

Die architektonische Inszenierung von Paneelen zur Gewinnung von Solarenergie

eine Vertiefungsarbeit von
Julian Holz
Wiesendangerstrasse 9
CH - 8003 Zürich

+41 78 752 25 31
holzj@student.ethz.ch

betreut durch Mélissa Vrolixs und Dr. Andreas Kalpakci
Professur für Architekturtheorie Dr. Laurent Stalder
Institut für Geschichte und Theorie der Architektur

28. Januar 2022
Frühlingssemester 2022, ETH Zürich

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Fragestellung	S. 3
2. Analyse historischer Anwedungen von Paneelen zur Gewinnung von Solarenergie und dem dadurch entstehenden Einfluss auf den Charakter von Gebäuden:	
2. 1. Die Bell Solar Battery und erste Bedeutungen von Paneelen	S. 8
2. 2. The Autonomous House - eine Antwort auf die ökologischen Krisen der 1970er Jahren	S. 11
2. 3. The Dover Sun House oder wie Paneele ein Haus formten	S. 16
2. 4. Das Trombe Haus - ein Haus, das die Sonnenstrahlen einfängt	S. 20
2. 5. Die GreenPix - Zero Energy Media Wall: Energieumwandlung architektonisch inszeniert	S. 24
3. Fazit	S. 28
Literaturverzeichnis	S. 30
Abbildungsverzeichnis	S. 32

1. Einleitung und Fragestellung



1 links: photoelektrisches Modul von Charles Fritts
2 rechts: gewöhnliche Photovoltaik-Module auf einem New Yorker Dach

1883 präsentierte Charles Fritts, ein amerikanischer Erfinder aus New York, seine neu erforschte Photozelle.¹ Daraus entwickelte er das erste photoelektrische Modul. Auf einer Metallplatte war eine dünne Schicht Silizium aufgetragen und mit einer dünnen halb-transparenten Blattgold-Schicht bedeckt.² Auf einem Dach in New York installierte Fritts 1884 vier dieser Module³. Ein Foto zeigt ihr damaliges Erscheinungsbild. Vergleicht man es mit einem zweiten Foto mit heutigen üblichen Photovoltaik-Modulen, kann festgestellt werden, dass sie sich in ihrer Formsprache doch sehr ähneln. Jeweils auf einem rechteckigen Modul befinden sich die Zellen und ein Raster unterteilt die Paneele in einzelne Felder. Ebenso ist die Montage auf dem Dach, also quasi die Integration in die Architektur, gleich aufgebaut: Relativ nüchtern sind die Paneele auf einer leichten Unterkonstruktion montiert. Man könnte meinen, dass sich die Paneele zur Gewinnung von Solarenergie in über hundert Jahren zumindest in ihrer Ästhetik nicht verändert haben. Trotzdem gibt es mittlerweile eine Reihe unterschiedlicher Erscheinungsformen der Photovoltaik. Zum Beispiel zeigt Claudia Lüling Professorin und Architektin mit Forschungszwecken in Besondere auch zu Gestaltungspotenzialen nachhaltiger Materialien in ihrem Buch *Energizing Architecture, Design and*

1 Vgl. Fritts, Charles E.: *On a new form of selenium cell, and some electrical discoveries made by its use*, in: *American Journal of Science*, December 1883, S. 3-26 (156) 465-472, online: <https://doi.org/10.2475/ajs.s3-26.156.465>

2 Vgl. Perlin, John: *From space to earth - the story of solar electricity*, Cambridge: Harvard University Press, 2002, S. 17.

3 Vgl. Perlin, John: *Let it shine - the 6'000-year story of solar energy*, Novato, California: New World Library, 2013, S. 306

Photovoltaics beginnend bei den kristallinen Modulen über die Dünnschichtmodule bis zu den Organischen und Farbstoffsolarzellen, die verschiedenen Arten von Photovoltaik. Sie beschreibt wie die Technologie funktioniert und aufgebaut ist, als auch was das gestalterische Potenzial sein könnte.⁴ Zudem ist die Photovoltaik heute gefragter denn je. Als Teil der erneubaren Energien soll sie zur Bewältigung der Klimakrise beitragen. Im IPCC-Bericht von 2011 zu erneubaren Energien steht dazu: „Renewable energy sources play a role in providing energy services in a sustainable manner and, in particular, in mitigating climate change.“⁵

Trotz den überaus positiven Konnotationen scheint die Photovoltaik noch nicht richtig in der Architektur angekommen zu sein. Es gibt zwar vermehrt Gebäude, die mit Solarzellen, meistens aus ökologischen oder energiespartechnischen Überlegungen, bestückt sind, aber ein architektonisches Konzept ist oft nicht zu erkennen. Zunächst geht die Arbeit deshalb der Frage nach, welche Wertigkeit die Photovoltaik hat und wie die Paneele eingesetzt werden und wie die Photovoltaik über ihre bestehende Bedeutung hinaus, als Element der architektonischen Gestaltung Bedeutung erlangen kann.

Die Bücher *From space to earth - the story of solar electricity* von John Perlin⁶ und *Solare Zeiten - Die Karriere der Sonnenenergie* von Bernward Janzig⁷ liefern dabei den historischen Hintergrund zur Entwicklung der Photovoltaik und dem politischen Umfeld. Die technischen Aspekte der Photovoltaik werden in Sachbüchern wie zum Beispiel: *Gebäudeintegrierte Solartechnik - Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie*, herausgegeben von Roland Krippner⁸, bereits zahlreich erläutert. Aus diesem Grund muss in dieser Arbeit nicht detaillierter darauf eingegangen werden. Wenige Bücher haben zudem begonnen, Solarhäuser unter architektonischen Gesichtspunkten anzuschauen und in einen grösseren historischen Kontext zu stel-

4 Vgl. Lüling, Claudia (Hrsg.): *Energizing Architecture. Design and Photovoltaics*, Berlin: Jovis Verlag, 2009, S. 53 - 100 und S. 190

5 Moomaw, W., F. Yamba, M. Kamimoto, L. Maurice, J. Nyboer, K. Urama, T. Weir, 2011: Introduction. In: *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C.von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, S. 164.

6 Vgl. Perlin, John: *From space to earth - the story of solar electricity*, Cambridge : Harvard University Press, 2002

7 Vgl. Janzig, Bernward: *Solare Zeiten - Die Karriere der Sonnenenergie*, Freiburg: Picea Verlag, 2011

8 Vgl. Krippner, Roland (Hrsg.): *Gebäudeintegrierte Solartechnik - Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie*, München: Edition Detail Green Books, 2016

len. Dazu gehören *The Solar House* von Anthony Denzer⁹ und *A House in the Sun* von Daniel A. Barber¹⁰, sowie *Sorry out of Gas* von Giovanna Borasi und Mirko Zardini¹¹, das verschiedene architektonische Antworten auf die Ölkrise 1973 aufzeigt. Diese liefern Grundinformationen zu den einzelnen Gebäuden, so dass auf sie näher eingegangen werden kann und ermöglichen es, sie in ihrem historischen Umfeld einzubetten. Während die technischen Innovationen und die Entstehungsgeschichten der einzelnen Gebäude bereits gut diskutiert sind, kommt eine gestalterische Analyse gar nicht oder nur ansatzweise vor.

Ich konzentriere mich in dieser Arbeit auf Paneele. Unter Paneelen versteht man ursprünglich eine einfache Platte aus Holz, die zur Verzierung diente. Sie können dreidimensional als Kassettenbauteil verbaut werden. Im Bereich der Solarenergie verwendet man den Begriff Paneel zur Bezeichnung von Bauteilen, die aneinandergesetzt werden und solarthermische oder photovoltaische Energie erzeugen.¹² Diese Arbeit betrachtet die Paneele von einem semiotischen Gesichtspunkt aus und versteht sie als Teil der architektonischen Inszenierung. Der Blick auf die Gestaltung der Paneele erlaubt es, neben Beispiele der Photovoltaik, auch Beispiele der Solarthermie zu thematisieren, da die Unterschiede vor allem technisch und nicht architektonisch sind. Dieser Ansatz soll es ermöglichen, bei der Gestaltung von Photovoltaik, oder im allgemeinen bei der Gestaltung mit Paneelen zur Gewinnung der Solarenergie, über die technische Anwendung hinauszugehen und einen stärkeren gestalterischen Blick darauf zu werfen. Dadurch bekommt die Photovoltaik über den ökologischen und technischen Bereich hinaus auch Bedeutung im architektonisch-gestalterischen Kontext und kann zu einem Element der architektonischen Gestaltung werden.

Die Theorien zur Semiotik im Kontext der Architektur von Umberto Eco und die Erläuterungen zur Inszenierung von Nadine Haepke sensibilisieren den Blick auf Paneele in einer solchen Weise, dass ihre Bedeutung hinterfragt und neu bestimmt werden kann. Hierbei werden die Paneele einerseits alleine als Ding betrachtet, aber auch im Verständnis einer Gesamtinszenierung im Zusammenspiel mit dem Gebäude. In den Fallbeispielen wird daher untersucht, wie die Gestaltung der Paneele vollzogen wurde und wie die Integration des Systems mit und um die Paneele aussieht. Dabei geht die Arbeit nicht nur der Frage nach, ob und in welcher Art und Weise Paneele

9 Vgl. Denzer, Anthony: *The Solar House*, New York: Rizzoli International Publications Inc., 2013

10 Vgl. Barber, Daniel A.: *A house in the sun: modern architecture and solar energy in the Cold War*, New York, NY, United States of America: Oxford University Press, 2016

11 Vgl. Borasi, Giovanna, Zardini, Mirko: *Sorry, out of gas : architecture's response to the 1973 oil crisis*, Montréal, Québec: Canadian Centre for Architecture, Mantova: Corraini Edizioni, 2007

12 Vgl. Krippner 2016, S. 28 und 52

in der Sprache Eco auf ihre „erste Funktion“ verweisen, sondern auch auf was sie als „zweite Funktion“ Bezug nehmen.¹³

Bei der Inszenierung liegt die Aufgabe der Architekt:innen darin, über ein sinnliches Arrangement aller Gestaltungselemente eine Raumatmosphäre zu erzeugen, die den Betrachter:innen etwas aufzeigt, was ansonsten verborgen bleibt.¹⁴ Da bei der Gestaltung der Paneele der Photovoltaik keine zusätzliche Handlung wie der Liturgie in sakralen Räumen vorkommt, muss die Architektur aus sich heraus die Botschaft übermitteln, die dann wahrgenommen wird, wenn die gesendeten Zeichen von den Besucher:innen gelesen werden können. Vor diesem Hintergrund orientiert sich die Arbeit an der Frage, auf welche Art und Weise die Paneele inszeniert sind. Welche Mittel werden eingesetzt und welche Räumlichkeit nimmt das System der Paneele ein? Im welchem Verhältnis steht das System zum Gebäude und was für eine Rolle nimmt das Gebäude im System ein? Welche räumliche Auswirkungen haben die Paneele?

