

aus kybernetischen Verkettungen mit non-linearen Rückkopplungen zusammengesetzt sowie schließlich mit dem Begriff der Resilienz komplexitätstheoretisch reformuliert. Dieser Anspruch eines »neuen Denkens«, welcher der Ökologie von Anfang an zu eigen ist, will sich von der klassischen Auffassung linearer Kausalität absetzen. Da im Fall der Ökologie kausale Rekursivität ein Umgebungsverhältnis betrifft, kann sich in der Folge der Gedanke eines geschlossenen Kreislaufs der Wechselwirkung innerhalb eines zirkulären Systems durchsetzen, für dessen Darstellung sich der Kreis anbietet. Der Kreis wiederum impliziert eine Geschlossenheit, in der alles miteinander verbunden ist. Entsprechend kann man den Kreis als eine Übersetzung ökologischen Wissens in die spezifische Diagrammatik einerseits einer rekursiven Kausalität und Non-Linearität sowie andererseits eines Umgebungsverhältnisses als geschlossenem System verstehen, in dem Innen und Außen durch Umgebendes und Umgebenes ersetzt werden. Und damit wird deutlich, dass die holistischen Vorstellungen der Ökologie nicht zu trennen sind von Biopolitiken der Gestaltung von *environments*, dass Ökologie also eine kontemporäre Form eines Regierungswissens bildet, welches sich auf Zirkulationen richtet und im Medium des *environments* operiert.

6.3 Figuren der Schließung – *Closed worlds*

Die Untersuchung von Ökosystemen geht stets mit einer Positionierung des Beobachters einher, der entscheidet, was zum Ökosystem gehört und was nicht, was also in einer relevanten Relation zum umgebenen Objekt steht und was zu vernachlässigen ist. Um eine Beobachtung zu validieren, muss der Beobachter eine Relation zur beobachteten Relation einnehmen. Die vorgestellten Diagramme waren alle mit dieser Herausforderung konfrontiert und haben unterschiedliche Lösungsstrategien gefunden.

Der Ökologie stellt sich nicht nur dieses Problem, über die Relevanz von Faktoren entscheiden zu müssen, sondern, wie bereits Arthur Tansley betont hat, auch die Aufgabe, die Grenzen eines Ökosystems zu ziehen: »The isolation is partially artificial, but it is the only possible way we can proceed.«¹⁰⁶ Entsprechend gut geeignet als exemplarische biologische Forschungsgegenstände sind Systeme, die geographisch abgegrenzt und wenn auch nicht isoliert, so doch in ihren Relationen zu anderen Ökosystemen eindeutig bestimmbar sind. Es verwundert daher nicht, dass die Limnologie, die Gewässerkunde, von Beginn an ein bevorzugtes Forschungsgebiet der Ökologie darstellt. Seen oder Teiche, aber auch Aquarien und Terrarien sind seit der frühen Ökologie der Jahrhundertwende, von Forbes über

106 Tansley: »The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms«. S. 64.

Thienemann und Lindeman bis Hutchinson, exemplarische Gegenstände der Ökologie, weil sie aufgrund ihrer vergleichsweise klaren Grenzen als Beobachtungseinheiten mit einem »complete and independent equilibrium of organic life and activity«¹⁰⁷ dienen können. Sie erlauben, Komplexität zu reduzieren. Aquarien und Terrarien sind daher als Vorläufer der in diesem Kapitel thematisierten Projekte künstlicher Ökosysteme zu sehen, die seit den 1960er Jahren geplant werden (und nicht selten im Planungsstadium bleiben).

Unter dem Namen *life support systems* werden zu dieser Zeit die technischen Bedingungen der Gestaltung autarker Ökosysteme durchdacht und in Prototypen ausgetestet.¹⁰⁸ Im Kontext der Konvergenz von *whole earth* und *closed world*, vom Bild der Erde und dem Wissen über geschlossene Systeme, entstehen insbesondere seit den 1960er Jahren Projekte der Konstruktion von künstlichen geschlossenen Systemen in kleinerem Maßstab. Die Architekturhistorikern Lydia Kallipoliti hat zahlreiche Beispiele für experimentelle *environments* von Heißluftballonkabinen über Shopping-Center bis hin zu Gewächshäusern identifiziert, die bis in die Anfänge des 20. Jahrhunderts zurückreichen, aber erst in den 1960er Jahren als Ökosysteme beschrieben werden.¹⁰⁹ Die Eigenschaften geschlossener Systeme, mit denen sich ArchitektInnen, ÖkologInnen sowie IngenieurInnen in unterschiedlichen Kontexten und mit mitunter divergenten Intentionen beschäftigen, werden in diesen Projekten in kleinerem Maßstab als künstliche *environments* modelliert. Besonders prominent sind Raum-, Untersee- sowie Forschungsstationen in der Antarktis, aber auch technisch aufgerüstete Gewächshäuser und Atomschutzbunker, die im Fall eines nuklearen Winters über längere Zeiträume sicher und belebbar sein sollen.¹¹⁰ Für die Durchführung dieser Projekte sind umfangreiche Maßnahmen

107 Forbes: »The Lake as a Microcosm«. S. 77. Forbes' Begriff des *microcosm* wird 1993 zur Grundlage eines von Howard Odum gemeinsam mit Robert Beyers verfassten Buchs über geschlossene Systeme: Beyers, Robert J./Odum, Howard T. (1993): *Ecological Microcosms*. New York, Springer. Vgl. zum See auch Bühler, Benjamin: »See«. In: Bühler, Benjamin/Rieger, Stefan (Hg., 2014): *Kultur. Ein Machinarium des Wissens*. Frankfurt/Main, Suhrkamp, S. 206–218.

108 Vgl. zu dieser Geschichte ausführlich Höhler: »Spaceship Earth«.

109 Vgl. Kallipoliti: »Closed Worlds«. David Munns hat im engeren historischen Rahmen die Bedeutung sogenannter *phytotrons* betont, vereinfacht gesagt Gewächshäusern mit kontrollierter Atmosphäre (vgl. Munns, David P. D. (2016): *Engineering the Environment. Phytotrons and the Quest for Climate Control in the Cold War*. Pittsburgh, University of Pittsburgh Press; zu Gewächshäusern allgemein vgl. auch Hix, John (1974): *The Glasshouse*. London, Phaidon).

110 Für die Zeit zwischen 1965 und 1980 hat Sven Mesinovic 65 Untersee-Projekte identifiziert, die von Unterwasserlaboren bis zu bewohnbaren Habitaten reichen und oft als Testläufe zur Weltraumkolonisierung angesehen werden, so etwa die beiden 1969/1970 erbauten Stationen *Tektite I* und *Tektite II* vor der Küste Floridas (vgl. Mesinovic, Sven: »Reshaping Nature. Underwater Laboratories, Ecology, and Outer Space in West Germany and the United States«. In: Beinart, William/Middleton, Karen Pooley Simon (Hg., 2013): *Wild Things. Nature and Social Imagination*. Washington, The White Horse Press, S. 265–287).

zur Schließung der Kreisläufe des Systems nötig. Aus der Vielzahl möglicher Fälle sollen im Folgenden zwei in ihren Zielsetzungen, aber auch ihrer Finanzierung extreme Beispiele genauer untersucht werden, die an die Ökosystem-Ökologie der 1960er Jahre anschließen und deren technokratisches Moment umzusetzen versuchen: die wenig erfolgreichen ökologischen Interventionen in die Raumfahrtforschung sowie das Großprojekt *Biosphere II*.

Forschungsstrategisch bieten künstliche geschlossene Systeme den Vorteil, mit der Offenlegung ihrer Funktionsweisen Mittel zu ihrer Rekonstruktion und damit auch Konstruktion an die Hand zu geben. Sie bieten die Chance, bei Änderungen einer Komponente die Auswirkungen auf das gesamte System zu beobachten. Jeder Faktor eines Ökosystems wird in einem solchen geschlossenen System potentiell zu einer technisch kontrollierbaren Variable. In diesen künstlichen Habitaten soll auf engstem Raum alles miteinander verbunden sein, so dass sich das System selbst reproduziert und es keine Reste gibt. Mit unterschiedlichen Mitteln, Erfolgen und politischen Absichten zielen diese Projekte auf die Schließung des jeweiligen Systems vom Außen und die Autarkie seiner Selbstreproduktion. Sie stellen die Frage, wie man ein künstliches Ökosystem konstruieren kann, dessen Bewohnerinnen und Bewohner in ihrem *environment* von der äußeren Welt abgeschnitten sind und deren Lebensbedingungen allein von diesem System gebildet werden.¹¹¹

Als Experimentalsysteme sind derartige Ökosysteme das, was Hans-Jörg Rheinberger ›materielle Analytika‹ genannt hat: »Visualisierungen von Eigenschaften des Gegenstandes der Untersuchung in Form von mehr oder weniger transformierten Bestandteilen des Untersuchungsgegenstandes selbst, in eine Ordnung gebracht, die bestimmte Aussagen über ihn ermöglicht.«¹¹² Während Rheinberger vor allem visuelle Repräsentationen beschreibt und diesem Konzept nur wenige Zeilen widmet, können materielle Analytika auch als Bestandteile von Experimentalsystemen verstanden werden. Ein ›materielles Analytikum‹ bringt demnach innerhalb eines Experimentalsystems Eigenschaften des erforschten Gegenstands hervor und kann damit selbst zum Gegenstand der Untersuchung werden, wie etwa ein mikroskopisches Präparat oder in Alkohol eingelegte Organe. Diesem Gedanken folgend sind künstliche Ökosysteme in den im Folgenden besprochenen Beispielen nicht nur das, was erforscht wird, sondern zugleich das Medium dieser Forschung. Als ›technisches Ding‹ erzeugt ein künstliches ökologisches System jene Bedingungen, die es zum ›epistemischen Ding‹ werden lassen.¹¹³ Als ›epistemisches Ding‹ setzt seine Erforschung seine Synthetisierbarkeit und damit seinen Status als ›technisches Ding‹ voraus. Wenn ein geschlossenes System

111 Vgl. dazu auch Kasprovicz, Dawid (2019): *Der Körper auf Tauchstation. Zu einer Wissensgeschichte der Immersion*. Baden-Baden, Nomos.

112 Rheinberger: »Objekt und Repräsentation«. S. 59.

113 Zu diesen Begriffen vgl. Rheinberger (2006): *Experimentalsysteme und epistemische Dinge*.

(und nicht nur einzelne seiner Komponenten) zum Forschungsgegenstand wird, können erforschbare ökologische Relationen durch die technische Replikation atmosphärischer, chemischer, physiologischer und hydrologischer Verhältnisse erzeugt werden. Dadurch wird das künstliche Ökosystem selbst zum »epistemischen Ding«. Wie ein Präparat ist das geschlossene System »aus dem Stoff selbst gemacht, welcher Gegenstand der Analyse ist«¹¹⁴ und kann daher nicht als Modell verstanden werden. Es wird nicht in einem anderen Medium dargestellt, sondern ist zugleich Medium wie Objekt der Forschung und benötigt daher spezifische Verfahrensweisen, die diesen Doppelcharakter hervortreten lassen. Die epistemologische Besonderheit von Umgebungswissen wird hier erneut deutlich: Aufgrund der relationalen Verschränkung der Dyade können Umgebungen nur durch Umgebenes, Umgebenes nur durch Umgebungen erforscht werden. Andernfalls würden sie relationslose Objekte. Deshalb kann bei den vorgestellten Projekten nicht eindeutig in das zu Erforschende und die Mittel der Erforschung unterschieden werden – zumal die prominentesten dieser künstlichen Systeme von Forscherinnen und Forschern bewohnt werden, die auch ihre eigene Involviertheit in das System berücksichtigen müssen.

Die Versuche der Herstellung artifiziereller *environments* als *closed worlds* kopieren die Eigenschaften lokaler, gewachsener Ökosysteme und übertragen sie so unabhängig vom äußeren *environment* wie möglich in technisch kontrollierte, synthetische Räume. *Closed worlds* sind designierte Objekte von *environmental control*, *environmental engineering* und *environmental management*, weil die Geschlossenheit der ökologischen Kreisläufe technisch auch dann reguliert werden muss, wenn das Ziel ihre Autarkie ist. Die Verhandlung von Wissens- und Darstellungsformen der Schließung geht mit ihrer technischen Konstruktion einher, die wiederum als Herstellung von Lebensbedingungen durch die Regulation von Zirkulation eine Biopolitik involviert. Der Unterschied zu den experimentellen *environments* John Scott Haldanes und anderen früheren Versuchen kontrollierter Umgebungen besteht darin, dass die in der Ökologie geschlossener Systeme zu dieser Zeit verhandelte Schließung des Systems andere technische Parameter ins Spiel bringt. Vor allem aber wird in diesem Kontext die umgebungsepistemologische Frage nach umgebungslosen Umgebungen aufgeworfen.¹¹⁵

Raumstationen oder das künstliche Ökosystem von *Biosphere II* sind Versuche, Umgebungen zu konstruieren, die von dem unabhängig sind, was das System umgibt, weil eine geschlossene Grenze die innere und die äußere Umgebung trennt.

