

# Engineering und räumliche Beschreibung für die Simulation von Earth-ONE

## Einleitung

Die Kugelraumstation *Earth-ONE* gleicht einem künstlich errichteten Mond: ein vielschichtiges Habitat, dessen Außenhülle wie eine schimmernde Perle im Schwarz des Alls ruht. Diese Station besteht aus mehreren konzentrischen Decks, verbunden durch Radialstützen, Aufzüge und tangentielle Korridore, die wie Ringstraßen um jedes Deck verlaufen. Ziel dieses Dokuments ist es, ein stimmungsvolles und zugleich technisch genaues Bild der geplanten Erweiterungen zu vermitteln, damit eine CODEX-AI daraus vollständige 3-D-Modelle generieren kann.

## 1. Datenmodell und Parameter – neue Elemente sichtbar machen

### Tangentiale Korridore

Jedes Deck besitzt nun tangentielle Gangwege – **Korridore**, die wie geschlossene Straßen an der Innenseite der Hülle entlangführen. Pro Deck werden zwei ringförmige Korridore vorgesehen; ihre Anzahl lässt sich über den Parameter `corridors_per_deck` einstellen <sup>1</sup>. Die Korridore sind etwa zwei Meter breit und besitzen einen niedrigen Rand, in dem Leitungen für Strom, Wasser und Luft verlaufen. Ihre Kreuzungspunkte mit Radialstützen sind elegant ausgeschnitten; dort öffnen sich kleine Nischen für Schachtzugänge oder Wartungstüren. Bei Bedarf können in einem Korridor Förderbänder mit 0,5 m Höhe integriert werden, um Güter ohne Besatzung zu transportieren <sup>2</sup>.

Der Bodenbelag besteht aus einem rutschfesten, matte schimmernden Verbund aus elastischen Silikonem und kohlefaserverstärkten Leichtpolymeren. Silikonelastomere bleiben bei Temperaturen zwischen -40 °C und 250 °C elastisch und eignen sich daher für eine Raumstation, in der sich Temperaturbereiche deutlich unterscheiden <sup>3</sup>. In die Oberfläche sind dünne Leuchtstreifen eingelassen, die bei Stromausfall phosphoreszierendes Licht abgeben. Die Wände der Korridore sind mit leichten CFK-Paneelen ausgekleidet, die die darunterliegenden SiC-Träger verschalen. Diese Paneele zeigen wechselnde Panoramen auf schimmernden Displays oder natürliche Texturen, um den Bewohnern einen abwechslungsreichen Eindruck zu bieten.

### Fensterrahmen

Die **Fensterrahmen** erhalten eine eigene Klasse. Jedes Fenster wird von einem ringförmigen Rahmen umfasst, der das Glas mit der Hülle verbindet. Über den Parameter `window_frame_thickness` kann die Stärke des Rahmens angepasst werden <sup>4</sup>; ein Standardwert von 0,15 m ergibt einen massiven, aber eleganten Bund. Als Material dient Aluminiumoxynitrid (ALON), ein transparenter Keramikverbund, der bis zu 1200 °C formstabil bleibt und härter ist als Glas <sup>5</sup>. Außen ist der Rahmen dunkel eloxiert und wirkt wie ein schwarzes Auge in der weißen Hülle; innen glänzt er matt blaugrau und reflektiert das einfallende Licht.

Die Fenster selbst bestehen aus einem mehrschichtigen Verbund: eine innere Scheibe aus schlagzähem Polycarbonat, das leichter und deutlich bruchfester ist als gewöhnliches Glas <sup>6</sup>; eine mittlere Schicht

aus hochreinem Quarzglas mit geringer Ausdehnung und hoher Temperaturbeständigkeit <sup>7</sup>; und eine äußere Schicht aus Borosilikatglas, das aufgrund seiner geringen thermischen Ausdehnung besonders widerstandsfähig gegen Temperaturschocks ist <sup>8</sup>. Zwischen den Schichten befindet sich ein dünner Film aus ALON, der als transparente Rüstung dient. Eine hauchdünne UV-Schicht filtert Strahlung und verhindert Vergilbung.

## Notausgänge

Um der Sicherheit Rechnung zu tragen, werden in jedem Deck **Notausgänge** vorgesehen. Über den Parameter `num_emergency_exits` lässt sich festlegen, wie viele Öffnungen pro Deck existieren <sup>9</sup>; sie liegen in gleichmäßig verteilten Winkeln <sup>10</sup>. Jede Öffnung führt durch einen zylinderförmigen Schacht mit einem Durchmesser von 1,5m in den Raum zwischen zwei Decks. Schweres Gerät kann über ein Schienensystem darin bewegt werden, das im Ernstfall die schnelle Evakuierung von Personen ermöglicht.

