
BIOINTEGRIERTE MATERIALIEN, ARTEFAKTE UND PROZESSE

David Hahlbrock, Georg Trogemann
Kunsthochschule für Medien Köln, labIII, (2014)
interface.khm.de



Cherrapunji Bridge

Eine doppelstufige Wurzelbrücke in Meghalaya, Indien.

„Im indischen Cherrapunji stellt das Volk der Khasi Wurzelbrücken aus den Wurzeln des Gummibaums (*Ficus elastica*) her. Um die Wurzeln dieses Baumes in die gewollte Richtung wachsen zu lassen, verwenden die Khasi ausgehöhlte Stämme der Betelnusspalme, durch die ein willkürliches Wachstum der Gummibaumwurzeln verhindert wird. Wenn die Wurzeln ihren Zielort erreicht haben, werden die Stämme entfernt und die Wurzeln verwurzeln sich im Boden. Mit der Zeit führt weiteres Wurzelwachstum zum Aufbau einer haltbaren, widerstandsfähigen Brücke.“

Wikipedia, Lebende Brücke

BIOINTEGRIERTE MATERIALIEN, ARTEFAKTE UND PROZESSE

David Hahlbrock, Georg Trogemann
Kunsthochschule für Medien Köln, labIII, (2014)
interface.khm.de

Abstrakt

Das Forschungsvorhaben «Biointegrierte Materialentwicklung» verfolgt die Entwicklung neuer funktionaler Materialien die beispielsweise in Städtebau, Architektur, Produktdesign und Agrikultur zur Anwendung kommen sollen. Durch die Kombination herkömmlicher Materialien und digitaler Konstruktions- und Bearbeitungsmethoden mit Organismen, organischen Prozessen und vor allem biologischem Wachstum sollen neue nachhaltige Materialien und Baustoffe, sowie andersartige Materialprozesse und alternative Formen der Poiesis untersucht werden.

Sobald aber Werkstoffe nicht mehr nur als passive Einheiten betrachtet werden, die sich der technischen Konstruktion und der statischen Form unterordnen und in erster Linie durch Bearbeitungs- und Gebrauchseigenschaften bestimmt sind, sondern das eigendynamische zeitliche Verhalten organischer Systeme und natürlicher Wachstumsprozesse mit in den Fokus genommen werden, durchbrechen wir die gängige Dichotomie von Technik und Natur.

Die Verbindung von Ingenieurprinzipien mit biologischen Prozessen und natürlichen Abläufen führt nicht nur zu andersartigen Entwurfsmethoden, Herstellungsverfahren und Produktlebenszyklen, sondern insgesamt zu einer Rehabilitation und Wiederinstandsetzung natürlicher Prozesse. Nicht mehr die analytische Beherrschung eines Gegenstandes oder die Erreichung detailliert geplanter Endzustände stehen im Zentrum, sondern die Konfiguration von Milieus und Potentialen, in denen sich natürliche Prozesse etablieren und in die wir gewünschte Funktionen einschreiben können, ohne das biologische Gleichgewicht zu zerstören.

1. DAS PRINZIP DER BIOINTEGRATION

Materialentwicklung ist ein Feld intensiver Forschung und die Anwendung neuer Werkstoffe gilt in vielen Industriezweigen als eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Werkstoffentwicklungen bilden oft „die Grundlage für eine Vielzahl von Innovationen, die letztlich auf ein neues Material und dessen Eigenschaften aufbauen“ (Gerybadze, Gredel, & Gresse, 2011, S. 18). Nicht zuletzt durch zunehmende Umweltprobleme sind ressourcenschonende Produkte, Naturmaterialien und Recyclingwerkstoffe in der Materialforschung stark im Kommen (Peters, 2011). Funktionelle Hochleistungsmaterialien werden in aufwendigen technischen Prozessen von internationalen Unternehmen unter Laborbedingungen entwickelt und anschließend in kosten- und ressourcenintensiven industriellen Produktionsprozessen hergestellt. Die zugrundeliegenden chemischen, physikalischen und biologischen Prozesse können in der Regel nur von Experten unter Verwendung aufwendiger und teurer Technik erzeugt und unter Kontrolle gehalten werden.

In der biointegrierten Materialentwicklung dagegen stehen die Zugänglichkeit der beteiligten Prozesse und Verfahren mit einfachen technischen Mitteln im Vordergrund. Die technischen Ressourcen sollen sowohl einfach als auch im Idealfall umweltneutral sein. Für

den hier verfolgten Ansatz sind folglich vor allem solche natürlichen Prozesse und darauf angepasste Anwendungsfelder interessant, die zwar eine niedrige technische Schwelle haben, deren Installation und Betrieb aber gleichwohl ein hohes Maß an Wissen und Erfahrung erfordern dürfen. Dieses Wissen gilt es durch gezielte Experimente zu erlangen. Im Vergleich zur industriellen Materialforschung werden die beteiligten chemischen, physikalischen und biologischen Prozesse im Mikro- und Nanobereich nicht durch komplexe Technologien realisiert, sondern an lebende biologische Systeme ausgelagert. Hierzu wird insbesondere auf computergestützte Konstruktions- und Produktionsverfahren zurückgegriffen. Diese erlauben zusammen mit modernen Materialien erst die Schaffung von biologischen Habitaten als Grundlage für die angestrebten komplexen Materialfunktionen. In solchen künstlichen Lebensräumen breiten sich injizierte Organismen aus und vollenden durch ihre intrinsische Vitalität die beabsichtigten Funktionen. Ziel ist also, die Herstellungsprozesse komplexer Materialien durch die Verbindung von Werkzeugen des computergenerierten Designs und den Fertigungstechniken der Maker-Kultur zusammen mit detailliertem Wissen über biologische Abläufe und organische Prozesse entscheidend zu vereinfachen und weiter zu entwickeln.

Abgrenzung des Feldes

Die hier verfolgte biintegrierte Materialentwicklung befasst sich mit Prozessen und Strukturen von Lebewesen bzw. Vorgängen, an denen Lebewesen und Organismen beteiligt sind. Dennoch soll unser Untersuchungsgegenstand von bestimmten Entwicklungszweigen der *Live Sciences* explizit abgegrenzt werden: 1. der synthetischen Biologie, 2. der Bionik und 3. der Verhaltensbiologie.