In den folgenden fünf Kapiteln, die je ein Fallbeispiel an einem Gebäude behandeln, zeige ich verschiedene Verhältnisse zwischen dem System der Paneele und dem Gebäude auf, die den Charakter der Gebäude ausmachen. Es lässt sich aufzeigen, dass die Paneele in ihrer ersten Funktion vor allem die effiziente Stromerzeugung beziehungsweise Wärmegewinnung zu Ziel hat. Diese ist bisher überwiegend mit dem Bedeutungsfeld des Energiesparens, der Schonung der Umwelt und der Autonomie eines Gebäude konnotiert. Ein Ziel der Arbeit liegt darin, aufzuzeigen, dass die Paneele auch mit anderen Bedeutungsfeldern konnotiert sein können und dass über diesen neuen Blick auf die Gestaltung der Paneele auch die Gestaltungsmöglichkeiten erweitert werden können. Dafür geben die einzelnen Kapitel zuerst einen allgemeinen Überblick über die Architektur der Gebäude und ihre Entstehungsgeschichte und anschliessend werden anhand von einzelnen Elementen die Fragen diskutiert. Für die kritische Betrachtung werden Fotos und Pläne der Gebäude sowie die Erläuterungen in den beschriebenen Büchern und einzelne Online-Ressourcen herangezogen.

Das erste Kapitel behandelt die Geschichte der Bell Solar Battery, die 1954 in Washington präsentiert wurde und zeigt die technologische Bedeutung der Photovoltaik und was man von ihr erwartet hatte. Dies schafft eine theoretische Grundlage, welche die Bedeutung der Paneele zur solaren Energiegewinnung zementiert und

13 Vgl. Eco, Umberto: *Einführung in die Semiotik*, München: Wilhelm Fink Verlag, 2002 (9 Aufl.), S. 312 - 314

14 Vgl. Haepke, Nadine: *Sakrale Inszenierungen in der zeitgenössischen Architektur*, Bielefeld: transcript Verlag, 2013, S. 37

auf dessen Basis die architektonischen Gestaltungen analysiert werden können. Anhand des zweiten Kapitels über das Autonomous House von Brenda und Robert Vale, das sie selbst 1993 in Southwell bezogen, kann aufgezeigt werden wie vor einem sozialen und politischen Hintergrund ein System mit Photovoltaik-Paneeelen gewählt wurde, das einer breiten Bevölkerung zugänglich gemacht werden kann. Das Dover House von Maria Telkes, das sie 1948 in Dover Massachusetts errichteten, zeigt im dritten Kapitel welche Auswirkungen, das von ihr entwickelte System auf den Grundriss und den Ausdruck des Gebäudes hatte, das aus einem technischen Interesse heraus gebaut wurde. Eine verwandte aber dennoch andere Art der Paneele wird im vierten Kapitel angeschaut. Beim Trombe House von Félix Trombe, im Jahr 1967 in Odeillo gebaut, wurde eine Gestaltung umgesetzt, welche die Räume dahinter im besonderen beeinflussten. Zuletzt zeigt die GreenPix - Zero Energy Media Wall von den Simone Giostra & Partners Architects, die 2008 in Peking fertiggestellt wurde, wie ein System errichtet werden kann, das sichtbar den Prozess vom Sammeln der Sonnenenergie bis zu deren Nutzung inszeniert. In ihrer Reihenfolge zeigen die Beispiele wie die ökologische und technologische Bedeutung der Paneele zunehmend in den Hintergrund treten.

2. Analyse historischer Anwendungen von Paneelen zur Gewinnung von Solarenergie und dem dadurch entstehenden Einfluss auf den Charakter von Gebäuden:

2. 1. Die Bell Solar Battery und erste Bedeutungen von Paneelen

Als am 25. April 1954 die Forscher Daryl Chapin, Calvin Fuller und Gerald Pearson ihre Bell Solar Battery der Bevölkerung präsentierten, löste die Erfindung eine Faszination aus und man sah darin das Allerheil-Mittel für die Energie-Versorgung.¹⁵ Endlich habe man eine Technologie gefunden, die wenn die Kohle- und Ölvorkommen aufgebraucht sind, die Welt mit (unendlicher) Energie versorgen kann. Die dafür entwickelten Solarzellen konnten erstmals genügend Strom generieren um sie für den Betrieb diverser technischer Geräte zu nutzen. Eine Werbung zeigte deren Aufbau (Abb. 4): Ein Paneel mit dünnen Scheiben aus Silicium, die mit einer Glasscheibe als Abdeckung geschützt wurden. Der Strom konnte direkt genutzt werden oder in einer Batterie gespeichert werden.¹⁶ Noch relativ überschaubar in der Grösse, reichte das System aber bereits, um kleinere Dinge anzutreiben. Effektivoll demonstrierten die Forscher die Battery, indem sie einen Radio Transmitter alleine mit Solarenergie Stimmen und Musik den Anwesenden abspielen liessen und sprachen durch ein Mikrofon, das mit Siliziumzellen betrieben wurde.¹⁷



3 Ein Forscher spricht durch ein Mikrofon, das solarbetrieben ist, um die Bell Solar Battery zu demonstrieren.

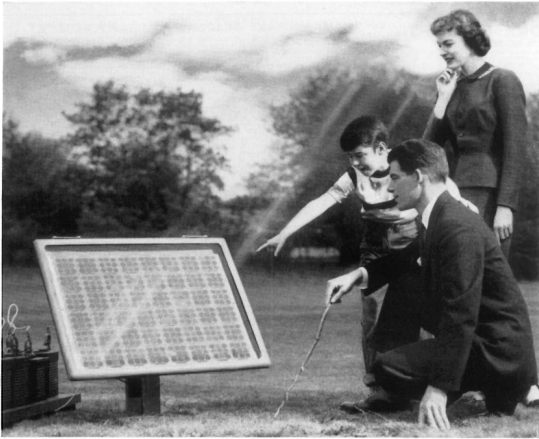
In der Vermarktung der Bell Solar Battery versuchte man die Leute mit einer grossen Menschheitsgeschichte zu überzeugen: „Ever since Archimedes, men have been seraching for the secret of the sun. For it is known that the same kindly rays that help the flowers and the grains and the fruits to grow also send us almost limitless power. It is nearly as much every three days as in all known reserve of coal, oil and uranium. If this energy could be put to use - there would be enough to turn every wheel and light every lamp that mankind would ever need.“¹⁸ Mit dieser nahezu biblischen

15 Vgl. Perlin 2002, S. 35

16 Vgl. Werbung Bell Telephone System, online: https://www.beatriceco.com/bti/porticus/bell/images/solar_battery2.gif, (26.08.2021)

17 Vgl. Kaempffert, Waldemart: „Atomic Power First, Solar Power Next, Is The Prediction of Two Experts“, in: *The New York Times*, 17. Oktober 1954

18 Werbung Bell Telephone System, online: https://www.beatriceco.com/bti/porticus/bell/images/solar_battery2.gif, (26.08.2021)



Something New Under the Sun. It's the Bell Solar Battery, made of thin discs of specially treated silicon, an ingredient of common sand. It converts the sun's rays directly into usable amounts of electricity. Simple and trouble-free. (The storage batteries beside the solar battery store up its electricity for night use.)

Bell System Solar Battery Converts Sun's Rays into Electricity!

Bell Telephone Laboratories invention has great possibilities for telephone service and for all mankind

Ever since Archimedes, men have been searching for the secret of the sun.

For it is known that the same kindly rays that help the flowers and the grains and the fruits to grow also send us almost limitless power. It is nearly as much every three days as in all known reserves of coal, oil and uranium.

If this energy could be put to use — there would be enough to turn every wheel and light every lamp that mankind would ever need.

The dream of ages has been brought closer by the Bell System Solar Battery. It was invented at the Bell Telephone Laboratories after

long research and first announced in 1954. Since then its efficiency has been doubled and its usefulness extended.

There's still much to be done before the battery's possibilities in telephony and for other uses are fully developed. But a good and pioneering start has been made.

The progress so far is like the opening of a door through which we can glimpse exciting new things for the future. Great benefits for telephone users and for all mankind may come from this forward step in putting the energy of the sun to practical use.

BELL TELEPHONE SYSTEM



4 Magazine-Werbung für die Bell Solar Battery

Erzählung wurde die Bell Solar Battery nicht nur als herausragende Technologie präsentiert, die es möglich machte, die Energie der Sonne direkt nutzbar zu machen, sondern erschien auch als Heilsbringer, der ein sorgenfreies Leben ermöglichen sollte. Die Battery war zusammen mit einer typischen Kleinfamilie (Mutter, Vater, Kind) abgebildet. Das zeigte, dass die Bell Solar Battery aber keineswegs eine weitentfernte Technologie sei, sondern dass gerade auch durch ihre Einfachheit jeder die Möglichkeit habe, sich durch einen Kauf dafür zu entscheiden, sein Leben ein Stückchen angenehmer zu machen. Allerdings mussten sie im weiteren Verlauf des Textes anmerken, dass es noch einige Entwicklungen brauchen wird, um den Traum gänzlich verwirklichen zu können.

Während heute in der Regel aus ökologischen Gründen Photovoltaik genutzt wird, lagen damals andere Aspekte im Vordergrund. Der Strom wurde noch traditionell aus Kohle und Wasserkraft produziert und zum gleichen Zeitpunkt versprach die Atomspaltung eine einfache Methode zur Stromerzeugung für die Zukunft.¹⁹ Zudem waren die Kosten um ein durchschnittliches Haus mit Strom zu versorgen, noch exorbitant hoch.²⁰ Deshalb interessierte sich für die allgemeine Energieversorgung noch niemand für die Solarzellen. Erst unter anderem durch den Bericht „Die Grenzen des Wachstums“ vom Club of Rome 1972, der einen sparsameren Umgang mit den Rohstoffen forderte und der Ölkrise 1973 wurden die erneubaren Energien, wie die Photovoltaik, im Sinne einer ebenbürtigen Alternative zur konventionellen Energieerzeugung für eine breitere Bevölkerung und besonders für die Forschung interessant.²¹

19 Vgl. Janzig 2011, S. 6

20 Vgl. Perlin 2002, S. 36

21 Vgl. Janzig 2011, S. 18

Dennoch wurde die Solarzelle in den Jahren nach ihrer Präsentation in einigen Bereichen auf Grund spezifischer Merkmale bereits zahlreich eingesetzt. Dazu gehörte im Besonderen die Möglichkeit, die Solarmodule auch an abgelegenen Orten und unabhängig von zentralen Energieerzeugern zu einzusetzen. Ein anderer Vorteil war die vergleichsweise einfache Technologie und ihr kleiner Wartungsaufwand. So half sie, dass die Bevölkerung an diesen Orten über Telefone und Fernseher Teil der globalisierten Gesellschaft werden konnten. Verschiedene Projekte sorgten dabei auch für verbesserte Wohn- und Arbeitsverhältnisse.²² Bezeugen tun dies mehrere Beispiele.



