

2024

Seminararbeit



Aspera – Die Stadt auf dem Mond

Name: Jan Seifert

Klasse: J11

Fach: Seminarkurs Stadtplanung

Lehrkräfte:

Schule: Lessing-Gymnasium Karlsruhe

Datum: 11.06.2024

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
2 Hauptteil	2
2.1 Umweltbedingte Herausforderungen	2
2.2 Anforderungen an die Stadt	5
2.2.1 Wohnraum	5
2.2.2 Luftaufbereitung.....	5
2.2.3 Wasserversorgung	6
2.2.4 Nahrungsproduktion	6
2.2.5 Stromversorgung	7
2.2.6 Bildung	7
2.2.7 Forschungseinrichtungen	7
2.2.8 Logistik & Kommunikation	7
2.3 Bewältigung der lebensfeindlichen Umweltbedingungen	8
2.3.1 Atmosphäre	8
2.3.2 Schwerkraft	9
2.3.3 Kosmische Strahlung.....	9
2.3.4 Temperaturschwankungen	11
2.3.5 Tag-Nacht-Zyklus	11
2.3.6 Mondregolith.....	12
2.4 Standortwahl	12
2.5 Wohnsektor	16
2.5.1 Bildung	17
2.5.2 Gesundheit	18
2.5.3 Versorgung.....	18
2.5.4 Polizei & Feuerwehr	18
2.5.5 Kultur	19
2.5.6 Religion	19
2.5.7 Gemeinschaft	19

2.6 Versorgungssektor	20
2.6.1 Luftaufbereitung.....	20
2.6.2 Wasseraufbereitung	21
2.6.3 Nahrungsproduktion	22
2.6.4 Stromversorgung	23
2.7 Logistik & Kommunikation.....	23
2.8 Stadtarchitektur	24
3 Fazit.....	28
4 Quellenverzeichnis	30
5 Anhang	33
5.1 Berechnungen.....	33
5.2 Stadtplan.....	34
5.3 Logo	35

1 Einleitung

Ziel dieser Seminararbeit ist die Planung einer kleinen Stadt auf dem Mond, welche primär der Bewohnung sowie Forschung dient. Der Fokus soll auf dem Realitätsbezug sowie der wissenschaftlichen Umsetzbarkeit liegen.

Nach langer Überlegung bin ich zu dem Schluss gekommen, dass meine Stadt „Aspera“ heißen soll, was auf Latein das „Rau“ oder „Unebene“ bedeutet. Sie trägt das Motto „per aspera ad astra“, zu Deutsch „durch das Rau zu den Sternen“, da ich meine Stadt als ersten Schritt für eine umfangreiche Erkundung des Weltraums und Erschließung seiner Himmelskörper sehe.

Grund

In der heutigen Zeit spricht die ganze Welt von der Erkundung des Weltraums. Ob unbemannte Langzeitmissionen, teilweise bis in das äußere Sonnensystem (zum Beispiel das Projekt Cassini-Huygens der NASA oder die Rosetta-Raumsonde der ESA) oder auch bemannte Projekte, wie zum Beispiel das Apollo-Programm der NASA - die Erkundung und Erschließung des Weltraumes war schon immer ein Traum der Menschheit. Auch die Idee der Weltraumkolonisation ist mindestens so alt wie die Science-Fiction-Literatur selbst. Gerade in den letzten Jahren hat das Thema Mond- und Marsbasis deutlich an Bekanntheit gewonnen, nicht zuletzt durch Elon Musk und seine Pläne und Zukunftsvisionen den Mars betreffend.

Da ich schon von klein auf von Weltraum, Wissenschaft und Science-Fiction begeistert bin, fiel mir die Themenwahl in diesem speziellen Seminarkurs nicht sonderlich schwer.

Mögliche Gründe für eine Mondbasis gibt es viele, unter anderem der immer knapper werdende Wohnraum auf der Erde, weswegen eine Stadt auf dem Mond als Lösungsansatz ein sinnvoller erster Schritt ist.

Weiter bietet eine menschliche Ansiedlung auf dem Mond einen potentiellen Schutz gegenüber kosmischen Gefahren, wie zum Beispiel Gammablitz und Supernovae, oder stellt zumindest einen ersten Schritt dar, welcher in größerem Maßstab in Zukunft das Aussterben der menschlichen Spezies verhindern könnte.

Außerdem herrschen auf dem Mond bessere Umstände für Wissenschaft und Forschung, besonders auf der erdabgewandten Seite, zum Beispiel aufgrund ausbleibendem irdischen Störlicht und Funkverkehr.

Zusätzlich sind die auf dem Mond ab- beziehungsweise eingelagerten Ressourcen nicht zu vernachlässigen, wie zum Beispiel das im Vergleich zur Erde tausendfach höher konzentrierte Helium-3, welches unter anderem für wissenschaftliche Experimente auf dem Gebiet der Kernforschung verwendet wird, aber auch seltene Erdmetalle wie Lanthanoide, Scandium und Yttrium, welche in der Elektronik benötigt werden. Eine weitere essentielle Ressource ist das an den Polen gefrorene Wasser, welches man einerseits für die Mondbasis selbst, andererseits für weitere Erkundungsmissionen in das Weltall nutzen kann. Auf diese Weise kann die Mondbasis auch als Zwischenstation zum Beispiel zum Mars genutzt werden.

Zuletzt kann man sich die Frage stellen, warum gerade auf dem Mond eine Weltraumbasis errichtet werden soll. Die Beantwortung ist jedoch naheliegend: Da der Mond um einiges näher an der Erde ist als zum Beispiel der Mars, ist die Logistik deutlich einfacher.

2 Hauptteil

2.1 Umweltbedingte Herausforderungen

Zunächst ist es wichtig, die Umweltbedingungen auf dem Mond genau zu kennen, da die Planung der Stadt von diesen abhängt.

Der vielleicht wichtigste Unterschied zur Erde ist die fehlende Atmosphäre. Die Erdatmosphäre besteht aus einem Gemisch verschiedener Gase, hauptsächlich Stickstoff und Sauerstoff, welche für den Menschen unverzichtbar sind. Der Mond hat zwar auch eine Art Atmosphäre, allerdings besteht diese nur aus vereinzelt Teilchen wie zum Beispiel Helium-, Neon-, Wasserstoff- und Argon-Ionen, ist also eher eine Exosphäre. Sie ist sehr dünn und der Atmosphärendruck ist rund 33 Billionen Mal niedriger als auf der Erde, sie ermöglicht folglich keine menschlichen Atemprozesse.

Ein weiterer, zu berücksichtigender Umstand ist die geringere Schwerkraft. Auf der Erde beträgt die Schwerkraft, durch den Ortsfaktor angegeben, etwa $9,81 \text{ m/s}^2$. Auf dem Mond ist der Ortsfaktor etwa ein Sechstel so groß. Was auf den ersten Blick positiv erscheint, beispielsweise wegen der verringerten gravitationsbedingten Last beim Bau von Gebäuden/Strukturen, stellt sich nach einiger Überlegung jedoch als großes Problem heraus, da nun sichergestellt werden muss, dass alles fixiert ist und nicht versehentlich weit wegfliegt oder sogar das Gravitationsfeld des Mondes verlässt. Allgemein muss man viel mehr Aspekte betrachten, die auf der Erde als

selbstverständlich gesehen werden. Als spezifisches Beispiel könnte man den menschlichen Schlaf heranziehen. Durch die extrem geringe Gravitation besteht die Gefahr, dass man während des Schlafens aus dem Bett schwebt/fällt, weswegen man sich im Punkt Schlaf an vorhandenen Lösungen orientieren sollte, wie sie zum Beispiel auf der ISS verwendet werden.

Die kosmische Strahlung ist allerdings auch nicht zu vernachlässigen. Laut den Daten der chinesischen Landesonde Chang'e 4 aus dem Jahr 2019, welche mit dem LND- (Lunar Lander Neutron and Dosimetry) Messgerät ausgestattet war, ist die Strahlungsintensität auf dem Mond etwa 200 Mal höher als auf der Erdoberfläche. Hinzu kommt, dass dieser Wert in einer „Phase ohne Sonnenstürme und solare Aktivität“¹ ermittelt wurde. Die Dosis, der ein Mensch auf der Mondoberfläche an einem Tag ausgesetzt ist, ist in etwa so hoch wie eine durchschnittliche Jahresdosis auf der Erdoberfläche, was logischer Weise eine erhebliche Belastung für den Menschen darstellt. Man muss sich bei der Planung einer Mondbasis also genaue Gedanken um Abschirmung der Strahlung machen.

Des Weiteren muss man bei der Planung einer Stadt die auf dem Mond extremen Temperaturen und Temperaturschwankungen beachten. Während der Sonnenbestrahlung, welche aufgrund der langsamen Rotation etwa zwei Wochen anhält und danach ebenso lange ausbleibt, können auf der Mondoberfläche Temperaturen von bis zu 130°C auftreten. Während den darauffolgenden zwei Wochen Dunkelheit herrschen etwa -160°C². Diese Schwankungen stellen eine große Herausforderung für menschliche Befestigungen dar, da das Baumaterial diesen enormen Temperaturen standhalten muss. Die Temperaturschwankungen stellen selbstverständlich auch für den Menschen eine Gefahr dar, weshalb man Standorte, Transportwege und Materialien gut überlegt wählen muss. Eine mögliche Lösung stellen hier „Krater jungen Alters“ dar, da diese vermutlich aufgrund vorhandenen Staubes die Hitze der Sonneneinstrahlung besser aufnehmen und länger speichern können, was die Größe der Temperaturschwankung verringert und somit die Anforderungen an das Baumaterial senkt.

Wie angesprochen ist auch der Tag-Nacht-Zyklus zu beachten. Auf der Erde beträgt die Dauer des Zyklus bekanntlich 24 Stunden. Dieser nicht zu vernachlässigende

¹ Scinexx, „Mond: Wie hoch ist die Strahlung?“, siehe Quelle Nr. 13

² Mondkarte, „Alle Mondformationen im Überblick“, siehe Quelle Nr. 18

Unterschied von 13 Tagen ist zwar weniger ein Problem für die Strukturen und verwendeten Baumaterialien, jedoch ist der Mensch und die Gesellschaft auf einen 24-Stunden-Rhythmus ausgelegt und angewiesen. Man müsste einen Weg finden, den normalen Rhythmus beizubehalten, eventuell mit Verdunkelungen an den Fenstern oder künstlicher Beleuchtung, oder man muss sich dem des Mondes anpassen, was jedoch sehr wahrscheinlich nicht möglich wäre, da die Menschliche Psyche durch den Schlafentzug definitiv in Mitleidenschaft gezogen würde. Außerdem müsste man eine vollkommen neue Gesellschaftsordnung aufbauen, die mit diesem langen Rhythmus erst einmal zurechtkommen müsste.