Die *synthetische Biologie* verfolgt das Ziel, biologische Systeme zu erzeugen, die in der Natur so nicht vorkommen. Damit greift sie noch umfassender in Lebensprozesse ein als die Gentechnik, die lediglich einzelne Gene zwischen Organismen transferiert. In der synthetischen Biologie, die an ihren Grenzen auch Technikwissenschaften wie die Nanotechnologie, Informationsverarbeitung und Prinzipien der Ingenieurwissenschaften integriert, sollen auf der Basis von Minimalorganismen (Chassis) schrittweise neue biologische «Systeme» mit gewünschten Eigenschaften aufgebaut werden. Eingriffe in die Genetik und in Vererbungsprozesse sollen in der hier verfolgten biintegrierten Materialentwicklung ausdrücklich nicht betrachtet werden.

In der *Bionik* werden gezielt Phänomene der Natur in die Technik übertragen. Hier werden also natürliche Prozesse nicht direkt benutzt oder erweitert, sondern die Natur dient ausschließlich und zweckorientiert als Inspirationsquelle für die Entwicklung neuer technischer Artefakte und Verfahren. Die auf diese Weise entstehenden Materialien und Produkte sind aber von der Natur getrennt und von Grund auf technisch realisiert.

Die *Verhaltensbiologie* beschreibt, vergleicht und analysiert das Verhalten von Tieren (und Menschen) und erklärt das Entstehen bestimmter Verhaltensweisen im Verlauf der jeweiligen Stammesgeschichte. Schon die erste Domestikation von Haustieren, die mit der Einzäunung und Einpferchung von Tieren beginnt, erforderte Wissen über deren Lebensbedingungen und Verhaltensweisen, um ihren Bedürfnissen gerecht zu werden und sie unter kontrollierten Bedingungen als lebendigen Nahrungsvorrat zu halten und zu vermehren. Dass in diesem Zuge tierisches Verhalten sehr früh auch gezielt funktional eingesetzt wurde, zeigt schon das

triviale Beispiel des Jagd- und Wachhundes. Hieran schließt sich das weite und insgesamt sehr komplexe Feld des Abrichtens und Dressierens von Tieren an, das sich darauf stützt, natürliche Verhaltensweisen zu verstärken und so zu verändern, dass auf Kommando bestimmte Handlungen ausgeführt werden. Insbesondere beim Abrichten, das im Gegensatz zur auf die öffentliche Vorführung zielenden Dressur den Nutzen in Arbeitszusammenhängen ins Zentrum stellt, wird der funktionale Charakter tierischen Verhaltens deutlich. So ziehen beispielsweise schon seit der Antike immer auch Tiere mit den Menschen in den Krieg. Sie erfüllen vielfältige Aufgaben des Transportes, der Nachrichtenübermittlung, des Suchens und Erkundens und nicht zuletzt als Waffen. Jüngste Beispiele, die mediale Aufmerksamkeit erzeugten, sind Delphine, die feindliche Kampftaucher ausfindig machen und Honigbienen für das Aufspüren von Landminen. Das Abrichten von Tieren und die Tierdressur setzen bei sehr hoch entwickelten Lebewesen mit kognitiven Fähigkeiten an. Antrainierte Verhaltensweisen erfüllen dann in innerhalb von organisierten Gesamtzusammenhängen verschiedene Funktionen. Für die hier betrachtete Materialforschung sind dagegen weniger kognitive als vielmehr organische Prozesse von Mikroorganismen wie Bakterien und Pilzen von Interesse, sowie die gezielte Verbindung von 3D-basierter Konstruktionsmethoden mit biologischen Wachstumsprozessen.

Beispiel Holzpilzbaulement

Neues funktionales Verhalten entsteht hier durch die Kombination von herkömmlichen Materialeigenschaften, formgebender Struktur und biologischem Prozess. Am Anfang steht dabei der klassische Werkstoff Holz als Grundgerüst der zu designenden Funktion. Mithilfe computergestützter (CAD/CNC) Verfahren werden durch spezielle Formen die Materialeigenschaften gezielt erweitert. Halbzeuge werden in diesem Schritt auch im Hinblick auf spätere Bauprozesse (z.B. Montage) bearbeitet. In einem dritten Schritt werden biologische Prozesse lebender Organismen in das bearbeitete Material integriert, die dessen Eigenschaften um Qualitäten erweitern, die konventionelle Bearbeitungsverfahren nicht oder nur unter größtem technischen Aufwand leisten können. Die biochemischen und biophysischen Transformationsprozesse der Metabolismen erweitern und ersetzen chemische und haptische Bearbeitungsverfahren. Das resultierende Holzpilzbaulement ist ein selbsttragender Baustoff mit hervorragender Wärmedämmung und der Möglichkeit einer objekt- bzw. ortsspezifischen Drainagemöglichkeit. Computergestützte Entwurfspraxis und die maschinelle Bearbeitung ermöglichen individuelle Formen und Verbindungssysteme mit denen der Werkstoff an die speziellen Bedürfnisse des Bauvorhabens angepasst werden kann. In Holzplatten werden mit CNC-Maschinen computergenerierte Strukturen gefräst, die das Wachstum von Pilzen fördern und Wasser leiten. Danach wird ein Pilzmycel in das Holz eingebracht. Nach dem vollständigen Durchwachsen des Mycels wird die Fruchtung eingeleitet. Der Pilz durchzieht das Holz mit einer feinverzweigten Mycelstruktur, die durch ihre porige Struktur wärmedämmend wirkt. Diese Eigenschaft ist noch stärker durch die Fruchtkörper des Pilzes gegeben.

2. DIE ANFÄNGE BIOINTEGRIERENDEN DENKENS

Ausschlaggebend ist die Unterscheidung zwischen der bloßen Verwendung natürlicher Materialien und der bewussten und kenntnisreichen Herstellung von Milieus für biologische Prozesse. Diese Milieus müssen geeignet sein, gewünschte Prozesse anzustoßen bzw. Artefakte herzustellen, deren weitere Entwicklung zu begünstigen und sie in gewissem Umfang zu kontrollieren. Die einfache Verwertung tierischer Felle, die bei der Jagd als Nebenprodukt anfallen und als Basis für die Herstellung schützender Kleidung dienen, wäre demnach noch kein biointegrierendes Denken. Auch das oft über Jahrhunderte gesammelte Wissen über die Eigenschaften natürlicher Werk- und Baustoffe ist lediglich Vorbedingung für biointegrierendes Denken.

