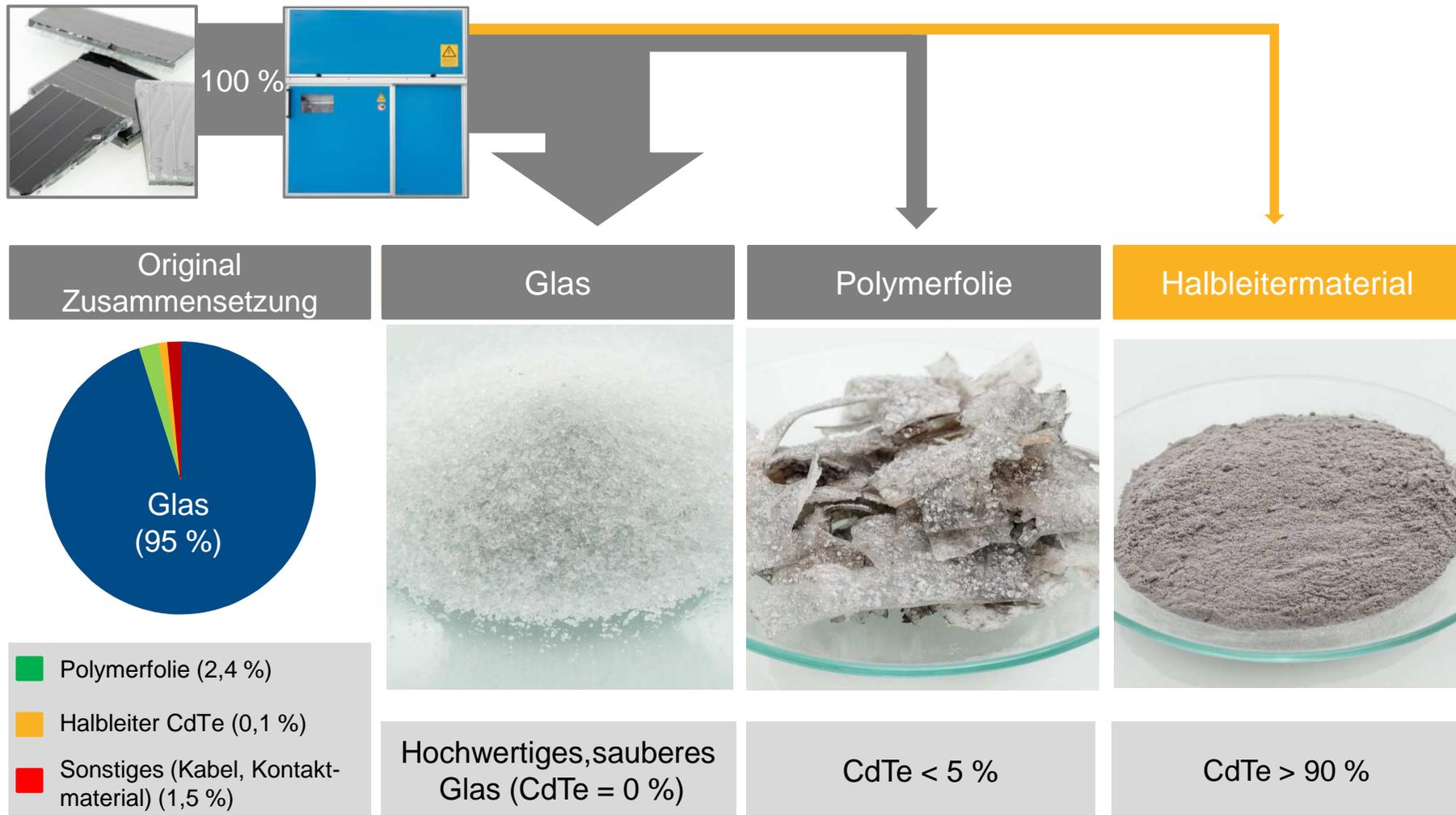


- polymer film (2,4%)
- Semiconductor CdTe (0,1 %)
- other material: cable, contact material (1,5 %)

