**Nanomaterial Kohlenstoff**

|  | *Ruß - Carbon Black* | *Graphen* | *Fulleren* | *Carbon-Nanotubes (CNT)* |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Beschreibung des Materials | sp2-Hybridisierung, mit geringen Mengen an O, H, N, S, die typischen Schichten sind jedoch im Gegensatz zum Graphen/ Graphit ungeordnet und mit geringerer Fläche; bildet ketten- oder traubenförmige **Aggregate** (85-500nm) auskugelförmigen **Nodules** (15-300nm), die sich zu größeren **Agglomeraten** (1-100μm) zusammenlagern;  schwarzes, fein verteiltes, staubendes Pulver (≠ Kaminruß) | 1-10-lagige **Graphitschichten**,  **sp2**-hybridisierte C-Atome mit 3 Bindungspartnern und den delokalisierten p-Elektronen;  Umwandlung mit Sauerstoff in Graphenoxide (GO), bzw. Graphen-basierte Materialien (GBM) | **Kugelförmige, hohle Moleküle** aus 60 C-Atomen (Buckminster Fulleren) mit 0,7nm Durchmesser, **sp2**-Hybridisierung 🡪 sechseckige und fünfeckige Zellen;  gelbe Kristalle, in organischen LM weinrot,  UV-Strahlung zerstört den Käfig | **sp2-hybridisierte C-Atome**, die ein zweidimensionales Gitter bilden; diese sind zu einwandigen (<5nm Ø) oder mehrwandigen (>100nm Ø) Röhren gerollt  Starke Tendenz, sich zu Bündeln zu vereinigen (temporäre Dipolkräfte)  Die Oberflächen können durch funktionelle Gruppen modifiziert werden |
| Eigenschaften | Hohe spezifische Oberfläche, besonders leitfähig | Schwer brennbar  Hohe Zugfestigkeit / hohe mechanische Stabilität bei elastischer Dehnbarkeit  Elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit | Geringe Dichte  Reaktiv an der Oberfläche  Transport verschiedener Substanzen im Innern möglich  Nicht biologisch abbaubar | Hohe Zugfestigkeit  Geringe Dichte  Isolierend, halbleitend oder metallisch leitend, je nach Herstellungsart |
| Anwendungs-bereiche | Leitfähigkeitsruße zur antistatischen Ausrüstung in Kunststoffen (in Elektroden und Kohlebürsten)  Füllstoff in der Gummiindustrie  Schwarzpigment | Als optisch transparente Elektroden in Solarzellen und Tochscreens (Alternative zu Ag und Indiumzinnoxid),  in Kunststoffen zur Gasdichte und Wärmedämmung,  in Mikroprozessoren (Alternative zu Si)   * Noch keine kommerziellen Produkte | Kosmetik: Anti-aging-Produkte (Radikalfänger)  Sportgeräte: leichte, aber stabileTennis-, Badminton-, Golfschläger  Kontrastmittel in der Medizin  Photovoltaik  Katalysatoren  Leichtbauteile | Zusatz zu Kunststoffen (el. Leitfähigkeit, Stabilität, geringe Dichte), Transistoren, Dioden, Batterien, Solar- u. Brennstoffzellen, Rotorblätter, Hochleistungsbeton |
| Herstellung | Furnace-Prozess: unvollkommene Verbrennung und thermische Spaltung (Pyrolyse von Erdgas / Öl mit aromatenreichen Ruß-Ölen. Diese wird durch Wassereindüsung schlagartig gestoppt und das Produkt abgetrennt. | Bisher nur im Labormaßstab hergestellt:  Abbauende Schälverfahren aus Graphit  Aufbauende Verfahren: auf einer beschichteten Metalloberfläche wird Methan aufgeblasen, das sich zersetzt und Graphen bildet. | Vorkommen in Gesteinen  Verdampfen von Graphit im Lichtbogen oder mit Strom in einer He/Ar-Unterdruckatmosphäre | Laserabtrag von Graphit  Lichtbogenentladung zw. C-Elektroden  Chemische Gasphasenabscheidung, bei der Kohlenwasserstoffe katalytisch zersetzt und auf einem Substrat zusammen gesetzt werden. |
| Gesundheitl. Einschätzung | Gefahr beim Einatmen; Aufnahme über die Haut und die Lunge  Adsorption von weiteren Chemikalien | Gefahr beim Einatmen; Aufnahme über die Haut und die Lunge | Aufnahme über das Gewebe möglich, jedoch nicht in agglomerierten Zustand | Faserartige Struktur: Gefahr der Tumorbildung in der Lunge, Gefahr durch die Steifheit der CNTs |