So haben beispielsweise Dachschindeln, die von Hand mit einem einfachen Schindelmesser aus Lärchenholzblöcken gespalten werden, eine Lebensdauer von bis zu 400 Jahren. Dass diese weitaus höher ist, als die einer auf der Kreissäge exakt zugeschnittenen Lärchenholzplatte, hat mit dem natürlichen Aufbau des Werkstoffes zu tun. Während der Sägevorgang die Zellstruktur des Holzes verletzt, folgt die Spaltung von Hand dem natürlichen Wachstumsverlauf und erhöht die Witterungsbeständigkeit des Baustoffs beträchtlich. Derartige erfahrungsbasierte Herstellung von Holzwerkstoffen oder auch von Werkzeugen aller Art kann noch vollständig mit dem klassischen Materialbegriff abgedeckt werden. Das Wissen über natürliche Werkstoffe und darauf abgestimmte Bearbeitungsmethoden bedeutet noch nicht, dass hier biologische Prozesse gezielt genutzt werden, um bestimmte Materialeigenschaften zu erreichen. Allerdings deuten diese Verfahren, wie zum Beispiel auch die frühe Vorratshaltung in eigens dafür errichteten Gebäuden zum Schutz vor Ungeziefer und Verrottung, wofür sowohl Kenntnisse über architektonische Konstruktionsverfahren notwendig waren, als auch biologisches Wissen über die Eigenschaften der zu speichernden Ernteerträge, in die Richtung späterer gezielter Ausnutzung natürlicher Prozesse und ihrer Verschmelzung mit technischen Konstruktionsfertigkeiten.

Für die zweckorientierte Nutzung mikrobiologischer Prozesse finden sich schon im Neolithikum erste Beispiele. Spätestens mit der Sesshaftwerdung des Menschen vor ca. 10.000 Jahren wurden im Zuge der Ausdifferenzierung handwerklicher Fähigkeiten und der Kultivierung von Ackerbau und Nutztierhaltung biointegrierende Kenntnisse auf breiter Basis entwickelt. Schon damals war der Mensch nicht mehr nur Werkzeughersteller und -anwender, sondern auch heilender Schamane und pflanzender und hegender Landwirt. Sehr früh ging es darum, mit einer eigendynamischen Natur umzugehen und sie gezielt für eigene Zwecke zu nutzen. Nach Überzeugung des Evolutionsbiologen Josef Reichholf wurde Getreide nicht für die schlichte Ernährung angebaut, also etwa um Brot daraus zu backen, sondern es wurde für die Bierherstellung benötigt (Reichholf, 2010). Bereits am Anfang der neolithischen Revolution entstand demnach nicht nur das Wissen von Ackerbau und Viehzucht, sondern ebenso Wissen um biologische Vorgänge wie Gärung und Fermentierung, die für die Herstellung alkoholischer Getränke unabdingbar sind.

Es ließen sich zahlreiche weitere Beispiele anführen die belegen, dass die biointegrierende Problemlösung eine ebenso lange Tradition hat, wie das handwerklich-konstruktive Denken. Beispielhaft seien die schwimmenden Gärten von Xochimilco (Abb. 1), moderne

Biogasanlagen (Abb. 2), die Madentherapie in der Medizin (Abb. 3) und die Entdeckung natürlicher Penicilline (Abb. 4) genannt. Das Forschungsprojekt untersucht, wie weit sich heutige CAD-unterstützte konstruktive Verfahren wie sie vor allem Architekten, Ingenieuren und Gestaltern nutzen, gezielt mit Wissen über organische Prozesse und biologische Systeme und deren Verhaltensweisen im Hinblick auf neue funktionale Materialien, Artefakte und Prozesse verbinden lassen.



Abb. 1: Die schwimmenden Gärten von Xochimilco



Abb. 2: Biogasanlage



Abb. 3: Madentherapie



Abb. 4: Penicillin

3. WISSENSKULTUREN DER BIOINTEGRIERTEN MATERIALENTWICKLUNG

Die *Biointegrierte Materialentwicklung* ist eng an die Fertigungstechniken der Maker-Kultur angebunden, erweitert diese jedoch bewusst um biologische Prozesse. In allen Phasen der Materialentwicklung wird das Internet als globale Plattform für den Wissensaustausch genutzt. Die Maker-Community hat sich in den letzten Jahren im Internet gebildet und tauscht Anleitungen und digitale 3D-Baupläne für den Bau verschiedenster Dinge und Mechanismen. Die Grenzen von Konsument und Produzent verschwimmen. Besonders wirkungsmächtig wurden die Maker bei Entwicklung von kostengünstigen, Open Source 3D Druckern RapRep und der Open Source Microcontroller-Plattform Arduino. Die historischen Wurzeln der Bewegung liegen in den Open Source Software Projekten der 1990er Jahre, der Elektronik- und Computerszene der 1970er und 80er Jahre und der DIY-Heimwerker Bewegung der Siebziger.

Schon heute sind in der Maker-Szene auch Anleitungen zu finden, die biologisches Wachstum integrieren. Unter dem Motto «Grow Your Own» werden hier beispielsweise Daten hydroponischer Systeme, vertikaler Gärten oder Algen- und Pilzzucht getauscht. Dieser Teil der eigentlich eher klassisch-technischen Maker-Bewegung ist durch wachsendes Umweltbewusstsein und die Idee selbstversorgender Kommunen und Kollektiven der Hippiegeneration und der Reformbewegungen des 19. Jahrhundert geprägt.

Die Vernetzung der Maker-Szene durch das Internet und die Entwicklung von datenbasierten Werkprozessen wie beispielsweise 3D Drucker hat die Innovationskraft und Wirkmacht der frühen DIY-Communities stark beschleunigt. Die Maker-Kultur entwickelt dezentral komplexe Systeme wie das Beispiel des Open Source 3D-Druckers RepRap zeigt. Momentan wird in dieser jungen Kultur immenses Innovationspotential gesehen. Dies speist sich einerseits aus dem Bewusstsein, dass heutige Consumer 3D Drucker noch am Anfang der technischen Entwicklung stehen und somit grundsätzlich wirtschaftliches Potential gesehen wird - ähnlich wie bei Personal Computern und 2D-Papierdruckern in den Achtzigern und Neunzigern. Ein anderer Grund ist die wachsende Wirkmächtigkeit des Internets durch den direkten Anschluss an die Produktion von Artefakten und Prozessen. Die Techniken der Biointegration erweitern das Wissen der Community um biologische Kategorien und bieten die Möglichkeit nachhaltige Arbeits- und Produktionsprozesse im Wissen der Gemeinschaft zu verankern. Das Feld der Biointegration bietet der wachsenden Maker-Kultur ein Zusammenleben mit der Technik – nicht nur in den sozialen Interaktionen des Internets –, das von einem Bewusstsein für die Einbettung der eigenen Existenz in die Welten komplexer lebender Systeme durchdrungen ist.

Selbstverständlich schließt die Maker-Kultur andere gesellschaftliche Systeme die Wissen generieren und verteilen, wie Universitäten, Forschungszentren und Labore in Unternehmen, nicht aus, sondern integriert sie in die gemeinsam geteilten Daten und Entwicklungen der Community.