Die Notausgänge sind als Luftschleusen ausgeführt; dazu gehört ein ringförmiger Bulkhead aus SiC-Komposit, das extrem temperaturbeständig ist und hohe Härte aufweist <sup>11</sup>. Die Türen besitzen Scharniere aus CFK-Stahl-Verbund, die mit Motoren versehen sind und im Notfall automatisch öffnen. Ein rotes, kreisförmiges Leuchtband rund um den Rahmen dient als visuelle Markierung.

## 2. Geometrie und Raumplanung

### Berechnung der Deckradien und Korridore

Die Decks der Station sind ringförmig und liegen übereinander wie die Schichten einer Zwiebel. Für das Geometriemodell wird der Radius jedes Decks als Summe aus dem inneren Stationsradius und der Deckdicke berechnet. An diesem Radius verlaufen die tangentialen Korridore <sup>12</sup>. Die Positionen der Korridore werden über `corridors_per_deck` gleichmäßig über 360° verteilt.

Die Korridorgeometrie ist ein Hohlprofil mit rundem Grundriss; in Querschnitt zeigt sich ein U-förmiges Profil: Der Boden liegt als durchgehende Platte vor, darüber öffnen sich an beiden Seiten vertikale Nischen für technische Leitungen. Entlang der Decke verlaufen schlanke Lichtkanäle, die das weiche, blaue Streulicht erzeugen. Wer sich durch den Korridor bewegt, spürt die leichte Wölbung der Außenhülle; das sanfte Gefälle erzeugt das Gefühl, an der Innenseite einer riesigen Kugel entlangzuwandern.

### Fensterrahmen-Geometrie

Die Methode `calculate_window_geometry` wird so erweitert, dass das Fenster neben der Aussparung in der Hülle einen zusätzlichen Überstand erhält <sup>13</sup>. Dieser Überstand bildet die dreidimensionalen Rahmenflanken; er lässt sich analog zum Türsturz eines Schiffsbullauges vorstellen. Die Fensterrahmen werden über gleichmäßig verteilte Winkel angeordnet, so dass sich ein harmonisches Muster ergibt. Innen schmiegt sich das Fenster an die Deckstruktur; außen erhebt sich eine zarte Wulst, die aerodynamisch geformt ist, um Mikrometeoroideneinschläge abzulenken.

### Notausgangsöffnungen

Die Notausgänge sind wie Schlüssellöcher in die Hülle eingeschnitten: zylindrische oder leicht rechteckige Schäfte mit verstärktem Kragen. Ein separater Algorithmus `calculate_emergency_exit_positions` berechnet die Winkel und erzeugt die Geometrien <sup>10</sup>.

Die Länge des Schachtes und der Winkel seiner Anbringung müssen dabei so gewählt werden, dass er weder mit Fenstern noch mit Stützstrukturen kollidiert.

## Materialzuweisung und Oberflächenwirkung

Die Station verwendet ein sorgfältig abgestimmtes Materialportfolio (s. Tabelle 1). Tragende Elemente und Stützen bestehen aus **silikonkarbidbasierten Kompositen** mit Kohlenstofffasern. Siliziumkarbid hat eine hohe Temperatur- und Verschleißfestigkeit, eine diamantähnliche Härte sowie eine hervorragende Wärmeleitfähigkeit <sup>11</sup>, während die Kohlenstofffasern das Material in Längsrichtung versteifen und das Gewicht senken <sup>14</sup>. Dieser Verbund findet sich in radialen Stützen, Außenhülle und Trägern.

Die **Hülle und Wärmetauscher** bestehen aus **silanmodifizierten Polyimiden**. Polyimide halten dauerhafte Temperaturen bis zu 230 °C aus und sind gegen Chemikalien sowie Strahlung sehr resistent <sup>15</sup>. Der Einbau von Silan sorgt für zusätzliche Sauerstoffundurchlässigkeit und erleichtert das Laminieren mit CFK-Lagen.

Die **Radialstützen** kombinieren SiC-Komposite mit CFK-Schichten. Diese Stützen tragen große Lasten und verbinden die Decks mit der zentralen Nabe.

