

# PRODUKTBROSCHÜRE

## Heliotherm-X ReGen

*Regeneratives Ultra-Hochtemperatur-Verbundmaterial der nächsten Generation*

### 1. Produktübersicht

**Heliotherm-X ReGen** ist ein fiktives, aber technisch konsistent beschriebenes Hochleistungsmaterial der 2. Generation.

Es kombiniert extreme Temperaturbeständigkeit, strukturelle Stabilität und eine **dauerhafte, zyklische Selbstheilung**, die sich nicht verbraucht.

Entwickelt für:

- Raumfahrt
- Plasma- und Fusionsreaktoren
- Hyperschalltechnologie
- Energieintensive Industrieanlagen
- Schutzschilder und thermische Barrieren

### 2. Materialeigenschaften (Technische Daten)

Max. Einsatztemperatur bis ca. 3.000 °C (fiktiv)

Schmelzpunkt Matrix > 3.500 °C

Dichte 6,2–6,8 g/cm<sup>3</sup>

Härte 22–28 GPa

Druckfestigkeit 2,5–3,2 GPa

Thermische Ausdehnung  $5,2\text{--}6,0 \times 10^{-6}\text{ K}^{-1}$

Wärmeleitfähigkeit 25–40 W/mK

Selbstheilungsmechanismus regenerativ, temperaturaktiviert

Heilungszeit 0,5–3 Sekunden (bei > 1.800 °C)

Heilungszyklen praktisch unbegrenzt (ReGen-Phase regeneriert sich)

Oxidationsbeständigkeit sehr hoch durch glasbildende Phase

Korrosionsbeständigkeit hoch, auch unter Plasmaeinwirkung

### 3. Chemische Zusammensetzung (Herstellungsformel)

Die vollständige Materialformel lautet:

Heliotherm-X reGen =  $\alpha$  HfC +  $\beta$  ZrB<sub>2</sub> +  $\gamma$  SiO<sub>2</sub> +  $\delta$  Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> +  $\varepsilon$  ReGen – Phase

$\alpha$  = 0,40 → Hafniumcarbid (HfC)

$\beta$  = 0,30 → Zirkoniumdiborid (ZrB<sub>2</sub>)

$\gamma$  = 0,15 → Siliciumdioxid (SiO<sub>2</sub>)

$\delta$  = 0,05 → Yttriumoxid (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

$\varepsilon$  = 0,10 → ReGen-Phase (metastabile, zyklisch regenerierende Komponente)

#### **4. Herstellungsprozess (vereinfacht)**

##### Schritt 1 – Pulveraufbereitung

- HfC, ZrB<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, werden in Nanopartikelgröße homogen gemischt.
- ReGen-Phase wird als reaktive Vorstufe hinzugefügt.

##### Schritt 2 – Heißisostatisches Pressen (HIP)

- Mischung wird bei 1.800–2.200 °C und 150–200 MPa verdichtet.
- Die Matrix bildet eine extrem dichte, temperaturstabile Struktur.

##### Schritt 3 – Aktivierung der ReGen-Phase

- Durch kontrollierte Temperaturzyklen wird die ReGen-Phase metastabil eingestellt.
- Sie kann später bei Hitze Risse füllen und sich selbst regenerieren.

##### Schritt 4 – Endbearbeitung

- Schleifen, Lasersintern, Plasmafinish
- Optional: Oberflächenversiegelung durch SiO<sub>2</sub>- Glasfilm.

#### **5. Selbstheilungsmechanismus (Formel & Funktionsweise)**

##### **Schadensentwicklung**

$$D(t) = D_0 - H(T, t)$$

##### **Heilfunktion**

$$H(T, t) = k_h \cdot S(t) \cdot e^{-\frac{Q_h}{RT} \cdot t}$$

##### **Regeneration der heilenden Substanz**

$$\frac{dS}{dt} = R(T) - C(T, D(t))$$

mit:

$$R(T) = k_r \cdot e^{-\frac{Q_r}{RT}}$$

$$C(T, D(t)) = k_c \cdot e^{-\frac{Q_c}{RT}} \cdot D(t)$$

##### **→ Gleichgewichtszustand:**

$$R(T) \approx C(T, D(t)) \Rightarrow S(t) = S_{\text{stabil}}$$

Damit bleibt die heilende Phase **dauerhaft verfügbar**.

## 6. Vorteile gegenüber klassischen Keramiken

- Selbstheilung verbraucht sich nicht
- Höhere Temperaturbeständigkeit
- Wesentlich höhere Risszähigkeit
- Bessere Oxidations- und Plasmaresistenz
- Längere Lebensdauer unter Extrembedingungen
- Ideal für zyklische thermische Belastungen

## 7. Typische Einsatzgebiete

- Hitzeschilde für Raumfahrzeuge
- Plasma-Reaktorkammern
- Hyperschallflugkörper
- Fusionsreaktor-Komponenten
- Thermische Barrieren in Industrieanlagen
- Energieintensive Schutzsysteme

## 8. Zusammenfassung

**Heliotherm-X ReGen** ist ein neues Material, das klassische Keramiken weit übertrifft.

Es kombiniert:

- extreme Temperaturfestigkeit
- dauerhafte Selbstheilung
- strukturelle Stabilität
- regenerierende Materialchemie

Perfekt für jede Anwendung, bei der **Hitze, Belastung und Lebensdauer** entscheidend sind.

Dokument erstellt von: Emanuel Schaaf – Materialentwicklung

Stand: Januar 2026

Verwendung: Technische Dokumentation / Projektunterlagen