114 Rheinberger: »Objekt und Repräsentation«. S. 59.

115 Bereits 1968 gelingt es dem Biologen Clair Folsome, in einer mit Wasser aus dem Pazifik gefüllten, versiegelten Flasche, Zyklen der Photosynthese in einem »closed ecosystem« nachzubilden und über Jahre hinweg aufrechtzuerhalten (vgl. Folsome, Clair: »The Emergence of Materially-Closed-System Ecology«. In: Polunin, Nicholas Vladimir (Hg., 1986): *Ecosystem Theory and Application*. New York, Wiley, S. 269-288).

Eine der Grundlagen für diese Imagination der Schließung ist die Weiterentwicklung architektonischer Verfahren der Versiegelung und energetischen Permeabilität, etwa durch die Verfeinerung von Gewächshausarchitekturen.¹¹⁶ Mit der Konstruktion derart geschlossener Systeme werden einerseits Umgebendes und Umgebenes ineinandergeschoben, indem das Ökosystem als Ganzes zur abgeschlossenen Einheit wird. Zugleich soll andererseits – mehr oder weniger konsequent – das Außen eines solchen Systems durch einen klaren Schnitt isoliert werden. Die äußere Umgebung soll hermetisch vom Innen getrennt sein, während die innere Umgebung technisch kontrolliert wird. Das Scheitern der im Folgenden thematisierten Versuche zeigt jedoch die Unmöglichkeit, eine Umgebung aus einer Umgebung zu extrahieren. Wenn eine Umgebung von einer anderen Umgebung umgeben ist, dann ist sie gemäß der dyadischen Reziprozität zugleich ein Umgebendes und ein Umgebenes. Diese Relationalität entspricht einer »Gleichzeitigkeit von Umwelt-Haben und selbst Umwelt-Sein«¹¹⁷. Gänzlich geschlossene Systeme sind Versuche einer un-umgebenen Umgebung. In den Extremformen von Raumstationen oder *Biosphere II*, die in vielerlei Hinsicht spekulativen Charakter haben, wird alles ausgeblendet, was nicht technisch kontrolliert werden kann, weil das, was Teil der Umgebung ist, nur existiert, weil es kontrolliert wird, während alles andere ausgeschlossen ist.

Die der Ökologie geschlossener Systeme zugrundeliegende Unterscheidung in geschlossene und offene Systeme, die nicht nur in der Ökologie, sondern auch in der Physik und der Ökonomie eine Rolle spielt, ist von Ludwig von Bertalanffy inspiriert. Dessen Systemtheorie, die als Vorbild für viele kybernetische Ansätze gelten kann, differenziert schon in den 1930er Jahren zwischen geschlossenen und offenen Systemen: erstere sind selbstregulierende, vom Außen abgegrenzte Systeme mit geschlossenen inneren Kreisläufen, deren Grenzen materiell geschlossen, energetisch und informatisch aber zumindest im Fall biologischer Systeme offen sind. Ein geschlossenes System ist nicht zwangsläufig ein abgeschlossenes System. Doch bei von Bertalanffy sind geschlossene Systeme mangels Wechselwirkung mit ihrer Umgebung zwar stabil, aber nicht dynamisch. Allein offene Systeme können, so von Bertalanffy, komplexe Zustände herausbilden und ein Fließgleichgewicht erreichen. Die geschlossenen Systeme, um die es im Folgenden geht, sind hingegen selbstorganisierend, regenerativ und zwar materiell geschlossen, energetisch und informationell aber offen. Sie sind geschlossen, aber nicht abgeschlossen. Praktisch impliziert dies, dass alle Reste, die das System produziert, durch ständiges

116 Vgl. Barber, Daniel A. (2016): *A House in the Sun. Modern Architecture and Solar Energy in the Cold War*. New York, Oxford University Press.

117 Folders/Hoppe: »Von der Modernisierung zur Ökologisierung«. S. 147.

Re-Cycling wieder in seine Kreisläufe eingespeist werden, während Energie von außen – zumeist durch die Sonne – eingespeist wird.¹¹⁸

Neben von Bertalanffys Überlegungen gehören Buckminster Fullers architektonische *environments* zu den Inspirationsquellen der seit den 1960er Jahren durchgeführten Projekte: sein Vorschlag, einen geodätischen Dom über New York zu errichten, um das Klima der Stadt zu regulieren, oder seine Bedienungsanleitung für das *spaceship earth*, welche die technische Effizienz der sogenannten *cabin ecology* mit Synergieeffekten koppelt und zur Verbesserung der Lebensbedingungen durch ökologische Architektur und geplantes Management beitragen will.¹¹⁹ Angesichts der auf der Erde zu erwartenden Vernichtung, sei es durch einen Atomkrieg und durch Umweltzerstörung oder als kolonialistische Expedition an *new frontiers*, entstehen vor allem im Kontext der im Kalten Krieg massiv geförderten Raumfahrtforschung vor dem Hintergrund dieser Ansätze Pläne der Besiedelung des Alls durch Raumstationen, die autark ihr eigenes *environment* produzieren sollen.¹²⁰ Die von der NASA nur in Versuchen umgesetzten Raumstationen, aber auch die vom Physiker Gerard O'Neill in seinem Ende der 1970er Jahre erschienenen einflussreichen Buch *The High Frontier* vorgestellten imaginären Entwürfe von Raumstationen für zehntausende von Menschen¹²¹ sollen nach wissenschaftlichen Maßstäben kontrollierte *environments* erzeugen und dienen zugleich als utopische Modelle für zukünftige Zivilisationen. Felicity Scott hat die biopolitische Dimension der Verschränkung ökologischer Kontrolle mit gesellschaftlichen Neuentwürfen in ihrer historischen Darstellung der NASA-Pläne unterstrichen: »The architectural environment of the colony, that is, would be orchestrated not just to facilitate the production of goods in space and to shelter the population, but in a non-deterministic but nevertheless directed apparatus to sponsor new forms of subjectivity and social interaction.«¹²² Mit der Kolonisierung des Weltalls geht es, wie ebenfalls Peder Anker argumentiert hat, nicht nur um eine territoriale, imperialistische Expansion,

118 Vgl. zu dieser Definition Gitelson, I. I./Lisovsky, G. M./MacElroy, R. D. (2003): *Manmade Closed Ecological Systems*. London, Taylor & Francis.

119 Bereits in den späten 1950er Jahren untersucht die *cabin ecology* im militärischen Rahmen die Überlebensbedingungen in U-Booten und überträgt dieses technische Wissen alsbald auf Raumstationen (vgl. Cassidy, W. B. (Hg., 1969): *Bioengineering and Cabin Ecology*. Washington, American Astronautical Society sowie Anker: »The Closed World of Ecological Architecture«. S. 528).

120 Vgl. Pias: »Paradiesische Zustände«.

121 Vgl. O'Neill, Gerard K. (1977): *The High Frontier. Human Colonies in Space*. New York, Bantam Books. Zur Geschichte von Raumstationen sowie der Versuche, entsprechende *environments* als Experimentalsysteme auf der Erde nachzubauen vgl. Peldszus, Regina: »Architectural Experiments in Space. Orbital Stations, Simulators and Speculative Design, 1968-82«. In: Geppert, Alexander C. T. (Hg., 2018): *Limiting Outer Space. Astroculture after Apollo*. London, Palgrave Macmillan, S. 237-258.

122 Scott, Felicity: »Earthlike«. In: *Grey Room* 65/Fall (2016), S. 6-35. Hier: S. 19f.

sondern auch um die Durchsetzung eines ökologischen Regimes auf der Erde.¹²³ Raumstationen fungieren, selbst wenn sie im Imaginären verbleiben, stets als Testumgebungen für neue Gesellschaftsentwürfe, an denen die Effizienz biopolitischer Maßnahmen durchgespielt wird.

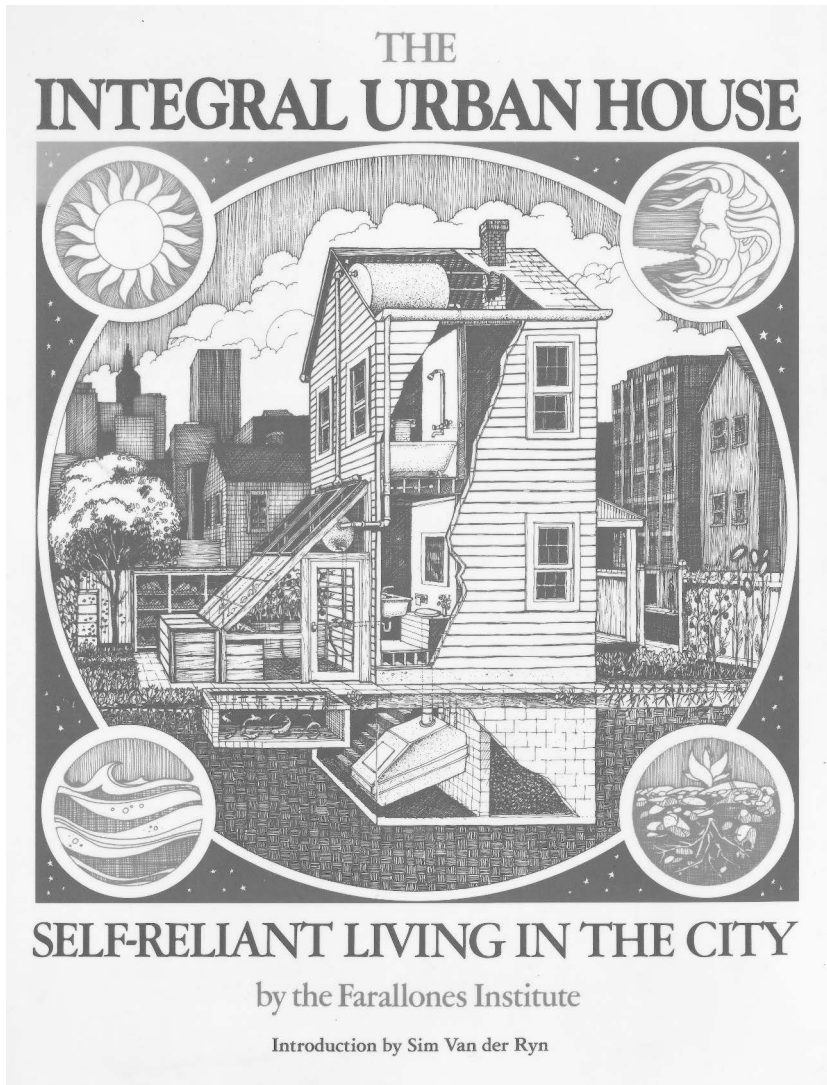
Neben die gut finanzierten Großprojekte von *closed worlds*, deren Horizont die Kolonisierung fremder Planeten bildet, treten auch kleinere aktivistische Projekte, die etwa mit Recyclingvorgängen im Haushalt oder der autarken Selbstversorgung von Kommunen experimentieren. Ein prominentes Beispiel dafür ist das in Kalifornien beheimatete New Alchemy Institute von Nancy und John Todd, das mit den von Howard Odum formulierten Prinzipien des *ecological engineering* experimentiert.¹²⁴ In künstlerischen Aneignungen wie den bereits erwähnten Arbeiten von Haus-Rucker-Co oder David Greene werden die ästhetischen sowie politischen Bedeutungen und Auswirkungen der Geschlossenheit nicht nur von biologischen, sondern auch von sozialen Systemen ausgetestet.¹²⁵ Auch das Integral Urban House von Bill und Helga Olkowski sowie Tom Javits in Berkeley soll alle Abfälle der BewohnerInnen recyceln und so einen geschlossenen Kreislauf bilden. Das Cover des entsprechenden Buchs von 1979 zeigt eine Zeichnung des Hauses, welche die Zirkulationen und Rückkopplungen innerhalb des Gebäudes wiedergibt. Das Haus ist von einem Kreis gerahmt, der wiederum von vier kleineren Kreisen begleitet wird, die die vier Elemente der Natur zeigen. In dieser Abbildung wird erneut die enge Verschränkung von Kreisläufen und Kreisen, von der Operationalisierung ökologischer Relationen und der Symbolik des Runden, Geschlossenen und Harmonischen deutlich.

123 Vgl. Anker, Peder: »The Ecological Colonization of Space«. In: *Environmental History* 10/2 (2005), S. 239-268.

124 Todd, Nancy Jack/Todd, John (1993): *From Eco-Cities to Living Machines. Principles of Ecological Design*. Berkeley, North Atlantic Books. Zum Integral Urban House vgl. Macy/Bonnemaison (2003): *Architecture and Nature*. S. 333f.

