

---

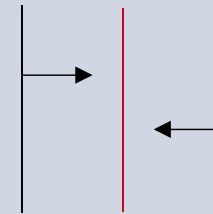
# Wärme- und Stoffübertragung I

## Beispiel: Schutzschirm

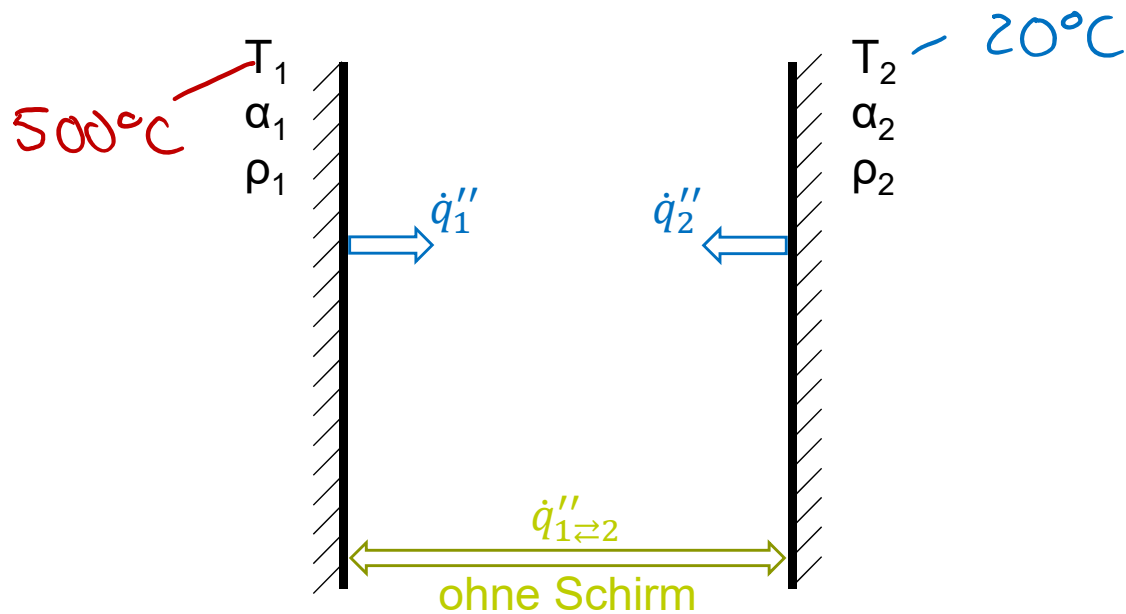
Prof. Dr. -Ing. Reinhold Kneer  
Dr. -Ing. Dr. rer. pol. Wilko Rohlf

- Schutzschirm

- Wie gut lässt sich Strahlung abschirmen und welche Eigenschaften machen einen guten Strahlungsschutzschirm aus? (im Fall von zwei parallelen Platten)