Als letzte, jedoch nicht unwichtige Umweltbedingung muss man das auf dem Mond vorhandene Gestein, den Mondregolith, beachten. Der Mond besteht grundsätzlich aus festem Gestein. Jedoch kommt es durch das nur lückenhaft vorhandene Magnetfeld des Mondes immer wieder zu Einschlägen von Mikrometeoriten, welche sich durch ihre teils enorme kinetische Energie selbst und auch die vom Aufprall betroffene Mondoberfläche „zertrümmern, ja regelrecht pulverisieren“³. Das dabei entstehende Pulver wird Regolith genannt. Dieses Pulver breitet sich durch weitere umliegende Einschläge auf der Mondoberfläche aus und bedeckt weite Areale teils mehrere Meter hoch. Die Größe dieser Körner kann von der Größe eines Staubkorns bis hin zu kleinen kieseln variieren. Durch die verzögerte Erkaltung nach dem Impact können auch glasscherbenartige Fragmente/Splitter entstehen, welche scharfkantig sein können. Durch die fehlenden Winde auf dem Mond findet keine Erosion statt. Das heißt, die Regolithkörner werden nicht wie die Sandkörner auf der Erde mit der Zeit rundgeschliffen, sondern sie bleiben nach ihrer Entstehung in einer eckigen und scharfkantigen Form. Dieser raue „Staub“ und die scharfkantigen Splitter stellen eine große Gefahr für den Menschen, sowie für Bauwerke und selbst Metallkonstruktionen dar, da der Menschliche Körper empfindlich auf Mondregolith reagiert und selbst Metall, eines der robustesten Materialien, welches wir auf der Erde kennen, von diesem angegriffen und abgenutzt wird. Da Regolith auf dem Mond so gut wie überall vorhanden ist, muss dies bei der Planung von Standorten und Transportwegen bedacht werden. Es müssen zum Beispiel Landeplätze für Raketen gut befestigt oder weit außerhalb der Stadt positioniert sein, da der herumliegende Regolith durch

³ Wikipedia, „Entstehung des Mondregolith“, siehe Quelle Nr. 21

Raketentriebwerke bei Landemanövern sehr schnell beschleunigt wird, was umliegende Strukturen beschädigen und Menschen verletzen könnte.

2.2 Anforderungen an die Stadt

Als nächstes ist die Überlegung sinnvoll, welche Anforderungen an die Stadt gestellt werden müssen. Dazu muss zunächst definiert sein, wie viele Menschen die Stadt auf dem Mond beherbergen soll. Aufgrund der besonderen Umstände ist bereits klar, dass die zu planende Stadt eher klein wird. Allgemein werden Städte ab 5.000 Einwohnern als Kleinstädte kategorisiert. Laut der Universität Zürich, Institut für Evolutionsbiologie und Umweltwissenschaften⁴, werden mindestens 5.000 Menschen benötigt, um genügend genetische Vielfalt für den Fortbestand einer Population zu sichern. Die Stadt auf dem Mond soll also aus den vorgenannten Gründen eine Kleinstadt mit rund 5.000 Einwohnern werden.

Aufgrund der schwierigen Terrain-Bedingungen ist eine gute Organisation wichtig, weshalb ein Sektorenmodell hier von Vorteil ist. Die Stadt könnte man in zwei grundlegende Sektoren einteilen: einen Wohnsektor und einen Versorgungssektor.

2.2.1 Wohnraum

Wenn man sich an vorhandenen Konzepten wie der ISS orientiert, stehen jedem Einwohner etwa 10 m² zur Verfügung. Da diese Zahl allerdings nur für verhältnismäßig kurze Aufenthalte gedacht ist, muss man für eine längerfristige Bewohnung etwas mehr einplanen, damit sich die Einwohner wohl fühlen. Eine durchschnittliche Person in Deutschland lebte im Jahr 2010 auf rund 45 m²,⁵ was auf dem Mond allerdings vorerst nicht realistisch umsetzbar ist. Da auf der Wohnfläche dennoch ein Bad, eine Küche, ein Schlafabteil und ein Wohnabteil Platz finden müssen, erscheinen 20 m² angemessener, in Anbetracht der besonderen Umstände müssen leider auch beim Thema Wohnfläche Abstriche gemacht werden. Für 5.000 Einwohner muss die geplante Stadt also 100.000 m² an Wohnfläche beinhalten.⁶

2.2.2 Luftaufbereitung

5.000 Personen benötigen eine Menge Luft zum Atmen. Da diese auf dem Mond nicht wie auf der Erde frei vorhanden ist, muss sie auf anderem Wege zugeführt oder

⁴ Universität Zürich, Fachbericht Populationsökologie, siehe Quelle Nr. 23

⁵ Statista, „Wohnfläche je Einwohner in Wohnungen in Deutschland von 1991 bis 2022“, siehe Quelle Nr. 16

⁶ nach Rechnung A-I, siehe Anhang 5.1

erzeugt werden. Da meine Stadt auf dem Mond möglichst eigenständig sein und unabhängig von der Erde funktionieren soll, wird so viel Luft wie möglich in der Stadt selbst erzeugt. Falls ein Teil davon unter keinen vertretbaren Umständen auf dem Mond hergestellt werden kann, wäre eine Anlieferung von der Erde zwar nicht optimal, aber tolerierbar. Bei einer durchschnittlichen Person ist von einem Atemminutenvolumen von rund 8 l/min auszugehen⁷. Bei 5.000 Einwohnern erfordert die Stadt folglich $57,6 \cdot 10^6$ l/d.⁸ Da Atemluft im Idealfall zu 21% aus Sauerstoff besteht, muss pro Tag etwa $12 \cdot 10^6$ l Sauerstoff erzeugt werden,⁹ wofür in der Stadt oder außerhalb auch genügend Platz vorhanden sein muss

2.2.3 Wasserversorgung

Auch sehr wichtig für das menschliche Überleben ist Wasser, deswegen auch oft „Stoff des Lebens“ genannt. Generell gilt: Eine Person sollte pro Tag etwa zwei bis drei Liter Wasser zu sich nehmen. Natürlich fällt indirekt weiterer Verbrauch an, etwa durch Kochen oder Duschen, die direkte Aufnahme allein erfordert bei 5.000 Einwohnern jedoch rund 10.000 l/d Wasser,¹⁰ welche es zu produzieren und recyceln gilt. Auch hierfür muss im Versorgungssektor genügend Platz sein und entsprechende Gebäude müssen errichtet werden.

2.2.4 Nahrungsproduktion

Neben Wasser werden natürlich auch Unmengen an Nahrung benötigt. Laut der ESA benötigt ein Astronaut auf der ISS etwa 2.000 kcal/d¹¹, das entspricht rund 8,3 MJ. Dieser Wert ist auf Astronauten auf der ISS ausgelegt, welche neben Forschungsarbeit auch sportlich sehr aktiv sein müssen, da sie sonst Muskeln abbauen. Er sollte also für einen Durchschnittsmensch bei moderater Aktivität genügen. Auf die gesamte Population gerechnet sind das 10^7 kcal/d.¹² Das Gebiet, auf dem diese Menge an Nahrung produziert wird, wird im Versorgungssektor liegen.

⁷ Wikipedia, „Atemminutenvolumen“, siehe Quelle Nr. 19

⁸ nach Rechnung A-IIb, siehe Anhang 5.1

⁹ nach Rechnung A-III, siehe Anhang 5.1

¹⁰ nach Rechnung A-IV, siehe Anhang 5.1

¹¹ ESA, „Essen im All“, siehe Quelle Nr. 4

¹² nach Rechnung A-V, siehe Anhang 5.1

2.2.5 Stromversorgung

Für die Stadt am vielleicht wichtigsten ist Strom. Laut einer Studie lag der Pro-Kopf-Stromverbrauch in Deutschland im Jahr 2022 bei etwa 6,5 MWh.¹³ Da in einer Stadt auf dem Mond nicht der gleiche Lebensstandard wie auf der Erde ermöglicht werden kann, ist der Stromverbrauch pro Kopf dadurch niedriger. Allerdings werden für grundlegende Prozesse in der Stadt wie Sauerstoff-, Wasser- und Nahrungsproduktion auch enorme Mengen an Strom benötigt, weshalb diese Zahl durchaus gerechtfertigt, wenn nicht sogar zu knapp ist. Für 5.000 Einwohner und andere Prozesse kann man schätzungsweise von einem jährlichen Stromverbrauch von 32,5 GWh als Anfangswert ausgehen.¹⁴

2.2.6 Bildung

Gute Bildung ist bekanntlich die Stütze einer Gesellschaft. Deswegen darf sie auch auf dem Mond nicht vernachlässigt werden. Es braucht Lehrkräfte, die Wissen vermitteln, sowie einen passenden Ort dazu. Entweder extra darauf ausgerichtete Bildungseinrichtungen wie Schulen und Universitäten, oder aber Heimunterricht in der eigenen Unterkunft.

2.2.7 Forschungseinrichtungen

Ein für mich sehr wichtiger Punkt ist die Forschung. Wegen der vorzüglichen Lage und Eigenschaften des Mondes eignet sich die „Rückseite“ des Mondes, also die erdabgewandte Seite, besonders, um wissenschaftliche Forschung zu betreiben. Durch die nicht vorhandene Lichtverschmutzung lässt sich der Weltraum auf dieser Mondseite viel besser beobachten als auf der Erde. Durch andere Umweltverhältnisse wie zum Beispiel Gravitation, Druck und Strahlung lassen sich neue Phänomene beobachten und einige Experimente leichter durchführen. Der Mond ermöglicht der Menschheit deshalb auf jeden Fall eine neue Sichtweise zu bekommen und das Universum sowie sich selbst besser zu verstehen.

2.2.8 Logistik & Kommunikation

Die bisher erwähnten Anforderungen sind zwar an sich bedeutsam, ohne eine gute Logistik/Infrastruktur kann eine Stadt jedoch nicht funktionieren. Verbindungen sind sowohl zwischen den einzelnen Modulen im Versorgungssektor nötig, als auch

¹³ Statista, „Pro-Kopf-Stromverbrauch in Deutschland in den Jahren 1995 bis 2022“, siehe Quelle Nr. 15

¹⁴ nach Rechnung A-VI, siehe Anhang 5.1

zwischen den beiden Sektoren. Die anderen Anforderungsbereiche stellen für die Infrastruktur eine große Herausforderung dar, da die Atemluft, das Wasser und die Nahrung innerhalb der Stadt zu ihrem Bestimmungsort transportiert werden müssen. Es müssen also Gase, Flüssigkeiten und Feststoffe transportiert werden. Für die ersten beiden Aggregatzustände könnte man eine Art Rohrsystem konstruieren, für Feststoffe sowie den Personentransport bieten sich Fahrzeuge wie zum Beispiel Rover oder Schienensysteme an.

Ein ähnliches Problem stellt die Kommunikation dar. Zum einen zur Erde, zum anderen aber auch auf dem Mond selbst, beispielsweise zwischen einzelnen Stationen. Zur Langstreckenkommunikation mit der Erde könnte man Satelliten benutzen, die im Mondorbit stationiert sind und Kontakt zu Satelliten um die Erde haben. Diese können dann auch zur cis-lunaren Verständigung genutzt werden. Man könnte auch mithilfe statischer Leitungen kommunizieren, wie zum Beispiel die Unterseekabel auf der Erde, möglicherweise mit fortschrittlichen Technologien wie Glasfaser.

