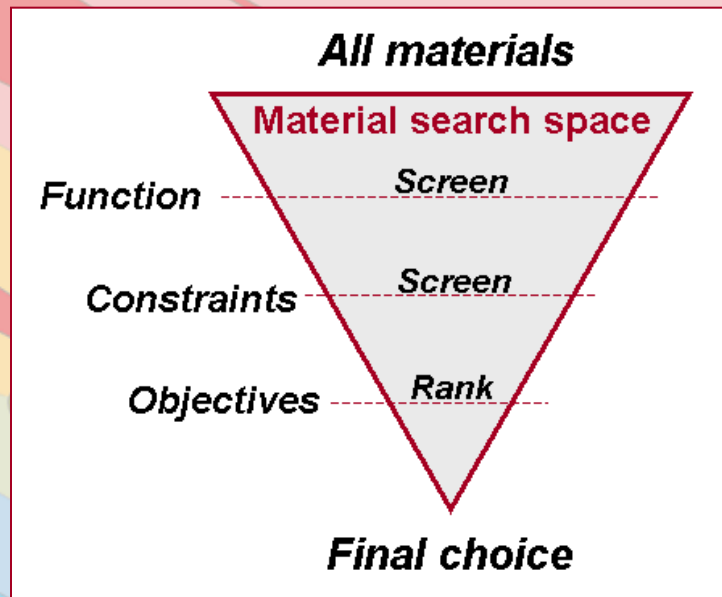


# GRANTA | CES 2008 EDUPACK

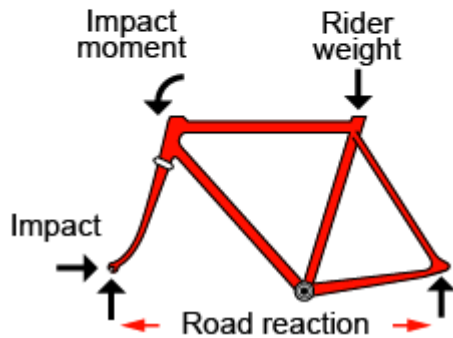


## Lektion 4. Ranking: Verfeinerung der Auswahl



Ausdrücken der Gestaltvorgaben als **Randbedingungen** und **Ziele**

Fahrradrahmen



## Gestaltvorgaben

Fahrradrahmen



### Muss

- **ausreichend steif**
- **ausreichend fest**
- **zäh genug**
- **schweißbar sein**

### Minimierung

- **Kosten**
- **Gewicht**
- **Volumem**
- **Umwelt**

**Wahl des Werkstoffs**



# Die CD-Hülle, und ein Ziel



## Gestaltvorgaben

- spritzgiessbar
- bessere Aufbewahrung und Schutz als PS-Hülle.
- ebenso durchsichtig wie PS
- umweltfreundlich
- **So billig wie möglich!**

## Umwandlung

Funktion **CD-Hülle**

Randbed.

1. Kann spritzgegossen werden
2. Transparent
3. Bruchzähigkeit  $K_{Ic} > K_{Ic}(PS)$
4. Kann recycled werden

ZIEL

**Minimierung der Materialkosten**

Freie Variable

*Wahl des Werkstoffs*



## Das Vorgehen:

1. Identifiziere **Funktion, Randbedingungen, Ziel und freie Variablen**  
(Auflistung einfacher Randbedingungen für Selektion).

2. **Formel zur Berechnung des Ziels** -- Die "Performance-Rechnung".

Enthält die Formel eine **freie Variable** (abgesehen vom Material):

- Identifiziere die **Randbedingungen**, zur Einschränkung.
- **Ersetze somit die freie Variable** in der Performance-Formel.