## Ausgangssituation

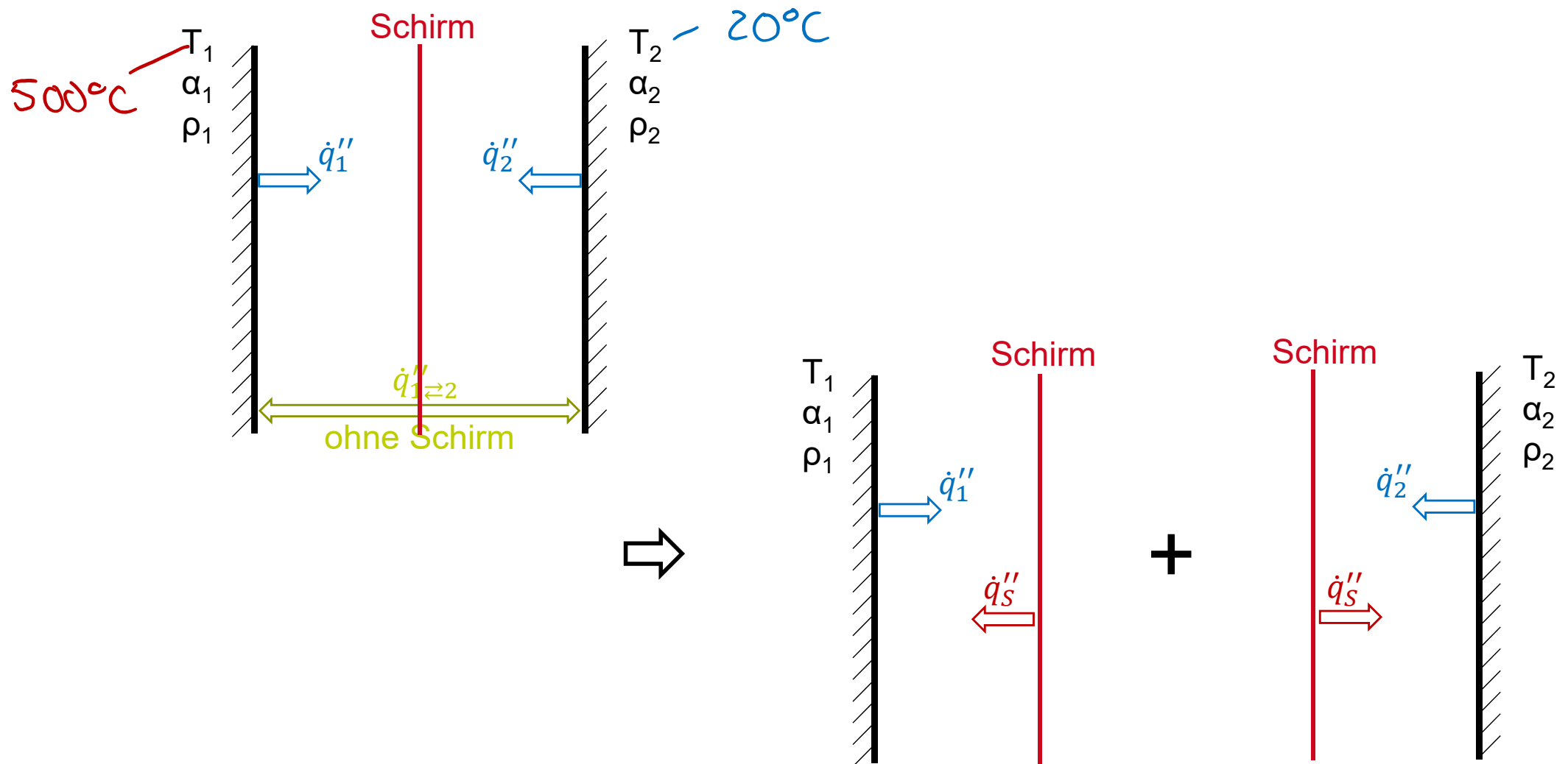


• Wie kann "kalte" Platte dauerhaft auf  $20^\circ\text{C}$  gehalten werden?

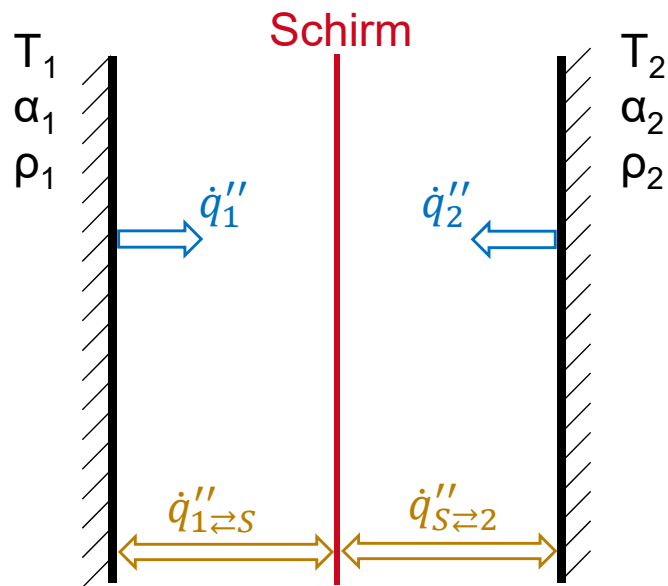
$\Rightarrow$  entweder durch starke Kühlung (kommt in späterem Kapitel) oder