5 Montage einer Bell Solar Battery bei einem Telefonsystem speziell für ländliche Regionen.

Zum einen entwickelten die Bell Telephone Laboratories mit der Bell Solar Battery ein Telefonssystem speziell für ländliche Regionen. Die Solarzellen trieben die Transistoren an, die nur wenig Strom benötigten.²³ Ein vergleichbares Projekt half der eigens gegründeten Firma Telecom Australia in Australien, das dünn besiedelte Land zu vernetzen.²⁴ Im Bereich der Öl- und Gasindustrie trieben die Zellen Navigationshilfen auf Bohrplattformen im weitem Meer an oder sie versorgten Antikorrosion-Systeme bei Bohrlöchern oder Leitungen mit Strom. Weiter nutzten die Unternehmen Photovoltaik beim Suchen von neuen Gas- und Ölquellen. Die Vermessungsgeräte konnten damit unabhängig und automatisch eingesetzt werden. Ähnliche Geräte massen die Durchflussmengen und Eigenschaften wie Druck oder Temperatur der Rohstoffe.²⁵ In den 1980ern entschieden sich zudem einige Länder wie Amerika, Frankreich oder Griechenland, ihre Küsten-Navigationshilfen für die Schifffahrt mit Solarzellen zu versorgen. In der Regel nutzten bis anhin die Leuchttürme ein Acetylen-gas-System, um den Lichtstrahl zu erzeugen, was sehr teuer in der Wartung war. Ebenfalls wurden Warnlichter und Hornsignale auf Bojen mit Solarzellen betrieben.²⁶ In Amerika begann man ab Mitte der 1970er Jahre auch die Signale für die Züge mit Solarzellen zu betreiben. Dies war erforderlich, wenn sie nicht an das gewöhnliche Stromnetz angeschlossen werden konnten.²⁷ Ausserdem stellte die Energieversorgung mittels Photovoltaik im weiten Weltall eine attraktive Lösung dar. Die Solarzel-

22 Vgl. Janzig 2011, S. 109 - 113 und 119

23 Vgl. Werbung Bell Telephone Laboratories, online: <https://sinovoltaics.com/learning-center/basics/solar-energy-history-an-introduction/>, (26.08.2021)

24 Vgl. Perlin 2002, S. 93 - 97

25 Vgl. Perlin 2002, S. 61 - 65

26 Vgl. Perlin 2002, S. 75

27 Vgl. Perlin 2002, S. 82

len wurden zur Standard-Energiequelle für Satelliten und andere Raumschiffe. 1972 kreisten bereits 1000 Satelliten um die Erde, die mit Solarzellen betrieben wurden, während nur wenige mit Atombatterien bestückt waren.²⁸



6 Werbung für ein Zenith-Radio, das mit Hilfe von Solarzellen betrieben wurde

Daneben entwickelten verschiedene Unternehmen Geräte und Spielzeuge, um die Solarzellen bekannt zu machen. Dazu gehörte die Firma Hoffmann Electronics, die Autos und Flugzeugen bis zu Radios mit Solarzellen betrieb. Ein weiteres Beispiel ist die Firma Zenith, die eine Serie von Radios auf den Markt brachte, die sich aber durch den hohen Preis nicht gut verkauften.²⁹ Und legendär ist wahrscheinlich der Taschenrechner, der Firma Teal Industries, INC aus dem Jahr 1979, der mit seinem kleinen Solarzellen-Streifen bis heute Taschenrechner mit Strom versorgt.³⁰ So erreichte die Solarzelle bevor sie zahlreich auf unsere Dächer und Fassaden montiert wurde, vor allem auch unsere Wohnzimmer.

Die Beispiele zeigen, dass die Photovoltaik ihre ökologische Bedeutung erst mit der Zeit erlangt hatte. Sie mag schon immer eine nachhaltige Technologie gewesen sein, aber erst nach den 1970er Jahren konnte sie auch mit dem Label als umweltfreundliche erneubare Energie vermarktet werden. Zu Beginn hatte die Solarzelle die grösste Bedeutung als Medium zur Stromerzeugung an abgelegenen Orten und für Konsumgüter, die mal nützlich und mal doch eher Spielereien waren. Dabei sprachen vielmehr finanzielle und praktische Gründe für ihre Anwendung.

2. 2. The Autonomous House - eine Antwort auf die ökologischen Krisen der 1970er Jahren

Brenda und Robert Vale gehören zu den Pionieren im Bereich des autonomen Wohnens. Auf Grund der Erkenntnisse, die man in den 1970er Jahren im Bezug auf den Ressourcenverbrauch und den Einfluss der Menschen auf die Umwelt erhielt, suchten

28 Vgl. Perlin 2002, S. 49 - 50

29 Vgl. Perlin 2002, S. 38

30 Vgl. Teal Photon Electronic Calculator, online: <https://solarmuseum.org/cells/teal-photon-electronic-calculator/>, (05.01.2022)



7 Das Autonomous House von Robert und Brenda Vale mit den Paneelen auf der Pergola im Garten.

die Vales aktiv nach Lösungen für eine ressourcenschonende Energieerzeugung.³¹ Sie hatten ein kritisches Verständnis von Technologien, das aus der Angst vor Nuklearkatastrophen und aus einer Sehnsucht nach materieller Unabhängigkeit, Ausgelassenheit und Sicherheit resultierte. Es entwickelte sich in den 1970er Jahren eine Bewegung der Alternativen Technologie oder Soft-Technologie.³² David Dickson charakterisierte die Bewegung folgendermassen: „The Minimum use of non-renewable resources, minimum environmental interference, regional or sub-regional self-sufficiency, and the elimination of alienation and exploitation of individuals.“³³ Diesen Ansatz empfand das Ehepaar Vale als richtig in Bezug auf den Bau eines autonomen Hauses. Sie waren davon überzeugt, dass die Leute nur dann ein Gefühl für den Verbrauch von Ressourcen bekommen, wenn die Rohstoffe an Ort und Stelle gebraucht werden, die Technologie einfach ist und durch die Benutzer kontrolliert werden kann.³⁴

Um ihre Vorstellungen von einem nachhaltigen Wohnen zu demonstrieren, bauten sie in Southwell, England ein Haus, das sie 1993 bezogen.³⁵ Ihr Projekt dokumentier-

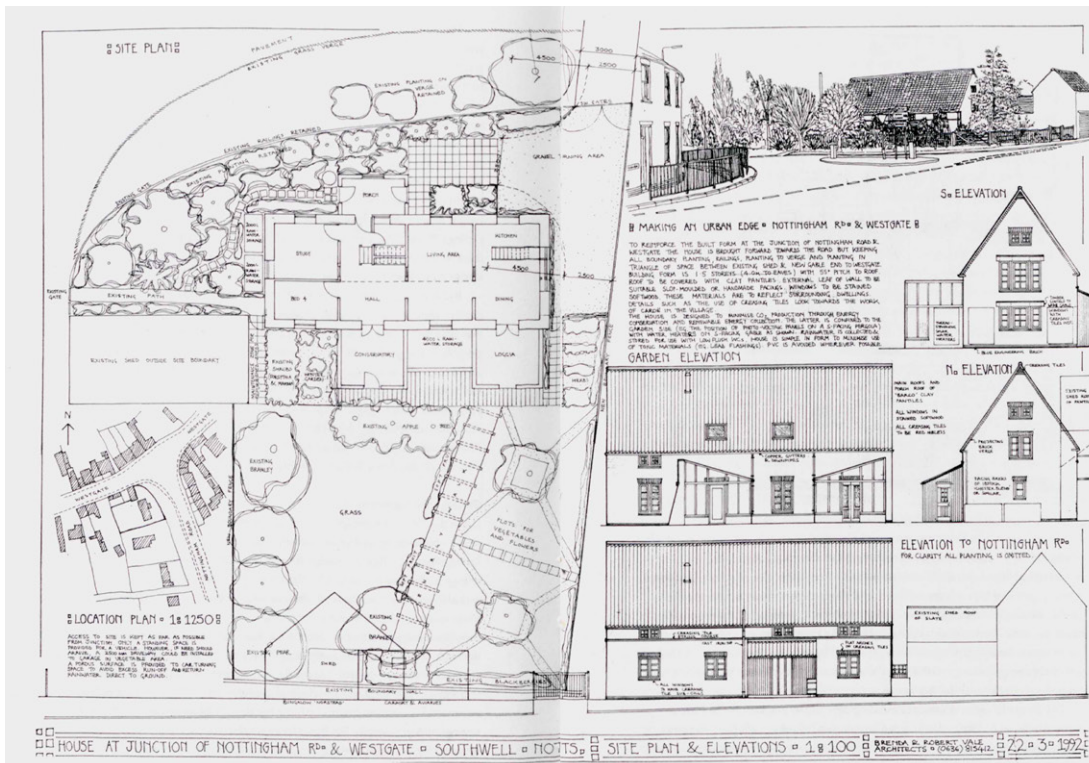
31 Vgl. Vale, Brenda and Robert: *The New Autonomous House: Design and Planning for Sustainability*, London: Thames & Hudson, 2000, S. 11-20

32 Vgl. Vale 2000, S. 21

33 Vgl. Vale 2000, S. 22

34 Vgl. Vale 2000, S. 41

35 Vgl. Vale 2000, S. 191



8 Situation, Grundriss und Ansichten von dem Autonomous House

ten sie zudem bis ins Detail in zwei Büchern: Das erste Buch *The Autonomous House: design and planning for self-sufficiency* beschrieb die Planung des Gebäudes.³⁶ Das zweite Buch *The New Autonomous House: Design and Planning for Sustainability* entstand nach der Fertigstellung und dokumentierte die Umsetzung des Hauses.³⁷ Darin berichteten sie auf, welchen Grundlagen sie ihre Entscheidungen gefällt hatten, welche wissenschaftlichen Erkenntnisse sie sich zu Nutze gemacht hatten und in welchem gesellschaftlichen Kontext sie ihr Gebäude sahen. Das zeugt davon, dass die Vales mit ihrem Haus auf einer Art Mission waren und bietet uns eine gute Resource, um das Projekt zu analysieren.