125 Vgl. Steiner, Hadas A. (2009): *Beyond Archigram. The Structure of Circulation*. New York, Routledge.

Abbildung 6.21 – Integral Urban House



Quelle: Olkowski, Helga/Olkowski, Bill/Javits, Tom (1979): *The Integral Urban House. Self-Reliant Living in the City*. San Francisco, Sierra Club Books. Cover.

Was aus ökologischer und systemtheoretischer Sicht wie in dieser Abbildung, aber auch in den Plänen für Raumstationen als *closed system* erscheint, ist aus wissenschaftsgeschichtlicher Sicht, so Mareike Vennen in ihrer Arbeit über Aquarien, stets ein Versuch der Schließung: »Das Innen ist hier nicht ohne das Außen zu denken,

oder präziser: Wo das Innen aufhört und das Außen beginnt [...] ist keineswegs eindeutig.«¹²⁶ Die gut dokumentierten Forschungsarbeiten und Selbstberichte, die im Kontext der NASA-Projekte oder von *Biosphere II* entstanden sind, zeigen, dass die Geschlossenheit des Systems und seine Abgrenzung von außen kein gegebener Zustand sind. Vielmehr gilt die Anstrengung der Protagonisten dem Versuch, diese Schließung allererst herzustellen und zu gewährleisten, dass zwischen dem inneren Ökosystem und dem äußeren Ökosystem (dem Weltall oder der *Biosphere I*) über die Energieversorgung hinaus kein Austausch stattfindet – ein Versuch, der sich in allen Schließungsversuchen zum Trotz letztlich als undurchführbar erweist. Die Schließung ist das Resultat einer anhaltenden Abdichtungsarbeit, die ihr Ziel nie erreicht. Die Gründe dafür sind einerseits pragmatischer Natur – kein Material ist luftdicht genug, kein künstliches biologisches System vor unvorhersehbaren Schwankungen sicher, kein regeneratives Verfahren effizient genug, um sich selbst langfristig zu reproduzieren. Die Gründe betreffen aber auch die Reziprozität der Dyade von Organismus und *environment*: Wenn die Konstruktion und Erforschung solcher Systeme auf der Prämisse unhintergebar ökologischer Relationalität beruht, dann muss der Versuch, das geschlossene System aus der Relation zu seiner äußeren Umgebung zu lösen, letztlich scheitern. Es handelt sich, in den Worten Elisabeth DeLoughreys, um »myths of isolates«¹²⁷. Und damit wiederum ist die umgebungsepistemologische Frage nach der Umgebung des Umgebenden aufgeworfen, weil kein ökologisches System so geschlossen sein kann, dass es unabhängig von seiner Umgebung ist.

Die im Folgenden vorgestellten beiden Versuche der Schließung geschlossener Systeme, die Praktiken der Herstellung künstlicher Umgebungen und der Unterbrechung ihrer Komplementarität beruhen auf ökologischem Wissen, Instrumenten der Regulation, Techniken der Rekursion und Medien der Stabilisierung. Als materielle Analytika bringen geschlossene künstliche Systeme ökologische Kreisläufe hervor und sind somit Medium und Forschungsobjekt in einem. Die untersuchten spekulativen Prototypen von Raumstationen sowie die *Biosphere II* verkör-

126 Vennen (2018): *Das Aquarium*. S. 24. Vennen zeigt in ihrer Studie, dass Aquarien im 19. Jahrhundert zwar als geschlossene ökologische Systeme betrachtet wurden, angesichts der Etablierung des Aquariums als Forschungs- und Schauinstrument jedoch eine solche Abgrenzung methodisch nicht mehr durchzuhalten war. Vielmehr führt Vennen vor, wie die aquaristische »Reinigungsarbeit« der Herstellung belebbarer Wasserräume gilt, die wiederum zu einer »strukturellen Unabschließbarkeit« des Aquariums führt, in dessen »Geflecht von Beziehungen [...] sich »äußere« und »innere« Faktoren wechselseitig beeinflussen.« (ebd., S. 30.) Valerie Olson hat auf ähnliche Weise, aber in ethnographischer Perspektive die Aufräumarbeiten in Raumstationen sowie die Herstellung von Raumanzügen als Praktiken der Separierung beschrieben: Olson, Valerie (2018): *Into the Extreme. U.S. Environmental Systems and Politics beyond Earth*. Minneapolis, University of Minnesota Press. S. 111f.

127 Vgl. DeLoughrey: »The Myth of Isolates«.

pern daher nicht nur Annahmen holistischer System-Ökologien, sondern sind Aus-handlungsversuche der Umsetzung jener in den vorgestellten Kreisbildern manifesten Zirkularität. Während die Kreisläufe in einem solchen System der Symbolik wie der Metaphorik nach im Kreis unaufhörlich in sich selbst weiterlaufen, sind die Anstrengungen ihrer Schließung unabgeschlossen. Entsprechend taucht auch in den Beispielen dieses Kapitels der Kreis in der erläuterten Verschränkung seiner ikonographischen und diagrammatischen Funktion überall dort auf, wo die Schließung eines Systems dargestellt werden soll. In einem künstlichen geschlossenen System sollen Zirkulationen nicht einfach nur in selbsterhaltenden Kreisläufen verlaufen, sondern werden als Kreise dargestellt, die das Innen vom Außen trennen und unendlich in sich selbst fortbestehen.

6.3.1 Raumstationen als kreisende Welten

Die *National Aeronautics and Space Administration* wird 1958 unter dem Eindruck des russischen Erfolgs mit dem Satelliten Sputnik gegründet. Unter ihrem Dach sollen Raumfahrtforschung, Geowissenschaften, Physik und Klimaforschung gebündelt werden, um das extraterrestrische Universum von den USA aus zu erforschen. Um 1970 treten das expansive Motiv der Raumfahrt, die Innerlichkeit der Gegenkultur und der ethische Anspruch des *environmentalism* zusammen, wie ein Blick auf Carl Sagens Bestseller *The Cosmic Connection – An Extraterrestrial Perspective* von 1973 zeigt. In diesem Buch wird das Imaginäre der Raumfahrt vor einem kosmologischen Hintergrund ausgebreitet. Der im Auftrag der NASA für die Voyager-Sonde zur Kommunikation mit Außerirdischen verantwortliche Exobiologe Sagan, bis 1965 mit Lynn Margulis verheiratet, verankert die zu dieser Zeit dominante Kontrollphantasie der Kybernetik tief im Lebendigen und erklärt sie zu einem evolutionären Faktor: »Intelligence is an extension of an evolutionary tendency apparent in the simplest organisms – the tendency toward control of the environment.«¹²⁸ Raumfahrt erscheint damit als ein Schritt der Ausweitung des Lebens und die NASA dessen Institution. Sagan beschreibt *environmental control* als ein evolutionäres Motiv, das an die Stelle der determinierenden Wirkung des *environments* auf die Entwicklung von Organismen tritt, die sich der Technik ermächtigen. Aus dieser Sicht ist die von der NASA vorangetriebene Expansion in das Weltall und die Aneignung neuer Lebensräume durch Umgebungskontrolle nicht nur ein technischer Fortschritt, sondern die Vollendung eines evolutionären Programms. Dieses Programm koppelt den westlich-imperialistischen Kolonisierungsschub mit *environmental control*, wie einige Kapitel später deutlich wird: »And yet the human spirit is expansive;

128 Sagan, Carl (1973): *The Cosmic Connection. An Extraterrestrial Perspective*. New York, Anchor Press. S. 11.

the urge to colonize new environments lies deep within many of us.«¹²⁹ Das ›wir‹, von dem hier die Rede ist, umfasst vor allem westliche, weiße und männliche Wissenschaftler und Politiker. Die Eroberung und Kontrolle außerirdischer Lebensräume, deren technische Machbarkeit Sagan postuliert, richtet sich jedoch nicht auf einzelne Lebewesen, sondern auf die Schaffung von Überlebensbedingungen bestimmter, eben westlicher, weißer und männlicher Organismen und folgt darin einem biopolitischen Programm.

Die Erforschung des Weltalls ist von Beginn an an die Erforschung von Lebensbedingungen und damit an die Exploration von *environments* sowie die Gestaltung von Körpern gebunden, die in feindlichen *environments* überleben sollen. Das Leben steht für die NASA in drei unterschiedlichen Hinsichten im Mittelpunkt, wie die dem Programm 2002 gegebene, retrospektiv das Erreichte zusammenfassende Vision bezeugt: »To improve life here. To extend life to there. To find life beyond.«¹³⁰ Während das Leben in letzterem Sinne nur gefunden werden kann, seine Existenz aber angenommen und trotz der Fremdheit extraterrestrischer *environments* als eine universelle Konstante postuliert wird, sind die ersten beiden Herangehensweisen an das Leben auf dessen Gestaltung ausgerichtet. Betrachtet man die Geschichte der Raummissionen der NASA und die damit einhergehenden Forschungsprojekte¹³¹, wird deutlich, dass diesen drei unterschiedlichen Verständnissen des Lebens, ähnlich wie bei John Scott Haldane, eine Verschränkung von Organismen und ihren *environments* gemeinsam ist.¹³² Alle drei Visionen des Lebens laufen auf eine je spezifische Umgebung hinaus: die irdische, die dem menschlichen Leben angepasste extraterrestrische sowie die fremden Lebensformen korrespondierende ebenfalls extraterrestrische Umgebung.

Das Leben wie in der ersten Vision vor Ort zu verbessern, bedeutet im Kontext der NASA nicht nur die abstrakte Förderung des Gemeinwohls durch die Erschließung neuer Ressourcen, sondern die Herstellung von Cyborgs, also Lebewesen, die durch technische Aufbereitung ihres Körpers in lebensfeindlichen Umgebungen überleben können. Die Kolonisierungsbewegung, die den Projekten der NASA zugrunde liegt, erzwingt angesichts der zu erobernden Räume auch eine Kolonisierung menschlicher Körper. In der Raumfahrtforschung stellt sich von Beginn an die Frage, ob man ein variables *environment* mitführen oder aber die Körper

129 Ebd., S. 122.

130 Jacobs, Bob/Leonhardt, Jill: »Administrator Unveils Future NASA Vision and a Renewed Journey of Learning«, 12. April 2002, <http://www.nasa.gov/home/hqnews/2002/02-066.txt>, letzter Zugriff am 23. Mai 2019.

131 Die Geschichte der NASA ist bereits gut erforscht, vgl. Mindell, David A. (2008): *Digital Apollo. Human and Machine in Six Lunar Landings*. Cambridge, MIT Press sowie Olson (2018): *Into the Extreme*.

132 Zum Lebensbegriff der *environmental medicine* in der Raumfahrtforschung vgl. Olson, Valerie A.: »The Ecobiopolitics of Space Biomedicine«. In: *Medical Anthropology* 29/2 (2010), S. 170-193.

der Astronauten ihrer neuen Umgebung anpassen soll, um ein homöostatisches Gleichgewicht zu erreichen. Die beiden NASA-Mitarbeiter Manfred E. Clynes und Nathan Kline prägen 1960 den Begriff des *cybernetic organism* zur Bezeichnung der technoorganischen Aufrüstung von westlichen, weißen und männlichen Astronauten.¹³³ Als Cyborgs können Astronauten als insuläre Existenzen betrachtet werden, die weniger unabhängig von ihren *environments* sind als vielmehr ihr eigenes *environment* in einer geschlossenen Verschaltung physiologischer Vorgänge und ihrer technischen Substitution in der Hülle des Schutzanzugs reproduzieren: »The cyborg deliberately incorporates exogeneous components extending the self-regulatory control functions of the organism in order to adapt it to a new environment.«¹³⁴ Der Anspruch der NASA an die Verbesserung des Lebens, verstanden als Reziprozität von Organismus und *environment*, besteht in einer Optimierung dieses Verhältnisses. Das *environmental design* und die *cabin ecology* der Raumfahrt normieren die Körper der Astronauten durch eine Biopolitik des Umgebens.

Das Leben wie in der zweiten Vision der NASA ins Anderswo auszuweiten, kann angesichts der Lebensbedingungen auf der Erde nur gelingen, indem entweder das hiesige Leben so sehr verbessert wird, dass es anderswo überleben kann, oder aber, indem eine lebensfreundliche Umgebung ins Anderswo transportiert wird. Das Leben auszuweiten bedeutet, lebensfeindliche Räume belebbar zu machen. Beide Optionen, die Transformation unbelebbarer Räume und den Transport belebbarer Räume, kann man in den Projekten der NASA wiederfinden. Sie sind von Beginn an an der Erforschung lebensfeindlicher *environments* interessiert. Bereits die Gestaltung der ersten Space Shuttles in den 1960er Jahren erfordert eine *cabin ecology*, damit die Kreisläufe des physiologischen Verbrauchs technisch supplementiert werden können.¹³⁵ Mit ihrem Zirkulationswissen wäre die Ökologie, so scheint es, anschlussfähig an solche Herausforderungen. Doch wie die Ökologin Frieda Taub, die zu diesen Fragen forscht, 1974 rückblickend unterstreicht, sind ökologische Beiträge in diesen Diskussionen selten und finden sich vor allem

133 Während in der Sowjetunion mit Walentina Tereschkowa bereits 1963 eine Frau als Kosmonautin tätig ist, fliegt die erste US-Amerikanerin Sally Ride erst 1983 ins All.

