



M-Q-M in short

*Ein vom BMBF gefördertes Forschungs- und Entwicklungsprojekt
der PRCSM Andreas Fornefett, Theley, in Kooperation mit
dem Fraunhofer IESE, Kaiserslautern,
zur Entwicklung eines IT-gestützten Mehr-Quadranten-Modells für eine
konsistente dynamische Steuerung hochkomplexer Systeme*

Zielstellung des vom BMBF geförderten Vorhabens



Ein skalierbares Mehr-Quadranten-Modell (M-Q-M) soll aus einem 4-Quadranten-Modell (4-Q-M) entwickelt werden, das Management und Führung von Organisationen eine dynamische ganzheitliche Analyse, mit einheitlichem Bewertungsmaßstab und zielkongruenter Steuerung hochkomplexer Systeme ermöglicht.

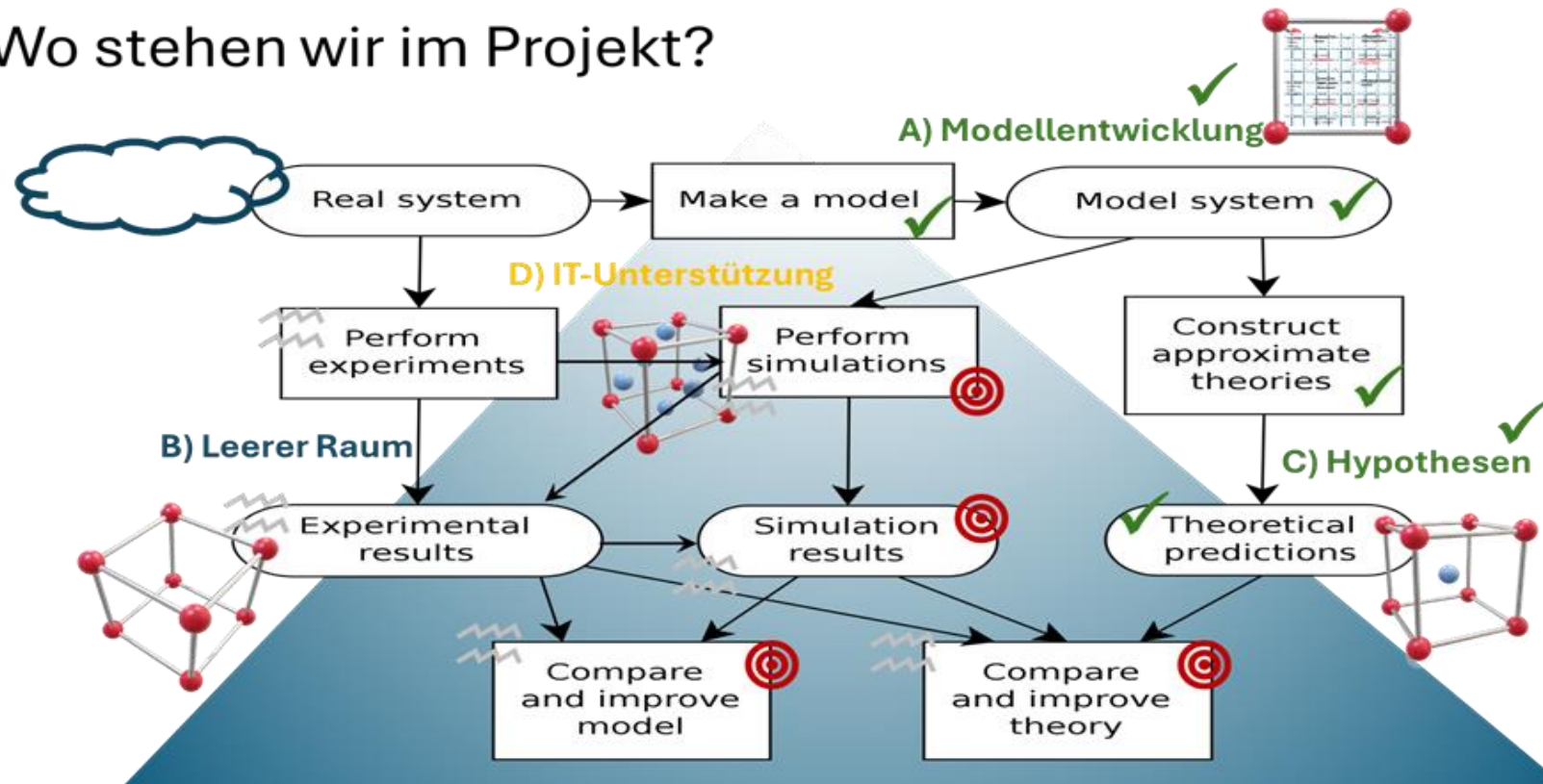
Der interdisziplinäre Ansatz verknüpft dafür konsistent verschiedene Dimensionen, insbesondere:

- *Träger und Ladungssystem, Hyper-, Systeme 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)*

Aktueller Status:

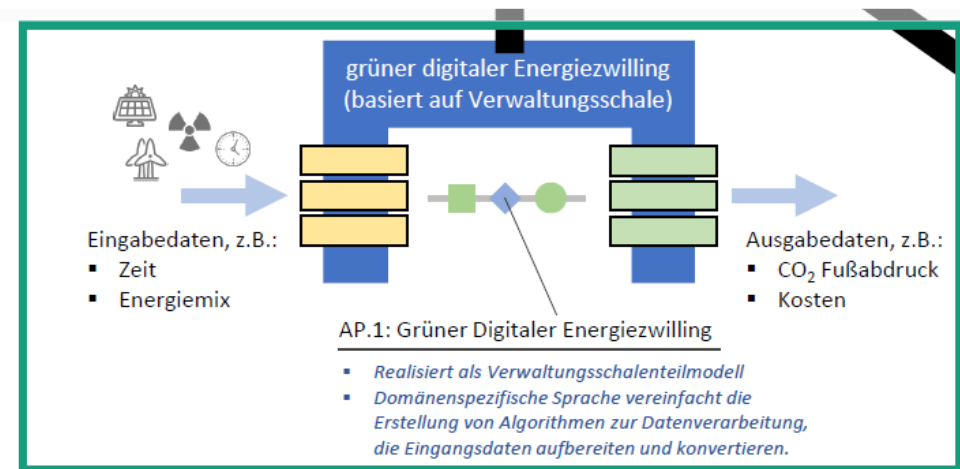
IT-gestützte Validierung des M-Q-M auf Basis eines dynamischen Konzepts einer „Grünen Virtuellen Fabrik“ als ein Energiesystem und Umsetzung mit einem Simulationswerkzeug durch IESE/ESY und PRCSM

Wo stehen wir im Projekt?