4. CHARAKTERISIERUNG BIOINTEGRIERTER MATERIALIEN, ARTEFAKTE UND PROZESSE

Im Folgenden sollen erste allgemeine Charakteristika biointegrierenden Denkens skizziert werden. Auffällig sind zuvorderst die Unterschiede zwischen *mechanischen* und *organischen* Prozessen. Zur weiteren Unterscheidung von herkömmlichen Prinzipien der Poiesis werden außerdem die räumliche Skalierung, die zeitliche Verschränkung, sowie die Handlungsträger und Kontrollstrategien der beteiligten Prozesse herangezogen.

Mechanismus versus Organismus

Ein auf klassische Weise hergestelltes Produkt – hier als *Mechanismus* bezeichnet – gilt nur zu Beginn seiner Lebensphase als «neu» und unterliegt vom Zeitpunkt seiner ersten Benutzung an einem Alterungs- und Abnutzungsprozess. Sofern man bei solchen Produkten¹

¹ Womit die gesamte traditionelle Warenwelt gemeint ist, einschließlich Elektronik und aller Werkzeuge und Maschinen.

überhaupt von einem Gleichgewichtszustand sprechen kann, bezieht sich dieser auf seine sachgemäße Benutzung. Solange der Gegenstand für die vorgesehenen Funktionen eingesetzt und dabei nicht überbeansprucht oder gar «missbraucht» wird, ist seine funktionale Konstanz gesichert bzw. von Herstellerseite sogar garantiert und kann als Gleichgewichtszustand aufgefasst werden. Solche mechanischen Gegenstände nutzen sich im Gebrauch ab und müssen deshalb regelmäßig gewartet und gelegentlich repariert werden. Für organische Prozesse gelten dagegen andere Bedingungen. Während *Stressoren*, also innere und äußere *Reize*, bei Mechanismen der wesentliche Faktor für ihre Alterung sind, führen Stressoren bei Organismen in der Regel zu Anpassungsreaktionen. Während die Maschine ohne Pause schwere Arbeit verrichten kann, brauchen Lebewesen zwischen den Belastungen Erholungsphasen. Die Abwesenheit von Stressoren, die bei mechanischen Systemen zu einer Verlängerung der Lebensdauer beiträgt, kann bei Organismen dagegen zur Degeneration führen. Fehlende mechanische Belastung führt beim Menschen beispielsweise zum Muskelabbau während regelmäßige Beanspruchung zum Muskelaufbau und einer Anpassung an äußere Belastungen führt. Materialien mit organischen Eigenschaften, die sich also selbst reparieren und sich nicht nur an Belastungen anpassen, sondern durch ihre Benutzung sogar stärker werden, wären sicherlich gefragte Werkstoffe.

Gleichgewicht bei Organismen bedeutet permanente Anpassung an veränderte Bedingungen. Das System muss ständig aktiv seine eigene Identität aufrechterhalten. Stillstand bedeutet den Tod des Organismus. Ziel biointegrierter Materialien ist die Verbindung der Vorteile herkömmlicher Konstruktionsverfahren und Werkstoffe mit den dynamischen Eigenschaften organischer Prozesse.

Neue Handlungsträger

Auffälligstes Kennzeichen biointegrierter Materialien ist das Hinzukommen neuer Handlungsträger. Bisher sind bei der Werkstoffherstellung und -verarbeitung vor allem Menschen und ihre Maschinen in ein zielgerichtetes Zusammenspiel gebracht. Mit den sich ausbreitenden neuen informationsverarbeitenden Maschinen in allen Entwurfs- und Fertigungsprozessen (CAD/CAM) seit den 1960-er Jahren, spielt zudem die digitale Information eine entscheidende Vermittlerrolle in allen Schritten des Entwurfs und der Herstellung. Menschen und Maschinen sind hierbei die Handlungsträger, das Material und die Information die passiven Elemente des Prozesses. Heute sprechen wir von der digitalen Prozesskette, bei der die CAD-Entwurfszeichnung in direkter Linie mit den CNC-gesteuerten Fabrikationsmaschinen verbunden ist, um eine vollständig automatisierte Herstellung zu gewährleisten. Zu diesen drei bekannten Handlungsträgern Mensch, algorithmische Informationsverarbeitung und Fertigungsmaschinen kommt nun ein weiterer hinzu: der biologische Prozess. Der neue Handlungsträger erfordert erweiterte Kenntnisse und neue Methoden, führt aber auch zu neuartigen Produkten und Produktlebenszyklen.

Räumliche Skalierung

Von besonderem Interesse ist dabei, dass die Handlungsträger auf unterschiedlichen räumlichen Skalen arbeiten. Die Funktionen unserer Produkte in Architektur und Design und auch die gesamte menschliche Gesellschaft und ihre Belange sind im so genannten *Mesokosmos* angesiedelt. Am unteren Ende der räumlichen Skala liegen atomare und

subatomare physikalische Prozesse am oberen Ende Galaxien und Universen. Im Mikro-Meso- und Makrokosmos gelten jeweils unterschiedliche Naturgesetze und wissenschaftliche Beschreibungen. Die mittleren Größenordnungen des *Mesokosmos* sind für das menschliche Leben von besonderer Bedeutung. In diesem Bereich funktionieren unsere Wahrnehmung und unsere Sinnesorgane. Hier haben sich die unterschiedlichsten Bewegungsapparate sowie allgemein die kognitiven Fähigkeiten von Lebewesen entwickelt und an ihre jeweilige Umwelt angepasst.

Während die Funktionen und Zwecke unserer Artefakte und Produkte auf der Mesoebene angesiedelt sind, ist die digitale Informationsverarbeitung selbst dimensionslos und in der Lage alle Skalen und auch beliebig-dimensionale Räume zu bedienen. Die organischen und biologischen Prozesse, die nun in die Konstruktionsverfahren integriert werden sollen, laufen einige Größenordnungen unterhalb der Mesoebene ab. Die besondere Herausforderung der biointegrierenden Material- und Artefakt-Entwicklung liegt darin, die biologischen Mikroprozesse mit funktionalen Makroprozessen unseres Lebensumfeldes zu koppeln.