2.3 Bewältigung der lebensfeindlichen Umweltbedingungen

2.3.1 Atmosphäre

Zur Schaffung einer für den Menschen atembaren Luft scheidet die Formung einer künstlichen Atmosphäre aus. Dies würde sehr fortschrittliche Terraforming-Lösungen erfordern, die in den nächsten Jahrhunderten nicht realisierbar sind, sowie unabsehbare Auswirkungen auf das Erde-Mond-Verhältnis hätten. Es bleibt also noch die Überlegung, die Stadt oder einzelne Stadtteile unter Kuppelbauten zu errichten, in denen eine erdähnliche Atmosphäre herrscht. Da diese Lösung momentan jedoch ziemlich unrealistisch erscheint, ist sie nur die zweite Wahl. Realistischer ist da die Ausstattung der einzelnen Wohneinheiten und Gebäuden mit Atemluft, eventuell auch die Abdichtung häufig benutzter Tunnel oder Straßen. Alle mit Luft versorgten Räume/Bereiche müssten demzufolge an ein stadt- oder sogar mondweites Versorgungsnetz angeschlossen werden. Dieses Versorgungsnetz transportiert dann Luft und Wasser und ist dementsprechend der kritischste Teil der Infrastruktur. Deshalb muss man sich zwingend Gedanken um die Verbindung vom Versorgungssektor mit dem Wohnsektor und den einzelnen Gebäuden machen. Wenn dieser Transportweg wegen technischer Mängel, Sabotage oder kosmischer Zwischenfälle ausfällt, ist die gesamte Bevölkerung der Stadt so gut wie tot. Um solch einem Ausfall vorzubeugen oder diesen abzuschwächen lohnt es, sich Gedanken über

die Topologie dieses Versorgungsnetzes zu machen.¹⁵ Eine Bus-Struktur scheidet schnell aus, da beim Ausfall einer Verbindung das gesamte Netz betroffen ist. Gleiches gilt für eine Baumstruktur, folglich bleibt als letzte betrachtenswerte Alternative die überaus bekannte und auf der Erde zurecht oft verbaute Sternstruktur, beziehungsweise eine Stern-Stern-Struktur, welche mehrere einzelne Sternstrukturen verbindet. Diese Art von Netzwerktopologie ist am resistentesten gegenüber oben genannten Ereignissen, weswegen sie in meiner Stadt für das Versorgungsnetz verwendet wird. Man könnte beispielsweise vom Versorgungssektor eine direkte Leitung (Punkt-zu-Punkt-Topologie) zu einem Verteiler am Rand der Stadt legen. Diesen Verteiler könnte man auch gegen die Öffentlichkeit abriegeln, um versehentliche und absichtliche Zwischenfälle zu vermeiden. Von diesem Verteiler eignet sich eine Sternstruktur zu einzelnen Stadtteilen hin, von deren Zentren wiederum Sternstrukturen zu den einzelnen Gebäuden ausgehen. So wird die maximale Resilienz des Netzes gesichert.

2.3.2 Schwerkraft

Wie oben bereits genannt stellt die geringe Schwerkraft weniger ein Problem als eine Chance dar. Durch sie werden Bauten weniger belastet als auf der Erde. Man kann folglich größer, höher und gewagter bauen. Es eröffnen sich so ganz neue Möglichkeiten der Konstruktion. Dennoch müssen verschiedenste Aspekte unseres Lebens neu durchdacht werden, die auf der Erde als selbstverständlich gelten. Beispielsweise bauen Menschen auf dem Mond aufgrund der verringerten Schwerkraft schneller Muskeln ab als auf der Erde, weshalb verstärktes Training für alle Bewohner obligatorisch ist. Abläufe im Versorgungssektor müssen an die neue Schwerkraft angepasst werden. Es muss untersucht werden, ob diese unter den Bedingungen des Mondes überhaupt möglich sind, oder neue Prozesse erfunden werden müssen, unter anderem zur Nutzpflanzen- und Nutztierhaltung oder Luft- und Wasserproduktion. Eventuelle, auf der Schwerkraft basierende Konzepte wie zum Beispiel einige Methoden der Energiespeicherung müssten auch angepasst oder ersetzt werden, da zum Beispiel die Methode der Speicherung durch Lageenergie weniger Effektiv ist.

2.3.3 Kosmische Strahlung

Neben der fehlenden Atmosphäre ist die kosmische Strahlung eine sehr große Herausforderung. Da der Mond keine Atmosphäre besitzt, können verschiedenste

¹⁵ Wikipedia, „Netztopologie“, siehe Quelle Nr. 22

Teilchen (aus dem heimischen Sonnenwind oder einem Gammablitz aus den Tiefen des Alls) ungehindert auf die Mondoberfläche auftreffen. Aber nicht nur wichtige Experimente der Forschung sind von zufälligen Partikeln betroffen, auch für Mensch und Tier sind die meisten eher schädlich. Da die Strahlungsdosis auf der Mondoberfläche wie oben geklärt dermaßen hoch ist, ist von einem längeren Aufenthalt dort abzuraten. Selbst mit aktuellen Schutzanzügen leidet die Gesundheit von Lebewesen. Die einzelnen Wohneinheiten und öffentlichen Gebäude müssen also gegen solche Strahlung abgeschirmt werden.

Eine Möglichkeit wäre, die containerähnlichen Einheiten mithilfe von 3d-Druck-Verfahren¹⁶ unter einer Schicht Mondregolith auf der Mondoberfläche zu vergraben. Dieses Verfahren wird von der ESA derzeit als realistisch bewertet. Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens ist, dass nur 1% des zum Bau benötigten Materials (Magnesiumoxid und Salz) von der Erde geliefert werden müsste, die übrigen 99% bestehen aus dem überall verfügbaren Mondregolith, welcher von Fahrzeugen gesammelt werden kann. Praktisch ist, dass dieser trotz seiner Rauheit doppelt so fein wie der Sandstaub auf der Erde ist. Dadurch wird der daraus entstehende Mondbeton rund zehn Mal fester als Beton auf der Erde. Da zusätzlich keine Atmosphäre vorhanden ist, die den Regolithbeton angreift, ist er auch überaus langlebig. Die über den Gebäuden entstehende Regolithschicht kann laut der ESA gegen kosmische Strahlung abschirmen, sowie dem Druckunterschied durch sein Eigengewicht standhalten.

Eine ebenso vielversprechende Lösung ist das Verlagern der Stationen unter die Oberfläche. Man würde natürlich keine Aushebungen starten, sondern sich dem Terrain anpassen und auf natürliche Höhlenvorkommen setzen, welche auf dem Mond durch frühere vulkanische Aktivität durchaus auch vorhanden sind. Solche sind meist mehrere Kilometer lang und besitzen eine Decke von mehreren hundert Metern Dicke. Sie bieten folglich genügend Schutz gegenüber Strahlung und Mikrometeoriten. Zusätzlich wird der Betrieb von Aufzügen zum Transport durch die geringe Schwerkraft des Mondes begünstigt.

Eine Kombination der beiden Bauweisen ist vorzuziehen, um maximale Praktikabilität und Effizienz zu ermöglichen.

¹⁶ Forschung und Wissen, „Wie lässt sich der Bau einer Mondbasis realisieren?“, siehe Quelle Nr. 6

2.3.4 Temperaturschwankungen

Durch die extremen Temperaturen und ihre Schwankungen auf dem Mond ist jegliches Baumaterial gefährdet. Normalbeton ist zwar relativ hitzebeständig¹⁷, auf dem Mond hätte dieser aber voraussichtlich Nachteile. Dank der besonderen Eigenschaften des Mondregolith ist der Regolithbeton an sich bereits sehr hitzebeständig, Forscher haben allerdings eine Methode gefunden, diese Eigenschaft noch zu verstärken.¹⁸ Indem man dem Betongemisch menschlichen Harnstoff beimischt, kann die Festigkeit und Temperaturbeständigkeit erhöht werden. Andere Methoden sind gerade noch in der Forschung, sollten aber in Zukunft weitere hilfreiche Ergebnisse liefern, dieses Problem zu lösen.

2.3.5 Tag-Nacht-Zyklus

Auf dem Mond dauert eine Hälfte des Tag-Nacht-Zyklus' zwei Wochen. Um solch einen Langen Zyklus zu überstehen, müssen radikale Maßnahmen ergriffen werden. Da die Konstruktion einer passenden Gesellschaft aufgrund der menschlichen Natur außer Frage steht, ist der Erdrhythmus zwingend zu simulieren. Während der Sonneneinstrahlung ist der Tag quasi wie auf der Erde. Die Nacht wird allerdings zum Problem. Hier müsste man eventuelle Fenster/Gläser abdecken, um die Sonneneinstrahlung zu blockieren. Während dem Ausbleiben der Sonne gibt es mit der Nacht kein Problem. Am Tag muss allerdings künstliche Beleuchtung in Wohneinheiten/Gebäuden und auf öffentlichen Wegen angebracht werden, die alle synchronisiert sein müssen. Alternativ könnte man in Zukunft mit fortschrittlichen Methoden eventuell riesige Spiegel so aufstellen, dass sie während den Dunkelperioden das Sonnenlicht der beschienenen Mondseite auf die jeweils andere strahlen. Spiegel solchen Ausmaßes sind jedoch derzeit und in naher Zukunft nicht realistisch umsetzbar, zumal zur Konstruktion schon eine funktionierende Infrastruktur auf dem Mond vorhanden sein müsste.

Ein weiteres Problem, das durch solch einen langen Zyklus entsteht, ist das der Energie. Da die Stadt hauptsächlich auf Solarenergie sowie Energiespeichern aufbaut, ist ein so langes Ausbleiben des Sonnenlichts fatal. Günstig gelegen wären hier bestimmte Zonen an den Polregionen, die sogenannten „peaks of eternal

¹⁷ Reiter Spezial-Baustoffe, „Feuerbeton – der hitzebeständige Beton“, siehe Quelle Nr. 11

¹⁸ Pilehvar, Shima, et al., „Utilization of urea as an accessible superplasticizer on the moon for lunar geopolymer mixtures“, siehe Quelle Nr. 10

light“ (PEL)¹⁹, welche nahezu immer von Sonnenlicht beschienen werden. Man müsste allerdings das stadtweite Stromnetz zu den Polen erweitern, oder die Stadt selbst nahe den Polen positionieren. Auch müsste man überprüfen, ob die Fläche und Bescheinung ausreicht oder zusätzlich andere Energiequellen genutzt werden müssen.

2.3.6 Mondregolith

Wie bereits geäußert ist der Mondregolith extrem rau und scharfkantig, weshalb eine Befestigung von Straßen und Wegen zwingend notwendig ist, damit kein Mondstaub aufgewirbelt wird. Landeplätze für Raketen oder Sonden müssen entweder gut abgeschirmt werden oder weit außerhalb der Stadt positioniert werden. Beim Eintritt in Gebäude oder habitable Strukturen müssen genaueste Säuberungsmaßnahmen getroffen werden, sodass der Mondstaub vor dem Abnehmen der Raumanzüge gründlich entfernt wird. Kritische Teile der Ausrüstung wie Werkzeuge, Anzüge, Fahrzeuggetriebe und vieles mehr müssen regelmäßig gesäubert und auf Funktionalität und Integrität überprüft werden. Während des Baus der Stadt ist es wichtig, dass Mondregolith von Bereichen außerhalb der Stadt entnommen wird, da sonst Gefahren durch Gruben und Löcher innerhalb der Stadt entstehen könnten.

2.4 Standortwahl

Die Wahl des Standorts ist ein essenzieller Teil der Stadtplanung und muss gerade unter den speziellen Umständen auf dem Mond sehr sorgsam getroffen werden. Es müssen Standorte für den Wohnsektor, den Versorgungssektor und eventuelle außerhalb liegende Einrichtungen wie zum Beispiel Forschungsanlagen und Solarfarmen gefunden werden, welche nicht nur einzeln, sondern auch in Beziehung zueinander abgewägt werden müssen.

Die Wahl könnte beispielsweise auf Basis dieser Kriterien getroffen werden: Wasservorkommen, Höhlenvorkommen, Sonneneinstrahlung, kosmische Strahlungsintensität, Magnetfeldstärke, Fläche, Ebenheit, Temperatur, Erdsichtbarkeit und eventuell Helium-3-Konzentration. Im Folgenden werden oft herangezogene Standorte anhand dieser Kriterien verglichen.

