

Neuronale Netze und Informationsübertragung in Gebäuden

Wolfgang HÖHL

Universities of Cooperative Education, Germany / EU
w_hoehl@compuserve.com

ABSTRACT

Wohin mit den Leitungen, Routern und Servern zur Steuerung intelligenter Gebäude ? Diese Arbeit untersucht die Beziehung zwischen der Organisation und Struktur von biologischen neuronalen Netzen und technologischen Netzen zur Informationsübertragung in Gebäuden. Das Ziel dieser Untersuchung ist es, bestimmte Muster in biologischen und technischen Netzen zu erkennen, um Netzwerke zukünftig besser verstehen und planen zu können. Diese Analyse vergleicht biologische und technische Netze nach folgenden Kriterien: Systemverhalten, Organisation, Netzwerkumgebung, Struktur, Funktion und Form. Einige Architekturvisionen skizzieren zuerst verschiedene evolutionäre Stufen technischer Netzwerke zur Informationsübertragung in Gebäuden. Abschließend werden dann zwei strukturelle Netzwerkmodelle vorgestellt: das Modell der 'komplexen, wuchernden Netze' und das Modell der 'organischen Netze mit Rückgrat'. Eine Fallstudie des aktuellen Projekts R 128 von Werner Sobek schließt diesen Beitrag.

1 INTELLIGENTE GEBÄUDE ALS 'SOZIALE, DENKENDE PFLANZEN' ?

1.1 Einleitung

Wie intelligent sind unsere intelligenten Häuser ? Automatische Türen öffnen und schließen sich zwar selbständig, wenn wir durchgehen möchten. Bewegungsmelder registrieren die Anwesenheit von Personen und regeln Licht, Klima und Temperatur. Ist das schon Intelligenz ? Türen öffnen und schließen sich oft auch andauernd, wenn wir nur davor stehen und warten. In diesem Fall wagen wir an der vorhandenen Intelligenz dieser automatischen Türen zu zweifeln. Wie manifestiert sich nun Intelligenz und gibt es dabei Parallelen zwischen biologischen und technischen Netzen zum Informationsaustausch ?

1.2 Intelligenz als Summe von 'übergeordneten Fähigkeiten'

Intelligenz, wie wir sie kennen, ist mit dem organischen Leben untrennbar verbunden. Allgemein anerkannte Kennzeichen von Lebewesen sind: Stoffwechsel, Wachstum, Vermehrung, Reizbarkeit, Regulationsfähigkeit und Bewegung. Mandl [12]. Ernährung (Stoffwechsel) und Fortpflanzung (Vermehrung) zählen dabei zu den primären Systemzielen, Wachstum, Bewegung, Reizbarkeit und Regulationsfähigkeit sind wichtige und notwendige Voraussetzungen (Systemfunktionen), um diese Ziele zu realisieren. Aber auch Phänomene wie Komplexität, Selbstorganisation, Wahrnehmung, Kommunikation, Identifikation oder Mitleid, verbinden wir mit intelligentem Leben.

Intelligenz zu definieren, ist dabei gar nicht so leicht. Wie wir am Beispiel der automatischen Tür gesehen haben, ist es einfacher zu zeigen, was nicht intelligent ist. „Der Versuch Intelligenz zu definieren, wird umso schwieriger, je genauer man versucht, den Begriff einzukreisen.“ Cruse [4]

Intelligenz ist scheinbar mit dem gleichzeitigen Vorhandensein von folgenden Eigenschaften und Fähigkeiten eines Systems verbunden: 1.) Erkennen einer ‚subjektiven Umwelt‘ (Merkraum und Wirkraum v. UEXKÜLL, Anm. d. Verf.), 2.) Effizienz der Lösung eines Problems, 3.) Autonomie des Systems, 4.) Intention (Ziele) und Aufmerksamkeit, 5.) Adaptionen- und Lernfähigkeit, 6.) Urteils- und Entscheidungsfähigkeit, 7.) Fähigkeit zur Generalisierung, Kategoriebildung und Vorhersage, 8.) Offenheit gegenüber Umweltveränderungen.