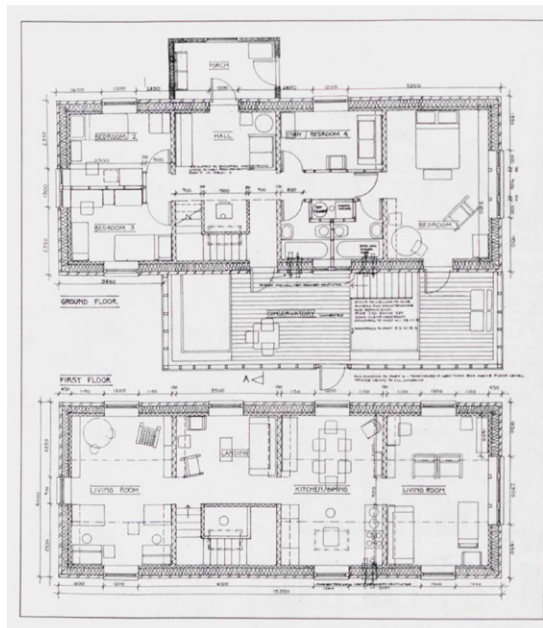
Das Haus verfügt über zwei Stockwerke und einen Keller und steht etwas zurückversetzt parallel zur Strasse. Im Erdgeschoss wurden die Schlafräume und zwei Bäder positioniert und im Obergeschoss Wohnraum und Küche. Zum Garten hin fügt sich ein Wintergarten an das Gebäude an und schafft eine nicht beheizte Zwischenzone. Die Photovoltaik-Module wurden getrennt vom Haus auf einer Pergola montiert, die auf einen Sitzplatz zulief und den Garten in zwei Zonen unterteilte. Auf der einen Seite gab es eine Wiese mit Apfel- und Birnenbäumen, auf der anderen Seite wurde ein

36 Vgl. Vale, Brenda and Robert: *The Autonomous House: design and planning for self-sufficiency*, London: Thames & Hudson, 1977 (4. Aufl.)

37 Vgl. Vale 2000

Nutzgarten errichtet und entlang der Pergola wuchsen Beeren.³⁸ Die Paneele hatten einen gewöhnlichen Charakter und schimmerten blau im Sonnenlicht, wie es auch noch heutzutage bei zeitgenössischen Modulen mit kristallinen Zellen oft der Fall ist.³⁹ Da die generierte Energie nicht in Batterien gespeichert wurde, sondern das System mit dem Stromnetz verbunden war, musste für die Speicherung kein Raum zur Verfügung gestellt werden.⁴⁰

Alle Elemente des Hauses tragen zum Wohnen unter dem Deckmantel der Selbstversorgung und der Effizienz bei und bilden ein Art Gesamtsystem. Die bewusste Anordnung der Räume hat den Vorteil, dass durch die Wärmeschichtung die oberen Zimmer wärmer werden als die unteren Zimmer, wodurch sich auf natürliche Weise die gewünschten Temperaturen ergeben. Ausserdem haben die Wohnräume durch die erhöhte Position und da die Dachfläche mitgenutzt werden kann, mehr Licht. Im Gegenzug brauchen die Schlafzimmer nicht so viel Sonne und konnten gut im Erdgeschoss angeordnet werden, welches nach Angaben der Vales durch die Bepflanzung besonders im Winter stark beschattet wurde.⁴¹



9 Plan Erd- und Obergeschoss des Autonomous House

weiter, welches nach Angaben der Vales durch die Bepflanzung besonders im Winter stark beschattet wurde.⁴¹ Weiter wurde die Hülle des Hauses so stark isoliert, dass keine Heizung im herkömmlichen Sinne gebraucht wurde und ein Holzofen ausreichte, um während kalten Tagen für wohlige Wärme zu sorgen.⁴² Die Photovoltaik-Anlage sorgte zu etwas mehr als 50 Prozent für den Strombedarf zur Erzeugung von Warmwasser über einen üblichen Boiler und zur Benutzung diverser elektrischer Haushaltsgeräte (Kochherd, Bügeleisen, Fernseher, ...). Die restliche Menge wurde über das gewöhnliche Stromnetz bezogen.⁴³ Der Wasserbedarf wurde alleine in Form von Regenwasser gesammelt und im Keller gelagert. Von dort wurde es über ein Tank-System gereinigt und mittels Pumpe in einen weiteren Wassertank unter

38 Vgl. Vale 2000, S. 60 - 62

39 Vgl. Lüling 2009, S. 58, 62 und 70 - 71

40 Vgl. Vale 2000, S.189

41 Vgl. Vale 2000, S. 63

42 Vgl. Vale 2000, S. 188

43 Vgl. Vale 2000, S. 226 - 228

dem Dach transportiert, von wo es durch die Schwerkraft im Haus verteilt wurde. Das Grauwasser entledigte man sich über eine Sickergrube.⁴⁴ Für das Schmutzwasser entschied man sich für ein wasserloses System mit einem Kompostier. Dadurch konnte Wasser gespart werden und man produzierte gleichzeitig Kompost für den Garten.⁴⁵

Die Vales entwickelten ein ausgetüfteltes System, bei dem vieles ineinander überging und jeweils die beste Lösung für die Problematik gesucht wurde. In Anbetracht dessen, dass weniger Wasser benötigt wurde, der Strom etwas über die Hälfte aus erneuerbaren Energien genutzt wurde und weitestgehend natürlich beheizt wurde, trugen alle Elemente zusammen zu einem nachhaltigeren Gesamtergebnis bei. Die Photovoltaik-Anlage stellte in sich ein Puzzle-Teil in diesem System dar, das aber erst über das Zusammenspiel aller Teile ein autonomes Leben ermöglichte. Die Errichtung der Anlage auf der Pergola im Garten begründeten die Vales mit einigen Vorteilen: Das Gebäude konnte frei platziert werden und musste sich nicht nach der Sonne ausrichten. Der Unterhalt ist einfach zu gestalten und bei Bedarf könnte die Anlage problemlos erweitert werden. Ebenfalls ermöglichte es die Kühlung mit Luft, was die Effizienz der Module erhöhte. Zudem konnte damit das System auch als ein Modell für andere Häuser, nicht zuletzt für schon bestehende Gebäude, dienen.⁴⁶

Damit sprachen die Vales einen Aspekt an, der sowohl bei der Photovoltaik-Anlage eine Rolle spielte, aber auch beim ganzen Gebäude: der Aspekt des Vorbildes. Jeder sollte nach Interesse ein solches autonomes Gebäude errichten können. Die Vales wollten mit dem Projekt zeigen, dass ein Haus in dieser Art und Weise möglich ist, und auch genau erläutern wie es umsetzbar ist, so dass jeder davon inspiriert werden kann.⁴⁷ Die Art der Umsetzung der Photovoltaik unterstütze diesen Anspruch. Eine frei stehende Anlage, die weitestgehend unabhängig von der Gestaltung des Gebäudes errichtet werden kann, ist einfacher zu integrieren, als beispielsweise Paneele in der Fassade. Ist Platz vorhanden, kann gerade bei bestehenden Gebäuden relativ einfach eine Anlage errichtet werden. Zudem konnte das Haus unabhängig von der Anlage gestaltet werden, da sie keinen Einfluss auf die Räumlichkeiten hatte. So konnte auch hier für jedes Element die beste Lösung gefunden werden. Die Anlage richtete sich nach der Sonne Richtung Süden aus und das Haus fügte sich mit seinem zeitlosen Backstein unauffällig in die bestehende Siedlungsstruktur ein.⁴⁸ Damit erhofften sie zudem ein schnelleres Bewilligungsverfahren und eine höhere Akzeptanz

44 Vgl. Vale 2000, S. 177, 182-187

45 Vgl. Vale 2000, S. 177, 172-173

46 Vgl. Vale 2000, S. 189

47 Vgl. Vale 1977 (4. Aufl.), S. 18

48 Vgl. Vale 2000, S. 60

für ein Gebäude mit einem neuen Ansatz der Energieversorgung. Sie befürchteten, dass die Leute bei einem ungewöhnlichen Aussehen sich nicht genug angesprochen fühlen würden.⁴⁹ Die architektonische Qualität lag demnach nicht in einer besonderen räumlichen Atmosphäre, sondern in der präzisen Planung des Gebäudes hinsichtlich eines effizienten und ressourcenschonenden Wohnens. Die Dinge sollten zudem einfach und praktikabel sein. Davon zeugt der in den Büchern lange und akribisch ausgeführte Prozess der Suche nach den besten und einfachsten Lösungen. Daraus resultierte der gewöhnliche Gesamtausdruck des Gebäudes.

Bei der Gartengestaltung wurden die Paneele zusammen mit der Pergola zu einem besonderen Objekt. So war die Pergola in erster Line eine Infrastruktur, strukturierte aber auch den Garten und teilte ihn in verschiedene Zonen ein. Die Pergola wurde quasi zum verlängerten Arm des Hauses, der die elektrische Energie einsammelte und unter sich ein bedeckter Bereich schaffte, der verschieden genutzt werden konnte. Damit wurden die Paneele zu einem bedeutenden Element, die über ihre primäre Funktion der ressourcenschonenden Energieerzeugung hinaus den Raum im Garten ordneten und definierten. Trotz der gewöhnlichen Erscheinung erhielten die Paneele so eine besondere Stellung im Projekt, nicht zuletzt wegen ihrer präzisen Anwendung und der einfachen Gestaltung, die es leicht machte, als Vorbild für vergleichbare Anlagen zu dienen.