134 Clynes/Kline: »Cyborgs and Space«. S. 27. Vgl. auch Spreen, Dierk: »Menschliche Cyborgs und reflexive Moderne. Vom Jupiter zum Mars zur Erde - bis ins Innere des Körpers«. In: Bröckling, Ulrich/Paul, Axel/Kaufmann, Stefan (Hg., 2004): *Vernunft – Entwicklung – Leben. Schlüsselbegriffe der Moderne*. München, Fink, S. 317–346.

135 Vgl. Kammermeyer, Karl (1966): *Atmosphere in Space Cabins and Closed Environments*. New York, Appleton. Angesichts des von NASA, ESA und Roskosmos bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts geplanten Marsflugs mit Besatzung werden diese Experimente gegenwärtig fortgesetzt, etwa in Projekten wie Mars500, NEEMO (Nasa Extreme Environments Mission Operations) oder dem Eu:CROPIS-Satelliten, auf dem der Anbau von Tomaten in einem Satelliten-Gewächshaus getestet wird.

in den großen Forschungsprojekten nicht wieder – von einer Ausnahme abgesehen.¹³⁶ Erneut sind die Odum-Brüder neben Taub die wichtigsten Protagonisten, die versuchen, die Raumfahrtforschung und die Konstruktion von Raumstationen ökosystemisch und mit holistischem Anspruch zu informieren.

Im August 1962 veranstaltet Taub, die sich vor allem mit der Ökologie von Frischwassersystemen und ihrer Aufbereitung beschäftigt, ein Symposium zum Thema *Space Biology: Ecological Aspects* an der Oregon State University, das ökologische Grundlagenforschung zu Lebensbedingungen in künstlichen Ökosystemen im Weltall thematisiert.¹³⁷ Das Ziel ist die Gestaltung von regenerativen Systemen, weil in der NASA-Roadmap für die späten 1970er Jahre in Aussicht gestellte lange Raumflüge – etwa zum Mars – nicht ausreichend Lebensmittel und Sauerstoff mitführen können.¹³⁸ Stattdessen, so lautet die Prämisse der Ökologin, sind Systeme ihres Nachwachsens nötig. Auch zur Vermeidung der Ansammlung giftiger Stoffe, die von den Baumaterialien abgesondert werden, sollen künstliche Ökosysteme in der geschlossenen Umgebung von Raumschiffen durch das Weltall reisen.

In seinem Beitrag zu diesem Symposium, dessen Proceedings bezeichnenderweise nicht in einer ökologischen Fachzeitschrift, sondern in *The American Biology Teacher* veröffentlicht werden, unterscheidet Howard Odum, der zu dieser Zeit am Puerto Rico Nuclear Center arbeitet, drei Arten von *life support systems*: erstens rein technische Anlagen, die auf ständigen Nachschub von Ressourcen und Bauteilen angewiesen sind, zweitens zu dieser Zeit gut erforschte, auf Algen basierende, das technische System ergänzende einfache Ökosysteme, die zur Sauerstoffsynthese und Nahrungsergänzung dienen, aber ebenfalls von außen supplementiert werden müssen¹³⁹, sowie drittens »complex multispecies climax ecosystems«¹⁴⁰, die autark und ohne Unterstützung operieren und Lebensbedingungen für menschliche Astronauten sowie Nahrungsmittel erzeugen. Während im ersten Fall das Ökosystem komplett durch die maschinelle Herstellung einer belebbaren Atmosphäre in Betrieb gehalten wird, soll im letzteren Fall, aufbauend auf ökologischer Forschung, ein Ökosystem aus miteinander kompatiblen, sich gegenseitig erhaltenden, einen

136 Taub, Frieda B.: »Closed Ecological Systems«. In: *Annual Review of Ecology and Systematics* 5/1 (1974), S. 139–160.

137 Vgl. Taub, Frieda B.: »Some Ecological Aspects of Space Biology«. In: *The American Biology Teacher* 25/6 (1963), S. 412–421. Vgl. zu diesem Symposium Maher, Neil M. (2017): *Apollo in the Age of Aquarius*. Cambridge, Harvard University Press. S. 15.

138 Vgl. zum Hintergrund dieser Forschungsfragen bei der NASA und alternativen Projekten Munns, David P. D./Nickelsen, Karin: »To Live Among the Stars. Artificial Environments in the Early Space Age«. In: *History and Technology* 33/3 (2018), S. 272–299.

139 Vgl. zur Bedeutung von Algen für die Raumfahrtforschung Aronowsky, Leah V.: »Of Astronauts and Algae. NASA and the Dream of Multispecies Spaceflight«. In: *Environmental Humanities* 9/2 (2017), S. 359–377.

140 Odum: »Limits of Remote Ecosystems Containing Man«. S. 429.

Kreislauf bildenden Arten selektiv zusammengestellt und in die geschlossene Umgebung einer Raumstation überführt werden. Dieses *multispecies system* soll sich im Status des *climax* befinden, dem stabilen Endzustand der Herausbildung eines ökologischen Systems. Ein solches System soll durch seine Kapazitäten der Selbstregulation stabil sein und sich aus sich selbst heraus regenerieren, auch wenn umfangreiche, von den Astronauten zu wartende und zu reinigende technische Systeme der Belüftung, Kompostierung und Bewässerung das Ökosystem am Laufen halten. Zwar fallen die Begriffe *ecological engineering* oder *environmental design* in diesem Kontext noch nicht, doch kann das Eingreifen in ein solches System zum Zwecke seiner selbsttätigen Regeneration als Umsetzung dieser von Odum später ausführlich beschriebenen Verfahren gelten. Das von einem solchen Ökosystem in einem Raumschiff oder auf einer Raumstation erzeugte künstliche *environment* wäre nicht nur synthetisch, sondern müsste ständig kontrolliert und reguliert werden, damit die Kreisläufe des Ökosystems einschließlich der Astronauten und der technischen Systeme korrelieren. Der entscheidende Vorteil eines solchen Systems liegt Odum zufolge in seiner Restlosigkeit: Alles, was es verbraucht, produziert es selbst.¹⁴¹ Es gehorcht der holistischen Annahme, dass man ein komplexes System nur als Ganzes und nicht anhand isolierter Teile verstehen und damit auch konstruieren kann. Weil die Raumstation in dieser Perspektive als Gesamtsystem betrachtet wird, ist der Mensch darin nur ein Faktor unter vielen, dem zwar eine besondere Bedeutung zukommt, der aber nicht aus den Kreisläufen herausgehoben werden kann.

Die Unterschiede der genannten drei Herangehensweisen an *life support systems* stellt Odum in drei Diagrammen dar, die sowohl auf natürliche als auch auf technische Systeme angewendet werden können. Die über den Beobachtungsrahmen hinausgehenden Pfeile markieren jeweils funktionale Verschränkungen des Systems mit der Außenwelt, während die Pfeile innerhalb des Rahmens die Systemfunktionen darstellen. *P* steht dabei für Photosynthese, *R* für *respiration*, also Sauerstoffverbrauch durch Atmung, und *M* bezeichnet die Wiederherstellungs- bzw. Wartungsrate des Systems. Der obere Pfeil markiert Flüsse organischer, der untere Pfeil anorganischer Materie. Die Häuser stehen für Speicherkapazitäten des Systems.

141 Zum Prinzip der Restlosigkeit vgl. Krajewski, Markus (2006): *Restlosigkeit. Weltprojekte um 1900*. Frankfurt/Main, Fischer.

Abbildung 6.22 – Raumstationen als Ökosysteme

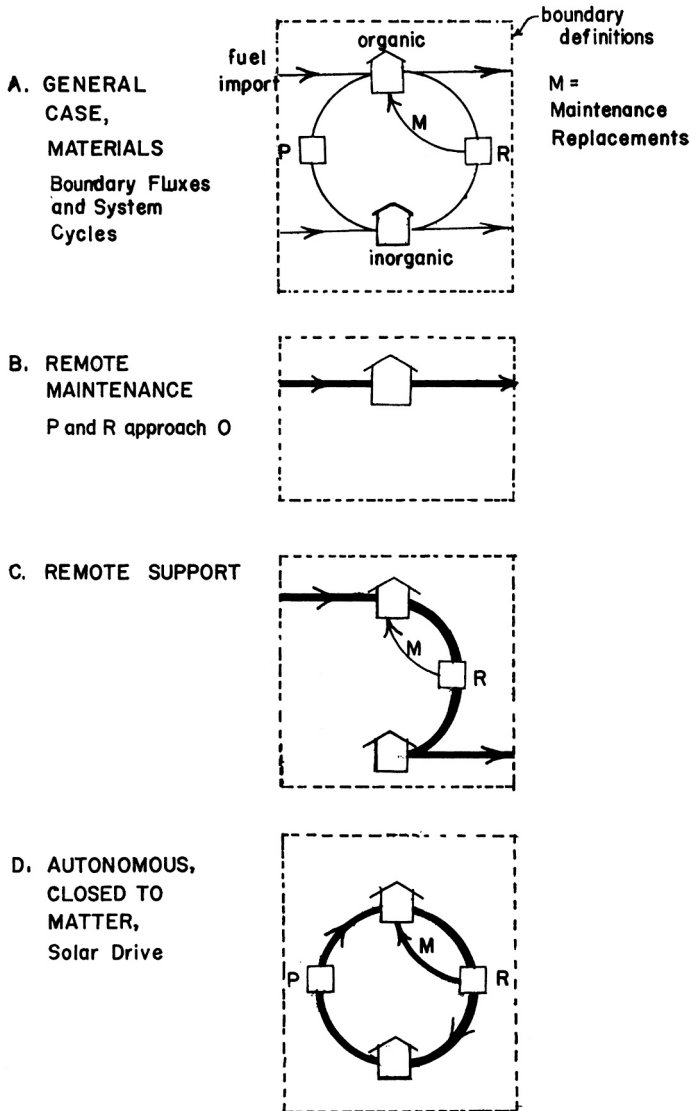


Figure 1. The principal internal and boundary processes in 4 classes of ecosystems. P, gross photosynthesis; R, total system respiration; house boxes represent storages.

Quelle: Odum, Howard T. (1963): Limits of Remote Ecosystems Containing Man. In: *The American Biology Teacher* 25/6 (1963), S. 429–443. Hier: S. 432.

Im Fall des vorgestellten ersten *life support systems* leistet das System weder Photosynthese noch Respiration, weshalb organische Stoffe wie ein Pfeil durch den Beobachtungsrahmen verlaufen. Das System ist reiner Durchlauf von Energie. Erst im dritten Fall kann sich das System – solange es im Zustand des stabilen *climax* bleibt – von der Außenwelt lösen und nur aus sich selbst speisen. Die Darstellungsform ist konsequent: Es wird zum geschlossenen Kreis. Voraussetzung dafür sind die Speicherkapazitäten, die den Verbrauch regulieren helfen. Energie wird nur von der Sonne bereitgestellt und überschüssige Hitze in die äußere Umgebung abgeleitet. Dieses *life support system* bildet einen Bedingungskreislauf, der sich aus sich selbst erneuert und in einer vom Rest des Universums abgeschlossenen Raumstation existieren können soll. Bei den anderen beiden Abbildungen wird durch das Fehlen der Kreise evident, dass sie als Lösung für ein derart isoliertes System wie eine Raumstation ungeeignet sind, weil sie nicht geschlossen werden können.

Zwar fördert die NASA, wie der Historiker Neil M. Maher unterstrichen hat, Projekte zur Erforschung von *closed worlds* mit großen Geldsummen, doch wie Taub retrospektiv betont, sind dabei nur wenige Ökologen und Ökologinnen direkt beteiligt.¹⁴² Eine Ausnahme bildet Eugene Odum, der, wie Maher zeigt, Ideen seines Bruders aufnimmt und von der NASA mit einem gut ausgestatteten Projekt über sogenannte *microecosystems* gefördert wird. Zuvor hatte der ältere der Brüder bereits auf mehreren Mitte der 1960er Jahre von der Ecological Society ausgerichteten Tagungen in Princeton zu diesem Thema gesprochen. In seinem Forschungsprojekt an der University of Georgia führt Odum gemeinsam mit Robert Beyer, einem Doktoranden seines Bruders, sowie seinem Mitarbeiter Dennis Cooke eine comparative Studie zu ökologischen *life support systems* in regenerativen Systemen in Raumkapseln durch. In diesem Kontext werden zwei bereits im Labor in isolierten Aquarien erforschte *microecosystems* zu simulierten Raumkapseln umgedeutet.¹⁴³ Mit aufwändigen Verfahren wird der Metabolismus dieser Systeme einer im Gegensatz zur ›alten‹ Welt außerhalb des Aquariums als ›jung‹ bezeichneten Natur überwacht.¹⁴⁴ Im ersten Experimentalsystem befindet sich ein auf Algen basieren-

142 Vgl. Maher (2017): *Apollo in the Age of Aquarius*. S. 16 und Taub: »Closed Ecological Systems«. In: *Annual Review of Ecology and Systematics* 5/1 (1974). S. 152. Auch Peder Anker betont, dass die Ökologie nur konzeptuelle Hilfestellung geleistet habe, an der Konstruktion von Raumschiffen aber keine Ökologen direkt beteiligt gewesen seien (vgl. Anker: »The Ecological Colonization of Space«). Auch Munns und Nickelsen belegen, dass selbst die Odum-Brüder über die Details der NASA-Forschung nicht informiert waren (vgl. Munns/Nickelsen: »To Live Among the Stars«).