„Dabei wird deutlich, daß das, was uns als Leben erscheint, eben nur zu einem geringen Teil in der äußeren Form begründet ist, sondern vielmehr in der Art des Verhaltens.“ Franke [7]

Das Erkennen einer subjektiven Umwelt, Bewußtsein und Sprache zu besitzen, können als sogenannte ‚emergente‘ Eigenschaften eines intelligenten Systems betrachtet werden. Popper [15]. Diese sind 'übergeordnete Fähigkeiten', die 'überraschend' auftreten und sich nicht allein über die Eigenschaften der physikalischen Struktur des Lebewesens erklären. Allerdings gibt es Wechselwirkungen zwischen diesen emergenten Eigenschaften und dem Aufbau, beziehungsweise der Struktur von intelligenten Netzen. Am Beispiel der Adaptionen- und Lernfähigkeit ist heute bewiesen, daß beispielsweise Langzeiterinnerungen sogenannte ‚dynamische Engramme‘ (physische Spuren) im menschlichen Gehirn hinterlassen.

„Es wird postuliert, daß dieser Mechanismus auf einer strukturellen Veränderung beruht, die ‚ablesbar‘ sein muß, so daß der Code erneut in der neuronalen Operation des Gehirns Ausdruck gewinnt.“ Eccles [5]

Ein Beispiel für diese Beziehung ist die Art, wie Synapsen im menschlichen Gehirn mit plastischen Modifikationen auf Gebrauch und Nichtgebrauch reagieren.

1.3 Ist Intelligenz an bestimmte Netzstrukturen gebunden ?

Nun stellt sich die Frage, ob diese Wechselwirkung auch umkehrbar ist. Kann aus bestimmten physikalischen Strukturen auch auf die 'übergeordneten Fähigkeiten' eines intelligenten Netzwerks geschlossen werden ? Kann man zum Beispiel, ausgehend von einer gewissen Netzwerkstruktur, auf das Erkennen einer subjektiven Umwelt, das Entstehen eines eigenen Bewußtseins oder die Entwicklung einer eigenen Sprache schließen ? Diese Untersuchung wird sich dieser Frage in der abschließenden Projektanalyse annehmen. Aber versuchen wir zunächst im Folgenden die Kriterien dieser Untersuchung festzulegen.

1.4 Beschreibungsebenen und Untersuchungskriterien

Wie wie gesehen haben, ist eine Beschreibung des Langzeitgedächtnisses auf zwei verschiedenen Beschreibungsebenen möglich. Einerseits als emergente Eigenschaft (als Erinnerung in unserem Bewußtsein), andererseits physikalisch (als Neuronenimpulse in einem bestimmten, momentan vorhandenen Raum-Zeit-Muster). Diese Untersuchung gliedert sich daher in drei unterschiedliche Beschreibungsebenen – die Systemebene, die Strukturebene und die Elementebene.

Auf der Systemebene können ‘übergeordnete Fähigkeiten’ eines Netzwerkes beschrieben werden. Die Strukturebene widmet sich der Topologie und den strukturellen Eigenschaften von Netzwerken. Auf der Elementebene können physikalische Eigenschaften und Funktionen von Elementen eines Netzwerkes beschrieben werden.

Die Untersuchung folgt fünf Untersuchungskriterien (A, B, C, D, E): auf der Elementebene - der logischen Funktion (A) und der physikalischen Form (B) von Elementen eines Netzwerkes, auf der Strukturebene - der Topologie oder Organisation (C) von Netzen und ihrer Netzwerkumgebung (D), auf der Systemebene – den ‘übergeordneten Fähigkeiten’ (E) von intelligenten Netzwerken.

1.5 Häuser als ‚denkende Pflanzen‘ oder als autonome Lebewesen ?

Werden intelligente Häuser zukünftig symbiotische Gesellschaften bilden ? Werden sie sich fortpflanzen, wachsen, kommunizieren und womöglich soziales Verhalten entwickeln ? Wie werden sie sich ernähren ? Oder werden sie nicht viel mehr bleiben als einfache, unbewegliche und denkende Pflanzen, die reflexartig auf bestimmte Reize reagieren ?