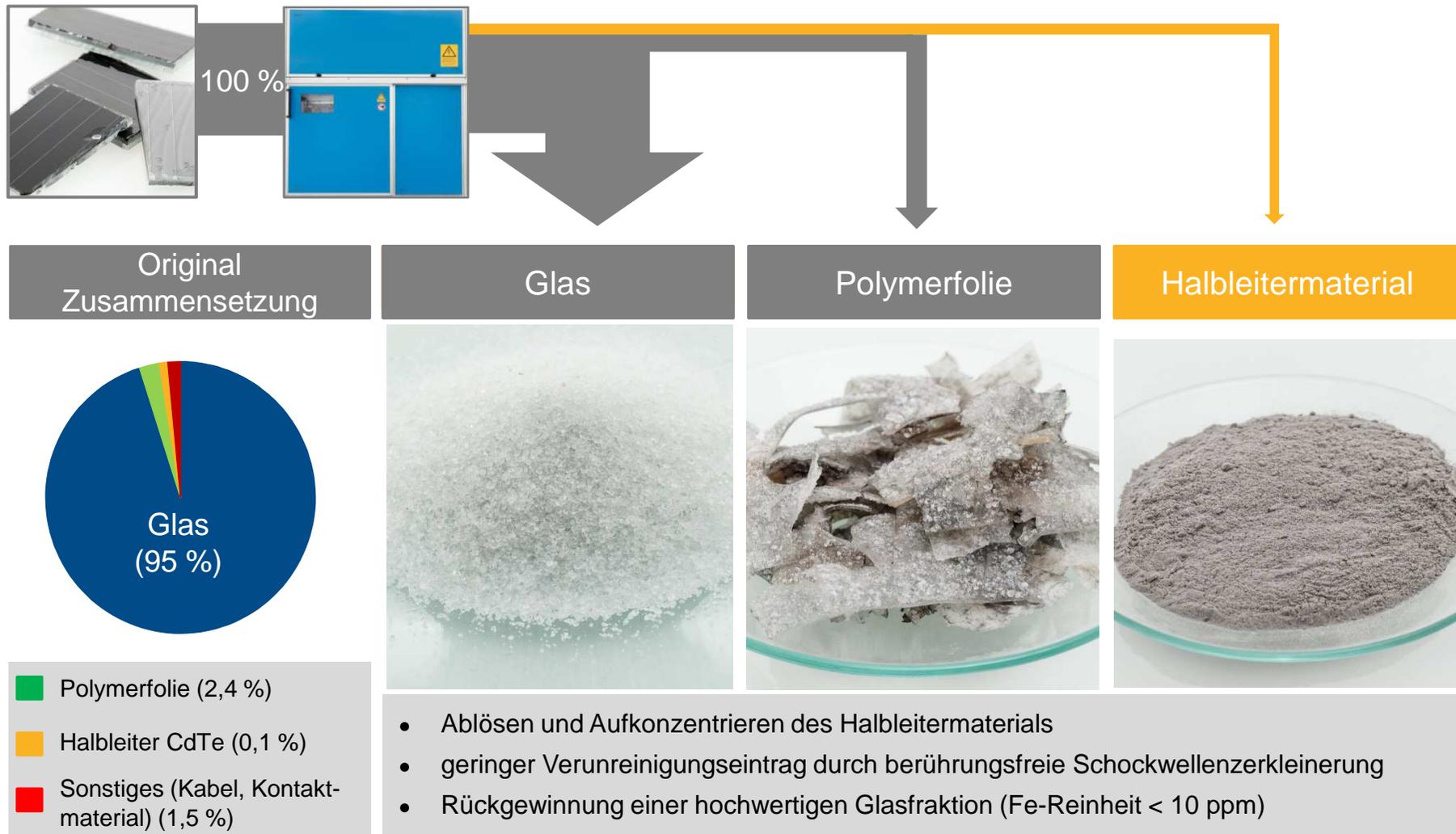
CdTe-Module nach der Schockwellenbehandlung



## 3.3.2 Aufbereitungsprozess CdTe-Solarmodule



### 3.3.3 Aufbereitungsprozess CdTe-Solarmodule



## 4. Zusammenfassung



### Schonung von natürlichen Ressourcen durch innovative Aufbereitungsprozesse

- Inline-Recycling durch kontaminationsfreie Aufbereitung hochwertiger Materialien
- Erschließung bisher weitgehend ungenutzter Rohstoffpotentiale, z.B. Tantalhaltige Bauelemente auf Leiterplatten
- Kosteneffizientere schmelzmetallurgische Verwertung durch Aufkonzentration der Wertstofffraktionen (Bsp. Pd, Au, Ag-haltige Bauteile auf Leiterplatten)
  - Reduzierung der Aufbereitungskosten durch Masseentfrachtung
  - Höhere Ausgangsgehalte für höhere Vergütungsquoten
  - Abschläge nur noch auf werthaltige Fraktionen
- Effektive Trennung von Verbundmaterialien wie z.B. Solarmodule und Gewinnung von hochreinen Glasbestandteilen
- Neuer Verfahrensansatz zur sicheren Aufbereitung von Li-Ionen Batterien/Akkus bzw. Zellen
- Große Variationsmöglichkeiten des Schockwellenprozesses (Energieeintrag von 1 bis 1000 Joule pro Puls) je nach Materialspezifikation