Die **Korridore** verwenden **Silikonelastomere** als Dämpfungsmaterial und **kohlefaserverstärkte Polymere** als tragende Struktur <sup>3</sup> <sup>14</sup>. Die elastische Schicht dämpft Schritte und Vibrationen, während die CFK-Kernstruktur die Form hält.

Die **Fenster** kombinieren mehrere transparente Werkstoffe: Polycarbonat für Schlagzähigkeit <sup>6</sup>, Quarzglas für optische Klarheit und hohe Temperaturbeständigkeit <sup>7</sup>, Borosilikatglas als thermoschockresistentes Schutzglas <sup>8</sup> und ALON als harte, transparente Außenlage <sup>5</sup>. Diese Schichten sind nur wenige Millimeter dick, bilden aber gemeinsam eine zentimeterstarke Einheit, die selbst bei Mikrometeoritentreffern die Sicherheit gewährt.

**Tabelle 1** gibt einen Überblick über die wichtigsten Materialien und ihre Eigenschaften.

Bauteil	Material	Wichtige Eigenschaften
Tragende Stützen, Träger	SiC-Komposit (mit CFK)	Hohe Temperatur- und Verschleißfestigkeit; Diamanthärte; CFK reduziert Gewicht und erhöht Steifigkeit <sup>11</sup> <sup>14</sup>
Hülle, Wärmetauscher	Silan-modifizierte Polyimide	Dauerbetrieb bis 230 °C; chemikalien- und strahlungsresistent <sup>15</sup>
Radialstützen	SiC + CFK	Kombination vereint Festigkeit und Steifigkeit; faserorientierte Lastaufnahme
Korridore	Silikonelastomere + CFK-Polymere	Elastisch zwischen -40 °C und 250 °C <sup>3</sup> ; schwingungsdämpfend; CFK-Kern sorgt für geringes Gewicht

Bauteil	Material	Wichtige Eigenschaften
Fenster	Polycarbonat, Quarzglas, Borosilikatglas, ALON	Polycarbonat ist schlagzäh und leichter als Glas <sup>6</sup> ; Quarzglas hat geringe Ausdehnung und hohe Temperaturstabilität <sup>7</sup> ; Borosilikatglas ist thermoschockfest <sup>8</sup> ; ALON ist härter als Glas und bleibt bis 1200 °C stabil <sup>5</sup>

### 3. Exporter, Tests und Benennungskonventionen

Die Exportmodule müssen für die neuen Objekte erweitert werden. Im STEP-Exporter erhält jedes Element einen separaten B-Rep-Körper; das Material wird als Eigenschaft gespeichert <sup>16</sup> . Beim glTF-Exporter werden für die Korridore, Rahmen und Notausgänge neue Mesh-Generatoren implementiert und PBR-Materialien mit passenden Parametern vergeben <sup>17</sup> . Animationen werden über Keyframes realisiert, zum Beispiel für das Öffnen der Notausgänge oder das Rotieren ganzer Decks. Die Namenskonventionen (`Deck05_Corridor01`, `Deck12_WindowFrame03`) erleichtern die Zuordnung <sup>18</sup> .

Um die Korrektheit zu gewährleisten, sollen Unit-Tests prüfen, ob die Anzahl der generierten Korridore, Fensterrahmen und Notausgänge mit den Parametern übereinstimmt, ob Materialien korrekt zugewiesen wurden und ob die glTF-Datei die erwartete Struktur besitzt <sup>19</sup> . Regressionstests sorgen dafür, dass bestehende Geometrien unverändert bleiben <sup>20</sup> .

### 4. Blender-Beispielszene und Nutzung

Als Vorlage für Präsentationen soll eine Blender-Beispielszene erstellt werden: In `blender_example_scene.py` wird das exportierte glTF-Modell importiert, Materialien werden zugeordnet und eine Kamerafahrt entlang eines Korridors animiert. In der Dokumentation `documents/blender-usage.md` wird beschrieben, wie das Modell importiert, Materialien geändert und Animationen abgespielt werden <sup>21</sup> . Für die Beleuchtung empfiehlt sich eine Kombination aus weichem Umgebungslicht und gerichteten Spots, die die Kurven der Hülle betonen.

### 5. Weiterführende Empfehlungen für die Simulation

Die Forschungssammlung betont, dass **Tangentialkorridore, Förderbänder und Schwebekanäle** entscheidend für die interne Logistik sind <sup>22</sup> . In späteren Sprints können optionale Module wie Schwebeschächte für Fracht und Rohrpostsysteme implementiert werden. Außerdem sollten die Raumlayouts für medizinische Einrichtungen, Hydroponik-Gärten, Freizeitbereiche und Rettungskapseln vorbereitet werden.