Wird ein höfliches Haus die Jalousien zu schließen, wenn das Nachbarhaus schläft ? Wie verhalten wir uns dann gegenüber unserer Behausung ? Hat ein Smart Home in Zukunft ein Recht auf selbständige Existenz ? Wäre es Mord, ihm den Strom abzuschalten ? Sollten wir einmal mit dieser Realität konfrontiert werden, dann werden wir uns vermutlich bereits mit unseren Häusern identifizieren, vielleicht sogar Mitleid empfinden. Spätestens dann sollten wir Antworten auf diese Fragen haben.

2 ELEMENTE, STRUKTUR UND VERHALTEN VON INTELLIGENTEN GEBÄUDEN

Der folgende Abschnitt widmet sich einer allgemeinen, vergleichenden Studie von biologischen und technologischen Netzwerken, geordnet nach den fünf verschiedenen Untersuchungskriterien (A, B, C, D, E). Im Folgenden werden dabei die Begriffe ‘gebrauchte’ und ‘nicht gebrauchte’ Elemente eingeführt und die Modelle von ‘harmonischen’, ‘nicht harmonischen’, ‘symmetrischen’ und ‘nicht symmetrischen’ Netzwerken erklärt. ‘Milgram’s Annahme’ und die Begriffe ‘Random Network’ (Zufallsnetz), ‘Scale-Free-Network’ (Maßstabsloses Netz) und ‘Hierarchical Network’ (Hierarchisches Netz) werden erklärt. Abschließend werden die beiden Strukturmodelle der ‘Organischen Rückgratnetze’ und der ‘Komplexen wuchernden Netze’ vorgestellt. Einige Architekturvisionen schließen dieses Kapitel, und präsentieren den aktuellen Fortschritt auf dem Weg zu einem ‘selbstbewußten’, ‘rationalen’ oder ‘prä-rationalen’ intelligenten Gebäude.

2.1 Konstruktion und Gebrauch von Neuronalen Netzen (Elementebene)

Das menschliche Gehirn besteht aus Nervenzellen (Neuronen), die untereinander verbunden sind und sich gegenseitig über elektrische Signale beeinflussen. Ein Neuron sendet seine Signale über sein Axon und empfängt Signale von anderen Neuronen über seine Dendriten. Die Kopplungsstelle zwischen Axonen und Dendriten werden Synapsen genannt.

In der Netzwerktheorie allgemein anerkannt ist heute die Gliederung in Knoten (nodes) und Verbindungen (links). Knoten entsprechen den Neuronen und Synapsen, Verbindungen entsprechen Dendriten und Axonen. Als Verteiler (hub) bezeichnet die Netzwerktheorie einen übergeordneten Knoten, der mehrere übergeordnete Verbindungen (spokes) zusammenfaßt. Im technischen Netzwerk kennen wir Endgeräte als Knoten (nodes), Verstärker und Router als Verteiler (hubs) und Bahnen für die Signalübermittlung (drahtgebunden / per Funk) als Verbindungen (links / spokes).

2.1.1 Funktion (logisch)

In Ergänzung zur physikalischen Form steht die spezifische Nutzung eines Netzes. Höhl [8]. Diese temporäre Organisation bezeichne ich hier als die logische Funktion eines Netzes; sie ist maßgeblich für die selective Nutzung eines physikalischen Netzes und bildet sich in den sogenannten ‚logischen Adressen‘ von Endgeräten ab. Es ist bekannt, daß logische Adressen nicht mit den physikalischen Orten von Endgeräten übereinstimmen müssen. Das Verhältnis der Gesamtanzahl zu den aktiven logischen Adressen gibt Auskunft über die Ausnutzung des physikalischen Netzes, beziehungsweise ‘benutzte’ und ‘unbenutzte’ Elemente.

Interessanterweise sind in biologischen Netzwerken die logischen Funktionen festgelegt und bleiben über die Lebensspanne des Systems gleichförmig bestehen. Zum Beispiel bleibt die Funktion und Lage unserer Hände unser Leben lang gleich. Im Gegensatz dazu verändern sich die logischen Funktionen bei technologischen Netzen während der Lebensdauer eines Systems häufig. Üblicherweise unterscheidet man heute vier funktionale Topologien: 1.) Der Stern, 2.) Der Bus, 3.) Der Ring, 4.) Der Baum.