3. **Gewinne daraus die Kombination von Materialeigenschaften, die die Zielfunktion maximieren -- der Werkstofffaktor**

4. **Verwende diesen für das Ranking**

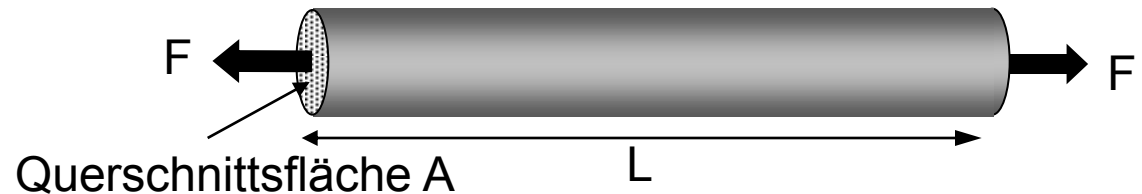


# Beispiel 1: fester, leichter Zugstab

Fester Stab der Länge  $L$  und minimaler Masse

Funktion

Zugstab



Randbed.

- Länge  $L$  ist vorgegeben
- keine plast. Verformung

Berechnung für RB des Querschnitts:

$$F/A < \sigma_y \quad (1)$$

Ziel

Minimiere Masse  $m$ :

$$m = A L \rho \quad (2)$$

$m$  = Masse  
 $A$  = Fläche  
 $L$  = Länge  
 $\rho$  = Dichte  
 $\sigma_y$  = Streckgrenze

Freie Variablen

- Querschnittsfläche  $A$
- Werkstoff

Eliminiere  $A$  in (2) durch Einsetzen von (1):

Zielfunktion  $m$

$$m = F L \left( \frac{\rho}{\sigma_y} \right) \rightarrow \text{Werkstoffe mit minimalem } \left( \frac{\rho}{\sigma_y} \right)$$

(bzw. maximiere  $\sigma_y / \rho$ )

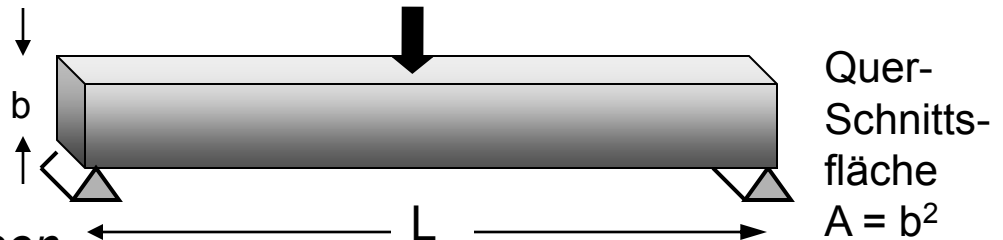


# Beispiel 2: Steifer und leichter Balken

Funktion

Balken

Steifer Balken der Länge L und minimaler Masse



Randbed.

- Länge L vorgegeben
- Durchbiegung bei Kraft  $F < \delta_c$

Berechnung für RB von b:

$$\frac{F L^3}{C E I} = \frac{12 F L^3}{C E b^4} < \delta_c \quad (1)$$

Minimiere Masse m:

$$m = b^2 L \rho \quad (2)$$

m = Masse  
 A = Querschnittsfläche  
 L = Länge  
 $\rho$  = Dichte  
 E = Elastizitätsmodul  
 I = Flächenträgheitsmoment  
 (I =  $b^4/12$ )  
 C = konstant (hier, 48)

Ziel

Freie Variablen

- Werkstoff
- Kantenlänge b

Eliminiere b in (2) durch Einsetzen von (1):