$\Rightarrow$  durch Schutzschirm

## Schutzschirm: wie Einfluß berechnen?



## Schutzschirm: Herleitung

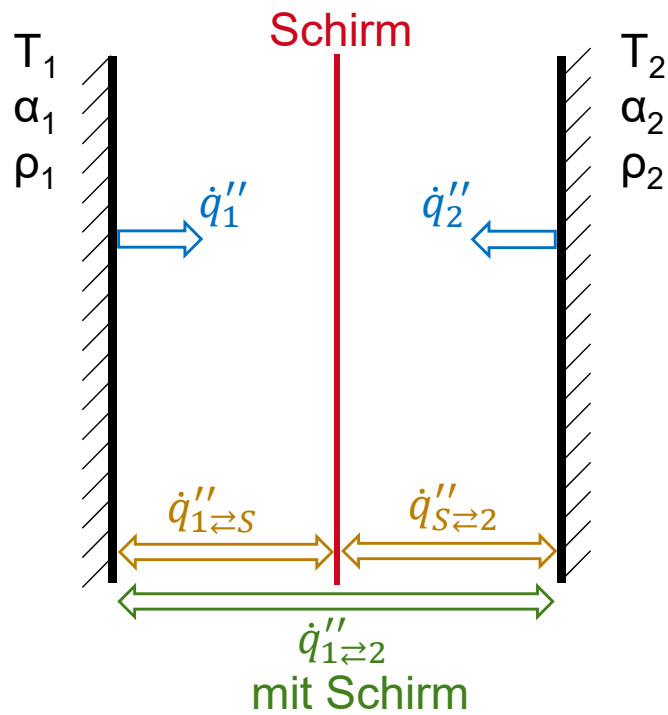


### Nettowärmeströme Schirm - Platten

$$\dot{q}_{1 \rightleftharpoons s}'' = \frac{\sigma (T_1^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_s} - 1}$$

$$\dot{q}_{s \rightleftharpoons 2}'' = \frac{\sigma (T_s^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_s} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

# Schutzschirm: Herleitung



## Nettowärmeströme Schirm - Platten

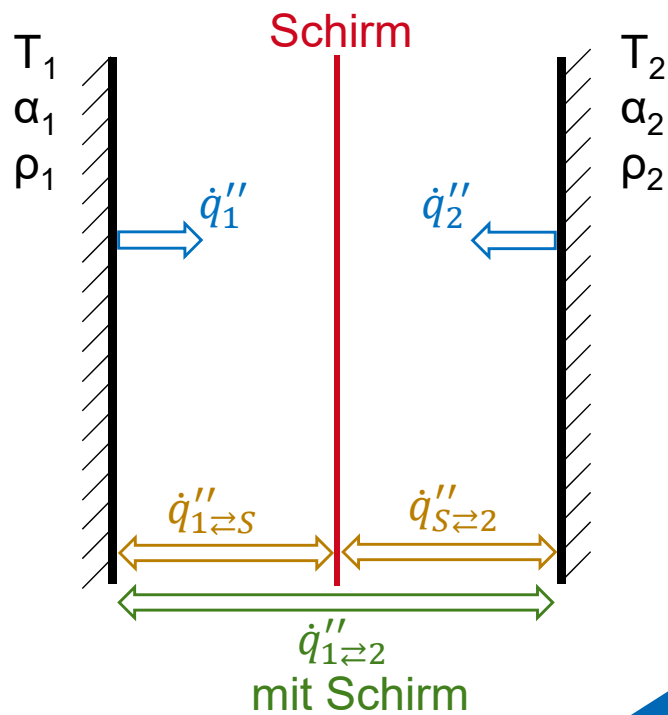
$$\dot{q}_{1 \rightleftharpoons s}'' = \frac{\sigma (T_1^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_s} - 1}$$

$$\dot{q}_{s \rightleftharpoons 2}'' = \frac{\sigma (T_s^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_s} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

## Kopplung am Schirm

$$\dot{q}_{1 \rightleftharpoons 2}'' = \dot{q}_{1 \rightleftharpoons s}'' = \dot{q}_{s \rightleftharpoons 2}''$$