143 Vgl. Beyers, Robert J.: »The Metabolism of Twelve Aquatic Laboratory Microecosystems«. In: *Ecological Monographs*, 33/4 (1962), S. 281-306.

144 Odum, Eugene P./Cooke, W. Dennis/Beyers, Robert J.: »The Case for the Multispecies Ecological System, with Special Reference to Succession and Stability«. In: National Aeronautics and Space Administration (Hg., 1968): *Bioregenerative Systems*. Washington, NASA, S. 129-142. Hier: S. 130.

des, im anderen ein aus einer Vielzahl von Spezies (Pilzen, Bakterien, Algen, Krustentieren) bestehendes Ökosystem. Die holistische Intuition Odums lautet, dass nur ein als Ganzes in die Geschlossenheit überführtes Ökosystem auf Dauer stabil sein kann. Ein lediglich aus einer Art bestehendes System sei nicht in der Lage, jene Rückkopplungsmechanismen herauszubilden, die für ein stabiles Ökosystem charakteristisch seien.¹⁴⁵ Am Ende der Experimentalreihe steht das Modell eines komplexen Ökosystems, das sowohl Sauerstoff bereitstellt als auch als Nahrung dienen kann, dabei aber aufgrund seiner gewachsenen Stabilität wenige »external controls«¹⁴⁶ benötigt. Es soll die Komplexität eines natürlich gewachsenen Ökosystems in einer künstlichen Umgebung reproduzieren. Allerdings benötigt dieses Ökosystem mit rund 8000 Quadratmetern pro Astronauten so viel Platz¹⁴⁷, dass das Projekt nach einer Präsentation vor NASA-Mitarbeitern und dem Antrag, in Zukunft die Auswirkungen eines Raumflugs auf ein solches System im Labor zu erforschen, 1966 bereits ein Jahr vor Ablauf der Förderphase abgebrochen wird. Keine Raummission könne, so die Begründung, solche Flächen und die technischen Grundlagen zu ihrem Betrieb bereitstellen, zumal diese Fläche zur Lagerung von Vorräten ausreichen würde. Die im Anschluss an die Präsentation der Forschungsergebnisse von Dennis Cooke bestrittene Diskussion ist ein bemerkenswertes Zeugnis dieser Zeit und ein Dokument des Auseinanderdriftens ingenieurtechnischer und ökologischer Positionen, die sich trotz ihrer gemeinsamen technokratischen Basis letztlich unvereinbar gegenüberstehen. Zugleich tauchen in dieser Diskussion Fragmente des zeithistorischen Horizonts der ökologischen Krise auf.

Auch wenn Cooke sich mit dem Hinweis »We cannot sacrifice stability«¹⁴⁸ wehrt, sind die Einwände der anwesenden Gutachter eindeutig: Ein unkontrolliertes, sich selbst überlassenes System, in dem der Mensch nur eine untergeordnete Komponente darstellt, könne die gewünschten Ergebnisse nicht sicherstellen. Die Situation in einer Raumstation sei grundsätzlich instabil, aber auch zeitlich begrenzt: »The whole question in deciding about long-term life support [...] is going to revolve about where you can trade off stability for engineering.«¹⁴⁹ Ein weiterer Einwand gegen den *multispecies approach* lautet, dass der monokulturelle Anbau von Nahrungsmitteln gerade in einem räumlich begrenzten System vielversprechend sei, weil Effizienz wichtiger sei als Nachhaltigkeit.

Cookes Replik auf diese Einwände zielt aufs Ganze und bringt den Kontext dieser Zeit ins Spiel: »This is something that ecologists are going to have to speak up about. We are getting more and more unstable. The temperature of the Earth is

145 Vgl. zur *space ecology* der Odum-Brüder ebenfalls Aronowsky: »Of Astronauts and Algae«. S. 365.

146 Odum/Cooke/Beyers: »The Case for the Multispecies Ecological System«. S. 132.

147 Ebd., S. 136.

148 Ebd., S. 138.

149 Ebd., S. 139.

rising because our monoculture is attempting to replace fossil energy for solar energy [sic] through our own photosynthesis in our biosphere.«¹⁵⁰ Während Cooke Stellung im größeren Ganzen bezieht und die Diskussion damit auf eine grundsätzliche Ebene zu heben versucht, ist die konzeptuelle Kritik der Gutachter am holistischen Ansatz gravierend. Der Hinweis auf die Bedingungen der technischen Supplementierung von Ökosystemen ist so eindeutig, dass man in den in den folgenden Jahren von den Odums entwickelten Verfahren des *ecological engineerings* ein Echo dieser Debatten zu vernehmen meint.

Die Diskussion wird von einem Kritiker, dem Photosynthese-Experten Bessel Kok, mit den Worten »Spaceflight is not interested in the ecosystem«¹⁵¹ beendet. Die Weiterentwicklung von Brennstoffzellen, die in den *Gemini*- und *Apollo*-Missionen zur Versorgung genutzt werden, löst schließlich einige Zeit später viele Probleme, für die in Odums Projekt eine Antwort gesucht wurde. Die Herstellung eines künstlichen *environments* durch ein natürliches *environment* und die aufwändige Schließung des Systems durch die Stabilisierung des *life support systems* treten angesichts der neuen Energiequellen in den Hintergrund, auch wenn ökologische Ideen für die Raumfahrtforschung und ihr Imaginäres weiterhin wichtig bleiben. Cooke verfasst 1971 für die dritte Auflage von Eugene Odums *Fundamentals of Ecology* ein Kapitel über die »Ecology of Space Travel«.¹⁵² Doch die NASA setzt nicht länger auf die ökologische Expertise, sondern strebt ingenieurtechnische Lösungen an.

Man kann diese Episode der ökologischen Intervention und das Beharren auf holistischen Annahmen als Versuch betrachten, ein künstliches Ökosystem von seinem äußeren *environment* abzulösen, die Komplementarität aufzuheben und gleichsam die äußere Umgebung zum Verschwinden zu bringen. Das Bild, das Howard Odum zur Darstellung dieses Vorhabens wählt, ist der geschlossene Kreis. Erneut scheint hier der von Donato Bergandi benannte reduktionistische Holismus der Odum-Brüder auf.¹⁵³ Zwar betrachten sie ein Ökosystem als Ganzes mit Eigenschaften der Emergenz, doch reduzieren sie dieses System auf eindeutig begrenzte Elemente, die neu angerichtet werden können und deshalb für die Maßnahmen des *ecological engineerings* geeignet sind. Eine hermetische Schließung kann, so die systemtheoretische Prämisse, nur mit einem regenerativen System geleistet werden, das sich selbst erneuert, dessen Kreisläufe geschlossen sind und das deshalb einen Kreis bildet. Ein nur auf einer Spezies beruhendes System kann keine rückgekoppelten Kreisläufe herausbilden, und wenn es keine Kreisläufe gibt, gibt es keinen Kreis und damit keine Schließung. Die Möglichkeit der Schließung ist ein Effekt der Annahme eines holistischen, regenerativen, runden Ökosystems,

150 Ebd., S. 138.

151 Zitiert nach Maher (2017): *Apollo in the Age of Aquarius*. S. 16.

152 Odum (1971): *Fundamentals of Ecology*. S. 498–509.

153 Vgl. Bergandi: »Reductionist Holism«.

dessen Komponenten derart gemessen und berechnet werden können, dass sie auf lange Zeit stabil bleiben und zuverlässig aus sich selbst heraus und in sich selbst hinein operieren. Kurz gesagt: Im Holismus der Ökosystem-Ökologie ist Zirkulation gelingende Schließung. Das Bild dieser Geschlossenheit ist der Kreis.

Die Frage der Geschlossenheit bleibt in einer anderen Hinsicht relevant, als nach der erfolgreichen Mondlandung mit den Imaginationen der Kolonisierung des Weltalls neue Gesellschaftsentwürfe durchgespielt werden. Der bereits erwähnte Gerard O'Neill schreibt 1977 in seinem Buch über künftige Raumstationen: »In the long run, it seems likely that in designing their environments dwellers in space will take full advantage of new degrees of freedom in gravity, day-length, and climate.«¹⁵⁴ Eine solche durch und durch kontrollierte Raumstation böte die Möglichkeit, gesellschaftliche und biopolitische Experimente derart aneinander zu koppeln, dass in einer geschlossenen Hülle im Weltall Populationen menschlicher Organismen, ihr biologisches *environment* sowie die Technologien der Raumfahrt ein geschlossenes System bildeten. Dessen Einheit würde nicht nur das Überleben der Menschheit sichern, sondern diese auf eine neue Entwicklungsstufe heben – durch *environmental design*.

Dass auch in diesem Kontext der Kreis eine zentrale Rolle spielt, zeigt sich an einer Reihe von Gemälden, die bei einer 1975 von der NASA finanzierten, von O'Neill an der Stanford University und am nahegelegenen NASA Ames Research Center organisierten Summer School entstehen. Die beiden Künstler Rick Guidice und Don Davis gehören zu den Teilnehmern. Die zwei Jahre später erschienene NASA-Studie *Space Settlements – A Design Study* enthält einige ihrer dreizehn im Kontext der Summer School entstandenen großformatigen Gemälde mit künstlerischen Entwürfe von Raumstationen, die kurze Zeit später auch von Stewart Brand in *Co-Evolution Quarterly*, einen Ableger des *Whole Earth Catalog* übernommen werden.¹⁵⁵

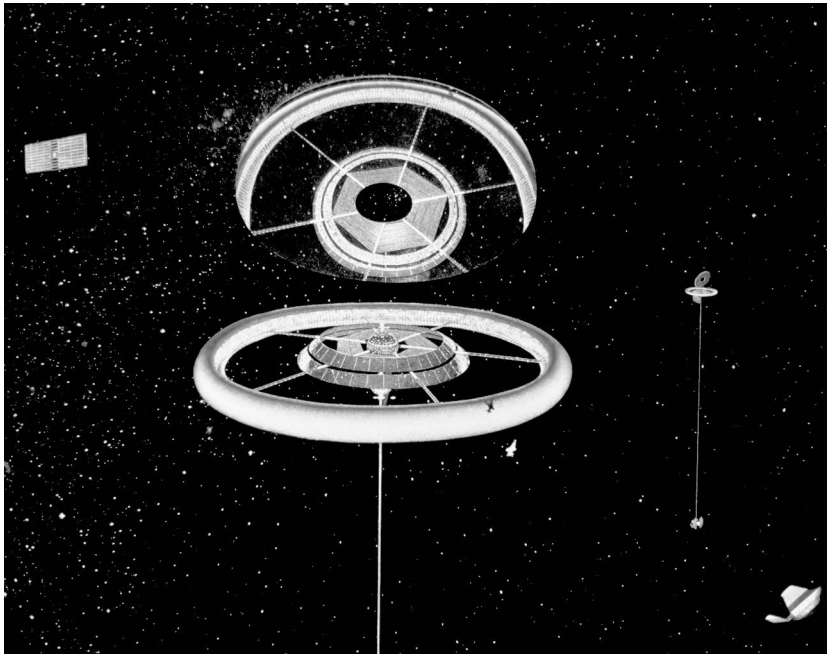
Von den drei dargestellten Klassen von Raumstationen ist vor allem der sogenannte Stanford Torus hier relevant, weil er die Kreisform als Gestaltungselement aufnimmt. Basierend auf Überlegungen des Science Fiction-Autors und Physikers John Desmond Bernal von 1929 sowie Abbildungen eines vom Raketenforscher Hermann Noordung ebenfalls 1929 imaginierten »Wohnrads«, das von Wernher von Braun 1952 in der Wochenzeitschrift *Collier's* erneut popularisiert wird, besteht diese Raumstation aus einem Ring, der durch Speichen mit einem Antriebsmodul in

154 O'Neill (1977): *The High Frontier*. S. 83.

155 Johnson, Richard D./Holbrow, Charles (Hg., 1977): *Space Settlements. A Design Study*. Washington, National Aeronautics and Space Administration. Vgl. dazu ausführlich Scharmen, Fred: »Highest and Best Use. Subjectivity and Climates Off and After Earth«. In: *Journal of Architectural Education* 71/2 (2017), S. 184–196. Hier: S. 186 sowie Scott: »Earthlike«.

der Mitte sowie einem großen Sonnenspiegel verbunden ist und etwa zehntausend Menschen aufnehmen können soll.¹⁵⁶ Die runde Form basiert auf der Idee, dass sich die Rotationswirkung um die rotierende Achse zur Schwerkrafterzeugung nutzen lasse und der Kreis zugleich die optimale Ausnutzung des Raums ermöglicht. Die Bilder von Guidice und Davis zeigen sowohl Innen- als auch Außenansichten dieser Station, in deren offenen Räumen sich an den Außenseiten Wohngebiete mit umfangreichen Grünanlagen befinden sollen, die ein *natural environment* nachbilden. Der Torus soll einen Durchmesser von knapp zwei Kilometern haben und sich einmal pro Minute um die eigene Achse drehen. Als sich drehender Kreis schwebt er über der Erdkugel und reproduziert ihre Geschlossenheit und korrespondiert mit dem Blick aus einem Außen, das verschwindet.