Aufgabenstellung für Phase: **D) IT-Unterstützung**

Ein **Grüner Digitaler Energie-Zwilling (gDEZ)** wurde und wird im Rahmen eines Forschungsprojekts von IESE (fort-)entwickelt. In dem hier dargestellten F&E-Projekt M-Q-M soll ein gDEZ der Formulierung eines geometrischen Ansatzes dienen. Dies mit dem **Ziel, ein konsistentes skalier- und replizierbares Modell zur Unterstützung „grüner Virtueller Digitaler Fabriken“ zu erhalten.**



Die interne Wertschöpfung und Kommunikation Grüner Virtueller Fabriken sind hierfür digital so zu verknüpfen, dass dadurch das Energiemanagement wirtschaftlicher und unter Berücksichtigung von CO₂ Emissionen nachhaltiger werden.

Weitere Schritte im F&E-Projekt M-Q-M betreffen die strategische und technische **Entwicklung eines Prototypen zur Analyse, Steuerung und Simulation von Grünen Virtuellen Fabriken in FERAL.**

Von der Virtuellen zur Virtuellen Digitalen Fabrik

Unter **Virtueller Fabrik** wird im allgemeinen ein Zusammenschluss rechtlich unabhängiger, heterogener Unternehmen verschiedener Kompetenzausrichtungen zu einem temporären Unternehmensverbund verstanden, sei dies im Wertschöpfungsprozess horizontal, vertikal oder diagonal bzw. informell oder formell. Beispiele bilden Arbeitsgemeinschaften, GbR, virtuelle Partnerschaften, Kooperationen, Joint Ventures, Interessengemeinschaften, Strategische Allianzen, Netzwerke, Keiretsus, Kartelle, Syndikate.

Keine neue Idee an sich hinsichtlich diverser vorhandener rechtlicher, wirtschaftlicher und sozialer Erkenntnisse und wettbewerbsrechtlicher Rahmenbedingungen.

Ziel einer virtuellen Fabrik im vorliegenden Projekt ist es, unter Nutzung von moderner Kommunikation (mittels **Digitalem Zwilling, Verwaltungsschale**), zeitlich befristete Aufträge auch ad hoc **effizienter** zu erledigen. Eine gezielte Erweiterung von (IT-)Kompetenzen entlang der Wertschöpfungskette, von der Entwicklung bis zur Fertigstellung und Services, ermöglichen zudem eine **Effektivitätssteigerung**.

Digitale Fabriken i.S. Vernetzung Digitaler Zwillinge

Die **Digitale Fabrik** ist generell ein Standard zur virtuellen Planung und Betriebsführung von Fabriken und Anlagen, deren Grundlagen in der **VDI-Richtlinie 4499**, Blatt 1:2008-02, definiert sind als „Oberbegriff“ für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen und Methoden u.a. der Simulation sowie zur Simulation und 3D-Visualisierung.

Eine **virtuelle digitale Fabrik** dient der ganzheitlichen Planung, Realisierung, Steuerung und stetigen Verbesserung aller wesentlichen Fabrikprozesse und Ressourcen in Verbindung mit dem Produkt.

Der **Digitale Zwilling** (heute eher ein Oberbegriff und in folgenden Betrachtungen nur noch als **Digitaler Energie-Zwilling** bezeichnet) bildet als Basis zunächst einmal Maschinen oder Betriebe bzw. deren Funktionen in einem digitalen, zunehmend dreidimensionalen, dynamischen Modell nach oder ab und verknüpft dieses mit gemessenen Leistungs- und Verbrauchsdaten, wie Strom oder Wärme. Dies zur Unterstützung von deren virtueller Entwicklung und Steuerung bis hin zur stetigen Verbesserung und ohne deren tatsächliche Verwendung bzw. einen Betrieb zu stören.

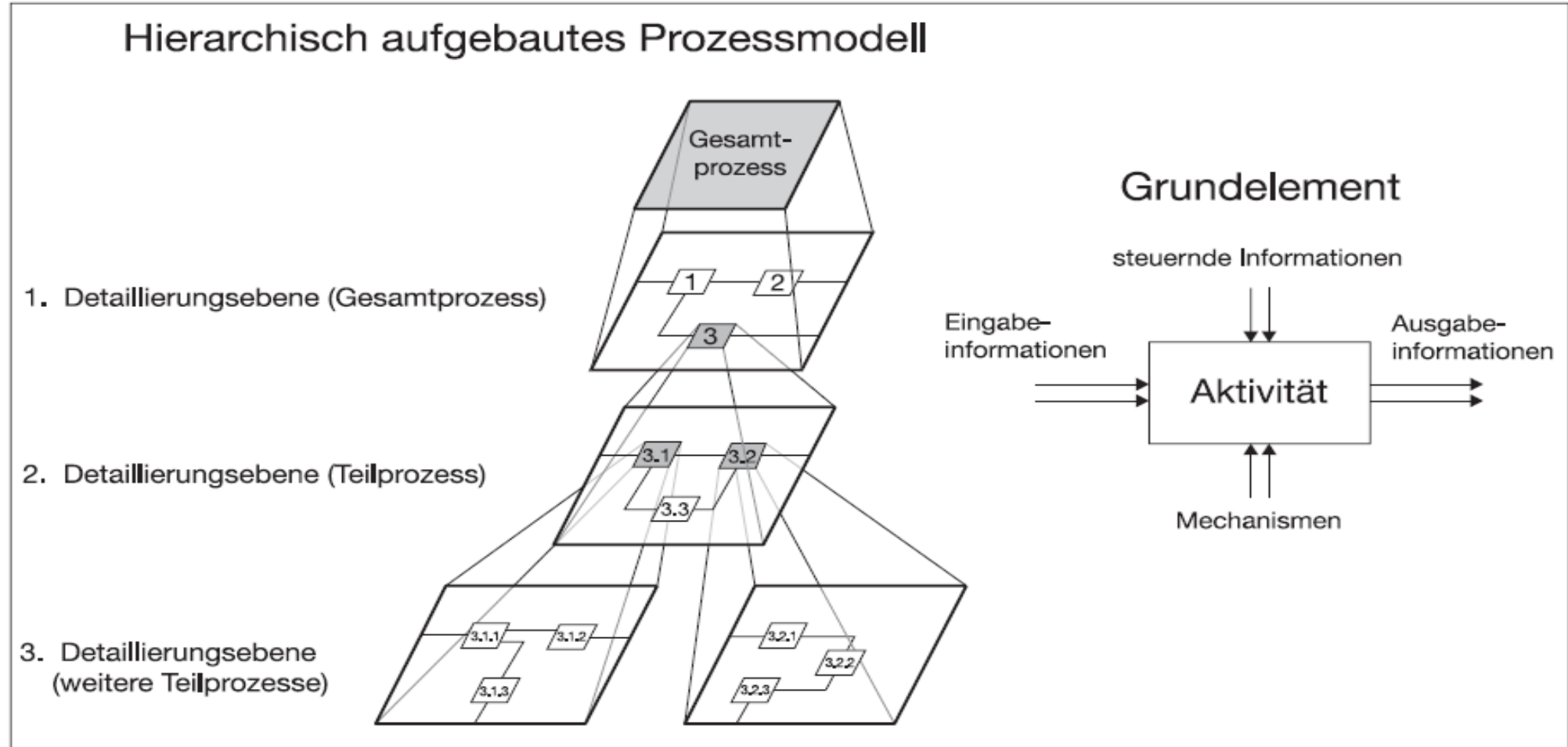


Bild 14. Modellierung von Anwendungsprozessen mittels SADT

Digitaler Zwilling oder Digitaler Schatten?