2. 3. The Dover Sun House oder wie Paneele ein Haus formten

Das Dover Sun House wurde 1948 in Dover fertiggestellt und ging als erstes vollständig mittels Solarenergie beheiztes Haus in die Geschichte ein. Es wurde für ein Experiment im Bereich der Solarenergie mit einem System mit Glaubersalz errichtet.⁵⁰ Initiiert hatte das Projekt Maria Telkes, Physikerin, Chemikerin und Forscherin, die im Bereich der Erwärmung von Gebäuden über ein System von vertikalen Paneelen und chemischen Substanzen zur Speicherung forschte.⁵¹ Gegenüber anderen Häusern, die zu Untersuchungszwecken gebaut wurden, war es eines der ersten, in denen auch tatsächlich gewohnt wurde. Nach der Fertigstellung zogen Telkes Cousins, Anthony und Victoria Nemethy in das Haus ein. Für die Architektur hatte Telkes auch genaue Vorstellungen: „the architectural design of the house should harmonize with the shape factor, head load, and solar energy absorbing requirements.“⁵² Zur

49 Vgl. Vale 2000, S. 48

50 Vgl. Barber 2016, S. 135

51 Vgl. Barber 2016, S. 127 -128

52 Vgl. Barber 2016, S. 129



10 Das Dover Sun House mit den dominanten Paneelen oberhalb des Erdgeschosses.

Umsetzung suchte sie nach einer guten Architekt:in und fand Eleanor Raymond aus Boston. Raymond war bekannt für ihr Interesse an der Verbindung von traditioneller und zeitgenössischer Architektur und ihrer Aneignung von neuen Technologien und Materialien wie Sperrholz. Für die Finanzierung und das benötigte Land kam die Bildhauerin und Kunstmäzenin Amelia Peabody auf, für die Raymond bereits zwei weitere Häuser mit einer besonderen Integration von Technologien plante.⁵³

Wie in den Plänen zu sehen ist, entspricht der gebaute Entwurf im Grunde einem Bungalow und sticht durch seinen länglichen und schmalen Grundriss sowie der grossen Glaswand, dem Kollektorfeld, über dem Erdgeschoss hervor (Abb. 12). Das Kollektorfeld wurde gegen hinten über ein Pultdach mit dem Erdgeschoss verbunden.⁵⁴ Der ganze Entwurf ist Hauses war stark auf die Funktionalität und Effizienz des Heizsystems ausgerichtet, und man kann so weit gehen und sagen, dass eigentlich ein Heizsystem gebaut wurde, um das man die Wohnräume angeordnet hat, die zusammen das Haus bildeten.

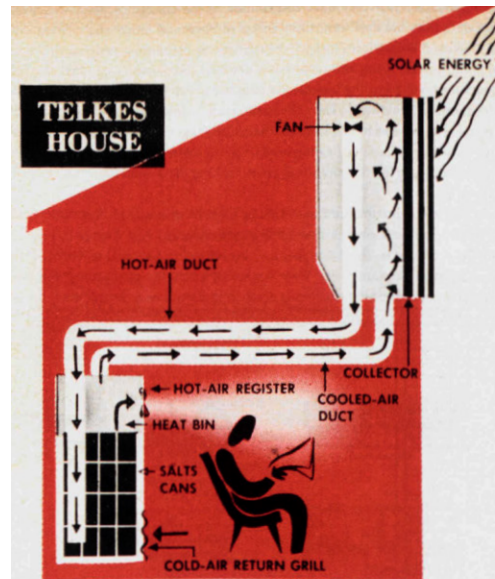
Entscheidend dafür war der Aufbau des Systems. Zwei Glasscheiben und ein schwarzes Metallblech bildeten die Paneele, die vor einem kleinen Luftraum montiert wurden. Die kalte Luft wurde von aussen oder den Wohnräumen über Röhren und Ven-

53 Vgl. Cole, Doris: Eleanor Raymond, online: <https://pioneeringwomen.bwaf.org/eleanor-raymond/>, 30. August 2021, 15:20 Uhr

54 Vgl. Barber 2016, Pläne S. 133

tilatoren zu den Paneelen geführt, an denen die Luft erwärmt wurde. Die warme Luft brachte man in metallene Fässer mit Glaubersalz, das dadurch schmolz und über das die Wärme lagerte. Wenn die Temperaturen im Haus kälter wurden, kristallisierte das Salz und gab die Wärme wieder ab. Gewöhnliche Raumlüfter brachten die warme Luft über Röhren und Heizregister, die nach Bedarf reguliert werden konnten, in die Räume. Liess man die Ventilatoren in umgekehrter Richtung laufen, konnte das System auch für die Kühlung des Hauses verwendet werden.⁵⁵

Das System erforderte die Anbringung der Paneele in der Gebäudehülle. Dabei war es eine weitreichende Entscheidung, die Paneele vertikal in der Fassade zu positionieren, obwohl Telkes zum Schluss kam, dass für den Winter die ideale Positionierung in einem Winkel von 60 - 70 Grad wäre. Nach ihr sollte die Anbringung in der Vertikalen mehrere Vorteile haben: Sie hoffte durch die Reflexion der Sonnenstrahlen auf dem Boden noch zusätzliche Strahlungen auf die Glasfläche zu bekommen und der Schnee würde nicht auf der Fläche liegen bleiben, was zusätzlich zur Leistung beitragen sollte.⁵⁶



11 Schematischer Schnitt des Heizsystems

Zudem wurden die Paneele zu einem markanten Element, das den Charakter des Gebäude bestimmte. Wären die Paneele nicht über den Wohnräumen, sondern, wie in einer ersten Variante des Heizsystems, vor den Räumen montiert worden, hätten sie durch den verwehrten Blick Richtung Süden die Raumatmosphäre deutlich beeinflusst.⁵⁷ Eine Weiterentwicklung Telkes ermöglichte es, die Paneele getrennt von dem Glaubersalz anzuordnen, wodurch das Kollektorfeld über dem Erdgeschoss platziert werden konnte, was eine freie Gestaltung des Grundrisses ermöglichte.⁵⁸

Während die Anordnung der Räume nicht durch die Paneele bestimmt wurden, entschied sich Raymond zur Effizienzsteigerung alle Wohnräume gegen Süden anzuordnen. Dies resultierte in dem länglichen Grundriss und ermöglichte nicht nur eine grössere Kollektorfläche, sondern auch die Salzfässer konnten dort, wo sie gebraucht wurden, platziert werden. In drei Hohlräumen mit unterschiedlichen Grössen, wurden

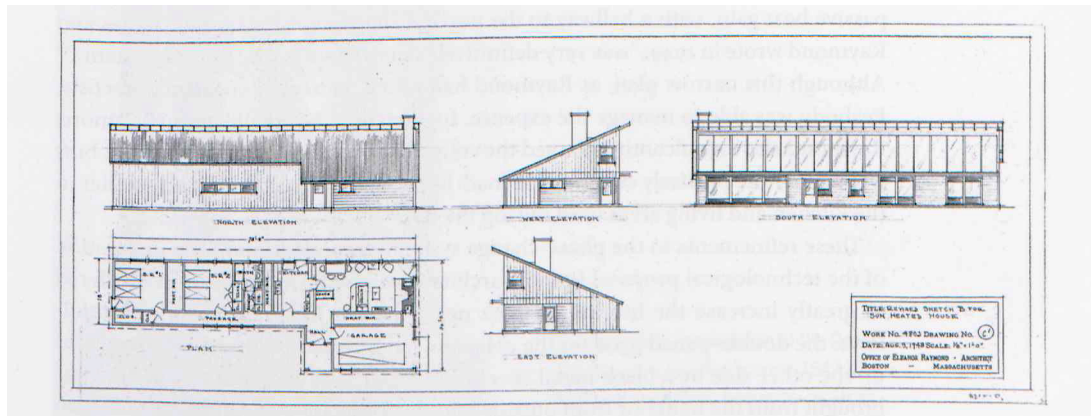
55 Vgl. Barber 2016, S. 134-135

56 Vgl. Denzer 2013, S. 120

57 Vgl. Barber 2016, S. 128

58 Vgl. Barber 2016, S. 133

die Fässer untergebracht, von denen aus die Zimmer beheizt beziehungsweise gekühlt wurden. Ausserdem konnten die Räume so von der passiven Sonneneinstrahlung profitieren.⁵⁹ Somit beeinflusste die Erarbeitung eines Heizsystems auf mehreren Ebenen von den Paneelen aus die Gestaltung des Grundrisses.



12 Grundriss und Ansichten Dover House

Alle Elemente des Hauses tragen zu einem ressourcenschonenden Wohnen mit Hilfe einer Heizung über die Sonne bei und formen den Ausdruck des Gebäudes. Insbesondere das Kollektorfeld aus den einzelnen Paneelen bildet den Charakter, wobei deren Bedeutung für die Energieversorgung durch ihre schiere Grösse unterstrichen wird. Diese ungewöhnliche Grösse der Paneele stellte für Raymond eine architektonische Herausforderung dar. Um die Höhe der Fassade zu brechen und das Erdgeschoss visuell von dem Obergeschoss zu trennen, gestaltete sie einen Bris-Soleil über den unteren Fenstern. Ausserdem wollte sie dem schwarzen Erscheinen der Paneele mit klaren Gläsern entgegenwirken. Zusammen mit Telkes entwickelte Raymond Gläser, die den Himmel reflektierten, ohne einen Wärmeverlust zu erzielen.⁶⁰

Dadurch wurden die Paneele über ihre Funktion hinaus zu einer Art analogem Bildschirm, über den die Reflexion der Umgebung und des Himmels zu sehen waren. Dies liess das Gebäude zu einem gewissen Grad mit dem Umfeld verschmelzen. Interessant dabei ist, dass das Heizsystem erst wahrgenommen werden kann, wenn man darauf aufmerksam gemacht wird, obwohl es stark die Gestaltung des Hauses bestimmte. Würde man ohne ein Hintergrundwissen auf das Gebäude schauen, könnte man auch vermuten, dass es sich um eine einfache grosse Verglasung des Obergeschosses handelt. Darin liegt die Besonderheit des Gebäudes. Auf der einen Seite bestimmen die technischen Parameter den Entwurf über mehrere Ebenen hinweg und formen den Charakter des Hauses, so dass eine Art Symbiose zwischen

59 Vgl. Barber 2016, S. 133-134

60 Vgl. Denzer 2013, S. 120

dem Heizsystem und den Räumlichkeiten entsteht. Und auf der anderen Seite bleibt die Technologie dann aber unsichtbar und wird quasi durch die Spiegelungen in der Weite der Umgebung und des Himmels aufgelöst. Vielmehr lässt sich darin erkennen, woher die Energie für die Beheizung kommt und schafft damit eine direkte Verbindung zur Sonne und ihrer Strahlung, die so essenziell für die Nutzung des Hauses ist.

Telkes und Raymond konnten somit mit dem Dover Sun House die Möglichkeiten, die Stärken und Schwächen einer Technologie zur Beheizung über die Sonne demonstrieren und wie mit ihr architektonisch umgegangen werden kann.⁶¹ Weiter setzten sie das Haus in eine direkte Beziehung mit der Natur, die sich auch im Gebäude ablesen lässt. Hier zeigt es, dass die Paneele eine immense Bedeutung für den Ausdruck und Gestaltung der Grundrisse haben und ihre technologischen Seiten verschwinden können.