Abbildung 6.23 – Stanford Torus Exterior View



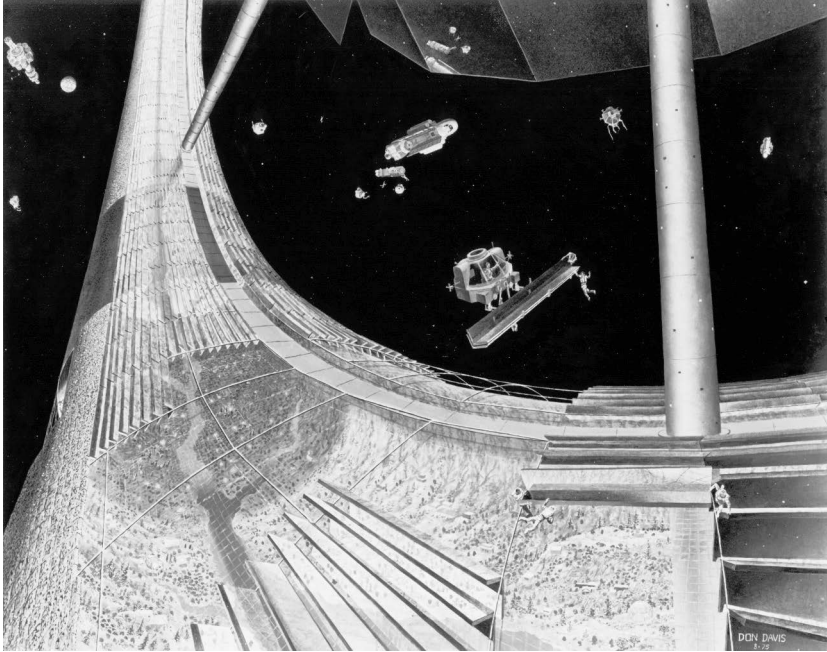
Quelle: Don Davis, NASA ID Number AC76-0525, 1976,

http://settlement.arc.nasa.gov/70sArtHiRes/70sArt/Torus_Exterior_AC76-0525_5696.jpg,

letzter Zugriff am 4. Mai 2019.

¹⁵⁶ Vgl. Bernal, John Desmond (1929): *The World, The Flesh And The Devil*. New York, Paul, Trench & Trubner; Noordung, Hermann (1929): *Das Problem der Befahrung des Weltraums. Der Raketen-Motor*. Berlin, Schmidt. S. 143; Braun, Wernher von: »Crossing the Last Frontier«. In: *Collier's Weekly* (22. März 1952).

Abbildung 6.24 – Stanford Torus Construction Along the Torus Rim



Quelle: Don Davis, NASA ID Number AC75-1886, 1976,

http://settlement.arc.nasa.gov/70sArtHiRes/70sArt/Torus_Construction_AC75-1886_5737.jpg,
letzter Zugriff am 4. Mai 2019.

6.3.2 Biosphäre ohne Außen

1976 veröffentlicht eine Gruppe namhafter, aber mitunter kontroverse Thesen vertretender Ökologinnen und Ökologen – darunter Lynn Margulis, James Lovelock, Daniel Botkin und Ramon Margalef sowie der Apollo-9-Astronaut Russell Schweickard – im *Bulletin of the Ecological Society of America* einen Aufruf zur »Ecological Considerations for Space Colonies«. Dieser Text plädiert dafür, auf der Erde in großem Maßstab Testanlagen zu errichten, in denen die Situation einer Raumstation simuliert und Ökosysteme erforscht werden können. Er bringt die Ökologie zwar nicht ins Fördermittel-Roulette der Raumfahrtforschung zurück, liefert aber wichtige Inspirationen für das Projekt *Biosphere II*, das in den frühen 1990er Jahren in der Öffentlichkeit auf großes Interesse stößt. Der Text liest sich wie ein Aufgabenkatalog, den diese gut zehn Jahre später geplante *closed world* umsetzen wird. Zwar sind die Geschichte von *Biosphere II* und die schließlich

zum Ende des Projekts führenden Konflikte bereits gut erforscht¹⁵⁷, doch vor dem Hintergrund der bisherigen Ausführungen kann dieses Unternehmen als das bis dahin umfangreichste Projekt ökologischer Schließung in expliziter Fortsetzung der Ökosystem-Ökologie verstanden werden. Es spielt auch im Imaginären des ökologischen Wissens dieser Zeit eine wichtige Rolle und führt die biopolitische Dimension der Schließung von Zirkulation vor.

Die Gestaltung von *closed worlds* kann einerseits als Utopie einer alternativen, künstlichen Welt und der von ihr umgebenen Gesellschaft verstanden werden, die nur auf der Grundlage ökologischen Umgebungswissens denkbar ist. Als technologische Modelle für die Herstellung künstlicher *environments* sind *closed worlds* andererseits als biopolitische Kontrollphantasien zu verstehen, in denen ein System in einem versiegelten Raum existiert und die Zirkulationen von Energie und Materie lückenlos kontrollierbar sind. Das Ziel solcher Projekte ist stets die Herstellung eines dynamischen, aber stabilen Gleichgewichts. Sie zielen darauf ab, zu bestimmen, wie viel zusätzlicher Input von außen nötig ist bzw. wie eine Schließung aufrechterhalten werden kann, um das System im Gleichgewicht zu halten. Zugleich handelt es sich bei den bewohnten künstlichen Welten auch um soziale Experimente, welche die Gruppendynamiken etwa bei wochenlanger Isolation auf dem Meeresboden oder jahrelanger Einschließung in eine Glasarchitektur erforschen sollen – mit dem Ziel, jene Charaktereigenschaften zu identifizieren, die beispielsweise zur Kolonisierung des Weltraums unter extremen Außenbedingungen notwendig sind. In diesem Sinn kann *Biosphere II* als materielles Analytikum in größerem Maßstab verstanden werden, als Ökosystem, das die Forscherinnen und Forscher untersuchen, indem sie in ihm leben. Es geht um eine parallele Erforschung von außen und von innen, um eine Verknüpfung eines involvierten und eines externen Beobachtungsstandpunkts.

Biosphere II ist ein besonders eindrucksvolles Beispiel für die artifizielle Schaffung von *environments* und das Versagen ihrer Kontrolle. In einem mehr als einen Hektar großen, 180.000 Kubikmeter fassenden Gebäudekomplex in der Wüste Arizonas soll, in allen Stoffkreisläufen gänzlich von der Außenwelt abgeschnitten, hermetisch isoliert und bis ins Detail technisch kontrolliert, die Selbstorganisation eines der Erde als der *Biosphere I* vergleichbaren, aber miniaturisierten Ökosystems mit tausenden von Lebewesen simuliert werden. Die Prämisse lautet, dass man die Erde, um sie zu verstehen nachbauen muss. Erst in der Miniatur wird das System ausreichend kontrollierbar, aber sie muss groß genug sein, um die Komplexität des natürlichen Ökosystems der Biosphäre zu modellieren. Dies setzt die Skalierbarkeit der Ökosysteme des Planeten voraus: Sie in beobachtbare und

157 Vgl. Höhler, Susanne: »The Environment as a Life Support System. The Case of Biosphere 2«. In: *History and Technology* 26/1 (2010), S. 39–58; Anker: »The Ecological Colonization of Space«; Pringle: »The Ecosystem Is an Apparatus«.

synthetisierbare Einheiten zu überführen und diese architektonisch zu schließen impliziert, dass die systemischen Zusammenhänge des Ganzen, also gemäß der Ökosystem-Ökologie die Herstellung eines stabilen Gleichgewichts durch Prozesse der Selbstregulation, auf allen Maßstabsebenen identisch sind und lediglich eine externe Energiezufuhr gesichert sein muss.¹⁵⁸

Wie die Erde soll auch *Biosphere II* ein energetisch offenes, materiell aber geschlossenes System sein. *Biosphere II* ist den beteiligten Ökologen zufolge ein »materially-closed and durable environmental research apparatus, capable of measuring and maintaining a range of internal environmental conditions, while presenting the most inert and non-toxic background possible for resident life systems.«¹⁵⁹ Sieben Biome genannte Ökosysteme, ein Regenwald mit Wasserfall, eine Savanne, ein 3,5 Millionen Liter Meerwasser fassender Ozean mit Korallenriff, ein Mangrovensumpf, eine Wüste, ein landwirtschaftlicher Bereich und ein Dorf werden in den einzelnen Hallen des Gebäudekomplexes auf handhabbare Einheiten geschrumpft, begrenzt und isoliert. Ein eigenes Mikroklima soll entstehen und sich so sehr von der Außenwelt abkoppeln, dass es mindestens ein Jahrhundert lang bestehen kann. Ein weiteres Ziel ist die Herausbildung neuer Organisationsformen zwischen dem Ökosystem und den in zwei sogenannten Missionen in ihm lebenden Forschern und Forscherinnen. Schließlich geht es aber auch um die Vermarktung dieser Anlage als einer Art ökologischem Freizeitpark und die Patentierung neuer *green technologies*.¹⁶⁰ Eines der Ziele des vom Ölmilliardär Edward P. Bass mit fast 200 Millionen Dollar geförderten Projekts ist der Erhalt von Biodiversität durch ein alternatives Ökosystem in großem Maßstab. Geleitet wird es vom Harvard Business School-Absolventen und Theaterautoren John Allen, der sich als »pioneer in ecotechnics, total systems entrepreneurial management, metallurgy and the philosophy of systems« bezeichnet.¹⁶¹

Biosphere II setzt die Linie der kybernetischen Ökosystem-Ökologie fort und wird von Beginn an von den Odum-Brüdern in Veröffentlichungen und einem von Howard Odum verfassten Abschlussbericht unterstützt.¹⁶² Den Begriff der Bio-

158 Vgl. Allen, John (1991): *Biosphere 2. The Human Experiment*. New York, Viking.

159 Zabel, Bernd/Hawes, Phil/Stuart, Hewitt/Marino, Bruno D.V.: »Construction and Engineering of a Created Environment. Overview of the Biosphere 2 Closed System«. In: *Ecological Engineering* 13/1-4 (1999), S. 43-63. Hier: S. 44.

160 Vgl. Anker (2010): *From Bauhaus to Ecohouse*. S. 122.

161 Allen, John/Nelson, Mark (1986): *Space Biospheres*. Santa Fe, Synergetic Press. About the Authors. Ende der 1970er Jahre gründet Allen in New Mexico ein ökologisches Dorf, die sogenannte Synergia Ranch, wo den Theorien Buckminster Fullers folgend neue Formen des Zusammenlebens, des ökologischen Ackerbaus sowie des Theaters ausgetestet werden. Dort lernt Allen auch Ed Bass kennen.

162 Vgl. Anker: »The Ecological Colonization of Space«. S. 257. Das von Howard Odum gemeinsam mit Robert J. Beyers verfasste Buch *Ecological Microcosms* von 1993 thematisiert kleine, isolierte, möglichst geschlossene Ökosysteme, die wie Aquarien oder Terrarien zu Schulungs-

sphäre, den der russische Geologe Vladimir Vernadsky 1926 prägt, bringt der mit diesem befreundete George Evelyn Hutchinson 1970 mit einer gleichnamigen Sonderausgabe des *Scientific American* wieder in die Diskussion. Er deutet schon zu dieser Zeit an, dass »life can exist in a space capsule or a space suit far outside the natural biosphere. Such artificial environments may best be regarded as small volumes of the biosphere nipped off and projected temporarily into space.«¹⁶³ Hutchinson fasst damit die zu dieser Zeit in den genannten Projekten ausgetesteten Möglichkeiten künstlicher *environments* zusammen und setzt sie in Bezug zur Geschichte der Ökologie, vor deren Hintergrund sich *Biosphere II* als größtes, aber auch umstrittenstes ökologisches Forschungsprojekt seiner Zeit verortet.