	Clavius-Krater (~60°S ~15°W)	Mare Tranquillitatis (~10°N ~30°W)
--	---------------------------------	---------------------------------------

¹⁹ Wikipedia, „Berge des ewigen Lichts“, siehe Quelle Nr. 20

<u>Wasservorkommen</u> Brown University, „Researchers create first global map of water in Moon's soil“ (siehe Quelle Nr. 2)	Wie man an der Karte sehen kann, besitzt der Clavius-Krater mit durchschnittlich 250 ppm eine bestenfalls niedrige H ₂ O-Konzentration im Mondregolith. Allerdings begünstigt seine Lage die Situation enorm, da die Konzentration am nahegelegenen Südpol zwar immer noch klein, jedoch bedeutend höher ist.	Im Vergleich zum Clavius- Krater ist die H ₂ O- Konzentration im Mare Tranquillitatis praktisch gleich null, und er ist auch nicht in Reichweite größerer Wasservorkommen, es müssten, wenn überhaupt möglich, sehr lange Transportwege eingerrichtet werden, um an Wasser zu gelangen.
<u>Höhlenvorkommen</u> Slank, Rachel Ann, „Investigation of Lunar Subsurface Cavities using Thermal Inertia and Temperature Maximum to Minimum Ratios“ (siehe Quelle Nr. 14)	Da das Identifizieren und Verifizieren von Höhlen aus weiter Entfernung relativ schwer ist, sind Höhlenvorkommen auf der Mondoberfläche noch fast gänzlich unkartografiert. Trotzdem gibt es schon jetzt einige Hinweise auf solche. Im Clavius-Krater kann man allerdings eher nicht mit Höhlenstrukturen rechnen, da hier überwiegend Impaktaktivität herrscht, sich also hauptsächlich kleinere Krater im Hauptkrater bilden.	Trotz der schwierigen Suche nach Höhlenvorkommen auf dem Mond wurden im Mare Tranquillitatis tatsächlich schon mehrere entdeckt und teilweise verifiziert. Dies lässt sich durch die frühere vulkanische Aktivität des Mondes erklären, die unter anderem in diesem Gebiet stark war.
<u>Sonnenbescheinung</u>	Da der Clavius-Krater relativ nah am Südpol des Mondes liegt, ist die Intensität des Sonnenlichts dort bedeutend schwächer als am Äquator. Allerdings liegen die schon beschriebenen PEL nah am Südpol, welche nahezu durchgängige Solarenergie garantieren.	Durch seine Lage am Äquator ist die Intensität des Sonnenlichts im Mare Tranquillitatis um einiges höher als im Clavius- Krater, jedoch gibt es leider den Zeitraum von zwei Wochen, in denen die Bescheinung ausbleibt und somit keine Solarenergie gewonnen werden kann.
<u>Magnetfeldstärke</u> Xie, Lianghai, et al., „Global Hall MHD Simulations of the Solar Wind Implantation Flux on the Lunar Surface“ (siehe Quelle Nr. 24)	Ein starkes Magnetfeld wie auf der Erde ist wichtig, um Partikel des Sonnenwindes und andere Strahlung abzuschirmen. Wie man dem Diagramm a) allerdings entnehmen	Wie beim Clavius-Krater ist das Magnetfeld über dem Mare Tranquillitatis mit etwa 5 nT auch sehr gering, hat also auch keine Auswirkung auf die Stadt.

	kann, ist das Magnetfeld über dem Clavius-Krater so schwach, dass es keine nennenswerten Auswirkungen auf unsere Stadt hat. Es kann eventuelle Strahlung also kaum abhalten.	
<u>Kosmische Strahlungsintensität</u> Xie, Lianghai, et al., „Global Hall MHD Simulations of the Solar Wind Implantation Flux on the Lunar Surface“ (siehe Quelle Nr. 24)	Wichtig für die Stadt ist außerdem die Menge an Teilchen kosmischer Strahlung, welche auf den Mond auftrifft. Diese wird in vorliegendem Diagramm mithilfe des „average number-flux“ angegeben. Dieser wird oft mit der Einheit „Teilchen/m ² /s“ angegeben und bezeichnet hier die Anzahl der Teilchen kosmischen Ursprungs, welche im jeweiligen Areal auftreten. Im Diagramm b) liegt der number-flux des Clavius-Kraters bei etwa 0,1, also moderat im Vergleich zum Rest des Mondes.	Beim Mare Tranquillitatis herrscht ein number-flux von etwa 0,25, was bedeutend höher ist. Hier ist die kosmische Strahlung also aggressiver.
<u>Fläche</u> Mondkarte, „Alle Mondformationen im Überblick“ (siehe Quelle Nr. 18)	Der Clavius-Krater hat einen Durchmesser von 230 km, besitzt also eine Fläche von ungefähr $41,5 \cdot 10^9 \text{ m}^2$, ²⁰ was mehr als genug Platz für den geplanten Umfang der Stadt ist.	Das Mare Tranquillitatis hat einen Durchmesser von 875 km. Es ist zwar nicht so rund wie der Clavius-Krater, gemittelt hat er aber eine Fläche von ungefähr $600 \cdot 10^9 \text{ m}^2$, ²¹ bietet somit also mehr Spielraum für Expansion.
<u>Ebenheit</u> Arizona State University, „Lunar Reconnaissance Orbiter Camera Quickmap, TerrainSlope Overlay“ (siehe Quelle Nr. 1)	Der Clavius-Krater ist relativ eben, hat aber in seinem Inneren mehrere kleinere Krater, welche allerdings nicht sehr viel Fläche einnehmen.	Das Mare-Tranquillitatis zeichnet sich durch seine überdurchschnittliche Ebenheit aus und besitzt wenige störende Elemente.
<u>Temperatur</u>	Die tatsächliche Temperatur variiert aufgrund des vier Wochen	Durch seine Lage am Äquator ist die Temperatur beim Mare

²⁰, nach Rechnung B-I, siehe Anhang 5.1

²¹, nach Rechnung B-II, siehe Anhang 5.1

	<p>langen Zyklus. Es lässt sich jedoch durch Überlegung feststellen, dass die Temperatur beim Clavius-Krater wegen der Lage nahe dem Südpol und somit geringeren Einfallswinkels sowohl niedriger, als auch stabiler ist, da die PEL ja größtenteils im Sonnenlicht stehen. Man kann sich also beim Schutz vor Temperatur auf ein Ende der Skala spezialisieren und muss sich nicht auf beide Extreme konzentrieren.</p>	<p>Tranquillitatis sehr extrem und sprunghaft, man muss sich also sowohl gegen extreme Kälte als auch Hitze schützen.</p>
Erdsichtbarkeit	<p>Die gegenseitige Sichtbarkeit ist eventuell für einige langstrecken-Kommunikationsmethoden ohne Satelliten wichtig. Da sich der Clavius-Krater auf der erd zugewandten Seite befindet, kann man ihn theoretisch immer von der Erde sehen und umgekehrt. Aufgrund der Libration wird es jedoch nicht immer möglich sein, den Krater von überall aus zu sehen, da dieser sich nahe dem Südpol des Mondes befindet.</p>	<p>Da sich das Mare Tranquillitatis ebenfalls auf der Nahseite befindet, gilt hier das gleiche. Durch seine Position am Äquator ist eine dauerhafte Sichtbarkeit aber garantiert.</p>
<p><u>Helium-3 Konzentration</u> Fa, Wenzhe, et al., „Global inventory of Helium-3 in lunar regoliths estimated by a multi-channel microwave radiometer on the Chang-E 1 lunar satellite“ (siehe Quelle Nr. 18)</p>	<p>Wie schon beschrieben ist Helium-3 für viele Wissenschaftsbereiche wichtig. Da es auf dem Mond in höherer Konzentration vorhanden ist, wäre es also profitabel, es zu sammeln und zur Erde zu transportieren oder auf dem Mond direkt zu verwenden. Deswegen lohnt es sich, bei der Standortwahl auch auf die dort vorfindbare Konzentration an Helium-3 zu achten. Im Clavius-</p>	<p>Wie man der Abbildung entnehmen kann, ist Helium-3 nur auf der Vorderseite des Mondes und vermehrt auf Höhe des Äquators vorhanden. Da das Mare Tranquillitatis auf ebendieser Höhe positioniert ist, gibt es dort folglich eine höhere Konzentration des begehrten Helium-3.</p>

	Krater ist sie eher gering, da wegen seiner Lage nahe dem Südpol der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen niedriger ist, sich dementsprechend auch weniger Teilchen bilden können.	
--	---	--

Wie zu sehen ist, hat jeder der Standorte seine Vor- und Nachteile. Allerdings sind die Nachteile des Clavius-Kraters für die Stadt weitestgehend unkritisch, weswegen seine Vorteile dadurch deutlich stärker gewichtet werden können. Letztendlich überwiegen die Vorzüge des Clavius-Kraters, hauptsächlich wegen seiner Nähe zu dem unverzichtbaren Südpol des Mondes. Diese Lage ist des Weiteren auch vorteilhaft, da der Weg zur Rückseite des Mondes deutlich kürzer ist, auf welcher sich ein Teleskop zur Beobachtung des Weltalls besonders eignet, da man dort vor jeglichem irdischen Störlicht und Funkverkehr geschützt ist. Die Datenübermittlung könnte dann über die Stadt auf der Mondvorderseite geschehen.

2.5 Wohnsektor

Wie erwähnt muss der Wohnsektor eine Mindestfläche von 100.000 m², also 0,1 km² für Wohneinheiten besitzen. Aufgeteilt wird diese Fläche des Wohnsektors in verschiedene Stadtteile, welche wiederum in einzelne Wohneinheiten möglicherweise unterschiedlicher Größe unterteilt sind. Allerdings reicht die Wohnfläche allein nicht aus. Neben Wohneinheiten gibt es in diesem Sektor auch Gebäude verschiedener Institutionen, wie zum Beispiel Bildungseinrichtungen, Gesundheitseinrichtungen, Supermärkte, Polizei und Feuerwehr, kulturelle Einrichtungen, religiöse Einrichtungen und Gemeinschaftszentren, welche zusätzlichen Platz benötigen und angemessen in der Stadt verteilt werden müssen.

Da eine Errichtung von Gebäuden direkt auf der Oberfläche wegen der kosmischen Strahlung ein Risiko für den Menschen darstellt, müssen Gebäude gut dagegen abgeschirmt werden. Eine Möglichkeit ist, wie schon beschrieben, containerartige Wohneinheiten auf oder in Mondregolith zu setzen, und dann mittels 3d-Druck-Verfahren eine Schicht Mondregolith darüber zu platzieren. Dieser schirmt die Strahlung durch seine Dicke ab. Für eventuelle Fenster oder sogar ganze Kuppelbauten muss noch getestet werden, ob herkömmliches, oder sogar aus Mondregolith hergestelltes Glas die Strahlung akzeptabel abhält oder ob diese durch die kleine Fläche bei Fenstern dennoch ein Problem darstellt.

Zunächst muss geklärt werden, welches Wirtschaftskonzept in der Stadt vorherrschen soll. Generell ist eine freie Marktwirtschaft die Idealvorstellung, allerdings könnten die speziellen Umstände auf dem Mond dafür sorgen, dass Wohlstand ungerecht verteilt sein wird, was zu einer Spaltung der Gesellschaft führt. Man könnte daher über ein bedingungsloses Grundeinkommen nachdenken. Es ist sowieso noch nicht klar, ob und in welcher Form Arbeitsplätze zur Verfügung gestellt werden können, und welchen Sinn Arbeiten in dieser besonderen Stadt und Gesellschaft hat, wenn überhaupt.