2. 4. Das Trombe Haus - ein Haus, das die Sonnenstrahlen einfängt

1967 entstanden in Odeillo in Frankreich zwei identische Häuser für Mitarbeitende des „Centre national de la recherche scientifique (CNRS)“, die von dem Architekten Jacques Michel und dem Wissenschaftler Félix Trombe entworfen wurden. Bekannt wurden die sogenannten „Trombe-Häuser“ durch ihr System der „Trombe-Wall“, über welche die Häuser beheizt wurden.⁶² Dafür griff Trombe eine Idee auf, die bereits von Edward Sylvester Morse bei seinem Patent für „Warming and Ventilating Apartments by the Sun“ zu Anwendung kam. Während es sich bei Morse um eine nach der Sonne ausgerichtete Box handelte, in der eine schnell absorbierende Metallplatte aufgeheizt wurde, welche über die Zeit die Wärme wieder abgab, handelte es sich bei Trombe um eine ganze Wand.⁶³

Die beiden einstöckigen Häuser haben einen relativ einfachen Aufbau aus Holz. An einem Hang gebaut, gleicht ein Sockel aus Bruchsteinmauerwerk die Höhenunterschiede aus, in dem auch Kellerräume untergebracht sind. Die Häuser richten sich mit der Trombe-Wall Richtung Süden aus, von wo aus die Gebäude über ein Pultdach

61 Vgl. Barber 2016, S. 135-138

62 Vgl. Denzer 2013, S. 173

63 Vgl. Hidden Architecture: *Ungreen, Trombe Wall*, online: <http://hiddenarchitecture.net/ungreen-trombe-wall/>, (13.01.2022)



13 Die Südfassade des Trombe Hauses mit der Trombe Wall

gegen hinten abfallen.⁶⁴ Im Inneren befinden sich zwei Schlafzimmer, ein Wohnzimmer und ein Arbeitszimmer, die an die Trombe-Wall anschliessen, sowie an der Nordwand Küche, Bad und eine kleine Eingangszone.⁶⁵

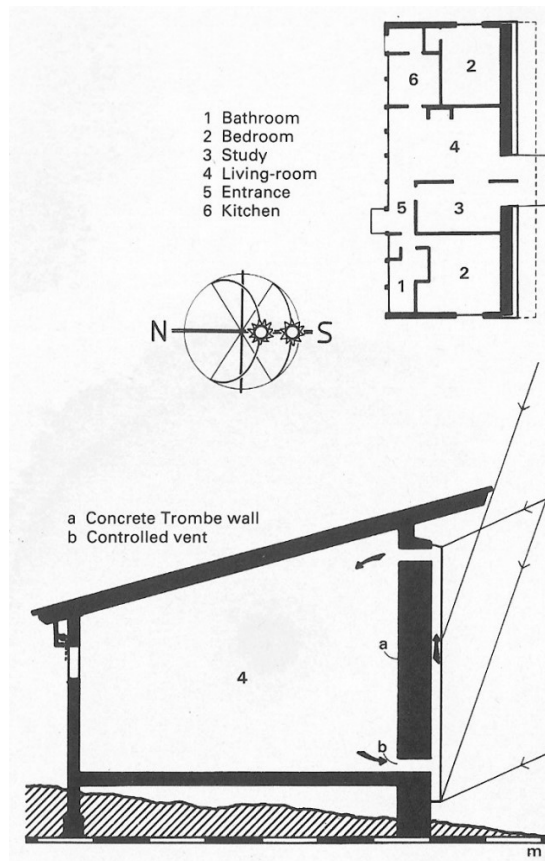
Dabei dominiert besonders gegen Süden die Trombe-Wall den Ausdruck des Gebäudes. Nahezu geschlossen erstreckt sie sich über die ganze Länge der Häuser. Nur eine fast mittig platzierte, grosse Tür, die zu einer kleinen Terrasse führt, dient als einzige Öffnung Richtung Süden.⁶⁶ Das dunkle, blaue bis schwarze Erscheinungsbild der Wand steht in einem grossem Kontrast zu den ansonsten in Holz verkleideten Wänden. Zusätzlich prägt eine markante Rasterung der Fläche in einzelne rechteckige Paneele aus Glas das Aussehen. Die Dachlattung scheint sich an dem selben Raster zu orientieren, wodurch ein einheitliches, harmonisches Gesamtbild entsteht, in dem die Trombe-Wall in direkter Verbindung mit dem Rest der Gebäude gesetzt wird. Zudem kann man das Gebäude mit Gewächshäusern oder hinterlüfteten Fassaden assoziieren. So mag es nicht für alle sofort ersichtlich sein, dass nur in der Mitte Fenster vorhanden sind.

64 Vgl. OfHouses, Fotos online: <https://ofhouses.com/post/170443597787/517-jaques-michel-f%C3%A9lix-trombe-solar-house>, (14.01.2022)

65 Vgl. *Hidden Architecture: Ungreen, Trombe Wall*, online: <http://hiddenarchitecture.net/ungreen-trombe-wall/>, (13.01.2022)

66 Vgl. Denzer 2013, S. 174 - 175

Die Entwicklung der Trombe-Wall basiert auf den Prinzipien der Luftheizung und Massenwirkung. Zum einen erwärmt die Sonne die Luft hinter dem Glas, die über Öffnungen in den Innenraum geführt wird und die Wand gibt ihre gespeicherte Wärme später über Strahlung wieder ab. Ventilatoren oben und unten an der Wand unterstützten diesen Prozess.⁶⁷ Öffnet man die Fenster auf der Nordseite bei warmen Temperaturen, kann das System auch zum Kühlen verwendet werden.⁶⁸ Das System bildet damit einen linearen Prozess von aussen nach innen, wobei die Außenwand als Kollektor für die Sonnenstrahlung dient. Die Wand aus Beton fungiert als einfacher Speicher, die bei einer Dicke von 60cm über einen Zeitraum von 14 - 16 Stunden die Wärme noch abgibt.⁶⁹ In dieser Hinsicht richten sich die Häuser wie Satelliten-Schüsseln nach der Sonne aus, um so viel wie möglich von den Sonnenstrahlen einfangen zu können.



14 Schnitt und Grundriss des Trombe Hauses

Unterstrichen wird diese Geste durch das Pultdach, das gegen Hinten abfällt. Diese Monumentalität betont zudem das Verhältnis von Glasfläche und Öffnung und die mittig auf der Achse liegende Doppeltüre, was die seitlichen Glasflächen zu ausgestreckten Armen macht, welche die Sonnenstrahlen einfangen. Man könnte sagen die Räume dahinter seien im Grunde nur Anbauten an dem System, dem grossen Kollektor. Es gibt eine klare Trennung zwischen dem Raum davor und dahinter. Die Trombe-Wall ist damit weniger eine Wand sondern mehr eine Mauer, welche die inneren Räumlichkeiten von dem Aussenraum abtrennt. Nur über den Balkon entsteht eine Verbindung zur anderen Seite.

In der Art und Weise wie die Häuser mit der Ausrichtung Richtung Süden stehen, spielen sie mit den Erwartungshaltungen der Bewohner:innen. Der Zugang zum Haus und den Eingang auf der Nordseite schafft die Erwartung, dass man beim Eintreten

67 Vgl. Denzer 2013, S. 173

68 Vgl. Medici, Piero: „The Trombe Wall during the 1970s: technological device or architectural space?“, in: *Spool*, Volume 5, Issue Nr. 01, TU Delft, 2018, S. 49

69 Vgl. Denzer 2013, S. 175

in das Haus einen wunderbaren Ausblick auf die Landschaft haben werde. Dagegen tritt man in eine relativ geschlossene und intime nach Innen gerichtete Raumwelt ein. Dies resultiert offensichtlich durch die mehrheitlich geschlossene Südfassade, aber auch die anderen Fassaden lassen mit ihren Loch- und Oberfenster eher wenig Ausblick auf die Umgebung. In umgekehrter Richtung kann vermutet werden, dass auch eher wenig Licht in die Räumlichkeiten fällt. Aber mangels Innenfotos und Beschreibungen über das Innenleben, kann das nicht vollends bewiesen werden. So haben die Häuser auch etwas von einem Charakter einer geschlossenen Box, bei der man versucht den Inhalt möglichst gut im Inneren zu behalten. Inwiefern diese Geschlossenheit zur Gesamtleistung beitrug, kann nicht gesagt werden, jedoch veröffentlichte Trombe Zahlen, nach denen 70 Prozent des Heizenergiebedarfs über Solarenergie bereitgestellt wurde. Davon 30 Prozent über Luftheizung und 70 Prozent über die Speicherwand.⁷⁰

Wenn man sich den Grundriss anschaut, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Anordnung der Räumlichkeiten nach der Trombe-Wall und ihren Bedürfnissen ausgerichtet wurden (Abb. 14). Die Wohn- und Schlafräume lagen an der Trombe-Wall und konnten so darüber direkt beheizt werden. Die Funktionsräume ordnete man gegen Norden an, die vermutlich nicht zwingend einer Beheizung bedurften.⁷¹ Wie es sich anfühlte, in einem solchen Umfeld zu wohnen, kann aus den vorhandenen Information nicht gesagt werden, aber es scheint klar, dass die Trombe-Wall die Raumatmosphäre deutlich beeinflusste.



15 Nordfassade Trombe Haus

Die Trombe-Wall hatte damit eine strake Präsenz in den Häusern, sowohl visuell also auch im Empfinden. Dies unterstrich ihre Bedeutung für die Häuser, einerseits im Sinne einer ressourcenschonende Energieerzeugung und andererseits als ein neuartiges technologiesches Gerät. In der Gesamtheit sprachen die Häuser regelrecht davon, dass sie Sonnenstrahlen einfingen und mögen so auch ein Statement für nachhaltige Energieformen gewesen sein. Die Gestaltung ermöglichte dagegen auch andere Lesarten, wodurch die Trombe Wall in mehreren Bereichen Bedeutung erlangen konnte. Die Umsetzung warf zudem auch Fragen über die wohnlichen Qualitäten auf.

70 Vgl. Denzer 2013, S. 175

71 Vgl. Hidden Architecture: *Ungreen, Trombe Wall*, online: <http://hiddenarchitecture.net/ungreen-trombe-wall/>, (13.01.2022)

Während das System viel Raum bekam, wurden diese eher vernachlässigt. Genauere Informationen darüber, könnten eine bessere Beurteilung über die architektonischen Qualitäten einer solchen Anwendung der Trombe-Wall erlauben.

