

Fakultät Design, Medien und Information
Department Medientechnik
Studiengang Sound-Vision



Master-Thesis zur Erlangung
des akademischen Grades M.A.

„Entwicklung einer 3D-Visualisierung für das
Forschungsprojekt „innovative Luftgestützte
Urbane Mobilität (i-LUM)“ der Technischen
Universität Hamburg und Hochschule für
Angewandte Wissenschaften Hamburg“

Erstprüfer: Prof. Thomas Görne
Zweitprüfer: Amir Andikfar

Hamburg 2024



Masterarbeit

Ilya Landshut

Matr.-Nr. XXXXXXXXXX

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung / 4

2. Anforderungen / 6

3. Kommunikationsziel / 9

4. Inspirationsphase / 13

4.1. 3D-Animation von „Airbus“ / 13

4.2. 3D-Animation von „Voloctoper“ / 16

5. Konzeptentwicklung / 20

5.1. Ideenschöpfung und Konzeptskizzen / 20

5.1.1. Maschinen-Design / 23

5.2. Storyboard / 29

6. Digitale Umsetzung / 54

6.1. „Blockout“ Phase / 54

6.1.1. Verfeinerungsphase / 55

6.2. Texturierung / 58

6.3. Rigging / 63

6.4. Animation / 67

6.5. Farbstimmung, Licht, Rendering / 70

7. Schlussfolgerung / 76

Anhang / 81

Abbildungsverzeichnis / 82

Literaturverzeichnis / 84

Abstract

The research project „Innovative Airborne Urban Mobility (i-LUM)“ examined airborne mobility solutions for urban environments. A central element of the project presentation was the 3D visualization of the air taxi airport infrastructure, which I created. This visualization served as a tool for exploring and decision-making regarding the feasibility and implementation of airborne transportation systems. This master's thesis specifically examines the creation process of the 3D visualization within the „i-LUM“ project, aiming to create a futuristic, innovative experience and to highlight the innovation potentials of eVTOL technology.

Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt „Innovative Luftgestützte Urbane Mobilität (i-LUM)“ untersuchte luftgestützte Mobilitätslösungen für urbane Umgebungen. Ein zentrales Element der Projektpräsentation war die von mir gestaltete 3D-Visualisierung der Flugtaxi-Flughafeninfrastruktur. Diese Visualisierung diente als Werkzeug zur Erforschung und Entscheidungsfindung bezüglich der Machbarkeit und Implementierung luftgestützter Verkehrssysteme. Diese Masterarbeit untersucht spezifisch den Schaffensprozess der 3D-Visualisierung im Rahmen des Projekts „i-LUM“, mit dem Ziel, eine futuristische, innovative Erfahrung zu schaffen und die Innovationspotenziale der eVTOL-Technologie zu verdeutlichen.

1. Einleitung

Mit der zunehmenden Urbanisierung und der damit einhergehenden Verdichtung des städtischen Verkehrs wächst der Bedarf an innovativen Lösungen zur Entlastung der Straßeninfrastruktur. Das Projekt „i-LUM“ (i-LUM o.J.), entwickelt von der TU Hamburg, der HAW Hamburg und weiteren Forschungseinrichtungen, setzte sich zum Ziel, die Integration von elektrisch betriebenen autonomen Flugkörpern zu erforschen. Diese Flugkörper, bekannt als eVTOLs (electrical vertical takeoff and landing vehicles) oder Flugtaxis, sind in der Lage, senkrecht zu starten und zu landen, und sollen speziell in städtischen Umgebungen eingesetzt werden.

In dieser Arbeit konzentriere ich mich auf den Schaffensprozess meiner 3D-Visualisierung für das Projekt „i-LUM“, in der ich die zukünftige Infrastruktur eines eVTOL-Flughafens, auch Vertiport genannt, auf dem Dach eines Hochhauses veranschauliche. Dabei verwendete ich die Software „Blender“.

Besonderes Augenmerk lege ich dabei auf mein Leitthema: Die Untersuchung, wie meine 3D-Visualisierung die Infrastruktur eines eVTOL-Flughafens digital erlebbar gemacht hat. Dabei war das Ziel, den Betrachtern ein Gefühl von Futurismus und Innovationskraft zu vermitteln. Mithilfe meiner 3D-Animation strebte ich an, das Vorhaben einem breiten Interessentenkreis zugänglich zu machen. Dabei reflektiere ich die Herausforderungen, denen ich begegnet bin. Ich erläutere, wie ich diese gelöst habe, und beschreibe, wie ich aus der gewonnenen Erfahrung neue Fähigkeiten entwickelt habe, um zukünftige Projekte zu gestalten. Diese Arbeit lädt dazu ein, tiefer in meinen Designprozess der 3D-Visualisierung einzutauchen und deren Bedeutung im Kontext der urbanen Mobilitätsforschung zu erkunden.

„i-LUM“ setzte sich zum Ziel, Luftmobilitätskonzepte für den Luftverkehr in der Metropolregion Hamburg für zukünftigen Szenarien im Jahre 2040/2050 zu entwickeln und zu evaluieren. Die Zielgruppe umfasste Unternehmen der Luftfahrtindustrie, Start-ups für Mobilitätslösungen, wissenschaftliche Forschung der Luft- und Raumfahrt, sowie ein Publikum mit Interesse an Zukunftstechnologien. „i-LUM“ wurde durch die Landesforschungsförderung Hamburg (LFF) der Behörde für Wissenschaft, Forschung, Gleichstellung und Bezirke (BWFG) Hamburg gefördert. Der Zeitraum erstreckte sich von 2020 bis 2023. Das Projektbudget lag bei 2 Millionen Euro. Am Institut für Flugzeug-Produktionstechnik (IFPT) der TUHH wurde das Projekt koordiniert. Es forschten Prof. Dr.-Ing. Thorsten Schüppstuhl (Institutsleiter und Teilprojektleiter) und Jil Eltgen, M.Sc. (wissenschaftliche Mitarbeiterin).

An der HAW Hamburg wurde in der Fakultät Technik und Informatik geforscht. Im Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau arbeitete Prof. Dr. Rinie Akkermans (Teilprojektleiter) und am Department Informatik waren Prof. Dr. Tim Tiedemann (Teilprojektleiter) und Timo Häckel, M.Sc. (wissenschaftlicher Mitarbeiter) beteiligt. Zusätzlich forschten die Helmut-Schmidt-Universität Hamburg (HSU), HafenCity Universität Hamburg (HCU), Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und das Helmholtz-Zentrum Hereon.

Im Jahre 2021 begann ich in der Funktion als Hilfwissenschaftler am IFPT, Auftragsarbeiten u.a. im Bereich der 3D-Visualisierung für verschiedene wissenschaftliche Forschungsprojekte zu entwickeln. Im selben Jahr fragte „i-LUM“ meine Kenntnisse an, um ihr Vorhaben zu visualisieren. „i-LUM“ konzentrierte sich in den Präsentationen darauf, die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten von autonomen Flugkörpern (eVTOLs) sowie die dazugehörige Infrastruktur zu präsentieren.

Meine Aufgabe bestand darin, das Projekt durch 3D-Renderings und 3D-Animationen zu unterstützen, um zu veranschaulichen, wie diese autonomen Fortbewegungsmittel in möglichen Zukunftsszenarien eingesetzt werden können.

In dieser Masterarbeit fokussiere ich mich insbesondere auf die Entwicklung der zentralen 3D-Visualisierung. Sie zeigt die Infrastruktur eines eVTOL-Flughafens im Jahr 2040/50, der auf dem Dach eines Hochhauses errichtet werden soll. Auf diesem Flughafen können Passagiere mit ihrem autonomen eVTOL starten, landen und in einem Wartebereich auf ihren Flug warten. Darüber hinaus kann der Flughafen auch weitere Funktionen erfüllen, wie das Be- und Entladen von Logistik-Flugtaxi sowie das Aufladen und die Wartung der Vehikel.

2. Anforderungen

In Abstimmung mit der Projektleitung wurde festgelegt, welche Anforderungen der Vertiport enthalten sollte. Gemeinsam definierten wir klare Ziele, auf die ich mich in der 3D-Visualisierung konzentrierte:

1. Umgebung

- Städtische Atmosphäre
- Platzierung von Hochhäusern im Hintergrund
- Einheitlicher architektonischer Stil der Gebäude
- Integration fliegender eVTOLs im Hintergrund

2. Grundriss & Helipads

- Zentraler Flughafen auf Gebäudedach
- Bodenplatte als Fundament für Vertiport
- Zwei Helipads (Landebereiche)
- Helipads direkt mit dem Vertiport verbunden
- Wand für parkende eVTOLs und Ladestationen
- Wand für parkende eVTOLs und Ladestationen

3. Passagierwarteraum

- Bereich für wartende Passagiere
- Sitzgelegenheiten in der Passagierlounge
- Schranken für Ein- und Ausgang
- Sicherheitsabsperungen

4. Bereich für Passagierabholung

- Verbundener Bereich mit Passagierwarteraum
- Sicherheitszaun für den Übergang
- Genug Platz für wartende Flugtaxi

5. Logistik-Station

- Bereich für das Be- und Entladen von Paketen
- Logistikzentrum im Zentrum des Flughafens
- Darstellung der Paketabfertigung
- Fokus auf Funktionalität, Teamwork & Effizienz
- Paketroboter mit flexiblen Gelenken
- Ausreichend Platz für Paketroboter & Flugtaxi

6. Ladestation

- Elektrischer Energieversorgungsbereich für Vehikel
- Flexible Flugtaxi-Ladeinheit, befestigt an Decke
- Stationäre Ladeeinheiten für Beförderungsgeräte

7. Drohnen-Erfassungsstation

- Bereich für Drohne zur Flugtaxi-Inspektion
- Podest für parkende Drohne
- Drohne ausgestattet mit Kamera & Scan-Modul

8. Flugtaxi

- Vorgegebenes 3D-Modell des Flugtaxis
mit Anpassungsmöglichkeiten
- Verlängerung des Landegestells bei Bedarf
- Hinzufügen von Komponenten im Cockpit
wie großes Display mit modernem User-Interface,
Passagiersitze, Frachtraum für Logistikversion

9. Beförderungsgerät

- Sicheres Transportgerät für Flugtaxitransfer
- Kompakte Größe für Passgenauigkeit & Fixierung
- Funktionales, futuristisches Design

10. Passagiere

- Neutral gestaltetes Charakterdesign
- Passagiere nutzen Smartphones zur Navigation im Wartebereich
- Eintritt der Passagiere in den Wartebereich, Durchqueren des Bereichs, Öffnen der Schranken, Annäherung an das eVTOL und Ansicht des Cockpits

3. Kommunikationsziel

Ich entwickelte eine Struktur, die den Flughafen in Szenen unterteilte. Dabei erfüllte jede Szene eine spezifische Funktion. Meine Bestrebung war es, die Abschnitte harmonisch zusammenwirken zu lassen, um einen effizienten Flughafenbetrieb zu ermöglichen. Somit schuf ich mir eine Grundlage, um das Projekt übersichtlich zu kommunizieren.

Durch die Gliederung setzte ich mir auch zum Ziel, die Neugier der Zuschauer zu wecken und sie gespannt darauf zu machen, was in der jeweiligen nächsten Szene geschehen würde. Der folgende Überblick beschreibt meinen Aufbau, der sich wie ein roter Faden durch die gesamte 3D-Visualisierung zieht.

1. Szene

- Erstmaliger Landeanflug des Flugtaxi
- Lebhaftes Atmosphäre der Umgebung
- Abholung des Flugtaxi durch Beförderungsgerät

2. Szene

- Flugtaxitransfer zur Passagierlounge
- Öffnung der Flugtaxitüren
- Kurzer Einblick in das Cockpit
- Darstellung des Ausgangs der Passagier-Lounge

3. Szene

- Flugtaxibeförderung zur Logistikstation
- Öffnung des Flugtaxi-Frachtraum
- Gelenk-Paketroboter entnimmt Pakete
- Dynamische Darstellung durch Gelenkbewegung
- Zusätzlicher Box-Roboter fungiert als Assistent
- Gelenk-Roboter legt Pakete in Box-Roboter
- Darstellung von Roboter-Teamwork

4. Szene

- Flugtaxitransport zur Erfassungsstation
- Drohne parkt auf Podest
- Drohne steigt auf
- Drohne untersucht Flugtaxi mittels Erfassungsstrahl
- Darstellung von Dynamik durch 360-Grad-Umkreisung
- Rückmeldung des Flugtaxis auf Cockpit-Display
- Vermittlung von Interaktionsgefühl

5. Szene

- Flugtaxitransfer zur Ladestation
- Automatisches Ausklappen des Lade-Arms mit vertikaler Streckung
- Ladeeinheit verbindet sich mit Flugtaxi-Dach
- Anschließender Ladevorgang
- Rückmeldung des Flugtaxis auf Cockpit-Display
- Zusätzliche Ladestationen für Beförderungsgeräte
- Ladeprozess der Beförderungsgeräte

6. Szene

- Darstellung des Passagierlounge-Eingangs
- Ankunft neuer Passagiere
- Öffnung der Schranke per Smartphone
- Passagiere durchqueren Lounge
- Zweite Schrankenöffnung beim Lounge-Ausgang

7. Szene

- Flugtaxitransport zur Passagierlounge
- Dynamische Darstellung des Transports durch Kurvenfahrt
- Flugtaxi parkt vor der Passagierlounge
- Passagiere gehen auf das Flugtaxi zu

8. Szene

- Gelenk-Paketroboter entnimmt Pakete aus
Box-Roboter
- Gelenk-Paketroboter platziert Pakete in
Flugtaxi-Frachtraum
- Automatische Schließung der Flugtaxi-Heckklappe

9. Szene

- Passagiere sitzen im Cockpit
- Rückmeldung auf Display zu geschlossenen
Flugtaxitüren
- Routenberechnung auf Display
- Textinformation zur berechneten Routenvorschau

10. Szene

- Flugtaxitransfer zur Abflugstelle
- Beförderungsgerät verlässt das Flugtaxi
- Flugtaxi hebt ab, fliegt in Richtung Stadt

4. Inspirationsphase

Für meinen Schaffensprozess habe ich zunächst Beispiele aus der Luftfahrtindustrie gesammelt, um zu sehen, wie ähnliche Projekte visualisiert wurden. Dies half mir, eine Grundlage für meine spätere 3D-Animation zu schaffen. Dabei habe ich zwei Anwendungsbeispiele erfasst:

1.

Eine 3D-Animation für ein Flughafen- und Flugzeugkabinenkonzept für die Jahre ab 2035 vom Flugzeughersteller „Airbus“ (Airbus 2023).

2.

Ein 3D-Animationsprojekt von „Volocopter“ (Volocopter 2018), einem Unternehmen für eVTOL-Fahrzeuge. Dabei wurde die zukünftige Mobilität und ihre Einbindung in die städtische Infrastruktur thematisiert.

Diese Beispiele haben mir besonders geholfen zu verstehen, wie Zukunftskonzepte kreativ in Form einer 3D-Animation kommuniziert wurden, da sie ähnliche Eigenschaften und Ziele wie das Projekt „i-LUM“ verfolgten.

4.1. 3D-Animation von „Airbus“

Das erste Projekt wurde von „Airbus“ entwickelt.

Es trug den Namen „Airspace Cabin Vision 2035+“ und setzte sich als Ziel, für das zukünftige Reisen mit dem Flugzeug, eine neue Infrastruktur und Designsprache zu entwickeln.



Abbildung 1: Frame aus der Animation „Airspace Cabin Vision 2035+“ Sekunde 0:14 bis 0:18 (Airbus 2023)

Im ersten Abschnitt (Abb. 1) bot sich mir eine Vogelperspektive auf den Flughafen. Dadurch erhielt ich einen ersten visuellen Eindruck. Die Kombination aus runden und kantigen Formen wirkte auf mich futuristisch. Auffällig waren die grüne Umgebung und der umliegende See, was ich als gelungenen Ansatz für eine nachhaltige Gestaltung interpretierte. Die Präsenz einer Wasserstoff-Infrastruktur neben dem Flughafen unterstrich für mich das Bestreben nach umweltfreundlichen Lösungen. Der eVTOL-Flugkörper im unteren rechten Bereich fiel mir durch sein stromlinienförmiges Design auf. Es ermöglichte mir, mich mit der Form und dem Aussehen eines eVTOLs vertraut zu machen.

Allerdings hätte ich es als passender empfunden, wenn der Flughafen von mehreren Seiten aus mit der Autobahn verbunden gewesen wäre. Eine klarere Darstellung mit zusätzlichen Anschlussmöglichkeiten hätte das visuelle Konzept noch realistischer und bedarfsorientierter gemacht. Trotz dieser Punkte inspirierte mich das Gesamtkonzept und gab mir ein erstes Gefühl dafür, in welche Richtung ich meine Animation gestalten könnte.



Abbildung 2: Frame aus der Animation „Airspace Cabin Vision 2035+“ Sekunde 0:21 bis 0:29 (Airbus 2023)

In Abbildung 2 lag für mich das Hauptaugenmerk auf einer dynamischen, warmen, architektonischen Gestaltung, die durch die Form der Deckenkonstruktion und den Einsatz von Pflanzendekoration im Innenraum, einen nachhaltigen Charakter vermittelte. Durch das große horizontale Dachfenster erhielt der Innenraum des Flughafens viel Licht, sodass ich als Betrachter der 3D-Visualisierung eine freundliche und einladende Atmosphäre des Zukunftskonzepts wahrnehmen konnte.

Abbildung 3 zeigt zwei Reisende, wie sie mit dem User Interface eines Wand-Displays im Flughafen-Terminal interagierten. Auf dem Display konnte ich verschiedene Informationen erkennen, wie die Möglichkeit, Essen zu bestellen, indem die Kunden ihr Smartphone vor einen QR-Code hielten und anschließend in der Essens-App bestellten. Eine Bestellung aufzugeben und die gewünschte Speise dann zu entnehmen, erschien mir als praktische Lösung.



Abbildung 3: Frame aus der Animation „Airspace Cabin Vision 2035+“ Sekunde 0:54 bis 1:03 (Airbus 2023)

Jedoch sah ich hier Verbesserungspotenzial. Die Bilder des Wand-Displays wirkten generisch und erinnerten an Stockfotos. Sie passten nicht zur hochwertigen, futuristischen Ästhetik, die ich von einem modernen Flughafen erwartet hätte. Außerdem wirkten sie gestreckt und verzerrt.

Insgesamt war das „Airbus“ Konzept eine hilfreiche Ideenquelle für meine Arbeit. Ich überlegte mir ebenfalls, wie ich für meine eVTOL-Animation ein Display-Interface bauen könnte, um den Passagieren Informationen wie z.B. zu ihrer Reiseroute anzuzeigen.

4.2. 3D-Animation von „Volocopter“

In meiner weiteren Recherche stieß ich auf das Vorhaben des Unternehmens „Volocopter“. Es besaß viele Parallelen zu meinem Themenschwerpunkt und präsentierte sein Projekt in einem Erklärfilm mit eingebundenen 3D-Animationssequenzen.

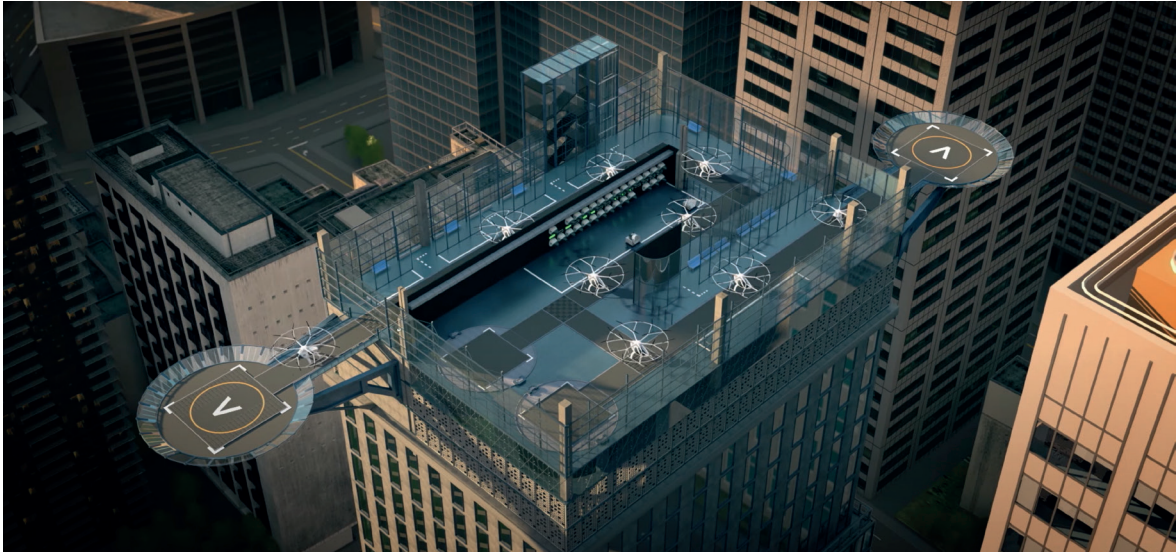


Abbildung 4: Frame aus der Animation von „Volocopter“ Sekunde 0:57 bis 1:05 (Volocopter 2018)

Das Projekt beschäftigte sich mit der zukünftigen Implementierung eines eVTOL-Flughafens im innerstädtischen Umfeld. Es bezeichnete ihre autonomen Flugkörper als „Volocopter“, die vertikal starten und landen können. Um zu zeigen, wie die Flugtaxi zukünftig in eine Stadt integriert werden können, erstellte das Unternehmen eine virtuelle Flughafeninfrastruktur.