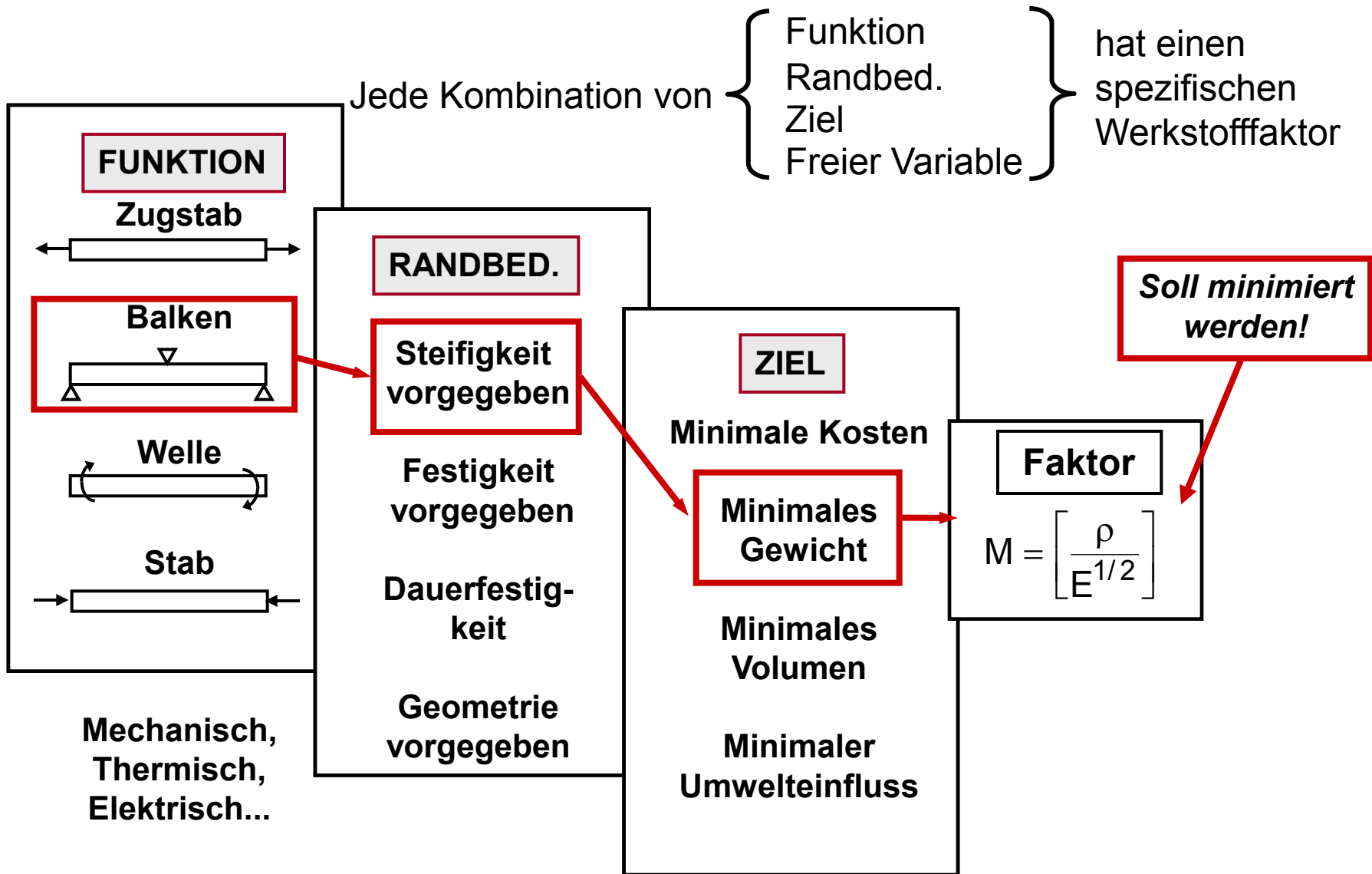
Zielfunktion m

$$m = \left( \frac{12 F L^5}{C \delta_c} \right)^{1/2}$$

$\left( \frac{\rho}{E^{1/2}} \right)$ 
→
**Werkstoffe mit minimalem**
 $\left( \frac{\rho}{E^{1/2}} \right)$