Der Gebäudekomplex steht in einer Tradition vergleichbarer Architekturen, zu denen etwa das *Thermoholidon* zählt, ein Projekt zur Klimakontrolle in Glashäusern, mit dem die Brüder Victor und Aladar Olgyay in den 1960er Jahren ihr Konzept des »design with climate« verfolgen.¹⁶⁴ Auch das 1960 in St. Louis errichtete *Climatron*, das erste als geodätischer Dom den Ideen Fullers folgende, vom Außen isolierte Gewächshaus mit computergesteuerter Klima- und Lichtkontrolle sowie ständiger Überwachung der Luftqualität, kann als Vorbild gelten.¹⁶⁵ In den Forschungsberichten wird ebenfalls das russische Projekt BIOS 3 als Inspiration genannt, eine Raumfahrt-Testanlage im Sibirien mit 300 Kubikmetern Volumen, die von 1965 bis 1984 in Betrieb ist. Sie soll experimentell zeigen, dass ein unterirdisches, künstliches, auf Algen zur Kohlendioxidaufbereitung basierendes und mit externer Energie versorgtes Ökosystem über einen Zeitraum von sechs Monaten rund die Hälfte des Bedarfs an Sauerstoff und Nahrung eines einzigen menschlichen Bewohners bereitstellen kann.¹⁶⁶

Forschungs- oder Zuchtzwecken eingesetzt werden können. Das Buch enthält ein von Mitarbeitern des *Biosphere II*-Projekts verfasstes Kapitel (vgl. Beyers/Odum (1993): *Ecological Microcosms*. S. 463–479).

163 Hutchinson, George Evelyn: »The Biosphere«. In: *Scientific American* 223/9 (1970), S. 44–53. Hier: S. 45. Hutchinsons Einleitung zu diesem Sonderheft folgen Artikel zu den verschiedenen Kreisläufen der Erde (Wasser, Sauerstoff, Kohle, Stickstoff und Mineralien) sowie zur Rolle des Menschen in den Prozessen der Biosphäre.

164 Vgl. Barber (2016): *A House in the Sun*.

165 Vgl. Munns (2016): *Engineering the Environment*.

166 Vgl. Nelson, Mark/Burgess, Tony L./Alling, Abigail/Alvarez-Romo, Norberto/Dempster, William F./Walford, Roy L./Allen, John P.: »Using a Closed Ecological System to Study Earth's Biosphere«. In: *BioScience* 43/4 (1993), S. 225–236. Hier: S. 226; zu BIOS 3 ausführlicher Gitelson/Lisovsky/MacElroy (2003): *Manmade Closed Ecological Systems*. S. 231–310. Von 1987 bis 1996 finden vier internationale Konferenzen über die Arbeit an *closed ecological systems* statt, die in London am von John Allen gegründeten *Institute of Ecotechnics*, in Krasnojarsk in der BIOS 3-Anlage, in den Räumen von *Biosphere II* sowie erneut in London abgehalten werden.

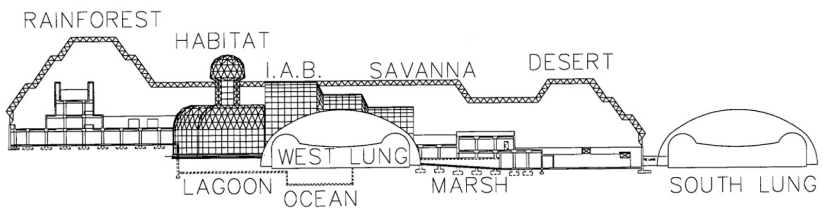
Abbildung 6.25 – Biosphere II



Fig. 1. Aerial view of Biosphere 2 facing southeast showing locations of: 1, rainforest; 2, savannah/ocean/marsh; 3, desert; 4, intensive agriculture; 5, habitat; 6, west lung; 7, south lung; 8, energy center; and 9, cooling towers.

Quelle: Dempster, William: »Biosphere 2 Engineering Design«. In: *Ecological Engineering* 13/1 (1999), S. 31-42. Hier: S. 34.

Abbildung 6.26 – Biosphere II



Quelle: Zabel, Bernd; Hawes, Phil; Stuart, Hewitt; Marino, Bruno D.V.: »Construction and Engineering of a Created Environment. Overview of the Biosphere 2 Closed System«. In: *Ecological Engineering* 13/1-4 (1999), S. 43-63. Hier: S. 52.

Architektonisch ist *Biosphere II*, wie Sabine Höhler gezeigt hat, mit für Sonnenlicht transparenten Wänden und Decken, die zu 95 Prozent aus Glas bestehen, und den weiß gestrichenen Stahlträgern sichtlich von Buckminster Fullers Konstruk-

tionen künstlicher Atmosphären beeinflusst.¹⁶⁷ Zwar werden während des Betriebs insgesamt fünf Scheiben beschädigt, doch aufgrund der aufwändigen Doppelverglasung kommt es zu keinem Bruch der Hülle. Das Stahlgerüst wird von Peter Pearce errichtet, der bereits mit Fuller zusammengearbeitet hatte.¹⁶⁸ Den Unterboden bilden rostfreie Stahlplatten unter einem Zementfundament. Die Anlage ist organisch aufgebaut: es gibt eine ›Lunge‹ in Form eines mit Luftkissen gefüllten geodätischen Doms, der als Druckausgleichskammer dient, ›Verdauungssümpfe‹ und ein ›Computergehirn‹ mit ›Nervenkabeln‹.¹⁶⁹ Ein von Hewlett-Packard entwickeltes »five-level cybernetic system (nerve system)«¹⁷⁰ überwacht das Gebäude. Technisch höchst aufwändig sorgen zahlreiche Pumpen, Wassertanks, Vernebelungs-, Entsalzungs-, Osmose- und Kompostieranlagen sowie ein computergesteuertes Zirkulationssystem für die Bewegung von Luft, Wasser und Licht. Ein zunächst geheim gehaltener, für U-Boote gedachter Kohlendioxid-Filter verbessert die Luftqualität¹⁷¹, während zweitausend Sensoren alle chemischen und biologischen Vorgänge streng überwachen und Funkgeräte sowie Videobildschirme für die Kommunikation zwischen den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in und außerhalb der Anlage sorgen. Mittels der Bewässerungsanlage können unterschiedliche klimatische Verhältnisse bis hin zu Starkregen simuliert werden. Alle fünfzehn Minuten wird automatisch eine Luftprobe entnommen, um die Zusammensetzung der Luft zu prüfen und zu protokollieren. Auch der geschlossene Wasserkreislauf wird ständig überwacht.

Die hermetische Schließung des Systems erzwingt ein technisch anspruchsvolles architektonisches *environment*, weil die Ausdehnung der eingeschlossenen Luft abhängig von der Temperatur, d.h. vor allem zwischen Tag und Nacht vor allem im Wüsten-Biome schwankt. In einer hermetisch versiegelten Hülle drohen diese Druckunterschiede, Schäden an der Außenhülle zu verursachen. Wie die Architekturhistorikerin Meredith Miller gezeigt hat, besteht die Funktion der künstlichen ›Lunge‹ darin, mittels einer flexiblen mechanischen Membran und der variablen Größe des maximal jeweils 25.000 Kubikmeter fassenden ›Lungenvolumens‹ diese Schwankungen sowie barometrischen Druckwechsel auszugleichen, ohne wie in einem Gewächshaus Luft von außen zuführen oder nach außen abführen zu müssen.¹⁷² Die Druckausgleichs-Anlage ist also ein Instrument der Schließung, denn

167 Vgl. Höhler (2014): *Spaceship Earth in the Environmental Age, 1960-1990*. S. 110.

168 Vgl. Miller, Meredith: »Spheres, Domes, Limits, Interfaces. The Transgressive Architecture of Biosphere 2«. In: Perez-Gomez, Alberto/Comier, Anne/Pedret, Annie (Hg., 2011): *Where Do You Stand? ACSA Annual Meeting Proceedings*. Washington, ACSA Press, S. 102-110.

169 Vgl. zu den Organmetaphern Dempster, William: »Biosphere 2 Engineering Design«. In: *Ecological Engineering* 13/1 (1999), S. 31-42.

170 Nelson et al.: »Using a Closed Ecological System«. S. 229.

171 Vgl. Auerbach, Joel: »Biosphere 2. Bogus New World«. In: *Washington Post* (8. Januar 1992).

172 Miller: »Spheres, Domes, Limits, Interfaces«. S. 106.

sie erlaubt, die architektonische Hülle und das gasförmige Innere so zu balancieren, dass die Geschlossenheit auch bei schwankendem Luftvolumen gewährleistet bleibt. Die *biosphere* operiert also auf der Grundlage einer komplexen *technosphere*.¹⁷³

Zwar bleibt ein Rest der Abhängigkeit – *Biosphere II* ist mit einem Stromverbrauch von jährlich sechs Millionen Kilowattstunden auf ein externes Kraftwerk angewiesen –, doch alle Anstrengungen gelten der Schließung des Systems. Wenn die Stoffkreisläufe autark ablaufen sollen, so können sie dies nur, weil massive Energieströme in die technischen Infrastrukturen eingespeist werden. Während im Inneren dieser Welt die ökosystemische Reziprozität des je Umgebenen vom Umgebenden herrscht, muss die geschlossene Welt von einem Außen abgeschlossen sein, das mit ihr aufgrund ihrer Geschlossenheit in keinerlei Austausch steht, ihr aber doch ihren Ort gibt. Die transparente Hülle dieser *closed world* ist den Angaben der Betreiber zufolge so effektiv versiegelt, dass sie im Jahr nur rund 10 Prozent der Luft im Inneren verliert – um ein vielfaches weniger als ein Space Shuttle.¹⁷⁴ Das Außen wird bestmöglich ausgeschlossen, gelangt jedoch auf unerfindlichen Wegen ins Innere: Aus der das Gebäude umgebenden Wüste eingewanderte, sich durch kleine Kunststoffnähte fressende Ameisen sorgen für große Probleme und brechen die Geschlossenheit auf.

Bereits 1986, also gut vier Jahre vor der Eröffnung der Anlage, veröffentlichen John Allen und Mark Nelson in ihrem Verlag *Synergetic Press*, bei dem zu dieser Zeit, wie ein Werbeinlay besagt, Bücher über die chinesische Harmonielehre Feng Shui sowie eine Übersetzung von Vernadskys *The Biosphere* erscheinen, das kleine Buch *Space Biospheres*. Der Text kann als Programmheft von *Biosphere II* gelesen werden. Mit vielen Verweisen auf Lovelock und Margulis schildern Allen und Nelson die biogeochemischen Grundlagen von *Biosphere I* und *Biosphere II* und begründen, warum ein solches Projekt nötig sei, um die Kolonisierung des Mars voranzutreiben. In Abbildung 6.27 zeigen Allen und Nelson die Verschränktheit des »economic system of life system« zur linken und des »economic system of technosphere« zur rechten. Die Überlagerung dieser beiden Kreise soll die »harmonious synergy of biosphere and technosphere«¹⁷⁵ bilden. Zwischen den beiden kreisförmigen Systemen steht die ebenfalls als Kreis dargestellte Sonne als Energiequelle. Zwischen ihnen deuten zahlreiche Pfeile Kreisläufe an. Die Kreise der beiden Systeme enthalten weitere Kreise: Im Kreis des Lebenssystems von *Biosphere II* umfasst ein in den Kreis gelegter Ring die genannten Biome, die mit den umgebenen Lebewesen – als Rechtecke gezeichnet – in Wechselwirkung stehen. Der Kreis der Technosphäre zeigt

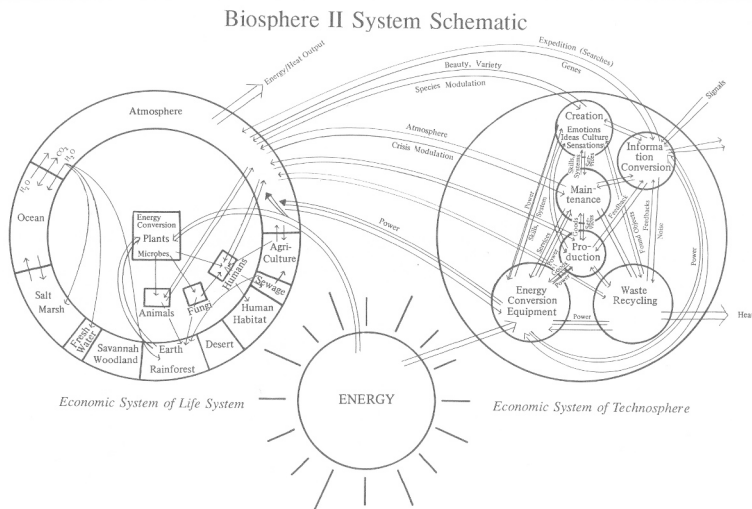
173 Zabel/Hawes/Stuart/Marino: »Construction and Engineering of a Created Environment«. In: *Ecological Engineering* 13/1-4 (1999). S. 55.