Dieser Flughafen wurde als „Hub“ konzipiert, der Ähnlichkeiten mit einem Bahnhof aufweist und bis zu tausend Menschen pro Stunde betreuen kann. Das „Hub“ wurde in der 3D-Animation auf einem Wolkenkratzer platziert und in Abschnitte unterteilt. Im ersten Abschnitt (Abb. 4) wurden die Helipads an den Außenseiten des Flughafens angedockt, damit die Flugtaxi auf der einen Seite landen und auf der anderen Seite abheben können.



Abbildung 5: Frame aus der Animation von „Volocopter“ Sekunde 1:09 bis 1:12 (Volocopter 2018)

Im zweiten Abschnitt (Abb. 5) erklärte das Unternehmen, dass die Flugtaxis mittels eines Beförderungsbandes automatisch zum nächsten Abschnitt transportiert werden. Dort stoppt das Beförderungsband, und die Passagiere verlassen ihre Flugtaxis, um zum Ausgang des Flughafens zu gelangen.

Im dritten Abschnitt (Abb. 6) erfolgt der Weitertransport. Hier werden die Batterien der Flugtaxis ausgetauscht. Ein fahrender Roboter entnimmt die alte Batterie aus dem hinteren Bereich des Flugtaxis, während ein zweiter Roboter eine frische Batterie andockt. Dieser Prozess inspirierte mich zu der Idee, robotische Prozesse für eine Aufladestation in meinen Flughafen zu integrieren. Darüber hinaus erwog ich, einen reibungslosen Ablauf zwischen Robotern und Flugtaxis zu gestalten. Diese Überlegung gab mir auch den Anstoß, eine Vorrichtung für den Flugtaxitransport zu entwickeln.

Anschließend können die Flugtaxis mittels eines Fahrstuhls auf ein Parkdeck transportiert werden, wo ein Transportroboter sie dann zu ihren Parkplätzen befördert.

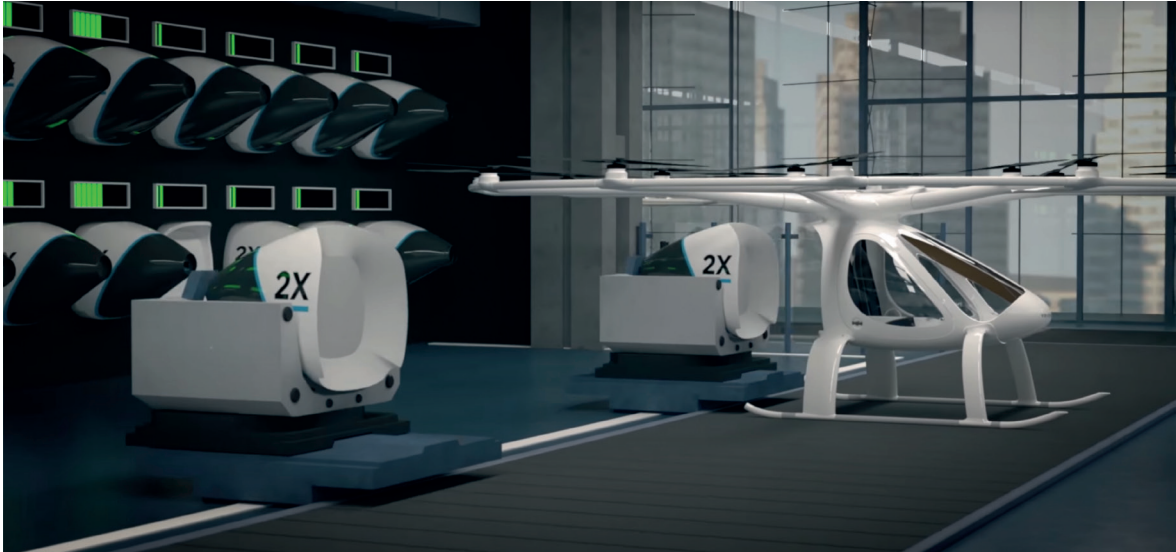


Abbildung 6: Frame aus der Animation von „Volocopter“ Sekunde 1:25 bis 1:33 (Volocopter 2018)

Im letzten Abschnitt werden die Flugtaxi mithilfe des Beförderungsbandes zur Abflugstation transportiert, von wo aus sie zum nächsten Ziel fliegen können. Jedoch hätte ich mir bei dieser 3D-Animation einige Änderungen im Schnitt und Aufbau gewünscht. Insbesondere empfand ich an einigen Stellen die Animation als zu schnell. In der Parkdeck-Szene war es mir als Betrachter nicht möglich zu erkennen, wie das Transportmodul das eVTOL aufnimmt und zur Parkstation befördert. Auch die Funktionsweise der Passagierstation blieb für mich als Zuschauer unklar, da lediglich ein kurzer Ausschnitt gezeigt wurde, in dem die Passagiere den Beförderungsbandbereich verlassen. Es wurde jedoch nicht im Detail gezeigt, wie sie dorthin gelangen und einsteigen.

Ebenso vermisste ich die Darstellung des Ausstiegs der Passagiere aus den Fahrzeugen, was es mir als potenziellem Nutzer erschwerte, nachzuvollziehen, wie benutzerfreundlich die Flugtaxi sind. Diese Aspekte hätten mir für ein besseres Verständnis geholfen, insbesondere da diese Technologie dazu bestimmt ist, eine Entlastung für den traditionellen Straßenverkehr zu bieten. Daher ist es entscheidend, diese Konzepte klar zu kommunizieren und benutzerfreundlich zu gestalten.

Gleichwohl zeigte mir diese Animation, dass es insgesamt großes Potenzial gibt, um zukünftige Fortschritte in der Mobilität in Form von 3D-Visualisierungen für Betrachter erlebbar zu machen und motivierte mich sehr in meinem weiteren Schaffens- und Designprozess.

5. Konzeptentwicklung

Im ersten Teil dieses Kapitels erläutere ich meine Vorgehensweise und die Methodik, mit der ich mein allgemeines Flughafen-Konzept entwickelt habe, um die Grundlage für die spätere Umsetzung im digitalen Raum mithilfe der Software „Blender“ zu schaffen. Zur Veranschaulichung meines Schaffensprozesses integriere ich meine Konzeptzeichnungen. Im zweiten Teil beschreibe ich, wie ich meine Zeichnungen in einem Storyboard weiterentwickelt habe, um die Animation zu planen und den Flughafen erfahrbar zu machen.

5.1. Ideenschöpfung und Konzeptskizzen

Inspiziert vom „Volocopter“-Konzept entschied ich mich, den Flughafen in einzelne Stationen aufzuteilen. In meiner Analyse der Visualisierung stellte ich fest, dass diese Abschnitte durch ein Laufband verbunden waren, das die eVTOLs von einem Abschnitt zum nächsten transportiert. Diese Idee inspirierte mich, mein Konzept ebenfalls in Abschnitte zu gliedern. Hinsichtlich des Transportsystems entschied ich mich jedoch, mein Konzept offener und mit mehr Fläche und Luftraum zu gestalten, also kein Laufband zu verwenden.

Dies überlegte ich mir, da ich früh in Gesprächen mit „i-LUM“ erfasste, dass die Gerätschaften und Fahrzeuge viel Platz benötigen würden, um flexibel über den Flughafen zu fahren und die einzelnen Stationen und Abschnitte erreichen zu können.

Zunächst zeichnete ich die allgemeine Form für den ersten Entwurf des Flughafens und überlegte, wie ich ihn in ein urbanes Umfeld integrieren könnte. Dafür entschied ich mich, die Struktur zunächst in Blöcken darzustellen, um ein Gespür dafür zu entwickeln, wie ich die einzelnen Bereiche anordnen würde. So konnte ich das Layout gut planen und eine grundlegende Struktur für meinen Entwurf schaffen.

Mein erster Schritt bestand darin, einen Block für das Hauptgebäude, den Wolkenkratzer, auf dem der Flughafen später platziert werden sollte, zu entwerfen. Anschließend skizzierte ich weitere Blöcke für die Hintergrund-Wolkenkratzer, um die Umgebung zu füllen und eine Grundlage für den Gesamtaufbau der virtuellen Welt zu schaffen.

Bei der Gestaltung der Bodenfläche des Flughafens strebte ich einen futuristischen Effekt an und entwickelte eine L-förmige Bodenplatte mit einer leichten Abschrägung. Inspiriert vom Konzept „Volocopter“ entwarf ich die Abschnitte des Flughafens so, dass Flugtaxis direkt ankommen können. Anders als beim „Volocopter-Hub“ platzierte ich die Helipads in meinem Konzept nebeneinander auf einer Seite, während im hinteren Bereich des Flughafens Platz für Park- und Aufladestationen vorgesehen war.

Um die Helipads optisch hervorzuheben und sie aus der Ferne besser sichtbar zu machen, habe ich sie mit dem Buchstaben „V“ gekennzeichnet, der für Vertiport oder eVTOL steht, und diesen auf deren Oberfläche integriert. Im Vergleich zum schmalen Besucherbereich im „Volocopter“-Konzept plante ich eine geräumige Besucherlounge auf der rechten Seite meines Designs.

Um eine dynamische und futuristische Gestaltung zu erzielen, entwarf ich die Passagier-Lounge des Flughafens mit einem Torbogendesign für das Dach und Gucklöchern in der Wand als zusätzliches Detail. Die großflächige quaderförmige Gestaltung sollte den Besuchern ausreichend Platz bieten. Die äußere

Wand und Überdachung habe ich so konzipiert, dass sie sowohl Parkplätze für Flugtaxi als auch Aufladestationen für Transportroboter und eVTOLs beherbergen können. Durch die vertikalen Balken beabsichtigte ich, der Struktur eine moderne und stabile visuelle Gestaltung zu verleihen, während ich die Tragesäulen bzw. Dachstützen der Überdachung in einem 45-Grad-Winkel konzipierte, um eine dynamische Ästhetik zu schaffen.

Die Überdachung habe ich bewusst von der Hauptbodenplatte getrennt, um einen räumlichen Effekt zu erzeugen und die Ausrüstung vor Witterungseinflüssen zu schützen. Im Zentrum des Flughafens habe ich drei zentrale Elemente festgelegt: eine Paketstation zur Be- und Entladung mittels Roboter, eine Abholstation verbunden mit dem Besucherwartebereich sowie eine Scan-Drohnen-Station zur Überprüfung der Flugtaxi auf mögliche Beschädigungen. Diese Bereiche wollte ich durch ihre spezifische Gestaltung optisch hervorheben. Abschließend habe ich eine Umzäunung um den Flughafen und den Besucherwartebereich geplant, um Sicherheit zu gewährleisten und den Flughafen optisch vom Gebäuderand abzugrenzen.

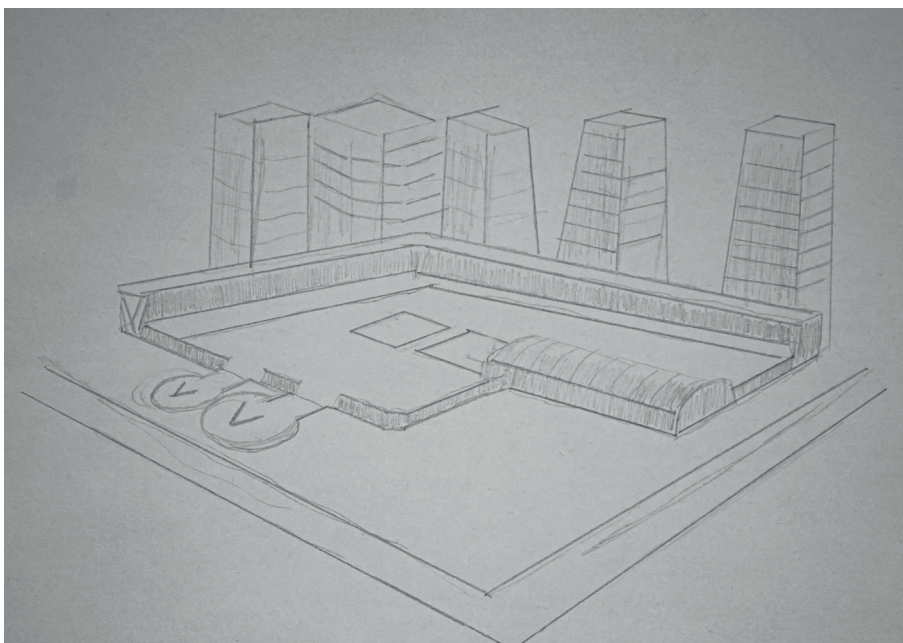


Abbildung 7:
Flughafen-
zeichnung

5.1.1. Maschinen-Design

Transportroboter

Für dieses Fahrzeug erkannte ich eine zentrale Herausforderung: Wie könnte ich das Flugtaxi dazu befähigen, über den gesamten Flughafen zu navigieren und dabei jede Station zu erreichen? Angesichts der Tatsache, dass das Flugtaxi keine Räder besaß, wurde mir deutlich, dass ein innovativer Ansatz erforderlich war.

Meine Lösung bestand darin, einen Transportroboter zu entwickeln, der das Flugtaxi über den Flughafen befördern konnte. Jedoch stellte sich mir anschließend eine weitere, zusätzliche Hürde: Wie konnte der Transportroboter das eVTOL sicher transportieren und während der Fahrt stabil halten? In dieser anspruchsvollen Aufgabe kam mir eine passende Idee: ein innovativer Aufbau der simpel, aber effektiv war. Meine Architektur umfasste zwei ausfahrbare magnetische Säulen bzw. hydraulische Hebesysteme in der Mitte des Transportroboters. Auf diese Weise konnte er unter das Flugtaxi fahren, die beiden Hebesäulen automatisch ausfahren und sich dann mithilfe von magnetischer Induktionstechnologie mit dem unteren Teil des Flugtaxis verbinden und andocken.

Auch in Bezug auf das äußere Erscheinungsbild entwickelte ich ein Konzept: Eine harmonische Kombination aus kantigen und runden Formen, um sie passend zum Ambiente meines Flughafen-Designs zu gestalten. Den vorderen Teil des Transportroboters gestaltete ich in einem runden Design, während der hintere Teil quadratisch mit leicht abgerundeten Ecken versehen war. Ich stattete den Roboter mit sechs dynamischen Reifen aus und wählte eine Farbgebung in grau, weiß und blau. Der vordere Teil wurde mit diagonalen Linien im 45-Grad-Winkel verziert, um ein futuristisches Flair zu vermitteln.

Dieses Design erhielt im Projekt „i-LUM“ positive Rückmeldungen. Lediglich ein Anpassungswunsch bezüglich der Höhe des Roboters wurde geäußert, um ausreichend Platz unter den eVTOLs zu gewährleisten. Somit präsentierte ich ein neues, flacheres Design, das im Projekt ebenfalls positiv aufgenommen wurde. Ich war zufrieden damit, dass ich zügig eine funktionierende und kreative Lösung für die Funktionalität und das Design des Roboters entwickelte. Dies ermöglichte es mir, mit gesteigerter Motivation nach erfolgreicher Bewältigung dieser Herausforderung weiterzuarbeiten. Jetzt stand dem Einsatz des Transportroboters für alle Beförderungszwecke vom Flugtaxi nichts mehr im Wege.

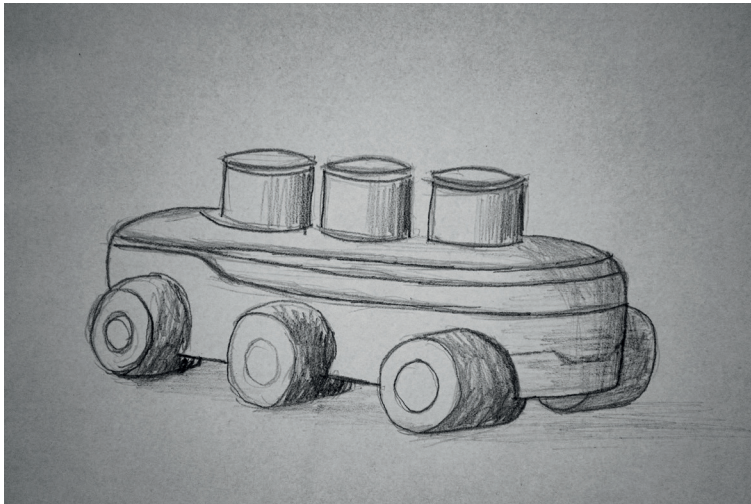


Abbildung 8:
Transportroboter
1. Version

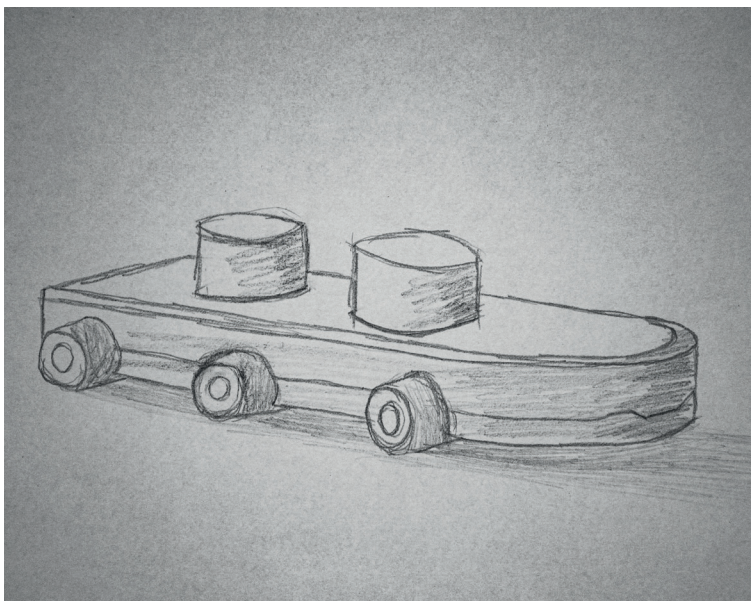


Abbildung 9:
Transportroboter
2. Version

Ladestation

Ich entwarf einen Bereich auf dem Flughafen, der für das Aufladen der eVTOLs und Transportroboter vorgesehen war. Für die Flugtaxi-Ladeeinheit entschied ich mich, sie mit einer magnetischen Verbindung auszustatten, um die Lufttaxis drahtlos aufzuladen. Dabei entwickelte ich eine flexible Ladeeinheit mit einem Gelenkarm, der am Ende eine kufenähnliche Struktur aufwies und sich von der Decke aus automatisch ausklappen konnte, um eine induktive Ladung mit dem eVTOL herzustellen. Diese Ladestation habe ich mit Rotationsgelenken ausgestattet, die es ermöglichten, dass sich die Ladeeinheit im Stand-by-Zustand einklappen und im aktiven Ladezustand ausklappen konnte. Im Gegensatz dazu entwarf ich die Ladeeinheit für die Transportroboter als statische Einheit, die nicht von der Decke hing. Diese kompakte Ladestation war kleiner gestaltet als der Ladearm. Ich entwarf ein Design, bei dem die Ladestation Ausgänge ähnlich einem USB-Netzteil bot, während der Transportroboter Eingänge besaß.

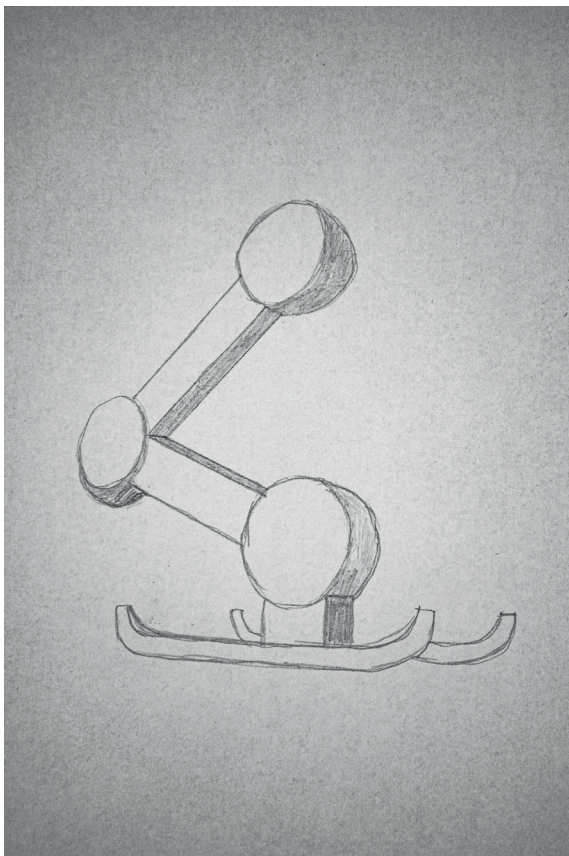


Abbildung 10: Ladearm

Logistikroboter

Im Projekt „i-LUM“ legten wir fest, dass die Beladung des Logistik-eVTOLs mit Hilfe eines Paketroboters erfolgen sollte. Ich entwarf einen Paketroboter, der ähnlich wie die Flugtaxi-Ladeeinheit, mit Rotationsgelenken für flexible Bewegungen ausgestattet war. Dies ermöglichte es dem Roboter, die Pakete aus optimalen Winkeln in den Frachtraum des Flugtaxis zu platzieren oder zu entnehmen. Ich stattete ihn mit einer mobilen Bodenplatte aus, die vier sphärische Reifen für flexible Rotation in alle Richtungen besaß. Zusätzlich integrierte ich eine horizontale Rotationsplatte, ein quaderförmiges Antriebsmodul, zwei Rotationsgelenke, einen Gelenkarm mit abgerundetem Ende sowie einen Greifer zum Anheben der Pakete. Darüber hinaus konzipierte ich einen Assistentenroboter für den Paketroboter. Diesen gestaltete ich als großen Behälter, in die der Paketroboter die Pakete auf praktische Weise legen konnte. Mein Ziel war es, eine effiziente Logistikstation zu entwickeln, auf der die beiden Roboter die Fracht autonom organisieren und abwickeln.