# Werkstofffaktoren





# Entmystifizieren der Werkstofffaktoren



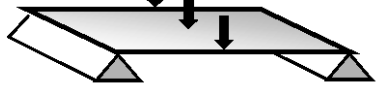
- Der **Werkstofffaktor** ist lediglich die **Kombination der Materialeigenschaften**, die in der **Zielfunktion auftauchen** (z.B.: Minimierung von Masse oder Kosten).
- Manchmal eine einzelne Eigenschaft
- Manchmal eine Kombination

Beides sind **Werkstofffaktoren**

**Beispiel:**

**Ziel --**  
Minimierung  
der **Masse**

**Zielfunktion =**  
**Masse**

Funktion	Randbedingungen	
	Steifigkeit	Festigkeit
Zug (Stab) 	$\rho/E$	$\rho/\sigma_y$
Biegung (Balken) 	$\rho/E^{1/2}$	$\rho/\sigma_y^{2/3}$
Biegung (Platte) 	$\rho/E^{1/3}$	$\rho/\sigma_y^{1/2}$

**Minimieren!**

(Oder Maximieren  
des Reziproks)





# Optimale Auswahl mit Hilfe von Diagrammen

Leichter, steifer Balken:

$$\text{Index } M = \frac{\rho}{E^{1/2}}$$

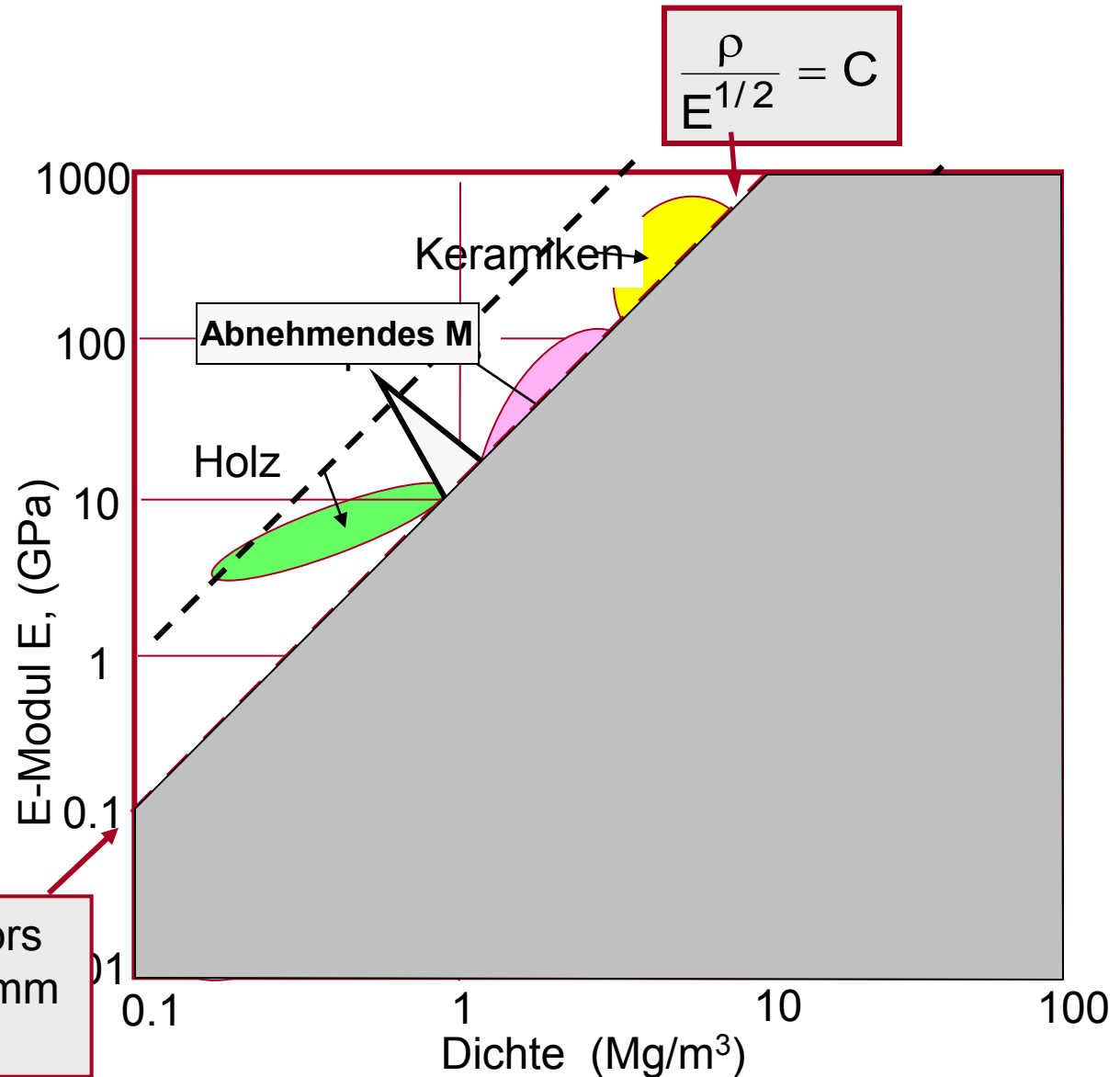
Umstellung:

$$E = \rho^2 / M^2$$

Logarithmierung:

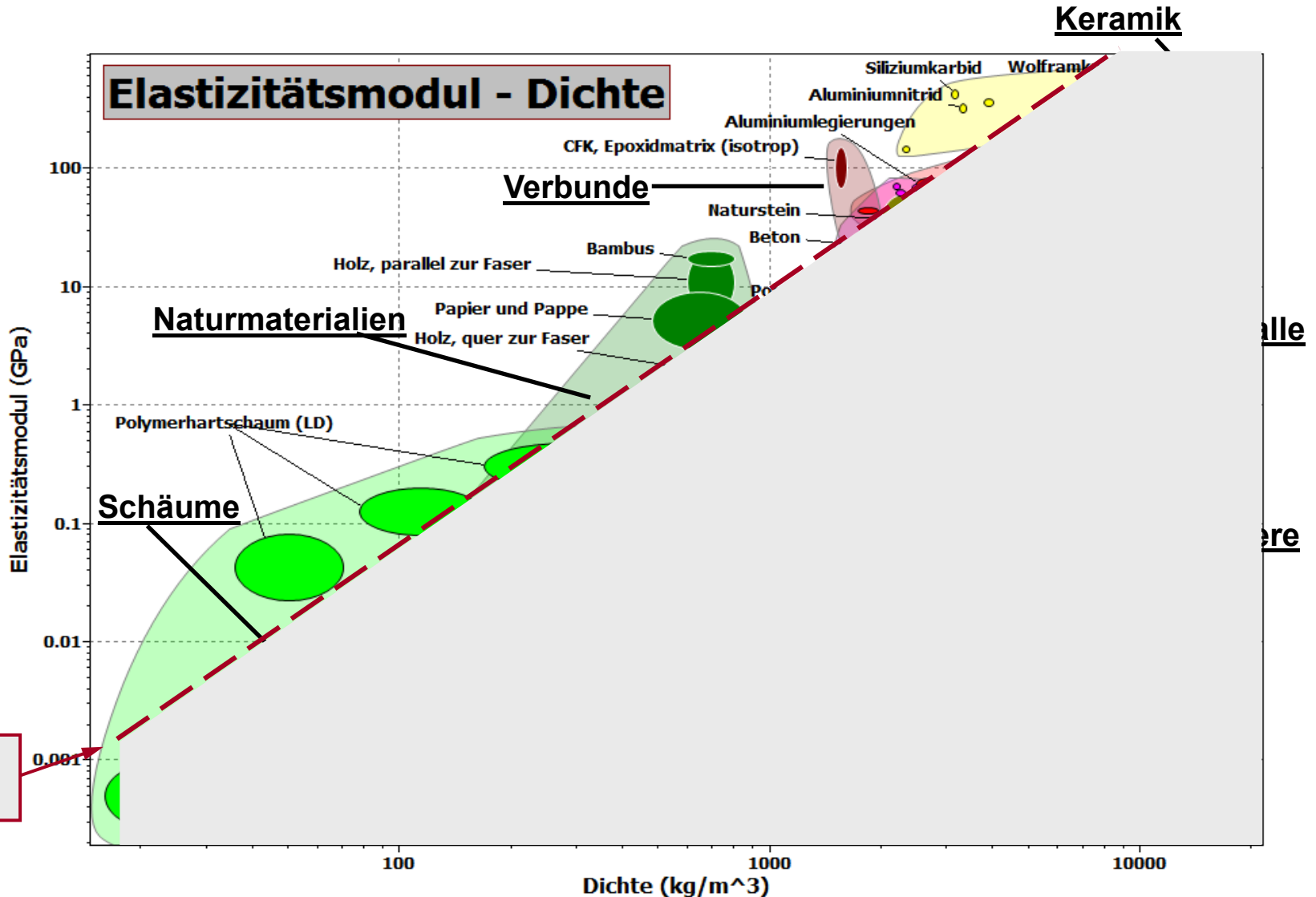
$$\text{Log } E = 2 \text{ log } \rho - 2 \text{ log } M$$