2.5.1 Bildung

Bildung ist der Grundstein einer funktionierenden Gesellschaft. Deswegen müssen Kinder auch in einer Mondstadt zur Schule gehen. Ob allerdings dedizierte Schulgebäude obligatorisch für eine ordentliche Bildung und sinnvolle Entscheidung sind, lässt sich diskutieren. Auf jeden Fall kann man aber mit Heimunterricht in den eigenen Wohneinheiten anfangen. Diese Unterrichtsform wäre ähnlich zum „Homeschooling“ während des Lockdowns der Covid-19-Pandemie, welchen ich selbst erlebt habe. Mir hat diese Form des Lernens zwar nicht gravierend geschadet, sie muss allerdings in Zukunft genauer getestet werden. Umsetzbar ist sie aber sicherlich.

Zusätzlich möchte ich diesen Abschnitt nutzen, um auf ein Thema aufmerksam zu machen, welches bei Kolonisationsplänen oft keine Beachtung findet. Vorweg bin ich mir bewusst, dass dieses Thema vorerst irrelevant für Pläne in unserem aktuellen Rahmen ist und bisher hauptsächlich in Werken spekulativer Science-Fiction Erwähnung gefunden hat. Dennoch möchte ich dieses ansprechen.

Kolonisation birgt immer eine Gefahr, welche vielleicht nicht sofort über eventuelle Kolonisten hereinbrechen wird, sich nach einigen Generationen jedoch als Gefährdung für die Menschheit herausstellen könnte. Ich meine die im beeindruckenden Werk spekulativer Evolution „All Tomorrows“ von C. M. Kosemen²² angesprochene identitäre Abspaltung der Marskolonisten von den Erdbewohnern und der darauffolgende interplanetare Krieg, welcher fast zur Auslöschung der Menschheit geführt hätte. Solch ein Szenario ist mit unseren derzeitigen Mitteln zwar ein wenig übertrieben, jedoch durchaus bedenkenswert. Dies ist der Grund, warum mir bei meiner Stadt auf dem Mond die Sichtbarkeit der Erde sowie eine besondere Anpassung des Lehrplans wichtig sind. Ich halte es für überaus wichtig, die Kolonisten

²² Kosemen, C.M., „All Tomorrows“, siehe Quelle Nr. 8

auf dem Mond an ihre Herkunft von der Erde zu erinnern, sowohl durch den täglichen Blick auf die Zuhausegebliebenen auf der Erde, als auch durch Erklärungen in entsprechendem Schulunterricht. Wie Kosemen schildert, können sich der Heimatplanet und die Kolonie schon nach einigen Generationen enorm auseinanderentwickeln, vielleicht genetisch nicht so extrem wie bei Kosemen, doch kulturell auf jeden Fall. Denn wie schon Dr. Brand in Christopher Nolans legendärem Werk „Interstellar“ aus dem Jahr 2014 anmerkte: „Wir haben immer über mutige Pioniere gesprochen, die sich ins Unbekannte aufmachen. Aber der Mut der Zurückgebliebenen ist ebenso groß.“

2.5.2 Gesundheit

Zum Erhalt der Gesundheit zählen sowohl Krankenhäuser zur Behandlung schwererer Komplikationen, also auch Apotheken zur Abholung von kleineren Medikamenten. Man könnte über eine Anlieferung der Medikamente über Drohnen oder Rover nachdenken, so könnte man den Platz für Apotheken sparen.

2.5.3 Versorgung

Wie Apotheken kann man auch Supermärkte durch ein Bestellsystem mit Anlieferung oder Abholung ersetzen, und somit Platz innerhalb der Stadt sparen, welcher im Clavius-Krater ohnehin sehr begrenzt ist. Die Lagerung aller Güter, sowohl gesundheitliche als auch leibliche, könnte am Stadtrand oder im Versorgungssektor selber erfolgen; am besten dezentralisiert, damit ein möglicher Unfall nicht das Ende der Mondstadt bedeutet.

2.5.4 Polizei & Feuerwehr

Generell gilt unter den extremen Umständen auf dem Mond, dass Brände oder andere Unfälle schlicht nicht passieren dürfen, da so gut wie jeder Teil des Systems von den anderen abhängig ist, und eine Fehlfunktion oder undichte Außenwand den ganzen jeweils angeschlossenen Bereich betrifft. Deshalb müssen solche Unfälle unter allen Umständen verhindert werden. Außerdem müssen Vorbereitungen für die Schadensminimierung getroffen werden, wie zum Beispiel Luftschleusen an jedem Eingang sowie die Trennung einzelner Systeme von einander und die Absonderung kritischer Systeme. Da Wasser in der Stadt sehr kostbar ist, ist es klüger, das annähernde Vakuum der Mondexosphäre im Brandfall auszunutzen und den betroffenen Bereich einfach abzuriegeln, das Feuer ersticken zu lassen und danach

alles, was noch zu retten ist, zu bergen. Natürlich muss es mindestens eine Station in der Stadt geben, welche Fahrzeuge für Reparaturen bereithält, beispielsweise außen an Gebäuden und Transportwegen. Für den Fall, dass solche Unfälle durch Sabotage ausgelöst wurden, aber auch wegen kleinerer Alltagsdelikte wie Beleidigung oder Diebstahl ist eine Polizei auch in einer Mondstadt unverzichtbar, da Missetaten nach heutigem Verständnis leider in der Natur des Menschen liegen, oder zumindest in einer Gesellschaft nicht verhinderbar sind. Es muss Polizeistationen geben, zu denen Bewohner gehen können, sowie einen Notruf, welchen diese wählen können.

2.5.5 Kultur

Wie unter dem Punkt Bildung schon angemerkt, ist die Erhaltung der Kultur sehr wichtig. Deshalb muss es in der Stadt auch Museen und Bibliotheken geben. Allerdings könnte man sich die modernen Technologien zunutze machen und Museen aus den Wohneinheiten heraus mittels VR-Technologie zugänglich machen. Man könnte dann Gemälde und Ausstellungsstücke in einer Art virtuellen Ausstellung präsentieren. Dies würde die Qualität des Erlebnisses nicht beeinträchtigen, gleichzeitig aber wertvollen Platz innerhalb der Stadt sparen.

2.5.6 Religion

Da ich selbst nicht gläubig bin und befürworte, Religion und Staat zu trennen, wird Religion keine große Rolle in der Stadt spielen. Jeder ist zwar frei, seine Religion auszuleben, solange es keinen anderen beeinträchtigt. Von der Stadt gefördert wird aber keine Glaubensrichtung. Dennoch ist Religion auf der Erde für eine gesunde Gesellschaft wichtig, in einer isolierten Stadt auf dem Mond muss dies allerdings noch untersucht werden.

2.5.7 Gemeinschaft

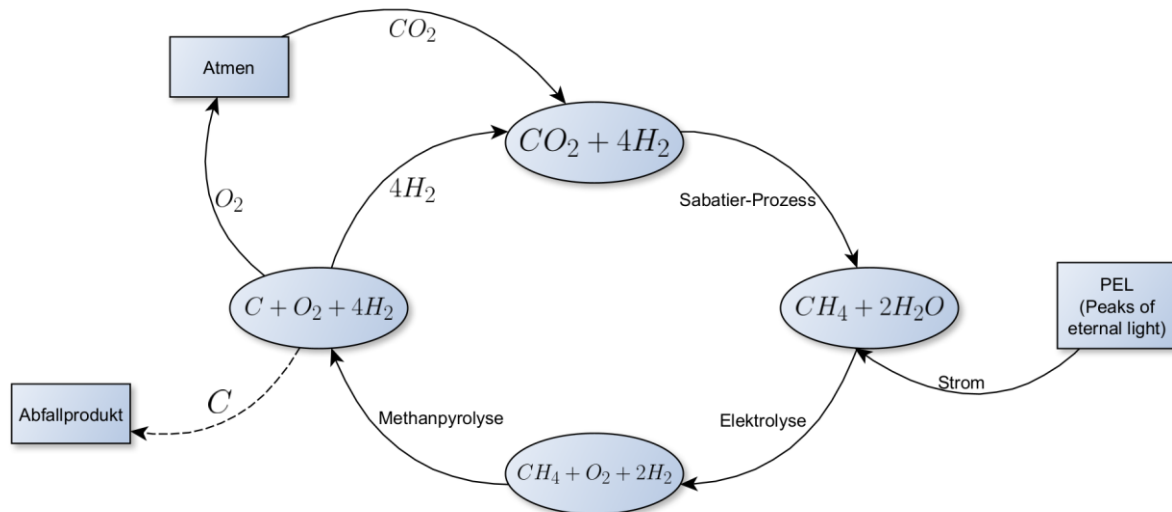
Gemeinschaftszentren sind für die mentale Gesundheit der Bewohner von Bedeutung, nicht zuletzt wegen der großen Entfernung zur Erde und den teilweise bedrückenden Umständen auf dem Mond. Sie ermöglichen den sozialen Austausch der Bewohner, Erholung und Entspannung in einer sonst so lebensfeindlichen Umgebung. In diesen Zentren könnten zum Beispiel Veranstaltungen oder Workshops stattfinden. Wichtig für einen Ausgleich zur kargen Mondoberfläche sind Parks, Grünflächen und Spazierwege, wie von der Erde gewohnt.

Zusätzlich könnte man in Gemeinschaftszentren mit Bildschirmen ausgekleidete Entspannungsräume einrichten, in denen sich Bewohner mit psychischen Beschwerden entspannen können. Es könnten Montagen von erdtypischen Erscheinungen gezeigt werden, beispielsweise die Natur mit ihren Wäldern, Tieren oder Wellen. Dies betreffend inspiriert hat mich eine Szene²³ aus dem Film „Ad Astra“ von James Gray aus dem Jahr 2019.

2.6 Versorgungssektor

2.6.1 Luftaufbereitung

Die Luftaufbereitung ist ein sehr komplexes Thema. Der eigentliche chemische Prozess ist jedoch recht gut planbar, durch Verkettung mehrerer weit verbreiteter Verfahren entsteht folgender Teilkreislauf:



Durch den Atemprozess entsteht Kohlenstoffdioxid. Zusammen mit Wasserstoff, welcher später aus dem Kreislauf entsteht, wird es mithilfe des Sabatier-Prozesses zu Methan und Wasser umgewandelt. Nun ist das Ziel, Sauerstoff und Wasserstoff zu trennen, was durch eine Elektrolyse erreicht werden kann. Hierzu wird allerdings elektrischer Strom benötigt, welcher durch die Solaranlagen auf den PEL zugeführt wird. Nun muss noch das Methan gespalten werden, um die erforderliche Menge an Wasserstoff zu erhalten, eine Methanpyrolyse schafft hier Abhilfe. Nun hat man Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff getrennt. Der Sauerstoff wird abgeführt und mit Stickstoff zu Atemgas vermischt. Der Wasserstoff wird wie anfangs beschrieben wieder für den Kreislauf benötigt. Der verbleibende Kohlenstoff ist ein Abfallprodukt,

²³ Filmausschnitt YouTube, „Ad Astra – Comfort Room Scenes“, siehe Quelle Nr. 17

kann aber für andere Prozesse weiterverwendet werden, beispielsweise zur Herstellung von Kohlefaserverbundwerkstoffen, Kohlenstoffnanoröhren, aber auch zur Energieerzeugung in Form von Graphit. Solange eine konstante Zufuhr von elektrischem Strom und Kohlenstoffdioxid sowie ein Abtransport des entstehenden Kohlenstoffs gesichert ist, kann dieser Kreislauf betrieben werden und somit eine Versorgung der Stadt mit Atemluft gesichert werden. Durch die wenigen äußerlichen Abhängigkeiten sowie der Natur des menschlichen Atmens ist dieses System nahezu beliebig skalierbar, auch auf die erforderlichen $12 \cdot 10^6$ l/d Sauerstoff.