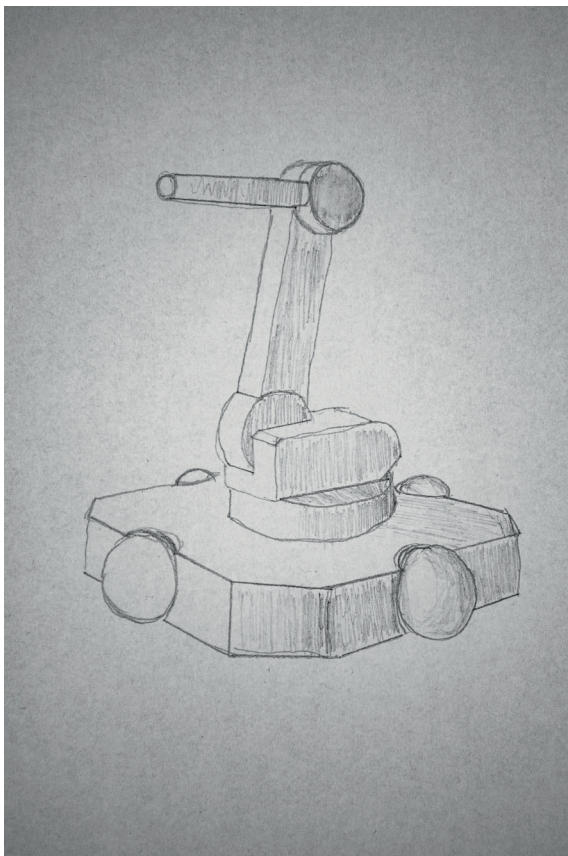


Abbildung 11:
Gelenk-Paketroboter

Drohne

Mit diesem Vehikel war mein Ziel, einen Flugkörper zu entwickeln, der das Luft-taxi vollautomatisiert auf seinen Zustand und mögliche Beschädigungen überprüft – eine eVTOL- Wartungskontrolle. Ich plante die Drohne in der Größe einer heutigen Foto- und Videodrohne zu gestalten und ihr einen eigenen Parkplatz auf der Station zuzuweisen, wo sie nach abgeschlossener Arbeit parken konnte. Ich entwickelte einen länglichen Drohnenkörper mit schlankem Heck, ausgestattet mit vier langen Armen und vier Propellern, inspiriert von aktuellen Drohnenmodellen. Zudem integrierte ich Landebeine an der Unterseite der Drohne, um den Abstand zwischen Boden und Körper zu gewährleisten. Darüber hinaus konzipierte ich eine Funktion, bei der ein sichtbarer Erfassungsstrahl, bestehend aus vielen kleinen Strahlen, austritt, um das eVTOL auf Beschädigungen zu überprüfen.

Dieses Designkonzept präsentierte ich im Projekt, wo es positiv aufgenommen wurde. Es wurden jedoch zusätzliche Änderungen gewünscht, insbesondere das Hinzufügen eines Kameraelements, um die Drohne bei der Dokumentation und Erfassung von Beschädigungen am Flugtaxi zu unterstützen. Basierend auf diesen Anpassungswünschen integrierte ich einen Spalt in die Mitte der Drohne und fügte im vorderen Bereich ein Kameraelement hinzu. Mein Ziel war es, der Drohne ein funktionales und verständliches Design zu geben und ihre Inspektionsfunktion durch den Laserstrahl klar zu kommunizieren.

Mein Fokus lag darauf, die visuelle Erkennbarkeit der Drohne zu betonen. Besonders wichtig war mir, dass auf den ersten Blick ersichtlich ist, dass die Drohne für Erfassungszwecke eingesetzt wird. Ich setzte mir zum Ziel, ein klares, technisches Erscheinungsbild der Drohne zu konzipieren. Dieses sollte ihre Rolle als präzises Werkzeug zur Überprüfung des Flugtaxis betonen, während ihre kompakte Größe einen flexiblen Einsatz auf der Erfassungsstation ermöglicht.

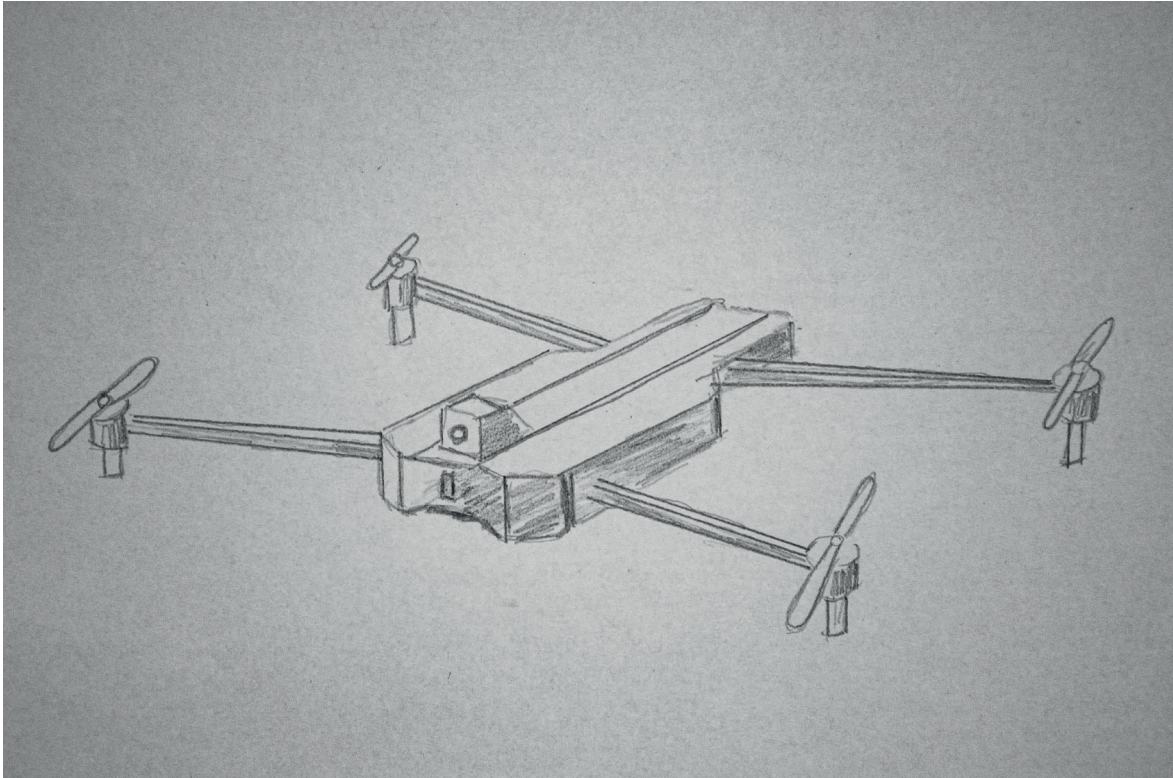


Abbildung 12: Drohnenskizze

5.2. Storyboard

Um eine klare Vorstellung von der späteren Animation zu bekommen, erstellte ich ein Storyboard. Dies half mir, die Bewegungen der Gerätschaften und die gewünschten Kamerafahrten im Voraus zu planen, was mir das spätere Animieren deutlich erleichterte. Im Rahmen der Entwicklung meines Storyboards legte ich meinen Fokus zunächst auf die harmonische Komposition der einzelnen Elemente in jeder Einstellung. Um dies effektiv zu gestalten, führte ich Recherchen durch und vertiefte mein Wissen anhand des Buches „Animation: Prinzipien, Praxis, Perspektiven“ (Wells 2007: S. 38). Der Autor, Paul Wells, Professor für Animation an der Loughborough University, interviewt den Maler und Filmemacher Nelson Diplexcito, der effektive Komposition erläutert:

„Das Designen von Bildern und das Animieren von Zeichnungen oder Bewegungen setzen beim Animator das Verständnis kompositorischer und räumlicher Aspekte voraus. Die Organisation von bestimmten Elementen in einem Bildbereich, Screen Space oder Raum innerhalb des Bildrahmens dienen wesentlich dem Kommunizieren der Intention und Bedeutung der Arbeit an den Betrachter. Was ist effektive Komposition, und wie erreichen wir sie? Eine effektive Komposition, kommuniziert sichtbar visuelle Wahrnehmung und lenkt die Augen des Betrachters gezielt auf die vom Animator beabsichtigten Aspekte. Visuelle Wahrnehmung steht im Zentrum der Artikulation von raum. Sie kommuniziert die Bedeutung eines Werkes und leitet den Betrachter.“¹

Im Folgenden möchte ich meinen Gedankengang und meinen Designprozess verständlich und nachvollziehbar präsentieren.

¹Wells, P. (2007). *Animation: Prinzipien, Praxis, Perspektiven*. Stiebner Verlag.

1. Szene

Zunächst setzte ich mir das Ziel, den Flugtaxi-Landeanflug darzustellen, um den Zuschauern die Möglichkeit zu geben, sich mit dem Flugtaxi vertraut zu machen. Zusätzlich plante ich, die erste Interaktion zwischen zwei Vehikeln zu präsentieren: einen Transportroboter, der das Flugtaxi abholte und zum nächsten Bereich des Flughafens beförderte. Ich skizzierte eine Kameraperspektive, bei der die Betrachter das ankommende Flugtaxi von vorne sehen können, während es sich der Kamera näherte. Daher wählte ich eine Totale als Kameraeinstellung. Ich skizzierte das Flugtaxi, wie es den Flughafen ansteuerte. Anschließend fügte ich die großflächigen Objekte, die in der Szene zu sehen sein sollten, hinzu.

Um ein urbanes Gefüge zu erzielen, zeichnete ich Wolkenkratzer im Hintergrund und bereits einen Teil des Flughafens ein, einschließlich eines Sicherheitszauns am Rande des Hochhausdachs. Ich plante einen leichten Kameraschwenk, um mehr vom Flughafen zu zeigen: zwei Helipads, auf denen bereits ein Flugtaxi stand und das ankommende Haupt-Flugtaxi, das letztendlich landete.

Um die Szene lebendiger zu gestalten, zeichnete ich außerdem vorbeifliegende Flugtaxis im Hintergrund ein, die zwischen den Gebäuden flogen. Nach der Landung konzentrierte ich mich auf den Weitertransport. Dafür entwarf ich eine Bewegung, bei der der Transportroboter zum Flugtaxi fuhr, dieses mithilfe von zwei ausfahrbaren Hebesystemen anhob und zur nächsten Station beförderte. Durch diese ersten Storyboard-Zeichnungen konnte ich einen übersichtlichen Plan für meine erste Szene erstellen und ein Gespür dafür entwickeln, wie ich die weiteren Abschnitte aufbauen würde.

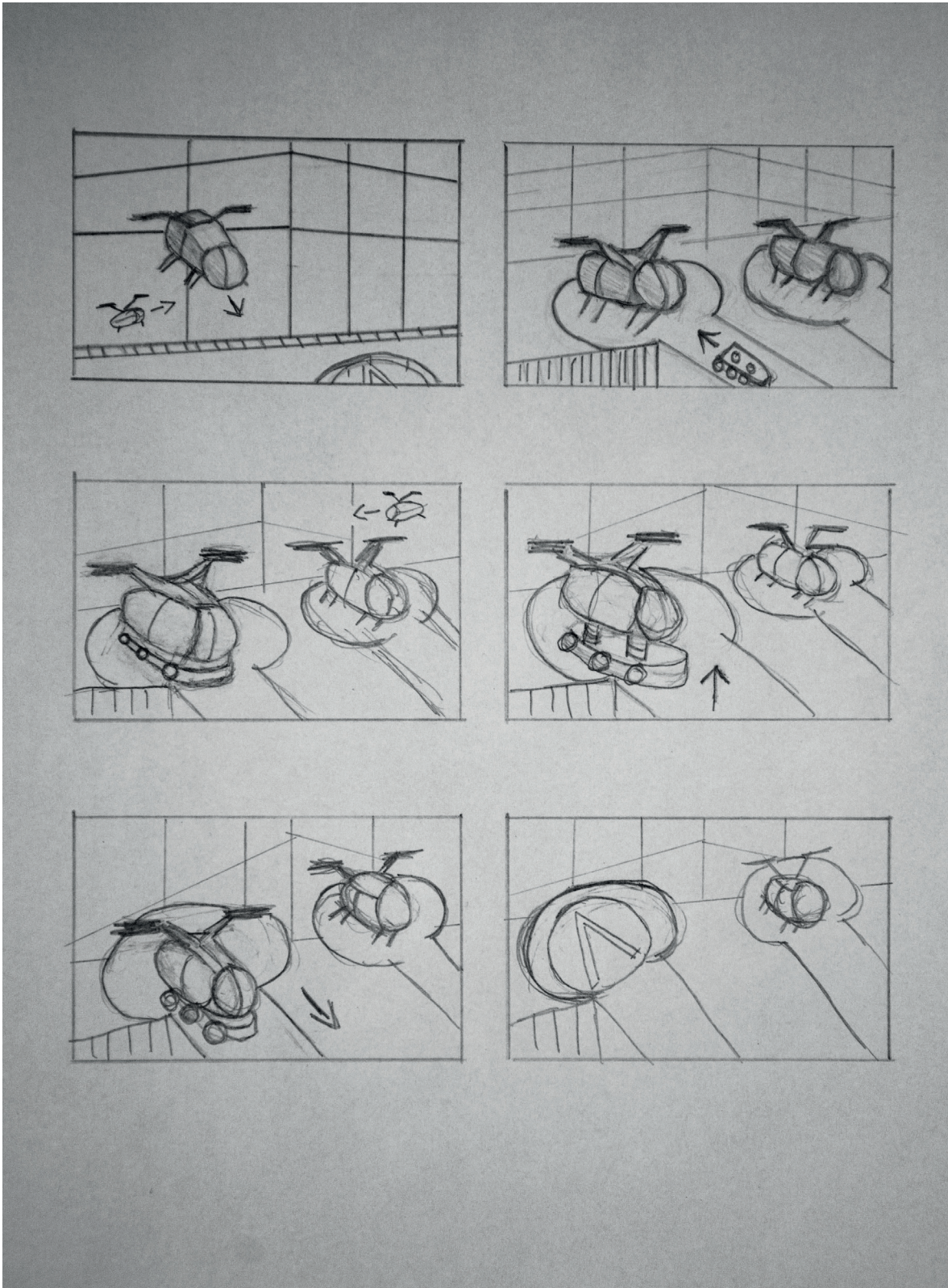


Abbildung 13: Storyboard 1. Szene

2. Szene

In dieser Szene wollte ich darzustellen, wie der Transportroboter das Flugtaxi zum Übergang der Passagierlounge beförderte. Für die Kameraeinstellung skizzierte ich zunächst eine Totale, um einen umfassenden Überblick zu bieten. In Bezug auf die Komposition setzte ich mir zum Ziel, sowohl das Flugtaxi als auch einen Teil der Lounge innerhalb der Szenerie sichtbar zu machen. Ich beabsichtigte, am Anfang der Einstellung, das Flugtaxi im rechten Drittel des Bildes zu positionieren. Diese Entscheidung traf ich mit dem Ziel, eine dynamische und ausgewogene Komposition zu erreichen, die es den Betrachtern ermöglichte, den Bildaufbau als harmonisch, ausgewogen und symmetrisch wahrzunehmen.

Dazu verdeutlicht Nelson Diplexcito im Buch „Animation: Prinzipien, Praxis, Perspektiven“ (Wells 2007: S. 41), welche Elemente beachtet werden müssen, um ein effektives Bilddesign zu erzielen:

„Effektives Bilddesign gleicht nicht der Suche nach einer magischen Folge symmetrischer Kompositionen. Das Bild dient als Instrument, um Elemente zu platzieren. Stellen wir Figur oder Objekt in die Bildmitte, kann dies zu Problemen mit der Dynamik und symmetrischen Balance des Bilds führen. Mit der „Drittelregel“ kann man dynamischere Kompositionen erzielen: Das Bild wird durch ein unsichtbares Raster horizontaler und vertikaler Linien in drei gleich große Segmente unterteilt. An den Schnittpunkten der Linien findet die Haupthandlung der Komposition statt. Diese Methode erzeugt eine dynamischere, ausgewogenere Komposition.“²

²Wells, P. (2007). *Animation: Prinzipien, Praxis, Perspektiven*. Stiebner Verlag.

Um das Flugtaxi und die Funktionalität des Transportroboters besser darzustellen, plante ich in der nächsten Einstellung dieser Szene, mit einer nahen Einstellungsgröße zu beginnen und dann leicht herauszuzoomen, um mehr von der Funktionalität einzufangen. Ich konzipierte zunächst, das Flugtaxi herabzulassen, und zeichnete es im Storyboard so, dass der Transportroboter seine Säulen bzw. Hebeseite einfuhr und das eVTOL somit positionierte, damit die Passagiere aussteigen können. Anschließend skizzierte ich, wie die Türen nach außen aufklappten.

Für die Türen des Flugtaxis entwarf ich Flügeltüren, inspiriert von ikonischen Automobilen wie dem „Mercedes-Benz 300 SL“ und dem „Tesla Model X“. Durch die Implementierung dieser Flügeltüren strebte ich an, dem Flugtaxi ein futuristisches und elegantes Erscheinungsbild zu verleihen, das den technologischen Fortschritt und die Innovationskraft im städtischen Luftverkehr unterstreicht. Ich überlegte auch, dass dies in einem möglichen Zukunftsszenario ein bedeutender Marketingaspekt sein könnte und das Interesse potenzieller Kunden oder Passagiere wecken würde. Mein weiterer Gedanke war auch, den Passagieren einen komfortablen Ein- und Ausstieg zu ermöglichen, indem die Türen nach oben öffnen und somit keinen zusätzlichen seitlichen Platz beanspruchen.

Ich überlegte, dass diese Eigenschaft besonders in dicht besiedelten städtischen Gebieten oder auf kleineren vertikalen Start- und Landeplätzen von Vorteil sein dürfte, insbesondere wenn sie an kleinen Gebäuden angebracht werden oder in engen Stadtbereichen Platz finden müssen, wo der verfügbare Raum begrenzt ist. Darüber hinaus beabsichtigte ich, die Sicherheit zu erhöhen, indem die Flügeltüren im geöffneten Zustand als Barriere dienen, die verhindert, dass Passagiere versehentlich aus dem Flugtaxi fallen. Mit diesen Designentscheidungen strebte ich an, bei den Betrachtern Eindrücke von technologischer Modernität und Eleganz sowie ein Gefühl von Sicherheit und Bequemlichkeit hervorzurufen.

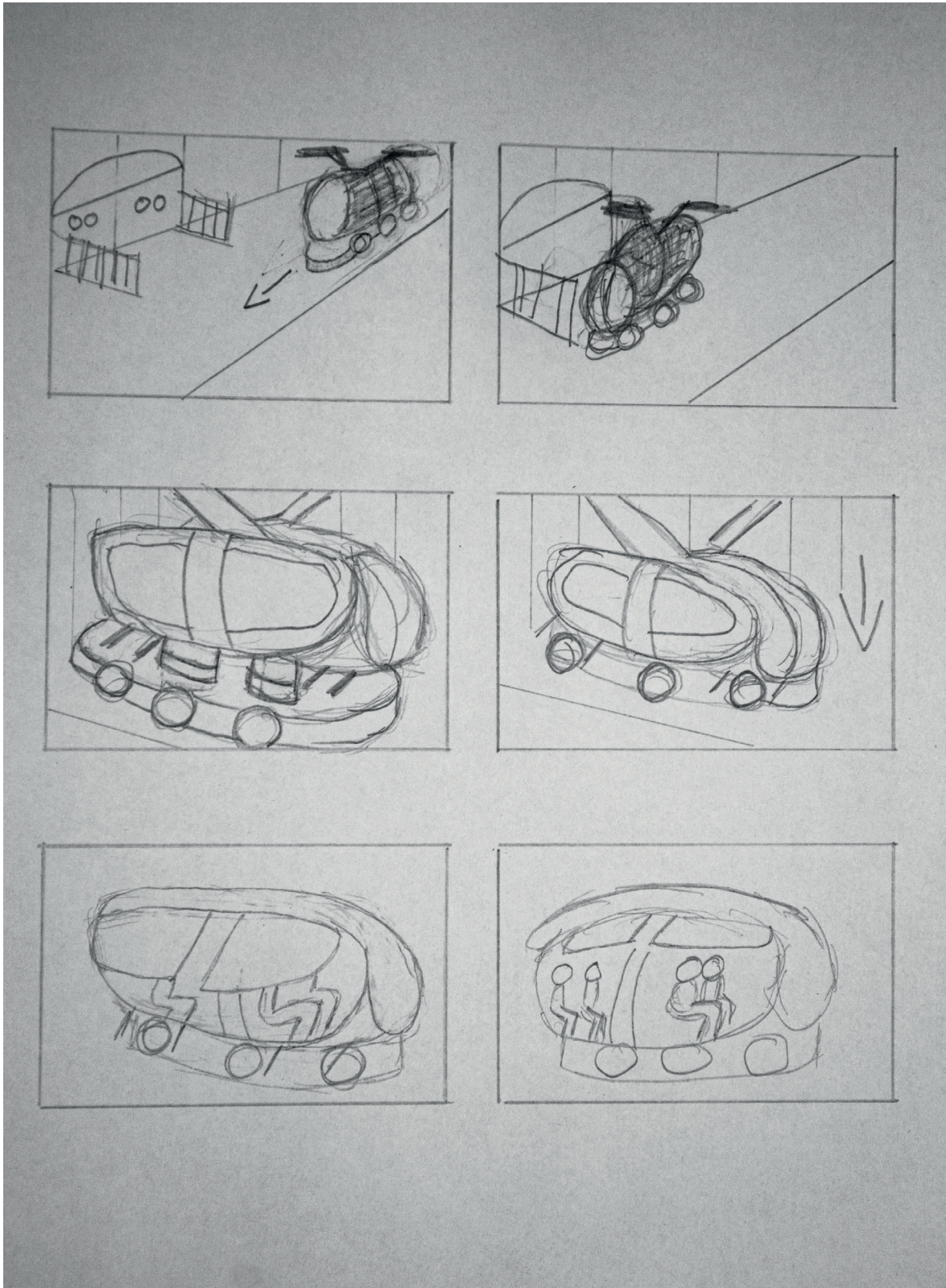


Abbildung 14: Storyboard 2. Szene

3. Szene

In dieser Szene konzipierte ich die Logistik Station und wie ein Paket-Lufttaxi von zwei Robotern entladen und beladen wurde. Dabei lag mein Hauptaugenmerk darauf, den Betrachtern zu vermitteln, wie die beiden Roboter in Teamarbeit eine solche Aufgabe automatisiert ausführten. Zunächst skizzierte ich im Storyboard eine Kameraperspektive, die den Logistikbereich auf der anderen Seite des Flughafens zeigte. Mein Ziel war es, den Betrachtern zu vermitteln, dass dort Pakete verarbeitet wurden. Die beiden Paket-Roboter zeichnete ich so, dass sie direkt an der Logistikstation auf das Paket-Flugtaxi warteten.