Bereiche konstanten Faktors  $M$  sind in einem  $E$ - $\rho$ -Diagramm Linien mit Anstieg 2





# Optimierte Auswahl durch Verwendung von Diagrammen





- Vier Schritte der Auswahl

1. **Umwandlung**, Ermitteln von Zielen und Randbedingungen
2. **Screening**, unter Nutzung der RB
3. **Ranking**, unter Verwendung ermittelter Werkstofffaktoren
4. **Dokumentation** der wichtigsten Werkstoffe

*Notwendig für eine optimale Auswahl*

- **CES erlaubt**

Selektion durch Verwendung von **Limit stages**, **Graph stages** und

**Tree stages**

Ranking, durch Nutzung von **Graph stages**

Suche nach weiterführenden Informationen im **Web-Portal**.



# Demo

GRANTA



4.1 Der Werkstofffaktor zur Auswahl leichter, fester Werkstoffe ist

$$M = \sigma_y / \rho$$

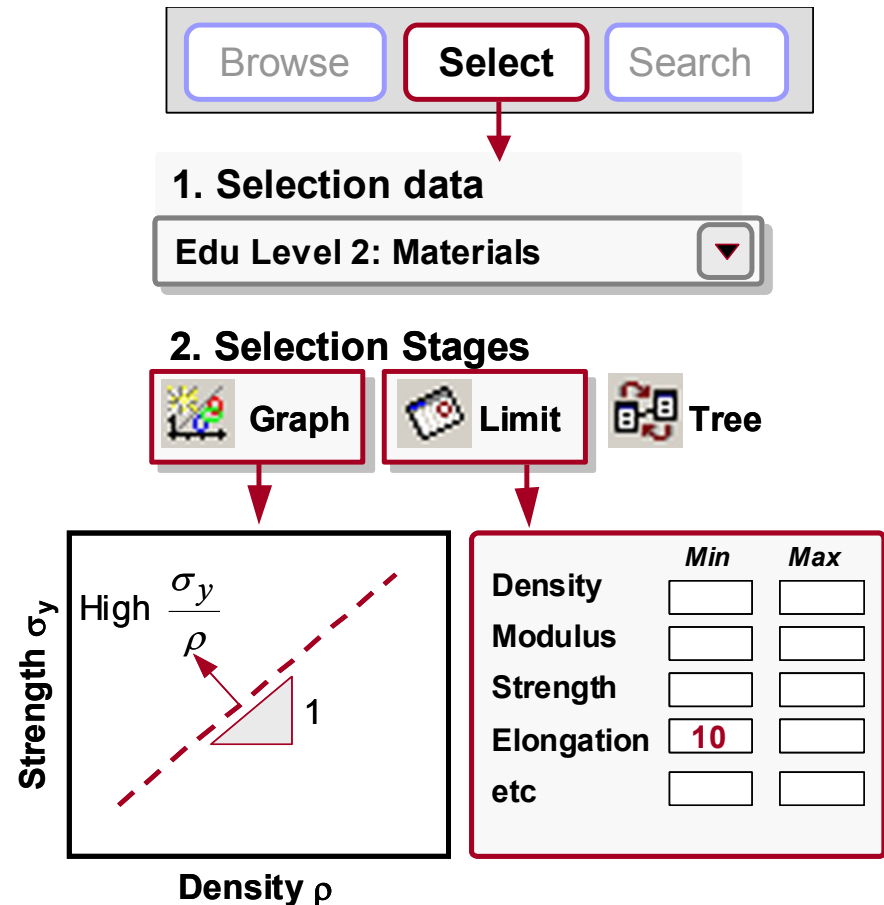
wobei  $\sigma_y$  die Streckgrenze und  $\rho$  die Dichte ist.