2.1.2 Form (physikalisch)

Das physikalische Netz besteht aus einer bestimmten Anzahl von Elementen und Verbindungen; sie definieren die sogenannte ‚Hardware‘ des Netzes. Innerhalb dieser Hardware können verschiedene technische Merkmale unterschieden werden: 1.) Leistungsfähigkeit, 2.) Größe und Anzahl der Elemente, 3.) Konnektivität des Einzelelements (Anzahl der Verbindungen pro Element), sowie 4.) ‘benutzte’ und ‘nicht benutzte’ Elemente.

2.2 Netzwerkorganisation und Netzwerkumgebung (Strukturebene)

Wie sind biologische Netze und technologische Netze organisiert? In diesem Zusammenhang spricht man oft von den Phänomenen der Selbstorganisation und Komplexität. Der folgende Abschnitt widmet sich daher der Netzwerkorganisation von biologischen und technischen Netzen und den jeweiligen spezifischen Strukturmodellen.

2.2.1 Selbstorganisation und Komplexität

In Analogie zu technischen Netzen ist auch die Struktur menschlicher Nervenbahnen in vollem Umfang hergestellt, bevor sie ihre Funktion übernehmen. „Wo auch immer man die neuronalen Verbindungen untersucht hat, fand man, daß sie in ihrer endgültigen Form angelegt waren, bevor sie benutzt wurden.“ Eccles [5]

Heute ist allgemein anerkannt, daß die Bildung und Regeneration von biologischen neuronalen Netzen weitgehend selbstorganisierend über elektrochemische Prozesse gesteuert wird (Selbstorganisation). Bei technischen Netzwerken geschieht beides durch äußeren Einfluß, durch externe Planung und Konstruktion. Wie in der Biologie läßt sich allerdings auch bei technischen Netzen eine allgemeine Entwicklung von einfachen zu komplexen Strukturen beobachten.

Ein interessantes ‚selbstorganisierendes‘ Projekt ist der Entwurf ‚Generator‘ von Cedric Price. Es handelt sich dabei um einen elementierten Bausatz von Gebäudekomponenten und Montagekränen. Ein Computer simuliert die vorgeschlagenen Änderungen und entwickelt ‚Fahrpläne‘ für die Kräne; er koordiniert die Änderungswünsche und das verfügbare Material, sammelt und stimuliert die Nutzerwünsche und optimiert das gewünschte Raumprogramm.

„Die eigentliche Architektur des Gebäudes ist nicht die gebaute Form, sondern das Computerprogramm. Erst mit der Nutzung nimmt das Gebäude eine konkrete Form an, die sich ständig verändert.“ Flusser [6].

Erfolgt lange keine Veränderung durch die Nutzer, ‚langweilt‘ sich das Programm und nimmt selbständig Veränderungen am Gebäude vor.

Ein anderes Merkmal biologischer und technischer Netze ist deren Komplexität. Sie ist nicht nur ein Maß für die Eigenschaften der Topologie des Netzwerkes (wie zum Beispiel Art und Anzahl der Netzwerkverbindungen), sondern auch für das Verhältnis zu benachbarten Systemen und die Einbindung in den Gesamtorganismus. Anhand dieses Kriteriums können wir unterschiedliche Netztopologien unterscheiden, wie zum Beispiel ‚harmonische‘ oder ‚disharmonische‘ Netze.

2.2.2 Netztopologien und Strukturmodelle

In Anlehnung an die üblichen formalen Struktureigenschaften unterscheiden wir sowohl bei biologischen, als auch bei technischen Netzen ‚symmetrische‘ und ‚asymmetrische‘ Netze. Carnap [3]

Allgemein anerkannt ist heute die Annahme, daß biologische Netze drei verschiedenen Strukturmodellen folgen – 1.) Zufallsnetzen (Random Networks), 2.) Maßstabslose Netze (Scale-free Networks) und 3.) Hierarchische Netze (Hierarchical Networks). In Anlehnung an die aktuellen Forschungen von Wuchty et. al. [16] scheinen neuronale Netze generell dem Typus des ‚Maßstabslosen Netzes‘ zu folgen. ‚Maßstabslose Netze‘ unterscheiden sich beispielsweise von ‚Hierarchischen Netzen‘ in der Art der Clusterbildung und im spezifischen Wachstum.