Ich wählte eine Totale, um den Zuschauern zunächst einen weiten Überblick über diesen Teil des Vertiports zu geben. Ich plante, das Paket-Flugtaxi ähnlich wie das Passagier-Flugtaxi mithilfe eines Transportroboters von den Helipads zur Logistikstation zu befördern.

Danach konzipierte ich, den Logistik-Ablauf aus einem zweiten Kamerawinkel zu zeigen, um die Paketentladung übersichtlich darzustellen. Ich wählte eine nähere Perspektive und entschied mich für eine Halbtotale, um die Roboter und das eVTOL deutlich sichtbar zu machen. Darauf aufbauend skizzierte ich, dass sich der hintere Teil des Flugtaxis öffnete, sodass der Gepäckraum und die Pakete sichtbar wurden.

Anschließend skizzierte ich, wie der Hauptroboter ins Bild fuhr und mit seinem Vakuumsauggreifer das erste Paket anvisierte. Ich dachte darüber nach, im Hinblick auf das „Pacing“ der Animation, den Zuschauern eine kurze Pause von etwa 2 Sekunden zu geben, damit die Szene auf sie wirken kann, bevor ich die nächste Handlung des Haupt-Roboters zeigte.

Während dieser kurzen Pause konzipierte ich, dass auch sein Assistent, der Box-Roboter, an der Station ankam und sich darauf vorbereitete, die Pakete zu empfangen. Ich plante, dass der Paketroboter nach der kurzen Pause das erste Paket zügig herauszog und durch eine Rotation das Paket in seinen Assistenten legte. Um diese Methode weiter zu verdeutlichen, dachte ich mir, dass es passend wäre, dass der Paketroboter ein zweites Paket aus dem Heck des eVTOL entnahm und ebenfalls in den Box-Roboter legte.

Durch diese Bewegung strebte ich insgesamt eine effiziente Wirkung für diese Szene an, besonders durch das Zusammenspiel des sich automatisch öffnenden Hecks des Flugtaxi und der beiden Paketroboter. Mein Ziel war es, eine nahtlose Synthese und Synergieeffekte hervorzuheben sowie die moderne Funktionsweise dieses Flughafens zu betonen.

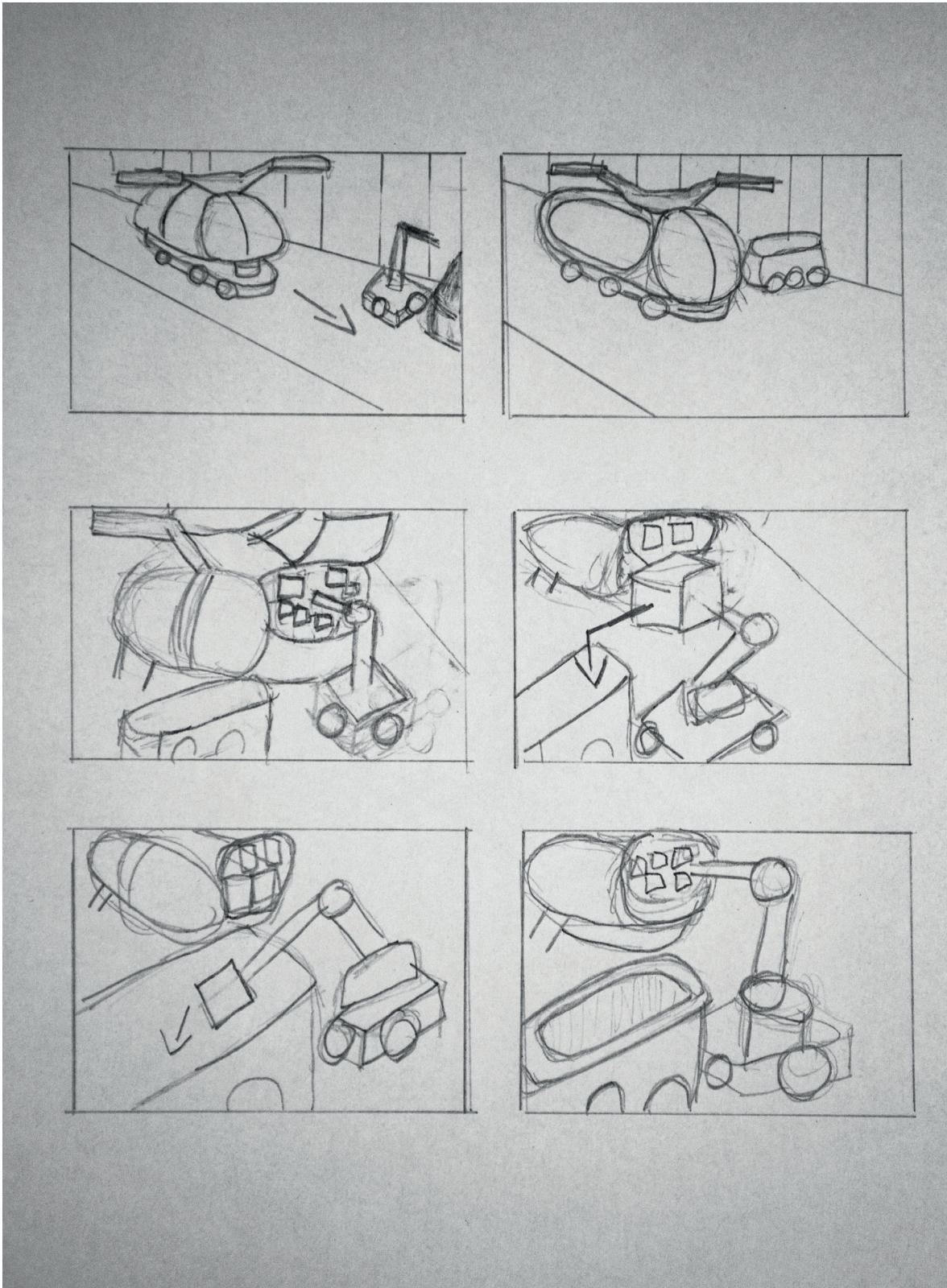


Abbildung 15: Storyboard 3. Szene

4. Szene

In dieser Szene lag mein Fokus darauf, zu zeigen, wie eine Drohne ein Flugtaxi auf mögliche Beschädigungen untersuchte. Ein neues gestalterisches Element, das ich integrieren wollte, war ein Laserstrahl, der speziell für die Erfassung von Flugtaxis konzipiert war. Besonders wichtig war mir, durch die kleine fliegende Drohne ein dynamisches Element in die Vertiport-Infrastruktur einzubringen. Dies sollte dazu dienen, die Spannung für die Betrachter aufrechtzuerhalten und ihnen durch den Scan-Strahl ein neues, bewegliches und leuchtendes visuelles Element zu bieten.

Zunächst positionierte ich im Storyboard die Kamera im hinteren Teil des Flughafens, nahe dem Parkbereich für die Flugtaxis. Ich plante, zunächst kurz zu zeigen, wie das eVTOL ins Bild gefahren wurde, um die Kontinuität zu wahren. Der Transportroboter sollte das Flugtaxi ins Bild fahren und dann langsam abbremsen. Anschließend zeichnete ich ein kleines Podest für die Drohne am unteren rechten Rand der Einstellung ein und platzierte die Drohne darauf. Mir war wichtig, dass zu Beginn der Szene die drei Fahrzeuge in einer Halbtotale zu sehen waren.

Danach plante ich einen Schnitt zur nächsten Kameraeinstellung. Hier wollte ich den Betrachtern zeigen, wie die Drohne selbstständig aktiv wurde und in die Höhe flog, um ihrer Aufgabe nachzugehen. In der folgenden Einstellung konzentrierte ich mich darauf, die eigentliche Aktion darzustellen: die Erfassung des Zustands des Flugtaxis. Dabei überlegte ich, wie ich dies am besten konzipieren könnte.

Ich entwickelte die Idee, dass es passend wäre, wenn die Drohne 360 Grad um das eVTOL herumflog. Dadurch würde man besser verstehen, dass sie das Lufttaxi gründlich erfasste. Zusätzlich überlegte ich, wie ich den Effekt noch verstärken könnte, und kam auf die Idee, einen Erfassungsstrahl von der Drohne auszusenden.

Im Storyboard plante ich, die Szene noch lebendiger zu gestalten, indem die Kamera entgegengesetzt zur Drohne um das eVTOL herumfuhr.

Ich besprach mit der Projektleitung, dass es passend wäre, einen kurzen Einblick des Flugtaxi-Innenraums darzustellen, um zu verdeutlichen, dass die beiden Vehikel miteinander interagierten. Daher zeichnete ich im Storyboard ein Display im Cockpit des Flugtaxis ein, das ein übersichtliches User-Interface mit einer kurzen Nachricht anzeigte: „Scan complete“.

Um die Ästhetik des Interfaces zu unterstreichen, fügte ich einen Haken ein, umrandet mit einem Kreis. Mein Ziel mit diesem Konzept war es, dem Betrachter verständlich zu machen, dass das eVTOL ein klares Feedback zum abgeschlossenen Drohnen-Scan anzeigte und die Interaktion zwischen eVTOL und Drohne verdeutlicht wurde. Mein Hauptaugenmerk lag darauf, bei den Zuschauern ein Gefühl der Synchronisation zu erzeugen, vergleichbar mit der Interaktion zwischen den beiden Logistik-Robotern in der dritten Szene.

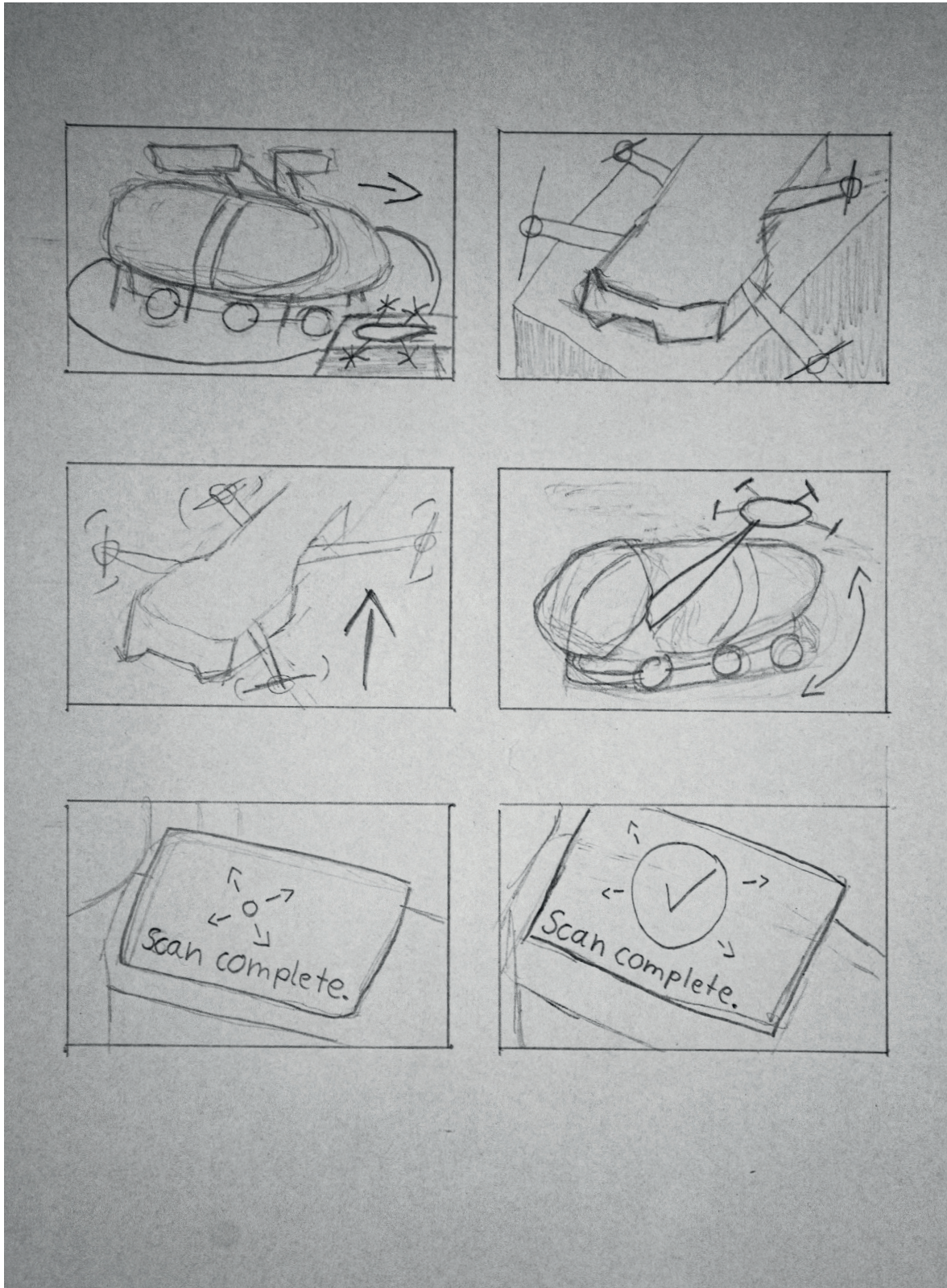


Abbildung 16: Storyboard 4. Szene

5. Szene

In der fünften Szene war mein Ziel, die Methodik darzustellen, wie sich die eVTOLs und die Transportroboter zwischendurch aufladen konnten. Zunächst lag mein Fokus auf der Kamerapositionierung. Ich überlegte, wo die Kamera am besten platziert werden sollte, um als ersten Schritt dieser Szene zu zeigen, wie das eVTOL die Scan-Station verließ und zur Ladeeinheit gefahren wurde. Im Storyboard positionierte ich die Kamera zwischen der Paketstation und der Lade-Station in einer Totalen, um den Transportweg des Flugtaxi optimal verfolgen zu können.

Ich konzipierte, das eVTOL in einem großen Bogen um die Paketstation über den Flughafen zu befördern, dann auf die Kamera zuzusteuern und schließlich nach rechts aus dem Bild zu fahren. Anschließend plante ich einen kurzen Schnitt für eine weitere Kameraeinstellung.

In der nächsten Einstellung beabsichtigte ich, dass der Transportroboter die Kurve zu Ende fuhr und dann langsam auf der rechten Seite der Szene zum Stehen kam. Danach konzipierte ich, dass der Transportroboter, nachdem er zum Stillstand gekommen war, allmählich rückwärtsfuhr. Diesmal legte er den Rückwärtsgang ein und brachte das Lufttaxi zur Lade-Station, wo es schließlich unter einer Ladeinfrastruktur geparkt wurde.

Im Storyboard legte ich fest, dass die Kamera während dieses Rückwärtsgangs mit dem eVTOL mitfuhr. Mein Ziel war es, eine dynamische Kamerabewegung zu nutzen, um den Zuschauern das Gefühl zu vermitteln, praktisch mit dem eVTOL mitzufahren. Für die nächste Einstellung hatte ich mir vorgenommen, dass der Laderoboterarm mit seinen drei Gelenken flexibel automatisch aus der Deckenbefestigung ausklappte und das eVTOL auflud.

Im Projekt „i-LUM“ besprachen wir, dass es am besten wäre, wenn der Arm mit seiner Kufe den Bereich in der Mitte zwischen den Rotoren der Flügel anvisierte und dort das Fahrzeug auflud.

Daher hielt ich im Storyboard fest, wie der Arm ausklappte und sich mit dem Flugtaxi verband. Mein Ziel für die spätere Animation war es, in einer anschließenden Kameraeinstellung kurz das Display im Cockpit zu zeigen, auf dem der Text „Fully charged.“ erschien. Über dem Text war wieder der Haken, der von einem Kreis umgeben war. Dies war aus meiner Sicht wichtig, um nochmals zu verdeutlichen, dass die Geräte auf dem Flughafen miteinander kommunizierten und Daten austauschten.

In der nächsten Einstellung war mein Ziel, zu zeigen, wie der Transportroboter sich selbst auflud. Dafür skizzierte ich, wie er ins Bild fuhr, um sich anschließend eigenständig in den Stecker der Ladestation für Transportroboter einzustecken. Zusätzlich fügte ich im Storyboard zwei weitere Roboter hinzu, die sich ebenfalls aufluden. Dadurch wollte ich der Szene mehr Leben und Fülle verleihen, damit die Betrachter wahrnehmen, dass reger Betrieb herrschte und die Roboter sich durch das selbstständige Aufladen jederzeit bereitmachten, um die eVTOLs abzuholen.

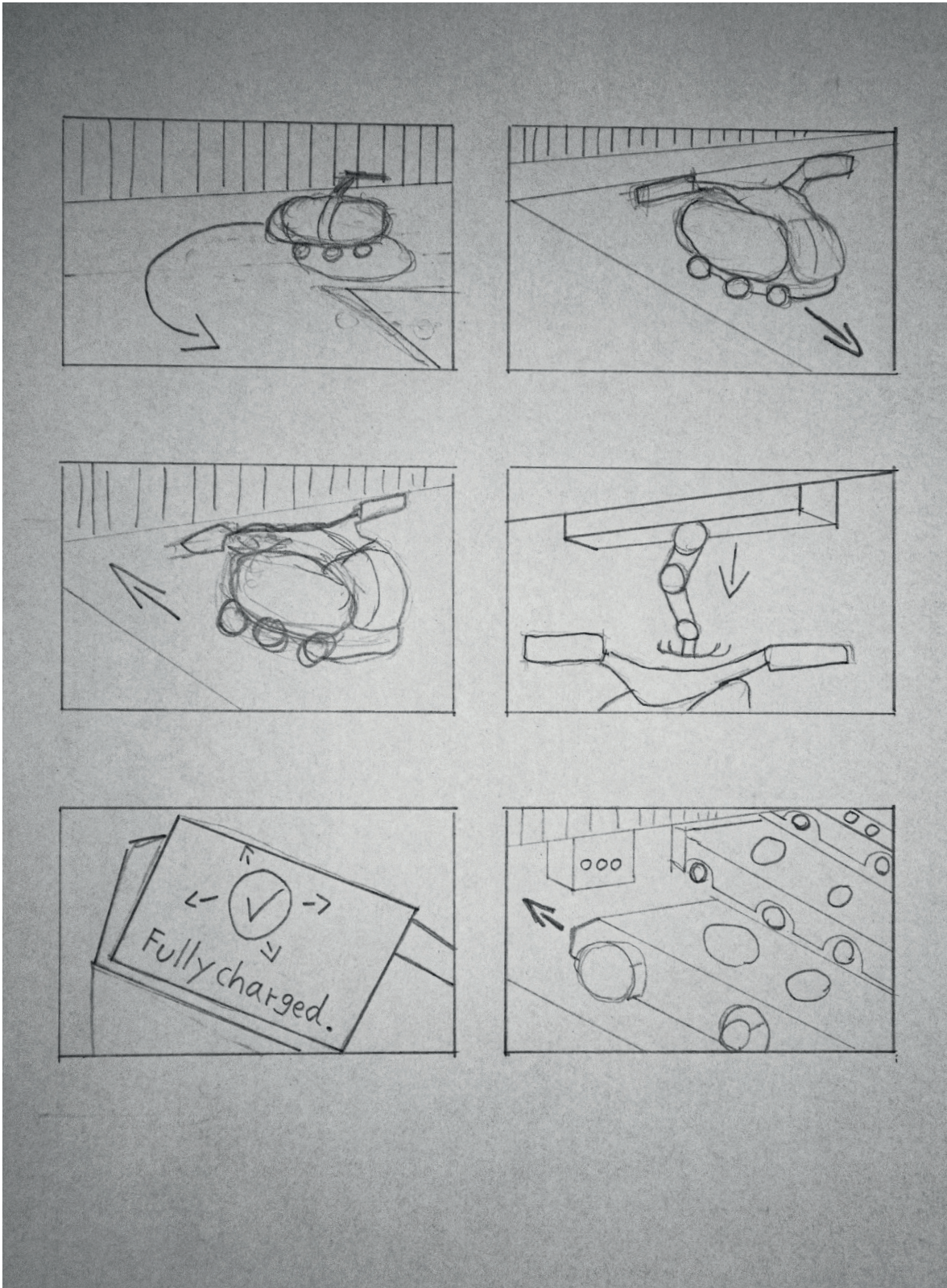


Abbildung 17: Storyboard 5. Szene

6. Szene

In dieser Szene lag mein Fokus auf dem Ablauf in der Passagier-Lounge. Ich überlegte zunächst, wie die Passagiere den Warteraum betreten konnten. Dabei kam ich auf die Idee, einen kleinen Sicherheitscheck ähnlich zu Flughafen-sicherheitsbereichen einzufügen.