Der **Digitale Zwilling** ermöglicht virtuelle Tests zur Entwicklungszeit oder das Bewerten von Entscheidungen zur Laufzeit. Die Umsetzung sich selbst optimierender Systeme wird mit einem Digitalen Zwilling deutlich vereinfacht. Neben einem reinen Abbild kann ein Virtueller Zwilling auch bidirektionale Schnittstellen realisieren, die es ermöglichen, auf ein System einzuwirken. Damit wird der Digitale Zwilling zum Werkzeug zur sektorübergreifenden Kopplung von Systemen. **Man unterscheidet deshalb zwischen dem Digitalen Schatten und dem Digitalen Zwilling.**

Der **Digitale Schatten** bildet den Zustand eines realen Systems, aller relevanten Komponenten und auch der Umgebung digital ab. Dies umfasst auch Nutzer, Zertifikate und Prozesse. Einheitliche Schnittstellen gewährleisten dabei die Kopplung über Systemgrenzen hinaus und ermöglichen eine systemübergreifende Interaktion. Durch die Integration von Simulationsmodellen kann das Verhalten des Systems vorhergesagt und virtuelle Testumgebungen können realisiert werden.

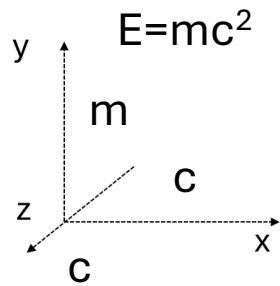
Durch den Digitalen Zwilling lässt sich zudem steuernd auf ein System einwirken. Integrierte Sicherheitskonzepte stellen dann sicher, dass der Virtuelle Zwilling und das reale System zu jeder Zeit ein vorhersehbares Verhalten zeigen.

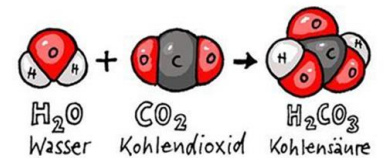
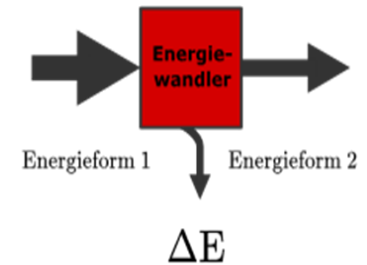
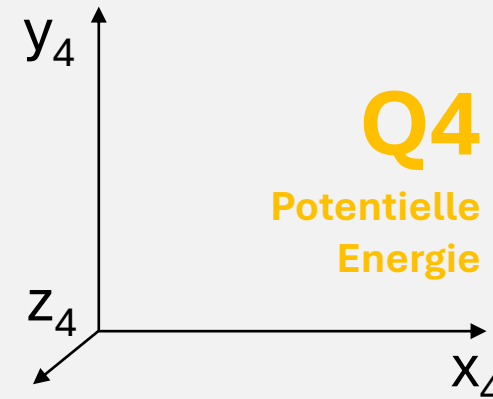
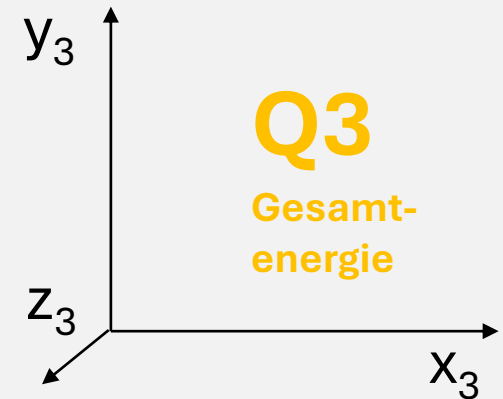
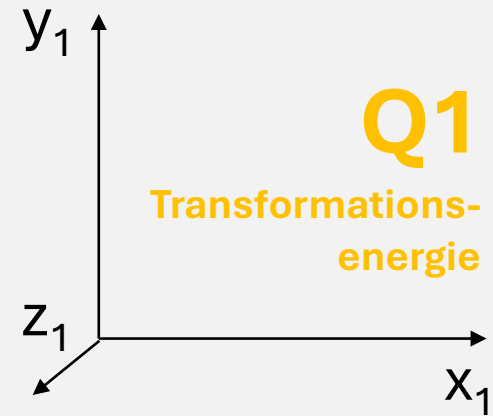
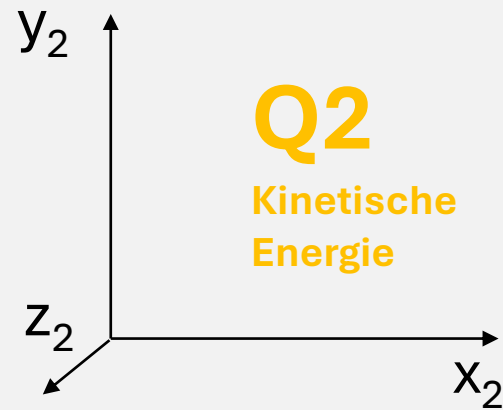
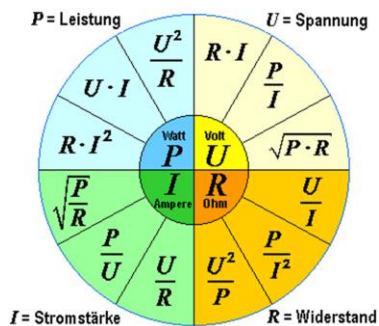
Digitaler Zwilling und Energie

Der „**Digitale Energie-Zwilling**“ verknüpft ein digitales, dreidimensionales, dynamisches Abbild oder Modell eines analogen Sachverhalts oder Systems mit digitalen und analogen Strom-, Wärme- oder Wasserverbrauchsdaten. Ein hierzu verwendetes **Simulationswerkzeug wie FERAL oder Ptolemy II** soll durch eine Zusammenführung und Visualisierung verschiedener Datenquellen Potentiale zur ökologischen und ökonomischen Versorgung mit Energie sowie Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung aufzeigen und kann informationsbasiert zur Sensibilisierung von Energieverbräuchen und -kosten beitragen.

Eines der zentralen Ziele des M-Q-M Projekts ist der **Kern eines digitalen Energie-Zwillings** sowie ein wissenschaftlich fundiertes methodisches Konzept. Hierzu sollten wichtige technische, aber auch organisatorische und rechtliche Grundlagen für das System erforscht werden. Mit Verbrauchs- und Produktionsmonitoring von Energie, Modellierung und Simulation von Veränderungen ist es möglich, in der Fortentwicklung den Fokus auf Funktionen zu legen, die priorisiert werden. Weitere Schritte liegen in der strategischen und technischen Weiterentwicklung von Anwendungsfällen im Prototyp.

