3D-CAD & PARAMETRISCHES DESIGN WERKSTATTPOSTER

Geometrie-Kernel · Entscheidungsmatrix · Toleranzen · Normbohrungen & Shortcuts (2026)

1. CAD-GEOMETRIE-KERNEL UND INDUSTRIELLE DATENAUSTAUSCH-MATRIX

B-REP & NURBS STANDARDS

Geometrie-Kernel	Entwickler / Lizenz	B-Rep & Modellierpräzision	Hauptanwender / CAD-Systeme	Natives Format	Empfohlenes Austauschformat	Kritische Austauschregel
Parasolid	Siemens (Kommerziell lizenziert)	Branchenführer; höchste Stabilität bei komplexen Baugruppen	SOLIDWORKS, Onshape, Siemens NX, Solid Edge	`.x_t`, `.x_b`	`STEP AP242` / `Parasolid X_T`	Zwischen Parasolid-CADs ist der direkte .x_t Export absolut verlustfrei.
Autodesk Shape Mgr (ASM)	Autodesk (ACIS-Weiterentwicklung)	Hohe Präzision; perfekte T-Splines Freiformflächen-Integration	Autodesk Fusion, Inventor, AutoCAD 3D	`.f3d`, `.ipt`	`STEP AP214` / `STEP AP242`	Beim STEP-Export aus der Cloud werden T-Splines exakt in B-Rep-Volumen gewandelt.
OpenCASCADE (OCCT)	Open CASCADE SA (LGPL-2.1+)	Open-Source-Standard; v1.0 löst Topological Naming Problem	FreeCAD, CAD Exchanger, SALOME	`.FCStd`, `.brep`	`STEP AP214`, `IGES`	STEP-Export aus FreeCAD behält Farbhierarchien und Baugruppenstrukturen bei.
CGAL & OpenCSG	Open Source (GPL / LGPL)	Exakte Arithmetik; Berechnungsgeometrie & CSG-Boolesche Logik	OpenSCAD	`.scad` (Code)	`CSG`, `STL`, `3MF`, `DXF`	Kein direkter STEP-Export; Volumen werden für Slicer in hochauflösendes 3MF exportiert.
OpenNURBS	McNeel & Associates (Open)	NURBS-Freiformflächen-Mathematik (G0 bis G3 Stetigkeit)	Rhino 3D, Grasshopper	`.3dm`	`STEP AP214`, `IGES`	Vor dem CAD-Export Flächen zwingend als "Closed Solid Polysurface" verbinden.

2. CAD-ENTSCHEIDUNGSBAUM

- **Mechanik / Konstruktion / 3D-Druck:**
  → FreeCAD 1.0 (100% Open Source)
  → Fusion (Hobby / Integriertes CAM & CNC)
  → Onshape (Cloud im Browser / Team)
- **Code-basierte variable Funktionsteile:**
  → OpenSCAD (Ein Parameter steuert das gesamte Teil).
- **Leichtbau & Kinematik-Analyse:**
  → SolveSpace (3MB Standalone, direkte DOF-Berechnung).
- **NURBS Freiform & Algorithmisches Design:**
  → Rhino + Grasshopper (Organische Produktgestaltung).

3. MODELLABBRUCH VERMEIDEN (5 REGELN)

- **1. Auf Hauptebenen skizzieren:**
  Skizzen an Basis-Ebenen `XY/XZ/YZ` anheften, nie an dynamische Flächen.
- **2. Rundungskanten nie referenzieren:**
  Kanten verschieben sich bei Radiusänderung; nur Urgeometrie anwählen.
- **3. Verrundungen (Fillets) ans Ende:**
  Alle Bohrungen und Verrippungen fertigstellen vor Kantenverrundung.
- **4. Skizzen voll bestimmen:**
  Skizzen müssen grün werden (0 Freiheitsgrade) vor der Extrusion.
- **5. Zentrale Parametertabelle:**
  Alle Hauptmaße über Spreadsheet-Variablen steuern.