2.6.2 Wasseraufbereitung

Bei der Besiedlung der Mondstadt kann wegen der hohen Transportkosten anfänglich nur bedingt Wasser von der Erde mitgenommen werden. Während dem laufenden Betrieb der Stadt wird Wasser dazugewonnen, indem Eis aus den sogenannten „permanently shadowed regions“ (PSR) abgebaut und geschmolzen wird. Dennoch ist das vorhandene Wasser extrem begrenzt, weswegen sehr sparsam damit umgegangen werden muss. Deshalb ist eine möglichst hohe Recyclingquote erwünscht. Die NASA hat es auf der ISS mit ihrem „Environmental Control and Life Support System“ (ECLSS) geschafft, eine Quote von 98% Recycling zu etablieren.²⁴ Das ECLSS besteht aus drei wesentlichen Subsystemen. Zum einen dem „urine processor assembly“ (UPA), welcher dem menschlichen Urin per Vakuumdestillation das Wasser entzieht. Neben dem extrahierten Wasser enthält die Urinsalzlösung auch noch etwas Wasser, weshalb die Lösung in ein weiteres Subsystem überführt wird, dem sogenannten „brine processor assembly“ (BPA). Dieser entzieht der Lösung durch Membranfiltration und Luftbestrahlung das restliche enthaltene Wasser in Form von Wasserdampf, welcher mit herkömmlichen Mitteln aufgenommen werden kann. Jegliches vom System recycelte Wasser wird vor dem erneuten Verbrauch durch den „water processor assembly“ (WPA) gelassen, welcher mithilfe von spezialisierten Filtern und Zugaben extrem sauberes Wasser herstellt. Laut NASA ist jenes Wasser sogar um einiges sauberer als das Wasser, welches auf der Erde getrunken wird. Ein nahezu verlustfreier Wasserkreislauf kann also auch auf dem Mond gewährt werden. Wenn einmal genügend Wasser im Versorgungssystem gesammelt ist, sollte es durch die hohe Recyclingquote von 98% relativ einfach sein, den Wasserkreislauf aufrechtzuerhalten, da pro Tag nur etwa 200 Liter Wasser abgebaut werden müssen.

²⁴ NASA, „NASA Achieves Water Recovery Milestone on International Space Station“, siehe Quelle Nr. 9

Es ist jedoch unklar, ob dieses Unterfangen in diesem Anwendungsfall tatsächlich funktionieren kann, da entsprechende Verfahren zur Wasserextraktion aus Mondregolith und „water-equivalent-hydrogen“ (WEH) noch nicht ausreichend getestet sind. Es kann also zum jetzigen Zeitpunkt keine Aussage getroffen werden, ob die Wasserversorgung der Stadt ohne Importe von der Erde langfristig aufrechterhalten werden kann. Jedoch lässt der menschliche Drang nach Innovation auf eine weitere Erhöhung der Recyclingquote in Richtung 100% im nächsten Jahrhundert hoffen.

2.6.3 Nahrungsproduktion

Wie berechnet, müssen für die Stadt pro Tag etwa 10^7 kcal/d produziert werden. Um diese Zahl ohne Importe von der Erde zu erreichen, ist es erforderlich, Pflanzen anzubauen oder auch Tiere zu halten. Wegen den überaus komplexen Bedingungen auf dem Mond, sowie dem enormen Ressourcenverbrauch von Nutztieren ist eine rein pflanzliche Ernährung inklusive ausgleichender Zusatzpräparate wahrscheinlicher. Allerdings gilt es zu überprüfen, ob eine solche Kalorienmenge allein durch Pflanzen gedeckt werden kann. Potentiell infrage kommende Getreidesorten wären zum Beispiel Weizen, Gerste, Reis und Quinoa, hauptsächlich wegen ihres hohen Nährwertes und ihrer relativ einfachen Kultivierbarkeit. Konkret umsetzen könnte man den Anbau mithilfe hydroponischer (wasser- statt erdbasierte Anpflanzung) Systeme, da auf dem Mond keine Erde vorhanden ist und der Mondregolith sehr unfruchtbar ist. Nun stellt sich die Frage, ob der geforderte Kalorienbedarf mithilfe fortschrittlicher Landwirtschaftstechnologie gedeckt werden kann. Diese Fragestellung ist sehr komplex und sprengt den Rahmen dieser Seminararbeit. Dennoch kann für Weizen eine Beispielrechnung durchgeführt werden. Bei herkömmlichen Anbaumethoden ist mit einer Erntemenge von etwa $700 \text{ g/m}^2/\text{a}$ zu rechnen.²⁵ Der Kaloriengehalt von Weizen liegt bei etwa $0,33 \text{ kcal/g}$.²⁶ Für die Stadt benötigt werden $3,65 \cdot 10^9 \text{ kcal/a}$.²⁷ Nach Berechnung beträgt die zum Anbau benötigte Fläche rund $15,8 \cdot 10^6 \text{ m}^2$,²⁸ was im Vergleich zur Wohnfläche von $0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ enorm ist.²⁹ Mit großzügigem Puffer beträgt die benötigte Gesamtfläche für die Stadt etwa $16 \cdot 10^6 \text{ m}^2$.³⁰ Da der Clavius-Krater eine

²⁵ Gourmetbauer, „Anbaufläche, Erntemenge und Kalorien — Wieviel Fläche braucht man zur Selbstversorgung aus dem eigenen Garten?“, siehe Quelle Nr. 7

²⁶ Deutsches Ernährungsberatungs- und -Informationsnetz, „Nährwerteangaben Weizen roh“, siehe Quelle Nr. 3

²⁷ nach Rechnung C-IIa, siehe Anhang 5.1

²⁸ nach Rechnung C-IIb, siehe Anhang 5.1

²⁹ nach Rechnung D-Ia, siehe Anhang 5.1

³⁰ nach Rechnung D-Ib, siehe Anhang 5.1

Fläche von etwa $41.500 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ besitzt, ist das Unterfangen zumindest theoretisch auf jeden Fall möglich.³¹ Anders als befürchtet findet die gesamte Stadt inklusive Versorgungssektor gänzlich im Clavius-Krater Platz, es ist sogar noch 99,96% der Fläche für eine eventuelle Erweiterung übrig.³² Dass jedoch so eine Menge an Hydroponikkulturen aufrechterhalten werden kann, ist zu bestreiten, obwohl es auf in der Theorie klar möglich ist, die Bevölkerung mit genügend Kalorien zu versorgen.

2.6.4 Stromversorgung

Zur Stromversorgung war ursprünglich geplant, eine Beispielrechnung durchzuführen. Dazu hätte ich die zur Stromgewinnung verfügbare Fläche an den PEL aufaddiert und mit der dort durchschnittlichen Strahlungsintensität verrechnet, womit ich einen groben Überschlagswert bekommen hätte. Da die PEL noch sehr unerforscht sind, gibt es so gut wie keine genauen Daten dazu, weswegen so eine Beispielrechnung leider nicht möglich ist. Ein einziger Anhaltspunkt sind die Daten aus einer wissenschaftlichen Publikation³³, welche aber leider keine sinnvolle Verwendung möglich machen. Falls jedoch die Stromgewinnung durch Solarenergie nicht ausreichen sollte, was bei einem Energieverbrauch von 32,5 GWh pro Jahr nicht unwahrscheinlich ist, kann auf alternative Methoden zurückgegriffen werden, beispielsweise die Kernenergie, Radioisotopgeneratoren oder thermoelektrische Generatoren, also das zunutze Machen des natürlichen Temperaturunterschieds auf der Mondoberfläche durch die Sonne. Um eine genaue Aussage über die Stromversorgung treffen zu können, sind mehr Daten erforderlich, die innerhalb des nächsten Jahrhunderts definitiv gesammelt werden.

Zur Energiespeicherung gibt es viele Methoden, einige vielversprechende sind unter anderem die Nutzung von herkömmlichen Lithium-Ionen-Akkus, die Lagerung überschüssigen Wasserstoffs oder auch Schwungradspeicher, welche sich auf dem Mond besonders anbieten, da dort von Natur aus ein annäherndes Vakuum herrscht.

2.7 Logistik & Kommunikation

Das einzige, das von außerhalb der Stadt antransportiert werden muss, ist Strom von den PEL und Wasser von den PSR, entweder in ursprünglicher Eis-Form oder schon in geschmolzener und extrahierter Form. Der Transport von Bergbaustätten und

³¹ nach Rechnung D-Id, siehe Anhang 5.1

³² nach Rechnung D-Ie, siehe Anhang 5.1

³³ Ross, Amia, et al., „Towers on the Peaks of Eternal Light: Quantifying the Available Solar Power“, siehe Quelle Nr. 12

Solarfarmen besteht also aus Stromleitungen und Rohrsystemen. Für den Transport von Ressourcen innerhalb des Versorgungssektors bieten sich Rohrsysteme, sowie aufgrund der geringen Strecke auch Förderbänder an. Vom Versorgungssektor zum Wohnsektor stelle ich mir einen großen Transportweg vor, welcher den kompletten Austausch von Ressourcen bewältigen kann. Innerhalb des Wohnsektors gibt es für den Gütertransport ein Transportsystem mit Verstrebungen in jeden Stadtteil, sowie eine Form von öffentlichem Personennahverkehr (ÖPNV) zum Personentransport. Für diesen können moderne Technologien wie zum Beispiel Hyperloops oder andere Hochgeschwindigkeitsbahnen verwendet werden. Bahnsysteme, welche mithilfe von Vakuum funktionieren, eignen sich besonders, da die dünne Exosphäre auf dem Mond einem annäherndem Vakuum ähnlicher ist als die Erdatmosphäre, also weniger Energie für den Erhalt dessen aufgewendet werden muss. Magnetschwebbahnen wären ebenfalls denkbar, sind aber aufgrund ihrer hohen Energieanforderungen für Kühlprozesse auf dem Mond schwer umzusetzen.

Die Kommunikation auf dem Mond ist überraschender Weise einfacher als auf der Erde, da der Mond im Gegensatz zur Erde keine richtige Atmosphäre besitzt, welche gesendete Radiowellen stören könnte. Signale können also weiter und mit höherer Sicherheit übermittelt werden. Für die geplante Stadt ist das allerdings wenig von Bedeutung, da sie auf relativ kleinem Raum funktioniert. Allerdings ist diese Besonderheit des Mondes für eventuelle spätere Expansion um den gesamten Mond herum von Wert. Innerhalb der Stadt bietet es sich an, Kabel in die Mondoberfläche zu verlegen, nicht zuletzt wegen ihrer hohen Robustheit und geringen Wartungsanforderungen. Die Übertragungsgeschwindigkeit von Signalen sollte auf solch kleinem Raum genügen. Wenn man sich entschließt, eine astronomische Forschungseinrichtung auf der Rückseite des Mondes einzurichten, lohnt es sich allerdings, ein Satellitennetz im Mondorbit einzurichten, was dann auch zur Kommunikation mit der Erde verwendet werden kann.

2.8 Stadtarchitektur

Im folgenden Abschnitt beschreibe ich meine fertig geplante Stadt.