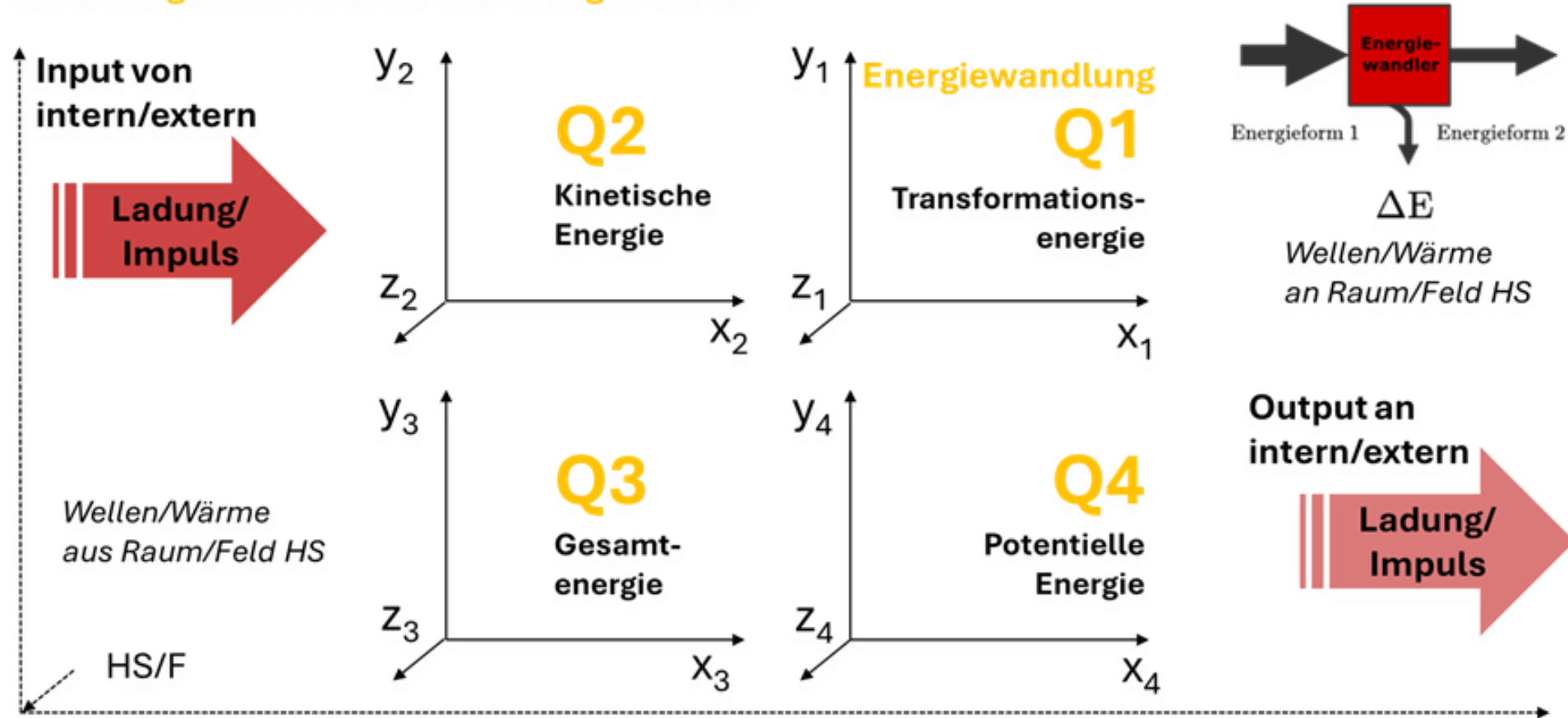
Vorabskizze: M-Q-M-Kern für einen Energie-Zwilling

$E=mc^2$




M-Q-M Produktion, Logistik, Kommunikation intern/extern

Stets der gleiche Kern für alle Energieformen



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

"Alles ist Bewegung,, - Energie

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

"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.**

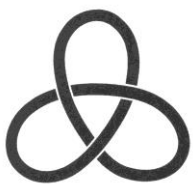
"Bewegung benötigt stets eine Differenz in Zeit, Raum oder Menge,,