174 Vgl. ebd., S. 44.

175 Allen/Nelson (1986): *Space Biospheres*. S. 58.

jene Elemente, die kontrolliert und gemanagt werden müssen, damit *Biosphere II* funktioniert – darunter auch »Creation: Emotion, Ideas, Culture, Sensations«. Die beiden großen Kreise dienen in ihrer Überlagerung als schematische Darstellung der künstlichen *Biosphere II*. Lediglich die Sonne sowie die Energie- und Informationsflüsse zeigen ins Außen. Die Geschlossenheit des Systems ist hier die Grenze des Kreises, dessen Schließung die Architektur der Anlage idealiter umsetzen soll.

Abbildung 6.27 – *Biosphere II System Schematic*



Quelle: Allen, John/Nelson, Mark (1986): *Space Biospheres*. Santa Fe, Synergetic Press. S. 59.

Nach einigen langen Testläufen ohne Menschen ist im Rahmen der ersten Mission ab 1991 eine Gruppe von Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen unterschiedlicher Disziplinen zwei Jahre lang in *Biosphere II* eingeschlossen und erforscht die ökologischen Verhältnisse dieses autarken Ökosystems.¹⁷⁶ Der Einzug der rote Uniformen tragenden *biospherians* oder *econauts* wird von großem Medieninteresse begleitet, live im Fernsehen übertragen und von Flötenklängen und *New Age*-Atmosphäre untermalt. Das Ereignis wird als Start eines Raumschiffs in eine neue Welt inszeniert, mit dem die Freiwilligen von der Erde aus eine Reise ins Außerhalb beginnen. Schließlich soll das Experiment zeigen, ob die *biospherians* als Avantgarde der Planetenkolonisierer in diesem selbstversorgenden *environment* überleben können. Die Gruppe versorgt sich selbst mit dem, was ihr fast viertausend Lebewesen in den sieben Biomen bereitstellen. Sie forscht zu

176 Vgl. zum Ablauf dieser Missionen den Selbstbericht in Allen (1991): *Biosphere 2*.

nachhaltigem Ackerbau, zur Wasseraufbereitung im Sumpf-Biom und testet die Kontrollmöglichkeiten dieser Technosphäre durch. Die Forschergruppe arbeitet an der Langzeitbeobachtung der atmosphärischen Zusammensetzung und ist täglich mit der Wartung der Anlage, der Pflege der Ökosysteme und der Erzeugung der eigenen Nahrung beschäftigt. Nur wenig wird in *Biosphere II* sich selbst überlassen.¹⁷⁷ (Fast) alles, was in diesem Ökosystem produziert wird, fließt in den Kreislauf ein – (fast) alles, was neben der Sonnenenergie verbraucht wird, kommt von innen.

Letztlich scheitert das Projekt aus nicht ganz durchsichtigen und bis heute umstrittenen Gründen, weil einerseits die CO₂-Produktion nicht wie erhofft gelingt, da der Beton zu viel Sauerstoff absorbiert, Lecks, Insektenbefall, übermäßiges Nachwachsen von Kletterpflanzen sowie Krankheiten die Fortschritte unterminieren, alle Vögel, Bienen und Frösche nach kurzer Zeit sterben und die Biosphäre zu wenige Kalorien für die Forscherinnen und Forscher abwirft. Andererseits führen Streitigkeiten der Leitung zum Abbruch. Die zweite, 1993 gestartete Mission wird nach einer Meuterei aufgrund der schlechten Luftqualität und Differenzen über die Fortsetzung des Projekts vorzeitig beendet. Innerhalb der Gruppe bilden sich in einem für isolierte Gemeinschaften typischen Prozess zwei Fraktionen: die eine will die Forschung durch regelmäßigen Austausch von Lebensmitteln und Sauerstoff vereinfachen, die andere um John Allen besteht auf der Aufrechterhaltung der Schließung, weil andernfalls das System nicht mehr autark sei und das Experiment scheitere.¹⁷⁸ Von Vertretern der letzten Gruppe werden die beiden Fraktionen als Reduktionisten und Holisten eingestuft. Die vermeintlichen Skandale, die in dieser Phase publik werden¹⁷⁹, beziehen sich auf die Schließung – so

177 Vgl. zu den Ergebnissen die Beiträge in einer unter anderem von Howard T. Odum herausgegebenen Ausgabe der Zeitschrift *Ecological Engineering*: Marino, Bruno/Odum, Howard T.: »Biosphere 2. Introduction and Research Progress«. In: *Ecological Engineering* 13/3 (1999), S. 3-14 sowie Nelson et al.: »Using a Closed Ecological System«; zu den Ergebnissen vgl. Walford, Roy: »Biosphere 2 as Voyage of Discovery. The Serendipity from Inside«. In: *BioScience* 52/3 (2002), S. 259-263.

178 Vgl. Poynter, Jane: »Biosphere 2. The Experience of ›Being‹«. In: Ohanian, Melik/Royoux, Jean-Christophe (Hg., 2005): *Cosmograms*. New York, Lukas & Sternberg, S. 241-248. Hier: S. 246.

179 Dass diese Auseinandersetzung noch in der Gegenwart schwelt, zeigen zwei Reaktionen der beteiligten Forscher Mark Nelson und Bill Dempster auf einen 2017 erschienenen kritischen Bericht, in dem die genannten Konflikte zugespitzt werden (vgl. Oberhaus, Daniel: »A 21st Century ›Operating Manual for Spaceship Earth‹«. In: *Vice*, 10. Juni 2017, http://www.vice.com/en_us/article/wjqnxy/the-decades-long-quest-to-recreate-earth-in-miniature, letzter Zugriff am 23. Mai 2019; Dempster, William F.: »Biosphere 2 Was Science, Not a Stunt«. In: *Vice*, 14. Juni 2017, http://www.vice.com/en_us/article/gypak9/biosphere-2-was-science-not-a-stunt, letzter Zugriff am 23. Mai 2019; Nelson, Mark: »Setting the Record Straight about Biosphere 2«. In: *Vice*, 24. Juni 2017, http://www.vice.com/en_us/article/mbjz43/setting-the-record-straight-about-the-biosphere-2, letzter Zugriff am 23. Mai 2019).

soll in der ersten Mission eine Forscherin nach einer medizinisch bedingten Reise in die Außenwelt heimlich Lebensmittel in die Anlage geschmuggelt haben und in der zweiten Mission sollen die beiden Forscher Abigail Alling und Mark van Thillo in einem Akt des Widerstands eine Glasscheibe zertrümmert haben, um das Projekt der Schließung zu sabotieren.¹⁸⁰

1996 übernimmt die Columbia University die Anlage. Sie beendet die Schließung und bricht die Langzeitversuche der sektenartig organisierten Forschergruppe ab, um in kleinerem Rahmen und ohne kosmologische Annahmen weiterzuforschen. 2011 geht die Anlage in die Obhut der University of Arizona über, die sie bis heute zu Forschungs- und Bildungszwecken nutzt. Der Versuch, die Natur gänzlich zu beherrschen und ihr Abbild mit einem bis ins Detail kontrollierten Ökosystem zu schaffen, muss, so von den Presseberichten zitierte Kritiker wie Lynn Margulis, fehlschlagen, weil die nonlinearen Effekte eines komplexen Systems sich dieser Kontrolle entziehen und eine sinnvolle Beobachtung nur von einer isolierten Position außerhalb des Systems möglich wäre.¹⁸¹ Die Übertragbarkeit der Erkenntnisse über die *Biosphere II* auf die *Biosphere I* scheint ebenso fraglich. Beobachtungen auf der Skala des ganzen Systems seien aufgrund der Relativität des Beobachterstandpunkts unmöglich. Von Unterstützern wie Howard Odum, der dem Projekt von Beginn an verbunden ist, wird dem entgegengehalten, dass die Untersuchung der einzelnen Bestandteile von Ökosystemen nur dann erfolgversprechend sei, wenn sie von Projekten wie *Biosphere II* zugleich in den Kontext des Systems gesetzt werden.¹⁸² Ein stabiles Ökosystem brauche lange Zeit, um sich durch Adaptionsprozesse zu entwickeln. Während dieser Zeit seien manageriale Maßnahmen unverzichtbar.

Projekte geschlossener Welten von den ökologischen Skizzen für mögliche Raumstationen bis zur *Biosphere II* spielen durch und setzen technisch um, welche neuen Spielräume das Verschwinden des Außen als Erscheinen des *environments* eröffnet. Überleben wird in diesen technisch-organischen Ökosystemen wie auf dem Raumschiff Erde zu einer Frage des kybernetisch-ökologischen Managements von begrenzten Ressourcen, wie Höhler in ihren Studien zur Technik selbstversorgender *environments* seit den 1960er Jahren beschrieben hat: »the *endosphere* turned out to be an *exosphere*, where the only environment in which it was possible to survive was *outside*.«¹⁸³ Nicht zuletzt ist *Biosphere II* ein gescheiterter Versuch, ein *environment* in einem *environment* zu schaffen, das nicht auf das Umgebene

180 Vgl. Appenzeller, T.: »Biosphere 2 Makes a New Bid for Scientific Credibility«. In: *Science* 263/5152 (1994), S. 1368-1369.

181 Vgl. Auerbach: »Biosphere 2«. Ähnlich etwa Zimmerman, Michael: »Biosphere 2. Long on Hype, Short on Science«. In: *Ecology* 73/2 (1992), S. 713-714.

182 Vgl. Odum, Howard T.: »Scales of Ecological Engineering«. In: *Ecological Engineering* 6/1 (1996), S. 7-19.

183 Höhler: »Spaceship Earth« sowie Höhler: »The Environment as a Life Support System«.

wirkt. »As a closed system, *Biosphere II*'s outer structure formed a series of defining boundaries that separated the internal (*Biosphere II*) environment from the surrounding external environment.«¹⁸⁴ Die Schließung der Kreisläufe erscheint unabgeschlossen.¹⁸⁵ *Biosphere II* versucht, aus der Relationalität des Umgebens auszusteigen und eine Grenze zwischen Umgebungen zu ziehen. Doch das Außen kann nicht auf künstliche Weise ausgeschaltet werden und die Kreisläufe im Inneren werden nicht rund. Das Scheitern ist diesen Projekten eingeschrieben, weil sie versuchen, ein Ökosystem ohne Umgebung in einer Umgebung zu schaffen. Hier zeigt sich die Produktivität der Übersetzung der Unterscheidung von Innen und Außen in die Unterscheidung von Umgebendem und Umgebenem: Das Außen des geschlossenen Ökosystems ist zugleich das Innen eines Systems aus dem geschlossenen System und eben diesem Außen.

6.4 Figuren der Zirkulation – Die Kreise der Gaia-Hypothese

Im Kontext der von der NASA vorangetriebenen Erforschung der Möglichkeit der Besiedelung fremder Planeten, also der Erschaffung belebbarer extraterrestrischer *environments* als *life support systems*, entsteht um 1970 die Gaia-Hypothese. Sie spielt die Bedingungen und Effekte einer systemischen Schließung auf planetarischem Maßstab durch. Ab 1967 veröffentlicht der für die Mars-Mission der NASA arbeitende Biochemiker und Ingenieur James Lovelock seine ersten Studien über die Biosphäre der Erde, die er 1972 auf Anregung seines Nachbarn, des Schriftstellers William Golding, Gaia nennt. Seit 1974 gemeinsam mit der Biologin Lynn Margulis vertreten, beschreibt die gleichnamige Hypothese den belebten Bereich der Erde (*biosphere*) als ein biologisches Kontrollsystem (*biological cybernetic system*), das in der Lage sei, die physikalischen und chemischen Lebensbedingungen der Erde so zu regulieren, dass die Zusammensetzung der Atmosphäre des Planeten für alle Lebewesen optimal gehalten wird.¹⁸⁶ Ausgehend von der Frage, wieso die Atmosphäre

184 Zabel/Hawes/Stuart/Marino: »Construction and Engineering of a Created Environment«. S. 45.

185 Christina Wessely hat anhand des Aquariums in einer ähnlichen Beobachtung die Bestrebungen der Ökologie aufgezeigt, dem »Wuchern der Milieus [...] über terminologische Schließungen beizukommen – als Umwelten und Umgebungen, Lebensräume und Lebensbezirke, Biotope und Ökosysteme gewannen sie Konturen und Grenzen. Die Transformation und Ausdifferenzierung der Begriffe bildeten dabei die Dynamik der Forschungsgegenstände ab: Die Materialität meeresbiologischer Forschung und die Formierung von Konzepten wie Milieu, Umwelt, Umgebung oder Lebensraum standen in einem produktiven Wechselverhältnis, wobei sich das Aquarium als materieller Dreh- und Angelpunkt dieser Bewegung aus systematischer Öffnung und terminologischer Schließung erwies.« Wessely: »Wässrige Milieus«. S. 143.

186 Lovelock, James E.: »Gaia as Seen Through the Atmosphere«. In: *Atmospheric Environment* 6/7 (1967), S. 579–580. Vgl. zum Kontext Bondi, Damiano: »Gaia and the Anthropocene; or, The Return of Teleology«. In: *Telos* 172/3 (2015), S. 125–137.