Ursprünglich hatte ich die Größe meiner Stadt im Verhältnis zu der des Clavius-Kraters falsch eingeschätzt, weswegen ich geplant hatte, dass der Wohnsektor den kompletten Hauptkrater ausfüllen wird und der Versorgungssektor irgendwo zwischen den Solarfarmen und dem Krater ist. Da die Stadt aber wie später berechnet nur 0,04%

des Kraters einnimmt, kann der Versorgungssektor nun auch innerhalb des Kraters liegen. Deshalb ist der gezeichnete Stadtplan³⁴ nun nicht gänzlich akkurat, gilt aber trotzdem noch.

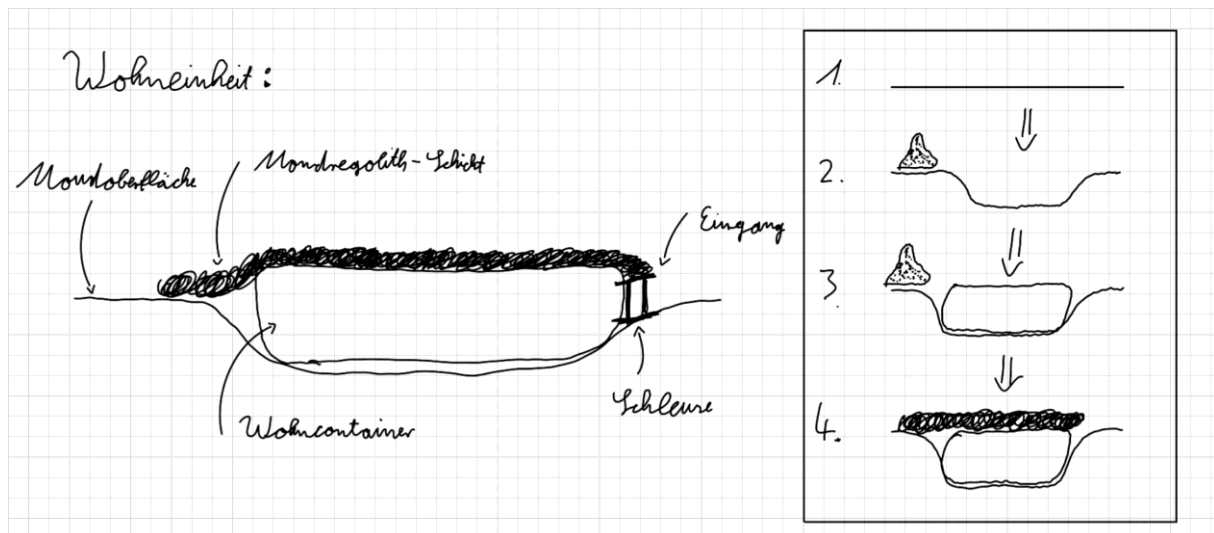
Der große Kreis um die Stadt sollte ursprünglich den Clavius-Krater darstellen, könnte nun aber praktischer Weise auch einer der kleineren Krater innerhalb des Clavius-Kraters oder eine künstliche Mauer/Struktur sein. Symmetrie war mir bei der Vision der Stadt sehr wichtig, deshalb bietet sich ein Kreis an.

Das Herzstück der Stadt ist das zentrale Rohstofflager in der Mitte der Stadt, welches über einen großen Transportweg vom Versorgungssektor beliefert wird. Da eine Zentralisierung wie oben beschrieben nicht wünschenswert ist, gibt es vier kleinere Lager, welche vom Hauptlager in der Mitte beliefert werden.

Die Stadt ist in acht Stadtteile in Form von Kreissektoren aufgeteilt, von denen jeweils zwei angrenzende von einem Lager auf ihrer Grenze versorgt werden. Auf der jeweils anderen Grenze liegen jeweils eine Polizeistation, eine Feuerwache und ein Krankenhaus. Nach diesem Plan hat also jeder Stadtteil Zugriff auf genau ein Gebäude der Institutionen in vertretbarer Reichweite. Des Weiteren besitzt jeder der Stadtteile ein eigenes Gemeinschaftszentrum, welches jeweils in der Mitte eines Stadtteils positioniert ist, sodass es von jedem Bewohner gut erreicht werden kann. In diesen Zentren haben die Bewohner die Möglichkeit, sich zu begegnen und sozial zu interagieren. Hier könnte es verschiedenste Läden und Dienstleistungen in freier Marktwirtschaft geben. Die verschiedenen Gebäude sind neben den vier Streben durch ein Rundes Transportnetz verbunden, sodass jede Station schnellstmöglich erreicht werden kann. Von den Gemeinschaftszentren gehen ÖPNV-Wege in gekrümmten Bahnen nach innen und außen in Richtung der einzelnen Wohneinheiten, sodass jede eine gute Verkehrsanbindung hat.

Im folgenden Bild sieht man eine klassische Wohneinheit, so wie ich sie geplant habe.

³⁴ Siehe Anhang 5.2



Eine Wohneinheit besteht aus einem Wohncontainer, welcher in der Mondoberfläche sitzt. Auf diesem liegt eine 3d-gedruckte Schicht aus Mondregolith, um gegen Strahlung und Temperatur abzuschirmen. An einer Seite des Containers ist eine Lücke in der Regolithschicht, welche den Ein- und Ausgang durch eine Schleuse ermöglicht.

Im Folgenden wird der Konstruktionsprozess einer solchen Wohneinheit anhand des Bilds beschrieben.

Zu Anfang wird eine passende Stelle auf der Mondoberfläche ausgesucht. Nun wird an dieser Stelle eine flache Grube gegraben. Das ausgehobene Material wird für die Weiterverwendung gesammelt. Als nächstes wird der Wohncontainer mit Schleuse aus Ein- und Ausgang in die Grube eingesetzt und gegebenenfalls befestigt. Abschließend wird nun das ausgehobene Mondregolith per 3d-Druck-Verfahren über dem Wohncontainer zum Aushärten verteilt, wobei der Eingang freigehalten werden muss.

Angeschlossen an den Wohnsektor innerhalb des Kraters befindet sich am Kraterrand der Versorgungssektor. Im Clavius-Krater hat dieser wie ebenfalls berechnet auch ausreichend Platz. Im Versorgungssektor befinden sich die Getreidefarmen zur Nahrungsproduktion sowie die Wasser- und Luftaufbereitungsprozesse. Hier befinden sich auch Anlagen zur Energiespeicherung, welche ihre Energie über Langstreckenkabel von den weit außerhalb an den Polen liegenden PEL mittels Solarzellen beziehen. Um potentielle Unfälle oder Sabotage durch Bewohner vorzubeugen, muss der Versorgungssektor von der Stadt sicher abgeriegelt werden. Dies könnte man durch eine Art Mauer oder gesperrte Sicherheitszone realisieren. Der Sektor muss außerdem besonders vor natürlichen Katastrophen geschützt werden, da

von ihm das Überleben aller auf dem Mond ansässigen Menschen abhängt. Er muss stabile Schilde aus Metall oder sogar Magnetfeldern besitzen, um gegen Strahlung und Mikrometeoritenschauer geschützt zu sein.

Weiter außerhalb der Stadt befinden sich mehrere Lande- und Abstellplätze für staatliche und private Raketen und Sonden, welche mit dem städtischen Transportsystem verbunden sind und sowohl Personen, als auch Güter befördern können.

Nun möchte ich den Alltag eines Bewohners meiner Mondstadt in Form einer kleinen Geschichte beschreiben.

Ich wache in meiner Schlafkabine auf und mache mich fertig für den Tag, heute ist Wochenende. Ich frühstücke und will daraufhin meine Wohneinheit verlassen. Ich ziehe über meine Kleidung meinen Außenanzug an. Das ist ein Raumanzug, aber im Gegensatz zu denen der NASA ist meiner relativ dünn und ermöglicht volle Beweglichkeit. Ich verlasse in meinem Anzug die Schleuse und laufe über die befestigten Wege zur nächsten Hyperloop-Station. Ich warte kurze Zeit auf die nächste Kapsel und setze mich hinein. Ich genieße die kurze Fahrt bis zum nächsten Gemeinschaftszentrum und steige aus. Das ganze Zentrum ist mit Luft gefüllt, deshalb kann ich nun meinen Anzug ausziehen und in einem Schließfach abgeben. Ich mache mich auf, in einem Café mit einem Bekannten einen Kaffee zu trinken und Neuigkeiten auszutauschen. Danach gehen wir gemeinsam in ein Museum. Man kommt in einen Laden und setzt sich auf einen Stuhl. Man bekommt eine VR-Brille, mit der man zusammen virtuell Kunstwerke aus Aspera und der Erde bewundern kann. Ich bin glücklich, Teil eines so fortschrittlichen Experiments zu sein, und doch bin ich froh, oft von der Erde zu hören und mit den Menschen dort online zu kommunizieren. Nach dem Museumsbesuch gehen wir zur Aussichtsplattform des Zentrums. Für heute wurde eine neue Lieferung an Ersatzteilen von der Erde angekündigt. Wir sehen der Rakete beim Landen und Abheben außerhalb der Stadt zu und freuen uns, dass wir mit Hilfe der Ersatzteile am Montag wieder anfangen können, an unseren Arbeitsplätzen zu arbeiten. Nach einem Blick auf meine Uhr sehe ich, dass sich der künstliche Montag dem Ende zuneigt. Ich verabschiede mich und mache mich wieder auf den Weg in meine Wohneinheit.

Jede Stadt braucht ein Wappen oder Logo. Da ich mir das Zeichnen eines Logos nicht zutraue, habe ich generative künstliche Intelligenz zu Hilfe genommen. Letztendlich habe ich mich für das Logo in Anhang 5.3 entschieden.

3 Fazit

Nach umfangreichem Befassen mit verschiedensten Technologien lässt sich rekapitulieren, dass die Umsetzung einer kompletten Stadt auf dem Mond mit heutigen

Mitteln des 21. Jahrhunderts größtenteils möglich ist. Beinahe jedes Teilsystem kann zum jetzigen Zeitpunkt vollständig geplant werden. Lediglich in einigen Bereichen fehlen noch Forschungsdaten, die aber aufgrund des allgemeinen Interesses an der Erkundung des Weltraums sicherlich in naher Zukunft angeeignet werden. Nichtsdestotrotz müssen neben der reinen Planung auch interessierte Investoren gefunden werden, die die eigentliche Umsetzung erst möglich machen. Da sich viele staatliche Institutionen und private Unternehmer das Ziel gesetzt haben, bis 2030 oder 2040 den Mond oder Mars erschlossen zu haben, kann man bis dorthin definitiv auf eine sprunghafte Weiterentwicklung unserer Technologie hoffen, welche eine vollständige Umsetzung dann auch möglich macht.

Ob umsetzbar oder nicht, ein Ort zum Leben außerhalb der Erde wird sicherlich in Zukunft von Nöten sein, unter anderem wegen des fortschreitenden Klimawandels und dessen Folgen für den Planet Erde. Die Menschheit sollte also auf jeden Fall in Wissenschaft und Forschung auch rund um Weltraum und fremde Planeten investieren, und nicht auf Rettung durch fünfdimensionale Wesen hoffen.