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



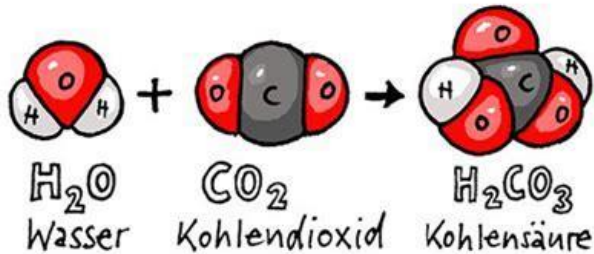
Carbon



Oxygen



Hydrogen



Bündel

Knoten

Schleifen

Hypersystem
HS Molekül

System **S₁**
Hier ein Atom

System **S_n**
Hier ein Atom

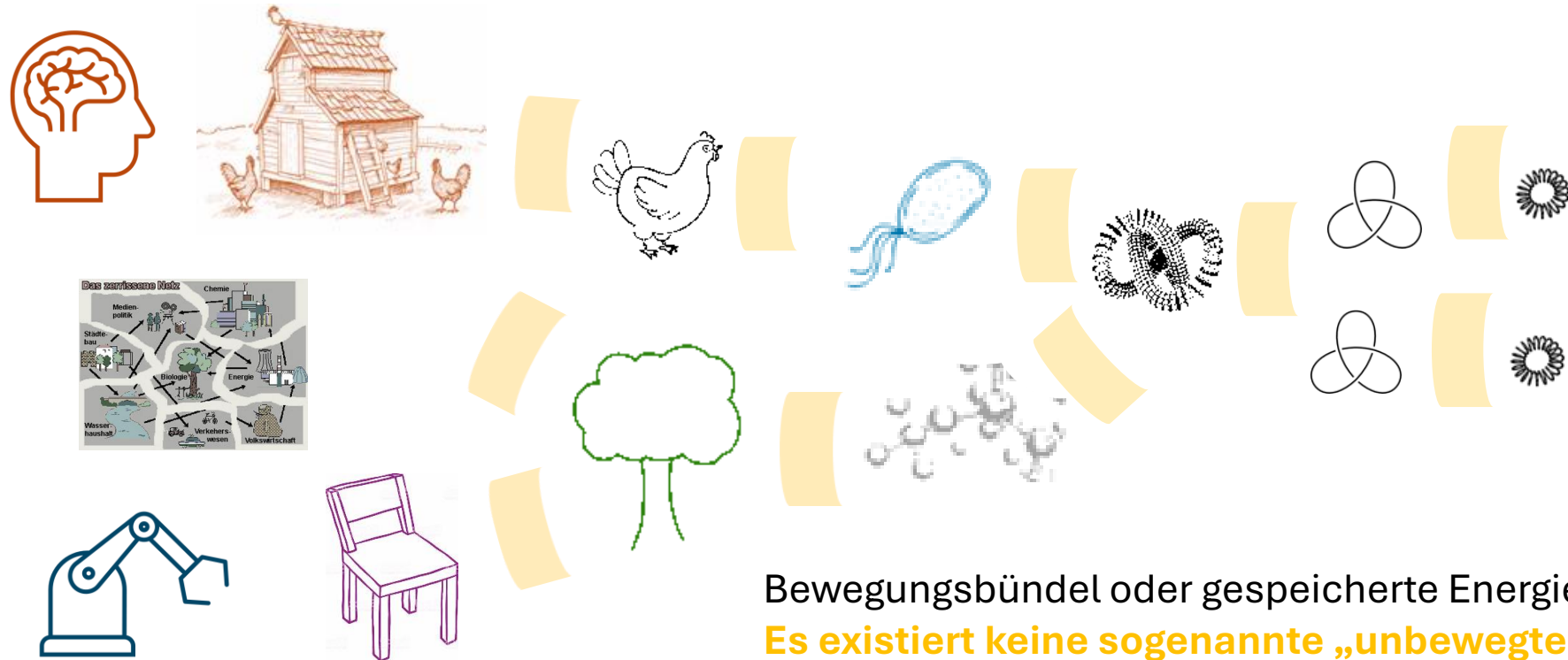
Subsystem
Sub₁ String

Subsystem
Sub₂ String

Subsystem
Sub_n

Systeme aus reiner Bewegung – **Alles ist Energie, Form, Information**

Beispiele

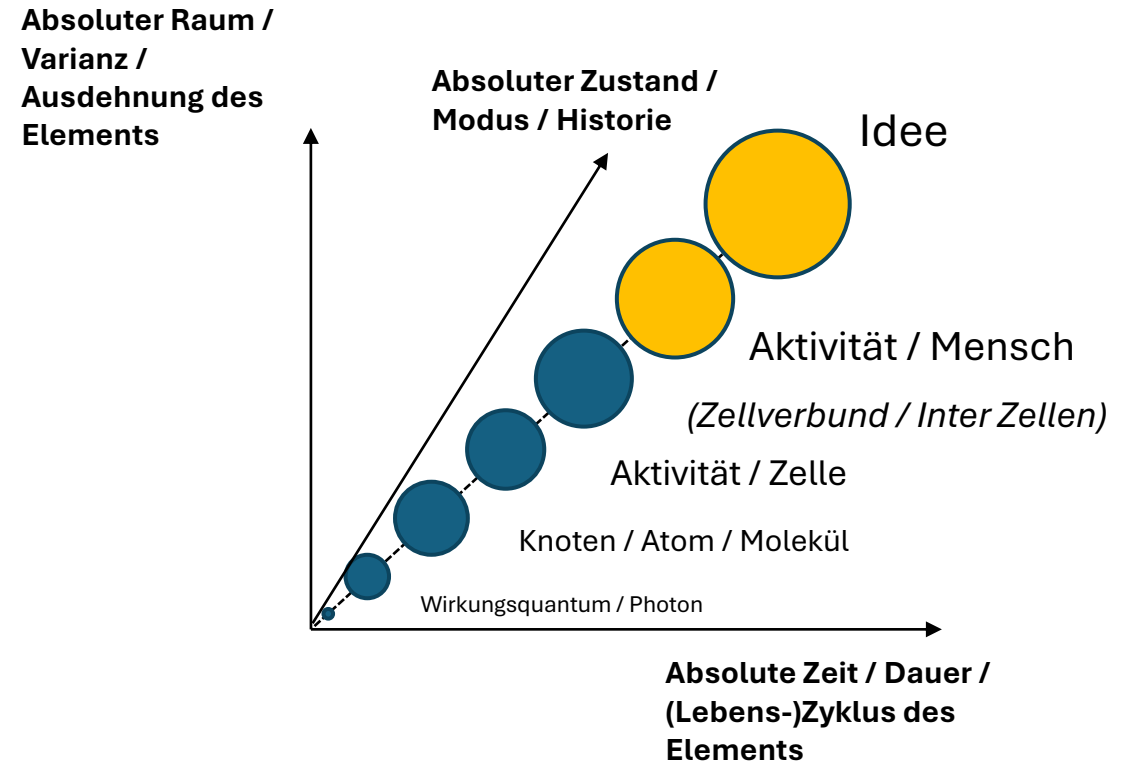


Elementare Systeme

Träger versus Ladung (Q3)

**Q3 im 4Q-Modell:
Absoluter Raum und Zeit in Anlehnung an Newton**

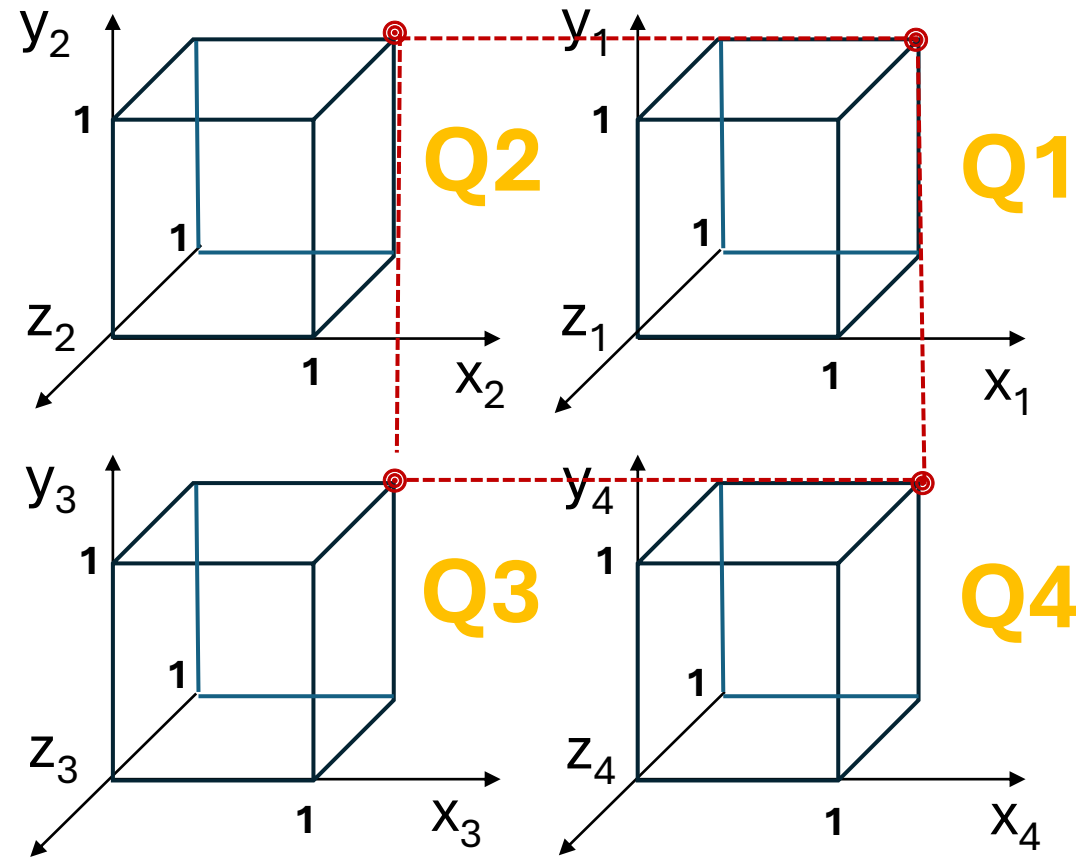
1. Im Q4-Modell werden grundsätzlich nicht die Träger, sondern die wesentlichen Interaktionen der Träger eines Systems abgebildet, d.h. Wirkungselemente wie: das *Wirkungsquantum* oder *Ladung(senergie)* in der Physik oder die *Aktivität* eines Lebewesens (Träger organisierter Systeme) oder Zellaktivitäten des Systems Mensch (als Träger wiederum der Aktivitäten einer Organisation).
2. Denn der Mensch oder eine Organisation existieren nicht durch ihre Zellen bzw. Menschen (einer Organisation) an sich, sondern durch deren wesentliche Aktivitäten. Zellen oder Menschen sind austauschbar, wesentliche Aktivitäten hingegen nicht.
3. Eine Aktivität sei hier definiert als Entscheidung und Handlung (Tun oder Unterlassen). Wobei eine Entscheidung als auch die Handlung in diversen Schritten und unter Beteiligung mehrerer Träger erfolgen kann: Hierarchisch oder im Team.