2. 5. Die GreenPix - Zero Energy Media Wall: Energieumwandlung architektonisch inszeniert

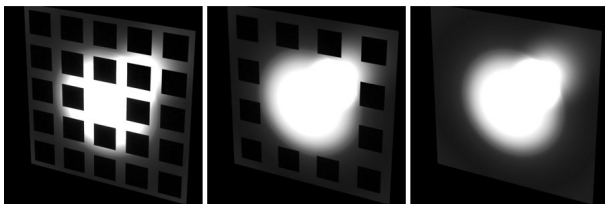
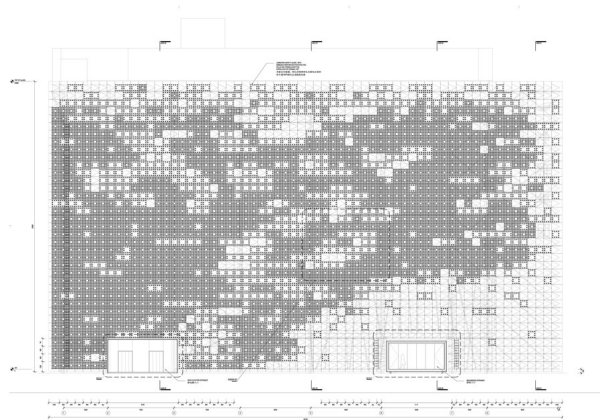
Simone Giostra & Partners Architects entwickelten zusammen mit Ove Arup & Partners von 2005 bis 2008 eine besondere Curtain Wall mit dem fulminanten Namen „GreenPix – Zero Energy Media Wall“.⁷² Ganz ohne Energie kam diese Media Wall natürlich nicht aus, aber der Name wies bereits auf den Umstand hin, dass sie ohne konventionelle Energieerzeuger betrieben wurde. Auf einer Fläche von fast 2000m²



16 Die GreenPix - Zero Energy Media Wall bei Nacht

72 Vgl. Simone Giostra & Partners, *GreenPix – Zero Energy Media Wall*, online: <http://sgp-a.com/#/single/xicui-entertainment-center-and-media-wall/>, (15.01.2022)

wurden 534m² Photovoltaik-Module verbaut, welche die benötigte Energie sammeln.⁷³ Die Wand war Teil des Xcui Entertainment Complex mit einem Kino und Restaurant, das bereits 2005 fertig gestellt wurde. Die damalige Ostfassade wurde gegen die 60 x 33 Meter grosse Media Wall ersetzt. Zum Leben erweckt wurde die Wand durch 2300 LEDs, womit sie zu der Zeit die grösste LED-Wand darstellte.⁷⁴



17 oben: Ansicht der GreenPix - Zero Energy Media Wall und der Solarzellen, die eine Meereslandschaft abbilden sollen.
18 unten: die unterschiedlichen Varianten der Paneele mit entweder null, 12 oder 24 einlamierten Photovoltaikzellen.

Die Besonderheit der Media Wall bestand in der enormen Komplexität der verschiedenen Technologien, die zusammen kamen und in den vielen Funktionen, die von der Wand übernommen wurden. Als Basis diente ein metallenes Gerüst, das an die bestehende Gebäudestruktur anschloss und die verschiedenen Elemente aufnahm.⁷⁵ Die Hauptelemente, die einzelnen Paneele, waren Verbundglasmodule mit eingebetteten polykristallinen Photovoltaikzellen, die mit dem Grundgerüst verschraubt wurden. Um auch tagsüber ein interessantes Fassadenbild zu ermöglichen, wurden die Paneele in drei unter-

schiedlichen Varianten ausgeführt: mit null, 12 oder 24 einlamierten Photovoltaikzellen, die unterschiedliche Transparenzgrade hatten (Abb 18). Zusammen sollten sie eine Meereslandschaft abbilden (Abb.17). Für zusätzliche Variationen unterschiedlicher Reflexionen in der Fassade, wurden die Hälfte der Paneele in einem Winkel von 5 Grad montiert.⁷⁶ Die Fotos zeigen, dass die Paneele so einerseits den benötigten Strom einsammelten, aber auch Teil einer Grafik und eines visuellen Spiels waren. So überlagerten sich hier verschiedene Bedeutungsebenen und je nach Lesart konnten verschiedene Dinge in den Paneelen gesehen werden. Über die Transluzenz und den Öffnungen gelangte genügend Licht in die Innenräume und reduzierte gleichzeitig

73 Vgl. Roberts, Simon, Guariento, Nicolò: *Gebäudeintegrierte Photovoltaik - Ein Handbuch*, Basel: Birkhäuser, 2009, S. 82

74 Vgl. Roberts 2009, S. 84

75 Vgl. Section online: <http://greenpix.sgp-a.com/download.php?mode=0>, (15.01.2022)

76 Vgl. Roberts 2009, S. 84

die übermässige Erwärmung der Räume durch die Sonne⁷⁷. Jeweils ein LED-Modul beleuchtete aus einer Entfernung von 60cm mittig ein Paneel, an dem das Licht gestreut wurde, um ein flächiges Bild auf der Fassade zu bekommen.⁷⁸

Wenn die Wand in Betrieb war, wurde tagsüber die Solarenergie auf der Fassade gesammelt und ins Netz eingespeist. Bei Dunkelheit nutzte man die gewonnene Energie, um die Wand über die LED's zum Leuchten zu bringen.⁷⁹ Die Media Wall wurde zu einem Kommunikations-Medium für den Entertainment Complex, über welches das relativ geschlossene Gebäude mit der Umgebung in Kontakt treten konnte und eine grosse Anzahl von Menschen gleichzeitig erreichte. In dem Sinne bezog sich die Wand auf das zeitgenössische Phänomen der starken Beleuchtung



19 LED - Leuchten, welche die Paneele in einem Abstand von 60cm beleuchten um die Bilder zu erzeugen.

der Stadt durch ihre Leuchttafeln und Bildschirme zu Werbezwecken, wie sie beispielsweise am Times Square in New York zu finden sind oder bereits 1972 durch die Untersuchung von Robert Venturi und Denise Scott Brown in „Learning from Las Vegas“ festgehalten wurden.⁸⁰ Zu sehen war aber keine Werbung, sondern Kunst. Auf der Wand zeigten verschiedene Künstler:innen wie Xu Wenkai, Michael Bell Smith, Takeshi Murata, Shih Chieh Huang, Feng Mengbo oder Varvara Shavrova ihre Videoinstallationen.⁸¹ Dafür wurde eigens auch ein Programm geschrieben, über das die Künstler:innen ihre Werke im voraus testen konnten.⁸² Mit ihrer im Vergleich zu anderen Medien-Fassaden relativ kleinen Auflösung⁸³, reflektierte die Media Wall so auf künstlerische und abstrakte Weise über das eigene Medium. Die Solarzellen wurden quasi zu einzelnen Pixel, welche die Bilder zusammensetzten.

77 Vgl. Simone Giostra & Partners, *GreenPix – Zero Energy Media Wall*, online: <http://sgp-a.com/#/single/xicui-entertainment-center-and-media-wall/>, (15.01.2022)

78 Vgl. Roberts 2009, S. 85

79 Vgl. Roberts 2009, S. 84

80 Vgl. Howarth, Dan: *Snohetta's Times Square transformation officially opens*, online: <https://www.dezeen.com/2017/04/19/snohetta-times-square-new-york-transformation-pedestrian-plazas-officially-opens-architecture-news/>, (15.01.2022) und Venturi, Robert, Scott Brown, Denise, Izenour, Steven: *Learning from Las Vegas*, Cambridge Mass. London: The MIT Press, 1972

81 Vgl. Simone Giostra & Partners, *GreenPix – Zero Energy Media Wall*, online: <http://sgp-a.com/#/single/xicui-entertainment-center-and-media-wall/>, (15.01.2022)

82 Vgl. Simulator online: <http://greenpix.sgp-a.com/play.php>, (15.01.2022), 12:30 Uhr

83 Vgl. Simone Giostra & Partners, *GreenPix – Zero Energy Media Wall*, online: <http://sgp-a.com/#/single/xicui-entertainment-center-and-media-wall/>, (15.01.2022)

Das System der Media-Wall ist ein schönes Beispiel dafür, wie Energieumwandlung architektonisch inszeniert werden kann. Auf einer Ebene wurden verschiedene Technologien platziert, die den Prozess des Einfangens von Sonnenstrahlen zur Erzeugung von elektrischer Energie bis zu deren Nutzung zur Schau stellen. Die Media-Wall war damit Kollektor und Sender zugleich. Das Sonnenlicht fiel auf die Wand, wurde gesammelt, verarbeitet und über die Videoinstallationen der Künstler:innen wieder zurückgesendet. Es bildete sich im Grunde ein nie endender Kreislauf, bei dem das Gebäude über das System mit der Sonne in einem immer währenden Dialog stand.



20 Videoproduktion auf der GreenPix - Zero Energy Media Wall

3. Fazit

Zu Beginn der Arbeit verwies ein kurzer geschichtlicher Rückblick auf einen Teil der Entstehungsgeschichte der Solarzelle und zeigte, wie die Errungenschaft grosse Erwartungen an die Technologie auslöste. Diese Erwartungen resultierten in einem biblischen Bild als Allerheil-Lösung, mit der man auch in der Werbung versuchte, die Menschen dafür zu überzeugen. Da man jedoch zunächst in der Nuklear-Energie das grössere Potenzial sah, verbreite sich die Solarenergie nur für ganz spezifische Nutzungen. Besonders an abgelegenen Orten, die noch nicht an das allgemeine Stromnetz angeschlossen waren, war die Photovoltaik eine praktische Lösung. Dies zeigt, dass zu Beginn die Nutzung von Photovoltaik aus ganz rationalen Gründen und noch ohne diesen grossen Stellenwert für die transformativen Prozesse der ökologischen Bewegungen verwendet wurden. Erst in den 1970er Jahren mit der Ölkrise und dem Bericht vom Club of Rome wurde die Photovoltaik auf die heutige Bedeutungsebene gehoben. Diese Erkenntnis bot eine Grundlage für die Untersuchung der Bedeutung der Paneele und ihre Systeme in der Architektur.

Die Fallbeispiele zeigen, dass die Paneele nicht nur eine ökologische Bedeutung haben, sondern auch eine räumliche Dimension einnehmen können und den Ausdruck des Gebäudes beeinflussen. Damit haben die Paneele auch explizit eine architektonische Bedeutung. Beim Autonomous House der Vales ordnete die Pergola mit den Photovoltaik-Paneele den Garten, beim Dover House formte die Technik im besonderen das Haus, beim Trombe Haus spielte die Trombe Wall mit unseren räumlichen Erwartungen und beim der Green Pix Media Wall ermöglichte die Photovoltaik in besonderer Art und Weise die Kommunikation des Gebäudes mit dem Aussenraum.