4 Quellenverzeichnis

1. Arizona State University, „Lunar Reconnaissance Orbiter Camera Quickmap, TerrainSlope Overlay“, https://quickmap.lroc.asu.edu/layers?layers=NrBsFYBoAZIRnpEBmZcAsjYIH_YFcAbAyAbwF8BdC0ypZAJgHYZWVkaOTrRfImIUEUgA (30.05.2024)
2. Brown University, „Researchers create first global map of water in Moon’s soil“, <https://www.brown.edu/news/2017-09-13/moonwater> (30.05.2024)
3. Deutsches Ernährungsberatungs- und -Informationsnetz, „Nährwerteangaben Weizen roh“, <https://www.ernaehrung.de/lebensmittel/de/C110000/Weizen-roh.php> (30.05.2024)
4. ESA, „Essen im All“, https://www.esa.int/kids/de/lernen/Leben_im_Weltraum/Leben_im_Weltraum/Essen_im_All (30.05.2024)
5. Fa, Wenzhe, et al., „Global inventory of Helium-3 in lunar regoliths estimated by a multi-channel microwave radiometer on the Chang-E 1 lunar satellite“, https://www.researchgate.net/figure/Global-distribution-of-3-He-abundance-ppb-for-lunar-surface-a-nearside-b-farside_fig5_227194157 (30.05.2024)
6. Forschung und Wissen, „Wie lässt sich der Bau einer Mondbasis realisieren?“, <https://www.forschung-und-wissen.de/magazin/wie-laesst-sich-der-bau-einer-mondbasis-realisieren-13373502> (30.05.2024)
7. Gourmetbauer, „Anbaufläche, Erntemenge und Kalorien — Wieviel Fläche braucht man zur Selbstversorgung aus dem eigenen Garten?“, <http://gourmetbauer.de/anbauflaeche-erntemenge-und-kalorien-wieviel-flaeche-braucht-man-zur-selbstversorgung-aus-dem-eigenen-garten/> (30.05.2024)
8. Kosemen, C.M., „All Tomorrows“, <https://drive.google.com/file/d/0ByV5-S712cg8Tk1vQWVFZVM5S28/view> (30.05.2024)
9. NASA, „NASA Achieves Water Recovery Milestone on International Space Station“, <https://www.nasa.gov/missions/station/iss-research/nasa-achieves-water-recovery-milestone-on-international-space-station/> (30.05.2024)
10. Pilehvar, Shima, et al., „Utilization of urea as an accessible superplasticizer on the moon for lunar geopolymer mixtures“, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619340478> (30.05.2024)

11. Reiter Spezial-Baustoffe, "Feuerbeton – der hitzebeständige Beton",
<http://www.spezial-baustoffe.at/feuerbeton/> (30.05.2024)
12. Ross, Amia, et al., "Towers on the Peaks of Eternal Light: Quantifying the Available Solar Power", <https://arxiv.org/pdf/2102.11766> (30.05.2024)
13. Scinexx, "Mond: Wie hoch ist die Strahlung?",
<https://www.scinexx.de/news/kosmos/mond-200-mal-mehr-strahlung-als-auf-der-erde/> (30.05.2024)
14. Slank, Rachel Ann, "Investigation of Lunar Subsurface Cavities using Thermal Inertia and Temperature Maximum to Minimum Ratios",
https://scholarworks.utep.edu/open_etd/963/ (30.05.2024)
15. Statista, "Pro-Kopf-Stromverbrauch in Deutschland in den Jahren 1995 bis 2022", <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/240696/umfrage/pro-kopf-stromverbrauch-in-deutschland/> (30.05.2024)
16. Statista, "Wohnfläche je Einwohner in Wohnungen in Deutschland von 1991 bis 2022",
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36495/umfrage/wohnflaeche-je-einwohner-in-deutschland-von-1989-bis-2004/> (30.05.2024)
17. Unbekannt, "Ad Astra – Comfort Room Scenes",
<https://www.youtube.com/watch?v=exXQcpBk5vg> (30.05.2024)
18. Unbekannt, "Alle Mondformationen im Überblick", <https://www.der-mond.de/mondkarte/alle-mondformationen-im-ueberblick> (30.05.2024)
19. Unbekannt, "Atemminutenvolumen",
<https://de.wikipedia.org/wiki/Atemminutenvolumen> (30.05.2024)
20. Unbekannt, "Berge des ewigen Lichts",
https://en.wikipedia.org/wiki/Peak_of_eternal_light (30.05.2024)
21. Unbekannt, "Entstehung des Mondregoliths",
<https://de.wikipedia.org/wiki/Mond#Regolith> (30.05.2024)
22. Unbekannt, "Netztopologie",
[https://de.wikipedia.org/wiki/Topologie_\(Rechnernetz\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Topologie_(Rechnernetz)) (30.05.2024)
23. Universität Zürich, Fachbericht Populationsökologie,
<https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/umwelt-tiere/naturschutz/populationsoekologie.pdf> (30.05.2024)
24. Xie, Lianghai, et al., "Global Hall MHD Simulations of the Solar Wind Implantation Flux on the Lunar Surface",

https://www.researchgate.net/figure/a-The-map-of-the-magnetic-field-strength-on-the-lunar-surface-obtained-from-the-450_fig5_375739149 (30.05.2024)

5 Anhang

5.1 Berechnungen

A I benötigte Wohnfläche: $5000 \cdot 20 \text{ m}^2 = 10000 \text{ m}^2$

II a Stenminutenvolumen: $8 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 11520 \frac{\text{l}}{\text{d}}$

II b benötigte Stenluft: $5000 \cdot 11520 \frac{\text{l}}{\text{d}} = 57,6 \cdot 10^6 \frac{\text{l}}{\text{d}}$

III benötigter Luftaust.: $57,6 \cdot 10^6 \frac{\text{l}}{\text{d}} \cdot 21\% \approx 12 \cdot 10^6 \frac{\text{l}}{\text{d}}$

IV benötigtes Wasser: $5000 \cdot 2 \frac{\text{l}}{\text{d}} = 10000 \frac{\text{l}}{\text{d}}$

V benötigte Kalorien: $5000 \cdot 2000 \frac{\text{kcal}}{\text{d}} = 10^7 \frac{\text{kcal}}{\text{d}}$

VI benötigte Energie: $5000 \cdot 6,5 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} = 32,5 \frac{\text{GWh}}{\text{a}}$

B I Fläche Clavus: $\left(\frac{230 \text{ km}}{2}\right)^2 \pi \approx 41,5 \cdot 10^9 \text{ m}^2$

II Fläche Irang: $\left(\frac{875 \text{ km}}{2}\right)^2 \pi \approx 600 \cdot 10^9 \text{ m}^2$

C Ia jährliche Entlohnung: $E = 700 \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \text{a}}$

Ib Kaloriengehalt: $K_u = 0,33 \frac{\text{kcal}}{\text{g}}$

Ic jährliche Kalorienmenge: $K = E \cdot K_u = 231 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{a}}$

IIa Kalorienbedarf: $K_b = 10^7 \frac{\text{kcal}}{\text{d}} = 3,65 \cdot 10^9 \frac{\text{kcal}}{\text{a}}$

IIb Fläche Zlausen: $A_p = \frac{K_b}{K} = \frac{K_b}{E \cdot K_u} \approx 15,8 \cdot 10^6 \text{ m}^2$

D Ia Fläche Wohnraum: $A_w = 0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^2$

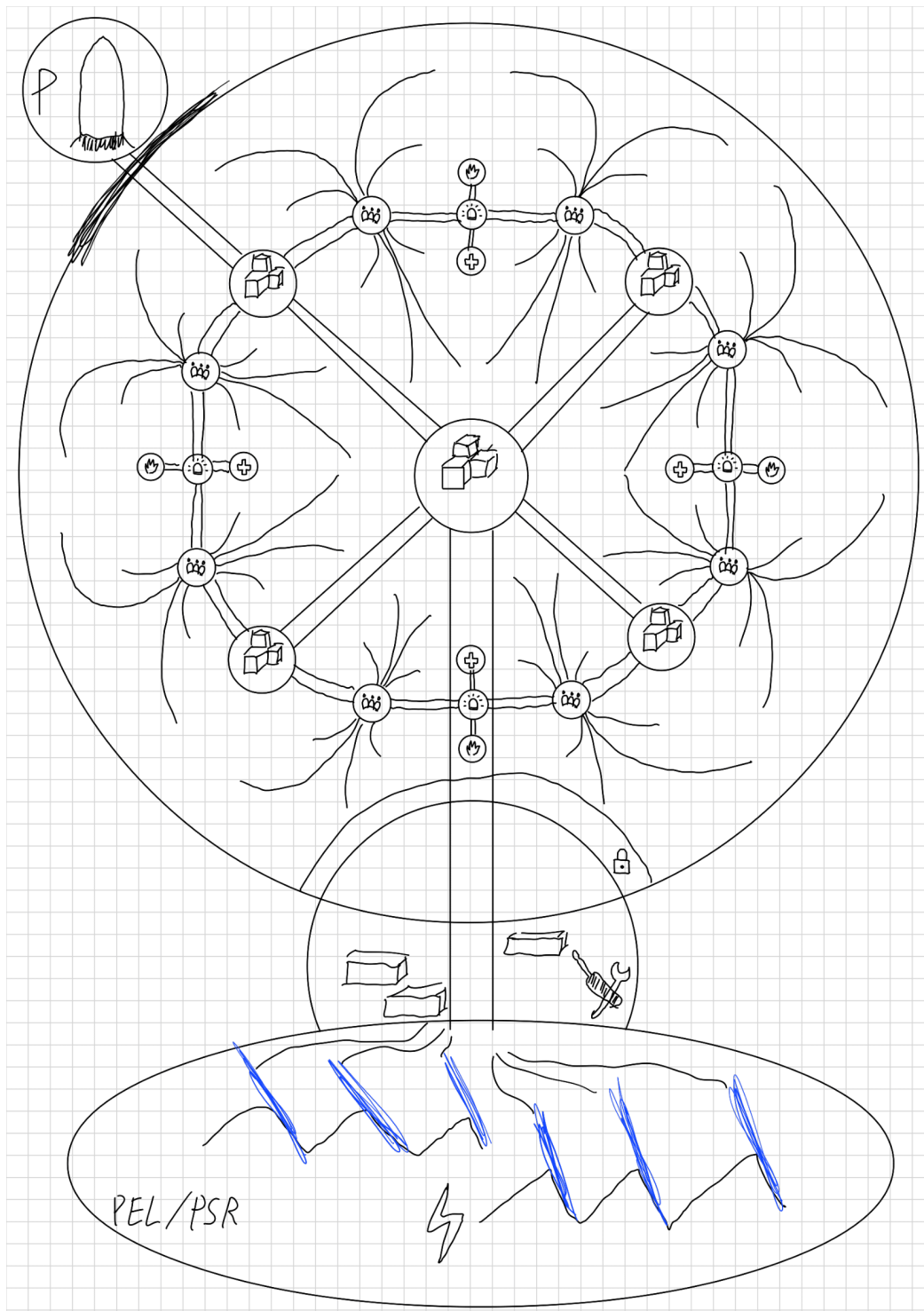
Ib Fläche Grund: $A_{\text{ges}} \approx 16 \cdot 10^6 \text{ m}^2$
plus Bette










Ic Fläche Clavus: $A_c \approx 41500 \cdot 10^6 \text{ m}^2$

Id Fläche belegt: $A_b = \frac{16}{41500} \approx 0,04\%$

Ie Fläche übrig: $A_u = 100\% - 0,04\% = 99,96\%$

5.2 Stadtplan



 Ressourcenlager	 Vorrangsektor	 Gemeinschaftszentrum
 Krankenhaus	 Polizeistation	 Feuerwehr
 Landplatz	 Sicherheitszone	 Strom

5.3 Logo



Prompt: "Logo für eine Stadt auf dem Mond, Erde im Hintergrund"

Generiert mit Bing Image Creator (28.05.2024, 18:55 Uhr), Hochskaliert mit ComfyUI

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Seminararbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, alle Ausführungen, die anderen Werke wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, kenntlich gemacht sind und die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht Bestandteil einer Studien- oder Prüfungsleistung war. Die Nutzung einer KI ist kenntlich zu machen.

Datum / Unterschrift