

# *Holonic Manufacturing*

Herausgeber: Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. Horst Wildemann

Copyright by TCW Transfer-Centrum GmbH 2002  
TCW-report Nr. 29

Die Deutsche Bibliothek CIP-Einheitsaufnahme

**Krallmann, Hermann, Albayrak, Sahin**

Holonic Manufacturing: Agentenorientierte Techniken zur Umsetzung von holonischen Strukturen  
München, Transfer-Centrum GmbH  
ISBN 3-931511-89-8

*Verlag:* TCW Transfer-Centrum GmbH - Leopoldstr. 145, 80804 München - Tel: 089/360-523-11, Fax: 089/361 023 20  
*eMail:* mail@tcw.de, *Internet:* http://www.tcw.de

*Alle Rechte, auch die der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form, auch nicht zum Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet werden.*

# *Holonic Manufacturing*

## Was der TCW-report „Holonic Manufacturing“ leistet

Auf die Struktur der Fertigung wirken eine Reihe von Faktoren ein. Die Automatisierung wird dabei auch weiterhin einen hohen Stellenwert besitzen. Allerdings wandelt sich die Zielsetzung aufgrund veränderter Rahmenbedingungen und den bisher im Kontext von CIM (Computer Integrated Manufacturing) gesammelten Erfahrungen. Ein genereller Trend besteht darin, Hierarchien abzubauen und verstärkt dezentrale Strukturen zu realisieren.

Im Rahmen dieses Buches soll ein anwendungsspezifisches Szenario der Fertigung entwickelt werden. Dabei wird das wechselseitige Zusammenspiel der drei wichtigsten Einflußgebiete

- Anwendungskonzepte,
- Informationstechnologien und
- Komponenten Verteilter Systeme in der Fertigung

berücksichtigt. Nachhaltige Verbesserungen lassen sich vermutlich nur durch Maßnahmen in allen drei Bereichen erzielen, da sie sich in der betrieblichen Realität gegenseitig bedingen.

Unter die Anwendungskonzepte fallen hier in erster Linie Prinzipien der Strukturbildung in einem Unternehmen. Speziell das Konzept der Holonic Manufacturing Systems, kurz HMS, ist für den Bereich der ausführenden Ebene von großer Bedeutung. Bei den Informationstechnologien spielen die Intelligenten Agenten eine Schlüsselrolle. Zusammen mit leistungsfähigen Systemen für Infor-

## Die Autoren:



**Prof. Dr. Hermann Krallmann**

Technische Universität Berlin  
Fachbereich Informatik



**Dr. Sahin Albayrak**

Technische Universität Berlin  
Fachbereich Informatik

## Redaktionelle Mitarbeit:



**Dipl.-Ing. Yasin Kaplankiran**

Technische Universität Berlin  
Fachbereich Informatik

mationsverarbeitung und Breitband-Kommunikation stellen sie ein vielversprechendes Paradigma der Informationsarchitektur zukünftiger Unternehmen dar.

Konkret sollen die Auswirkungen auf die ausführende Ebene untersucht werden. Den Schwerpunkt bildet die Ableitung von Anforderungen und Definition von Eigenschaften zukünftiger Anwendungssysteme. Die Softwarekomponente gewinnt bei Systemlösungen der Fertigungsautomatisierung mehr und mehr an Bedeutung, und beinhaltet auch den Aspekt des Engineering bzw. entsprechender Implementierungswerkzeuge.

Zielsetzung ist es, eine den zukünftigen Anforderungen gewachsene Systemarchitektur für diese neue Generation von Anwendungssystemen zu skizzieren.

Ausgangspunkt der Analyse bildet eine allgemeine Charakterisierung des Bereiches Produktion. Im Anschluß daran werden beginnend mit den modernen Anwendungskonzepten die drei Einflussgebiete behandelt. Es folgen Informationstechnologien zur Unterstützung der Anwendungskonzepte. Im Mittelpunkt des Beitrages steht der Aspekt der Operationalisierung der Holnischen Strukturen durch Agentenorientierte Technologien.

***Auf welcher Philosophie basieren moderne Anwendungskonzepte? ..... 1***

***Welche Management-Konzepte bilden den Rahmen für Holonic Manufacturing? ..... 2***

Welche Strukturbildungskonzepte sind erfolgreich umsetzbar? ..... 3

Wie gestaltet sich die Fraktale Fabrik? ..... 4

Wie kassen sich Holonische Fertigungssysteme charakterisieren? ..... 14

Virtuelles Unternehmen als Zukunftskonzept? ..... 25

Wie lassen sich die bisherigen Konzepte zusammenfassend beurteilen? ..... 33

Wo liegen die Spezifika Agentenorientierter Techniken? ..... 38

***Wie können Agentenorientierte Techniken zur Umsetzung von holonischen Strukturen eingesetzt werden? – eine Fallstudie ..... 43***

Wie läßt sich das Anwendungsproblem Fertigungslinien in der Vorfertigung beschreiben? ..... 45

Wie sollte die Beschaffenheit der Teile und des Teilespektrums in der Vorfertigung aussehen? ..... 47

Wie ist die Logistik und Ablauforganisation zu gestalten? ..... 48

Wie sieht der Aufbau und die Betriebsabläufe einer Transferstraße aus? ..... 49

Wie gestalten sich die neuen Fertigungsstrukturen als Bestandteil der Sollkonzeption? ..... 51

Welcher Lösungsansatz sollte verfolgt werden? ..... 53

Wie ist die Erste Ebene der Holarchie strukturiert? ..... 59

Wie sieht die Zweite Ebene der Holarchie aus? ..... 61

Welche Aspekte sind im Design zu berücksichtigen? ..... 63

Welche Implementierungsaspekte müssen berücksichtigt werden? ..... 70

Wie sieht die Prototypische Implementierung aus? ..... 84

Welche allgemeine Fragestellungen gibt es zu diskutieren? ..... 86

Wie läuft die Konstruktion der Holarchie ab? ..... 87

<i>Fazit: Welche Gestaltungsempfehlungen zeichnen sich ab? .....</i>	<i>95</i>
<i>Literaturverzeichnis .....</i>	<i>99</i>
<i>TCW-report - Themen .....</i>	<i>105</i>
<i>Impressum .....</i>	<i>109</i>

## *Auf welcher Philosophie basieren moderne Anwendungskonzepte?*

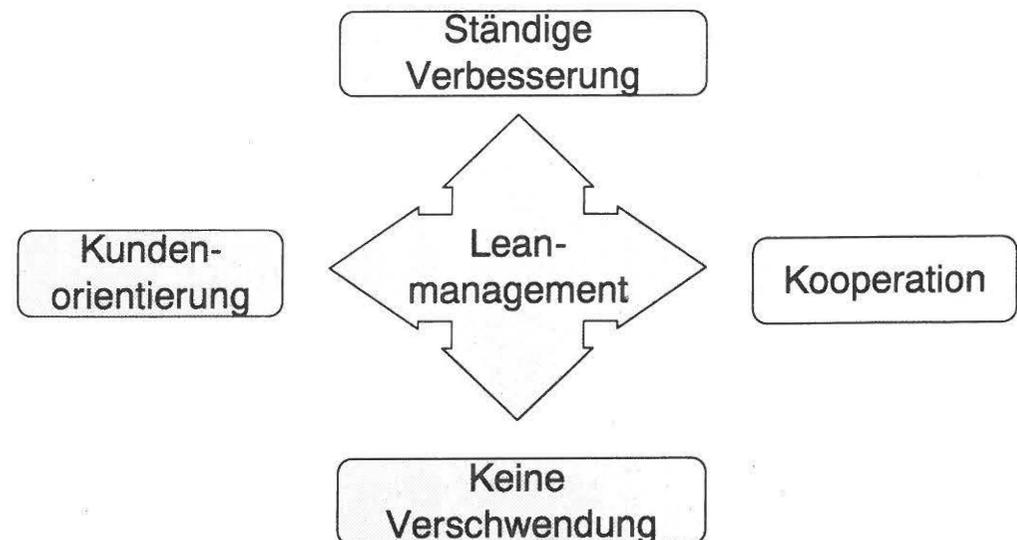
In diesem Abschnitt werden Konzepte zur Gestaltung von Unternehmensstrukturen beschrieben.

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen fundamentalen Entwicklungen haben mehr oder weniger stark in allen Konzepten ihren Niederschlag gefunden. Bei den Konzepten lassen sich

- Managementkonzepte und
  - Strukturbildungskonzepte
- unterscheiden.

Im Gegensatz zu den Strukturbildungskonzepten beinhalten die Managementkonzepte keine übergeordnete Strukturbildungs-idee als zentrales Element. Sie erfahren aus diesem Grund eine gesonderte Behandlung.

### Die Philosophie von Lean Management ...



➡ ... in modernen Anwendungskonzepten.

## ANWENDUNGS- UND MANAGEMENTKONZEPTE

### Welche Management-Konzepte bilden den Rahmen für Holonic Manufacturing?

Die Anzahl der vornehmlich von Unternehmensberatern propagierten neuen Managementlehren ist inzwischen kaum noch zu überblicken [Vgl. Behrens95, S. 66]. Nachstehend einige der gängigsten Vertreter:

- Business Reengineering,
- Total Quality Management,
- Lean Management,
- Kaizen (KVP),
- Change Management,
- Lernende Organisation.

Das Lean Management nimmt dabei eine Schlüsselrolle ein, da es im Sinne einer übergreifenden Prinzipienlehre verstanden wird [Vgl. Pfeiffer94, S. 53] Eine exakte Definition ist dementsprechend problematisch. Ausgangspunkt bildet dabei der anhaltende Trend zur Individualisierung und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Produktion. Die Operationalisierung der Philosophie des Lean Management wird von einer Reihe fundamentaler Prinzipien

### Die Prinzipien und Bereiche ...



➔ ... des Leanmanagements im Überblick.

## ANWENDUNGS- UND MANAGEMENTKONZEPTE

geleistet. In diesem Punkt besteht eine hohe Übereinstimmung zu den Strukturbildungskonzepten. Teilweise werden diese sogar ebenfalls als Teilkonzept des Lean Management betrachtet. Dem wird hier aber nicht gefolgt.

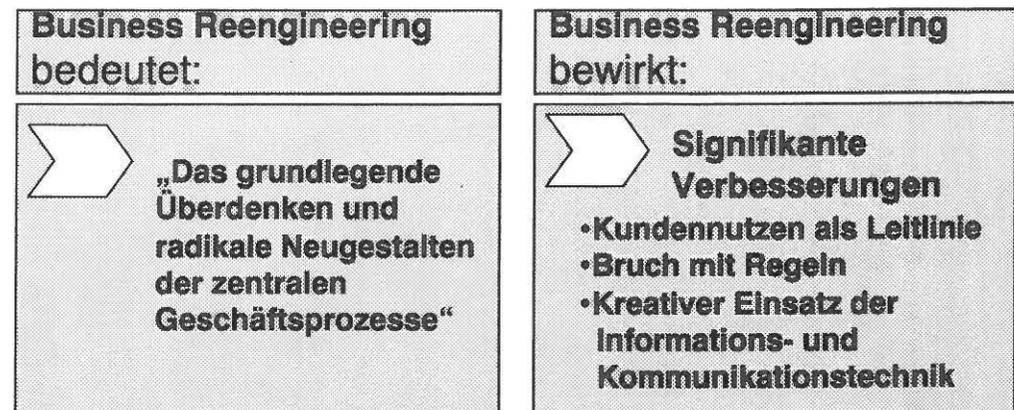
Die Ansätze haben ihren Ursprung häufig in anderen Kulturkreisen, was deren Anwendbarkeit in Europa in Frage stellt. Ferner hat sich gezeigt, daß die Lösungen nicht auf Dauer erfolgreich waren. Es wird daher vielfach die Meinung vertreten, daß eigene, ganzheitliche Strategien notwendig sind.

### Welche Strukturbildungskonzepte sind erfolgreich umsetzbar?

Im folgenden werden diejenigen Anwendungskonzepte ausführlich analysiert, die für einen gemeinsamen Vergleich, wie z.B. die Fertigungssegmentierung geeignet sind. Sie zeichnen sich, wie oben bereits angedeutet, durch eine hinreichende Ähnlichkeit aus, lassen sich aber dennoch deutlich voneinander unterscheiden. Im einzelnen handelt es sich um:

- Fraktale Fabrik,
- Holonische Fertigungssysteme sowie
- Virtuelles Unternehmen

### Was bedeutet und bewirkt ...



 ... der Einsatz eines Business Reengineering?

## ANWENDUNGS- UND MANAGEMENTKONZEPTE

Diese Strukturbildungskonzepte sind eng verknüpft mit Informationstechnologien (IT). Einerseits definieren sie Anforderungen an IT. Andererseits ist IT Enabler entsprechender Organisationsstrukturen, da z.B. die Koordination dezentraler Einheiten erst durch gekoppelte Informationssysteme ermöglicht wird.

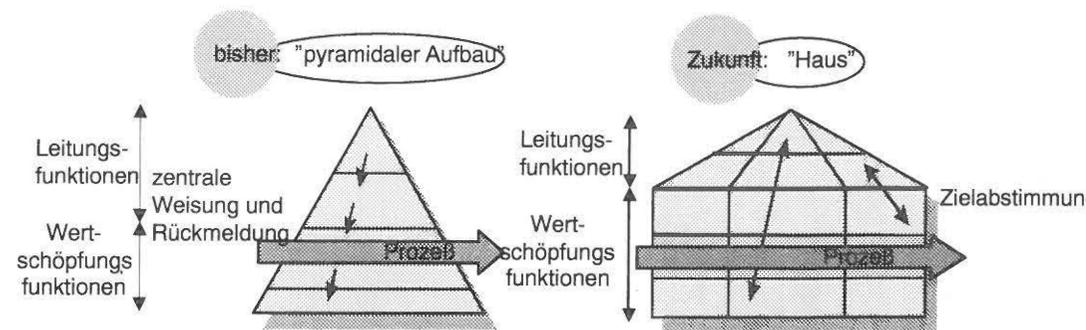
### Wie gestaltet sich die Fraktale Fabrik?

(Projekt Dynapro ...)

Das Konzept der Fraktalen Fabrik hat seinen Ursprung in Deutschland, wird aber auch im Ausland beachtet und gleichrangig mit anderen, international entwickelten Konzepten im Bereich Fertigung behandelt.

Es stellt den Versuch dar die im Zuge der sog. dritten industriellen Revolution entstandenen Ansätze zusammenzufassen bzw. auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen. Das Konzept besitzt somit ebenso wie die Lean Management Philosophie eine empirische Basis. Kernpunkt bildet die Idee dynamischer Strukturen als Gegensatz zu den häufig anzutreffenden statisch reorganisierten Strukturen. Beispiel für einen derartigen Ansatz ist das Konzept der Fertigungssegmentierung. Es geht also vor allem um die Frage der Strukturbildung [Vgl. Warnecke93, S. 104]. Da sich die Fraktale

### Die Organisationsstruktur ...



➡ ... der Fraktalen Fabrik nach Warnecke 93.

## ANWENDUNGS- UND MANAGEMENTKONZEPTE

Fabrik nicht in der Erweiterung bestehender Modelle erschöpft, sondern einen Wandel des Selbstverständnisses aller Beteiligten fordert, wurde bewußt ein neuer Begriff geprägt [Vgl. Warnecke93, S. 154].

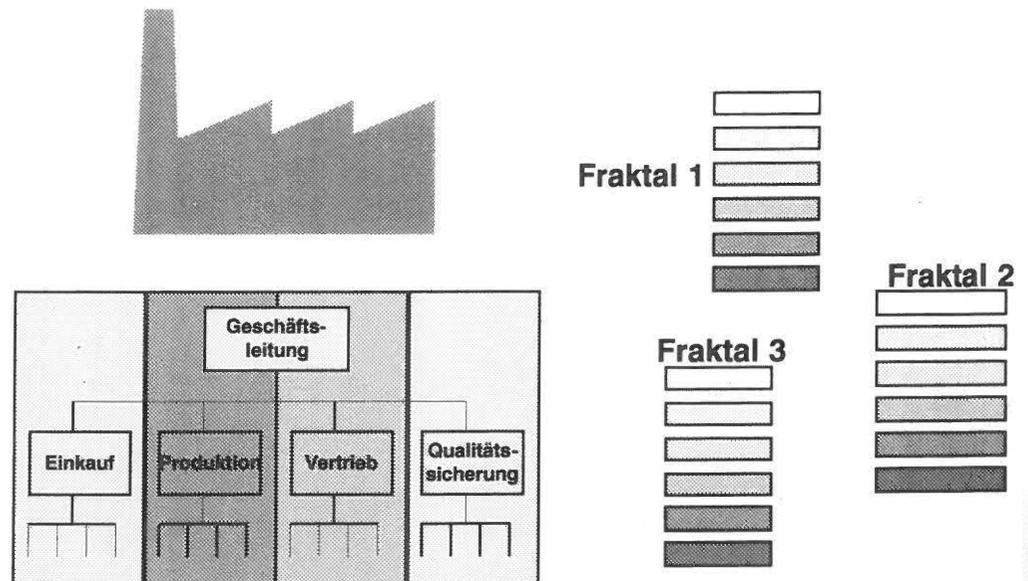
Das Anwendungsgebiet des Konzeptes umfaßt dabei, anders als der Name vermuten läßt, das gesamte Unternehmen und nicht nur den Fertigungsbereich. Es ist folglich auch auf reine Dienstleistungsbetriebe anwendbar.

Es wird großes Gewicht auf eine ganzheitliche Sichtweise gelegt, d.h. mit einem integrierenden Ansatz sollen sowohl technische- als auch Human-Aspekte gleichermaßen berücksichtigt werden [Vgl. Warnecke93, S. 152]. Das Konzept sieht darüberhinaus keine allgemeingültigen Regelungen vor, bleibt also auf diesem relativ abstrakten Niveau.

Dies vor allem darauf zurückzuführen, daß viele Fragen noch ungelöst sind. Beispielsweise ist die Frage der Ausgestaltung von Informationssystemen für das Fraktale Unternehmen weitgehend ungelöst. Gleiches gilt für den Bereich Fertigungsautomatisierung.

Andererseits wird von den Initiatoren betont, daß das Konzept nicht als Patentrezept zu verstehen ist. Vielmehr wird die Auffassung vertreten, daß aufgrund der heute vorzufindenden Vielzahl von unterschiedlichen Einsatzbedingungen, Anforderungen und Einflußgrößen Individuallösungen erarbeitet werden müssen.

## Die Komplexitätsreduzierung durch Fraktale



Die Idee der Fraktalen Fabrik wurde bereits von der Praxis aufgegriffen und erfreut sich dort inzwischen großer Beliebtheit. Dies liegt vor allem an den positiven Erfahrungen, die man mit bisher durchgeführten Projekten gemacht hat. So wurden erhebliche Produktivitätssteigerungen und eine starke Reduzierung von Durchlaufzeiten realisiert.

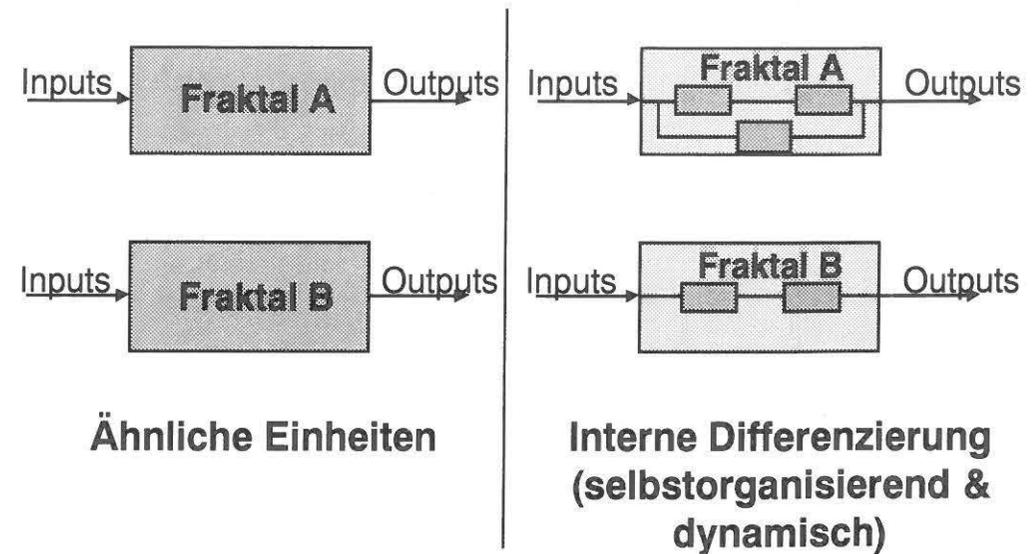
### Struktureller Aufbau

Der strukturelle Aufbau steht in engem Zusammenhang mit dem Begriff des Fraktals, der für die Namensgebung herangezogen wurde und aus dem Gebiet der Mathematik stammt. Fraktale Objekte aus der Mathematik zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus [Vgl. Warnecke93, S. 154ff]:

- Selbstorganisation
- Selbstähnlichkeit
- Formenvielfalt bei Fraktalbildung (->Dynamik)

Kennzeichnend für die Fraktale Fabrik ist deren Aufbau aus autonomen, sich selbst optimierenden (selbstorganisierenden) Einheiten, die ein gemeinsames Ziel verfolgen (-> Selbstähnlichkeit). Die Struktur ist dynamisch und wandelt sich in Abhängigkeit des Umfeldes. Im Zuge dieses Prozesses können sich Fraktale auch verselb-

### Struktureller Aufbau gekennzeichnet durch ...



Ähnliche Einheiten

Interne Differenzierung  
(selbstorganisierend &  
dynamisch)

⇒ ... Selbstähnliche Fraktale, Selbstorganisation und Formenvielfalt nach Warnecke 93.

## ANWENDUNGS- UND MANAGEMENTKONZEPTE

ständigen (im juristischen Sinne) oder sogar vollständig auflösen. Die Unternehmensgrenzen sind also ebenfalls im Fluß. Hier sind Parallelen zum Konzept des Virtuellen Unternehmens erkennbar.

Bei weitgehender Autonomie der Einheiten erfolgt die Koordination zentral. Das Führungssystem ist dabei partizipativ mit weitgehender Delegation von Verantwortung. Ziele sind dabei die wesentlichen Führungsgrößen. Das Zielsystem ist so aufgebaut, daß ein sinnvolles Vorgehen aller beteiligten Einheiten gewährleistet ist. Auf die entsprechenden Prozesse der Zielfindung, Abstimmung und permanenten Leistungsüberwachung wird im nächsten Abschnitt eingegangen.

Ein fraktales Unternehmen wird grundsätzlich so strukturiert, daß Einheiten entstehen, die möglichst wenig Beziehungen (Materialfluß, Informationsfluß) untereinander haben. Hierdurch sollen die Interdependenzen auf das notwendige Mindestmaß beschränkt und der erforderliche Koordinationsaufwand minimiert werden. Allerdings wird es nach wie vor auch einzelne Funktionen zentralisiert in Form von spezialisierten Dienstleistungen geben, wenn dies ökonomisch sinnvoll ist. Es sei noch einmal betont, daß die Struktur einem ständigen Wandel unterliegt. Der entsprechende Prozeß wird im nächsten Abschnitt behandelt.

Das Prinzip der Clusterung läßt sich auch innerhalb der entstandenen Einheiten durchführen, so daß sich im Falle wiederholter

## Die Betrachtungsweise eines Unternehmens ...

Herkömmliche Sicht	Fraktale Sicht
Das Unternehmen ist die Summe seiner Aktivitäten und strategischen Geschäftsbereiche.	Das Unternehmen ist ein ganzheitliches System mit all seinen Abläufen und Strukturen.
Das Unternehmen entwickelt sich in einer linearen, stabilen und voraussagbaren sowie kontrollier- und steuerbaren Art und Weise.	Das Unternehmen entwickelt sich nicht linear, sondern nach Wahrscheinlichkeitsgesetzen entstehenden Entwicklungssprüngen und Umwandlungen, die gesteuert aber nicht vorausbestimmt werden können.
Die Organisation ist die (Matrix-) Hierarchie.	Die Organisationsform ist eine übergreifende vernetzte Struktur, die den Fabrikfraktalen den Rahmen bildet.
Geschäftsbeziehungen mit Lieferanten, Kunden und Konkurrenten sind von der Art des „Nullsummen-Spiels“ (was ich gewinne, verlierst du).	Alle Geschäftsverbindungen sind tatsächlich oder potentiell von der Art des „Kooperativen Spiels“ (zusammen gewinnen wir).
Es gibt klar definierte Grenzen sowohl zwischen den Firmenbereichen als auch zwischen den Unternehmen und der Umwelt.	Grenzen sind unscharf (fuzzy), durchlässig für Informationen und gekennzeichnet durch ablauffunktionale Verbindungen.
Informationen werden bedingt durch Hierarchie und momentane Notwendigkeit gezielt und arbeitsteilig aufbereitet (Bring-Prinzip).	Informationen sind für alle zugänglich und werden unter Nutzen-Gesichtspunkten eigenständig ausgewertet und aufbereitet (Hol-Prinzip).
Gewisse Abweichungen vom Plan werden periodisch durch weitere Planungen nachgefahren/korrigiert und durch Vorhalten von Ressourcenbeständen kompensiert.	Die Vorgaben/Ergebniserfüllungen werden nicht bis ins Detail geplant. Sich selbst organisierende und selbständig agierende Einheiten stellen die Zwischenergebnisse sicher.



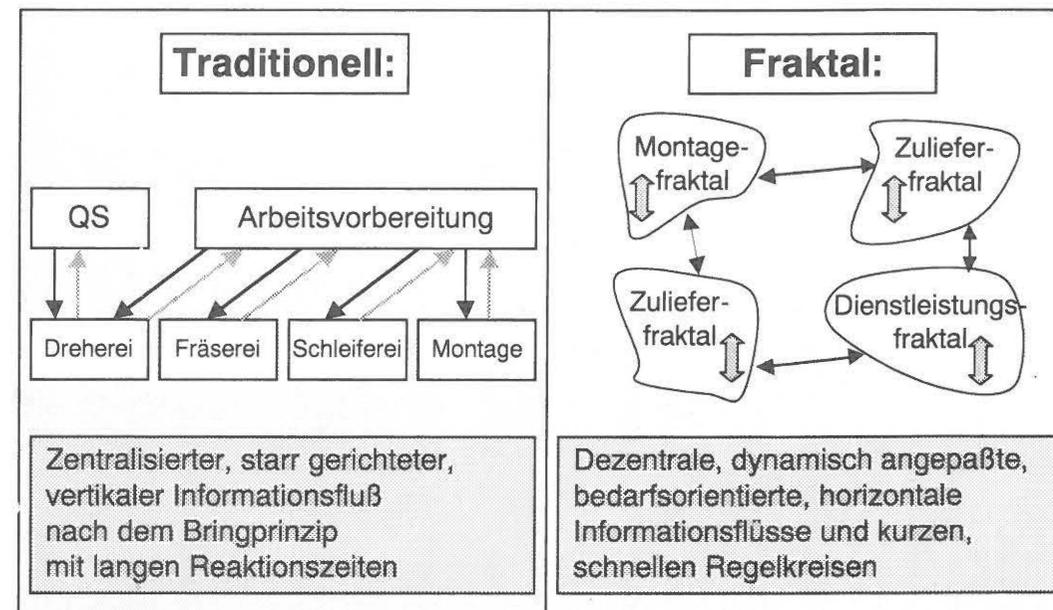
... werden durch die herkömmliche Sicht und fraktale Sicht unterschieden.

## ANWENDUNGS- UND MANAGEMENTKONZEPTE

Anwendung die Strukturen bei detaillierterer Betrachtung jeweils wiederholen, aber nie identisch sind. Die Granularität ist also prinzipiell sehr hoch. Das Strukturierungsprinzip kann man z.B. auch in technischen Teilsystemen wiederfinden. So bezeichnet Warnecke die Objektorientierung als Asprägung der Fraktal-Idee im Bereich der Softwaretechnologie. Die entstehenden Einheiten sind nämlich über geeignete Zielgrößen entweder auf Menge oder auf Vielfalt auszulegen. Warnecke stellt hierzu die These auf, daß es dann eine beste Lösung für Abläufe, Methoden und Einrichtungen gibt [Warnecke93, S. 121]. Aber selbst bei Fraktalen mit identischen Zielen sowie Ein- und Ausgangsgrößen können sich aufgrund der Vielfalt denkbarer Lösungen unterschiedliche Strukturen ergeben.

Die Fraktale Fabrik gibt sich nur zu einem geringen Teil durch äußere Merkmale zu erkennen. Ihr Potential liegt in inneren Werten, weshalb das Konzept auch eher den Charakter einer neuartigen Unternehmenskultur aufweist [Vgl. Warnecke93, S. 153].

## Der Wandel der Informationsflüsse ...



➡ ... läßt sich traditionell und fraktal abbilden.