Die Fallbeispiele zeigen, dass sich die räumliche Bedeutung der Paneele auf verschiedenen Ebenen zeigt. Je nach System beeinflussen die Paneele den Raum und die Gestaltung des Hauses unterschiedlich stark. Einerseits ist da die räumliche Ausdehnung des Systems selbst, also der Raum den die Systeme für sich beanspruchen. Andererseits beeinflussen die Paneele den Raum und dies in zweierlei Hinsicht: Sie beeinflussen die Gestaltung und Anordnung der Räume und sie beeinflussen die räumliche Atmosphäre. Besonders schwierig ist es, Schlüsse über die Emotionen zu ziehen, die durch die Räume erzeugt wurden. Dazu wären persönliche Berichte der Bewohner:innen interessant, die über die technischen Aspekte hinausgehen.

Interessant wäre es auch, mehr zu wissen über die Flexibilität der einzelnen Systeme in verschiedenen Kontexten und mit unterschiedlichen gestalterischen Aufgaben. Da es sich bei den ausgesuchten Gebäuden in allen Fällen um experimentelle Tech-

nologien in einmaligen Bauten handelt, können wir nur schwer Aussagen über die Realisierung unter anderen Bedingungen machen. Eine besondere Frage ist auch jene nach der Skalierbarkeit der Systeme. Bei Einfamilienhäusern mögen diese Systeme gut funktionieren, aber gerade bei zunehmender Knappheit von Landressourcen wäre eine Untersuchung über die Anwendbarkeit bei Mehrfamilienhäusern sowohl in technischer als auch in gestalterischer Hinsicht interessant.

Aufgrund der Fallbeispiele lässt sich zudem darauf schliessen, dass die Paneele nicht von sich aus über ihre Funktion als Kollektor für Solarenergie hinaus Bedeutung haben. Erst wenn man sie in gewisse Kontexte setzt oder im Zusammenspiel mit anderen Elementen wird ihre Bedeutung erweitert. Die Gesamtinszenierung ist demnach entscheidend für die Bilder, mit denen wir die Paneele betrachten. Um die Gesamtinszenierung zu bilden, müssen Narrative erarbeitet werden. In allen Fallbeispielen waren die Paneele einen wichtigen Teil der Erzählung des Gebäudes. Wenn man die Paneele wegnehmen würde, würde sich auch das Narrativ sich verändern. Das bedeutet, dass man die Narrative von Beginn an mitdenken muss, wenn man die Paneele in einer guten Weise in die Gebäude integrieren möchte. Sie müssen Teil der Narrative werden und in der Erzählung eine Rolle übernehmen. Hierbei müssen die Rollen der Paneele auch weitere Erzählungen ermöglichen, damit sie über ihre ökologische Bedeutung hinauswachsen können. Sie müssen also mit weiteren Eigenschaften beschrieben werden, die frei gewählt werden können.

Mit dieser Grundlage kann nun weiter experimentiert werden. Was für Geschichten lassen sich mit Paneelen noch erzählen? Welche Rollen können sie übernehmen? Durch ihre Eigenschaft, sich immer wieder verwandeln zu können, steckt in den Paneelen eine grosse gestalterische Möglichkeit. Diese müssen weiter erforscht und erprobt werden.

Literaturverzeichnis

Barber, Daniel A.: *A house in the sun: modern architecture and solar energy in the Cold War*, New York, NY, United States of America: Oxford University Press, 2016

Borasi, Giovanna, Zardini, Mirko: *Sorry, out of gas: architecture's response to the 1973 oil crisis*, Montréal, Québec: Canadian Centre for Architecture, Mantova: Corraini Edizioni, 2007

Cole, Doris: *Elanor Raymond*, online: <https://pioneeringwomen.bwaf.org/eleanor-raymond/>, 30. August 2021, 15:20 Uhr

Denzer, Anthony: *The Solar House*, New York: Rizzoli International Publications Inc., 2013

Eco, Umberto: *Einführung in die Semiotik*, München: Wilhelm Fink Verlag, 2002 (9. Aufl.)

Fritts, Charles E.: *On a new form of selenium cell, and some electrical discoveries made by its use*, in: *American Journal of Science*, December 1883, S. 3-26 (156) 465-472, online: <https://doi.org/10.2475/ajs.s3-26.156.465>

Haepke, Nadine: *Sakrale Inszenierungen in der zeitgenössischen Architektur*, Bielefeld: transcript Verlag, 2013

Hidden Architecture: *Ungreen, Trombe Wall*, online: <http://hiddenarchitecture.net/ungreen-trombe-wall/>, (13.01.2022)

Howarth, Dan: *Snøhetta's Times Square transformation officially opens*, online: <https://www.dezeen.com/2017/04/19/snohetta-times-square-new-york-transformation-pedestrian-plazas-officially-opens-architecture-news/>, (15.01.2022)

Janzig, Bernward: *Solare Zeiten - Die Karriere der Sonnenenergie*, Freiburg: Picea Verlag, 2011

Kaempffert, Waldemart: „Atomic Power First, Solar Power Next, Is The Prediction of Two Experts“, in: *The New York Times*, 17. Oktober 1954

Krippner, Roland (Hrsg.): *Gebäudeintegrierte Solartechnik - Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie*, München: Edition Detail Green Books, 2016

Lüling, Claudia (Hrsg.): *Energizing Architecture. Design and Photovoltaics*, Berlin: Jovis Verlag, 2009, S. 53 - 100 und S. 190

Medici, Piero: „The Trombe Wall during the 1970s: technological device or architectural space?“, in: *Spool*, Volume 5, Issue Nr. 01, TU Delft, 2018

Moomaw, W., F. Yamba, M. Kamimoto, L. Maurice, J. Nyboer, K. Urama, T. Weir, 2011: Introduction. In *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C.von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New

York, NY, USA

Perlin, John: *From space to earth - the story of solar electricity*, Cambridge: Harvard University Press, 2002

Perlin, John: *Let it shine - the 6'000-year story of solar energy*, Novato, California: New World Library, 2013

Roberts, Simon, Guariento, Nicolò: *Gebäudeintegrierte Photovoltaik - Ein Handbuch*, Basel: Birkhäuser, 2009

Simone Giostra & Partners, *GreenPix – Zero Energy Media Wall*, online: <http://sgp-a.com/#/single/xicui-entertainment-center-and-media-wall/>, (15.01.2022)

Vale, Brenda and Robert: *The Autonomous House: design and planning for self-sufficiency*, London: Thames & Hudson, 1977 (4. Aufl.)

Vale, Brenda and Robert: *The New Autonomous House: Design and Planning for Sustainability*, London: Thames & Hudson, 2000

Venturi, Robert, Scott Brown, Denise, Izenour, Steven: *Learning from Las Vegas*, Cambridge Mass. London: The MIT Press, 1972

Abbildungsverzeichnis

- 1 *Photoelektrisches Modul von Charles Fritts*, online zur Verfügung gestellt von John Perlin: <https://www.smithsonianmag.com/sponsored/brief-history-solar-panels-180972006/>, (26.01.2022)
- 2 *Brooklyn Microgrid*, online: <https://www.thuega.de/product/tolle-technik-fuer-alle-branchen/>, (26.01.2022)
- 3 *Präsentation Bell Solar Battery*, Scan aus dem Buch: Perlin, John: *From space to earth - the story of solar electricity*, Cambridge: Harvard University Press, 2002, S. 32
- 4 *Magazine advert for Bell Labs' new invention, the solar battery*, online: <https://www.onthisday.com/photos/1st-solar-battery/>, (26.01.2022)
- 5 *Bell Solar Battery*, Foto: Lucent Technologies Inc. über Bell Labs, online: http://www.photovoltaiik.or.at/vor-60-jahren-enthuellt-bell-labs-die-solarzelle_1171.html, (26.01.2022)
- 6 *Werbung Zenith-Radio*, online: <https://vintageadvertising.tumblr.com/post/149531008705/zenith-now-zenith-harnesses-the-sun-to-power-this/amp>, (26.01.2022)
- 7 *Das Autonomous House*, online: <https://earthbound.report/2019/11/15/building-of-the-week-the-autonomous-house/>, (26.01.2022)
- 8 *Situation, Grundriss und Ansichten von dem Autonomous House*, Scan aus dem Buch: Vale, Brenda and Robert: *The New Autonomous House: Design and Planning for Sustainability*, London: Thames & Hudson, 2000, S. 60 - 61
- 9 *Plan Erd- und Obergeschoss von dem Autonomous House*, Scan aus dem Buch: Vale, Brenda and Robert: *The New Autonomous House: Design and Planning for Sustainability*, London: Thames & Hudson, 2000, S. 62
- 10 *Das Dover Sun House*, online: <https://www.nowwhat-architexx.org/articles/2018/9/17/70-years-later-maria-telkes-and-eleanor-raymonds-solar-house-1947>, (26.01.2022)
- 11 *Schematischer Betrieb des Dover House aus einem Artikel in Popular Science*, 1949, Scan aus dem Buch: Barber, Daniel A.: *A house in the sun: modern architecture and solar energy in the Cold War*, New York, NY, United States of America: Oxford University Press, 2016, S. 134
- 12 *Sun Heated House (second scheme)*, 9. August 1948, zur Verfügung gestellt von Eleanor Raymond Collection, Frances Loeb Library, Harvard Graduate School of Design, Scan aus dem Buch: Barber, Daniel A.: *A house in the sun: modern architecture and solar energy in the Cold War*, New York, NY, United States of America: Oxford University Press, 2016, S. 133
- 13 *Südfassade Trombe House*, Foto: Michèle François, online: <https://hiddenarchitecture.net/ungreen-trombe-wall/>, (26.01.2022)
- 14 *Schnitt und Grundriss vom Trombe House*, online: <https://hiddenarchitecture.net/ungreen-trombe-wall/>, (26.01.2022)

- 15 *Nordfassade Trombe House*, Foto: Michèle François, online: <https://ofhouses.com/post/170443597787/517-jaques-michel-f%C3%A9lix-trombe-solar-house>, (26.01.2022)
- 16 *Die GreenPix - Zero Energy Media Wall*, Foto: SimoneGiostra-ARUP-Ruogu, online: <http://greenpix.sgp-a.com/download.php?mode=0>, (26.01.2022)
- 17 *Ansicht der GreenPix - Zero Energy Media Wall*, Foto: SimoneGiostra-ARUP-Ruogu, online: <http://greenpix.sgp-a.com/download.php?mode=0>, (26.01.2022)
- 18 *Unterschiedliche Varianten der Paneele*, Foto: SimoneGiostra-ARUP-Ruogu, online: <http://greenpix.sgp-a.com/download.php?mode=0>, (26.01.2022)
- 19 *LED - Leuchten*, Foto: SimoneGiostra-ARUP-Ruogu, online: <http://greenpix.sgp-a.com/download.php?mode=0>, (26.01.2022)
- 20 *Videostandbild*, Video: SimoneGiostra-ARUP-Ruogu, online: <http://greenpix.sgp-a.com/download.php?mode=1>, (26.01.2022)