Zeitliche Verschränkung

Die oben erwähnte Dachschindel diene als Beispiel für einen klassischen Materialbegriff bzw. für den Übergang von biologischen Prozessen hin zu konstruktiven Prozessen. In klassischen Produktionsverfahren ist der biologische Prozess vom konstruktiven Prozess zeitlich getrennt. Erst wächst der Baum, dann wird der Wachstumsprozess mit dem Fällen des Baumes beendet und das Holz kann als totes Material mit gewissen Eigenschaften weiterverarbeitet werden. Bereits durch Änderung der zeitlichen Verschränkungen der beiden Prozesse kommen wir zu einfachen biointegrierten Materialien. Wird der Wachstumsprozess nicht unterbrochen, sondern in den Konstruktionsprozess integriert, erhalten wir neue Verhältnisse, die auch veränderte Methoden und Konstruktionsverfahren nach sich ziehen. Die Baubotanik als Versuch, Bauten aus wachsenden Holzpflanzen herzustellen, hat in diesem Zusammenhang eine lange Tradition. Im Kern ist dieser Ansatz ebenfalls eine zeitliche Verschränkung zweier bisher zeitlich voneinander getrennter Prozesse. Die Weidenkathedrale von Alexander Carse zeigt einen mehr als zweihundert Jahre alten Versuch der Pflanzung einer Kirche (Abb. 5: Wachsende Kirche (1794)). Im Jahre 1903 begann John Krubsack, ein Bankier aus Wisconsin, einen Stuhl wachsen zu lassen, den er erst sieben Jahre später erntete (Abb. 6: Krubsack Stuhl (1908)). Solche Ansätze dienen bis heute im Design als Vorbild für experimentelle Ansätze (Abb. 7: Wachsende Möbel, Designstudios Aisslinge Berlin). Das War-Khasi Volk in Indien lässt traditionell aus den Wurzeln der Banyan-Feige Brücken wachsen, die nach ca. 10-15 Jahren funktionsfähig sind und bis zu 600 Jahre halten sollen. Auch Weidendome sind derzeit auf Gartenschauen wieder sehr beliebt.² Solche Ansätze, mit lebenden Pflanzen zählen in der Architektur zur so genannten Baubotanik. Das Gebiet der Baubotanik ist in Deutschland unter anderem am Institut für Grundlagen moderner Architektur und Entwerfen der Universität Stuttgart beheimatet.³

² Siehe: <http://de.wikipedia.org/wiki/Weidenkirche> (abgerufen Oktober 2014)

³ Siehe: <http://www.baubotanik.org/> (abgerufen Oktober 2014)



Abb. 5: Weidenkathedrale von Alexander Carse



Abb. 6 : Krubsack Stuhl



Abb. 7: Aktueller Ansatz für wachsende Möbel

Prozesskontrolle

Unter Kontrollgesichtspunkten erfordern biointegrierte Materialien einen grundlegend anderen Denkansatz als er in den Ingenieurwissenschaften üblich ist. Während herkömmliche Konstruktions- und Bauprozesse der vollständigen Kontrolle des Ingenieurs oder Architekten

unterliegen, fordert die Verbindung klassischer Entwurfsprozesse mit biologisch-organischen Prozessen ein anderes Paradigma.

Nach Andrew Pickering, dem Englischen Historiker, Soziologen und Philosophen, sind Wissenschaft und Technik in der Moderne vor allem Instrumente zur umfassenden Beherrschung der Natur. Inzwischen sollten wir aber gelernt haben, sagt Pickering, dass die Natur einerseits nie vollständig verstanden werden kann und, dass sie andererseits immer im Werden begriffen ist (Pickering, 2010). Mit komplexen natürlichen wie auch komplexen technischen Systemen können wir zwar interagieren, wir können sie aber nie vollständig verstehen und folglich können sie uns jederzeit überraschen. Diese Einsicht hat einen vollkommen anderen Umgang mit komplexen natürlichen Systemen zur Folge. Die Moderne, in der auch unsere Wissenschaften sich zur heutigen Blüte entfaltet haben, ist repräsentativ, kalkulierend, planend. Die Natur ist nach Pickering aber performativ. Wir müssen ihr also Respekt zollen, weil sie bis zu einem gewissen Grad immer unbeherrschbar bleiben wird. Relativ neu in diesem Zusammenhang ist, dass auch unsere komplexen technischen Systeme performativ gesehen werden und sich in dieser Hinsicht nicht von der Natur unterscheiden. Neue Denkweisen und Methoden werden also benötigt. Kybernetisch gesprochen, geht es um Ansätze zur Kontrolle des Nicht-kontrollierbaren. Insbesondere geht es in der Materialerzeugung um die Herstellung von Milieus für eigenaktive Prozesse, in die sich künstlich Funktionen einschreiben lassen. Wir müssen lernen Umgebungen zu schaffen, in denen selbstkontrollierte Prozesse unter begrenzten Rahmenbedingungen ablaufen können.

5. ANWENDUNGSFELDER: ARCHITEKTUR, LANDSCHAFTSGESTALTUNG UND AGRIKULTUR, MEDIZIN UND ALGORITHMIK

Exemplarisch sollen im Folgenden einige Anwendungsfelder, die für unser Vorhaben von besonderer Relevanz sind, detaillierter betrachtet werden.

Architektur

In der Architektur setzen sich durch das allgemeine Klimabewusstsein und den Boom der nachhaltigen Wirtschaft zunehmend organische Konzepte durch die auch den CO₂-Footprint, Energiehaushalt und die Herstellung und Entsorgung der Baumaterialien bei einem Neubau berücksichtigen. Mit Blick auf den Klimawandel werden Werkstoffe wichtiger, die nicht nur CO₂-Ausstoß vermeiden, sondern sogar Energie erzeugen oder Schadstoffe aufnehmen. Gleichzeitig ermöglichen Computergestützte Entwurfs- und Fertigungspraktiken gigantische Skalierungen und komplexe, vorher nicht realisierbare Formen. Der Computer bietet auch die Möglichkeit Umweltdaten wie Luftfeuchtigkeit, Sonneneinfall oder Beschattung durch die Umgebung mit in die Prozesse zu integrieren. Digitale Prozesse erlauben präzise Fertigung in kleinen wie in großen Dimensionen. Dies ist eine Voraussetzung für die Bewältigung der Probleme bestehender und kommenden Megastädte.

Die Anwendung von klassischen Techniken zeigt sich aktuell nicht nur in Bauten, die zur oben erwähnten Baubotanik zählen (Abb. 8: Cherrapunji Brücke), sondern beispielsweise schon bei jeder Dachbegrünung. Die isolierende Wirkung von belebten Erdschichten ist eine einfache Nutzung komplexer biotechnischer Systeme, die sich seit Jahrhunderten beim Bau

von Erdhäusern bewährt haben (Abb. 9). Die Pflanzen bieten Schutz gegen Wasser, und halten mit der Wurzelstruktur das isolierende Erdreich zusammen. Die Tiere schaffen Hohlräume die ebenfalls wärmeisolierend wirken und stabilisieren mit ihrem Stoffwechsel das Biotop. Heutige, auf Energieeffizienz ausgelegte Bauten nutzen dieselben Eigenschaften, verbessern aber durch den Stoffwechsel der Pflanzen auch gezielt den CO₂-Footprint.



