

„Über die Schwierigkeit mit Hierarchien“

Werner Zorn

Vortrag im Rahmen des Kolloquiums

Theoria cum praxi et commune bonum

„Emergente Systeme, Information und Gesellschaft“

der Leibniz- Sozietät in Berlin

10. Dezember 2015

1. Einleitung

Der Begriff **Hierarchie** geht zurück auf das griechische **ἱεραρχία**, ein Kompositum von **ἱερός** – **heilig** und **ἀρχή** – **Herrschaft** aber auch **Ursprung**, womit die Legitimation der Herrscher seit Urzeiten aus göttlicher Verfügung abgeleitet und auch erstritten wurde. Der jahrhundertelange Streit zwischen Papst und Kaiser über das Primat mit dem Kniefall in Canossa 1077, die Bezeichnung „Heiliges Römisches Reich Deutscher Nation“, welches 1806 durch Napoleons Selbst-Inthronisierung beendet wurde, sind beredte Beispiele aus der Geschichte. Inzwischen haben irdische Parlamente und Aufsichtsräte die himmlischen Instanzen ersetzt, der Hierarchiebegriff aber ist geblieben und ist zur Metapher für Systemstrukturen mit geschichteten Rangordnungen geworden. In der Mathematik sind diese hierarchischen Rangordnungen zu Über-/Unterordnungsrelationen abstrahiert worden, in der Informatik zu Baumstrukturen als Skelett vieler moderner IT-Systeme und – Infrastrukturen, in der Betriebs- und Volkswirtschaft als Hilfsmittel zur Beschreibung komplexer Organisationen in Wirtschaft und Verwaltung.

Hierarchien sind inzwischen zum festen Bestandteil unserer modernen Welt und der Begriff damit auch Teil unseres alltäglichen Wortschatzes geworden, mit welchem jedermann und jede Frau eine anschauliche Vorstellung verbindet, was natürlich auch für die Fachleute in den genannten Wissenschaftsdisziplinen gilt. Umso erstaunlicher ist es, dass auf die Frage, warum ein bestimmtes hierarchisches System in Wirtschaft und Gesellschaft, aber auch Technik so und nicht anders aufgebaut ist, tiefergehende Begründungen sehr viel schwerer zu erhalten sind. Dies betrifft erst recht Fragen nach möglichen Gesetzen für Entstehung und Entwicklung hierarchischer Systeme - Top Dow, Bottom Up, Upside Down, Middle Out – und noch weit mehr nach Gesetzen für das dynamische Verhalten solcher Systeme bei veränderten Parametern und Randbedingungen. Trotz des Fokus auf technisch-organisatorische Artefakte stellen sich ähnliche Fragen auch in der Welt der belebten Natur, in welcher sich insbesondere für die Bottom Up-Entstehung komplexer Systeme eine unerschöpfliche Anzahl von Studienobjekten befindet.

Der vorliegende Beitrag erhebt nicht den Anspruch, die gestellten Fragen beantworten zu wollen, auch nicht einmal an geeignet gewählten Beispielen, sondern hat vielmehr zum Ziel zu verdeutlichen, warum den hypothetisch Gefragten das Beantworten so schwer fällt. Diese sehr viel einfachere Aufgabe führt auf die neue Frage, welches geeignete Modelle zur Beschreibung komplexer hierarchischer Systeme sind oder sein könnten, wobei mit den derzeit weit verbreiteten Modellvorstellungen begonnen werden soll. Fachlicher Hintergrund der folgenden Ausführungen sind am HPI erarbeiteten Methoden und Grundlagen zur Modellierung komplexer Systeme ([KeWe2003] [Tab2005] [KGT2006])

2. Organigramme

Die für die Darstellung hierarchischer Unternehmens- und Verwaltungsstrukturen am häufigsten genutzten Form ist der der Organigramme (Beispiel aus s. **Abb. 1**)

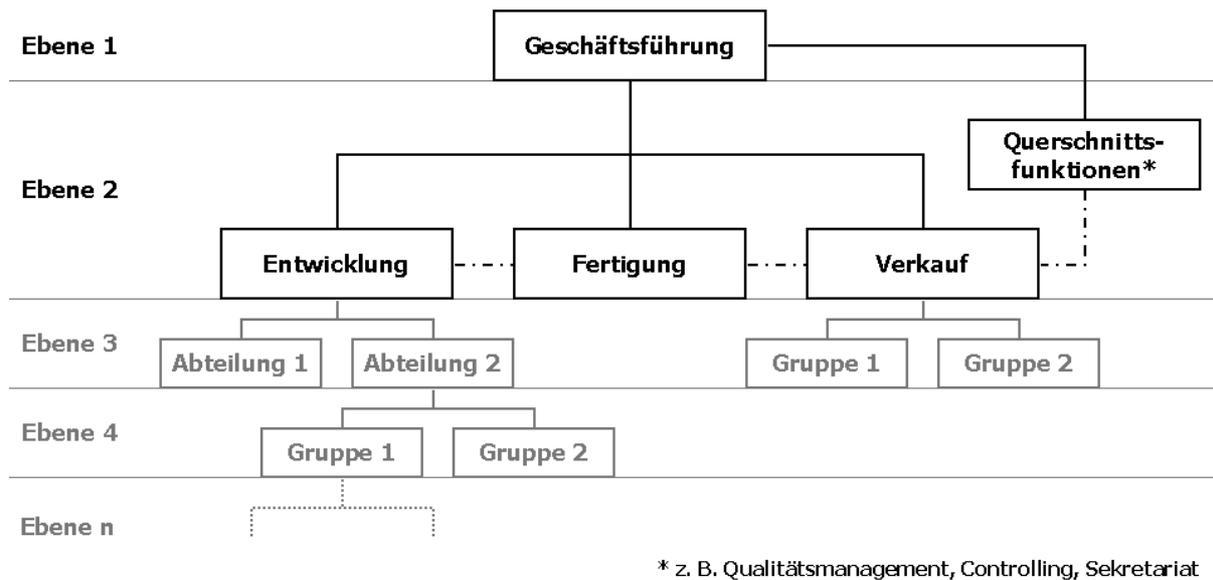


Abb. 1: Organigramm zur Darstellung einer hierarchischen Unternehmensstruktur [Wiki]

Das Organigramm von **Abb. 1** enthält nicht nur eine, sondern zwei unterschiedliche hierarchische Strukturen, nämlich eine

- Vorgesetzten-Hierarchie von Personen (s. **Abb. 2a**)
- Enthaltenseins-Hierarchie von Domänen (s. **Abb. 2b**)

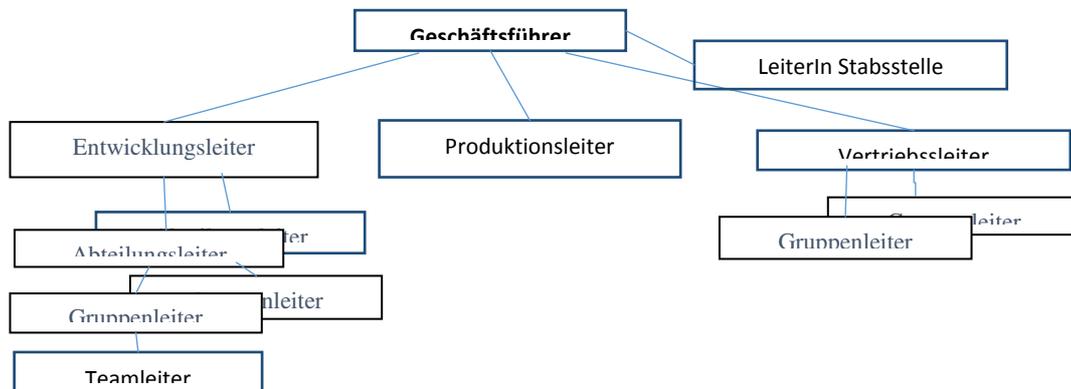


Abb. 2a): Vorgesetzten-Hierarchie der Personen zu Organigramm in **Abb. 1**

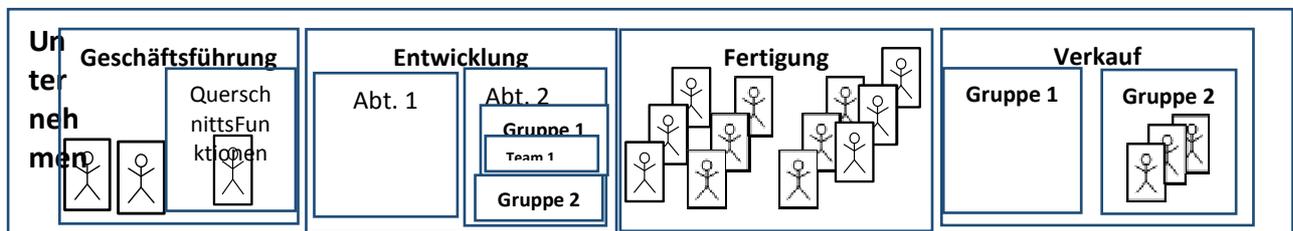


Abb. 2b): Enthaltenseins-Hierarchie der Domänen zu Organigramm von **Abb. 1**

Die Vorgesetzten- Hierarchie in **Abb. 2a**) ist als Baumstruktur dargestellt, die Enthaltenseins- Hierarchie in **Abb. 2b**) in Blockschachtelungsform. Der Zusammenhang zwischen beiden Strukturen ist sehr einfach: zu jedem Vorgesetzten gehört eine Domäne, für welche seine Rechte und Pflichten definiert sind, was auch organisatorisch zumeist so geregelt ist.

Zwischen beiden Strukturen besteht allerdings folgender prinzipielle Unterschied:

- I. die Vorgesetzten-Hierarchie besteht zwischen realen Personen
- II. die Enthaltenseins-Hierarchie besteht zwischen abstrakten Domänen (in Form von Domänen-berandeten Abstraktionen)

Die II. Aussage lässt sich veranschaulichen, indem man sich die Berandungen in **Abb. 2b)** wegdenkt und schaut, was übrigbleibt: es sind die realen, nebeneinander stehenden Personen – in Wirklichkeit zusätzlich noch mit dem hier nicht gezeigten Inventar – ohne hierarchische Beziehungen untereinander, die ja in **Abb. 2a)** dargestellt ist.

Dies wirft die Frage auf, ob eine solche abstrakte, durch Namen oder Gattungsbegriffe gekennzeichnete Struktur überhaupt eine Hierarchie ist.

Denn in jedem hierarchischen System darf es strenggenommen nur eine Hierarchie geben und dies ist die Vorgesetzten-Hierarchie. Daran, dass der Hierarchiebegriff über seine ursprüngliche Bedeutung der „geheiligten Herrschaft“ hinaus auf andere geschichtete Strukturen mit Über-/Unterordnungsbeziehungen übertragen wurde, ist eine Folge der mathematischen Abstraktion und aus dem Sprachgebrauch auch nicht mehr entfernen.

Zur Ehrenrettung des Organigramms ließe sich anführen, dass der Betrachter sich schon jeweils das richtige dazudenke. Dem wäre zu entgegen, dass ein solches Dazudenken oder Annotieren nur bei grober Betrachtungsweise funktioniert und bei Verfeinerung schnell an Grenzen stößt. Weit schwerer wiegt jedoch das Argument, dass es über die bisher betrachteten Strukturen und Inhalte hinaus noch weitere Systemeigenschaften gibt, deren Betrachtung unerlässlich zum Verständnis komplexer Systeme ist.

Auf dem hierbei einzuschlagenden Weg vom Grobverständnis zur beliebig verfeinerbaren Betrachtungsweise und damit zur Systemmodellierung soll ein philosophischer Exkurs eingelegt werden mit der Frage, was wir möglicherweise von jemandem lernen können, der vor fast 100 Jahren so tiefgründig wie kaum ein anderer über die Beschreibung des Seienden nachgedacht hat.

3. Die 12 Hartmann'schen Dimensionen

In seinem ontologischen Fundamentalwerk „Der Aufbau der realen Welt“ [**Hart1940**] schlägt der Philosoph Nicolai Hartmann (1882 – 1950) 12 Dimensionen zur Modellierung der belebten wie unbelebten Welt vor, für deren Metriken er die folgenden Gegensatzpaare benennt:

- | | |
|------------------------------|---------------------------------|
| I. Gruppe | II. Gruppe |
| 1. Prinzip – Concretum | 7. Einheit – Mannigfaltigkeit |
| 2. Struktur – Modus | 8. Einstimmigkeit – Widerstreit |
| 3. Form – Materie | 9. Gegensatz – Dimension |
| 4. Inneres – Äusseres | 10. Diskretion – Kontinuität |
| 5. Determination – Dependenz | 11. Substrat - Relation |
| 6. Qualität – Quantität | 12. Element – Gefüge |

Die Gegensatzpaare bilden die Achsen eines 12-dimensionalen Raums und markieren dabei die unteren und oberen Grenzen der jeweiligen Wertebereiche.

Nicolai Hartmann führt dazu einleitend aus:

"Sie gehen, soweit wir sie in die Steigerung der Kompliziertheit hinein verfolgen können, durch alle Schichten hindurch. Sie sind dementsprechend die einfachsten und elementarsten Aufbaumomente der realen Welt, sie haben die stärkste Durchschlagskraft in der Abwandlung, aber zugleich die geringste inhaltliche Erfülltheit. Und was das letztere anbelangt, so gehört sie

notwendig zu solcher Allgemeinheit, denn die hohe Abwandelbarkeit hängt ganz und gar an der Aufnahmefähigkeit für die heterogenste Inhaltsfülle." ([Hart1940], S. 201)

Im Blick auf den Titel des vorliegenden Beitrags ist bemerkenswert, dass Hartmann den Begriff Hierarchie vermeidet und stattdessen von Schichten spricht, vermutlich weil er sich als Altphilologe der eigentlichen Bedeutung von *ισπαρχία* bewusst war.

Mit Schichten (engl. layers) ist Hartmann durchaus modern, - denn auch unsere heutigen IT-Systeme sind weitaus komplexer als streng hierarchische und basieren daher auf Schichtenarchitekturen - , und auch mit dem Gegensatzpaar Substrat – Relation (heute Entity-Relation), seiner Zeit weit voraus.

Hierzu schreibt Hartmann „*Alle Struktur ist, von Innen betrachtet, im wesentlichen Relation. Daraus allein geht schon hervor, wie unübersehbar reich die Abwandlung der Relations-kategorie sein muss.*“ ([Hart1940], S. 259)

Unter den 12 Dimensionen soll „Prinzip – Concretum“ näher betrachtet und diesem zur Veranschaulichung das Paar „Element – Gefüge“ gegenübergestellt werden. Hierin wird der weit verbreiteten Vorstellung „abstrakt“ sei der kategorielle Gegensatz zu „konkret“ und damit einer anderen Dimension zugehörig, widersprochen und ein fundamental anderes Grundverständnis gegenübergestellt. Hartmann schreibt hierzu: *"Das Concretum ist also nicht, wie der philosophische Sprachgebrauch es will, der Gegensatz zum Abstrakten. Denn Prinzipien sind nicht etwa Abstrahiertes."* und *"Indem das Prinzip Bedingung für sein Concretum ist, hat es unverbrüchliche Gültigkeit für alle Besonderungen“ d.h. für alle Fälle, die der Art nach nur irgend unter seinen Bereich fallen.*“ ([Hart1940], S. 247)

Entscheidend zum Verständnis ist hierbei die Blickrichtung, welche „vom Concretum zum Prinzip“ (Bottom Up) oder vom „vom Prinzip zum Concretum“ (Top Down) sein kann. Hartmann begründet, dass durch Abstrahieren, d.h. Vergrößerung der Betrachtungsweise eines Concretums, sich nicht dessen prinzipielle Eigenschaften oder allgemeine Zweckbestimmung ableiten lassen. Umgekehrt kann ein spezielles Konkretes durch schrittweise Verfeinerung eines Entwurfsmodells aus der abstrakten Zweckbestimmung geschaffen werden. Diese Blickrichtung liegt der folgenden Darstellung zugrunde (s. **Abb. 3**), in welcher zur Veranschaulichung dem Gegensatzpaar „Prinzip alias Abstraktum – Concretum“ das Gegensatzpaar „Element – Gefüge“ gegenübergestellt wird.

Zum linken Teil der Graphik kann man sich eine schrittweise verfeinerte Folge von Entwurfsmodellen vorstellen, auf der rechten Seite den schrittweisen Aufbau eines Systems („Gefüges“) aus Einzelteilen. Die Entwurfsmodelle auf der linken Seite lassen sich in einer Vorgänger/Nachfolger-Hierarchie anordnen, die entstehenden Teilgefüge während des schrittweisen Zusammenfügens des Gesamtsystems auf der rechten Seite in Form einer Enthaltenseins-Hierarchie. In beiden Hierarchien fehlt jedoch die für hierarchischen Systemen essentielle Vorgesetzten-/Untergebenen-Relation, bzw. ist diese nicht explizit angegeben.

Bei der schrittweisen Verfeinerung eines Modells vom abstrakten Prinzip zum Concretum, d.h. der Konkretisierung, stellt sich die Frage nach dem Grenzübergang zwischen Abstraktem und Konkretem. Vom Autor wird dieser Frage beantwortet unter Zuhilfenahme des Kriteriums „fertigbar“ welches in Abbildung 3 als Übergang von der linken gedachten „informationellen“ Modellwelt in die rechte reale „materiell/energetische“ Gefügewelt.

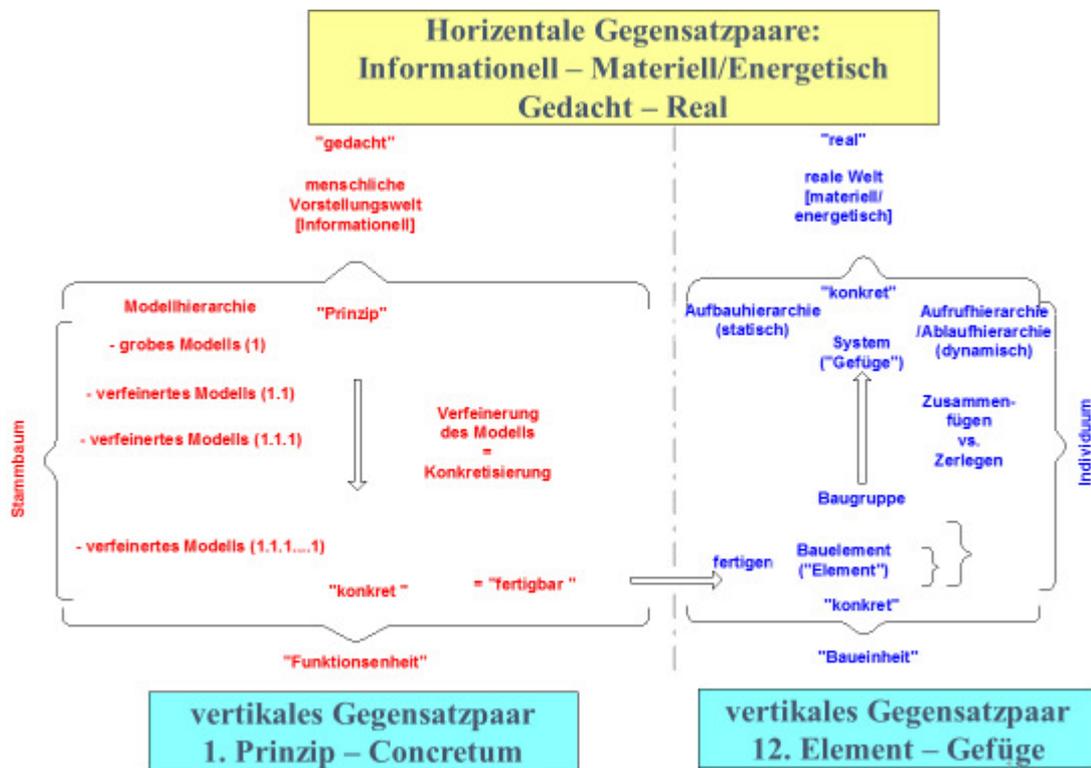


Abb. 3: zur Veranschaulichung der Hartmann'schen Gegensatzpaare „Prinzip – Concretum“ und „Element – Gefüge“

Mit diesem Kriterium wird das Concretum auf der informationellen Seite relativiert zur Umgebung und subjektiviert auf die mit der Realisierung des Modells betrauten Personen, was von großer praktischer Bedeutung ist z.B. für den gesamten Bereich der Auftragsvergabe (VOL u.a.). Als Philosoph schreibt Hartmann hierzu: *"Ihr Concretum in der realen Welt ist der menschliche Wille, und mittelbar durch ihn hindurch die Handlung."* ([Hart1940], S. 251)

4. Hierarchien in zustandsdiskreten dynamischen Systemen

Die im folgenden beschriebenen Modelle basieren auf der am HPI entwickelten Modellierungsmethodik FMC- Fundamental Modeling Concepts samt den vom Autor in den Jahren 2001 – 2007 dazu vorgenommenen Erweiterungen zur hierarchischen und quantitativen Modellierung FMC-eCS (FMC – extended for Communication Systems) bzw. FMC-QE (FMC – Quantitative Evaluation) ([] [] ...)

4.1 Die 3-dimensionale Wendt'sche Modellierungsmethodik

Die auf Siegfried Wendt zurück gehende und am HPI weiterentwickelte Modellierungsmethodik FMC (Fundamental Modeling Concepts, s. www.f-m-c.org) zur anschaulichen Darstellung komplexer IT-Systeme bedient sich eines 3- dimensionalen Beschreibungsraum für folgende Strukturen (Beispiele s. **Abb. 4**):

1. statische Strukturen zur Beschreibung des Systemaufbaus bestehend aus aktiven und passiven Komponenten
2. dynamische Strukturen zur Beschreibung der Systemabläufe bestehend aus Stellen und Transitionen
3. inhaltliche Strukturen zur Beschreibung von Wertebereichen und

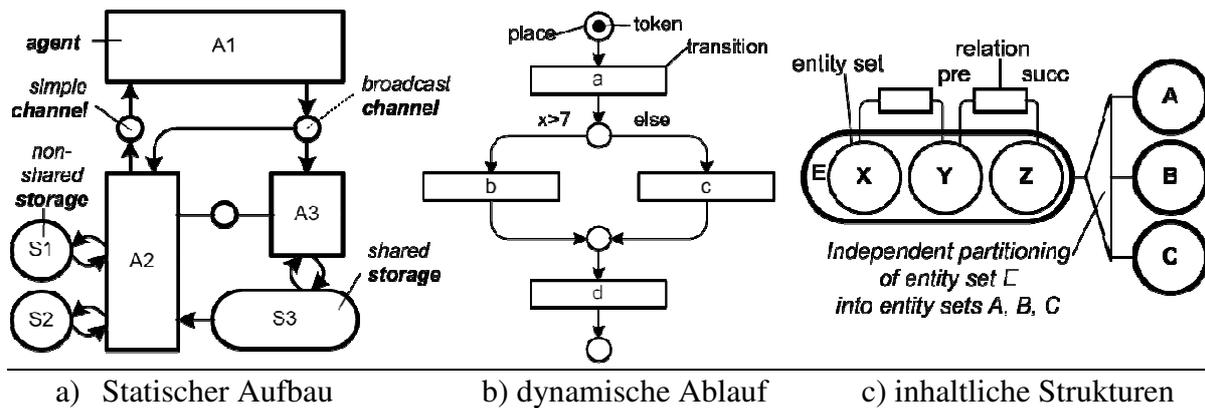


Abb. 4: FMC- Grundstrukturen

Bei den Strukturen handelt es sich jeweils um bipartite Graphen (Kanal-Instanzen-Netze, Petri-Netze, Entity-Relation-Diagramme) welche untereinander in Beziehung stehen. Diese Strukturen lassen sich mittels Dekomposition schnittstellen-kompatibel –d.h. es dürfen stets nur Knoten unterschiedlichen Typs über Kanten miteinander verbunden werden - beliebig verfeinern, d.h. „konkretisieren“ lassen (s.o.). Im Hartmann'schen 12 Dimensionalen sind die entsprechenden Gegensatzpaare zu a) „Element- Gefüge“ zu c) „Substrat – Relation“ und zu b) – wann man so will – „Einheit – Mannigfaltigkeit“, wozu Hartmann ausführt :*„Erst auf dem Umweg über den neuzeitlichen Gesetzesbegriff wurde die Einheit des Prozesses als eine echte Einheit der Mannigfaltigkeit (der ungleichartigen Stadien) faßbar.“* ([Hart1940], S. 267) , sowie auf der kategorialen Ebene der Bipartition das Gegensatzpaar „Diskretion – Kontinuität“. *„In Wahrheit liegt Kontinuität aller und jeder Diskretion zugrunde, einerlei in welchen Gegensatzdimensionen diese gelagert ist.“...„Leibniz, der als erster die Kontinuität zu einem Grundprinzip alles Seienden machte, hat unbeschadet seiner Ausgänge vom mathematischen Infinitesimalverhältnis ihre universale Bedeutung auch zuerst erkannt.“* ([Hart1940], S. 277).

Hierarchiebeziehungen werden als freie Parameter in FMC in ER-Diagrammen nach c) definiert und sind daher weder in den Aufbauplänen nach a) noch in den Ablaufplänen nach b) außer über Benennungen zu erkennen.

Dies hat sich bei der Modellierung von Kommunikationssystemen, deren Architekturen inzwischen fast durchgängig auf hierarchisch geordneten Schichten beruhen, als der Anschauung schwer zugänglich erwiesen. Hinzu kommt ein grundlegendes methodisches Problem: beim Verfeinern eines geschichteten Systemmodells mittels Dekomposition gelangt man in der jeweiligen Schicht immer nur bis zu den Schnittstellen zur untergeordneten Schicht, nicht in diese hinein. Zwischen den Schichten gibt nicht nur einen Operationsfluss auf den zu verarbeitenden Inhalten, sondern auch einen Kontrollfluss zur Koordinierung der Auftragsübergabe zwischen den Schichten (s. auch [We1998]). Zu dessen Berücksichtigung wurde die dynamische Struktur gemäß **Abb. 4b)** um den Kontrollfluss erweitert, wie dies in **Abb. 5** dargestellt ist.

Die Einbettung der Operation in eine umgebende Kontrollstruktur ermöglicht neben der Synchronisation zwischen den Schichten auch die Transformation des zu übergebenden Auftrags und damit die Hierarchiebildung, wie sie auch in FMC-eCS vorgenommen wird. Im Hinblick auf die nachfolgende quantitative Modellierung mittels FMC-QE wurde für den Auftrag bereits hier die Bezeichnung „Service Request“ verwendet.

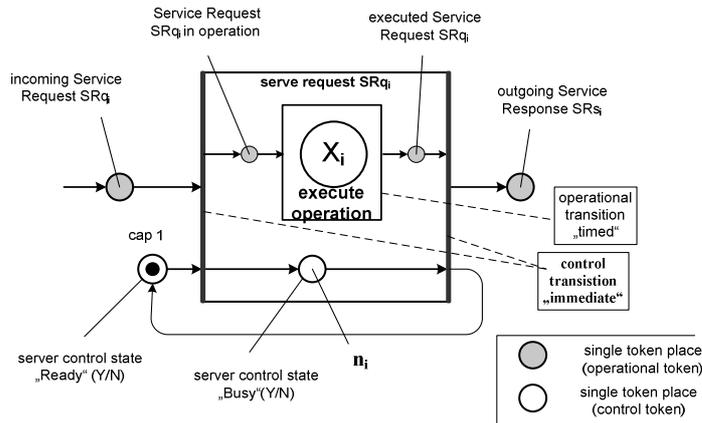


Abb. 5: Struktur der hierarchisch kontrollierten operationalen Transition [Zo2007-2]

Ein Beispiel einer hierarchisch kontrollierten Ablaufstruktur für die Bearbeitung einer Online-Bestellung ist in **Abb. 6** dargestellt, wobei deren Komplexität in der Natur der Sache begründet ist und nicht in der Darstellungsmethode.

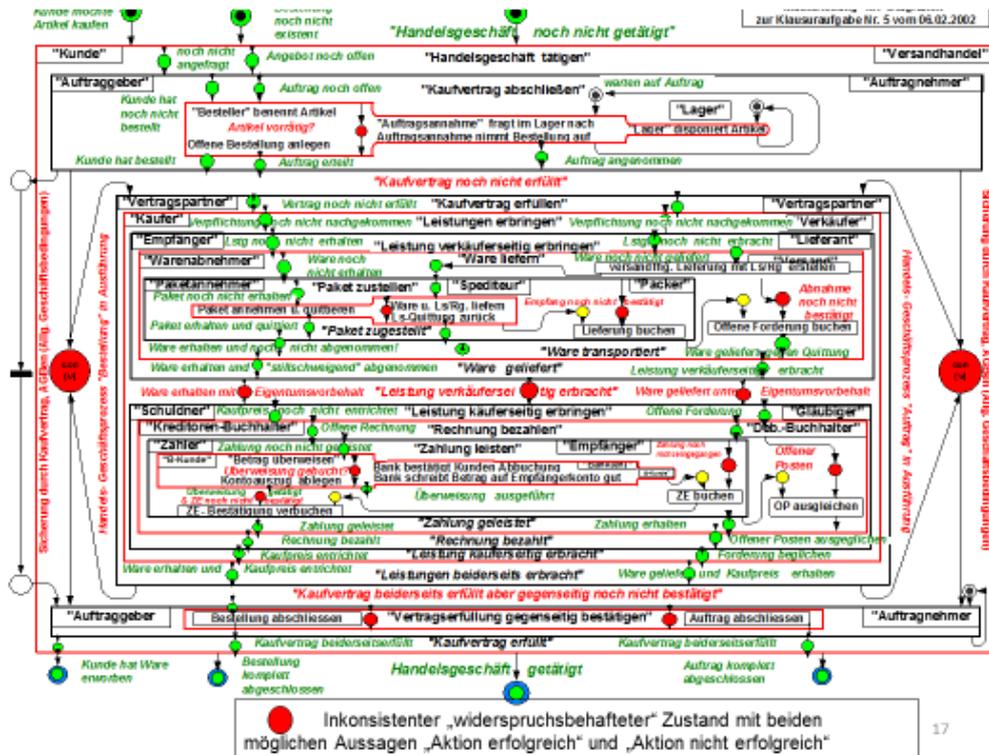


Abb. 6: Ablauf einer Online-Versandhandels Auftragsausführung

Besonderheiten bei diesem Beispiel sind:

1. Man hat es mit zwei interagierenden Systemen zu tun und daher mit 2 Hierarchien
 - Auftraggeber, Antragsteller, Initiator einer Anforderung
 - Auftragnehmer. Behörde, Bediener der Anforderung
 welche in der Abstraktion temporär ein intern kooperierendes Gesamtsystem bilden
2. Während der Ablaufs nimmt das Gesamtsystem auf einzelnen Schichten inkonsistente Zustände ein (in **Abb. 5** rot markiert), in welchen bezüglich der erfolgreichen Auftrags erledigung widersprüchliche Aussagen (Auftrag/Teilauftrag kann oder kann nicht erfolgreich erledigt werden), wobei im Negativfall ein partielles Rücksetzen oder der Gesamtabbruch folgen kann.

3. Die Atomizität der Auftragsausführung ist bei physischen Bedienvorgängen nicht garantierbar (z.B. „Ware –gegen-Geld“)

Die Inkonsistenz in beiden Teilsystemen zur nicht-atomaren Operation „Ware-gegen-Geld“ sind in der Mitte von **Abb. 6** erkennbar im Zustand „Leistung verkäuferseitig erbracht“ mit den weiteren Zuständen auf Bestellerseite „Ware erhalten unter Eigentumsvorbehalt“ und auf Lieferantenseite „Ware geliefert unter Eigentumsvorbehalt“, wozu die ggf. erforderlichen Rücksetzaktionen durch Akteure im umgebenden Rechtsraum vorgenommen werden müssten.

Die Ablaufstruktur von **Abb. 6** folgt technisch- organisatorisch tatsächlich einer hierarchischen Ordnung, indem bei der Ausführung eines einzelnen Auftrags durch die verschiedenen Schichten der beteiligten Systeme hindurch Baumstrukturen von der Wurzel aus sequentiell durchlaufen werden in der Weise, dass der Auftrag entsprechend dem Atomizitätskriterium nur „Ganz-oder Garnicht“ erledigt werden kann.

Damit erweist sich die **Bedienhierarchie** als eine weitere zu betrachtende Struktur, welche zu unterscheiden ist von der Vorgesetztenhierarchie, denn der Vorgesetzte erteilt Anweisungen zur Auftragsausführung an seine Untergebenen, führt diese Aufträge aber selbst nicht aus.

Die Bedienhierarchie bildet das Rückgrat der quantitativen Modellierung hierarchischer Systeme, wie sie - ausgehend von grundsätzlichen Schwierigkeiten - im folgenden Abschnitt erläutert werden soll.

4.2 Quantitative Modellierung

Auf Basis der im vorangegangenen Abschnitt erläuterten Methodik zur Modellierung der Strukturen zustandsdiskreter dynamischer Systeme fehlen zur quantitativen Modellierung des Zeitverhaltens, auch oft als Performance Analyse bezeichnet, solcher Systeme „nur noch“ die Angaben des Zeitverhaltens der operationalen Transitionen für gegebene Auftragsprofile (s. **Abb. 5**) und ein Kalkül zur Berechnung der charakteristischen Basisgrößen wie Durchsatz, Reaktionszeit und Auslastung.

4.2.1 Klassische Warteschlangennetze

Die klassische Modellvorstellung und Lösungsmethodik der Warteschlangentheorie ist **Abb. 7** veranschaulicht: gegeben ein Kunden- Ankunftsstrom und ein Server-System in Form eines parametrisierten Warteschlangennetzes mit Rückkopplung zum mehrfachen Durchlaufen einzelner Bedienstationen.

In Anlehnung an die kirchhoffsche Methode zur Berechnung elektrischer Netzwerke wird mit Hilfe der Knotenregel ein lineares Gleichungssystem aufgestellt, aus welchem die internen Auftragsströme berechnet werden können und daraus wiederum alle anderen Leistungsgrößen.

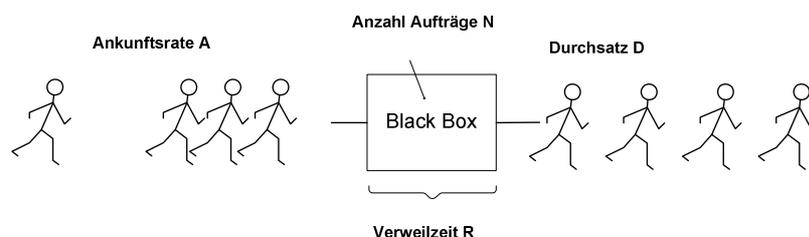
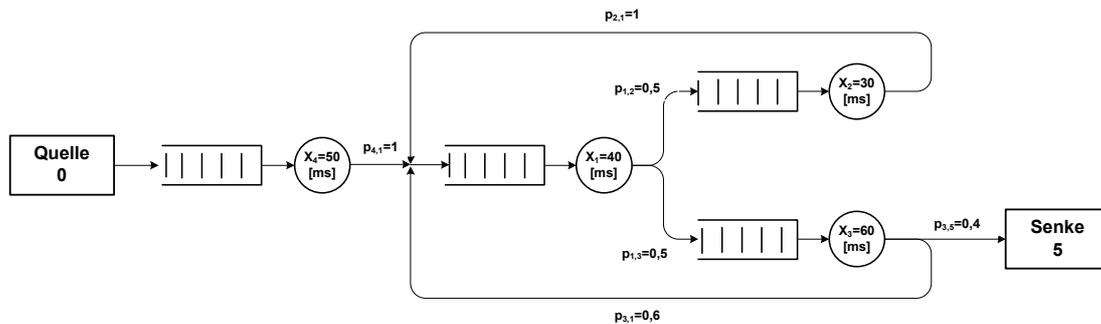


Abb. 7a): Grobmodell eines Bediensystems



Geg.: $\lambda_0, p_{i,j}, \mu_i = X_i$. Ges.: \underline{R}, N , and λ_i, ρ_i, n_i
 Lösung des Gleichungssystems: $\underline{\lambda} = \underline{\lambda} [p]$

Abb. 7b): offenes Warteschlangenmodell eines Bediensystems und Lösungsmethode

In der Übertragung des mathematisch eleganten kirchhoffschen Berechnungsverfahren auf Bedienvorgänge in Warteschlagennetzen liegt aus Modellierungssicht - im Gegensatz zu elektrischen Netzwerken - der Fundamentalfehler, dass durch Rückkoppelung intern bereits bediente, unterschiedliche Auftragsströme in Knotenpunkten zusammengeführt werden, damit diese die Bedienstationen erneut durchlaufen können, bis sich ein stationärer Zustand einstellt.

Die mathematische Herleitung der mittleren Anzahl von Kunden in einem M/M/1 - System lautet - unter Weglassung der Umformung der unendlichen Reihe mittels Differentialgleichung:

$$N = (1 - \rho) \sum_{n=0}^{\infty} n \rho^n \text{ mit } \rho = \lambda/\mu \text{ für } n = 0 \dots \infty = \dots = \rho/(1 - \rho) = \lambda/(\mu - \lambda)$$

Der Grund für diese von den konkreten Abläufen abweichenden mathematischen Modellierung liegt im Fehlen von Kontrollflüssen und damit in der Möglichkeit der Hierarchiebildung.

4.2.2 Hierarchische Leistungsmodellierung mit FMC-QE

Kernidee von FMC-QE ist in Anlehnung an physikalische Größen als Tupel von Wert und Einheit die Definition eines Bedienauftrags nicht nur als Zahlenwert $\{ \}$, sondern mit zusätzlicher Einheit $[]$ welche angibt, worin der Bedienauftrag besteht (z.B. sich die Haare schneiden zu lassen s. Folie „Fips der Affe“ in der Präsentation vom 10.12.2015) mit i für die Bedienstation und bb für die zugehörige hierarchische Blockschachtelungstiefe

$$N_i^{[bb]} = \{ N_i^{[bb]} \} [N_i^{[bb]}]$$

Das FMC-QE-Kalkül basiert im Übrigen auf den Fundamentalgesetzen der Leistungsanalyse, dem Gesetz von Little (Little's Law), welches dementsprechend lautet:

$$N_i^{[bb]} = A_i^{[bb]} * R_i^{[bb]}$$

sowie dem Verkehrsflussgesetz (Forced Traffic Flow Law):

$$A_i^{[bb]} = v_{i,j}^{[bb]} * A_{i,j}^{[bb-1]}$$

mit dem Verkehrskoeffizienten $v_{i,j}^{[bb]}$ zur Auftragstransformation zwischen den Stationen j , und i auf den Schichten $bb-1$ und bb und damit als Hierarchiebildner [Zo2007-2].

Das Gesetz von Little gilt für die horizontalen dynamischen Beziehungen auf der jeweiligen Hierarchieschicht $[bb]$, das Verkehrsflussgesetz für die vertikalen Beziehungen zwischen benachbarten Hierarchieschichten $[bb-1]$ und $[bb]$.

Durch die Auftragstransformation mit Hilfe des Verkehrsflussgesetzes werden aus einem Einheitsauftrag $N_{sup(i)}^{e[bb-1]}$ eine Anzahl von $v_i^{[bb]}$ Einheitsaufträgen $N_i^{e[bb]}$ erzeugt:

$$v_i^{[bb]} = \{ v_i^{[bb]} \} [v_i^{[bb]}] = \{ v_i^{[bb]} \} [N_i^{e[bb]}] / [N_{sup(i)}^{e[bb-1]}]$$

Die Aufträge $N_{\text{sup}(i)}^{e[bb-1]}$ auf Hierarchieebene [bb-1] sind hierbei übergeordnete Aufträge (sup(i)) des Auftrags $N_i^{e[bb]}$ auf Ebene [bb], was als Fundamentalkriterium für die Schichtenbildung in hierarchischen Systemen angesehen werden kann.

Abb. 8a) zeigt schematisch die Auftragstransformation an Hierarchiegrenzen, Abb. 8b) ein vollständiges FMC-QE-Netz.

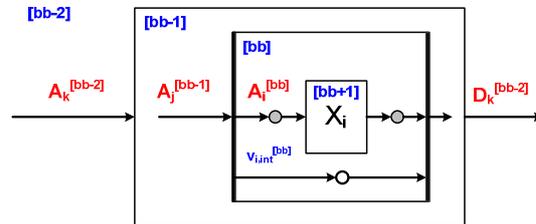


Abb. 8a): Modellierung hierarchischer Auftragsflüsse in FMC-QE

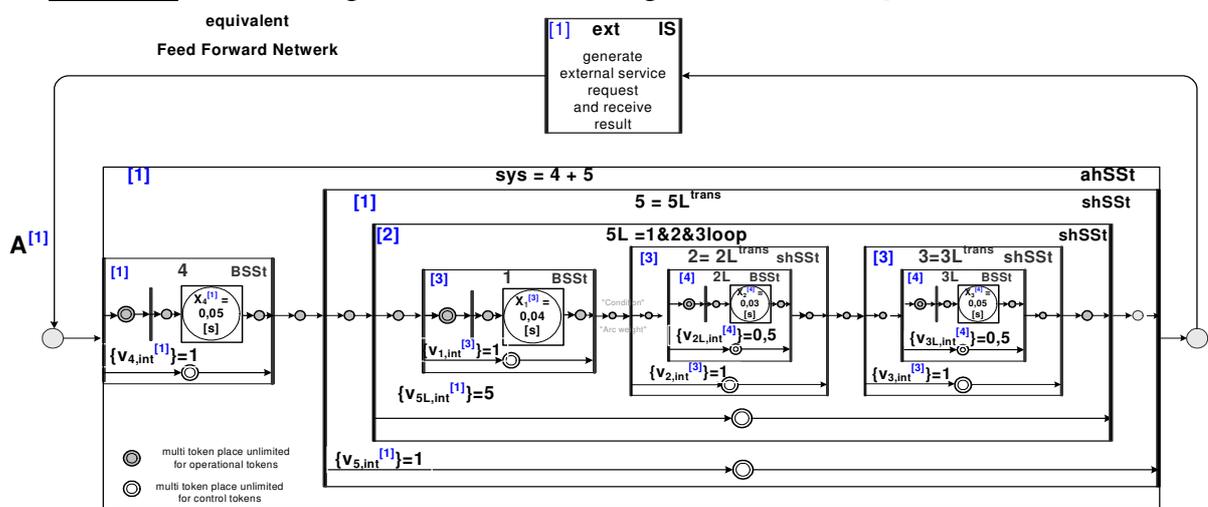


Abb. 8b): FMC-QE –Netz zum Warteschlangennetz von Abb. 7b)

(BSSt - Basic Server Station, shSSSt - supervising hierarchical Server Station, ahSSSt - abstracted hSSSt)

Ausführlicheren Erläuterungen und Anwendungsbeispiele sind in [Zo2007-1], [Zo2007-2] und [Klu2011] zu finden.

5. Resümee

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass viele angeblich hierarchische Systeme gar keine sind und bestimmte hierarchische Strukturen gar nicht als solche verstanden oder erkannt werden. So führt die quantitative Modellierung zur Erkenntnis, dass für das Verständnis des dynamischen Verhaltens komplexer Systeme nicht die Vorgesetzten-Hierarchie die wesentliche Ordnung in einer Organisation ist, sondern die Bedienhierarchie, der sich Aufbau- und Ablauforganisation unterordnen,

Entscheidendes Kriterium für Hierarchiebildung sowohl im Entwurf, der Analyse und der Optimierung von Organisationen ist die Transformation der Bedienaufträge an den Hierarchiegrenzen. Hierbei muss es sich um echte Transformationen handeln, wie Zerlegen und Zusammenführen und nicht nur um das bloße Weiterreichen.

Auch wenn den Bediensteten, welche die zeitaufwendige Arbeit verrichten und nicht die Vorgesetzten, bei dieser Sicht die wesentliche Rolle zukommt, sind die Vorgesetzten nicht überflüssig. Denn diese sind es, welche die Bedienhierarchie festlegen, was wiederum als Bedienaufträge höherer Art verstanden werden kann.

Quellenverzeichnis

[Hart1940] Hartmann, Nicolai: „Der Aufbau der realen Welt“, Erstauflage 1940, Neuausgabe Walter de Gruyter & CO, Berlin, 1964

[HaZo1995] Haas, Martin; Zorn, Werner: „Methodische Leistungsanalyse von Rechensystemen“, Handbuch der Informatik 2.6, A.Endres, H.Krallmann. P.Schnupp (Hrsg.), Oldenbourg Verlag, München Wien, 1995

[Hö2015] Höllerer, Reinhard: „Modellierung und Optimierung von Bürgerdiensten am Beispiel der Stadt Landshut“, Dissertation (eingereicht an der Universität Potsdam Dez. 2015)

[KeWe2003] Keller, Frank; Wendt, Siegfried: “ FMC: An Approach Towards Architecture-Centric System Development, Proceedings of 10th IEEE Symposium and Workshops on Engineering of Computer Based Systems, Huntsville Alabama USA, 2003

[Klei1975] Kleinrock, Leonard: “Queueing Systems” Vol. 1 and 2, Wiley, 1975

[KGT2006] Knöpfel, Andreas Groene, Bernhard Tabeling Peter Fundamental Modeling Concepts, Wiley 2006

[Klu2011] Kluth, Stephan: “Quantitative Modeling and Analysis with FMC-QE”, Dissertation an der Universität Potsdam, 2011

[Tab2005] Tabeling Peter: „Softwaresysteme und ihre Modellierung“ Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005

[We1998] Wendt, Siegfried: “Operationszustand versus Steuerzustand- eine äußerst zweckmäßige Unterscheidung”, Internal Paper, Universität Kaiserslautern, Germany, 1998

[Zo-KS-0405ff] Zorn. Werner: „Kommunikationssysteme I u. II“ Vorlesung am HPI im WS 2004/2005ff, Hasso Plattner-Institut an der Universität Potsdam

[Zo2006] Zorn, Werner: “Über den unscharfen Gebrauch von Grundbegriffen in der Informatik” Proceedings der “19. DFN-Arbeitstagung über Kommunikationsnetze” vom 18 – 20.05 2005 in Düsseldorf, Jan von Knop, Wilhelm Haverkamp, Eike Jessen (Hrsg.), Reihe Lector Notes in Informatics, GI- Edition, Gesellschaft für Informatik, Bonn, 2005, S. 13 – 37

[Zo2007-1] Zorn, Werner: “Hierarchische Leistungsmodellierung basierend auf Bedianforderungen”, Vortrag auf der 21. DFN-Arbeitstagung über Kommunikationsnetze, TU Kaiserslautern 31.Mai 2007

[Zo2007-2] Werner Zorn: "FMC-QE - A New Approach in Quantitative Modeling" in Proceedings of the "2007 International Conference on Modeling, Simulation & Visualization Methods", Hamid R. Arabnia (Ed.) within WorldComp'07, June 25 - 28, 2007, Las Vegas, USA, CSREA Press, 2007 (ISBN 1-60132-029-9), p. 280 – 287

[Zo2015] Zorn, Werner: „Von der Nützlichkeit verständlicher Begriffsdefinitionen am Beispiel ‚Information‘“ in: Fuchs-Kittowski, Frank / Kriesel, Werner (Hrsg.) *Informatik und Gesellschaft. Festschrift zum 80. Geburtstag von KLAUS FUCHS-KITTOWSKI*. Frankfurt a. M., Bern, 20Bruxelles, New York, Oxford, Warszawa, Wien: Peter Lang Internationaler Verlag der Wissenschaften 2016
(s. auch hpi.de/das-hpi/personen/professoren/emeriti/zorn)