4. BLECHBIEGEN & K-FAKTOR

- **Biegeausgleichs-Formel (BA):**

```
BA = π × (R + K × T) × (A / 180)
```

  R: Innenradius | T: Blechdicke | A: Biegewinkel.
- **Typische K-Faktoren (Freies Biegen):**
  - Stahlblech (T < 2mm) : K = **0.33 – 0.38**
  - Aluminium (5052-H32) : K = **0.40 – 0.45**
  - Edelstahl : K = **0.45 – 0.50**
- **Mindest-Biegeradius:**
  Rissbildung vermeiden: `R ≥ 1.0 × T`.

5. METRISCHE SCHRAUBEN-DURCHGANGSBOHRUNGEN & SENKUNGEN (ISO 273 / ISO 4762)

Nenngröße	Steigung	Fein Durchgang (H12)	Mittel Durchgang (H13)	Grob Durchgang (H14)	Zylinderkopf Ø	Senkungs-Ø	Senktiefe	3D-Druck (FDM) Bohrung
M2	0.40 mm	2.2 mm	2.4 mm	2.6 mm	3.8 mm	4.4 mm	2.4 mm	**2.5 mm** (Spielpassung)
M2.5	0.45 mm	2.7 mm	2.9 mm	3.1 mm	4.5 mm	5.2 mm	2.9 mm	**3.0 mm**
M3 (Standard)	0.50 mm	3.2 mm	3.4 mm	3.6 mm	5.5 mm	6.5 mm	3.4 mm	**3.5 – 3.6 mm**
M4	0.70 mm	4.3 mm	4.5 mm	4.8 mm	7.0 mm	8.2 mm	4.4 mm	**4.6 – 4.7 mm**
M5	0.80 mm	5.3 mm	5.5 mm	5.8 mm	8.5 mm	9.8 mm	5.4 mm	**5.6 – 5.7 mm**
M6	1.00 mm	6.4 mm	6.6 mm	7.0 mm	10.0 mm	11.5 mm	6.5 mm	**6.7 – 6.8 mm**

6. BAUGRUPPEN-VERKNÜPFUNGEN

- **Deckungsgleich (Coincident):**
  Richtet zwei Flächen plan aufeinander aus (entfernt 3 DOF).
- **Konzentrisch (Concentric):**
  Bringt Zylinderachsen in Deckung (Welle in Bohrung).
- **Tangential (Tangent):**
  Hält Berührungskontakt zu Kurven- oder Nockenflächen.
- **Abstands- / Winkelbegrenzung:**
  Definiert mechanische Verfahrwege mit Min/Max.
- **Konstruktionsregel:**
  Das Basisgehäuse im Raum immer zuerst fixieren (Ground).

7. UNIVERSAL-CAD-SHORTCUTS

Aktion	FreeCAD	Fusion	SOLIDWORKS
Drehen (Orbit)	Shift + Rechtsklick	Shift + Mittelklick	Mittelklick
Verschieben (Pan)	Mittelklick	Mittelklick	Strg + Mittelklick
Neue Skizze	Skizze erstellen	`C` / `L`	Skizze starten
Extrudieren	Pad	`E`	`Linear austragen`
Bemaßen	`D` (Constraint)	`D`	`Intelligente Bemaßung`

8. DFM: FERTIGUNGSGERECHTES DESIGN

- **Entformungsschräge (Draft Angle):**
  Bei Spritzguss vertikale Wände mit min **1.0° – 2.0°** neigen.
- **Gleichmäßige Wandstärke (Uniform Wall):**
  Starke Wanddickenunterschiede verursachen Einfallstellen.
- **Innenradien gegen Kerbwirkung:**
  Scharfe Innenecken brechen; min `R ≥ 0.5 × T` anwenden.
- **Rippendimensionierung:**
  Rippendicke maximal 60% der Basiswandstärke wählen (`t ≤ 0.6 × T`).