“With the introduction of new nodes, already highly connected nodes are more favoured to be connected to the new one, than less connected nodes.” Wuchty et. al. [16]

In dieser Untersuchung wird ebenfalls von Milgrams Annahme [13] ausgegangen, daß zwei beliebige Punkte in einem beliebigen Netzwerk (biologisch und technologisch) über nur sechs dazwischenliegende Punkte verbunden werden können.

2.2.3 ‘Organische Rückgratnetze‘ and ‘Komplexe wuchernde Netze‘

Das menschliche Nervensystem besitzt eine dreiteilige Struktur. Es besteht aus 1.) dem zentralen Nervensystem (Gehirn und Rückenmark), 2.) dem peripheren Nervensystem (afferente und efferente Nervenbahnen für Sensorik und Motorik) und 3.) das vegetative Nervensystem. Das gesamte Nervensystem verhält sich zum Aufbau des Gesamtorganismus ‚harmonisch‘. Seine Organisation ist symmetrisch und geschieht immer getrennt von Nachbarsystemen. Beispielsweise durchdringen die Nervenbahnen nie die Knochen oder den Blutkreislauf.

Bei technischen Netzen zur Nachrichtenübertragung unterscheiden wir zwei zunächst zwei Gebäudetypen nach deren Konstruktion – Massivbauten und Skelettbauten. In beiden Gebäudetypen ist übereinstimmend eine Zweiteiligkeit des technischen Netzes zu finden – 1.) Zentrale Steuerung, 2.) Sensorik und Motorik. Bei Skelettbauten greifen die Leitungen des technischen Ausbaus nicht in benachbarte Systeme (wie z. B. die Gebäudekonstruktion) ein und ordnen sich der Gesamtstruktur ‚harmonisch‘ unter. Im Gegensatz dazu entwickeln sich die Leitungsbahnen des technischen Ausbaus bei Massivbauten eher frei; sie greifen oft in die tragende Substanz ein und entwickeln eine eigene ‚disharmonische‘ Struktur, unabhängig von der Form des Gebäudes.

Es lassen sich daher zwei grundlegende Strukturmodelle unterscheiden. Bei Skelettbauten beobachten wir oft sogenannte ‚organische Rückgratnetze‘ (‚organic backbone nets‘), ein homogenes und harmonisches Netz mit einem zentralen ‚Rückgrat‘, bei Massivbauten beobachten wir oft sogenannte ‚komplexe wuchernde Netze‘ (‚complex exuberant nets‘), ein heterogen wachsendes Netz mit unbenutzten Rudimenten.

2.3 Bewußtsein und soziales Verhalten (Systemebene)

2.3.1 ‘Rationale‘ and ‘prä-rationale‘ Intelligenz

Oft wird behauptet, daß verschiedene Formen von Intelligenz den Menschen vom Tier unterscheidet. Die Entwicklung von Sprache, rationaler Kritik und eines selbsterkennenden Bewußtseins sind Kernpunkte dieser Unterscheidung. Unbestreitbar zeigen aber auch

Tiere intelligentes Verhalten, das nicht an die Verwendung von Sprache gebunden ist. Allgemein anerkannt ist daher die Unterscheidung zwischen ‚rationaler‘ (sprachgebundener) und ‚prä-rationaler‘ (nicht sprachgebundener) Intelligenz. Cruse [4]. Wir können daher annehmen, daß auch für technologische Netzwerke die Ausbildung von sowohl ‚rationaler‘ als auch ‚prä-rationaler‘ Intelligenz eine Rolle spielen kann.

2.3.2 ‘Organics’, ‘Variomatic’ und ‘The Growing House’

Systemeigenschaften wie Ernährung und Stoffwechsel, Vermehrung und Fortpflanzung, Wachstum, Bewegung, Reizbarkeit und Regulationsfähigkeit sind zentrale Fähigkeiten von biologischen Netzwerken. Technologisch gibt es für diese Fähigkeiten von Gebäuden nur einige Visionen, realisierte Beispiele gibt es bisher keine.