Im Q4-Modell stellen Bewegung bzw. Aktivität das kleinste Wirk-Element dar. In der kleinsten Bewegung bzw. Aktivität verschmelzen Träger und Ladung.

Geschlossenes System im M-Q-M (Input = Outcome)

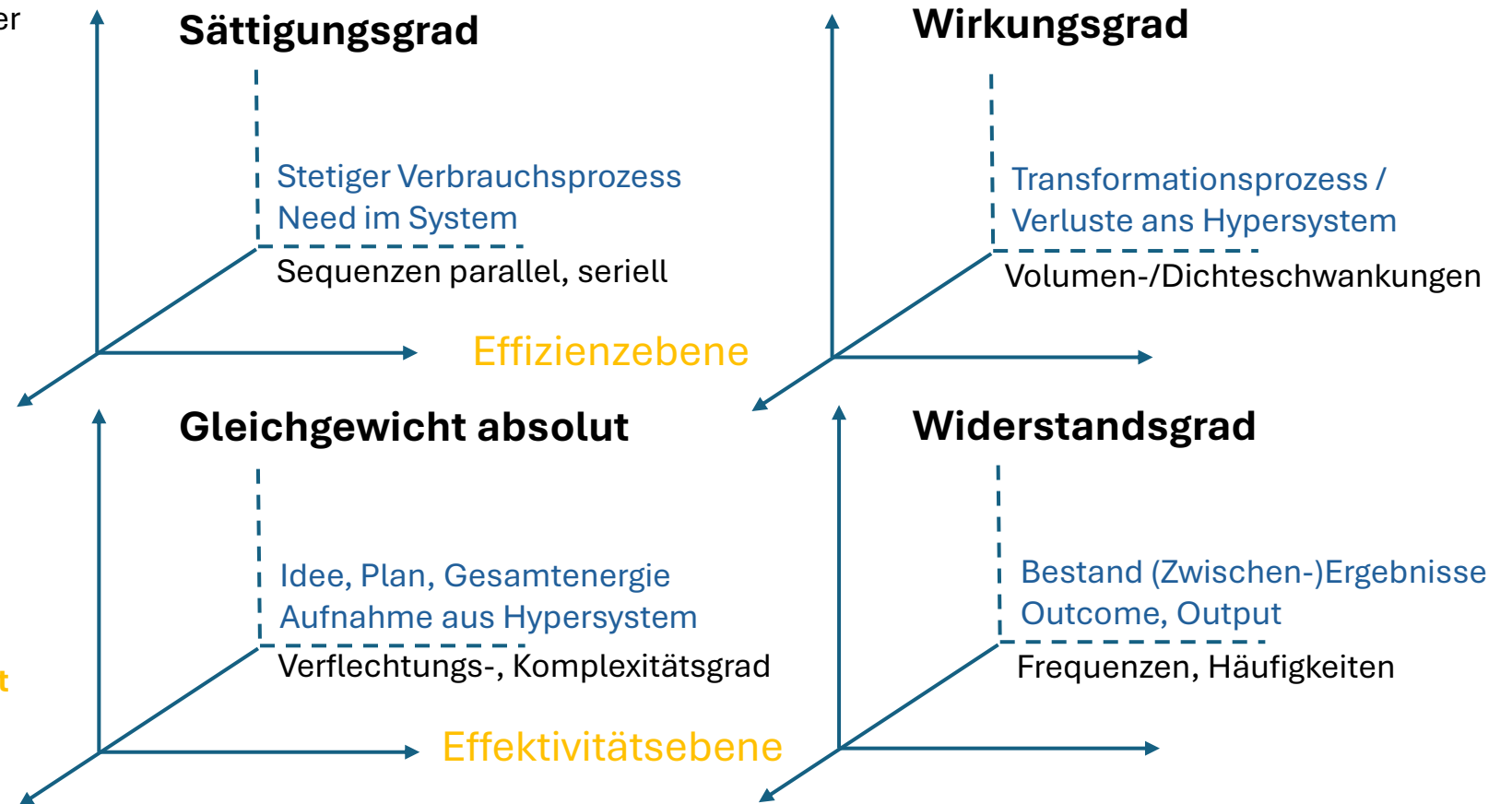
Träger = Ladung



System: Aktivität / Bewegung / Bündel

Sättigungsgrad = großes oder
geringes Bedürfnis, außen
Ressourcen nachzufragen
Wirkungsgrad =
Widerstandsgrad =
Gleichgewicht =

Effektivität = Actual / Target
Effizienz = Benefit / Need



Die Komponenten eines Systems im Einzelnen

Q1:

Parameterraum = (y_1 ; x_1 ; z_1)

Q2:

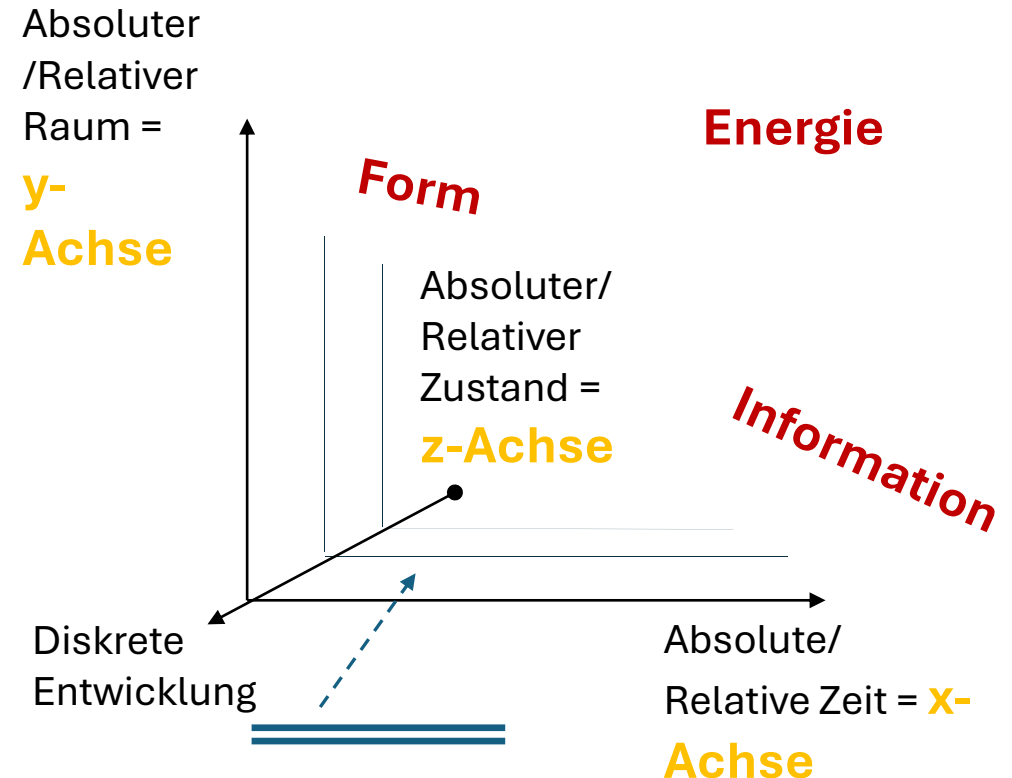
Prozessraum = (y_2 ; x_2 ; z_2)

Q3:

Bild, Motiv, Reflexion = (y_3 ; x_3 ; z_3)

Q4:

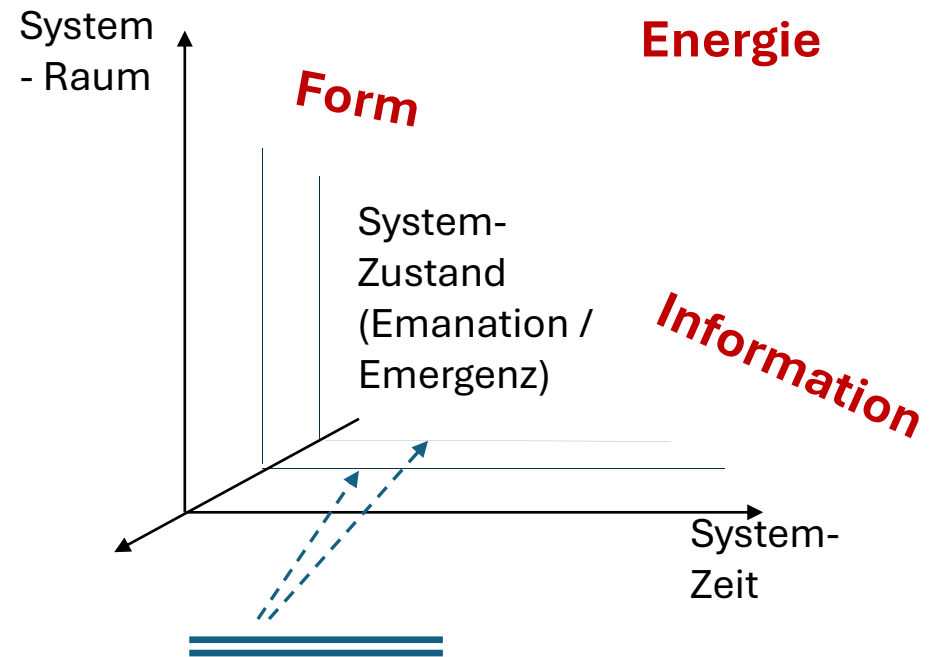
Veränderungsraum = (y_4 ; x_4 ; z_4)



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**.