# Schutzschirm: Herleitung



## Nettowärmeströme Schirm - Platten

$$\dot{q}''_{1 \rightleftharpoons s} \left( \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1 \right) = \sigma (T_1^4 - T_s^4)$$

$$\dot{q}''_{s \rightleftharpoons 2} \left( \frac{1}{\epsilon_s} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right) = \sigma (T_s^4 - T_2^4)$$

Addition

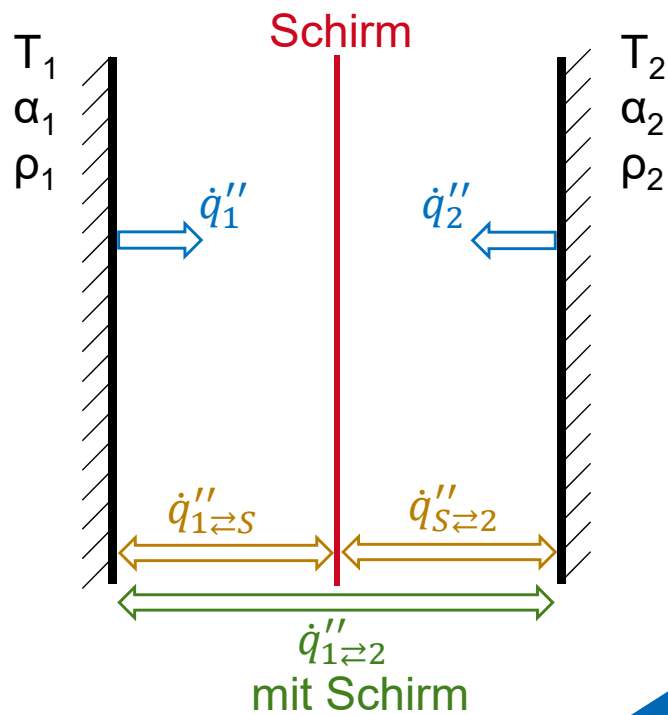
## Kopplung am Schirm

$$\dot{q}''_{1 \rightleftharpoons 2} = \dot{q}''_{1 \rightleftharpoons s} = \dot{q}''_{s \rightleftharpoons 2}$$

## Eliminierung von $T_s$

$$\dot{q}''_{1 \rightleftharpoons s} \left( \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1 \right) + \dot{q}''_{s \rightleftharpoons 2} \left( \frac{1}{\epsilon_s} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right) = \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

# Schutzschirm: Ergebnis Herleitung



## Nettowärmeströme Schirm - Platten

$$\dot{q}_{1 \rightleftharpoons s}'' \left( \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_s} - 1 \right) = \sigma (T_1^4 - T_s^4)$$

$$\dot{q}_{s \rightleftharpoons 2}'' \left( \frac{1}{\varepsilon_s} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right) = \sigma (T_s^4 - T_2^4)$$

Addition

## Eliminierung von $T_s$

$$\dot{q}_{1 \rightleftharpoons s}'' \left( \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_s} - 1 \right) + \dot{q}_{s \rightleftharpoons 2}'' \left( \frac{1}{\varepsilon_s} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right) = \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