Ich wollte keinen vollständigen Sicherheitscheck einbauen, aber zumindest klar machen, dass die Passagiere sich identifizieren mussten, indem sie ihre Smartphones vorzeigten, die dann durch einen kleinen Scanner an der Schranke überprüft wurden. Erst danach würde die Schranke geöffnet und sie konnten den Warteraum betreten. In der nächsten Einstellung plante ich, zu zeigen, wie die Passagiere durch die Lounge gingen, um zum Ausgang zu gelangen. Hier war es mir wichtig, eine dynamische Bewegung zu konzipieren, indem ich die gehenden Passagiere mit der Kamera begleitete.

In der letzten Einstellung beabsichtigte ich zu zeigen, wie die Passagiere am Ausgang standen und sich erneut identifizieren mussten. Dies plante ich aus Sicherheitsgründen darzustellen. Mein Gedanke war, dass am Flughafen alles automatisiert war und verschiedene Roboter umherfuhren, die potenziell gefährlich für Menschen sein könnten. Daher wollte ich betonen, dass es eine zweite Sicherheitsebene in der Lounge gab. Die Schranke öffnete sich erst, nachdem die Passagiere ihre Smartphones zur Verifizierung verwendeten.

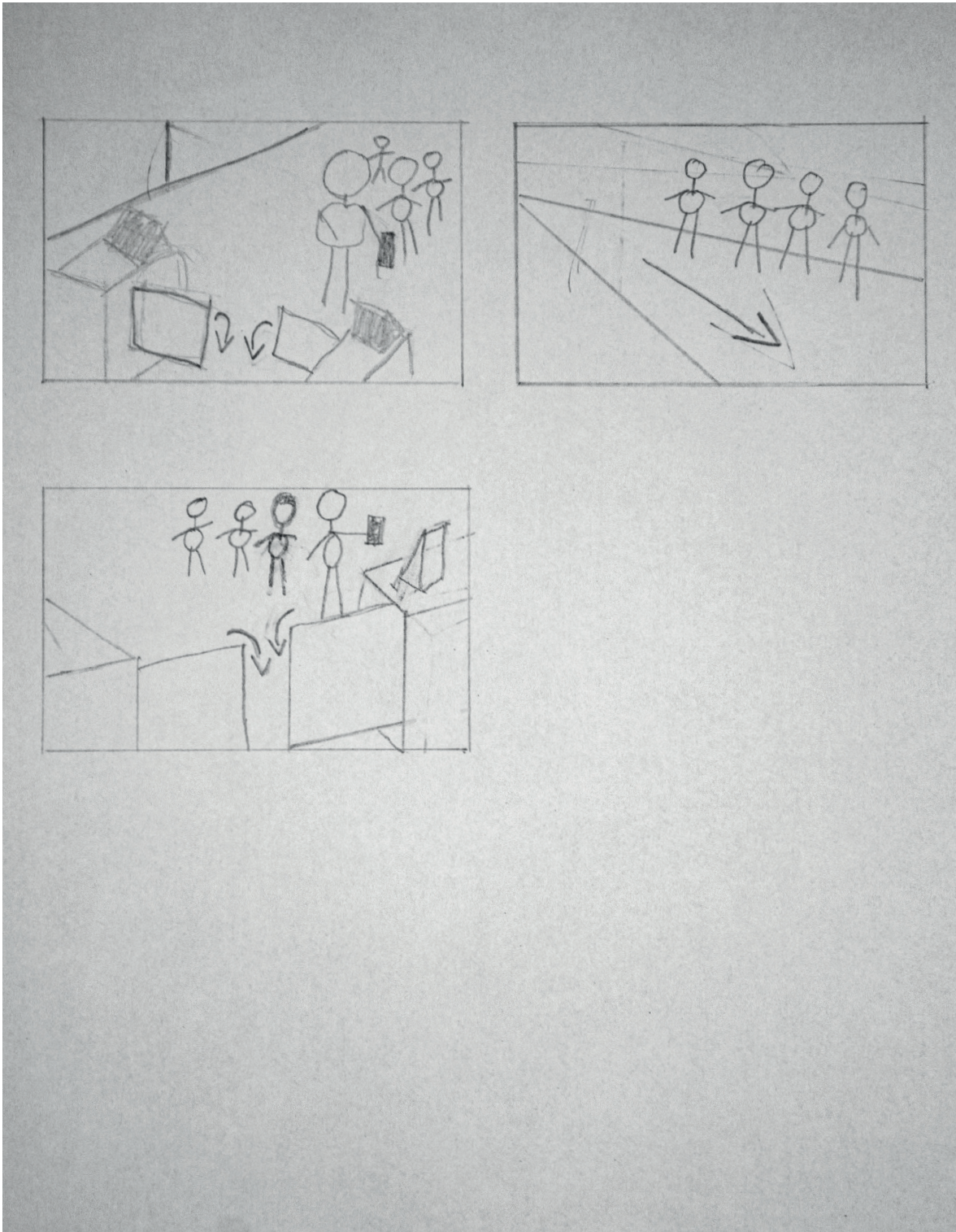


Abbildung 18: Storyboard 6. Szene

7. Szene

In der siebten Szene lag mein Fokus darauf, den Aufladungsbereich erneut zu zeigen und zu demonstrieren, wie sich der Passagier-Transportroboter aus seiner Ladestation entkoppelte und aus dem Bild fuhr. Im Storyboard habe ich dafür eine Halbnah-Kameraeinstellung gewählt, um den Passagier-Flugtaxi-Transportroboter deutlich in den Fokus zu rücken, aber gleichzeitig auch die anderen Roboter gut erkennbar zu machen.

In der nächsten Einstellung des Storyboards wollte ich darstellen, wie der Transportroboter zurück zu seinem eVTOL fuhr und darunter hindurchfuhr, um anschließend unter dem Flugtaxi zum Stehen zu kommen. Danach fokussierte ich mich darauf, zu zeigen, wie der Transportroboter ausparkte und das Flugtaxi zur Passagier-Lounge transportierte. Hierbei plante ich, beide Fahrzeuge mit der Kamera zu begleiten.

Ich entschied mich dafür, die virtuelle Kamera praktisch am eVTOL zu befestigen, um die Betrachter direkt am Geschehen teilhaben zu lassen und die Bewegungen der beiden Fahrzeuge genau zu verfolgen. Am Ende dieser Einstellung skizzierte ich, dass die beiden Fahrzeuge beim Übergang abbremsen und schließlich langsam zum Stehen kamen.

In der letzten Einstellung dieser Szene legte ich den Fokus darauf, die Kamera im Inneren der Lounge zu positionieren und den Blick der Betrachter nach draußen auf das wartende eVTOL zu lenken. Ich skizzierte die Bewegung der vier Passagiere, wie sie aus diesem Blickwinkel durch den Ausgang auf ihr Flugtaxi zogen.

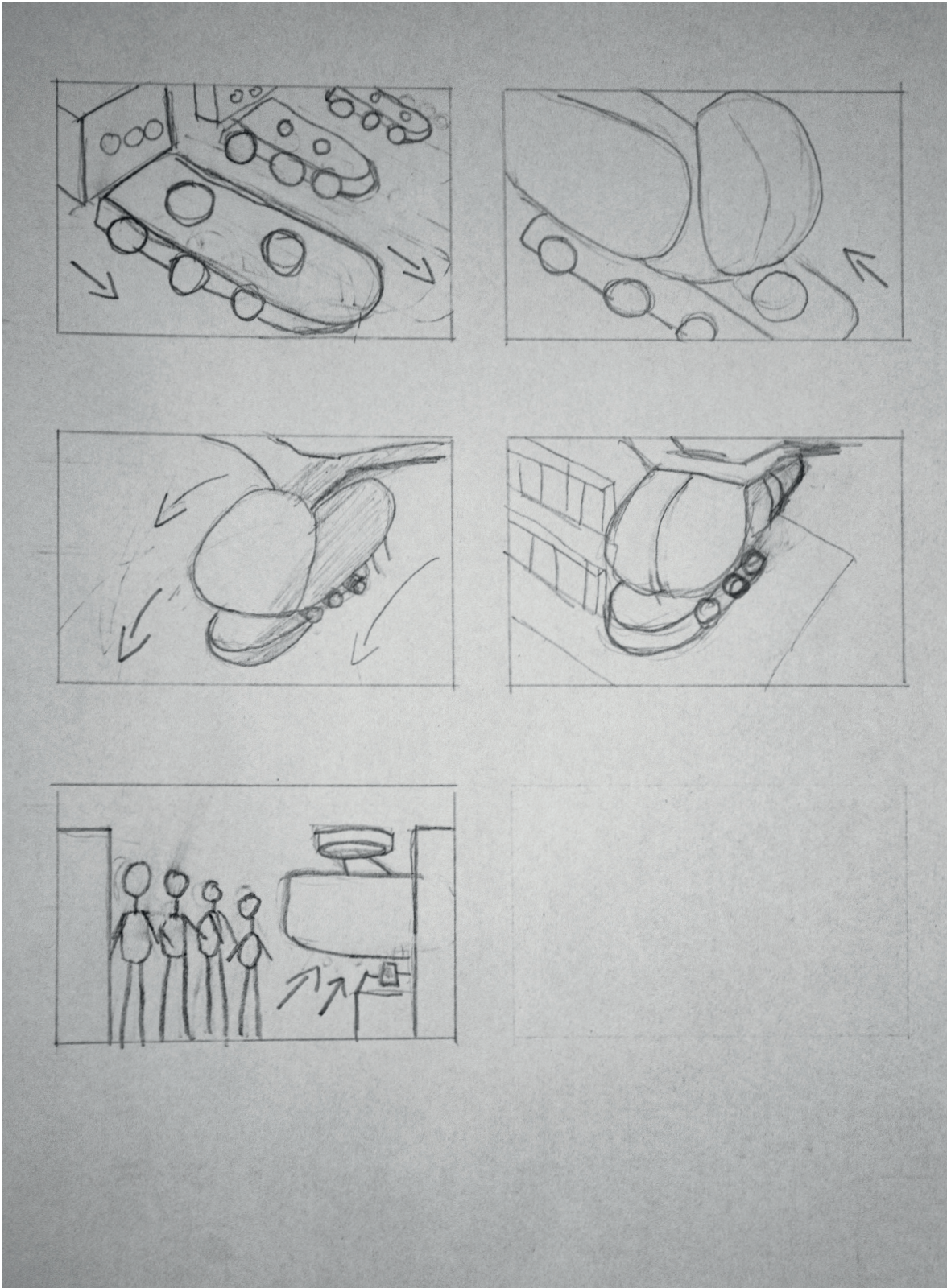


Abbildung 19: Storyboard 7. Szene

8. Szene

In dieser Szene zeichnete ich im Storyboard den Prozess des Beladens des Paket-eVTOLs und beabsichtigte zu zeigen, wie die beiden Logistik-Roboter diesen Ablauf bewerkstelligten. Zunächst setzte ich mir zum Ziel, in der Kameraeinstellung Halbtotale darzustellen wie der Paketroboter vor dem Flugtaxi stand und sich nach links wandte, um ein Paket aus dem Box-Roboter zu entnehmen.

Danach konzipierte ich, dass er sich zügig zu seiner Ausgangsposition zurückwandte und das Paket in den Frachtraum des Flugtaxis legte. Anschließend skizzierte ich, dass zunächst der Box-Roboter und anschließend der Paketroboter das Logistikzentrum verließen. Schließlich plante ich, die Szene so zu beenden, dass sich die Heckklappe automatisch schloss und das eVTOL somit für den Weitertransport bereit war.

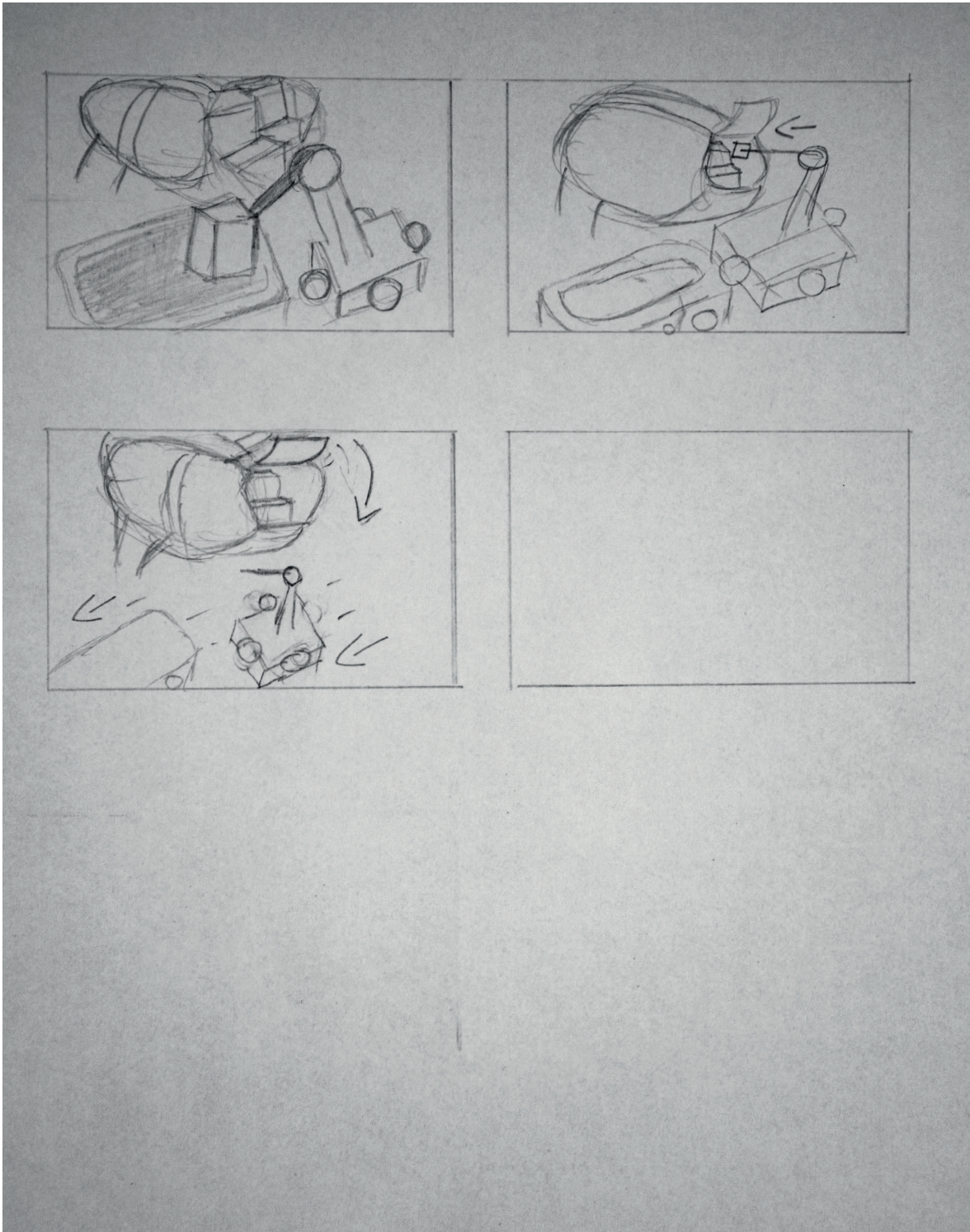


Abbildung 20: Storyboard 8. Szene

9. Szene

In der neunten Szene richtete ich meine Aufmerksamkeit auf die Phase, in der sich das eVTOL darauf vorbereitete, die Passagiere zu ihrem Ziel zu befördern und die Route zu berechnen. Für diese Szene plante ich eine Halbtotale einzusetzen. Im ersten Schritt zeichnete ich, wie die Passagiere im Flugtaxi in ihren Sitzen saßen, die Türen automatisch geschlossen wurden und der Transportroboter das Lufttaxi mithilfe seiner zwei hydraulischen Hebesysteme anhob.

In der nächsten Einstellung plante ich einzubauen, dass die Passagiere auf ihren Displays die Meldung sehen konnten, dass die Türen nun verschlossen waren, mit dem Text: „Doors are closed.“ Hier beabsichtigte ich, weitere Informationen in die Benutzeroberfläche einzublenden. Im Storyboard skizzierte ich, dass es für das positive Nutzererlebnis der Passagiere passend wäre, eine Karte der Stadt mit einfachen geometrischen Objekten anzuzeigen.

Danach plante ich, einen Start- und Endpunkt zu kennzeichnen: Der Startpunkt sollte als Kreis und der Zielpunkt als Stecknadel dargestellt werden. Anschließend konzipierte ich, dass sich in der späteren Animation ein virtueller Pfad vom Start bis zum Ziel durch die Stadt aufbauen würde. Während dieses Prozesses beabsichtigte ich, die Information einzublenden: „Calculating route...“ und sobald die Route berechnet wurde, die Meldung: „Route is calculated.“

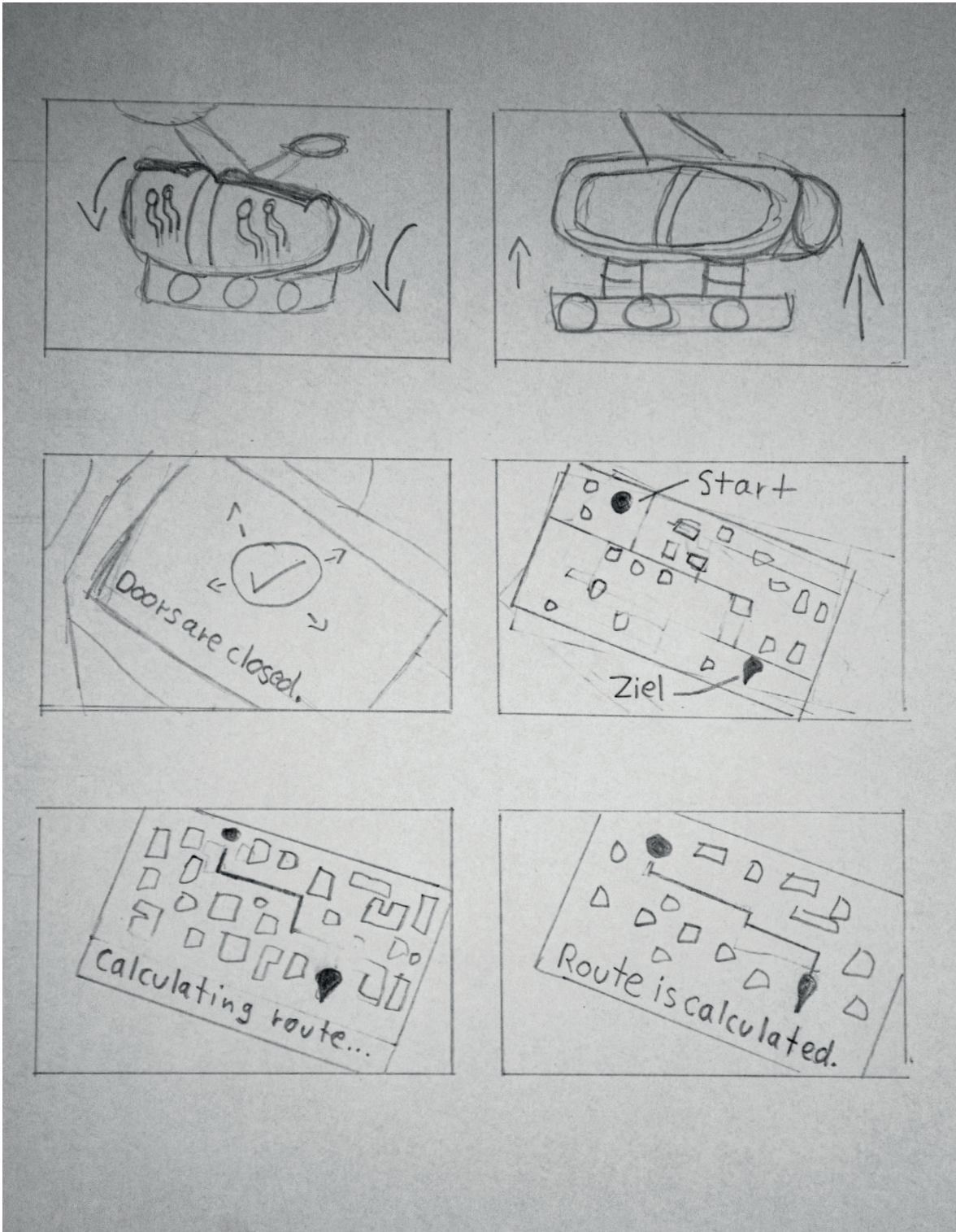


Abbildung 21: Storyboard 9. Szene

10. Szene

Für den letzten Abschnitt des Storyboards konzipierte ich die Luftperspektive: In der ersten Einstellung dieser Sequenz plante ich eine Kameraeinstellung in der Totalen, um das eVTOL aus einigen Metern Höhe betrachten zu können. Um Dynamik zu erzeugen, beabsichtigte ich eine zügige Fortbewegung des eVTOLs zum Helipad, gefolgt von einer abschließenden Abbremsung.