- Erstelle ein Diagramm mit diesen beiden Eigenschaften als Achsen
- Füge eine Auswahllinie ein (Anstieg 1), um die Werkstoffe mit höchstem M zu finden.
- Füge eine Limit stage hinzu, um zusätzliche Randbedingungen zu erzeugen:

$$\text{Dehngrenze} > 10\%$$

### Ergebnisse:

- ✓ Aushärtbare Aluminium Knetlegierungen
- ✓ Nickelbasis-Superlegierungen
- ✓ Titanlegierungen
- ✓ Magnesium-Knetlegierungen



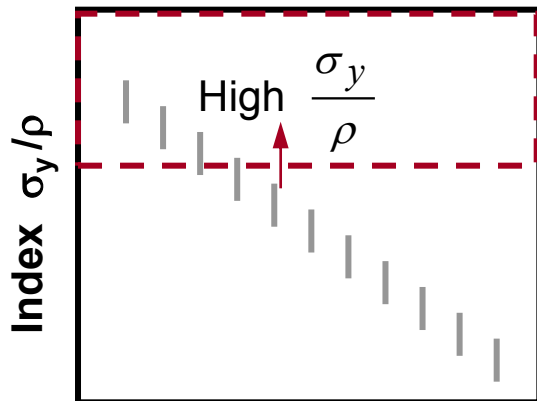


4.2 Wiederhole die Auswahl aus 4.1, verwende jedoch diesmal die erweiterte Einstellung, um ein Balkendiagramm mit Werkstofffaktor

$$M = \sigma_y / \rho$$

auf der Y-Achse zu erstellen.

- Führe eine Rahmenauswahl durch, um die Werkstoffe mit höchstem M zu finden.



- Füge eine Limit stage hinzu, um zusätzliche Randbedingungen zu erzeugen:

Dehngrenze > 10%

Browse **Select** Search

## 1. Selection data

Edu Level 2: Materials

## 2. Selection Stages

**Graph** **Limit** **Tree**

**Yield strength / Density**

+ - / \* ^ ( )

List of properties

- Density
- Modulus
- Yield strength
- etc

	Min	Max
Density	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Modulus	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Strength	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Elongation	10	<input type="text"/>
etc	<input type="text"/>	<input type="text"/>



# Übung: Auswahl von Werkstoffen für Federn (1)

4.3 Es wird ein Werkstoff für eine **Feder** gesucht, die Stossbeanspruchung und Verwendung in Süß- und Salzwasser standhält