Abb. 8: Cherrapunji Brücke



Abb. 9: Erdhäuser

Landschaftsgestaltung und Agrikultur

Architektur ist immer auch Landschaftsgestaltung. Biointegrierte Architekturen machen in dieser Hinsicht keine Ausnahme, verlagern aber den Schwerpunkt des bauenden Handwerks und Ingenieurswesens hin zu Garten-, Landwirtschaft und Bio-Laboren. Gleichzeitig ist der Landwirt oder auch der urbane Selbstversorger jetzt auch Architekt und damit in bewusster Verantwortung für die Qualität der gebauten Struktur - sei es in ästhetischer, klimabewusster, pragmatischer oder politischer Hinsicht. Siedlungen und Wirtschaftsflächen sind für die Entfaltung des menschlichen und damit letztendlich auch biologischen Lebens gemacht. Hier gibt es eine Tradition des prozessualen Blicks und der Steuerung von organischen Prozessen in der Stadt und auf dem Land. Die Prozesshaftigkeit alles Lebendigen durchdringt mit der Biointegration auch Form, Herstellungsprozesse, Materialität und Entsorgung der menschlichen Gebilde. Ein Großteil der Landschaftsgestaltung ist eng mit der Produktion von Nahrungsmitteln verbunden. Die aktuelle Architekturtheorie fordert eine stärkere Durchmischung von urbanen Wohn- und Arbeitsräumen mit Grünflächen und Landwirtschaft. In Konsequenz entstanden in den letzten Jahren zahlreiche Konzepte für «*Urban Farming*», einer Landwirtschaft in der Stadt.

Durch den engen Anschluss der Biointegration an die Maker-Kultur und der damit wachsenden Verfügbarkeit von landwirtschaftlichem Wissen und dafür benötigter Technik können mehr Menschen Nahrung an den unterschiedlichsten Orten produzieren. Neue Techniken und Materialien werden neue ressourcenschonende Formen der Landwirtschaft hervorbringen. Ein aktuelles Beispiel ist das von der Maastricht Universität (Prof. Mark Post) entwickelte künstliche Rindfleisch aus dem 3D-Drucker.⁴

⁴<http://www.maastrichtuniversity.nl/web/Main/Research/ResearchUM/FirsteverPublicTastingOfLabgrownCulturedBeefBurger.htm> (abgerufen November 2014)

Medizin

Die Medizin arbeitet von vorne herein nahe am Konzept der Biointegration da Ärzte immer am lebenden Organismus des Menschen handeln. Die Medizin kann gleichzeitig als kanonisches Beispiel für eine sehr alte und erfolgreiche Tradition im alternativen Umgang mit komplexen Systemen herangezogen werden. Wenn wir den Kranken als ein aus dem Gleichgewicht geratenes biologisches System betrachten, dann geht es in der Medizin nicht um Methoden und Entscheidungen, die sich am Wissen ausrichten, sondern am Ergebnis der Handlungen. Entscheidend hierbei ist, Methoden und Handgriffe zu kennen, die ein System, das wir nicht vollständig durchschauen, zurück ins Gleichgewicht bringen, und nicht um detailliertes Wissen, warum das System aus dem Gleichgewicht geraten ist oder wie es im Einzelnen funktioniert. Die Medizin stand historisch betrachtet immer vor der Frage, wie in Zusammenhängen, die nicht restlos verstanden werden, erfolgreich Einfluss auf ein komplexes System zu nehmen ist.

In den vergangenen Jahrzehnten wurden zunehmend Behandlungen mit aufwendigen technischen Apparaturen und Artefakten wie Prothesen durchgeführt. Biointegrierte Materialentwicklung kann hier sowohl in der diagnostischen Technik als Biosensor, als auch bei therapeutischen Verfahren und in der Medikamentenherstellung eingesetzt werden. In der medizinischen Forschung gibt es bereits verschiedene Konzepte, die konkret als Biointegrative Materialentwicklung agieren. In 3D-gedruckten Collagengerüsten werden beispielsweise Stammzellen durch Manipulation des biologischen Milieus zum gezielten Wachstum angeregt. Mit dieser Technik können Haut, Muskeln und Organe im 3D-Drucker spezielle für ein bestimmtes Individuum gezüchtet werden.

Material und Algorithmik

Der Werkstoffbegriff beinhaltet von Anfang an die Transformation von Material. Wird ein Stoff zum Werkstoff, dann findet aber darüber hinaus immer auch eine begrifflich-semantische Transformation statt. Holz, das zur Herstellung von Möbeln eingesetzt wird erfährt nicht nur eine materielle Bearbeitung in Form von sägen, hobeln, schleifen, lackieren etc., sondern auch eine begriffliche Überformung. Holz wird nicht mehr als Holz an sich betrachtet, sondern im Hinblick auf seine speziellen Eigenschaften während der Herstellung und die Anforderungen an das gewünschte Produkt. Die Frage ist dann nicht mehr, welche Rolle bestimmte Holzarten etwa für tierische Bewohner des Waldes spielen, sondern, wie sich eine Holzart mit Maschinen bearbeiten lässt, wie witterungsbeständig sie ist oder welche statischen, thermischen, akustischen und ästhetischen Qualitäten sie hat. In der Folge ist beispielsweise für einen Möbelschreiner das Wort Holz unlöslich mit diesen Eigenschaften und den Verwendungszusammenhängen des Werkstoffes verbunden. Die Bedeutung des Begriffes Holz formiert sich aufgrund seiner Eigenschaften als Werkstoff, die immer zu einem Gutteil dem Produkt zuzuordnen sind, neu. Materialbegriffe wie Eisen, Holz, Glas, Kunststoff etc. erhalten erst im Zusammenhang mit ihren Einsatzbereichen einen Sinn. Andersherum formuliert heißt das, Werkstoffe werden immer ausgehend von den aus ihnen hergestellten Artefakten gedacht. Erst im Hinblick auf die Funktionen der Produkte werden Stoffe zu Werkstoffen.