1960 entwickelt William Katavolos [10] die ersten Überlegungen zu seinen ‚Organics‘. Häuser aus einer selbstkatalytischen chemischen Substanz, die „... aus großen Kreisen einer öligen Substanz ...“ selbst entstehen (Wachstum), sich zu einem „... Netz von Streifen und Scheiben ...“ entwickeln und schließlich Hohlräume bilden. Diese Konstruktion ist wandlungsfähig „... in Hinblick auf gewünschte Festigkeiten ...“. Deren Wände beinhalten eine Vielfalt von intelligenten chemikalischen Geräten; sie reinigen, heizen und kühlen die Luft, versorgen und entsorgen das biomorphe Gebäude. (Regulationsfähigkeit) Speisen werden chemisch gekühlt, Abfälle chemisch wiederverwertet. (Stoffwechsel) Spontan aus der Gebäudehülle wachsende Stühle und Duschen reagieren auf die Bedürfnisse der Bewohner (Reizbarkeit). Katavolos spricht seiner Vision sogar ein gewisses soziales Verhalten zu.

„Am Morgen könnten sich Vororte zu Städten vereinigen; nachts sieht man sie sich wie Musik nach anderen Orten verlagern, etwa zur Befriedigung kultureller Erfordernisse oder um politische oder soziale Gefüge zu bilden, die das neue Leben verlangt.“ Katavolos [10]

Zur Zeit beschäftigt sich Katavolos [11] mit dem Projekt der ‚Liquid Villa‘. Er experimentiert dabei mit gas- und flüssigkeitsgefüllten Membranen, die stabile Tragwerke entwickeln. Sie könnten zum Beispiel auf Wasser schwimmen oder in Wüstengebieten als Wassertanks dienen.

Weitere Beispiele für bewegliche Konstruktionen (Bewegung) wären die ‚Parascape Structure‘, der ‚NH-Pavilion‘ und ‚Variomatic‘ von Kas Oosterhuis [14], die ‚Walking Cities‘ von Archigram [1] und das ‚Flexstrut Theatre‘ von Johansen [9]. In seinen Visionen der ‚Metamorphic Capsule‘ und des ‚Growing House‘ erwähnt Johansen ebenfalls die Selbstgenerierung und Selbsterhaltung von Gebäuden (ability to sustain life itself) (Stoffwechsel). Er sieht die Lösung dieser Fähigkeit einerseits im zukünftigen Einsatz von Nanotechnologie und Artificial Intelligence; andererseits nennt er eine genomische Konstruktion in einer Art ‚Fibrovascularem System‘ aus Carbonfaser. Die Frage, ob diese Gebäude bereits ein erkennendes und bewertendes Bewußtsein besitzen, bleibt bei allen Autoren offen. Gebäude, die eine eigene Sprache (Kommunikation) oder Fähigkeiten von Schwarmverhalten oder Brutpflege entwickelt haben, sind bisher unbekannt.

3 INTELLIGENTE FÄHIGKEITEN VON R 128

Nach vorangegangenen Untersuchungskriterien betrachten wir nun im Folgenden das Projekt R 128 von Werner Sobek in Stuttgart. Blaser [2]

3.1 Vom Bewohner ‘lernen’

Dieses Projekt besitzt einige intelligente Fähigkeiten, sein eigenes Verhalten an das Verhalten der Benutzer anzupassen. Intelligentes Systemverhalten, wie zum Beispiel ein erkennendes Bewußtsein, konnte bisher nicht beobachtet werden.

3.2 Fünf ‘harmonische’ und ‘hierarchische Netzwerke’

Die haustechnische Installation gliedert sich in fünf verschiedene Steuerungsnetze: 1.) Klima, 2.) Elektro, 3.) Sicherheit, 4.) Sanitär, 5.) Haushalt. Diese fünf Steuerungsnetze verhalten sich zur vorhandenen Stahlkonstruktion und zur Gebäudeform ‚harmonisch‘. Nach der Struktur handelt es sich dabei um ein symmetrisches ‚organisches Rückgratnetz‘. Interessanterweise wurde diese grundlegende Struktur um sogenannte ‘optionale Schleifen’ erweitert. Dies sind zirkuläre Schleifen in jedem Stockwerk, reserviert für die Nachrüstung von Leitungen und Knoten. Unbenutzte Knoten und Verbindungen können einfach entfernt oder ersetzt werden. Daher sind die Netze offen gegenüber funktionalen Veränderungen. Alle diese fünf Netze besitzen eine sehr geringe Komplexität und eine zweiteilige Struktur (Steuerung, Sensorik und Motorik); ihre Struktur entspricht eher einem ‚Hierarchischen Netz‘ als einem biologischen ‚Maßstabslosen Netz‘. Die Annahme Milgrams [13], daß jeder Punkt im Netzwerk nur über sechs andere Punkte miteinander verbinden ist, konnte hier leider nicht nachvollzogen werden. Zu den Elementen des Netzwerks liegt zur Zeit leider keine Information vor.