In der letzten Einstellung setzte ich mir zum Ziel, die Kamera ähnlich wie am Anfang zu positionieren. Allerdings skizzierte ich, dass das eVTOL diesmal mit dem Heck zur Kamera stand, um dann abheben zu können.

Ich plante, das Absenken des Flugtaxi durch das Hebesystem des Transportroboters zu zeigen und dass dieser anschließend das eVTOL verließ, um zum Vertiport zurückzukehren. Als finale Szene des Storyboards konzipierte ich, dass das Flugtaxi schließlich abhob und in Richtung der Stadt flog, um die Passagiere zu ihrem nächsten Ziel zu transportieren.

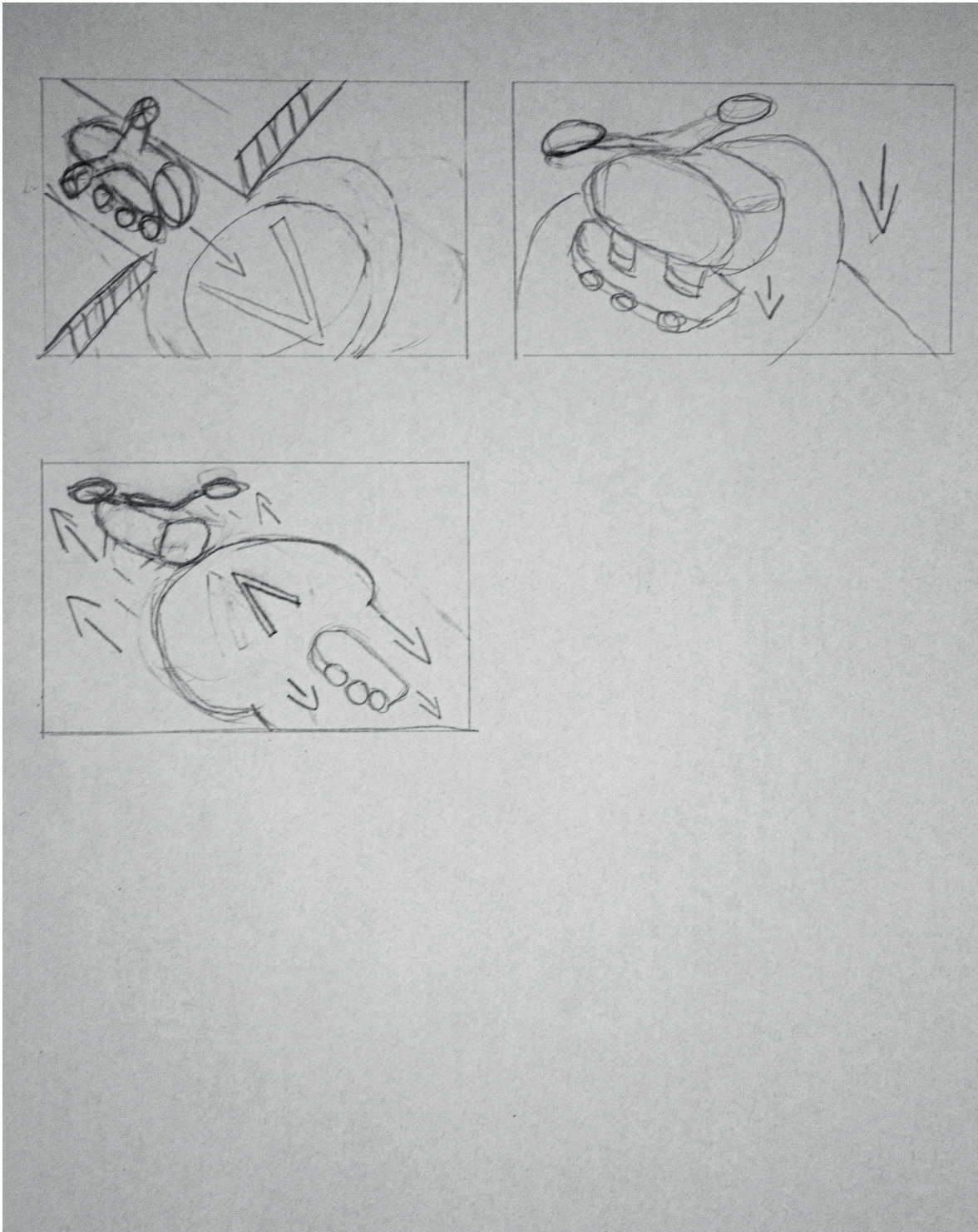


Abbildung 22: Storyboard 10. Szene

6. Digitale Umsetzung

Für die virtuelle Umsetzung war mein Ziel, die Infrastruktur des „Vertiports“ in strukturierten Schritten in der 3D-Grafik-Software „Blender“ zu realisieren. Zunächst plante ich, die grundlegenden 3D-Objekte in der „Block-Out“-Phase zu modellieren, also die einfache Erstellung der groben Formen der 3D-Modelle. Danach verfeinerte ich sie Schritt für Schritt bis sie die finale Form erreichten.

6.1. „Blockout“ Phase

Zuerst begann ich mit der grundlegenden 3D-Modellierung einfacher Objekte in der „Blockout“-Phase. Ich fügte einen Würfel hinzu, den ich zu einem langen Quader im Zentrum der 3D-Szene verlängerte, der später das Hochhaus darstellen sollte. Anschließend duplizierte ich diesen Quader mehrmals, um die Hintergrundhochhäuser zu erstellen. Danach modellierte ich die Bodenplatte des Flughafens, indem ich einen Würfel hinzufügte und ihn vertikal zu einer dünnen Platte skalierte. Mit dem „Boolean Modifier“ schnitt ich einen L-förmigen Bereich aus, um das Design festzulegen.

Für die Wände fügte ich einen weiteren Würfel hinzu, den ich zu langen, dünnen Quadern skalierte und an die Länge der Bodenplatte des Flughafens anpasste. Ich duplizierte diesen Quader für die Rückwand und skalierte ihn dann auf ein kleines Rechteck für die seitliche Wand. Diese Objekte duplizierte ich und erhielt so die gesamte Wand für den Parkbereich und die Ladestation. Zudem fügte ich Würfel für die stützenden Balken hinzu, die ich zu Quadern umformte. Danach konzentrierte ich mich auf größere Objekte. Für den Wartebereich der Passagier-Lounge fügte ich einen Würfel hinzu und skalierte ihn zu einem Quader. Das Dach habe ich in dieser „Blockout“-Phase noch nicht inkludiert. Für die Helipads fügte ich zwei Zylinder hinzu, die ich auf der vertikalen Achse dünner machte. Für die Verbindung zwischen den Helipads und dem Flughafen nutzte ich zwei Würfel, die ich zu dünnen Platten formte.

Für die mittleren Bereiche wie die Logistik-Station und die Passagierübergangs-Station, wo das eVTOL auf die Passagiere wartete, fügte ich zwei Würfel hinzu, die ich zu dünnen Platten umformte. Mit dem „Boolean Modifier“ schnitt ich die Form aus der Hauptbodenplatte aus und fügte dort die beiden Platten für die Stationen ein.

Ich fügte außerdem Zäune hinzu, vor den Helipads, hinter der Passagier-Lounge und beim Passagier-Übergang. Diese Zäune gestaltete ich, indem ich einen Würfel hinzufügte, ihn zu einem Quader skalierte und dann die obere Seite auf der horizontalen Achse leicht verschob, um eine leichte Neigung zu erreichen. Mit dem „Array Modifier“ verlängerte ich den Zaun für die verschiedenen Einsatzorte. Nachdem der grobe Aufbau des Flughafens fertig war, konnte ich mich den weiteren Details widmen.

6.1.1. Verfeinerungsphase

Hauptgebäude

- Kanten abgeschrägt bei Hauptgebäude und Gebäude im Hintergrund für bessere Reflexion und einheitliche Form

Bodenplatte

- Vordere Kante abgeschrägt mit dem „Boolean-Modifier“
- Kantenverfeinerung mittels „Bevel Modifier“

Wände

- Bodenplatte der Ladestation und Parkstation visuell von der Haupt-Bodenplatte abgetrennt durch Trennung
- Vertikales Wandmuster hinzugefügt mit dem „Array Modifier“

Passagier-Lounge

- Modellierung aus Quadern: Bänke, Armlehnen, quadratische Sitzgelegenheiten, Eingangs-Sicherheitszonen, Wände, Dach
- Formgebung des Torbogens im Dach mit „Proportional Editing“
- Erzeugung von Dachrillen mit dem „Boolean Modifier“
- Abrundungen mit dem „Bevel Modifier“

Helipads

- Zylinder dupliziert, obere Flächen nach innen extrudiert
- Mittleren Teil des Zylinders mit „Boolean Modifier“ entfernt, äußerer Ring blieb übrig
- Ring auf Helipad platziert
- Vorderen Bereich mit „Boolean Modifier“ ausgeschnitten, um Durchfahrt für Flugtaxis und Transportroboter zu ermöglichen
- Signal-Lampen am Rand des Helipads für zusätzliche Funktion & Ästhetik

Ladeinheit

- Gelenke modelliert aus Quadern und Zylindern
- Kufen modelliert mit „Bezier-Kurven“

Transportroboter

- Modellierte hohe und flache Version aus Quadern
- Flache Version bevorzugt für mehr Platz unter dem Flugtaxi
- Schnitt in der Mitte, dann „Mirror-Modifier“ für Symmetrie angewendet
- Abrundungen der Ecken mit „Ctrl + B“ eingefügt
- Einkerbungen mit Pfad und „Boolean Modifier“ modelliert
- Hebesysteme aus Zylindern modelliert
- Räder aus Zylindern modelliert

Flugtaxi

- Vorgegebenes 3D-Modell angepasst an den Flughafen
- Landegestelle verlängert für mehr Platz unter dem Flugtaxi
- Längsträger entfernt für Transportroboter
- Cockpit-Scheinwerfer entfernt für Transportroboter

Passagiersitze

- Sitze aus einem Pfad modelliert
- „Mirror Modifier“ für die Spiegelung des Pfads angewendet
- Pfade in Flächen umgewandelt
- Mit dem „Solidify Modifier“ Masse verliehen

Display

- Modelliert aus einem Würfel, dann abgeflacht und in Displayform gebracht
- Rand dünner gemacht
- Bildschirm und Rahmen separat für bessere Übersicht gestaltet

Gelenk-Paketroboter

- Würfel als Grundobjekt für Bodenplatte, Antriebsmodul und Gelenkarm verwendet
- Zylinder als Grundobjekt für großes Rotationsgelenk, kleine Rotationsgelenke und Vakuum-Greifer genutzt
- Sphären als Grundobjekte für die Räder eingesetzt
- Alle Kanten mit dem „Bevel Modifier“ abgeflacht für eine verbesserte Optik

Box-Roboter

- Würfel als Grundobjekt für den Körper verwendet
- Vorderen Bereich abgetrennt für ein futuristisches Design
- Reifen vom Transportroboter verwendet

Drohne

- Würfel als Grundobjekt verwendet
- „Mirror Modifier“ für Symmetrie angewendet
- Würfel verlängert zu einem Quader, vordere Kanten abgeschrägt mit „Ctrl + B“
- Mittelteil vertieft mit dem „Extrude“-Werkzeug
- Hinteren Bereich mit dem „Boolean Modifier“ für eine dynamische Form verdünnt
- Vorderen Bereich vertieft
- Kleinerer Würfel für den Laser-Ausgang verwendet
- Kameragehäuse als Kubus abgerundet, hintere Kante zurückgezogen, unteren Bereich vertieft
- Geglättete Sphäre als Kameralinse
- Arme aus Quadern modelliert
- Motoren und Landegestelle aus Zylindern
- Propeller aus Quadern mit leichter Rotation für Krümmung

6.2. Texturierung

Im Folgenden erläutere ich am Beispiel der Scan-Drohne und ihres Laserstrahls, wie ich spezifische Materialien entwickelt habe, um beim Betrachter eine gezielte Wirkung zu erzielen. Dabei gehe ich auch auf die Methodik der technischen Materialerstellung ein. Für die Gestaltung nutzte ich den „Shader-Editor“ in „Blender“, der es mir ermöglichte, die Optik der Texturen präzise zu kontrollieren. Im „Shader-Editor“ verwendete ich verschiedene Einstellungsfelder, sogenannte „Nodes“ (Knotenpunkte).

Jeder Knotenpunkt erfüllte eine spezifische Funktion, und durch die Verknüpfung dieser Parameter konnte ich bestimmte Strukturen und Effekte realisieren. Bei der Materialentwicklung setzte ich auf das Konzept des „PBR (Physically Based Rendering)“. Diese Methode erzeugt Oberflächeneffekte basierend auf physikalisch korrekten Materialparametern und unterstützte mich dabei, realistischere Materialdarstellungen zu erzielen. Sie berücksichtigt Eigenschaften wie Reflexion, Glanz, Rauheit und Transparenz und gewährleistete darüber hinaus die Konsistenz der Materialien unter verschiedenen Lichtbedingungen.

Mein Ziel war es, ein natürliches und gleichmäßiges Erscheinungsbild zu erreichen. Die PBR-Methodik bot mir Flexibilität bei der Anpassung von Materialien, da ich Parameter wie metallische und nicht-metallische Oberflächen, Rauheit und weitere Feineinstellungen modifizieren konnte. Zudem trug sie zur Reduzierung der Renderzeiten bei.

Während des Schaffensprozesses griff ich auf die Ressourcen der Online-Texturbibliothek „cgbookcase“ zurück, die kostenfreie und frei verwendbare „PBR“-Texturen anbietet. Bei der Gestaltung der Drohne lag mein Ziel darin, ein aufgeräumtes Erscheinungsbild zu schaffen, das den Betrachtern ein Gefühl von Innovation, Minimalismus und Futurismus vermittelt. Besonders wichtig war mir dabei der Laserstrahl, den die Drohne aussendet und mit dem ich einen Hauch von Science-Fiction verkörpern wollte.

Der Hauptkörper der Drohne wurde aus weißem Kunststoff gefertigt, um ein sauberes und modernes Aussehen zu unterstützen. Die Propellergestelle wurden ebenfalls aus Hartschalenplastik in einem neutralen Ton texturiert.

Ein dunkelgraues Hartschalenplastik wurde für den mittleren Streifen, die Propellerarme, die vorderen zwei kleinen Abschrägungen, die Kamera, den Laserbereich und die Propeller selbst gewählt. Dies schafft einen klaren Kontrast und unterstreicht die technologische Anmutung der Drohne.

Die Texturierung habe ich so gestaltet, um die Drohne sowohl ästhetisch ansprechend als auch funktional wirken zu lassen, wobei ich ihre Rolle als modernes Fluggerät betonen wollte. Für die Darstellung des Laserstrahls nutzte ich den „Shader-Editor“ in Blender, um verschiedene Texturen und Effekte effizient zu kombinieren und den gewünschten Laserstrahleffekt zu erzielen.

Im Folgenden beschreibe ich das Setup, das ich dafür entwickelt habe:

Texture Coordinate Node

Ich habe diesen Knoten verwendet, um die notwendigen Texturkoordinaten zu liefern. In diesem Fall habe ich sowohl generierte als auch Objektkoordinaten verwendet.

Mapping Nodes

Zwei Mapping-Knoten habe ich eingesetzt, um die Position und Skalierung der Textur anzupassen. Der erste Mapping-Knoten wurde für die Haupttextur mit einer Punkt-Typ-Transformation verwendet. Der zweite Mapping-Knoten wurde ebenfalls auf den Punkt-Typ gesetzt, aber mit einer Z-Positionsverschiebung von 29 Metern, um die Textur in den gewünschten Bereich zu verschieben.

Noise Texture Nodes

Zwei Rauschtextur-Knoten habe ich hinzugefügt, um eine unregelmäßige Struktur für den Laserstrahl zu erzeugen. Der erste Rauschtextur-Knoten hatte eine Skalierung von 50 und der zweite eine Skalierung von 30. Beide Knoten hatten eine Detailstufe von 2, eine Rauigkeit von 0,5 und eine Verzerrung von 10.

Subtract Node

Einen Subtraktionsknoten habe ich verwendet, um die beiden Rauschtexturen voneinander zu subtrahieren und so eine differenzierte Struktur zu erzeugen.

Color Ramp Nodes

Zwei Farbverlaufsknoten habe ich verwendet, um die Farben und Transparenz des Laserstrahls zu steuern. Der erste Farbverlaufsknoten setzte den Schwarz-Weiß-Verlauf, während der zweite Farbverlaufsknoten einen schwarz-roten Verlauf erzeugte.

Scale Node

Einen Skalierungsknoten habe ich eingesetzt, um die Größe des resultierenden Texturvektors anzupassen.

Principled BSDF Node

Der Hauptknoten für die Materialgestaltung. Hier habe ich die Textur in den Basiskoloranschluss eingespeist und die weiteren Materialeigenschaften wie Rauheit und Metallizität eingestellt.

Material Output Node

Der abschließende Knotenpunkt, der das Material auf das 3D-Modell anwendet. Mit diesem Setup beabsichtigte ich, einen dynamischen Laserstrahl zu erzeugen und der Drohne dadurch eine zusätzliche Ebene von Futurismus und Technologie zu verleihen.

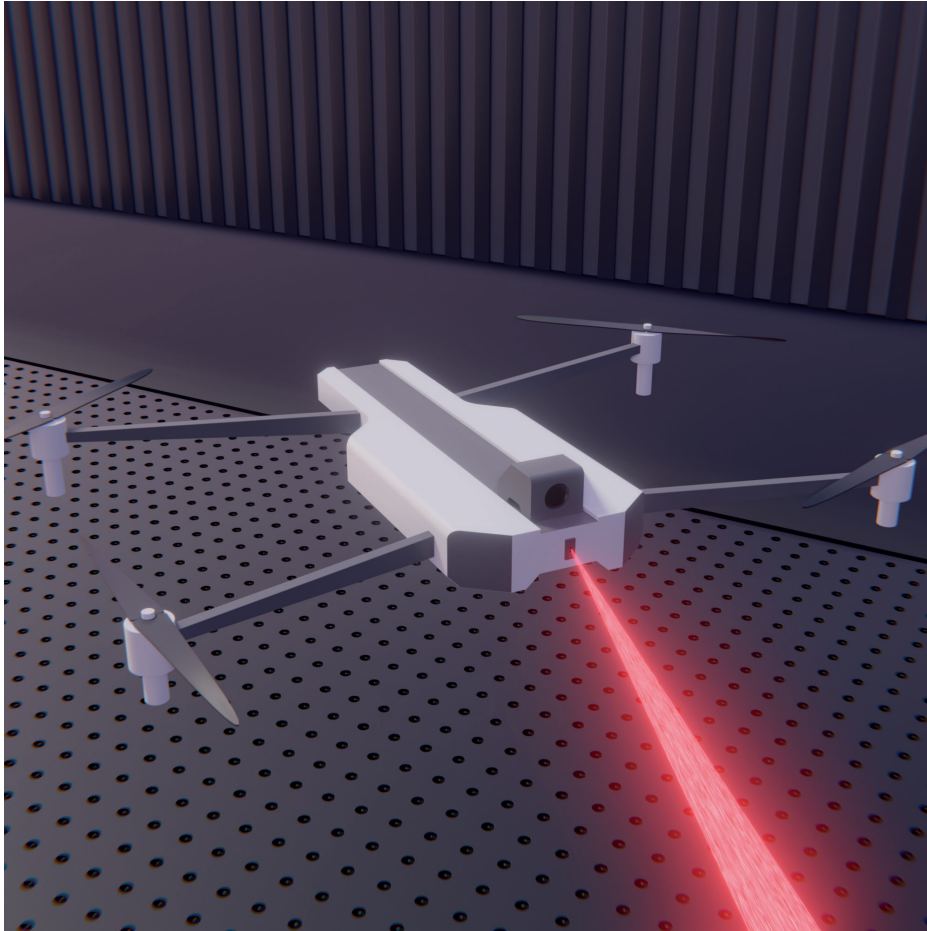


Abbildung 23: Lasermaterial

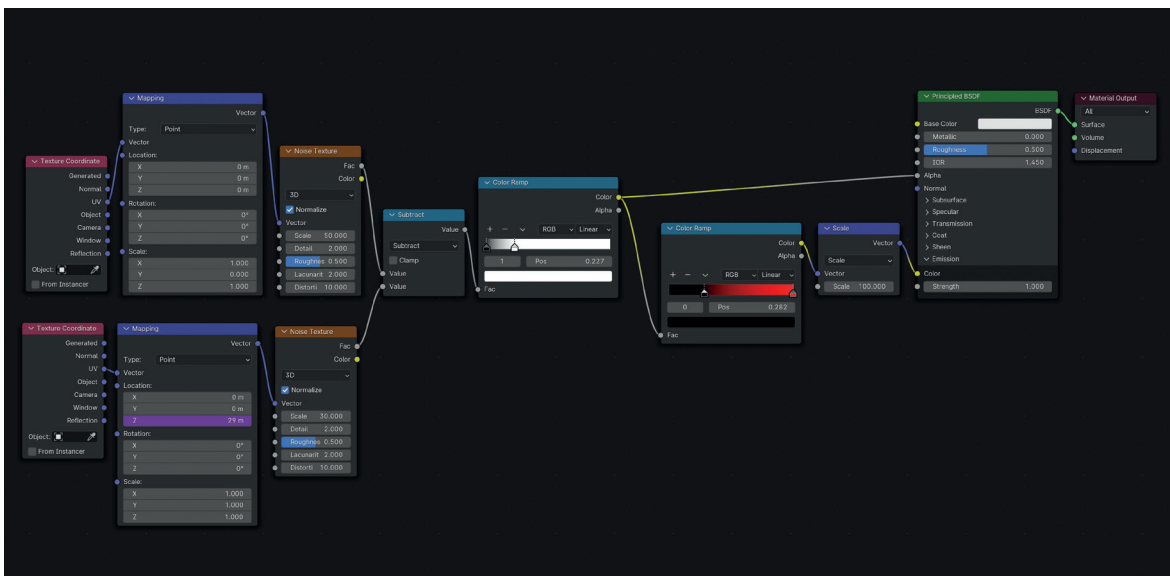


Abbildung 24: Materialaufbau in „Blender“

6.3. Rigging

In meiner 3D-Animation war das Rigging der Prozess, bei dem ich die 3D-Modelle mit virtuellen Knochen, Gelenken und Steuerungselementen ausgestattet habe, die zusammen als Armatur bezeichnet werden. Dieser Schritt ermöglichte es mir, die Transportroboter, eVTOLs, Logistikroboter, Ladeeinheiten und die Drohne zu animieren.