#### Atmosphärisches Beispiel – ein Spaziergang durch die Station

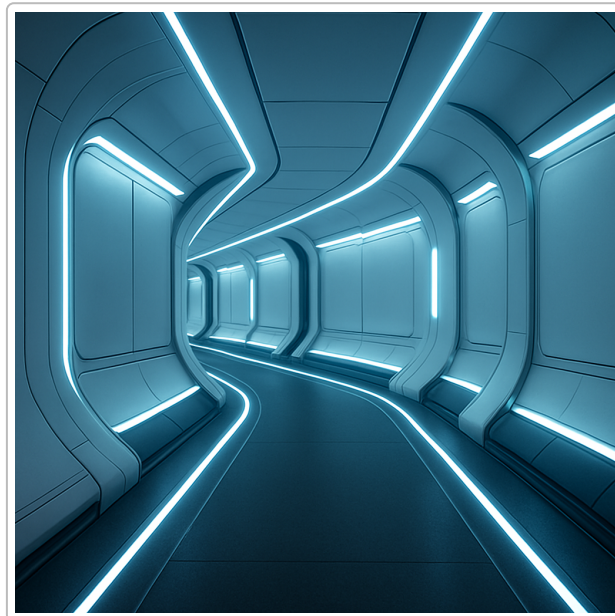
Ein Bewohner verlässt seine Kabine auf Deck 7 und betritt den Korridor. Weiches Licht schmeichelt den matten Oberflächen; der Boden federt leicht unter den Schritten dank der Silikonelastomere. Durch die Fenster sieht man die Erde als blaugrüne Kugel schweben – die Schichten aus Polycarbonat, Quarz- und Borosilikatglas lassen den Anblick kristallklar erscheinen, während der dunkle ALON-Rahmen wie ein Bilderrahmen wirkt. An der gegenüberliegenden Wand schimmern holzähnliche Texturen auf den CFK-Paneelen und verschmelzen mit interaktiven Displays, die den Bewohnern Informationen und Unterhaltung bieten.

Bei der nächsten Biegung leitet ein rot blinkendes Licht auf einen Notausgang. Die Tür ist massiv, mit SiC-Verstärkungen und CFK-Scharnieren; im Falle einer Havarie öffnet sie sich automatisch in einer sanften Drehbewegung – eine Animation, die in der Simulation durch Keyframes umgesetzt wird. Gleich daneben befindet sich eine Service-Nische mit einem Förderband, das Container geräuschlos über das Deck transportiert.

Diese Beschreibung soll die technische Planung mit einer lebendigen Atmosphäre verbinden, damit Leser und Software gleichermaßen ein klares Bild der Station gewinnen.

## 6. Illustration

Um die Stimmung eines Korridors einzufangen, wurde eine generische, futuristische Darstellung einer Station entworfen (siehe Abbildung 1). Sie zeigt die gebogenen Wände, das sanfte Blau der Beleuchtung und die transparente Bodenstruktur, wie sie in den Korridoren der Earth-ONE denkbar wäre.



**Abbildung 1:** Künstlerische Impression eines futuristischen Stationskorridors mit gebogenen Wänden, weicher Beleuchtung und modernen Paneelen. Dieses Bild dient als atmosphärische Inspiration für die 3-D-Modellierung.

---

1 2 4 9 10 12 13 16 17 18 19 20 21 22 GitHub

<https://github.com/robert2100-08-16/Sphere-Space-Station-Earth-ONE-and-Beyond/blob/main/project/sphere-space-station-earth-one/01-project-planning/08-simulations/sprint-13/engineering-guidelines.md>

3 Silikone – Wikipedia

<https://de.wikipedia.org/wiki/Silikonkautschuk>

5 Aluminiumoxynitrid – Wikipedia

<https://de.wikipedia.org/wiki/Aluminiumoxynitrid>

6 Polycarbonate – Wikipedia

<https://de.wikipedia.org/wiki/Polycarbonate>

7 **Quarzglas – Wikipedia**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Quarzglas>

8 **Borosilikatglas – Wikipedia**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Borosilikatglas>

11 **Siliciumcarbid – Wikipedia**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Siliciumcarbid>

14 **Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff – Wikipedia**

[https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstofffaserverst%C3%A4rkter\\_Kunststoff](https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstofffaserverst%C3%A4rkter_Kunststoff)

15 **Polyimide – Wikipedia**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Polyimide>