Die *elementaren Funktionen* von Bauwerken stehen in der Regel in enger Relation zur jeweiligen Nutzung und den Eigenschaften, die sie im Rahmen von zugehörigen Handlungen

bereitstellen.⁵ Sobald Architektur auch kommunikative Aspekte erfüllt, das heißt sobald sie Symbolfunktionen übernimmt, weist sie Parallelen zur Informationsverarbeitung auf. Die Funktionen von Informationsverarbeitenden Artefakten können wie die Symbolfunktionen der Architektur nicht aus den sichtbaren Handlungsabläufen abgelesen werden. Man muss den Schlüssel haben, um die beteiligten Symbole und deren Bedeutung zu erkennen. Die Sprache der Architektur, die heute vor allem Privatsprache der einzelnen Architekten ist, und die Algorithmen der Informationsverarbeitung besitzen in der semiotischen Methode einen gemeinsamen Grund.

Wenn man Algorithmen als symbolisch repräsentierte und objektivierbare, unzweideutige Abläufe auffasst, besteht hinsichtlich ihrer materiellen Realisierung vollkommene Freiheit. Diese Freiheit von der formalen Darstellung eines algorithmischen Problems hin zu seiner materiellen Umsetzung wird im Folgenden als *downward multiple realizability* bezeichnet. Sobald wir eine eindeutige Abbildung zwischen den beobachtbaren Zuständen eines stofflichen Prozesses und der formalen Lösung eines Problems besitzen, kann der Prozess als gültige Realisierung des Problems aufgefasst werden. Informationsverarbeitung wird damit zur Frage der geeigneten Abbildung formal formulierter Probleme auf Materialprozesse. Ähnlich der Unterscheidung im Produktdesign, das zwischen dem Modell (Entwurf) und der Realisierung des Entwurfs in einem bestimmten Werkstoff unterscheidet, können wir zwischen einem algorithmischen Problem und seiner Lösung durch einem bestimmten «*Rechenstoff*» unterscheiden. Legen wir die klassische Einteilung von Informationsverarbeitungsprozessen in Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe zugrunde folgt unmittelbar, dass die Verwendung biologischer Prozesse zur Informationsverarbeitung ebenfalls in diesen drei Schritten erfolgen kann, und zwar sowohl getrennt nach Bereichen wie *Sensoren*, *Rechenprozess* und *Aktoren*, als auch als integrierter Ansatz über alle drei Stufen hinweg.

Sensoren

In einer sehr breiten Definition ist ein Sensor eine Einheit, die Ereignisse aus ihrer Umgebung qualitativ oder quantitativ erfasst und als Zeichen oder Zahl codiert einem sich anschließenden Verarbeitungsprozess zuführt. Innerhalb interaktiver Anwendungen kann auf diese Größen in Echtzeit zugegriffen werden. Diese sehr allgemeine Betrachtungsweise erlaubt es auch Alltags-Biomarker, das sind beobachtbare oder messbare Parameter von biologischen Prozessen oder tierischen Verhaltensweisen, als *Biosensoren* aufzufassen (Kuznetsov, Odom, Pierce, & Paulos, 2011). Ein historisches Beispiel ist der Einsatz von Tieren im Untertagebau. So wurden in Bergbau Vögel oder andere Kleintiere häufig als Indikatoren für Gifte wie Kohlenmonoxyd oder Sauerstoffmangel eingesetzt. Im Kalibergbau wurden beispielsweise Käfige mit Mäusen aufgestellt, deren Zustand vor Beginn einer Schicht als Zeichen für das Vorhandensein von Giftgasen interpretiert werden konnte. Als Kohlenmonoxyd-Sensor eignet sich offensichtlich der Kanarienvogel besonders gut. Schon geringe Dosierungen reichen, um ihn buchstäblich *von der Stange fallen* zu lassen (Abb. 10).

⁵ So stellen Gebäude immer die *Funktionen* des Betretens oder Verlassens bereit und Brücken erlauben es beispielsweise, eine landschaftliche Situation *zu überbrücken*.

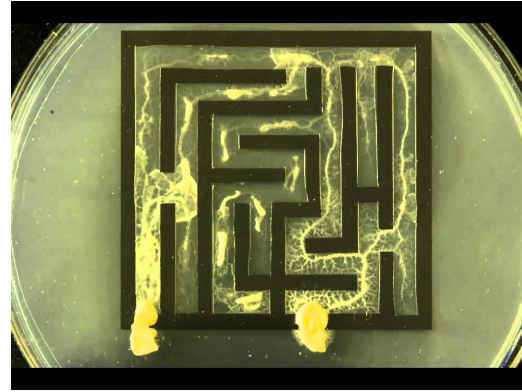


Abb. 10: Kanarienvogel als Kohlenmonoxyd-Sensor Abb. 11: Schleimpilz, kürzester Weg im Labyrinth

Sehr zahlreich sind die Berichte über die besondere Wettersensibilität von Tieren. (Wobei der bekannte Wetterfrosch tatsächlich zum Reich der Mythen gehört.) In manchen Fällen ist die Trefferquote tatsächlich sehr hoch und damit statistisch signifikant. Berichtet wird von Katzen, die sich nur bei schönem Wetter auf der Wiese ihr Fell putzen, von Hühnern, die vor Niederschlägen Federkleid und Schwanz hängen lassen und von Kühen, an deren Maulatmung man heranrückende Tiefdruckgebiete erkennen kann. Schon seit der Antike wissen wir, dass zahlreiche Tierarten Erdbeben schon weit in Voraus spüren und sich in Sicherheit bringen.

Biological Computing

Ansätze des *Biological Computing* benutzen lebende Organismen oder Teilkomponenten organischen Materials um Rechenprobleme zu lösen oder Operationen zu realisieren, die mit Rechenprozessen verbunden sind, zum Beispiel das Speichern von Daten. Sehr bekannt wurden Schleimpilze (Plasmodium), die ausführlich im Hinblick auf ihre Rechenfähigkeiten untersucht wurden (Tero, et al., 2010). Es wurde gezeigt, dass dieser einzellige Organismus die Fähigkeit hat, das Problem des kürzesten Pfades in Irrgärten zu lösen (Abb. 11). Indem Futter an verschiedenen Punkten eines Labyrinths platziert wird, adaptiert der Schleimpilz sein Wachstumsverhalten zwischen diesen Punkten und markiert auf diese Weise den kürzesten Weg zwischen den beiden Futterstellen.