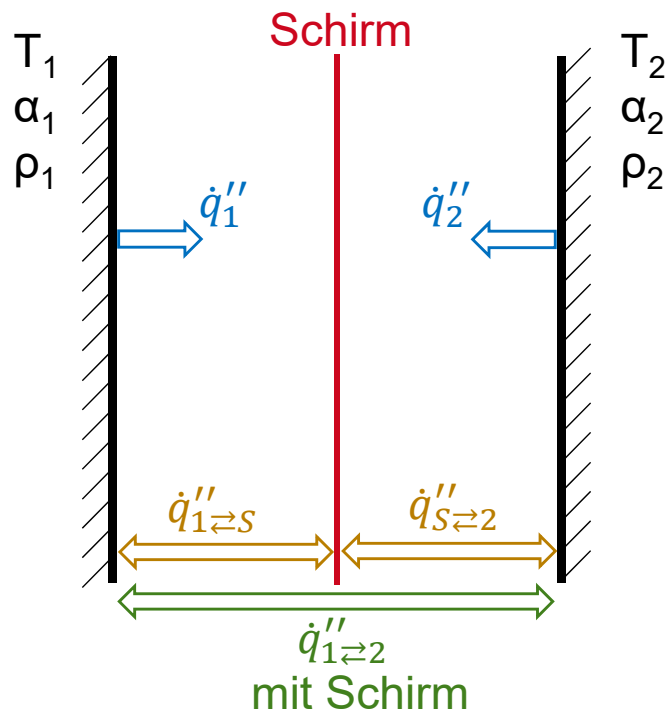
## Kopplung am Schirm

$$\dot{q}_{1 \rightleftharpoons 2}'' = \dot{q}_{1 \rightleftharpoons s}'' = \dot{q}_{s \rightleftharpoons 2}''$$

$$\dot{q}_{1 \rightleftharpoons 2}'' = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{2}{\varepsilon_s} - 2}$$



## Schutzschirm: Einfluß auf Wärmestrom



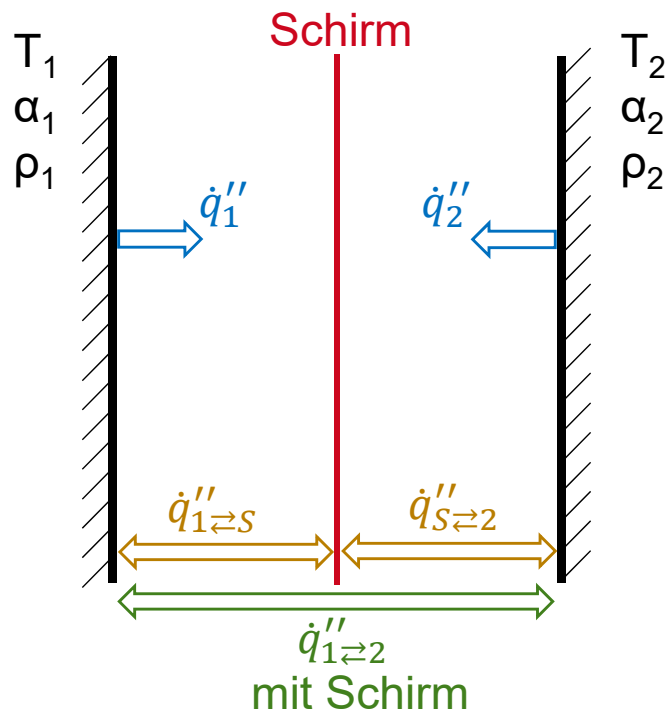
### Nettowärmestrom ohne Schirm

$$\dot{q}''_{1 \rightarrow s} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_s} - 1}$$

### Nettowärmestrom mit Schirm

$$\dot{q}''_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 + \frac{2}{\varepsilon_s} - 1} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

# Schutzschirm: notwendige Eigenschaften



## Nettowärmestrom mit Schirm

$$\dot{q}_{1 \rightleftharpoons 2}'' = \frac{1}{\underbrace{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{2}{\varepsilon_s} - 2}} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

bestimmender Vorfaktor  $f$

## Für $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.6$

|  |                        |
|--|------------------------|
| a) Ohne Schirm   | $f = 0,43$             |
| b) $\varepsilon_s = 1$                                   | $f = 0,3$              |
| c) $\varepsilon_s = 10^{-5}$                             | $f = 5 \times 10^{-6}$ |
| d) $\varepsilon_s = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.6$ | $f = ???$              |

## Fazit

- Auch ein schwarzer Schirmkörper reduziert den Strahlungsaustausch
- Für eine hohe Schirmwirkung muss  $\varepsilon$  möglichst klein sein  
 $\Rightarrow$  Hoher Reflexionsgrad

# Verständnisfragen

---

**Warum reduziert sich der Strahlungsaustausch trotz eines Schwarzkörpers als Schutzschirm?**

**Was passiert, wenn die drei Platten identische Strahlungseigenschaften aufweisen ( $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_s$ )?**