

# Titan

## Ökobilanz & Wertschöpfungskette

- am Beispiel eines Titanmessers -



Referentin: Katharina Görz  
Datum: 23.01.2015

Fachbereich: Wasser- und Kreislaufwirtschaft  
Studiengang: Ingenieurökologie  
Studienfach: Stoffstrom- und Ressourcenmanagement

# Inhalt

1. Das Metall Titan
  - 1.1 Allgemein
  - 1.2 Vorkommen
  - 1.3 Gewinnung
  - 1.4 Herstellung
  - 1.5 Produktion & Reserven
  - 1.6 Anwendung & Produkte
  - 1.7 Bedarf
  - 1.8 Recycling
  - 1.9 Preis
2. Stoffstromanalyse
  - 2.1 Allgemeine Stoffstromanalyse
  - 2.2 Beispiel: Titanmesser
    - 2.2.1 Ziel der Ökobilanz
    - 2.2.2 Untersuchungsrahmen
    - 2.2.3 Sachbilanz
    - 2.2.4 Wirkungsabschätzung
    - 2.2.5 Auswertung der Ökobilanz
3. Quellen
4. Anhang

# 1 Das Metall Titan

## 1.1 Allgemein

- ◉ Erst 1785 entdeckt → Namensgebung in Anlehnung an das griechische Göttergeschlecht
- ◉ Produktion von reinem Titan war erst ab 1940er möglich (Kroll-Verfahren) → Erschließung für kommerzielle Nutzung
- ◉ Gewinnung aus den Erzen Ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ) und Rutil ( $\text{TiO}_2$ ), etc.
- ◉ Leichtmetall (geringe Dichte bzw. Gewicht), hohe Festigkeit u. Härte
- ◉ Hohe Korrosionsbeständigkeit, gute Körperverträglichkeit
- ◉ Eines der teuersten Metalle → komplizierte Herstellung (200 x teurer als Rohstahl)

# 1.2 Vorkommen

- Kommt in der Erdkruste mit einer Konzentration von 0,6 % vor → neunthäufigstes Element
- Liegt nur in Verbindungen mit  $O_2$  als Oxid vor (Reines Titan kommt in der Erde kaum vor)
- Häufigsten Titanminerale/-erze:

Rutil ( $TiO_2$ )



Ilmenit/Titaneisen ( $FeTiO_3$ )



Anatas ( $TiO_2$ )



# 1.3 Gewinnung

- Tagebau: Primäre magmatische Lagerstätten, sekundäre Lagerstätten (Seifen)
- Bsp.: Tellnes – Ilmenitlagerstätte:
  - > In Norwegen
  - > Eine der größten Primärlagerstätten
  - > Abbau im Tagebau mit Bohr- und Sprengverfahren
  - > Abbau von 2 Mio t Erz und 1,6 Mio t Nebengestein um 0,58 Mio t Ilmenitkonzentrat zu erhalten → entspricht 0,26 Mio t Titan
  - > Derartig große Abbaumengen → starke landwirtschaftliche Eingriffe
  - > Tiefe des Tagebaus: 150 m, geplant bis zu 400 m



# 1.3 Gewinnung



# 1.4 Herstellung



Separationsverfahren:  
Reinigung des Rohstoffes (Ilmenit, Rutil) und Trennung von Nebenprodukten durch Dichte-, Elektro- und Magnetsortierung

Flotation:  
Wäsche mit Säuren zur Befreiung von P, S, Ölrückständen

Trocknung:  
In Drehrohröfen

Chlorierung:  
Chlorierung von  $\text{TiO}_2$  mit Koks zu Titan-tetrachlorid  $\text{TiCl}_4$

$$\text{TiO}_2 (s) + 2C (s) + 2\text{Cl}_2 (g) \xrightarrow{800-1200^\circ\text{C}} \text{TiCl}_4 (l) + 2\text{CO} (g)$$

Reinigung:  
Reinigung von  $\text{TiCl}_4$  durch Destillation

Kroll-Verfahren:  
Reduktion von Titan-tetrachlorid mit Magnesium

$$\text{TiCl}_4 + 2\text{Mg} \xrightarrow{950-1150^\circ\text{C}} \text{Ti} + 2\text{MgCl}_2$$

Raffination:  
Reinigung/Veredelung durch Herauslösen mit verschiedenen Salzsäuren oder Vakuumdestillation  
→ **Titan-Schwamm**

Weiterverarbeitung:  
Umschmelzen von Titanschwamm oder Titanschrott in Vakuum-Lichtbogenöfen zu Titaningots (Barren)

# 1.5 Produktion & Reserven

Titan/TiO <sub>2</sub> (Rohstoff)	2007*	2012
<b>Produktion</b> weltweit	6,1 Mio t TiO <sub>2</sub>	7 Mio t TiO <sub>2</sub>
Geographische Konzentration der weltweiten Produktion**	1) Australien: 25 % 2) Südafrika: 19 % 3) Kanada: 13 %	1) Australien: 22,3 % 2) Kanada: 18,5 % 3) Südafrika: 17,1 %
<b>Reserven</b> weltweit	730 Mio t TiO <sub>2</sub>	701 Mio t TiO <sub>2</sub>
Geographische Konzentration der weltweiten Reserven**	1) China: 27 % 2) Australien: 20 % 3) Indien: 13 %	1) China: 28,9 % 2) Australien: 17 % 3) Indien: 13,3 %

- Bezogen auf die Reserven an Ilmenit und Rutil ergibt sich eine statische Reichweite von über 200 Jahren  
→ Verfügbarkeit von Titanrohstoffen langfristig gesichert

Statische Reichweite (Knappheit der wirtschaftlich gewinnbaren Reserven):

>100: sehr sicher

40 – 100: nur mit neuen Technologien und höheren Preisen sind hier ausreichend gewinnbare Reserven erschließbar