**Randbedingungen:**

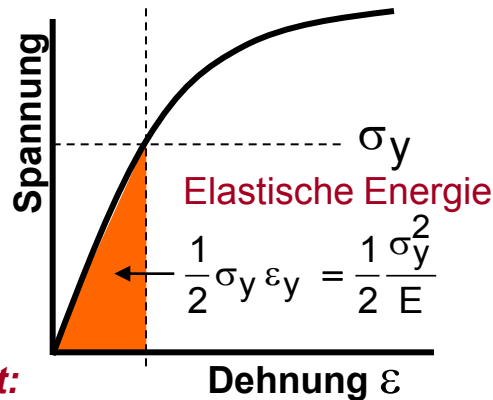
- Bruchzähigkeit > 15 MPa.m<sup>1/2</sup>
- Gute Haltbarkeit in Süß- und Salzwasser

**Ziele:**

- Maximierung der gespeicherten elastischen Energie

Die besten Federwerkstoffe sind solche mit dem größten Wert des **Faktors**

$$\frac{\sigma_y^2}{E}$$



**Erstelle ein Diagramm mit:**

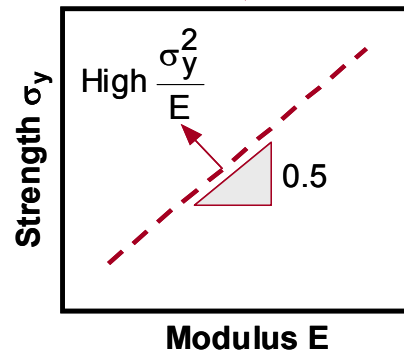
- **Elastizitätsmodul E** auf der x-Achse
- **Streckgrenze σ<sub>y</sub>** auf der y-Achse
- Überlagere eine **Linie** mit Anstieg 0.5 (entspricht zweiter Potenz)
- Wähle die Werkstoffe **oberhalb** dieser Linie
- Füge die **anderen Randbed.** mit Limit stage hinzu



1. Selection data

Edu Level 2: Materials

2. Selection Stages



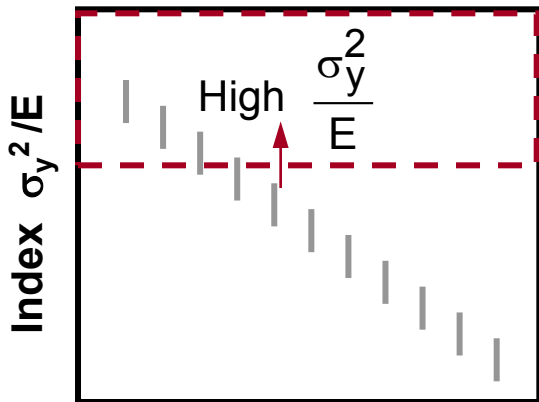
	Min	Max
Density	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fr. toughness	15	<input type="text"/>
etc	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fresh water	v. good	
Salt water	v. good	



# Übung: Auswahl von Werkstoffen für Federn (2)

4.4 Wiederhole die Auswahl aus 4.3, verwende jedoch diesmal die erweiterten Einstellungen, um ein Balkendiagramm mit dem Faktor  $\frac{\sigma_y^2}{E}$  auf der y-Achse zu erstellen.

- **Erstelle eine graphische Auswahl:**
  - Nutze die **Rahmenauswahl**, um Werkstoffe mit hohen Werten des Faktors zu erhalten



- Füge die **anderen Randbedingungen** unter Verwendung der Limit stage hinzu

### Ergebnisse:

- ✓ GFK, Epoxidmatrix (isotrop)
- ✓ Nickelbasis-Superlegierungen
- ✓ Titanlegierungen

Browse **Select** Search

1. Selection data  
Edu Level 2: Materials

2. Selection Stages  
Graph **Limit** Tree

*(Yield strength<sup>2</sup>)/  
Young's modulus*

+ - / \* ^ ( )

List of properties

- Density
- Modulus
- Yield strength
- etc

	Min	Max
Density	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fr. toughness	<input type="text" value="15"/>	<input type="text"/>
etc	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fresh water	<input type="text" value="v. good"/>	
Salt water	<input type="text" value="v. good"/>	





# Ende der Lektion 4

GRANTA