3.3 ‘Optionale Schleifen’ und zukünftige Forschung

Nun, wohin mit den Leitungen und Servern in intelligenten Gebäuden? ‘Organische Rückgratnetze’ mit ‘Optionalen Schleifen’ haben sich als praktikable Lösung im Projekt R 128 von Werner Sobek bewährt. Vielleicht wäre das eine Lösung für andere technologische Netzwerke in Skelettbauten?

Besitzen biomorphe Netzwerke, wie ‘Organische Rückgratnetze’ mehr intelligentes Potential als ‘Komplexe wuchernde Netze’ in anderen intelligenten Gebäuden (wie z. B. im in-haus in Duisburg)? Würde ein komplexeres Netzwerk (nach Milgrams Annahme) besser funktionieren oder sogar intelligentes Verhalten zeigen? Welche Vorteile hätten zum Beispiel dreiteilige technologische Netze, ausgerüstet mit einer Art selbsterhaltendem ‘vegetativen Nervensystem’?

Dies könnten interessante Fragen für eine zukünftige Forschung sein.

4 LITERATUR

- [1]Archigram: A Guide to Archigram, Academy Editions, London, S. 130-133, 1994
- [2]Blaser, W. and Heinlein, F.: R 128 by Werner Sobek, Birkhäuser Verlag, Basel, 2002
- [3]Carnap, R.: Der logische Aufbau der Welt, 4. Auflage, Verlag Ullstein GmbH., S. 13, Frankfurt, 1979
- [4]Cruse, H. et. al.: Die Entdeckung der Intelligenz oder können Ameisen denken ? Verlag C. H. Beck, S. 21, 22 – 27, München, 1998
- [5]Eccles, J. C.: Das Gehirn des Menschen, 6. Auflage, R. Piper & Co. Verlag, S. 202, 226, 228 – 231, München, 1990
- [6]Flusser, V.: Die Stadt als Wellental in der Bilderflut, in: ARCH+ Nr. 111, S. 58-63, März 1992
- [7]Franke, H. W.: Künstliches Leben – eine Vision, in: Spektrum der Wissenschaft - Kopf oder Computer, Dossier 4 / 97, S. 106-114, 1997
- [8]Höhl, W.: Medienstädte – Stadtplanung und Kommunikationstheorie, Passagen Verlag GmbH., S. 83, Wien, 2000
- [9]Johansen, J.: Organic Process, in: GANS, Deborah und KUZ, Zehra (eds.): The Organic Approach to Architecture, Wiley and Sons Ltd., S. 95–104, Chichester / West Sussex 2003
- [10]Katavolos, W.: Organics, in: CONRADS, Ulrich: Programme und Manifeste zur Architektur des 20. Jahrhunderts, Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH., Braunschweig, S. 155-157, 1981
- [11]Katavolos, W.: Organicism, in: GANS, Deborah und KUZ, Zehra (eds.): The Organic Approach to Architecture, Wiley and Sons Ltd., Chichester / West Sussex, S. 89-94, 2003
- [12]Mandl, L.: Linder Biologie - Teil 1, Verlag Gustav Swoboda & Bruder, S. 5, Wien, 1979
- [13]Milgram, S.: The Small-World Problem, in: Psychology today 2 / 1967, S. 60-67, 1967
- [14]Oosterhuis, K.: HyperBodies – Towards an E-motive Architecture, Birkhäuser Publishers for Architecture, Basel, 2003
- [15]Popper, K. R.: Erkenntnis und Gestaltung der Wirklichkeit, in: Popper, Karl R.: Auf der Suche nach einer besseren Welt, R. Piper Verlag GmbH., 5. Auflage, S. 30 – 31, München, 1987
- [16]Wuchty, S. et. al.: The Architecture of Biological Networks, Department of Physics, University of Notre Dame / USA, S. 5 – 8, 20, Sept. 2003