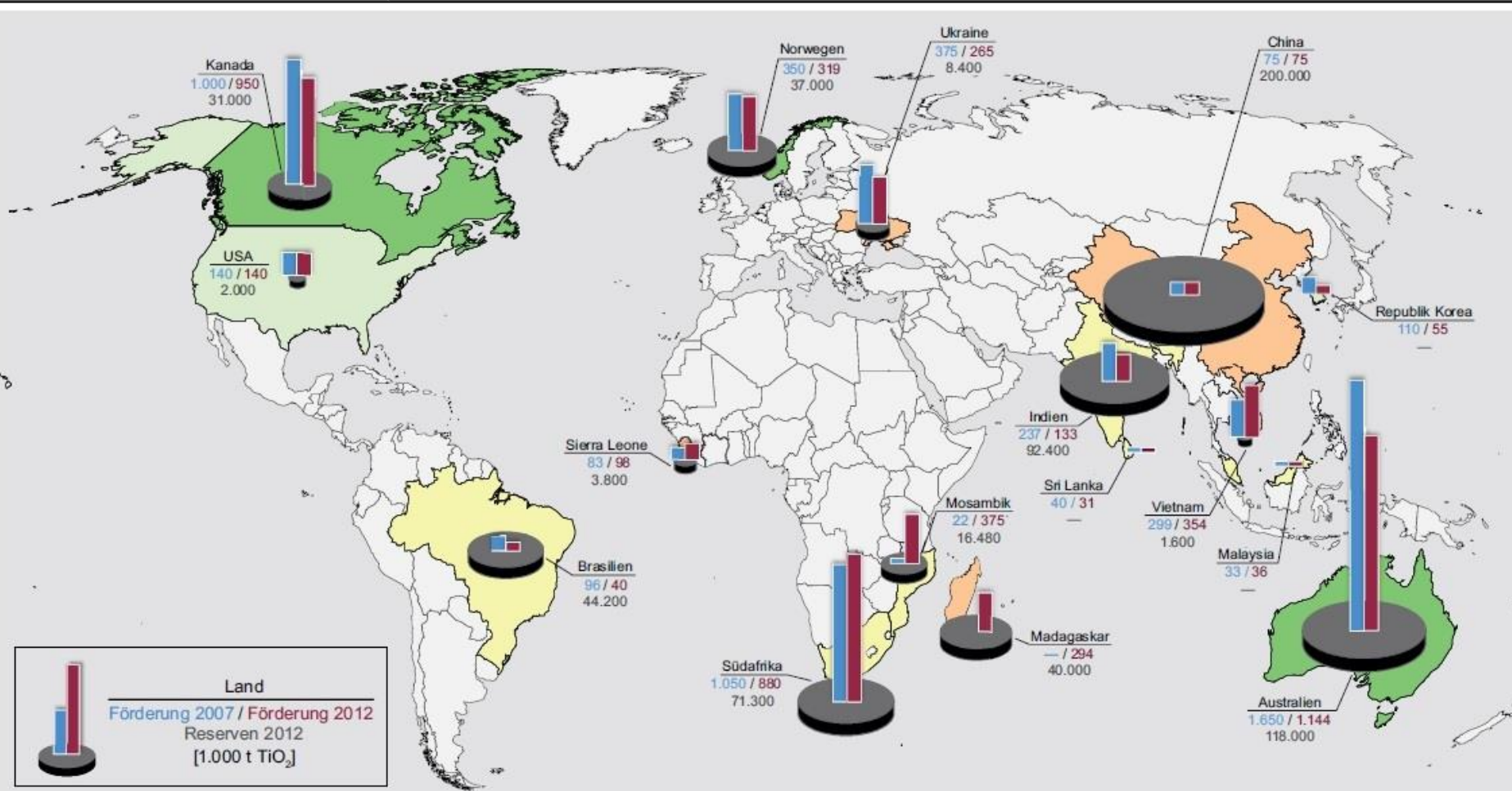
10 – 40: sehr geringe Reichweite (Notwendigkeit der Inanspruchnahme zusätzlicher Ressourcen)

\* Geschätzt; \*\* Top-3-Länder



# 1.5 Produktion & Reserven

Weltweite Produktion (Förderung) im Vergleich 2007/2012, Reserven von  $\text{TiO}_2$



Länder mit den größten  $\text{TiO}_2$ -Reserven (Ilmenit und Rutil) sowie die größten Förderländer (Stand 2012).

# 1.6 Anwendung & Produkte

## Verwendung von Titan

Metall

- Verkehrstechnik  
→ Bsp.: Turbinenschaufeln
- Medizintechnik
- Schmuckindustrie
- sonstiges (Sport-, Haushaltsgegenstände)



Pigment (TiO<sub>2</sub>)

- Farbindustrie  
→ Bsp.: „Titanweiß“
- Kunststoffe



Legierung

- Verkehrstechnik
- Energietechnik
- Chemische Industrie
- Meerestechnik



# 1.7 Bedarf

- Globaler Rohstoffbedarf (reines Titan) im Jahr 2006 und 2030 im Verhältnis zur gesamten heutigen Weltproduktionsmenge:

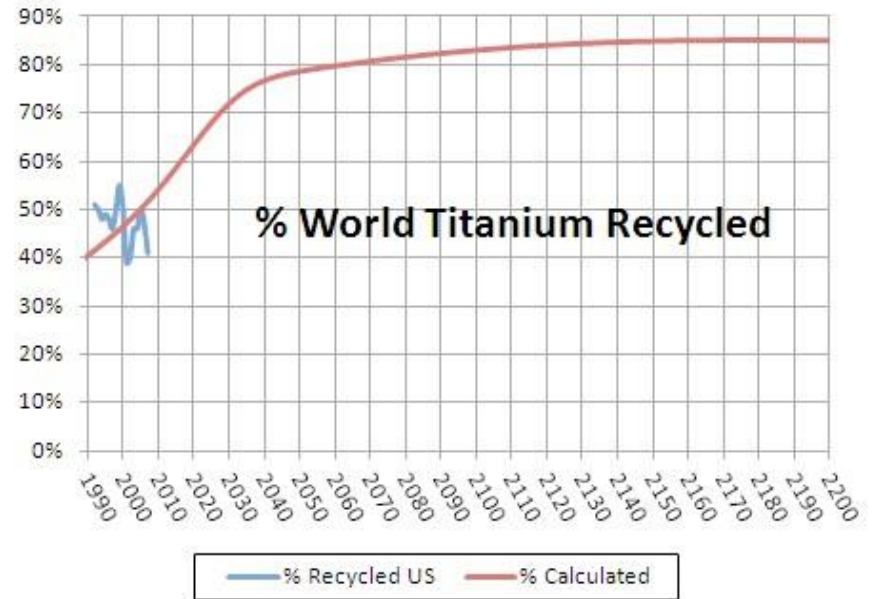
Technologie	Bedarf 2006	Bedarf 2030
Miniaturisierte Kondensatoren	177	1.140
Meerwasserentsalzung	14.700	55.300
Orthopädische Implantate	520	1.600
Farbstoffsolarzellen	0	108
Titanbedarf	15.397	58.148
Titanbedarf / Titanproduktion 2006	0,08	0,29

# 1.8 Recycling

## % World Titanium Recycled



## % World Titanium Recycled

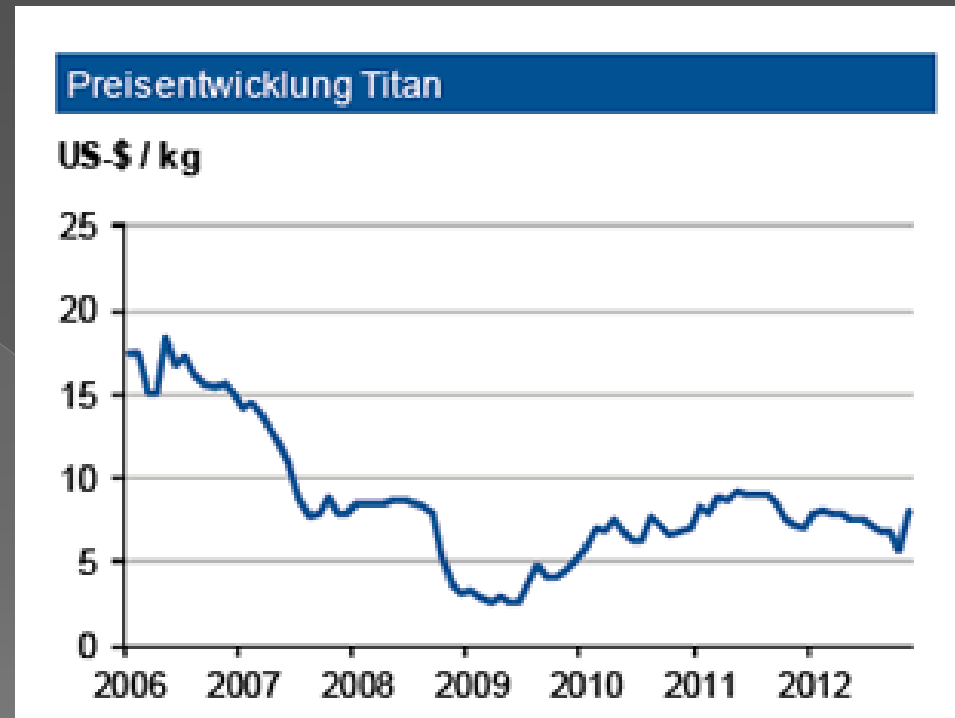


- Titan kann nur rezykliert werden, wenn es in metallischer Form vorliegt
- Titanschrotte können beim Umschmelzen anstelle von Titanschwamm eingesetzt werden

# 1.9 Preis

Preisentwicklung von Titanmetall:

- Spitzenwert: 2006 → Titan als Leichtmetall verstärkt im Flugzeugbau genutzt
- Ab 2011 erneuter Anstieg der Titanpreise: Nachfrage aus Flugzeugbau, Farbherstellung und als Mikrolegierungsbestandteil für Edelstähle
- Halbjahr 2013: 8 US-\$/kg

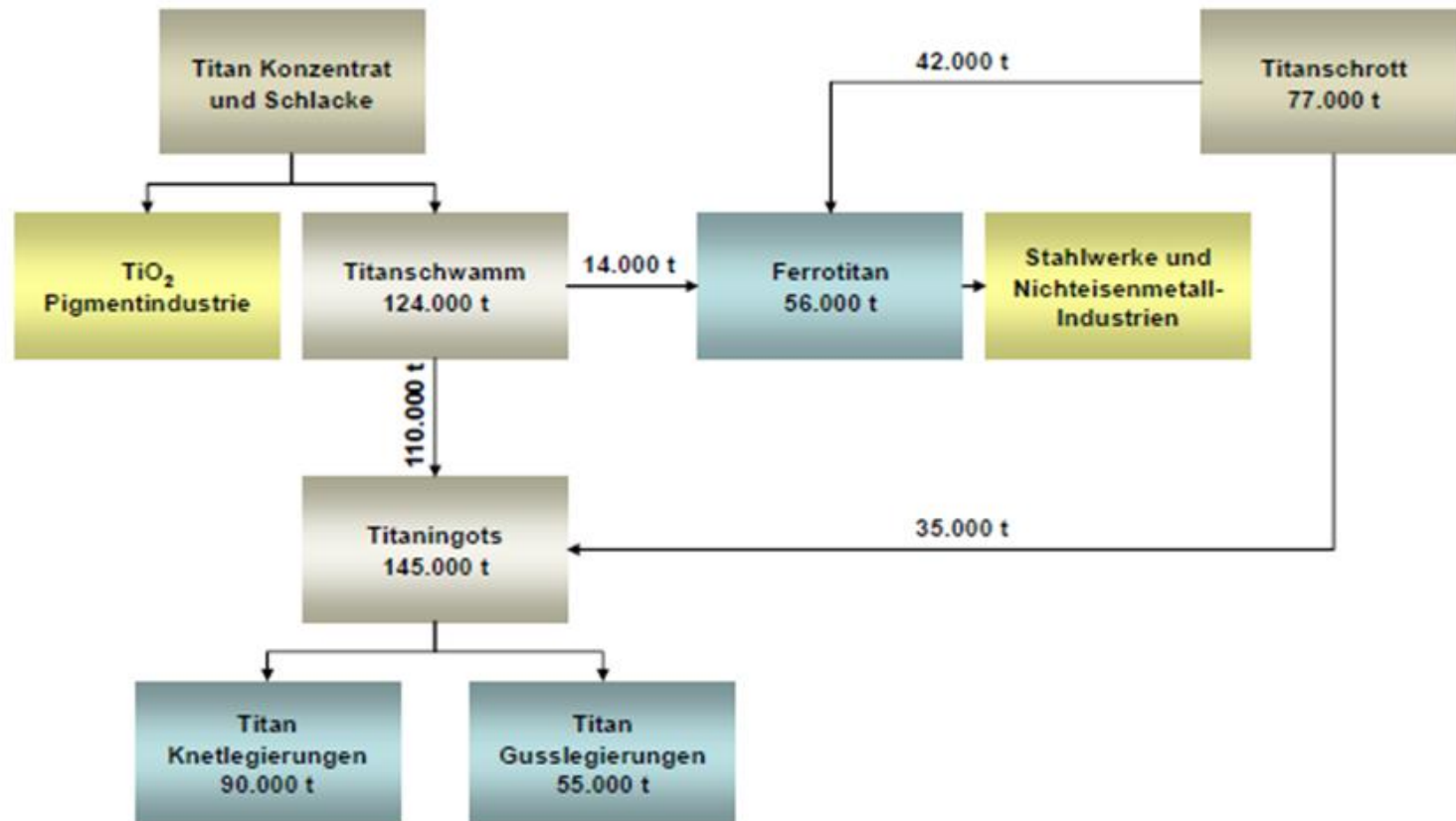




# 2 Stoffstromanalyse

## 2.1 Allgemeine Stoffstromanalyse

Globaler Stoffstrom bei der Herstellung von Titanmetall Halbzeug 2006 (nach Roskill 2007c)



# 2.1 Allgemeine Stoffstromanalyse

## Umweltbelastungen im Lebenszyklus:

hochrelevante Umweltbelastungen
relevante Umweltbelastungen
mässig relevante Umweltbelastungen
mässig-gering relevante Umweltbelastungen
geringrelevante Umweltbelastungen
Umweltbelastungen nicht von Relevanz

Prozess	Umweltbelastung	Belastungsgrad
Gewinnung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Allg.:</u> Landschaftsveränderung durch Flächeninanspruchnahme</li> <li>• <u>Illmenit:</u> Luftbelastung durch Sprenggase, Grundwasserabsenkung</li> <li>• <u>Rutil:</u> Störung von Oberflächengewässern</li> </ul>	
Aufbereitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserbelastung durch Flotationschemikalien und Säuren</li> <li>• Chlorierung: Luftbelastung durch freigesetztes Chlorgas</li> </ul>	
Verarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion, Raffination, Umschmelzen</li> </ul>	
Produktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei spanender Bearbeitung: Wasserbelastung durch Kühlschmiermittel</li> </ul>	
Deponien	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine relevanten Umweltbelastungen</li> </ul>	
Andere Senken	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine relevanten Umweltbelastungen</li> </ul>	

# 2.1 Allgemeine Stoffstromanalyse

## Verbesserungspotential:

- Sehr aufwendige und teure Herstellung von metallischem Titan  
→ effizientere und kostengünstigere Methode erforderlich:  
Es existieren Alternativen zur Titan-Herstellung (Kroll-Verfahren), jedoch noch keine technische Umsetzung, da längere Studien und Entwicklungsarbeiten nötig (Einschätzung der Umsetzbarkeit und des Verbesserungspotentials noch nicht möglich)
- Steigerung der Recyclingquote für Titanabfälle  
→ Bsp.: Forschungsprojekt RETURN („Ziel des Forschungsprojekts ist es, geschlossene Werkstoffkreisläufe für Titan zu schaffen, die das Recycling von mindestens 70 % der bisher nur schwer oder gar nicht wiederverwertbaren Titanspäne ermöglichen.“) → Projektlaufzeit bis 2016
- Datenlücken: statistische Daten zu Titan unvollständig:  
**Genauere Verbrauchs- und Emissionsdaten zur Gewinnung von Titanerzen nur schwer verfügbar!**  
→ Bsp.: Titan intensiv bei militärischer Luftfahrt eingesetzt → tatsächliche Mengen unter Verschluss

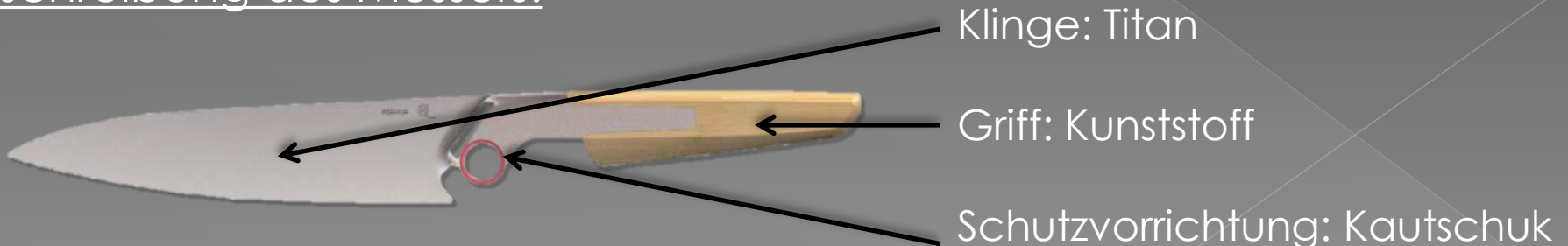
# 2.2 Beispiel: Titanmesser

## 2.2.1 Ziel der Ökobilanz

- Aufzeigen der Umweltwirkungen bei der Verwendung von Titan als Material für eine Messerklinge
- Erstellung einer Ökobilanz auf Grundlage der Normen EN ISO 14040 und EN ISO 14044

## 2.2.2 Untersuchungsrahmen

Beschreibung des Messers:



# 2.2 Beispiel: Titanmesser

## Funktionelle Einheit:

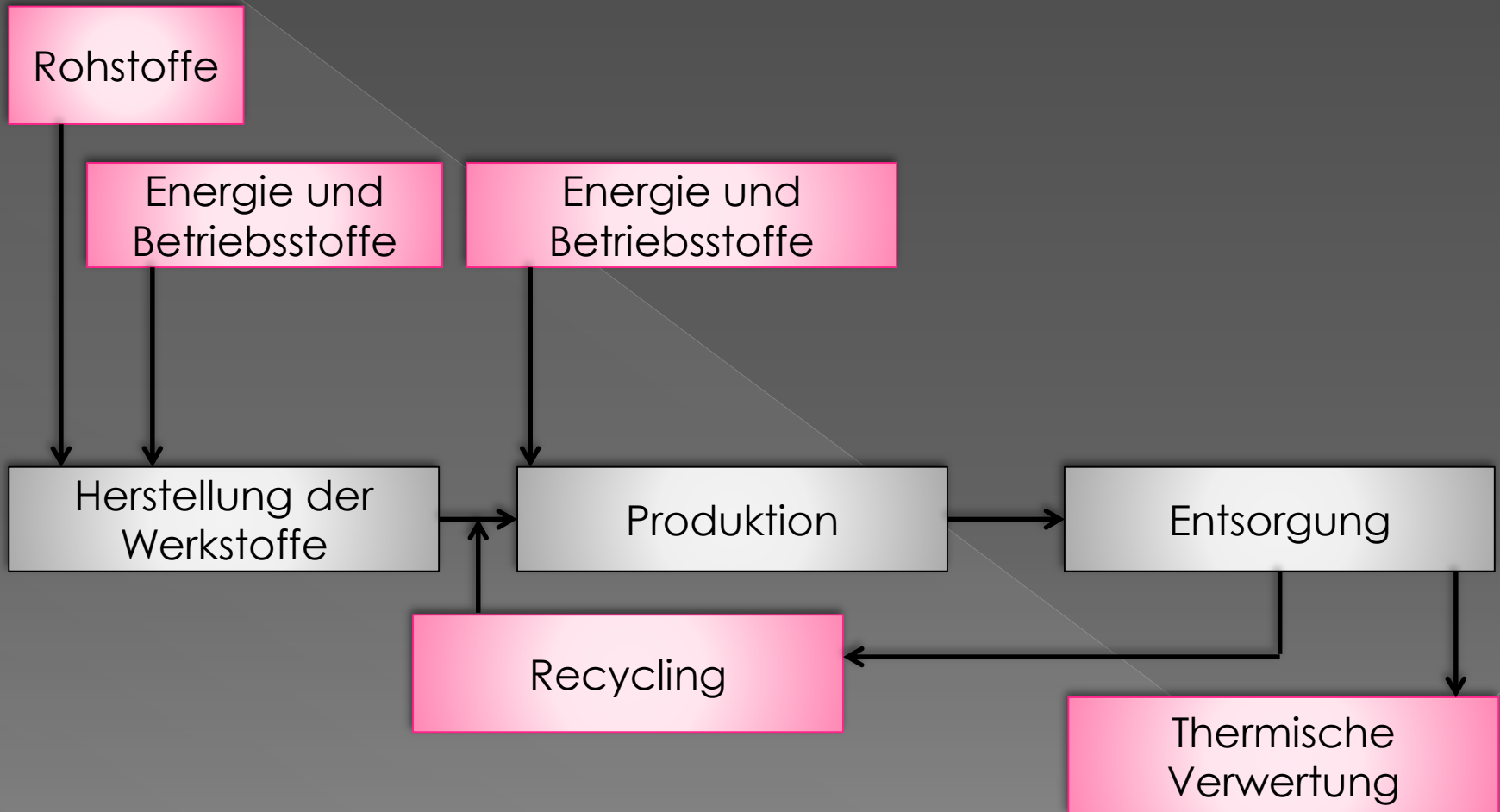
- Referenzgröße, die den Nutzen des Produktsystems beziffert (Quantifizierung): Herstellung 1 Messers

## Systemabgrenzung:

- Das betrachtete System umfasst folgende Phasen:
  - > Herstellung
  - > Produktion
  - > Entsorgung
- Umweltwirkungen sind zu betrachten
  - > Nicht berücksichtigt werden: Umweltwirkungen durch Transportprozesse, Lagerung, und gesamte Nutzungsphase (zwischen Produktion und Entsorgung)
- Inputs: Rohstoffe und Energie
- Outputs: Emissionen in Luft, Wasser und Boden



## 2.2 Beispiel: Titanmesser



# 2.2 Beispiel: Titanmesser

## Wirkungskategorien:

- Treibhauspotential
  - > Wirkung der im System freigesetzten Emissionen, die zur Temperaturerhöhung der Atmosphäre beitragen (Bsp.: CO<sub>2</sub>, Methan, etc.)
- Versauerungspotential
  - > Wirkung der Emissionen, die Säuren zu bilden (Bsp. Saurer Regen) und damit Boden und Gewässer beeinflussen (Bsp.: Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, etc.)
- Potential für den abiotischen Ressourcenabbau fossiler Art
  - > Menge abgebauter fossiler Ressourcen (Bsp.: Kohle, Erdgas, Erdöl)

## 2.2.3 Sachbilanz

- Quantifizierung der im System auftretenden Stoff- und Energieströme (Input, Output)

# 2.2 Beispiel: Titanmesser

## Datenerhebung:

### ○ Produktion der Werkstoffe:

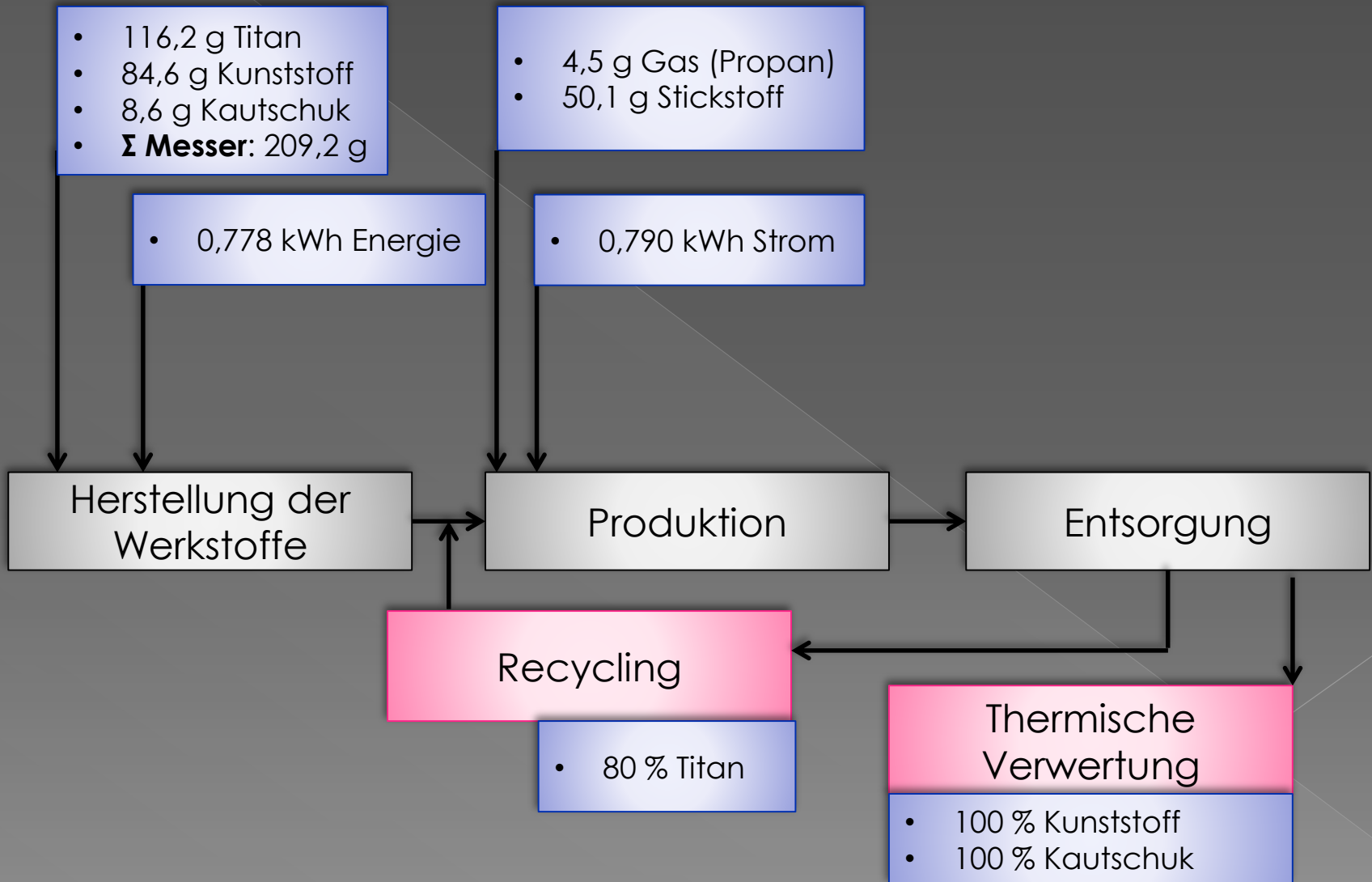
- > Spritzgussverfahren: Kunststoff, Kautschuk
- > Ausstanzen aus Metallplatten: Titan

### ○ Angenommene Maschinen und Geräte für die Produktionsphase:

- > Exzenterpresse
- > Fallhammer
- > Förderband
- > Lochstanze
- > Schleifmaschine
- > Schmelzofen/Ofen
- > Kältekammer

# 2.2 Beispiel: Titanmesser

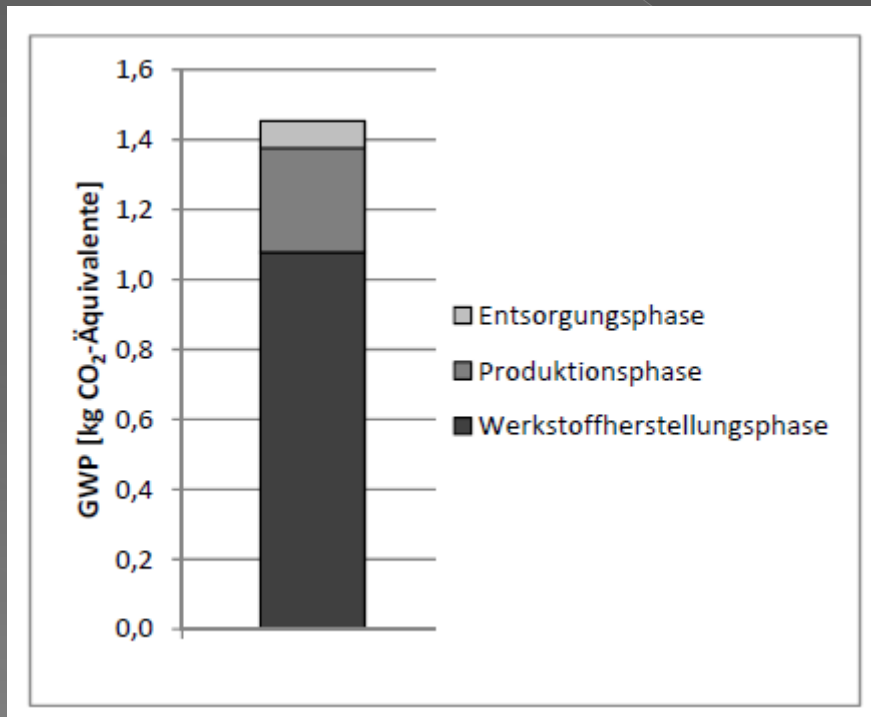
## Stoffstrom:



# 2.2 Beispiel: Titanmesser

## 2.2.4 Wirkungsabschätzung

Treibhauspotential:



- 74 % Werkstoffherstellung:  
1,077 kg CO<sub>2</sub> äq
- 21 % Produktion:  
0,299 kg CO<sub>2</sub> äq
- 5 % Entsorgung:  
0,077 kg CO<sub>2</sub> äq

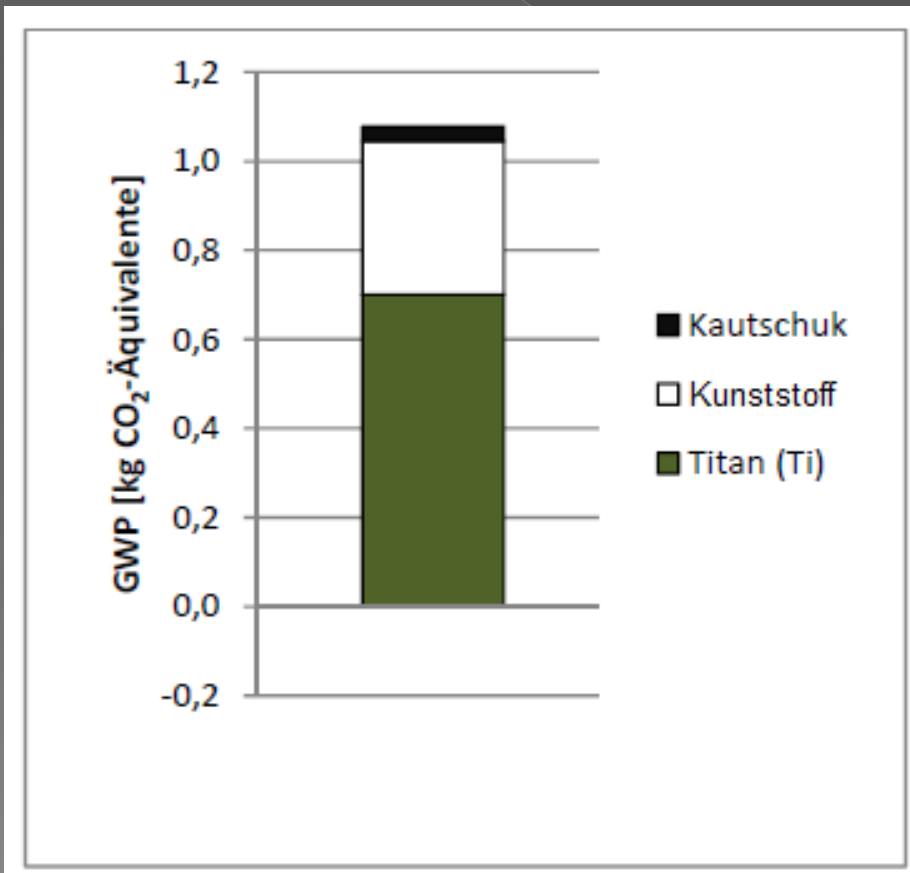
○ Größter Anteil am Treibhauspotential: Herstellung der Werkstoffe



## 2.2 Beispiel: Titanmesser

Treibhauspotential:

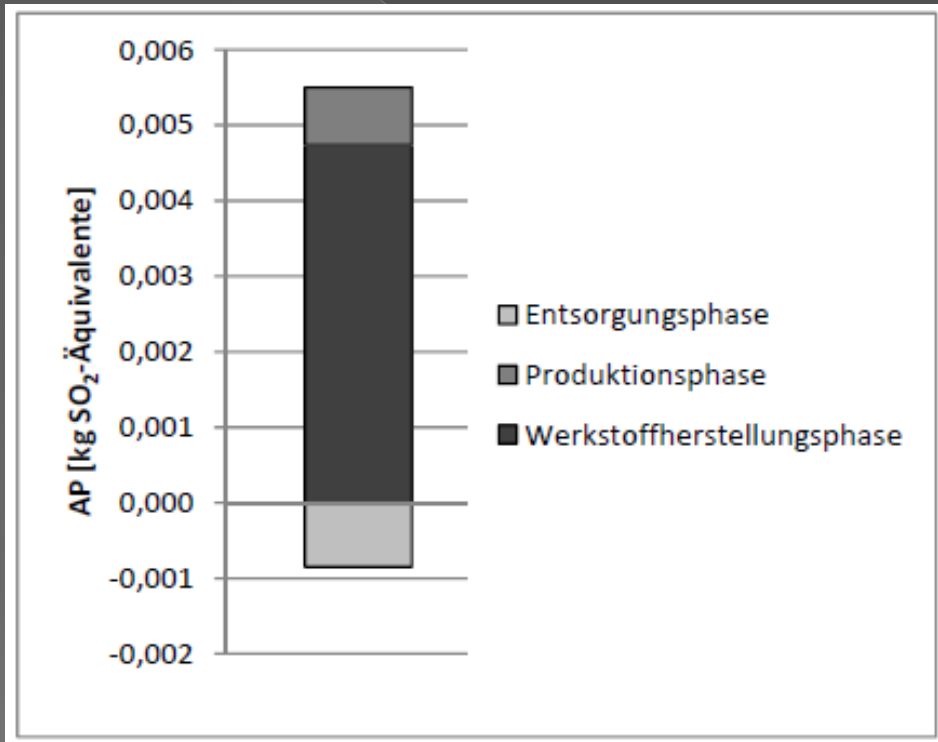
- Dominanteste Phase: Herstellung der Werkstoffe:



- 65 % Titanherstellung:  
0,701 kg CO<sub>2</sub> äq
- 32 % Kunststoffherstellung:  
0,344 kg CO<sub>2</sub> äq
- 3 % Kautschukherstellung:  
0,032 kg CO<sub>2</sub> äq

# 2.2 Beispiel: Titanmesser

Versauerungspotential:



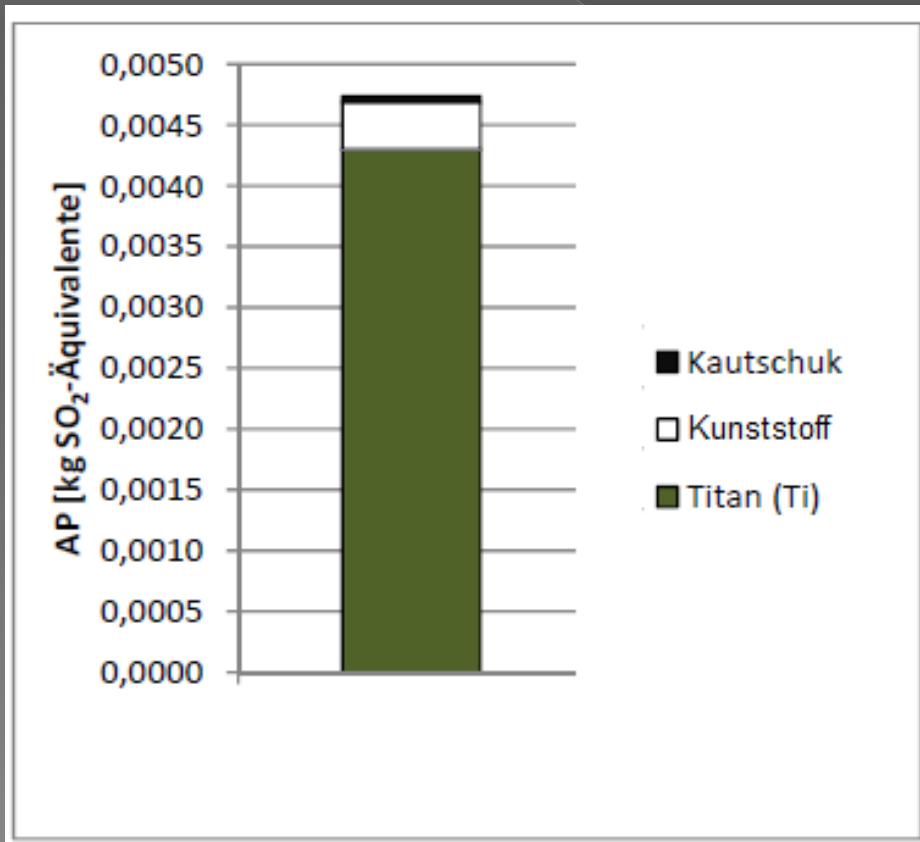
- 75 % Werkstoffherstellung:  
0,004737 kg SO<sub>2</sub> äq
- 12 % Produktion:  
0,000761 kg SO<sub>2</sub> äq
- -13 % Entsorgung:  
-0,000849 kg SO<sub>2</sub> äq

- Größter Anteil am Versauerungspotential: Herstellung der Werkstoffe
- Entsorgungsphase: negatives AP → positive Umwelteffekte, da Kunststoff energetisch verwertet (Energiegewinn)

## 2.2 Beispiel: Titanmesser

Versauerungspotential:

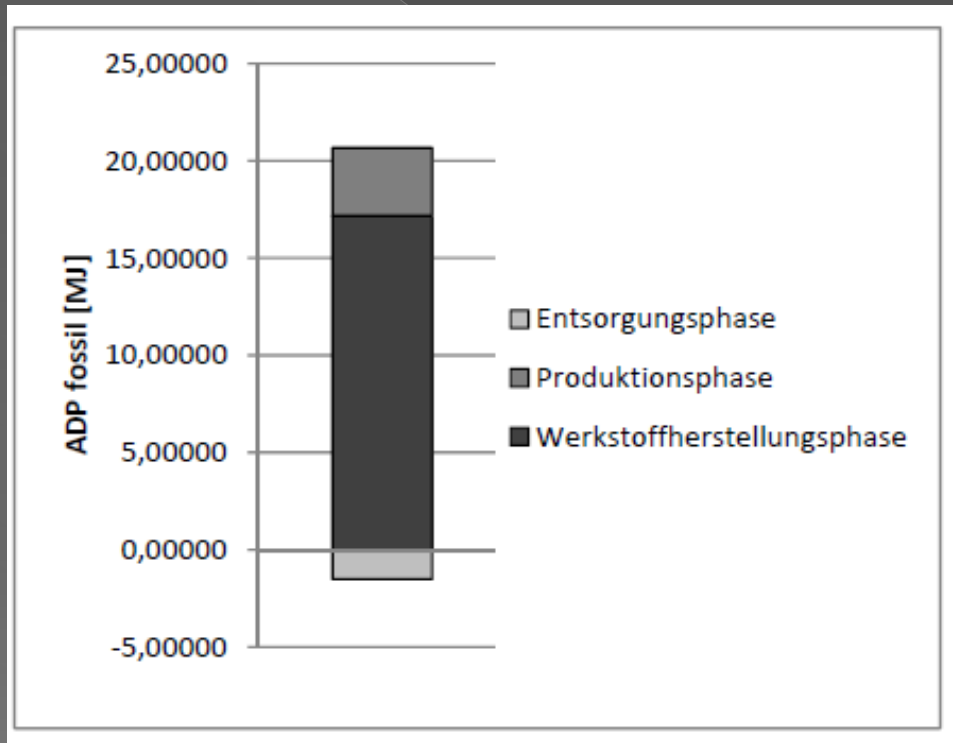
- Dominanteste Phase: Herstellung der Werkstoffe:



- 91 % Titanherstellung: 0,0043 kg SO<sub>2</sub> äq
- 8 % Kunststoffherstellung: 0,000386 kg SO<sub>2</sub> äq
- 1 % Kautschukherstellung: 0,000051 kg SO<sub>2</sub> äq

# 2.2 Beispiel: Titanmesser

Abiotisches Ressourcenabbaupotential:



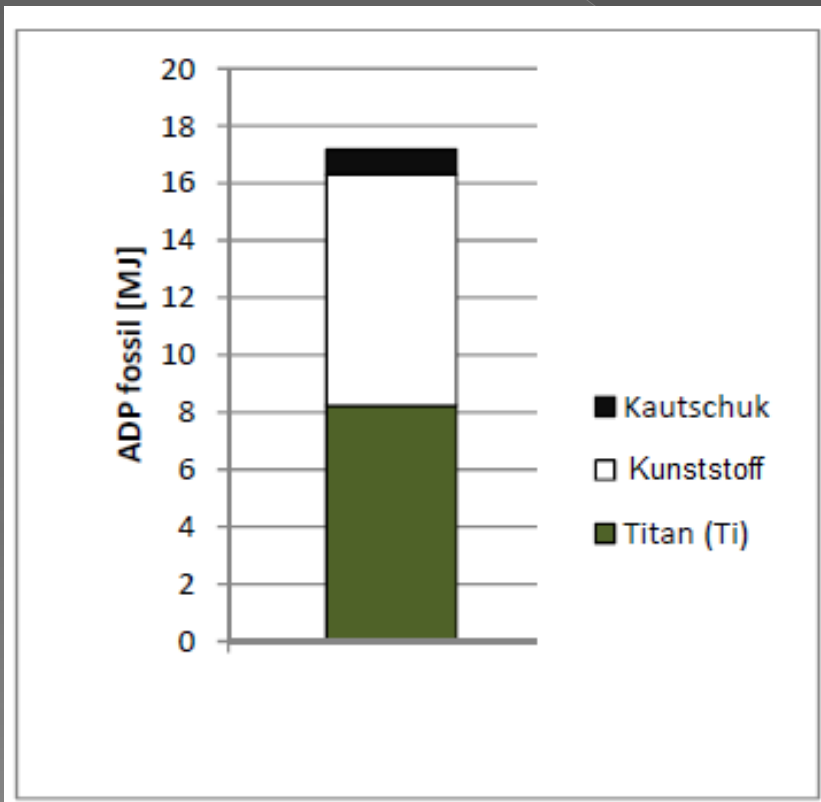
- 77 % Werkstoffherstellung: 17,17 MJ
- 16 % Produktion: 3,5 MJ
- -7 % Entsorgung: -1,51 MJ

- Größter Anteil am Abbaupotential: Herstellung der Werkstoffe
- Entsorgungsphase: negatives ADP → positive Umwelteffekte

## 2.2 Beispiel: Titanmesser

Abiotisches Ressourcenabbaupotential:

- ◉ Dominanteste Phase: Herstellung der Werkstoffe:



- 48 % Titanherstellung:  
8,23 MJ
- 47 % Kunststoffherstellung:  
8,08 MJ
- 5 % Kautschukherstellung:  
0,86 MJ



# 2.2 Beispiel: Titanmesser

## 2.2.5 Auswertung der Ökobilanz

- Hohe Umweltwirkungen in der Werkstoffherstellungsphase, die auf den Einsatz von Titan zurückzuführen sind  
→ umweltschonender wäre z.B. der Einsatz von Edelstahl:

Herstellung Werkstoffe	Titan	Edelstahl
Treibhauspotential	0,701 kg CO <sub>2</sub> äq	0,257 kg CO <sub>2</sub> äq
Versauerungspotential	0,0043 kg SO <sub>2</sub> äq	0,00181 kg SO <sub>2</sub> äq
Abbaupotential	8,23 MJ	2,75 MJ

- Werkstoffherstellungsphase:
  - > auf Auswahl der Werkstoffe achten
  - > Reduzierung des Metallanteils im Messer?