Transportroboter & eVTOL

Für diese beiden 3D-Modelle habe ich Steuerungselemente erstellt, die mir dabei halfen, die Objekte über den Flughafen gemeinsam zu bewegen.

Zunächst habe ich ein „Empty“ erstellt. Ein „Empty“ ist ein unsichtbares Objekt in „Blender“, das keine Geometrie hat und daher nicht in der gerenderten Animation erscheint. Ich nutzte es zur Gruppierung und Steuerung meiner Objekte. „Empties“ können in Kombination mit „Constraints“ verwendet werden, um komplexe Animationen zu erleichtern und die Szene zu planen. Die „Constraints“ ermöglichten es mir, das Verhalten meiner 3D-Modelle zu steuern und präzise Regeln für Bewegung, Verformung und Ausrichtung festzulegen.

Nachdem ich das „Empty“ vor den Transportroboter positioniert hatte, den ich unter dem eVTOL platzierte, begann ich, Abhängigkeitsregeln festzulegen. Ich habe den „Child of Constraint“ in „Blender“ genutzt, um sicherzustellen, dass der Transportroboter vom ersten „Empty“ gesteuert wird und davon abhängig ist. Dann habe ich ein zweites „Empty“ für das Flugtaxi erstellt und ebenfalls einen „Child of Constraint“ hinzugefügt. Hierbei habe ich festgelegt, dass das Flugtaxi vom zweiten „Empty“ abhängig sein soll. Schließlich habe ich eingestellt, dass das zweite „Empty“ vom ersten abhängig sein soll. Damit waren die Abhängigkeitsregeln definiert, und ich habe überprüft, ob alles korrekt eingestellt war.

Das Ergebnis war erfolgreich: Durch das Bewegen des ersten „Empty“ konnte ich sowohl den Transportroboter als auch das eVTOL gleichzeitig bewegen. Zusätzlich hatte ich die Möglichkeit, das eVTOL einzeln zu bewegen, indem ich das zweite „Empty“ verwenden konnte, das das Flugtaxi steuerte.

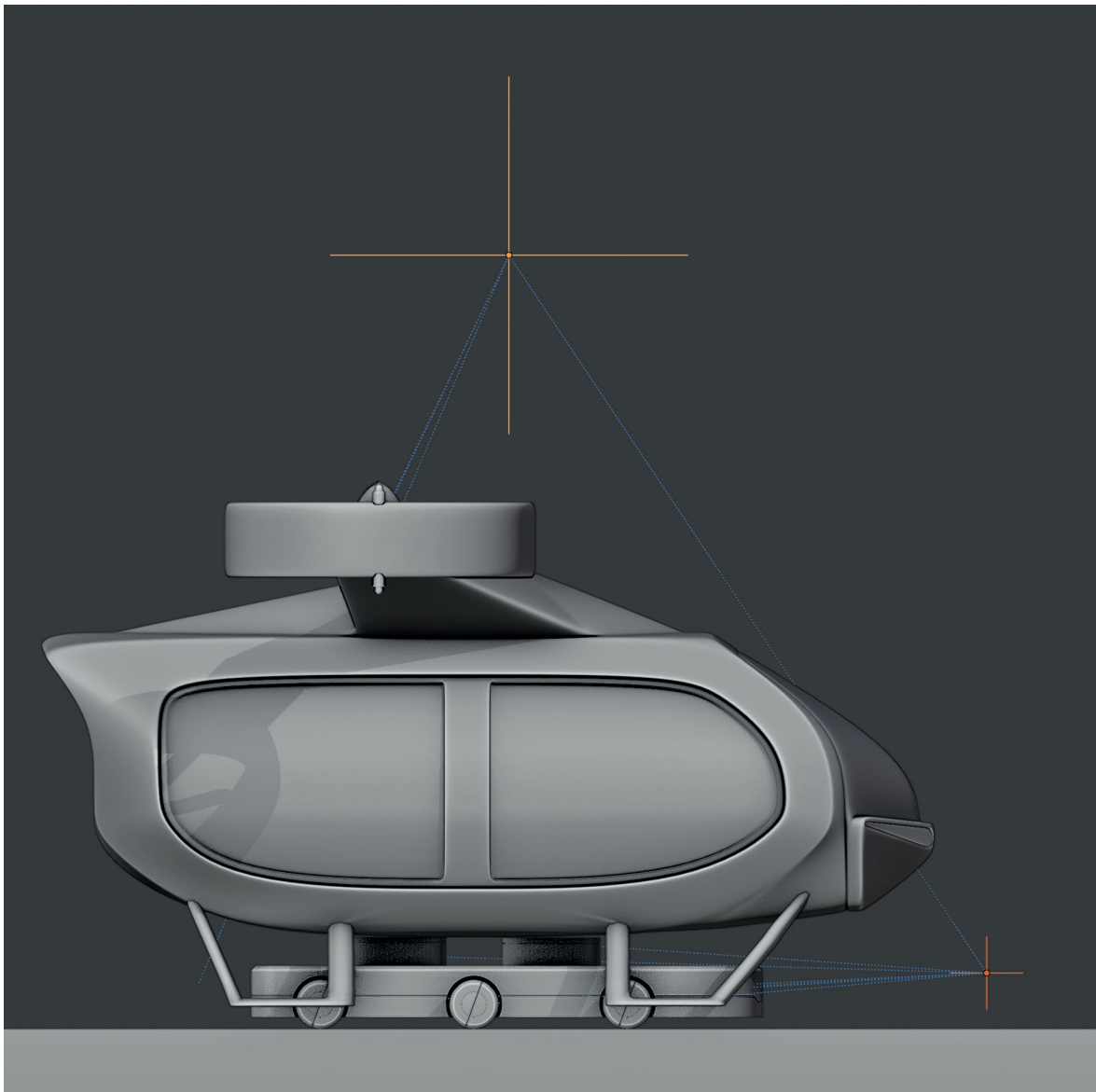


Abbildung 25: „Empties“ als Steuerungselemente

Ladeinheit

Für den Ladearm habe ich eine Abfolge von Abhängigkeitsregeln implementiert, also mehrere „Constraints“. Die Abhängigkeiten wurden von oben nach unten festgelegt, beginnend beim ersten Rotationsgelenk, das an der Decke befestigt war. Dieses Gelenk hatte keine direkte Abhängigkeit, da alle anderen Teile des Ladearms von ihm abhängig waren. Als nächstes habe ich die Verbindung zum ersten Quader hergestellt. Ich definierte eine Abhängigkeit zum ersten Rotationsgelenk an der Decke, indem ich ein „Child of Constraint“ einfügte. Dadurch wird kontrolliert, dass der erste Quader vom oberen Rotationsgelenk abhängig ist.

Danach richtete ich meine Aufmerksamkeit auf das zweite Rotationsgelenk. Hier fügte ich ebenfalls ein „Child of Constraint“ hinzu und stellte sicher, dass es vom ersten Quader abhängig ist. Anschließend kam der zweite Quader an die Reihe. Hier habe ich ein „Child of Constraint“ eingefügt und festgelegt, dass er vom zweiten Rotationsgelenk abhängig ist. Danach ging es weiter zum dritten Rotationsgelenk. Hier habe ich wieder ein „Child of Constraint“ verwendet und definiert, dass es vom zweiten Quader abhängig sein soll. Zum Schluss habe ich ein „Child of Constraint“ für die Kufe hinzugefügt und festgelegt, dass sie vom dritten Rotationsgelenk abhängig ist.

Logistikroboter

Für den Gelenk-Paketroboter habe ich die Bodenplatte als Kontrollobjekt festgelegt. Dazu habe ich alle Komponenten des Gelenk-Paketroboters ausgewählt und „Child of Constraint“ hinzugefügt. In diesen Constraints habe ich festgelegt, dass die Objekte von der Bodenplatte abhängig sind. Dadurch war es möglich, den gesamten Roboter mithilfe der Bodenplatte zu bewegen.

Anschließend habe ich ein „Rig“, also ein Knochengerüst für den Gelenkarm, erstellt und dabei die Technik der „Inverse Kinematics“ verwendet.

Im Folgenden möchte ich meine Vorgehensweise beschreiben:

1. Erstellung der Grundstruktur

Im „Armature-Modus“ habe ich die Knochenstruktur des Roboters aufgebaut, beginnend mit dem Basis-Knochen im Rumpfbereich und dann Knochen für jeden Abschnitt des Gelenkarms hinzugefügt, um eine hierarchische Struktur zu erstellen.

2. Hinzufügen des Kontrollknochens (IK-Target)

Ich habe einen zusätzlichen Knochen erstellt, der vom Ende des Gelenkarms nach vorne und oben herausragte. Dieser vom Programm blau markierte Knochen diente als Zielknochen für das IK-Rig und wurde so positioniert, dass er den Arm steuert.“

3. Einrichten der Inverse Kinematics (IK)

Im „Pose-Modus“ habe ich die „Inverse Kinematics-Constraint“ auf den letzten Knochen des Gelenkarms angewendet und den blau markierten Knochen als Ziel festgelegt. Die „Chain Length“ setzte ich auf die Anzahl der Knochen im Gelenkarm, um die gesamte Armstruktur zu steuern.

4. Feinabstimmung und Begrenzungen

Ich fügte Begrenzungen an den Gelenken hinzu, um realistische Bewegungen zu gewährleisten und unnatürliche Bewegungen zu verhindern. Anschließend testete ich das „Rig“ und nahm Feinjustierungen vor, um eine flüssige und realistische Bewegung sicherzustellen.

Durch diese Schritte konnte ich ein effizientes „Rig“ erstellen, bei dem der blau markierte Knochen als Hauptsteuerung diente und mithilfe von „Inverse Kinematics“ eine präzise und intuitive Kontrolle über den gesamten Gelenkarm des Roboters ermöglichte.

6.4. Animation

Nachdem ich das Rigging für die Gerätschaften am Flughafen abgeschlossen hatte, begann ich mit der Animation der Objekte. Im Folgenden möchte ich einen Überblick über meine Animationsmethoden geben.

Keyframe Methode

Für die meisten Objekte wie Flugtaxi, Roboter und kleine Detailanimationen wie zum Beispiel Räder habe ich die Keyframe-Technik angewendet. Dabei setzte ich jeweils einen Keyframe am Anfang und einen am Ende der Animation. „Blender“ glättete anschließend automatisch die Zwischenphasen.

Die Keyframes markierten die Zeitpunkte, an denen ich die Position, Rotation und Größe der Objekte gespeichert habe. Dies erleichterte mir die Erstellung flüssiger Bewegungen meiner 3D-Modelle zwischen diesen Punkten:

Schritt 1: Objektauswahl

Zunächst wählte ich das Objekt aus, das ich animieren wollte. Dies konnte ein 3D-Modell, eine Kamera, eine Lichtquelle oder ein anderes Element in meiner Szene sein.

Schritt 2: Platzierung auf der Timeline

Ich platzierte den Zeitschieber auf meiner Timeline an meiner gewünschten Startposition meiner Animation.

Schritt 3: Keyframesetzung und Einstellung der Eigenschaften

Um einen Keyframe zu setzen, verwendete ich den Tastaturbefehl „I“. Nun konnte ich die die Merkmale sehen, für die ich den Keyframe setzen konnte. Dies waren Position, Rotation und Skalierung. Ich wählte die entsprechenden Eigenschaften aus dem Menü aus, für die ich den Keyframe setzen wollte.

Schritt 4: Wiederholung der Schritte

Auf meiner Timeline bewegte ich den Zeitschieber zur nächsten Position. Anschließend änderte ich erneut die Merkmale meines 3D Modells hinsichtlich der aktualisierten Position, Rotation oder Größe. Durch den Befehl „I“ und die Auswahl der neuen Eigenschaften setzte ich einen weiteren Keyframe.

Schritt 5: Interpolation

Die Software berechnete die Bewegung zwischen den gesetzten Keyframes automatisch. Es war mir möglich, meine Animation entweder in der 3D-Ansicht anzusehen oder durch Abspielen der Timeline als Vorschau zu betrachten, um sicherzustellen, dass die Bewegung meinen Vorstellungen entsprach.

Schritt 6: Verfeinerung

Nachdem ich die Hauptanimation abgeschlossen hatte, konnte ich die Animation weiter verfeinern. Hierfür nutzte ich den „Graph Editor“ in „Blender“. Hier konnte ich die Animationskurven bearbeiten, um das Timing und die Feinheiten der Bewegungen meiner 3D Modelle anzupassen. Dies ermöglichte mir eine genauere Kontrolle über meine Animation.

Pfad Methode

Um bestimmte Bewegungen umzusetzen, die mit der Keyframe-Technik nicht realisierbar waren, nutzte ich eine alternative Herangehensweise. Ein konkretes Beispiel dafür war der Transport des Flugtaxi über das Rollfeld von der Drohnen-Station zur Ladestation. Für solche Bewegungen war ein spezifischer Pfad erforderlich, dem der Transportroboter folgen konnte.

Schritt 1: Pfaderstellung

Zunächst erstellte ich einen Pfad, indem ich aus der „Curve“-Kategorie in „Blender“ das Objekt „Path“ auswählte.

Schritt 2: Feinabstimmung des Kurvenverlaufs

Anschließend bearbeitete ich den Pfad im Bearbeitungsmodus. Um sicherzustellen, dass der Pfad über das Rollfeld verläuft, verlängerte ich ihn und formte ihn in die benötigte Kurvenform. Die Form des Pfads veränderte ich durch das Verschieben der Knotenpunkte, bis er die gewünschte Form hatte.

Schritt 3: Objektplatzierung

Danach platzierte ich den Transportroboter und das Flugtaxi zusammen mit dem Kontroll-Objekt „Empty“ am Anfang des Pfades.

Schritt 4: Folgen des Pfads

Für den nächsten Schritt wählte ich das „Empty“ aus und navigierte zu den Objekt-Eigenschaften. Dort stellte ich die Option „Follow Path“ ein und wies dem Transportroboter im „Target“-Feld den Pfad zu, dem er folgen sollte.

Schritt 5: Anpassung der Einstellungen

Im Anschluss ging ich zum „Animate Path“-Feld, um eine Animation zu erstellen, die den Transportroboter entlang des Pfades bewegt.

Schritt 6: Verfeinerung der Geschwindigkeit

Abschließend optimierte ich die Geschwindigkeit der Animation durch Feinabstimmung der Einstellungen in den Feldern „Offset“, „Frames“ und „Evaluation Time“.

Schritt 7: Animationsvorschau

Nach Abschluss des Prozesses überprüfte ich meine Animation in der Timeline. Abschließend konnte ich Details verfeinern und sicherstellen, dass die Bewegung genau meinen Vorstellungen entsprach.

6.5. Farbstimmung, Licht & Rendering

In diesem Kapitel knüpfte ich an das Texturkapitel an und erläuterte die Farb- und Lichtstimmung, die ich für den Flughafen entwarf. Mein Ziel war es, jeder Szene eine einheitliche Ästhetik zu verleihen, sodass sie harmonisch auf das Auge des Betrachters wirkten. Dabei gehe ich darauf ein, welche Empfindungen und Emotionen ich durch die gezielte Farbpalette bei den Zuschauern hervorrufen wollte. Abschließend beschreibe ich die angewandte Rendering-Methode, die zur Erweiterung der Lichtatmosphäre beitrug und zugleich effiziente Renderzeiten ermöglichte.

Zielsetzung

Mit dem Design des „Vertiports“ strebte ich danach, eine moderne, zukunftsorientierte und dennoch komfortable sowie einladende Atmosphäre zu schaffen.

Farbstimmung

Für das Design des Flughafens entwickelte ich eine grundlegende Farbpalette, um die visuelle Wahrnehmung und Stimmung jeder Szene gezielt zu prägen. Meine Recherche konzentrierte sich auf die Kombination und Komplementarität von Farben, um eine ansprechende Farbgebung und visuelle Ausgewogenheit für die Betrachter zu erreichen. Für meinen Designprozess der Farbstimmungsentwicklung analysierte ich, wie ich die Farben in meiner Arbeit sinnvoll kombinieren könnte, um eine gelungene Farbkombination zu erreichen.

Im Buch „Storytelling through Animation“ (Wellins 2005: S. 128) verdeutlicht der Animator und Filmemacher Mike Wellins die Prinzipien der Farbtheorie zur gezielten Erzeugung spezifischer Emotionen und Stimmungen:

„Basic color theory states that warm colors (e.g., red and yellow) come forward, while cool colors (e.g., shades of blue) recess visually. This happens partly out of recognition and partly out of physics. When it comes to colors in animation, stylization is not bound by reality. Animation is a very forgiving medium in certain areas, and because stylized animation has very few preconceptions in the audience’s view, color can be used creatively and to effect.“³

Diese Erläuterung ermöglichte es mir, die grundlegenden Prinzipien der Farbtheorie besser zu erfassen und sie entsprechend bei der farblichen Gestaltung meines virtuellen Flughafens und der Umgebungsatmosphäre zu berücksichtigen. Ich beabsichtigte, warme Farben gezielt als Akzente einzusetzen, beispielsweise gelbe Markierungen auf den Helipads, der Oberfläche und dem Cockpit des Flugtaxi sowie einen grünen Ring um den Haken auf dem Display-Interface und rote Akzente auf der Kufe der Gelenk-Ladeeinheit.

Diese Farbauswahl richtete ich darauf aus, Schlüsselbereiche hervorzuheben und die Aufmerksamkeit der Betrachter darauf zu lenken. Entsprechend den Prinzipien der Farbtheorie von Mike Wellins strebte ich danach, diese warmen Farbtöne kreativ mit anderen Farben zu kombinieren, um eine ausgewogene Farbpalette zu schaffen und den Betrachtern eine angenehme visuelle Kulisse zu bieten.

Für eine harmonische Farbkombination entschied ich mich, kühlere Farbtöne für größere Objekte wie die Bodenplatte, Wände und vertikale Wandbalken zu wählen, die ich in einem Dunkelblau, bis Grau gestaltete. Dadurch sollte der Flughafen als Ort mit einer hochwertigen, modernen und ruhigen Atmosphäre wahrgenommen werden, wobei die warmen Farbakzente unterstützt und betont wurden.

³Wellins, M. (2005). *Storytelling through Animation*. Charles River Media.

Ich setzte mir zum Ziel, durch die dominierenden Blau- und Grautöne ein Gefühl von Ruhe, Professionalität und Modernität zu vermitteln sowie eine kohärente und stilvolle Umgebung in der Animation zu schaffen. Diese Farbkombinationen sollten in den Hauptstrukturen der Animation sichtbar sein, um eine anspruchsvolle Atmosphäre zu erzeugen. Um die Farbstimmung ausgewogener zu gestalten, verwendete ich hellere Farben, um einen kontrastreichen Effekt für die Betrachter zu erzielen. Dafür habe ich die Helipads, Teile der Transportroboter und Logistikroboter sowie die Stützbalken der Wände und den äußeren Zaun mit einem etwas helleren Anthrazitgrau versehen, um visuelle Variationen und Kontraste zu schaffen.

Helle Grau- bis Weißtöne wählte ich für Elemente wie die Passagier-Lounge, innere Zäune, Teile der Transportroboter, Paketroboter, Ladeeinheiten, Drohne und das Cockpit des Flugtaxi aus, um sie von den dunkleren Bereichen stärker hervorzuheben und eine freundliche Umgebung zu schaffen.

Dadurch strebte ich an, einen Blickfang zu schaffen und eine visuelle sowie farbliche Balance zu gewährleisten. Die Gebäude im Hintergrund ergänzte ich ebenfalls mit hellen Farben und subtilen blauen Elementen, um die Authentizität und Modernität einer typischen großstädtischen Umgebung zu unterstreichen.

Schaffung von Komfort und Entspannung

In der Passagierlounge verfolgte ich das Ziel, durch die einfallende Lichtstrahlung des warmen Umgebungslichts eine indirekte Beleuchtung zu schaffen, die für eine weiche und gleichmäßige Lichtverteilung sorgte. Dabei war es mir wichtig, das warme Licht so zu lenken, dass an Wänden und Decken eine harmonische Lichtverteilung entstand und eine entspannte Atmosphäre vermittelt wurde. Die indirekte Beleuchtung sollte das Sonnenlicht weicher und gleichmäßiger verteilen als direkte Sonneneinstrahlung, um eine weniger intensive und blendfreie Ausleuchtung zu gewährleisten. In den Aufenthaltsbereichen der Nutzer sollte diese warme Lichtverteilung ein angenehmes Gleichgewicht und Wohlbefinden fördern.