Bioactors

Symmetrisch zur Eingabeseite, wo beobachtbare oder messbare Parameter von biologischen Prozessen in Zahlen und Zeichen verwandelt und anschließend in algorithmischen Prozessen weiterverarbeitet werden, können Ausgangsseitig die Ergebnisse symbolbasierter Rechenprozesse verwendet werden, um biologische Aktoren zu kontrollieren. Beispielsweise ist die Konstruktion sehr kleiner Flugapparate, die gute Flugeigenschaften in natürlichen Umgebungen zeigen, eine extrem schwierige technische Aufgabe. Deshalb werden in aktuellen wissenschaftlichen Experimenten miniaturisierte elektronische Schaltkreise zusammen mit energieeffizienten Funksystemen zu implantierbaren Interfaces integriert, die in der Lage sind den freien Flug von Insekten zu kontrollieren (Sato, Peeri, Baghoomian, Berry, & Maharbiz, 2009). Das erstaunliche Flugvermögen von Insekten wird durch die

Kombination von mikroelektronischen Rechen- und Funkeinheiten zu einem kybernetischen Organismus, der auf diese Weise gezielt gesteuert werden kann.

Materialinhärentes Verhalten kann aber auch sehr direkt eingesetzt werden um funktionales Materialverhalten zu erzeugen. Der Stuttgarter Architekt Achim Menges nutzt beispielsweise die gerichtete Ausdehnung von Holz bei unterschiedlichem Feuchtigkeitsgehalt um dynamisches Materialverhalten zu erreichen, das heute ansonsten in der üblichen Kombination aus Sensoren und elektronischen Steuerungen und Aktoren, also mit Computerunterstützung realisiert würde. Die Struktur aus organischem Material wird im Ansatz von Menges selbst zur Maschine. „This project employs similar design strategies of physically programming a material system that neither requires any kind of mechanical or electronic control, nor the supply of external energy. Here material computes form in feedback with the environment.“ (Achim Menges)⁶

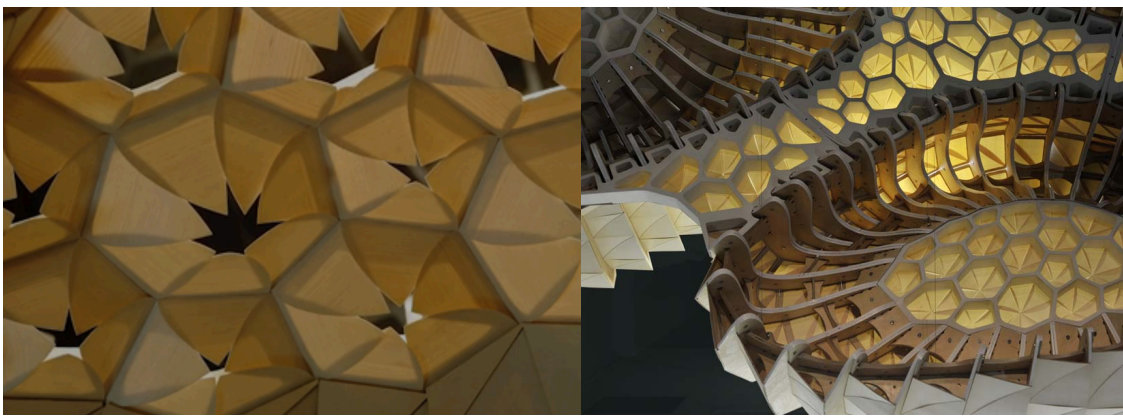


Abb. 12: HygroScope – Meteorosensitive Morphology

6. ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Text ist lediglich eine Zusammenfassung erster Recherchen und Gedanken in Richtung zukünftiger, biointegrierter Materialentwicklung. Von hier ausgehend sollen im nächsten Schritt eigene Experimente mit organischen Prozessen angegangen werden. Besonderer Fokus soll zunächst auf Ansätze gelegt werden, bei denen eine Verbindung von Werkzeugen des computergenerierten Entwurfs und der Fertigungstechniken der Maker-Kultur (3D-Druck, CNC-Maschinen) mit organischen Wachstumsprozessen von Pilzen und Pflanzen experimentell untersucht wird.

LITERATURVERZEICHNIS

Gerybadze, A., Gredel, D., & Gresse, C. (2011). Bedeutung der Materialforschung und Stand der Forschung im Bereich des Managements von Werkstoff-Innovationsprojekten. In K.-R. Bräutigam, & A. Gerybadze, *Wissens- und Technologietransfer als Innovationstreiber*. Berlin Heidelberg: Springer.

⁶ <http://www.achimmenges.net/?p=5083>

- Kuznetsov, S., Odom, W., Pierce, J., & Paulos, E. (2011). Nurturing Natural Sensors. *UbiComp '11, Proceedings of the 13th international conference on Ubiquitous computing, 11*, S. 227 - 236. Beijing.
- Peters, S. (2011). *Materialrevolution – Nachhaltige und Multifunktionale Materialien für Design und Architektur*. Basel: Birkhäuser.
- Pickering, A. (2010). *The Cybernetic Brain*. Chicago- London: The University of Chicago Press.
- Reichholf, J. (2010). *Warum die Menschen sesshaft wurden*. Frankfurt am Main: Fischer Verlag.
- Sato, H., Peeri, Y., Baghoomian, E., Berry, C. W., & Maharbiz, M. M. (2009). Radio-Controlled Cyborg Beetles: A Radio-Frequency System for Insect Neural Flight Control . *MEMS 2009. IEEE 22nd International Conference on Micro Electro Mechanical Systems*. (S. 216 - 219). Sorrento: IEEE.
- Tero, A., Takagi, S., Saigusa, T., Ito, K., Bebber, D., Fricker, M., et al. (2010). Rules for Biologically Inspired Adaptive Network Design. *Science* , 327 (5964), 439 - 442.

BILDNACHWEISE

- Abb. 1 <http://www.nationalgeographic.de/thumbnails/gallery/84/24/01/schwimmende-gaerten-12484.jpg>
- Abb. 2 http://www.mrebe.de/files/gallerix/albums/653/1046/frame/BGA_Pliening_0507_048.jpg
- Abb. 3 <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ac/Maden.jpg>
- Abb. 4 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1c/Penicillium_notatum.jpg
- Abb. 5 und 6 <http://www.naturbauten.org/historie.html>
- Abb. 7 <http://neukoelln-goes-country.blogspot.de/2012/06/wachsende-mobel-und-hauser-treeshaping.html>
- Abb. 8 <http://heulnicht.blogspot.de/2010/11/die-lebenden-brucken-von-cherrapunji.html>
- Abb. 9 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d4/Ferme_tourbe_glaumb%C3%A6r_face.jpg/1024px-Ferme_tourbe_glaumb%C3%A6r_face.jpg
- Abb. 10 http://www.kanarien-online.de/05_Bergbau.html
- Abb. 11 <https://www.youtube.com/watch?v=5UfMU9TsoEM>
- Abb. 12 <http://www.achimmenges.net/?p=5083>