# 2.2 Beispiel: Titanmesser

## 2.2.5 Auswertung der Ökobilanz

- ◉ Verwendung von Titan bei anderen Produkten sinnvoller, bei denen die Eigenschaften des Werkstoffes dringend erforderlich:
- ◉ Flugzeugindustrie
  - > Hoher Energieaufwand bei Herstellung von Titan (kostenintensiv), dafür aber deutlich geringes Gewicht und sehr belastbar → z.B. bei Airbus A 350 19% Gewichtseinsparung gegenüber der Verwendung von Stahl → damit auch weniger Verbrauch von Treibstoff (Stand: 2013)
- ◉ Medizinische Implantate
  - > stabil
  - > sehr leicht
  - > hoher Korrosionswiderstand
  - > im menschlichen Körper ungiftig (total biokompatibel)



**Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit!**

# 3. Quellen

- Titan - Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Nov. 2014
- Metallische Rohstoffe, weltweite Wiedergewinnung von PGM und Materialien für Infrastrukturen, Abschlussbericht des Arbeitspaketes 2 des Projektes „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie GmbH, Wuppertal, Dez. 2011
- Rohstoffe für Zukunftstechnologien – Schlussbericht, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologien, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, Mai 2009
- <http://www.recyclingportal.eu/artikel/29721>

# 3. Quellen

- [http://www.roperld.com/science/minerals/Titanium\\_Recycled.jpg](http://www.roperld.com/science/minerals/Titanium_Recycled.jpg)
- <http://www.phi-hannover.de/images/ifw-titan-bild2-IF.jpg>
- [http://www.roperld.com/science/minerals/Titanium\\_RecycledFit.jpg](http://www.roperld.com/science/minerals/Titanium_RecycledFit.jpg)
- <http://return.ifw.uni-hannover.de/default.htm>
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Titan\\_%28Element%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Titan_%28Element%29)
- <http://www.materialarchiv.ch/detail/864/Titan#/detail/864/titan>

# 3. Quellen

- <http://www.edelstahlaktuell.de/titanium/ShowPage.aspx?pageID=880>
- [http://www.google.de/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Feneff-industrie.info%2Ftypo3temp%2Fpics%2F140220\\_Return\\_Prozesskette\\_143eccd770.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Feneff-industrie.info%2Ftextbeitraege%2F2014%2Ftitan-energiesparend-verarbeiten%2F&h=600&w=854&tbnid=ch1ym1S9HaFlmM%3A&zoom=1&docid=eKqN15DeHYF5IM&ei=7-CwVJvhD4P0UuC7gNgC&tbm=isch&iact=rc&uact=3&dur=654&page=3&start=62&ndsp=36&ved=0CJICEK0DME0](http://www.google.de/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Feneff-industrie.info%2Ftypo3temp%2Fpics%2F140220_Return_Prozesskette_143eccd770.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Feneff-industrie.info%2Ftextbeitraege%2F2014%2Ftitan-energiesparend-verarbeiten%2F&h=600&w=854&tbnid=ch1ym1S9HaFlmM%3A&zoom=1&docid=eKqN15DeHYF5IM&ei=7-CwVJvhD4P0UuC7gNgC&tbm=isch&iact=rc&uact=3&dur=654&page=3&start=62&ndsp=36&ved=0CJICEK0DME0)

# 4. Anhang

## 2.2.2 Kriterium 2: Statische Reichweite

Die „statische Reichweite“ ist definiert als der Quotient aus Reserve und jährlicher Produktion (Gleichung 1). Sie entspricht der Dauer, wie lange die aktuellen Reserven bei konstanter Produktion auf dem jetzigen Niveau reichen (rein rechnerische Größe).

$$\text{statischeReichweite[a]} = \frac{\text{Metallreserven[t]}}{\text{Metallproduktion[t/a]}} \quad (\text{Gleichung 1})$$

Tab. 2-3: Klassifizierung der Metalle mithilfe des Kriteriums „statische Reichweite“ (USGS 2008).

	Statische Reichweite [a]	Metalle
äußerst geringe Reichweite <sup>8</sup>	< 12,5	N/A
sehr geringe Reichweite	< 25	Antimon, Arsen, Barium (Salze), Blei, Cadmium, Chrom, Gold, Indium, Silber, Strontium, Zink, Zinn
geringe Reichweite	< 50	Kupfer, Mangan, Molybdän, Nickel, Quecksilber, Thallium, Wolfram, Zirkon
große Reichweite	< 100	Bismut, Eisen, Niob, Selen, Tantal, Rhenium, Yttrium
sehr große Reichweite	< 200	Cobalt, Beryllium, Titan, Osmium, Platin, Tellur, PGM, Lithium (Salze), Gallium, Rhodium,
größte Reichweite	> 200	Aluminium, Cäsium, Europium, Gadolinium, Hafnium, Holmium, Kalium (Salze), Lanthan, Magnesium, Natrium (Salze), Neodym, Praseodym, Samarium, Seltene Erden, Ruthenium, Terbium, Thulium, Vanadium, Ytterbium



# 4. Anhang

Größte Umweltbelastung bei Gewinnung und Aufbereitung von Titanerzen zur Herstellung von Titandioxid  
 → TMR = 100 t/t Titan (pro Tonne Titan aufgewendete Materialmenge) → hoch!

Der TMR liefert einen indirekten Hinweis auf die gesamte Menge von Produkten, Abfällen und Emissionen, die durch unsere Wirtschaft erzeugt werden. Werden Rohstoffe gefördert, fällt immer auch Abraum, Bergematerial oder Bodenaushub als nicht verwertetes Material an. Dieses nicht genutzte Material wird auch als „ungenutzte Entnahme“ oder als „versteckter Stoffstrom“ bezeichnet.

Tab. 5-2: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen zu den Metallen. Die Größenordnung der Umweltrelevanz ist ausgedrückt als relativer Anteil des globalen TMR<sub>Metal</sub> des Metalls am globalen TMR aller Metalle, wobei der globale TMR<sub>Metal</sub> das Produkt aus Produktionsmenge<sub>Metal</sub> (2007) und TMR<sub>Metal</sub> ist.

Metallspezifisches Fazit		Größenordnung der Umweltrelevanz: relativer Anteil am globalen TMR aller Metalle x 10 <sup>8</sup>
<b>Ti</b>	Sehr hohe Primärextraktion; 95 % des Titans werden als Titandioxid letztlich dissipativ eingesetzt; dadurch offenes Durchflusssystem	35.000
<b>Au</b>	Umweltrelevanz durch großen ökologischen Rucksack; relevante Verluste bei Gewinnung sowie bei Sammlung und Aufbereitung insbesondere von Elektronikaltgeräten	29.000
<b>Sn</b>	Hohe Primärextraktion; Weißblechrecycling bildet Senke	14.000
<b>Ni</b>	Recycling weitgehend umgesetzt über Spezialstähle; relevante Verluste durch nicht genutzte Bergbauabfälle	5.100
<b>Zn</b>	Ein Drittel des Zinks wird als Korrosionsschutz für Eisenblech und Baustahl eingesetzt, womit zwangsläufig dissipative Verluste einhergehen. Zudem fördert die Zinkergewinnung Cadmium zu Tage	5.000
<b>Pd</b>	Wesentliche Verluste über Autokatalysatoren, weniger über WEEE	4.100
<b>Ag</b>	Überwiegender Einsatz in industriell gefertigten Produkten, insbesondere Elektronik, führt zu Verlusten	3.300
<b>Mn</b>	Praktisch keine Rezyklierung, endet in der Schlacke der Stahlaufbereitung; dadurch linearer Durchsatz	3.200
<b>In</b>	Nebenprodukt hauptsächlich der Zinkproduktion	49
<b>Ga</b>	Nebenprodukt der Aluminiumproduktion; Einsatz in geringen Mengen, vermutlich auch künftig stagnierend; keine Umweltrelevanz	24

# 4. Anhang

## Datenerhebung Titanmesser:

Phase	Masse [g]	Energie [kWh]	Recycling [%]
Herstellung	Klinge: 116,2 g Griff: 84,6 g Schutzvorrichtung: 8,4 g → $\Sigma$ : 209,2 g	$\Sigma$ : 0,778 kWh	
Produktion	Gas (Propan): 4,5 g Stickstoff: 50,1 g	Strom für Maschinen: 0,790 kWh	
Entsorgung (Recycling)			Titan: 80 %
Entsorgung (thermische Verwertung)			Kunststoff: 100 % Kautschuk: 100 %