Stärkung des Sicherheitsgefühls

Ich strebte darüber hinaus an, dem Flughafen eine Atmosphäre der Sicherheit zu verleihen, indem ich Wegweiser und Sicherheitslinien in Schlüsselbereichen in einem hellen Gelbton hervorhob, damit die Flugtaxi und Transportroboter diese beim Landeanflug und der Anfahrt gut erkennen konnten.

Durch das Einfärben des Buchstabens „V“ und des großen umrandeten Kreises auf den Helipads mit gelben Farbakzenten wollte ich sie deutlicher sichtbar machen und damit die Aufmerksamkeit der Betrachter auf kritische Bereiche lenken sowie visuelle Kontraste und Fokuspunkte schaffen.

Lichtatmosphäre

Als primäre Lichtquelle verwendete ich die HDR (High Dynamic Range) Methode, um die Lichtstimmung und die Umgebungsatmosphäre mit einer warmen Sonnenaufgangsstimmung und leicht rötlichen, orangenen Elementen für die virtuelle Umgebung zu gestalten. Die HDR-Technik erlaubte mir, Lichtintensität und Kontraste präzise zu steuern, um sowohl die architektonischen Details als auch die atmosphärischen Effekte realistischer darzustellen.

Mein Anspruch bestand darin, durch die Anwendung von HDR-Texturen realistischere Reflexionen zu integrieren. Die HDR-Textur ermöglichte es mir, Lichtreflexionen und Glanzlichter in höherer Qualität darzustellen, wodurch der Szene zusätzliche Tiefe und Detailgenauigkeit verliehen wurde.

Das Ziel war es, mittels HDR-Texturen das Umgebungslicht realistischer zu streuen, um zu einer gleichmäßigen und stimmigen Beleuchtung beizutragen und dadurch beim Betrachter eine angenehme Lichtatmosphäre zu erzeugen. Zusätzlich integrierte ich eine weitere Lichtquelle in Form einer Sonne, um die natürliche Beleuchtung zu erweitern und spezifische Bereiche des Flughafens auszuleuchten, die durch die HDR-Textur nicht vollständig abgedeckt wurden.

Des Weiteren lag mein Fokus auf der Erzeugung verbesserten Schattenspiels; durch die Sonne konnten weiche Schatten erzeugt werden, die sich über die

gesamte Szene erstreckten und somit die Tiefe und Räumlichkeit der Umgebung betonten. Darüber hinaus strebte ich an, eine ausgewogene Lichtverteilung zu erzielen. Die Sonnenbeleuchtung ermöglichte es mir, eine gleichmäßige Ausleuchtung der gesamten Szenerie zu erreichen, um eine angenehme und natürliche Lichtstimmung zu vermitteln. Insgesamt beabsichtigte ich dadurch, den Flughafen in eine einladende und harmonische Lichtstimmung einzubinden, indem ich eine Kombination aus rötlich-orangen und blau-grauen Komplementärfarben verwendete.

Dynamische Lichteffekte

Um einen dynamischen Effekt zu erzielen und die Authentizität des Flughafens zu verstärken, führte ich kleine Leuchtlampen auf den Helipads und in der Nähe der Propeller der Flugtaxi ein. Diese ließ ich in den Farben Rot und Orange intermittierend blinken, um das Gefühl von Sicherheit, Navigation und Kommunikation zu verstärken. Die Installation dieser Lichter sollte Hindernisse markieren, Signale übermitteln und insbesondere bei schlechten Sichtverhältnissen oder in der Nacht zur Sicherheit und Effizienz des Flughafenbetriebs beitragen.

Rendering

Um die Farbstimmung und Lichtatmosphäre zu verstärken, verwendete ich in „Blender“ das „EVEE“-Rendering-System. Diese Echtzeit-Render-Engine bot mir eine Vielzahl von Vorteilen, um ansprechendes Licht und eine angenehme Farbstimmung zu erzielen.

Feedback des Render-Systems

„EVEE“ ermöglichte ein sofortiges Feedback, was meinen kreativen Prozess beschleunigte. Änderungen an Beleuchtung und Materialien wurden unmittelbar sichtbar, wodurch sich die Iterationszeiten verkürzten.

Geschwindigkeitsvergleich mit „Cycles“

Im Vergleich zur physikalisch basierten Render-Engine von „Blender“, „Cycles“,

erzielte ich mit „EVEE“ schnellere Renderings. Besonders vorteilhaft war „EVEE“ für schnelle Vorschauen der Animationen, da es mir ermöglichte, in Echtzeit zu rendern.

„Bloom“ und „Screen Space Reflections“

Durch den „Bloom“-Effekt, erhielten die hellen Bereiche im Bild eine sanftere Ausstrahlung und eine leuchtende Aura. Mein Ziel war es, dadurch die Atmosphäre und die Realitätsnähe zu verstärken, insbesondere in Szenen mit intensivem Licht. Zusätzlich habe ich die Funktion „Screen Space Reflections“ aktiviert, um realistischere Reflexionen auf den Oberflächen zu erzeugen und damit die Beleuchtungsqualität und Farbstimmung zu optimieren.

„Ambient Occlusion (AO)“

Zusätzlich ermöglichte mir die Aktivierung von „Ambient Occlusion (AO)“, die Schattierung in Ecken und Kanten zu verbessern, wodurch ich beabsichtigte, die Szenen tiefer und realistischer wirken zu lassen. Dies verstärkte den Kontrast und die Details in schattigen Bereichen, um zur Gesamtbeleuchtung beizutragen.

Schattenoptionen und Nachbearbeitung

Zusätzlich war es möglich, verschiedene Schattenoptionen wie Kontakt-Schatten einzustellen, um sie weich und realistisch erscheinen zu lassen und dadurch die visuelle Tiefe und Lichtqualität zu verbessern. Darüber hinaus konnte ich Effekte wie Tiefenschärfe, Vignetten und Farbkorrekturen anwenden, die mir halfen, die finale Lichtstimmung und Farbgebung der Szene zu verfeinern. Im Projekt „i-LUM“ präsentierte ich die Farbstimmung, Lichtgestaltung und Verfeinerungen und erhielt eine positive Rückmeldung. Besonders sagte ihnen insgesamt das Stimmungsbild zu, das ich durch die Kombination aus warmen und kühlen Farben in der 3D-Animation entwickelte, um eine harmonische Farbatmosphäre für den Flughafen zu erzeugen.

7. Schlussfolgerung

Zusammenfassung der Ergebnisse

In meiner Masterarbeit untersuchte ich den Entwicklungsprozess meiner 3D-Visualisierung für das Projekt „i-LUM“, dass die zukünftige Infrastruktur eines Flugtaxi-Flughafens im urbanen Kontext digital veranschaulichte. Durch den Einsatz der Software „Blender“ gelang es mir, ein innovatives und zukunftsweisendes Erlebnis zu schaffen, das sowohl technische Details als auch ästhetische Aspekte der Luftmobilität integrierte. Insbesondere vermittelte ich, dass die Visualisierung von Vertiports auf Hochhausdächern eine Schlüsselrolle bei der Veranschaulichung der Nutzungsmöglichkeiten autonomer Flugkörper spielte. Diese Erkenntnisse waren entscheidend für die Weiterentwicklung der urbanen Mobilität und boten neue Perspektiven für die Planung und Gestaltung zukünftiger städtischer Infrastrukturen.

Durch meine methodische Herangehensweise gelang es mir, mein Ziel erfolgreich zu erreichen. Besonders förderlich war das Fundament, das ich von Anfang an gelegt habe, um eine strukturierte und übersichtliche Darstellung zu schaffen. Dies ermöglichte es mir, den Flughafen auf optimale Weise zu visualisieren. Durch die strategische Gliederung des Flughafenablaufs in einzelne Szenen ist es mir gelungen, den komplexen Prozess in übersichtliche Abschnitte zu unterteilen. Dies ermöglicht es, die Informationen schrittweise und leicht verständlich darzustellen.

Die positive Rückmeldung der „i-LUM“ Projektleitung bestätigte die Wirksamkeit meiner Herangehensweise. Das Feedback unterstrich, dass die Darstellung sowohl durch die klare Struktur, ästhetische Gestaltung als auch funktionale Verständlichkeit überzeugte.

Insbesondere gelang es mir, durch eine gründliche Recherchephase Projekte zu analysieren, die meinem digitalen Vorhaben ähnelten. Dadurch entwickelte ich ein fundiertes Gespür dafür, wie ich den Aufbau meiner 3D-Animation gestalten würde.

Zur erfolgreichen Visualisierung der Inhalte trug bei, dass ich mit der Projektleitung von „i-LUM“ die Anforderungen genau abstimmte und effektiv kommunizierte. Dies legte eine solide Basis, um die Kommunikationsziele präzise zu planen und den Aufbau der Animation strategisch zu gestalten.

Anschließend integrierte ich diese Erkenntnisse erfolgreich in meine Konzeptphase und in die Storyboard-Entwicklung. Hier konzipierte und skizzierte ich, wie jede einzelne Szene gestaltet sein sollte, um dem Betrachter den optimalen Ablauf der Flughafeninfrastruktur sowie der einzelnen Maschinen und Geräte zu vermitteln.

Durch die Kombination von intelligenten Softwarewerkzeugen in „Blender“ gelang es mir, sowohl die technischen Elemente souverän umzusetzen als auch eine passende ästhetische Atmosphäre und Stimmung zu erzeugen.

Besonders hervorzuheben ist die Darstellung der Maschinen durch eine flüssige Choreografie und die flexiblen Bewegungsabläufe der Roboter, einschließlich der Gelenk-Ladeeinheit und des Gelenk-Logistikroboters. Diese Gestaltung ermöglichte es mir, den Flughafen technisch und visuell eindrucksvoll zu präsentieren und die dargestellte Welt mit Spannung zu durchdringen.

Reflexion über Herausforderungen und Lernerfahrungen

Der Designprozess der 3D-Visualisierung brachte zahlreiche Herausforderungen mit sich, insbesondere bei der digitalen Umsetzung und der Entwicklung komplexer maschineller Funktionen. Diese Phase erwies sich als besonders anspruchsvoll und erforderte sorgfältige Planungen.

Ein konkretes Beispiel war das Flugtaxi, das über das Rollfeld des Flughafens von einer Station zur anderen bewegt werden musste. Nach sorgfältiger Überlegung entschied ich mich schließlich dafür, einen Transportroboter zu konzipieren, der diese Anforderung erfüllte. Allerdings ergab sich hierbei eine zusätzliche Herausforderung: die sichere Fixierung des Flugtaxis am Transportroboter.

Es bestand die Gefahr, dass das Flugtaxi herunterfallen könnte, wenn der Transportroboter nicht über eine zuverlässige Halterung verfügte. Das Flugtaxi musste jedoch zahlreiche Stationen anfahren, wie es in den ursprünglichen Anforderungen im Projekt „i-LUM“ festgelegt worden war. Infolgedessen widmete ich mich der Herausforderung, Lösungen zu finden. Ich entwickelte die Idee hydraulischer magnetischer Hebesysteme, um das Flugtaxi während der Fahrt sicher zu fixieren. Zusätzlich plante ich, das Flugtaxi mithilfe dieser Hebemechanismen anzuheben, um Bodenkontakt zu vermeiden und Beschädigungen an den Landegestellen zu verhindern.

Bei der Konzeption des Gelenk-Logistikroboters stand ich vor der anspruchsvollen Aufgabe, ein flexibles mechanisches System zu entwickeln. Um dieses Ziel zu erreichen, studierte ich zahlreiche Ansätze zur Konstruktion eines funktionierenden „Rigs“. Nach erfolgreicher Entwicklung gewährleistete das „Rig“ geschmeidige und naturgetreue Bewegungen der Roboter-Gelenke, ohne unerwünschte Verformungen zu verursachen. Ein ähnliches Problem ergab sich bei der Entwicklung der Gelenk-Ladeinheit, was sich als äußerst komplex erwies. Aufgrund technischer Schwierigkeiten gestaltete sich der Aufbau des „Rigs“ schwierig und erzielte nicht meine gewünschten Ergebnisse.

Infolgedessen entschied ich mich für eine alternative Lösung, indem ich die „Constraints“-Funktion in „Blender“ anwendete, um eine effektive Funktionalität zu erreichen. Diese Einschränkungen ermöglichten eine Abhängigkeit der Gelenke voneinander, was wiederum geschmeidige Bewegungen ermöglichte.

Nach Abschluss des Projekts und während meiner Reflexion sind mir bestimmte Aspekte aufgefallen, die ich im Rückblick verbessern würde, um ein tieferes Verständnis zu fördern und die ästhetische Wirkung für die Betrachter weiter zu optimieren.

Eine effektivere Vorgehensweise würde darin bestanden, die Bewegungen in den einzelnen Szenen zügiger zu gestalten und die Gesamtlänge der Sequenzen zu reduzieren, da einige Passagen etwas zu lang geworden sind. Es könnten folgende Aspekte optimiert werden:

- Verkürzung der Landeanflugzeit
- Beschleunigung des Flugtaxitransports zu den einzelnen Stationen
- Reduzierung der Drohnenscan-Zeit
- Kürzung des Aufladeprozesses für Flugtaxis und Transportroboter
- Verbesserung der menschlichen Darstellung der Passagiere
- Hinzufügen einer Überdachung über dem gesamten Flughafen zum Schutz der Gerätschaften und Passagiere vor Witterungseinflüssen
- Erweiterung der Passagierlounge mit gemütlicheren Sitzmöbeln, größeren Fenstern und zusätzlicher Verglasung für einen besseren Überblick über den Flughafen für die Passagiere

Ausblick und Implikationen für die Zukunft

Für zukünftige Entwicklungen wird die 3D-Visualisierungstechnologie dazu beitragen, zu veranschaulichen, wie aktuelle und zukünftige fortschrittliche Technologien funktionieren. Dies umfasst eine Vielzahl von Anwendungsgebieten wie Luft- und Raumfahrt, Logistikrobotik, Haushaltsrobotik, Künstliche Intelligenz für automatisierte Maschinen, medizinische Technologie und andere technologische Bereiche. Solche Darstellungen spielen eine entscheidende Rolle dabei, komplexe Konzepte verständlich und benutzerfreundlich zu vermitteln.

Insgesamt stellt meine Arbeit eine fundierte Grundlage dar, um innovative Themenfelder durch 3D-Visualisierung anschaulich zu präsentieren und für ein breites Publikum verständlich sowie digital erfahrbar zu machen. Dies umfasst nicht nur wissenschaftliche Fachkreise, sondern auch Start-Ups, etablierte Unternehmen dieses Sektors und ein breites, technologieinteressiertes Publikum. Durch konkrete Anwendungsbeispiele aus der Luftfahrtindustrie wie von „Airbus“ und „Volocopter“, sowie den analysierten Schaffensprozess meiner 3D-Animation wird deutlich, dass die Anwendung solcher Visualisierungsmethoden von entscheidender Bedeutung ist.

Sie trägt wesentlich dazu bei, den Innovationsstandort Deutschland im Bereich zukunftsweisender Technologien international attraktiver und investitionsfreudiger zu positionieren. Ansprechende und benutzerfreundliche Präsentationen ermutigen potenzielle Investoren, Kunden und zukünftige Nutzer, diese Technologien zu erkunden, zu nutzen und in den deutschen Technologiestandort zu investieren.

Ich ziehe den Schluss, dass es äußerst wertvoll war, passgenaue Lösungen für komplexe Herausforderungen zu entwickeln. Dieser Prozess hat mich kontinuierlich motiviert, neue Lösungsansätze zu finden und den Designprozess erfolgreich abzuschließen. Die Bewältigung dieser Herausforderungen führte nicht nur zur erfolgreichen Umsetzung des Projekts, sondern förderte auch meine persönliche Weiterentwicklung im Bereich der 3D-Visualisierungstechnik. Diese Erfahrungen sind entscheidend für meine Arbeit in zukünftigen Projekten im Bereich der virtuellen Darstellung von Infrastrukturen und bieten wertvolle Einsichten für mein zukünftiges Wirken in interdisziplinären und zukunftsweisenden Technologieprojekten.

Anhang

Neben der *TUHH* und der *HAW Hamburg* (siehe Seite 5) waren weitere Mitwirkende beteiligt, die ich im Folgenden erwähnen möchte. Für die *Helmut-Schmidt-Universität Hamburg (HSU)* forschten an der Professur für Automatisierungstechnik (AUT) Prof. Dr. Alexander Fay (stellvertretender Verbundsprecher), Tobias Grebner, M.Sc. (wissenschaftlicher Mitarbeiter) und Luca von Rönn, M.Sc. (wissenschaftlicher Mitarbeiter). An der Professur Elektrische Energiesysteme (EES) der HSU arbeiteten Prof. Dr. Detlef Schulz (Teilprojektleiter) und Dipl.-Phys. Gazmend Mavraj, M.Sc., M.A. (wissenschaftlicher Mitarbeiter). Für die Professur für Allgemeine und Biologische Psychologie (EPU) der HSU forschten Prof. Dr. Thomas Jacobsen (Teilprojektleiter), Dr. Aquiles Luna-Rodriguez (wissenschaftlicher Mitarbeiter), Svantje Kähler, M.Sc. (wissenschaftliche Mitarbeiterin), und Miriam Tomat, M.Sc. (wissenschaftliche Mitarbeiterin). Darüber hinaus beteiligte sich die Professur für Öffentliches Recht der HSU, insbesondere Öffentliches Wirtschafts- und Umweltrecht, mit Prof. Dr. Margarete Schuler-Harms (Teilprojektleiterin), Dr. Katharina Goldberg (Teilprojektleiterin), und Ass. jur. Josina Johannsen (wissenschaftliche Mitarbeiterin). Am Institut für Personal und Arbeit (IPA) der HSU waren Prof. Dr. Wenzel Matiaske (Teilprojektleiter) und Dr. Axel Czaya (wissenschaftlicher Mitarbeiter) tätig.

An der *HafenCity Universität Hamburg (HCU)* forschten für die Professur Digital City Science Prof. Dr. Jörg Rainer Noennig (Teilprojektleiter) und Tim Fraske, M.Sc. (wissenschaftlicher Mitarbeiter). Das *Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)* war mit Dr. Malte Niklaß (Teilprojektleiter) und Dipl.-Ing. Majed Swaid (wissenschaftlicher Mitarbeiter) beteiligt. Das *Helmholtz-Zentrum Hereon* wurde von Dr. Daniel Hoeche (assoziierter Partner) und Eugen Gazenbiller, M.Sc. (wissenschaftlicher Mitarbeiter) vertreten.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Frame aus der Animation „Airspace Cabin Vision 2035+“ Sekunde 0:14 bis 0:18 (Airbus 2023)	14
Abbildung 2: Frame aus der Animation „Airspace Cabin Vision 2035+“ Sekunde 0:21 bis 0:29 (Airbus 2023)	15
Abbildung 3: Frame aus der Animation „Airspace Cabin Vision 2035+“ Sekunde 0:54 bis 1:03 (Airbus 2023)	16
Abbildung 4: Frame aus der Animation von „Volocopter“ Sekunde 0:57 bis 1:05 (Volocopter 2018)	17
Abbildung 5: Frame aus der Animation von „Volocopter“ Sekunde 1:09 bis 1:12 (Volocopter 2018)	18
Abbildung 6: Frame aus der Animation von „Volocopter“ Sekunde 1:25 bis 1:33 (Volocopter 2018)	19
Abbildung 7: Flughafenzeichnung	22
Abbildung 8: Transportroboter 1. Version	24
Abbildung 9: Transportroboter 2. Version	24
Abbildung 10: Ladearm	25
Abbildung 11: Gelenk-Paketroboter	26
Abbildung 12: Drohnenskizze	28
Abbildung 13: Storyboard 1. Szene	31
Abbildung 14: Storyboard 2. Szene	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 15: Storyboard 3. Szene	37
Abbildung 16: Storyboard 4. Szene	40
Abbildung 17: Storyboard 5. Szene	43
Abbildung 18: Storyboard 6. Szene	45
Abbildung 19: Storyboard 7. Szene	47
Abbildung 20: Storyboard 8. Szene	49
Abbildung 21: Storyboard 9. Szene	51
Abbildung 22: Storyboard 10. Szene	53
Abbildung 23: Lasermaterial	62
Abbildung 24: Materialaufbau in „Blender“	62
Abbildung 25: „Empties“ als Steuerungselemente	64

Literaturverzeichnis

Airbus (2023). Video, <https://www.youtube.com/watch?v=-2Wo2peJreY&t=1s>, 2023, letzter Zugriff: 20.06.2024.

i-LUM (o.J.). Website, <https://i-lum.de/>, o.J., letzter Zugriff: 20.06.2024.

Volocopter (2018). Volocopter Video, <https://www.youtube.com/watch?v=jO24YaCYu80&t=85s>, 2018, letzter Zugriff: 20.06.2024.

Wellins, M. (2005). *Storytelling through Animation*. Charles River Media.

Wells, P. (2007). *Animation: Prinzipien, Praxis, Perspektiven*. Stiebner Verlag.

Ich versichere, die vorliegende Arbeit selbstständig ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt zu haben. Die aus anderen Werken wörtlich entnommenen Stellen oder dem Sinn nach entlehnten Passagen sind durch Quellenangaben eindeutig kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift