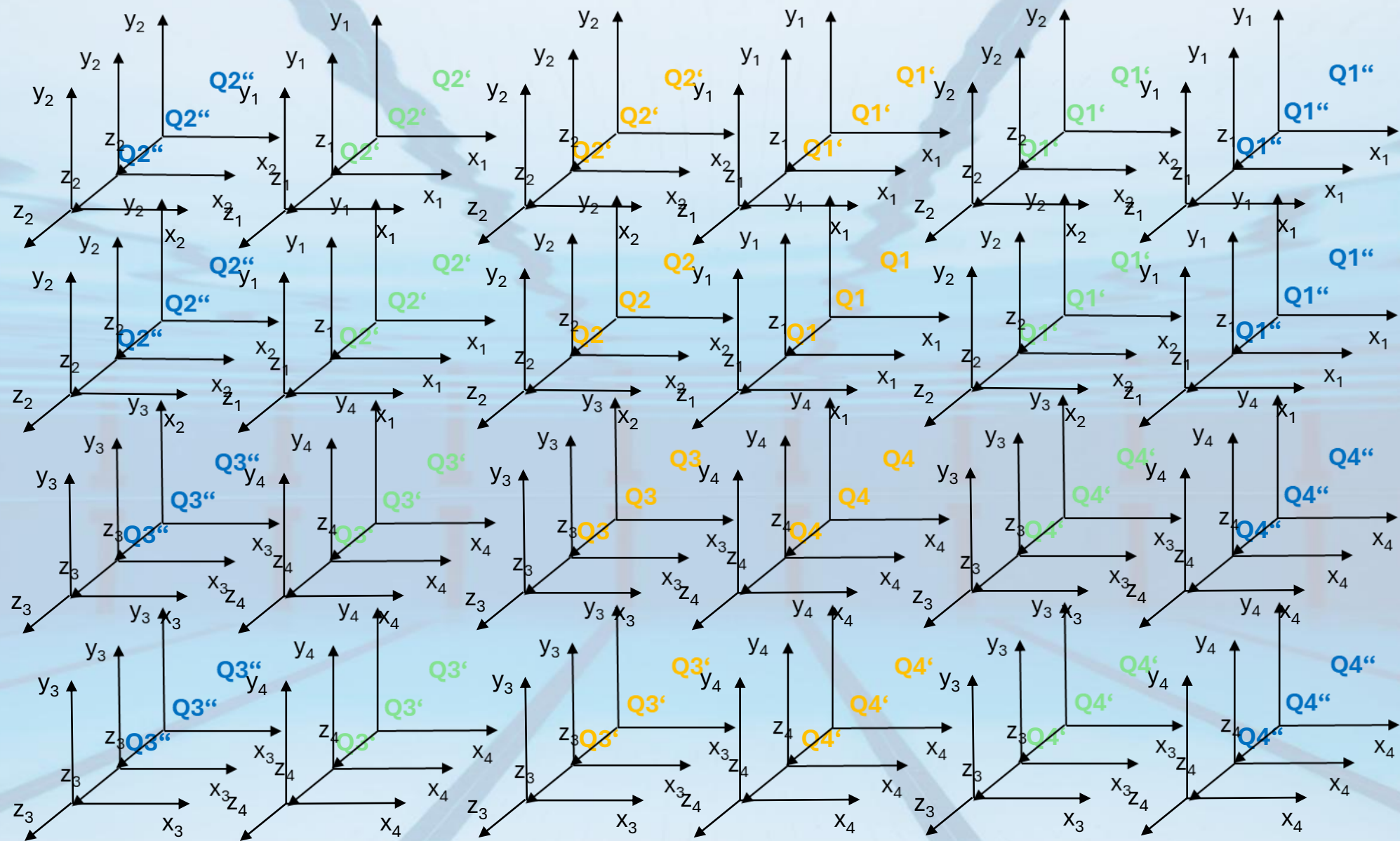


# „Alles ist ...“

***Eine kurze Geschichte der Systemtheorien***

*von Thales bis zum heutigen F&E Projekt M-Q-M*





If you don't know what you are  
talking about, call it

**„System“.**



If you don't know what it is made  
of, call it

**„Subsystem“.**



If you don't know how it works,  
call it

**„Process“.**



**System** (von synistánai über systema)  
ein „**Modewort**“ mit uralter Tradition.

*Die System-Theorie ist tot,*

**es lebe die Systemtheorie.**



**Modelle und ihre Sprachen: UML, SysML, ... SD oder mathematische Sprachen**



# Was assoziieren Sie mit dem Begriff „**Systemtheorie**“?

*„Systemtheorie“ bezeichnet allgemein eine interdisziplinäre Betrachtungsweise sogenannter „**Systeme**“. Sie besitzt bis heute keinen einheitlichen Theorie-Ansatz.*

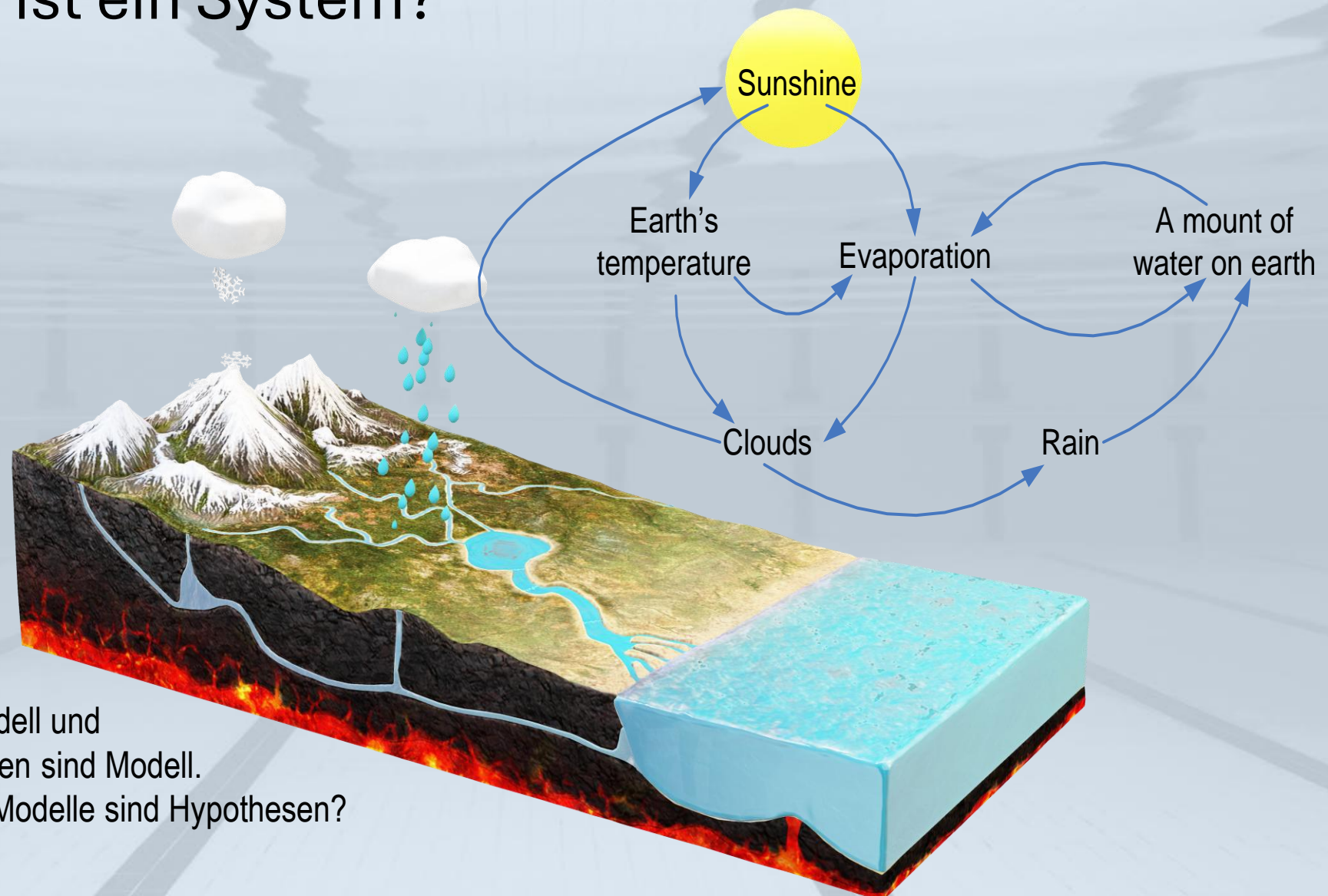


Verschiedene **Gegenstandsbereiche und Modelle** wie vom Universum, Sonnensystem, von biologischen Zellen, Menschen, Familien, Organisationen, Staaten, Maschinen, (Computer-) Netzwerken, Feldern, Strings ... werden **als Systeme aufgefasst und „systemtheoretisch“** beschrieben. Gelegentlich nur Dinglich oder Objekt-(Subjekt-)orientiert, d.h. fragmentiert.

**Kognitive Prozesse** des Erkennens und Problemlösens, die auf Konzepte der verschiedenen Systemtheorien Bezug nehmen, werden als „**Systemdenken**“ bezeichnet.

**In verschiedenen Disziplinen**, wie der Philosophie, Mathematik, Informatik, Physik, Chemie, Biologie, den Sozial- oder den Ingenieurwissenschaften werden „**systemische Aspekte und Prinzipien**“ zur Beschreibung und Erklärung sowohl statischer als auch dynamischer oder komplexer Phänomene **jeweils unterschiedlich definierter Systeme** herangezogen.

# Was also ist ein System?



Alle Ideen sind Modell und  
alle Wahrnehmungen sind Modell.  
Das bedeutet alle Modelle sind Hypothesen?

## „Definiere System ...“

**Das Wort System ist ein Konzept**, das in vielen Bereichen menschlichen Handelns und auf vielen Ebenen verwendet wird: **Gebilde, Gefüge, Einheit, geordnetes Ganzes, Anordnung, planmäßige Verbindung, Satz und weitere Begriffe** (Begriffssystem selbst oder Knowledge Organisation Systems) werden synonym zur Bezeichnung von Systemen verwendet.

**Allgemein** wird ein System als **ein „Ganzes“ aus mehreren Teilen, Elementen** oder miteinander **verbundenen Komponenten** gesehen, deren Relationen die Unterscheidung von seinen Teilen ermöglichen.

**„Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“.**

Je nach theoretischem Ansatz unterscheidet man weiter in **substanzielle Existenz** von Systemen oder deren **kognitive Konstruktion**, so auch **statische Systeme**, wie ein Modell oder ein Haus u.v.m. **Niklas Luhmann definiert Systeme über ihre Differenz zur Umwelt.**

## System und Umwelt, ein Paradoxon innerhalb der Systemtheorie?

Die Teile oder Komponenten eines Systems sind vielfältig miteinander verknüpft und das System selbst ist grundsätzlich mit anderen **Systemen (Super-/Hyper- oder Subsystemen)** verbunden. Dies gilt für sogenannte *offene* Systeme, nicht für *geschlossene* oder *abgeschlossene* Systeme.



Alle Systeme besitzen aus einer Innenbetrachtung heraus jedoch eine **Grenze (definitionsgemäß)**: Nach üblicher Vereinfachung allerdings gegenüber ihrer „**Umwelt**“ oder „**Umgebung**“.

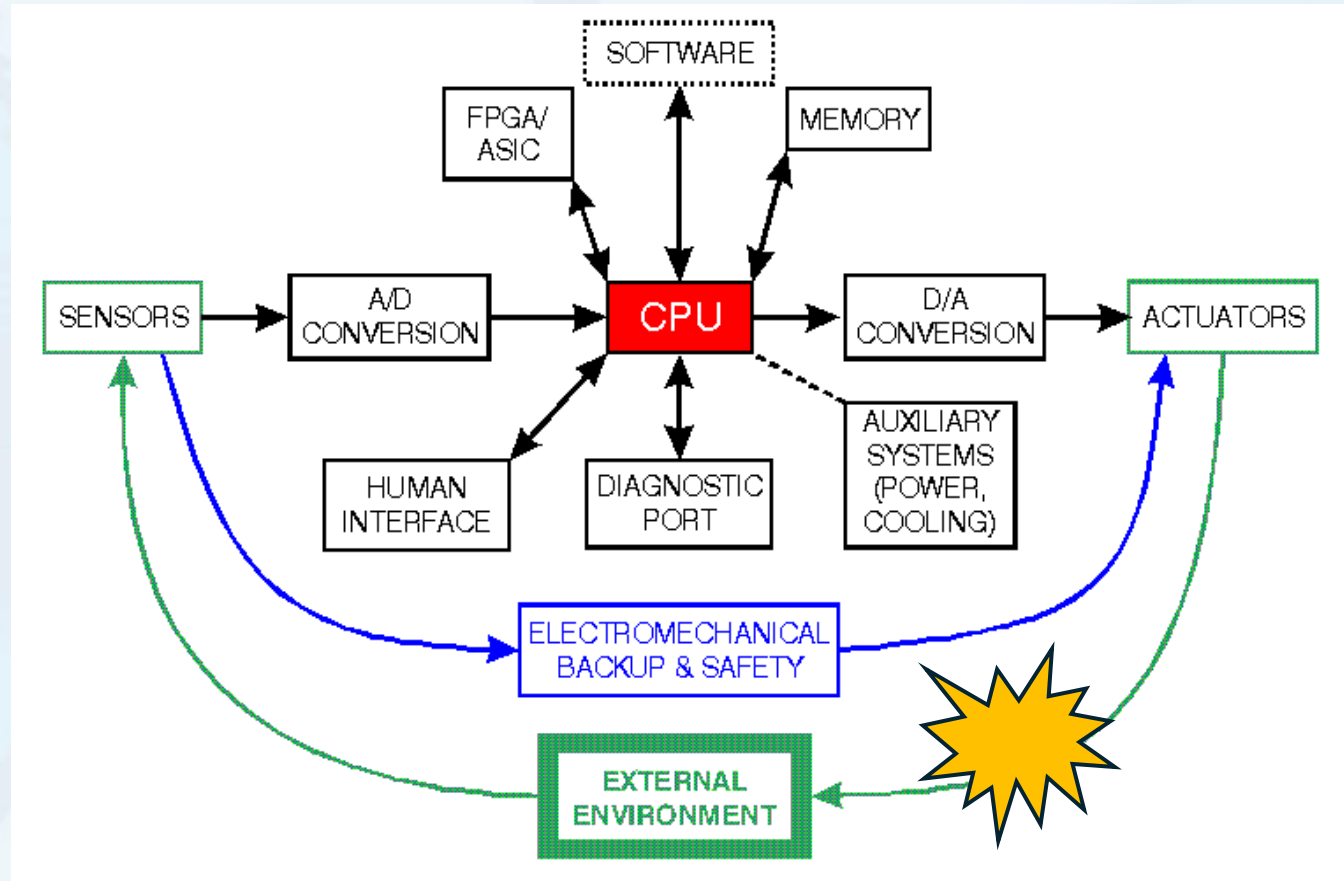
Diese Grenze kann je nach Betrachter oder Zweck einer Betrachtung schwanken, weniger erkennbar oder offener für Interpretationen sein. **Ein Bruch im „Ganzheits“-Systemgedanken?**

Bisher weitgehend gemein ist die Betrachtung von: System und „Umwelt“

**Sogar Kernidee u.a. Luhmann:**  
Ein **soziales System** entsteht durch die Grenzziehung zur Umwelt, d.h. operativ geschlossen (**Autopoiesis**, - nach Maturana und Varela zuvor für Zellen / **biologische Systeme** formuliert) und u.a. bestehend aus Prozessen oder Kommunikation, nicht Dingen. **Auch in technischen Kontexten** im Sinne der Anordnung von Funktionen (hier siehe Abbildung).

Auch ganz im Sinne von Konfuzius“?

*Der Weise sucht, was in ihm selber ist, der Tor, was außerhalb.*



# Was also könnte zunächst das System für sich selbst bedeuten?

Systeme weisen Eigenschaften auf, die nicht aus den Eigenschaften der Komponenten selbst ersichtlich sind. Dies wird manchmal als **Synergie** oder als **Emergenz** (lat. *emergere* „Auftauchen“, „Herauskommen“) bezeichnet.

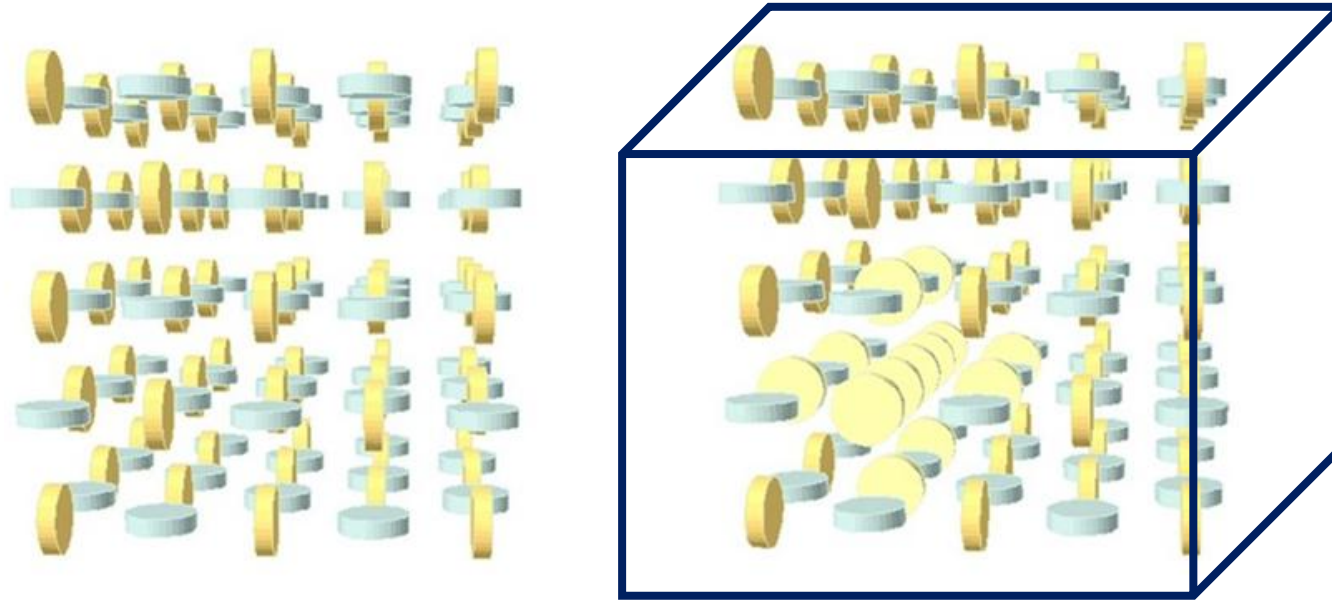
Während ein System häufig als **Struktur** wahrgenommen wird, ergeben sich die besonderen Eigenschaften aus Beziehungen zwischen den Elementen (**Subsystemen**) wiederum als Struktur oder **Muster?**



Ein System entsteht und erhält sich dadurch, dass Operationen aneinander anschließen? Wenn organische Prozesse als Operationen aneinander anschließen, entsteht ein **organisches System?** Wenn Gedanken als Operationen aneinander anschließen, entsteht ein **psychisches System?** (auch: „**Bewusstseinssystem**“, - zu unterscheiden von **Beziehungssystem** in der Psychologie).

Systeme / und ihre Merkmale nach Wilke	Deterministische Systeme, <b>Flows</b>	Unorganisierte Systeme, <b>Stocks</b>	<b>Organisierte Systeme,</b> <b>Lives</b>
Elemente / Variablen	wenige gerichtete	sehr viele unabhängige gleicher Art	mittlere Zahl, interdependent, willensabhängig
Disziplin	Klassische Wissenschaften	Statistik	interdisziplinäre Wissenschaften zu <b>komplexen Systemen</b>
Prognose	grundsätzlich exakte Voraussagen möglich	statistische Wahrscheinlichkeit	Szenarien oder Muster- Voraussagen
<b>Intervention</b>	punktuell	stochastisch	<b>kontextuell</b>

Es fehlt die Unterscheidung in Raum und System? -  
Definiere Raum, (Ereignis-)Feld, Markt, Bestand, ... Chaos



Eine mittels **Entropie** beschriebene Tendenz ermöglicht Systemen unter **Dissipation von Energie** ins thermo-dynamische Gleichgewicht überzugehen bzw. überhaupt, dass Systeme auch wieder aus dem **thermodynamischen Gleichgewicht getrieben werden, Ströme fließen und Strukturen entstehen.**

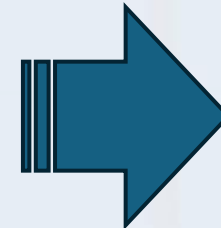
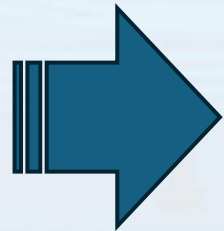
Aus dem thermodynamischen Gleichgewicht entwickeln sich wiederum komplexe Strukturen:

**“vom "Sein zum Werden" (Ilya Prigogine)**

# Räume und Systeme im Austausch mit sich und anderen

Ein System nimmt gemeinhin **von innen oder außen** 'etwas' auf (**Input**), transformiert es (**Throughput, PutPut**) und gibt es wieder in die „Umwelt“ oder besser: an andere Systeme verschiedener Ebenen ab (**Output**).

Form/Masse  
Energie  
Information  
(Wärmezugang)



Form/Masse  
Energie  
Information  
(Wärmeverlust)

Da die Energie eine mengenartige Größe ist, kann man die Bedeutung des Wortes Energieverbrauch in Analogie zur Bedeutung des Verbrauchs von beliebigen Stoffen, - etwa zum Wasserverbrauch im Haushalt betrachten: Wasser wird für die verschiedensten Zwecke verbraucht, ohne dass darin ein Widerspruch zur Erhaltung des Wassers gesehen würde. **Es kann daher nicht schwer fallen, Energie gleichzeitig als quantitativ erhalten und qualitativ verändert anzusehen?**

# Anstoß zum Q4-Modell: die Einfachheit der Physik

## Teilchen - Q3

oder **Element**,  
Wirkungsquant  
oder ‚Aktivität‘

**Ausdehnung** oder Varianz im  
leeren Raum über seine  
**Lebenszeit(-dauer)**

## Strom - Q2

**Ortsveränderung** eines  
Teilchens oder Fluss eines  
Elements

**Stetige Bewegung** oder  
Differenzausgleich (wie die  
Erledigung einer Aufgabe im  
Rahmen von Vorgaben)

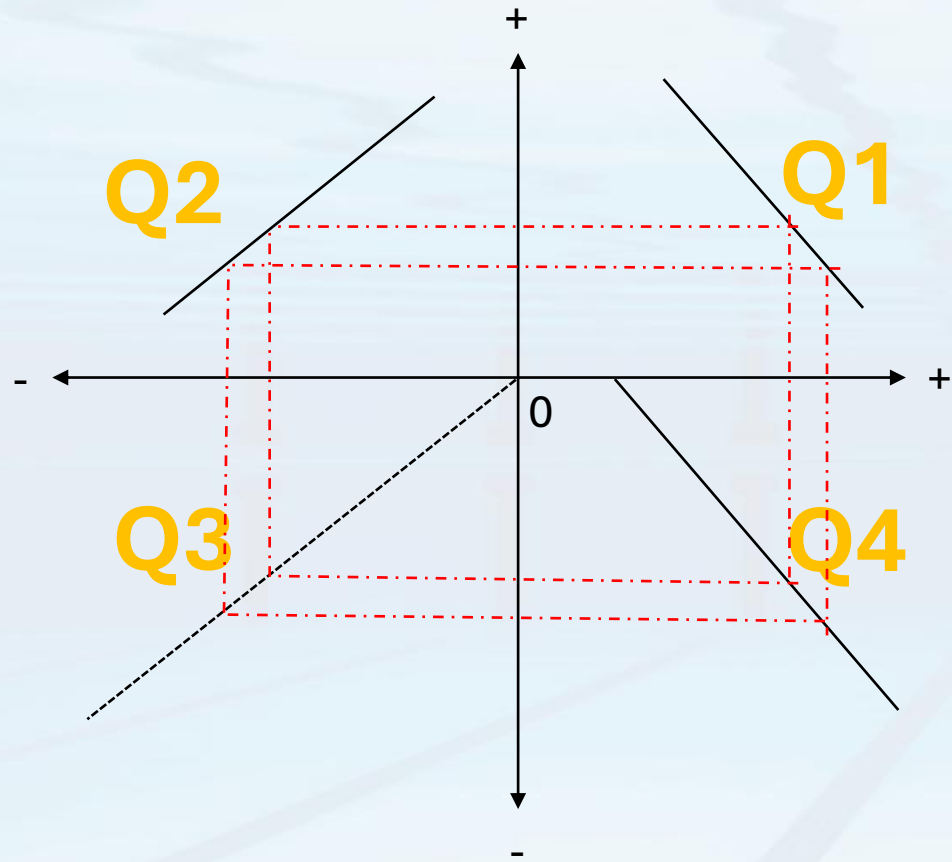
## Welle - Q4

**Veränderung** eines Teilchens  
oder Elements (z.B. durch  
Aufnahme/  
Weitergabe von Ladung)  
**am Ort über die Zeit**

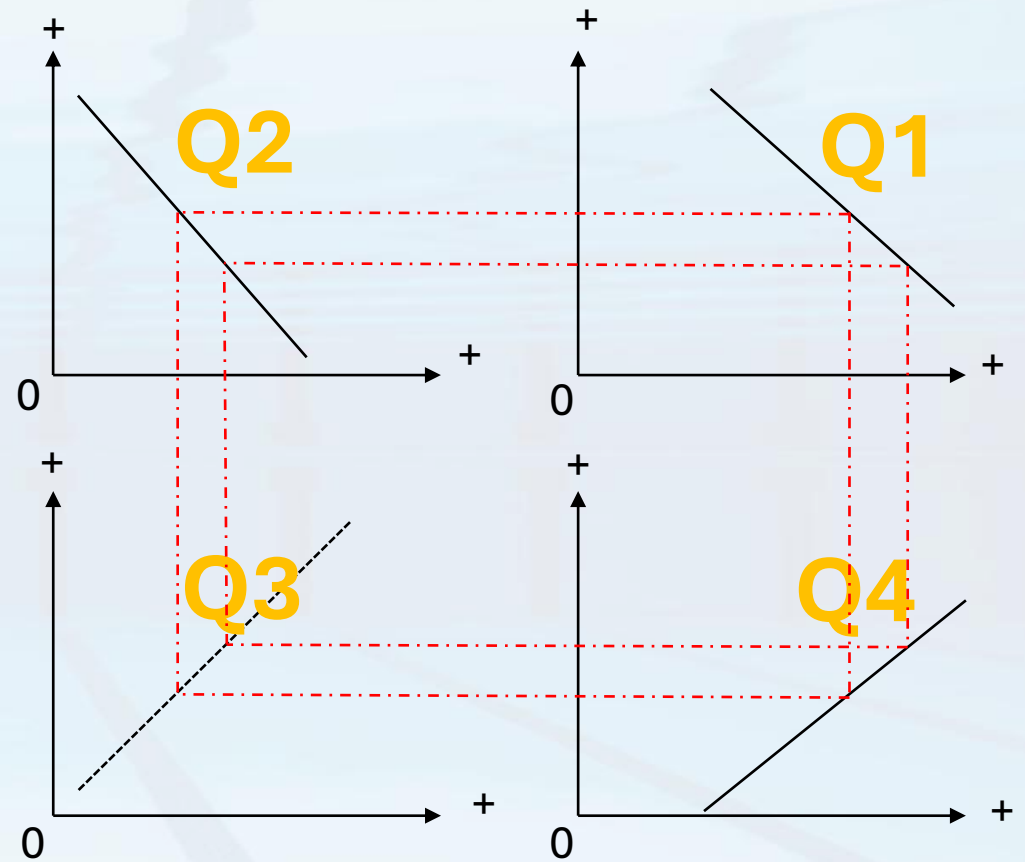
**Diskretes Feld** oder  
*Bestände, Messungen  
vergleichbar Portfolios oder  
Märkten in der VWL*

Transformation - Q1, **Überlagerung von Bewegung und Feld**, Spannung/Wellenlänge/Frequenz

## Koordinatenkreuz



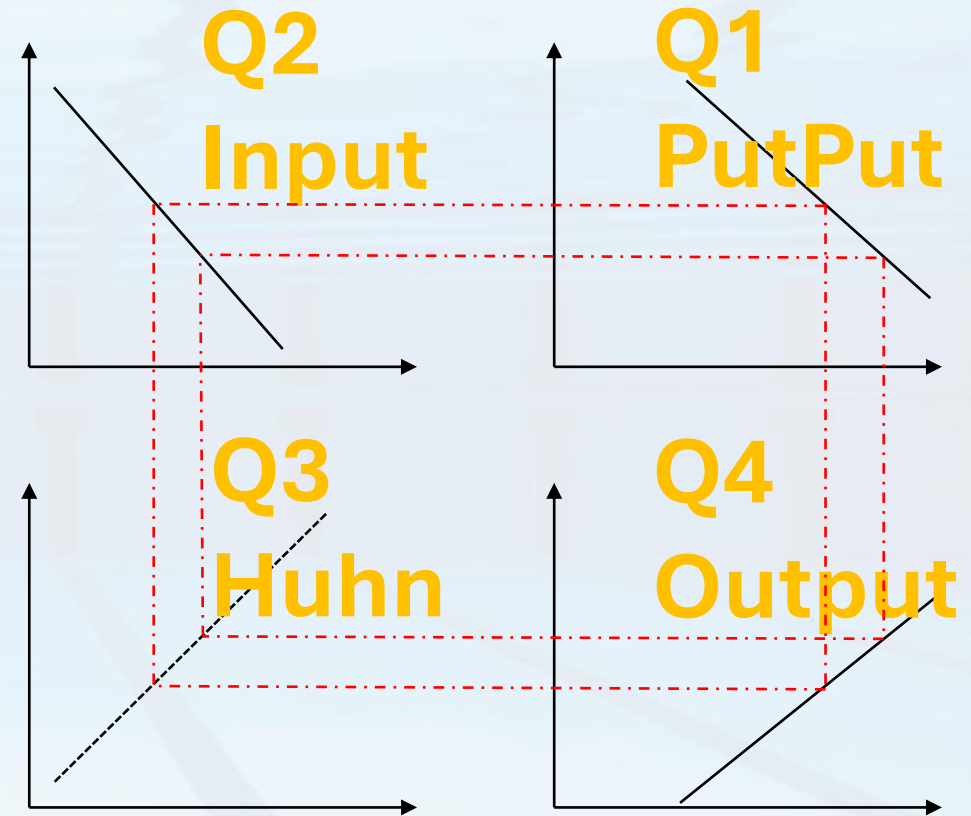
## 4-Quadranten-Modell



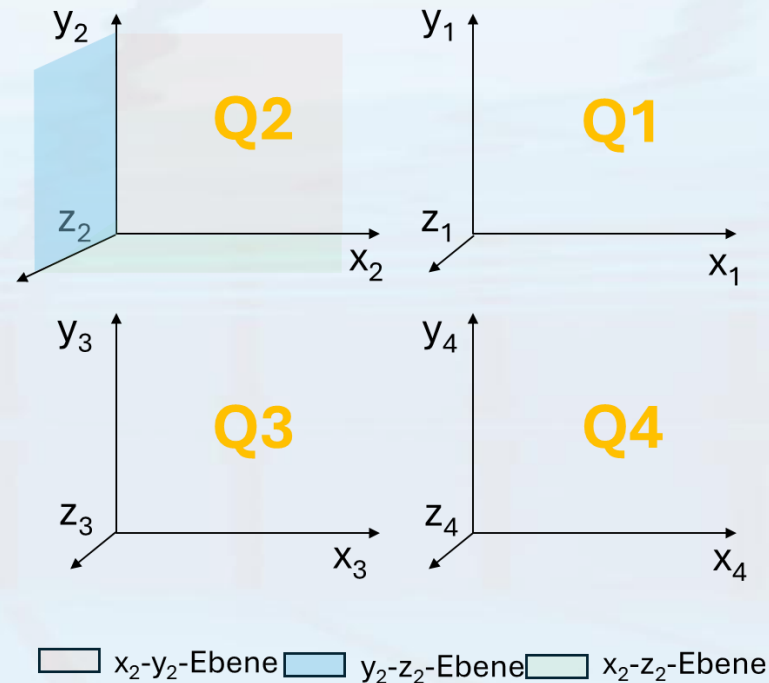
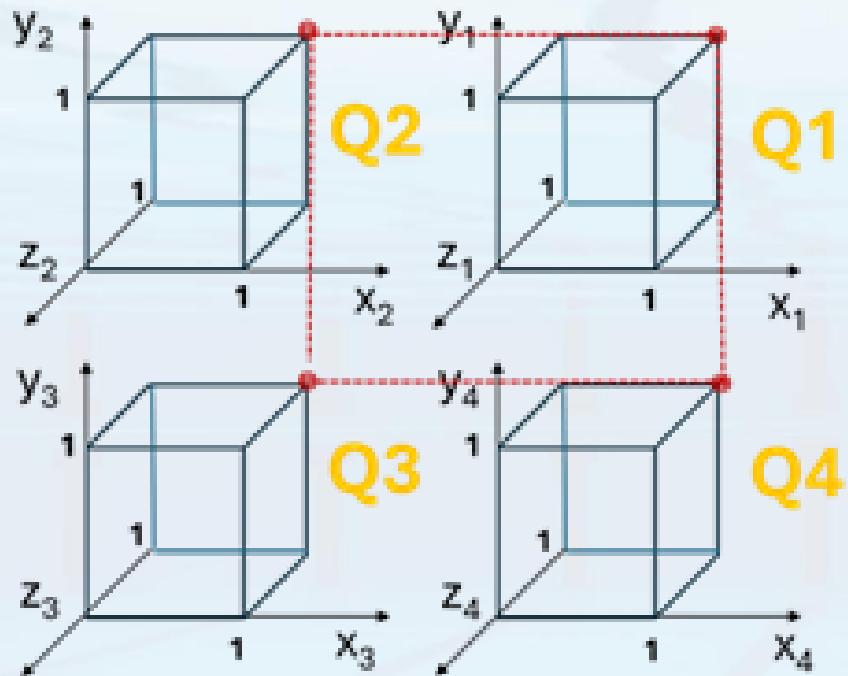
# Komponentenwahl für das interdisziplinäre 4-Q-M

Mit der **Wahl der Q1-4 Komponenten-Bezeichnung** konnten auch Relationen der VWL-Vorlage nach diversen Tests zunächst beibehalten werden.

Ein elementares dynamisches System wird gemäß diesem Modell komplett beschrieben über sein Regelwerk bzw. seine Leistungsparameter (**Q1**), seinen Informations- oder Materialfluss (**Q2**), sein Gesamt- oder Leitbild (**Q3**) und seine Zwischen-, Endergebnisse, Ziele oder Bestände (**Q4**).



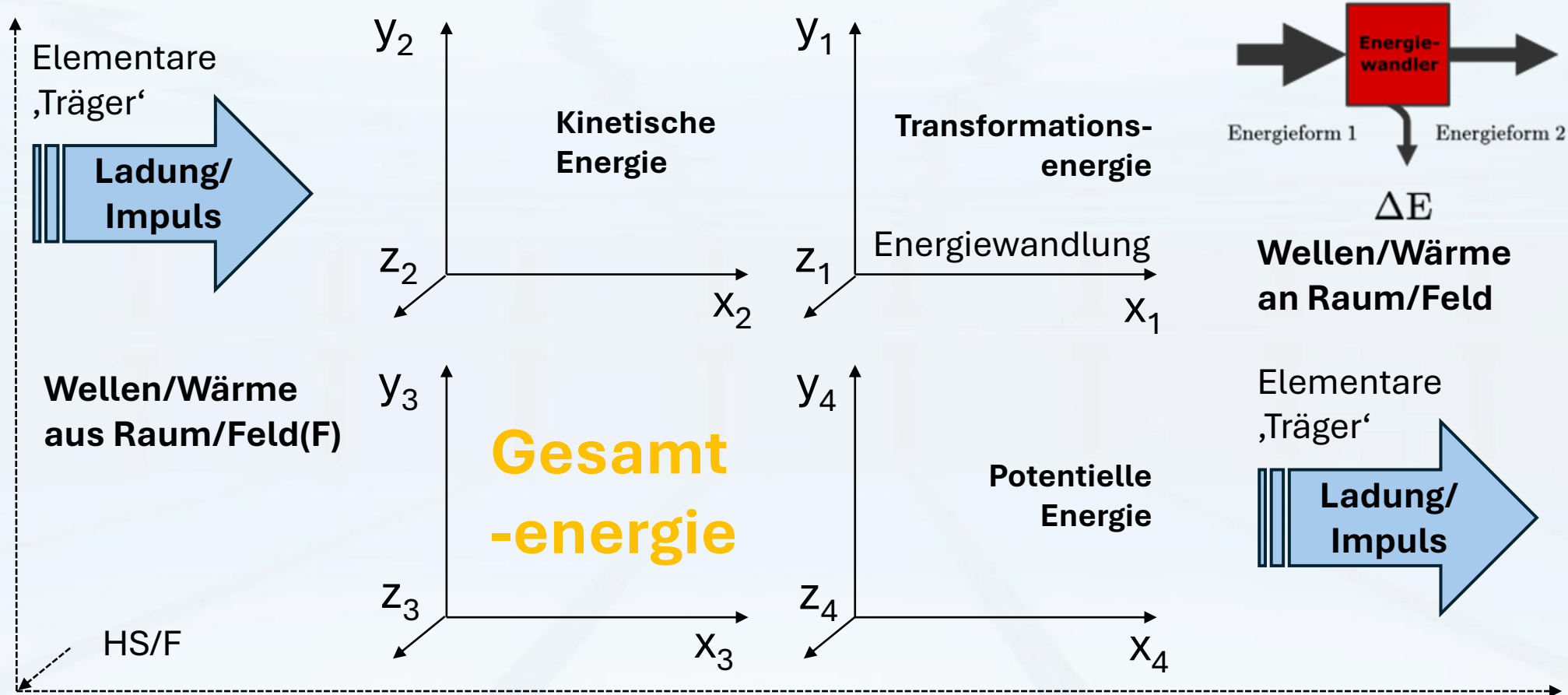
# Das Ganze und seine Teile – Achsen und Ebenen



**Eine Verwebung von Raum, Zeit und Modus: die Metaebene hinter dem Modell.**

# Speicherung, Transport, Transformation, ...

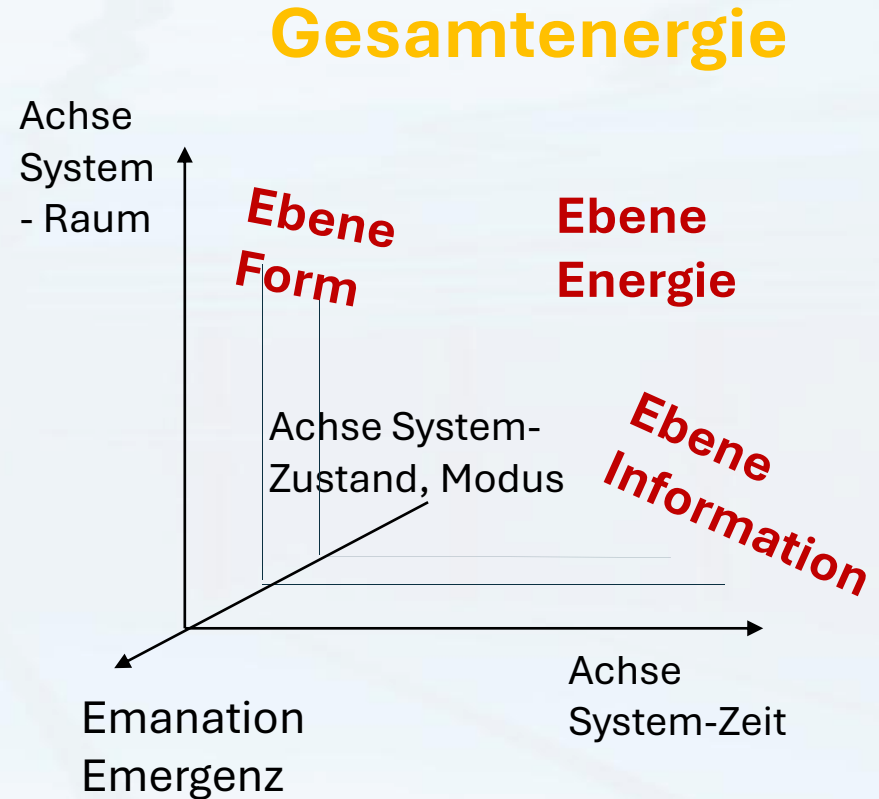
Stets der gleiche Kern für alle Energieformen und ‚Träger‘ möglich?



# Das Ganze und seine Teile – die Basis struktureller Verknüpfung in 3 Dimensionen

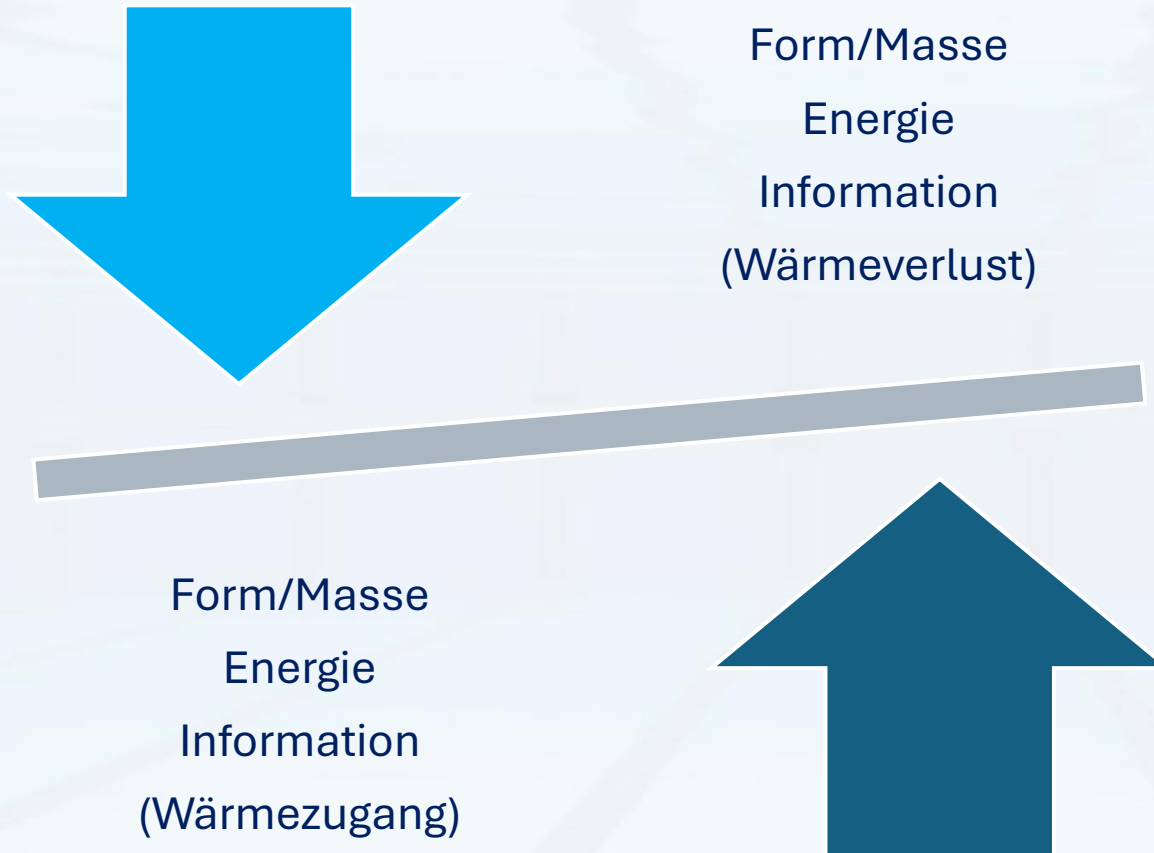
- Absolut: Raum = Zeit = Zustand (Achsen)
- Energie = Information = Form (Ebenen)  
(„Quantum-Bit“ – Weizsäcker, Görnitz u.a.)  
(„Informationsmonismus“ – Eisenhardt u.a.)

Die absoluten Zustände (**Q3**) dokumentieren zugleich die Historie der Subsysteme eines Systems materiell im Leeren Raum oder immateriell in Freiheit (dargestellt hier zwischen den Doppellinien zur Trennung von Zuständen) dar; dies relativ in Folge (**Q2**) und Häufigkeit (**Q4**) und ‚geregelt‘ in **Q1**.



# Systemisches Gleichgewicht und Nichtgleichgewichtsstrukturen

Ein solches System heißt „dissipativ“. (William Thomson)



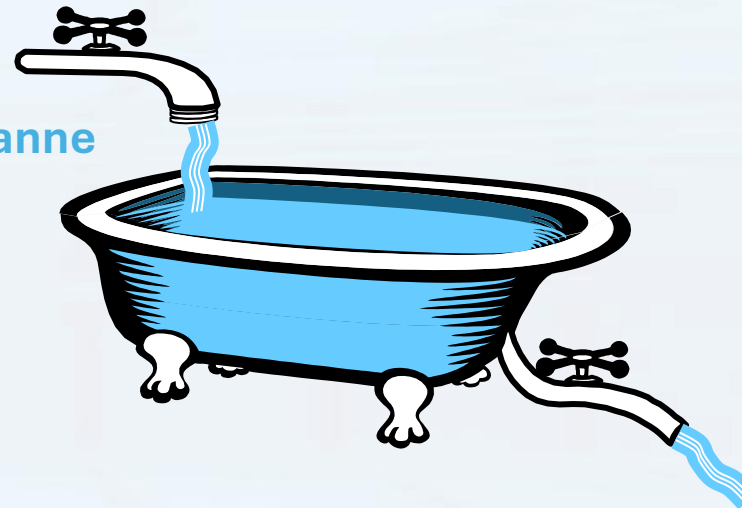
**Nichtgleichgewichtszustände  
umgeben uns in großer Zahl:**

- **Erde, Sonne und Planeten**
- das konstant fahrende Auto,
- **Badewanne ohne Stöpsel**,  
mit zulaufendem Wasser auf  
gleichbleibender Füllhöhe,
- das abgegebene Licht einer  
Glühwendel, aber auch
- der durch die Wendel  
fließende elektrische Strom,
- **die Kerzenflamme oder**
- **die blühende Blume.**

# Was bedeutet Speicherung in diesem Zusammenhang?

Lediglich eine **Überbrückung von Zeit**, - in der **Energie im System oder extern ,verweilt‘**.  
**Subjekte, Objekte sind gebündelte Energie aus Atomen oder Molekülen (Bewegungsbündel), die uns über einen gewissen Zeitraum hinweg statisch erscheinen**

Lager, Speichersystem Wanne



**Die Badewanne als bekannte Metapher für gespeicherte Energie zur Verwahrung:**

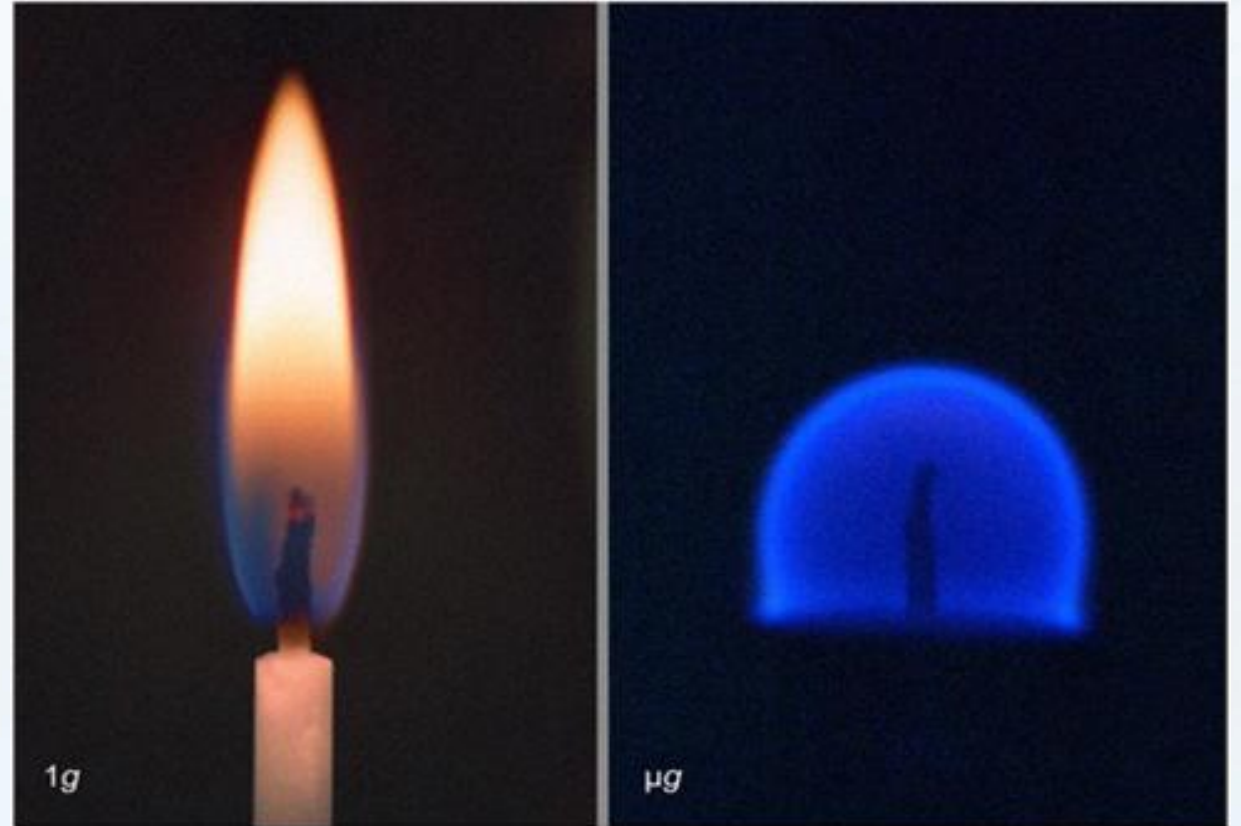
Im Flussdiagramm SD  
(Eindimensionale Zeit):



## Die Flamme einer Kerze – Paradebeispiel für viele Systemische Strukturen und Phänomene



Die Ähnlichkeit zwischen Kerzenflammen und Blüten ist nicht nur äußerlich. Auch eine Pflanze kann als dissipative Struktur angesehen werden, die sich in ständigem Auf- und Abbau befindet.



Verhalten einer Kerzenflamme unter 1g (links) vs. Mikrogravitation (rechts). In Schwerelosigkeit brennt die Flamme kugelförmig und zieht Sauerstoff aus allen Richtungen symmetrisch an – ein Analogon zur Äthersenken-Theorie der Schwerkraft nach Newton.

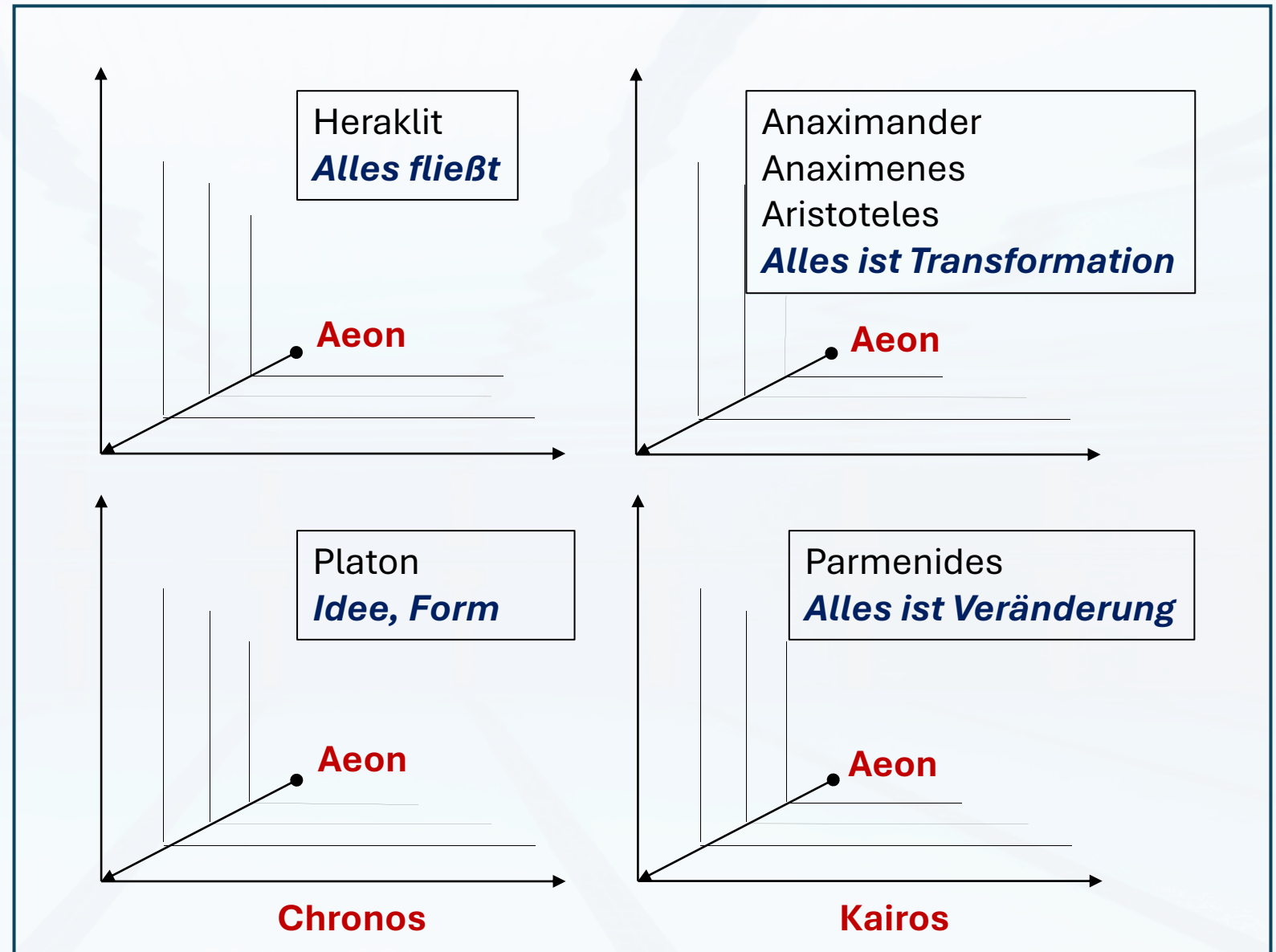
# Ein Schritt zurück zu „Alles ist ...“

Thales  
*Alles ist Wasser*

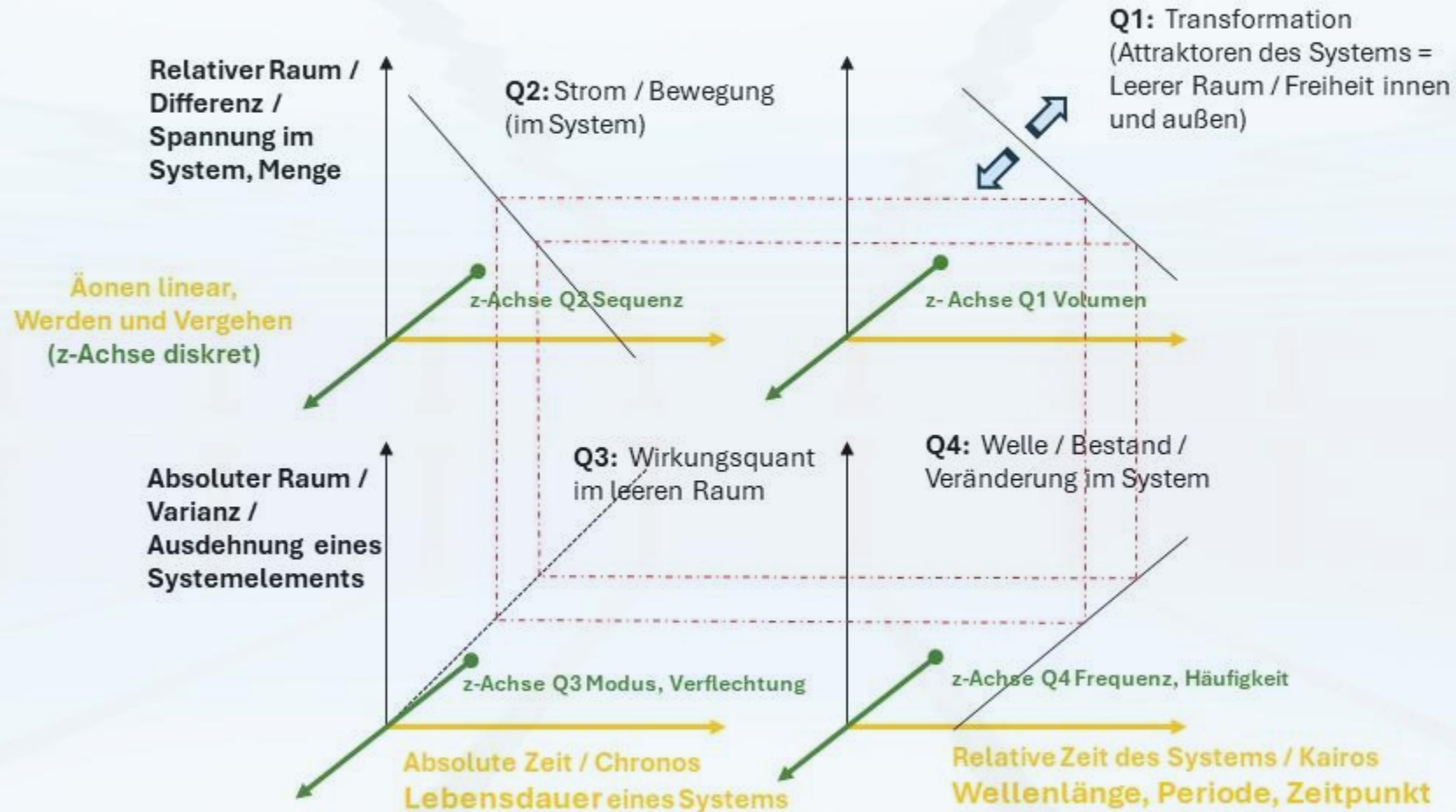
Demokrit  
*Elemente und  
Leerer Raum*

Griechische Philosophen  
hier (sehr) grob zugeordnet  
nach System-Aspekten:

- *Input, stetiger Fluss*
- *Transformationen*
- *Ergebnisse, Bestand*
- *Gesamtsystem*



# Zeitgedanken übertragen ins 4-Q-M



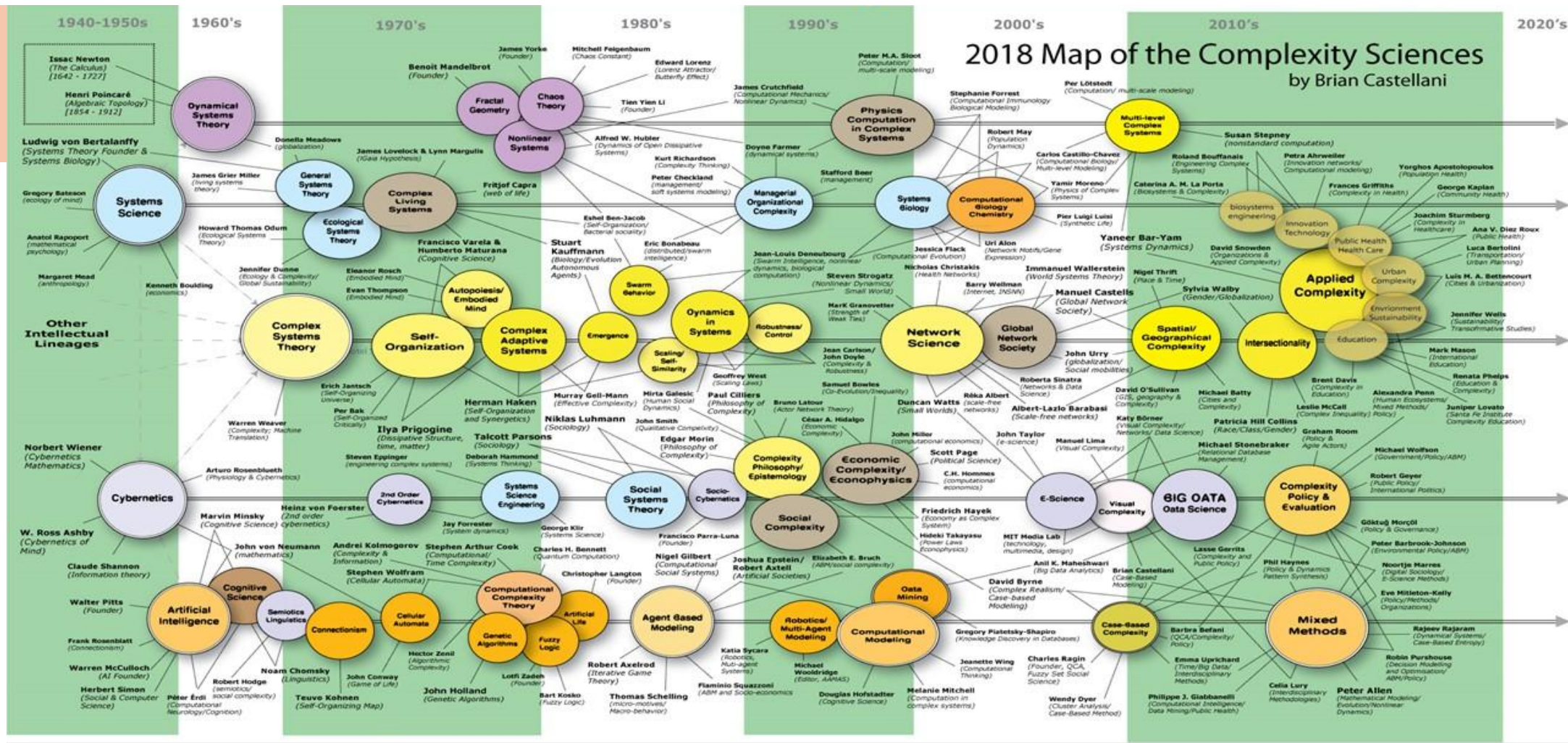
**Aristoteles:** Ganzheit, Zweck und Selbstbewegung.



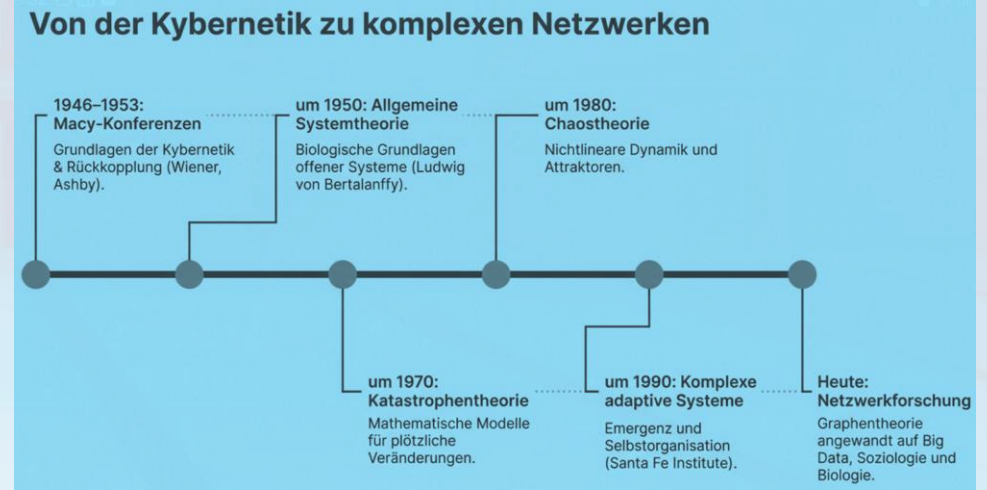
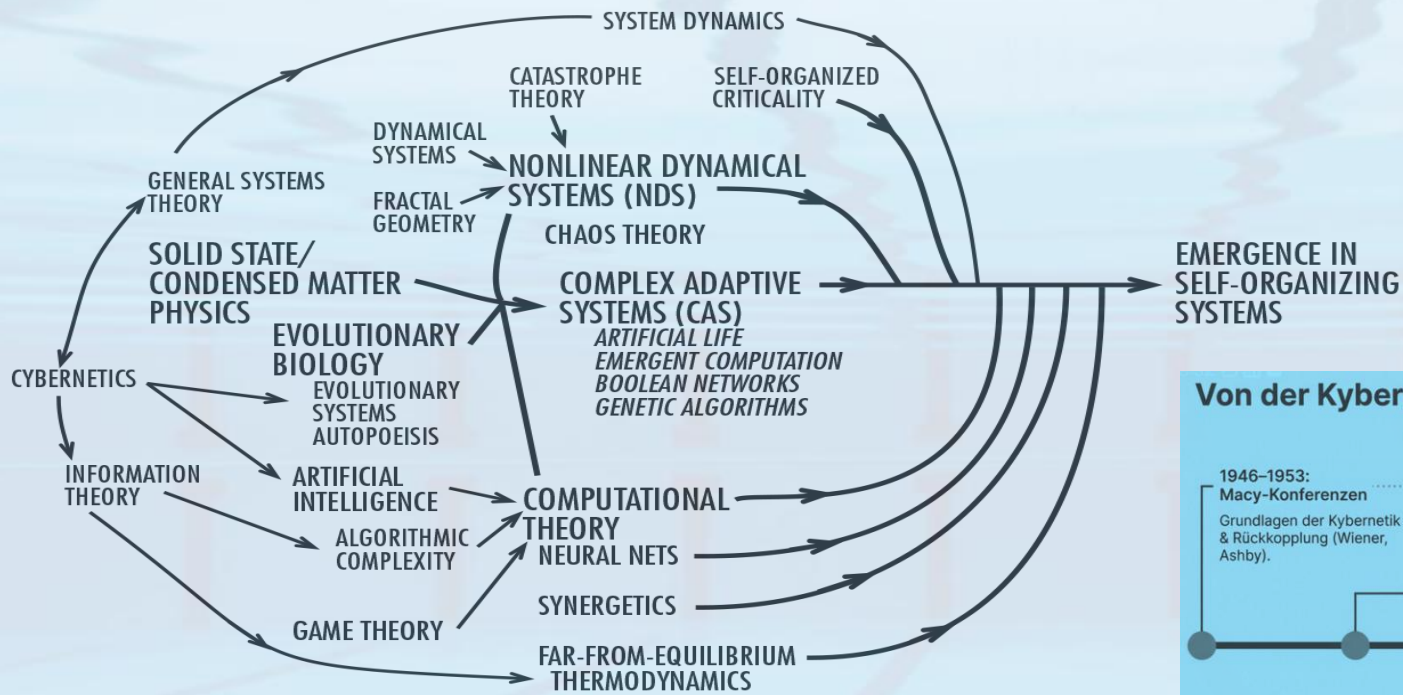
Das mechanisch-analytische Weltbild von **Galilei** und **Newton**

# Eine fragmentierte Landschaft von Ansätzen bis heute

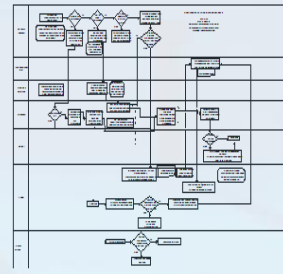
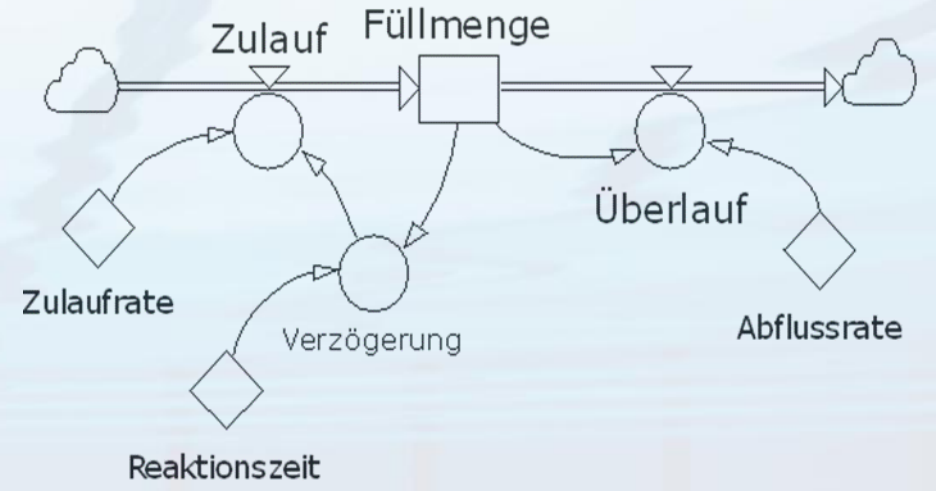
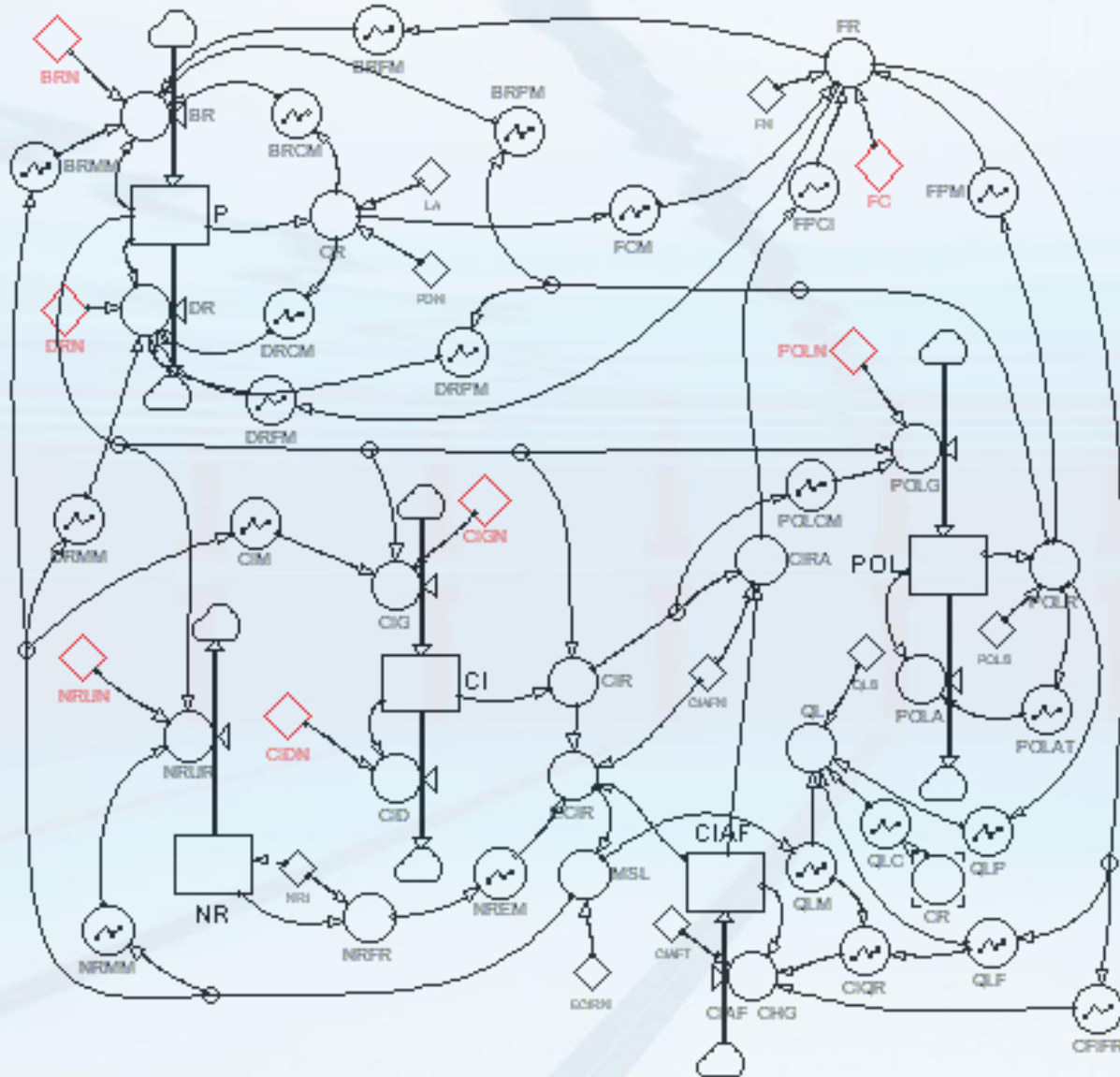
Newton



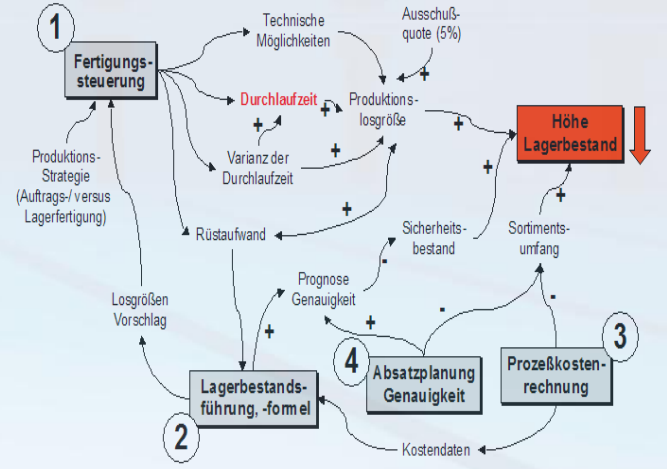
# Vielfalt der „systemtheoretischen“ Modellentwicklungen



# From World Dynamics to System Dynamics



Flussdiagramm Darstellung



# Kritische Aspekte

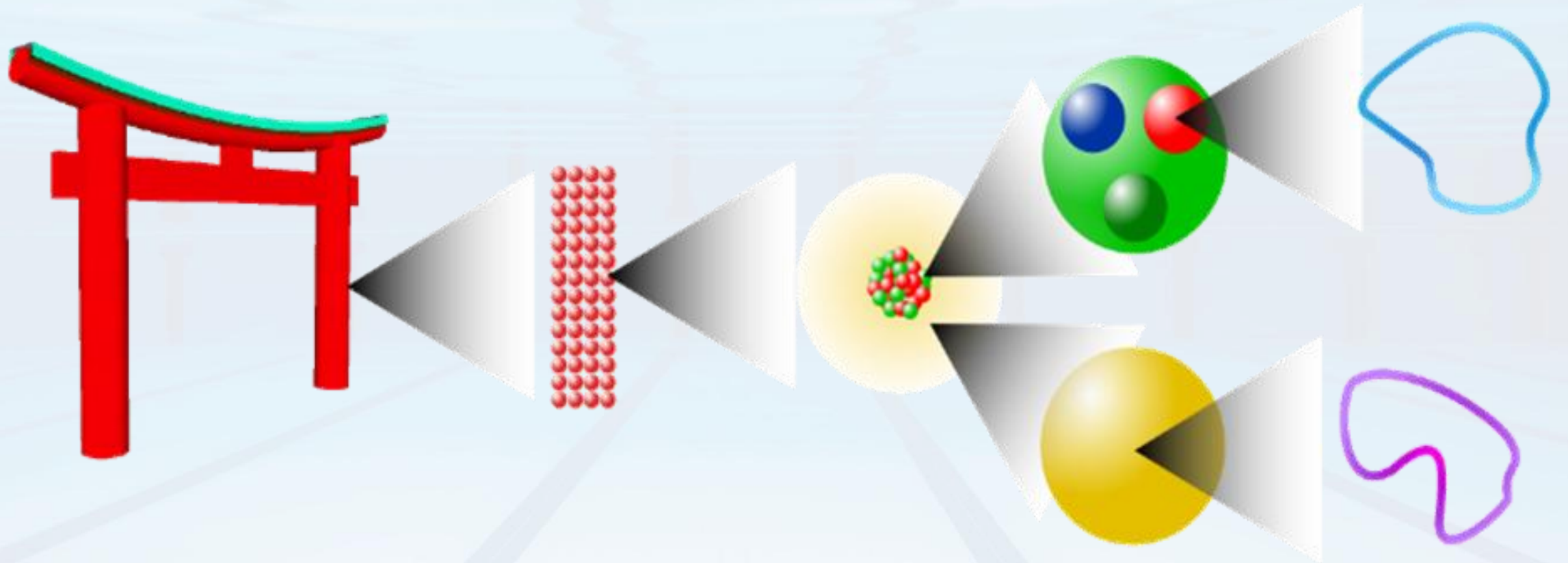
- Betrachtung von System und Umwelt, statt Systeme (Hyper, Sub-) und Räume
- Denken ausschließlich in Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen
- Fokus auf Feedback-Schleifen (Loops), Rückkopplungsschleifen zur Beobachtung des eigenen Verhaltens des Systems oder Selbsterzeugung versus Verbindungen von Komponenten der Systeme (Hyper-, Subsysteme)
- Bestimmung von passenden Grenzen zur Definition was zum System gehören soll / was nicht durch das System selbst (Selbstbeobachtung, eigene Logik) oder einen Beobachter? Selbstbezüglichkeit führt häufig zu Paradoxien.
- Fehlende Zeit-, Modus- und Raumunterscheidungen
- Vermischung qualitativer und quantitativer Faktoren und Größen
- Kein System ohne Kommunikation? Bedeutung Information, Form, Energie.

# Die besondere Herausforderung des F&E-Projekts

„**Ein skalierbares Mehr-Quadranten-Modell (MQM) soll aus einem 4-Quadranten-Modell (4-Q-M) entwickelt werden**, das Management und Führung moderner Organisationen eine dynamische ganzheitliche Analyse, mit einheitlichem Bewertungsmaßstab und zielkongruenter Steuerung ihrer hochkomplexen Systeme ermöglicht. **Der interdisziplinäre Ansatz verknüpft dafür verschiedene Dimensionen konsistent**, insbesondere:

- Träger und Ladungssystem, **Hyper- und Subsysteme**
- Person und Aktivität (Entscheiden und Handeln oder Denken)
- Räumliche und zeitliche Dimensionen (leer, absolut, zyklisch, relativ, stetig, diskret)
- Modi (immaterieller und materieller Art)
- Unbewusste und bewusste Reflexion, Gegenstands- und Parameterraum
- Portfolio- und Prozessdimension (Bestand, Ereignis und Fluss, Ablauf)“ (*Zitatende*)

Alles ist Bewegung?



M-Q-M bedeutet eine Aktivitäten-basierte statt Objekt-Betrachtung

**"Alles ist Bewegung,,**

Schleife, Knoten, Aktivität, System im Sinne von Knoten- oder Aktivitätenbündel, gleich ob aufgrund unterschiedlicher Verläufe **in Form eines Subjekts oder Objekts wahr-genommen.**

**"Bewegung resultiert stets aus Bewegung,,**

Historischer Zeitverlauf resultiert aus Hypersystemen und ist über Modi bzw. z-Achsen von (Sub-)Systemen darstellbar. **Hypersysteme bieten Logistik und Kommunikationsmittel.**

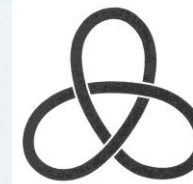
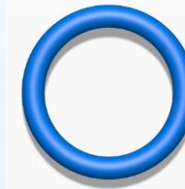
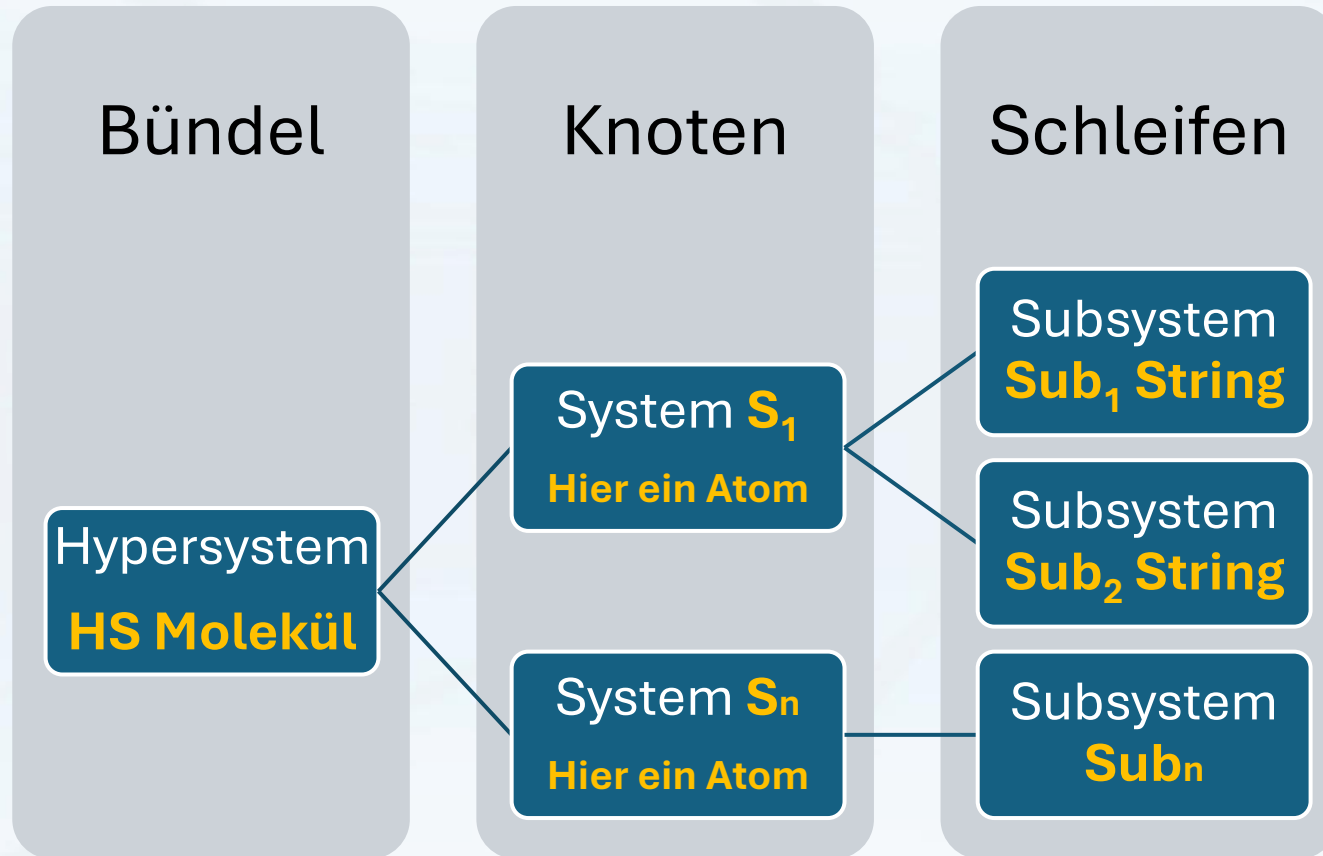
**"Bewegung benötigt stets eine Differenz in Zeit, Raum oder Menge,,**

Es existiert auf der Welt nur mehr oder weniger von etwas. Jede scheinbare Polarität oder Gegensätzlichkeit resultiert lediglich aus einer solchen Differenz von etwas. **Dabei strömt mehr stets zum weniger: Wasser, Ladung,** ... Bewegung folgt einer Richtung (Innen-/Außenattraktor)

**„Bewegung erzeugt bei bestimmter Dichte Wärme“** (Gesamt-Energie-/Impulserhaltung)

Von Systemen **freigesetzte Energie ermöglicht Ordnung** in deren jeweiligem Hypersystem.

# Systeme aus Bewegung/Aktivität bzw. deren Bündel



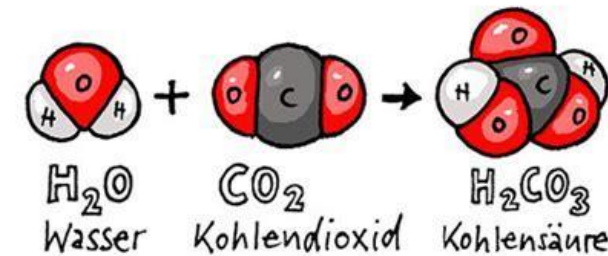
Carbon



Oxygen



Hydrogen



# Vorzüge des Leeren Raums bzw. absoluter Freiheit



Attraktoren der Bewegung:

**Leerer Raum oder Freiheit  
jeweils**

**Innen- gleich Außenattraktor**

d.h. nur ein grundlegender Attraktor und  
darüber hinaus lediglich mehr oder weniger  
„Dichte“ – Pull or Push (back)  
in materieller bzw. immaterieller Betrachtung

**Zur Diskussion:**

Innere versus äußere Freiheit  
**„die Gedanken sind frei...“?**



# Alle Konsistenzanforderungen sind erfüllt

**Mit dem entwickelten konsistenten Verknüpfungsansatz für Hyper- und Subsysteme werden alle vorgesehenen Anforderungen an das geplante M-Q-Modell - theoretisch - erfüllt.**

- Bewertungsmaßstäbe einheitlich aufbauend auf Energiegrößen der jeweiligen Komponenten
- Träger und Ladungssystem über Betrachtung Komponenten (Q1-Q4) statisch oder dynamisch
- Person (entsprechend Träger: Element, Zelle, Mensch...) und Aktivität (entsprechend Ladung)
- Räumliche (Q3 y-Achse absolut, Q2 y-Achse relativ, z-Achsen) und zeitliche Dimensionen (Q3 x-Achse absolut, Q4 x-Achse relativ, z-Achsen)
- Modi (immaterieller und materieller Art) über die jeweiligen z-Achsen der Komponenten (Q1-Q4)
- Unbewusste (Q3) und bewusste (Q1) Reflexion, Gegenstands- (Q3) und Parameterraum (Q1)
- Portfolio- (Q4) und Prozessdimension (Q2)

# Dialog & Kooperation

Wir laden Sie ein, das M-Q-M als Referenzrahmen für Systemmodelle mit uns weiterzuentwickeln.

**PRCSM Andreas Fornefett**

Direct: +49 160 9797 9324

Mail: [andreas.fornefett@prcsm.com](mailto:andreas.fornefett@prcsm.com)

[www.prcsm.com](http://www.prcsm.com)

**In Kooperation mit Fraunhofer IESE**

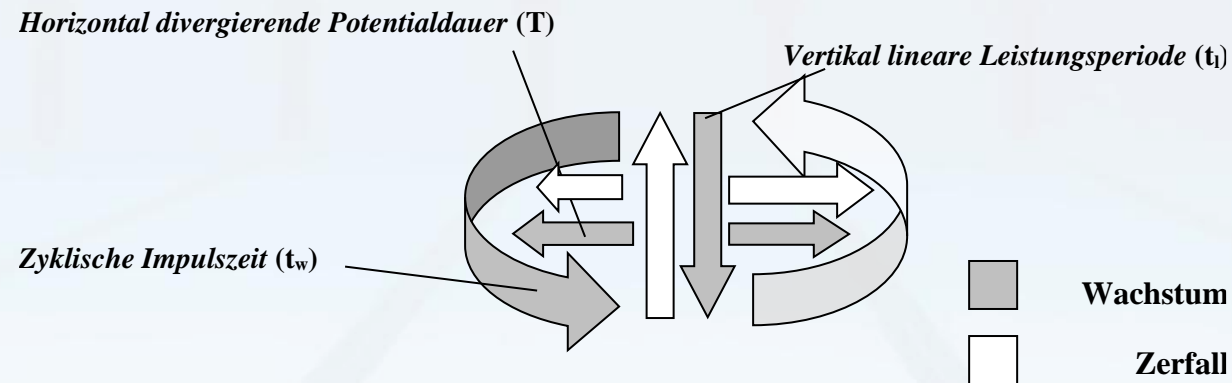
Gefördert durch das BMBF

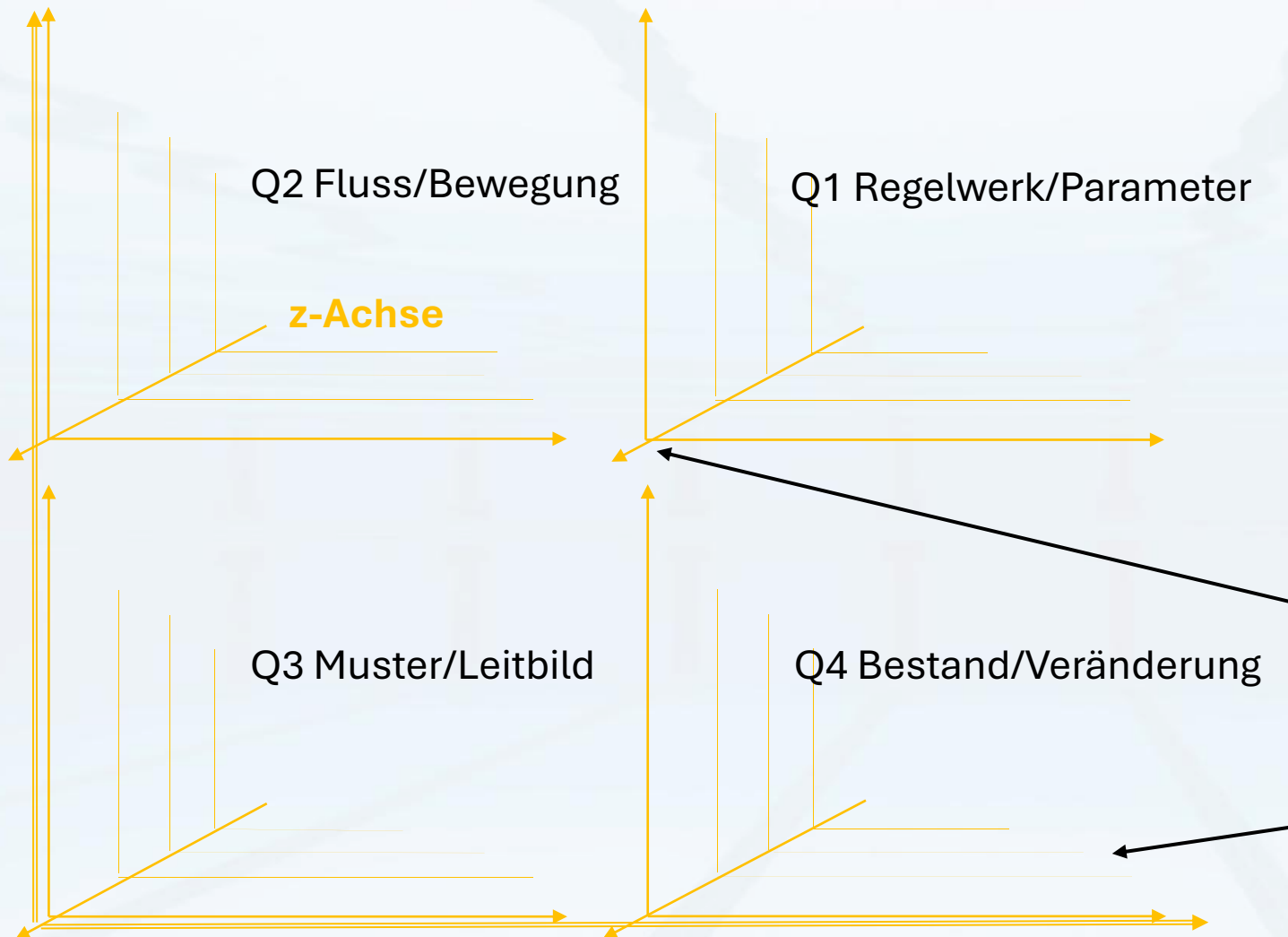


# Anhänge

Die alten Ägypter kannten bereits mehrere Arten von Zeit. Die wahrnehmbare, **irdische Zeit** mit Anfang und Ende sowie die Nechech und die Djet Ewigkeiten. Beide beziehen sich auf die Zeit außerhalb der Vergänglichkeit. Dabei drückt **Nechech** eine unendliche Anzahl von Zyklen aus, sowohl vergehende (Stunde) als auch sich verjüngende (Jahr). Sie ermöglichen den Wandel.

**Djet** beschreibt dagegen lineare Permanenz, „das was immer vorhanden ist“. Stellt man diese beiden Begriffe graphisch dar, so entspricht Nechech einem unendlichen Kreis und Djet einer unendlichen Geraden. **Die irdische Zeit beschreibt die Spannung der Pole**, die sich aufbauen und abbauen und schließlich drehen, eine **Metamorphose von Zerfall und Wachstum**.

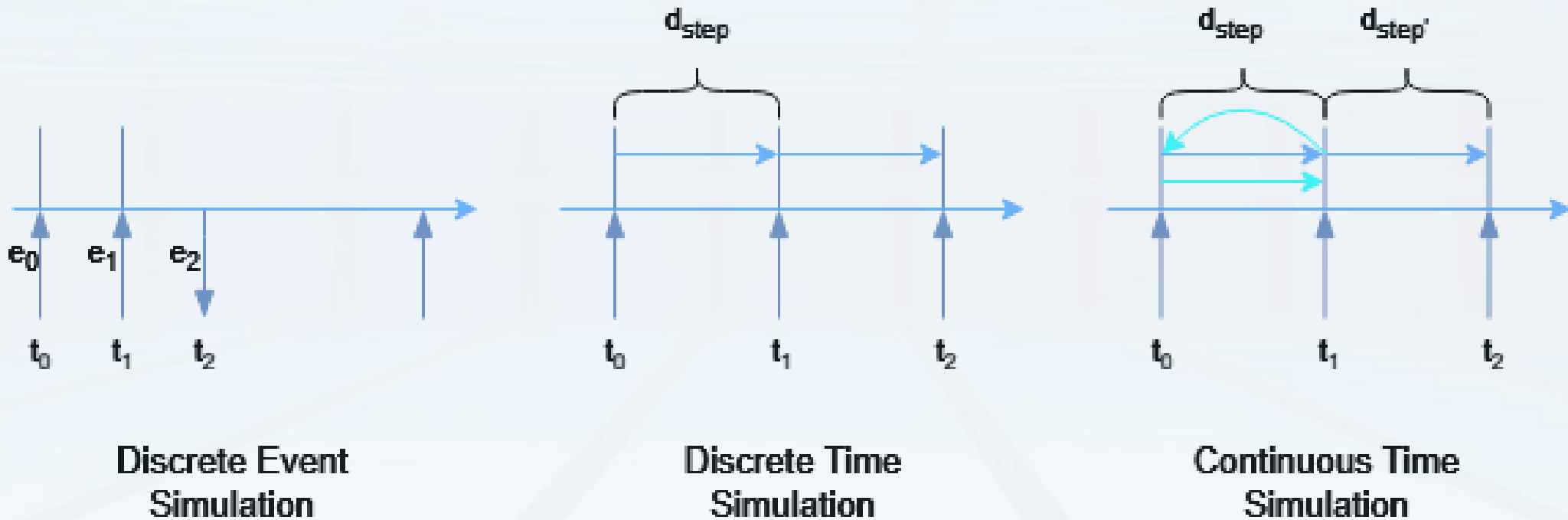




Die **z-Achse** erlaubt Beobachtung und Dokumentation eines Systems über einen „hyper“-historischen Zeitverlauf, d.h. über einen Zyklus des Systems (Werden-Vergehen) hinaus. Dabei können Teilungen und Entwicklung von Stämmen u.a.m. konsistent über fiktive Zeiträume, zum Beispiel eines Experiments, modelliert werden. Die z-Achse entwickelt sich diskret. **Trennung in Gedächtnis und Zukunft** möglich (Rückblick zum Anfang). Gleichzeitig können über die unterschiedenen **„Spalten“ der z-Achse** auch diverse Modi oder Phasen parallel und seriell betrachtet werden.

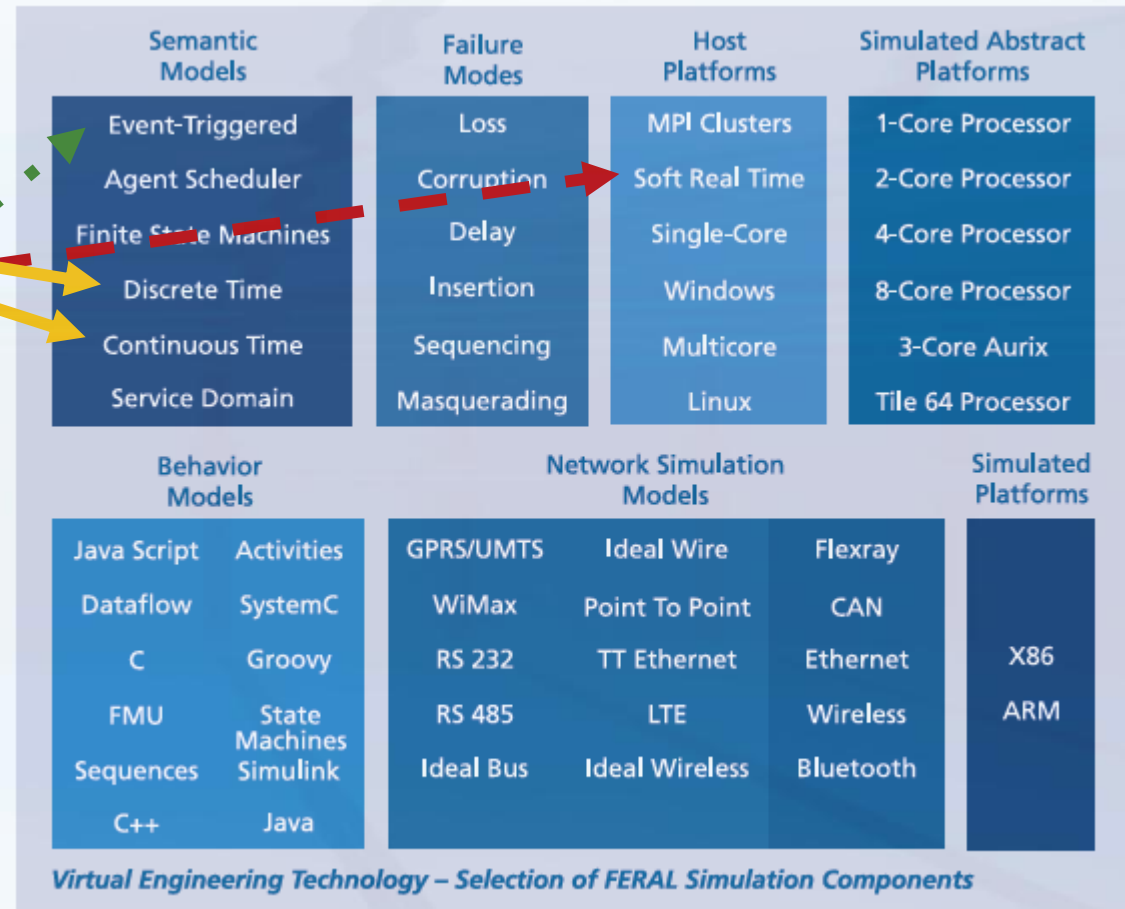
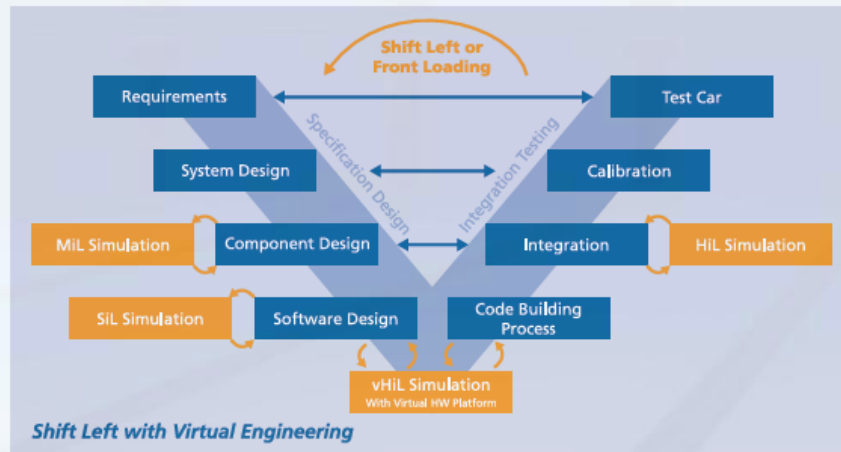
# Modelle der Berechnung und Kommunikation MOCC

Simulatoren und Simulationsmodelle entsprechen ihren Modellen für Berechnung und Kommunikation. Diese steuern Verhalten und Kommunikationssemantik. Gängige MOCCs für die Simulation sind: **diskrete Zeit, diskrete Ereignis- und kontinuierliche Zeitsemantik.**



# Das vom Fraunhofer IESE entwickelte FERAL-Simulationsframework

**2 Zeitdomänen:**  
**stetig, diskret (S),**  
**+ historisch (HS),**  
**+ elementar (SubS)**



# Hintergrundmodell nach Newton

Während heute ganz allgemein gilt, dass Newton sich zur Ursache der Schwerkraft nicht geäußert habe, so belegen Quellen, dass er zuvorderst davon überzeugt war, dass sie nicht von der Materie durch den leeren Raum ausgehen konnte: In einem Brief an die Royal Society äußerte Newton ausdrücklich die Vermutung, dass die

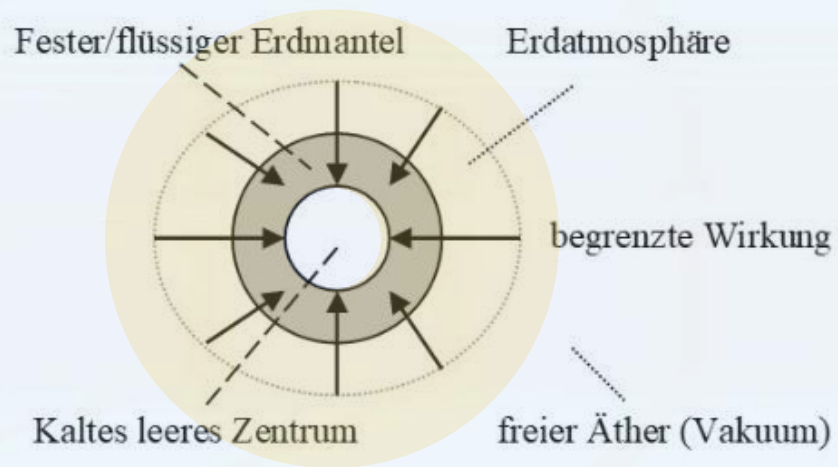
**„Anziehungskraft der Erde, welche wir Schwere nennen, durch die immerwährende Kondensation einer ätherischen Flüssigkeit verursacht“** sei,

*„... Denn wenn gärungsfähige oder brennbare Körper eine große Menge ätherischer Flüssigkeit in sich zu halten vermögen, so darf man auch von dem großen Körper der Erde annehmen, dass er immerwährend große Mengen ätherischer Flüssigkeit in sich zu kondensieren vermag. Dann aber muss auch immerwährend von allen Seiten die ätherische Flüssigkeit mit großer Schnelligkeit zum Ersatz nach der Erde hinströmen und diese Ätherströme werden die Körper über der Erde mit sich nach der Erde zu führen **und zwar mit einer Kraft, welche den Oberflächen aller der Teile, auf welche die Ströme wirken, proportional ist. Und wie die Erde, so mag auch die Sonne diese Substanz einsaugen und dadurch sich nicht bloß ihre Leuchtkraft bewahren, sondern die Planeten verhindern, sich weiter von ihr zu entfernen.**“*

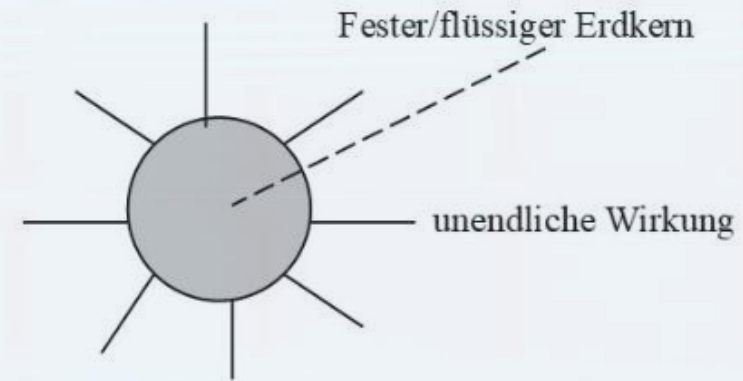
(Isaac Newton, „Theorie des Lichtes und der Farben (etc)“ (1675); Übersetzung von Ferdinand Rosenberger, Isaac Newton und seine Physikalischen Principien, Leipzig 1895, S. 105)

# Newtons Äquivalenzhypothese von Trägheit und Schwere

## Schwerewirkungen des Äthers versus Allgemeine Gravitation



*Ätherstrom-Theorie*



*Theorie vom Erd- bzw. Gravitationsfeld*

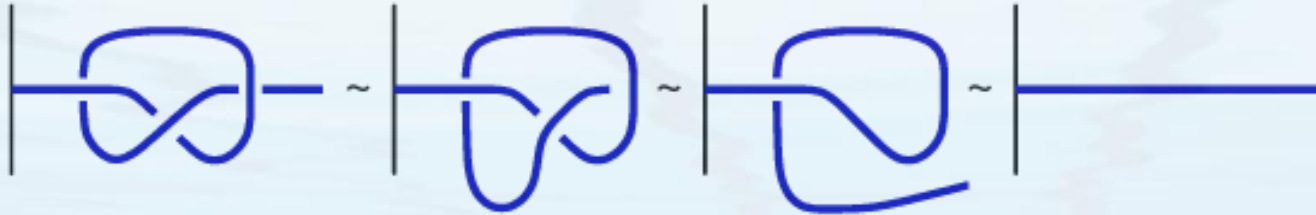
# Die ewige Frage nach dem ‚richtigen‘ Raumverständnis

## Weltbilder im Widerstreit

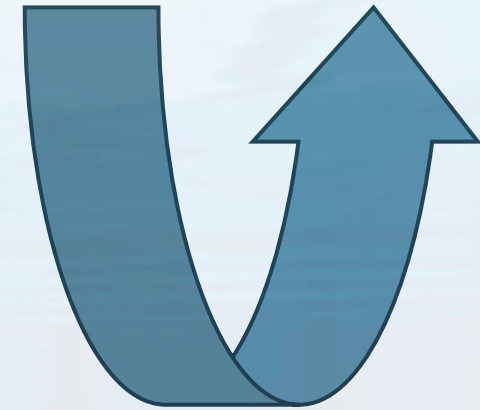
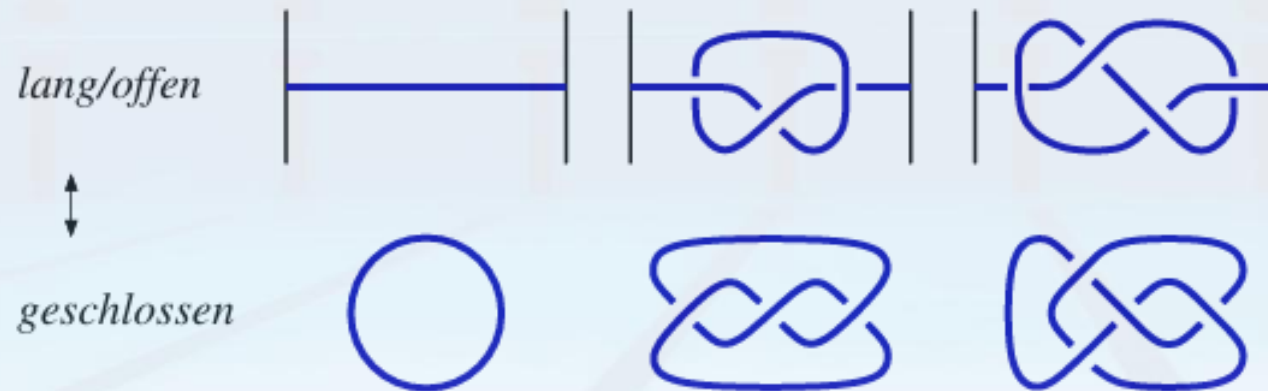
1. <i>Thales:</i>	„ <i>Wasser</i> “	<i>Hintergrund stetig, kein Leerer Raum</i>
2. <i>Demokrit:</i>	„ <i>Atome und die Leere</i> “	<i>Welt aus Elementen diskret und Leerer Raum</i>
<hr/>		
3. <i>Descartes:</i>	„ <i>Korpuskel-Theorie</i> “	<i>Äther stetig, kein Leerer Raum</i>
4. <i>Newton:</i>	„ <i>Raum und Zeit absolut</i> “	<i>Äther diskret und Leerer Raum</i>
<hr/>		
5. <i>Einstein:</i>	„ <i>Äther ist der Raum</i> “	<i>Raumzeit stetig, kein Leerer Raum</i>
6. <i>Dirac:</i>	„ <i>Äther ist das Vakuum</i> “	<i>Hintergrund diskret und Leerer Raum</i>

## Wie modelliert man Knoten?

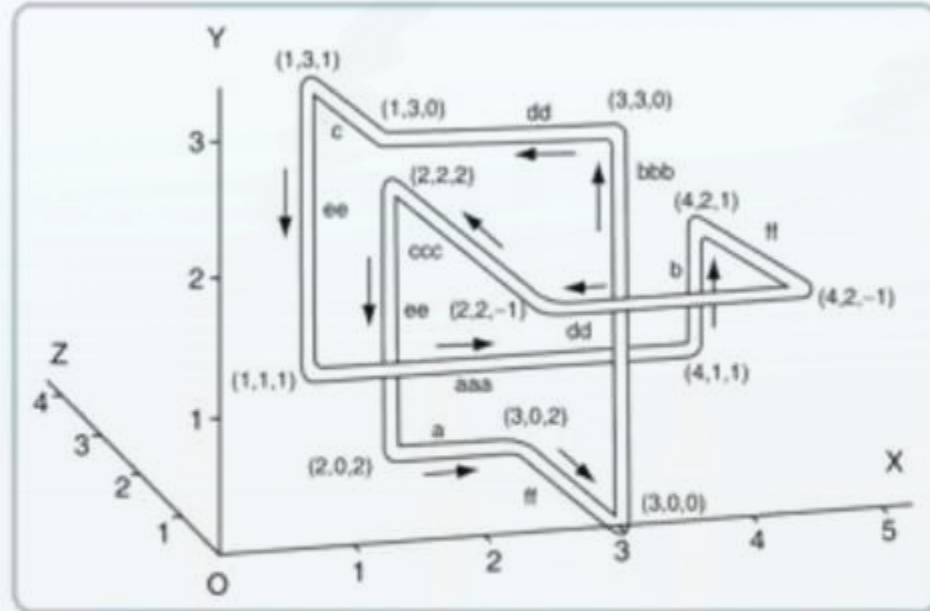
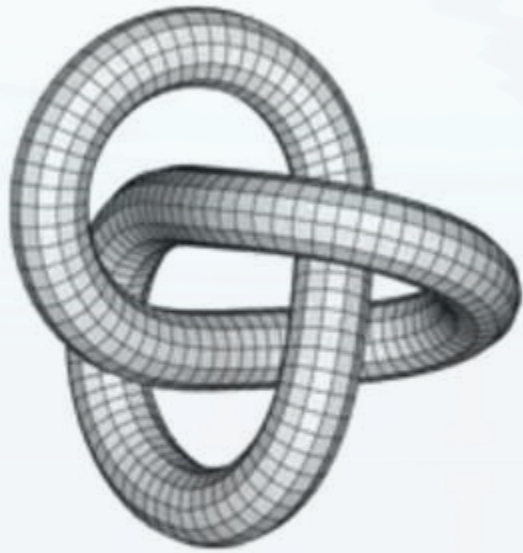
**Beobachtung** — In einem allzu naiven Modell sind alle Knoten gleich:



**Zwei Modelle** sind möglich (und erweisen sich als gleichwertig):



Vom Prozess  
zum System



Codierung der Kleeblattschlinge nach Turing (1954)

(1, 1, 1), (4, 1, 1), (4, 2, 1), (4, 2, -1), (2, 2, -1), (2, 2, 2), (2, 0, 2), (3, 0, 2), (3, 0, 0), (3, 3, 0), (1, 3, 0), (1, 3, 1)

*aaabffddccceeaaffbbbddcee*