Masse/Form, Information, Energie



y-z-Ebene

Form/Masse



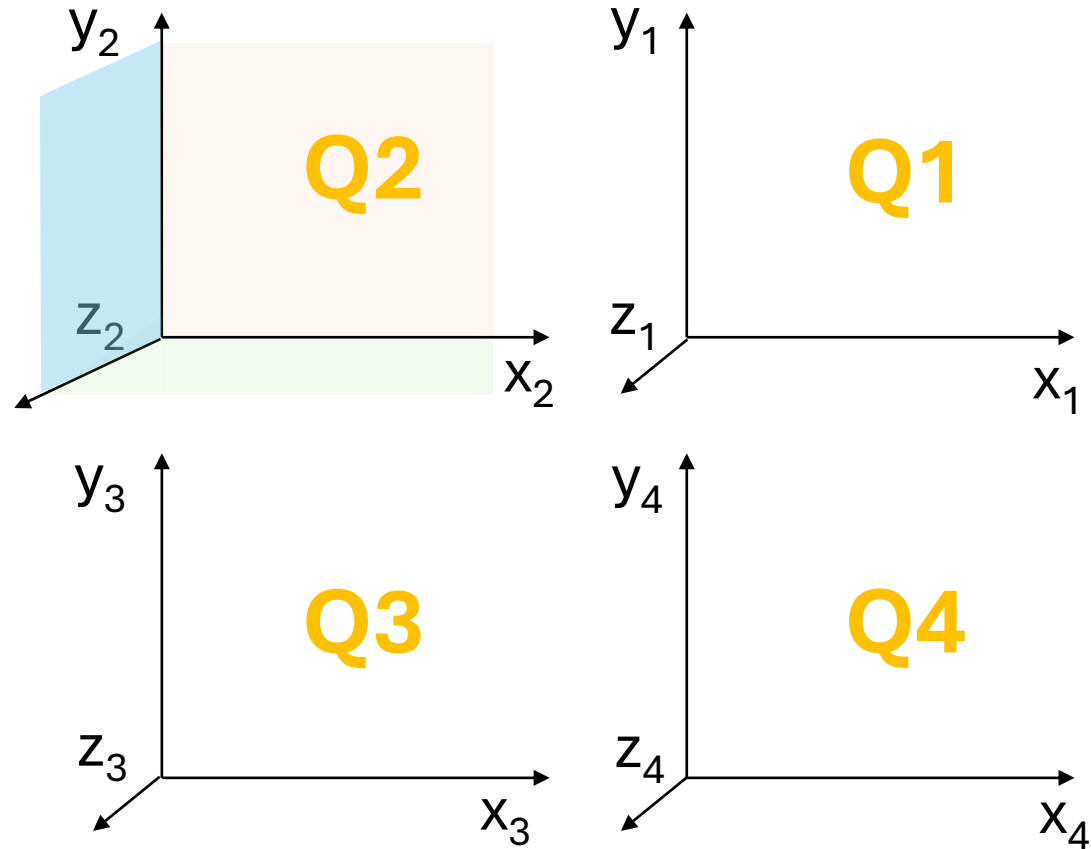
x-y-Ebene

Energie

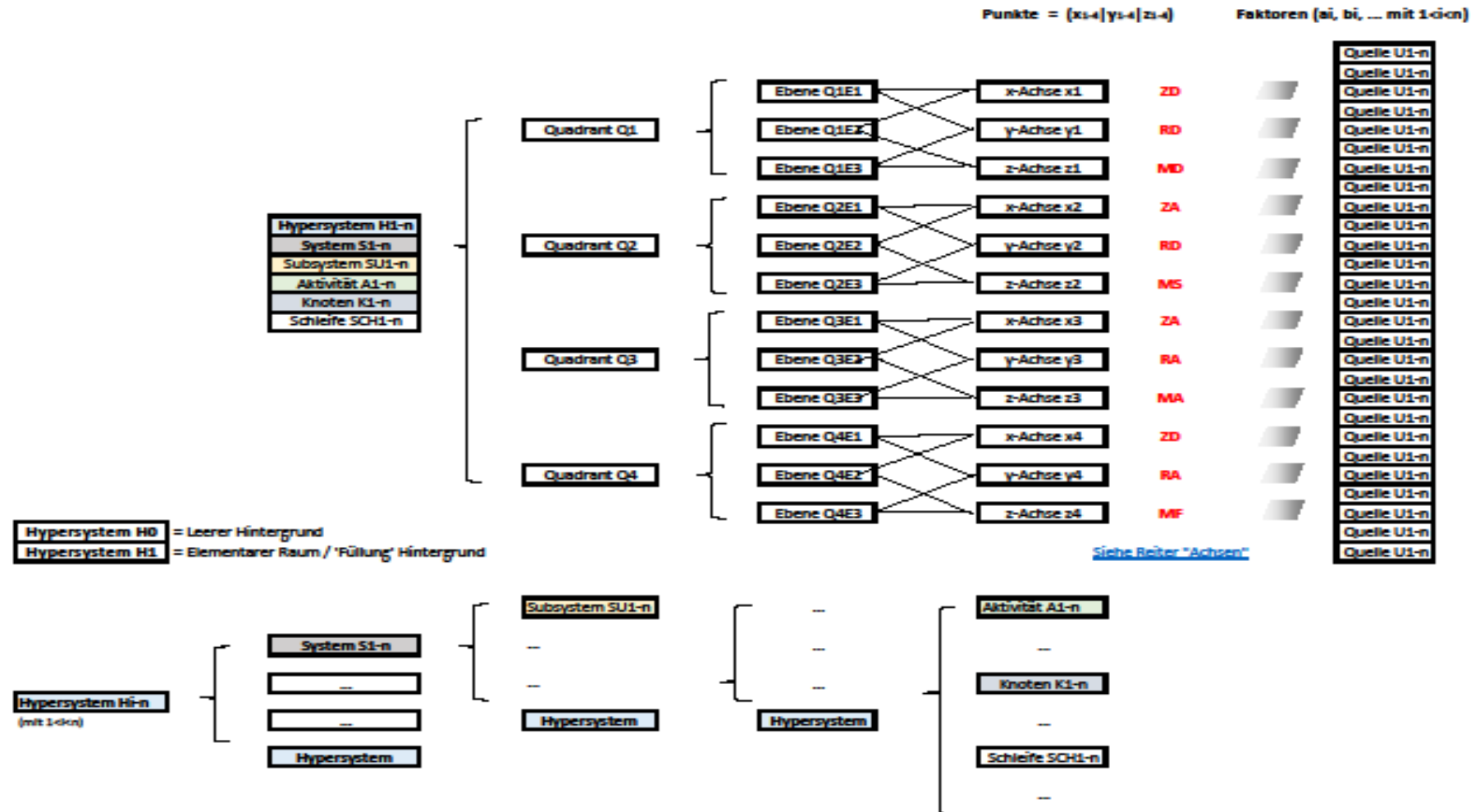


x-z-Ebene

Information

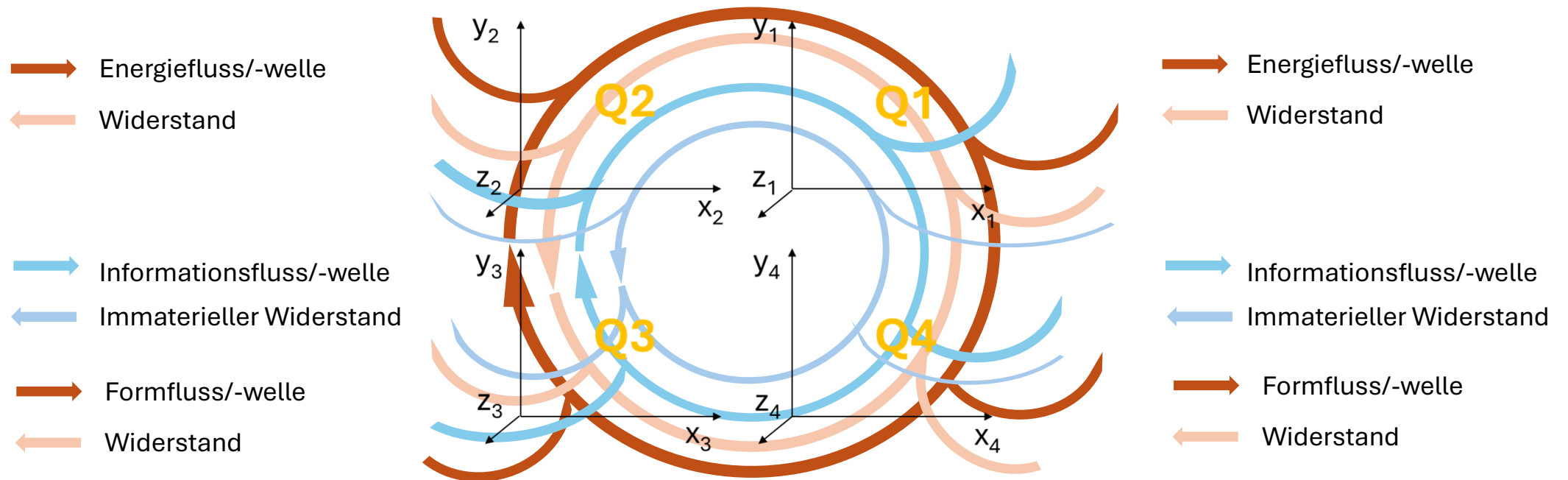


Hierarchien zur Datenverarbeitung im MQM

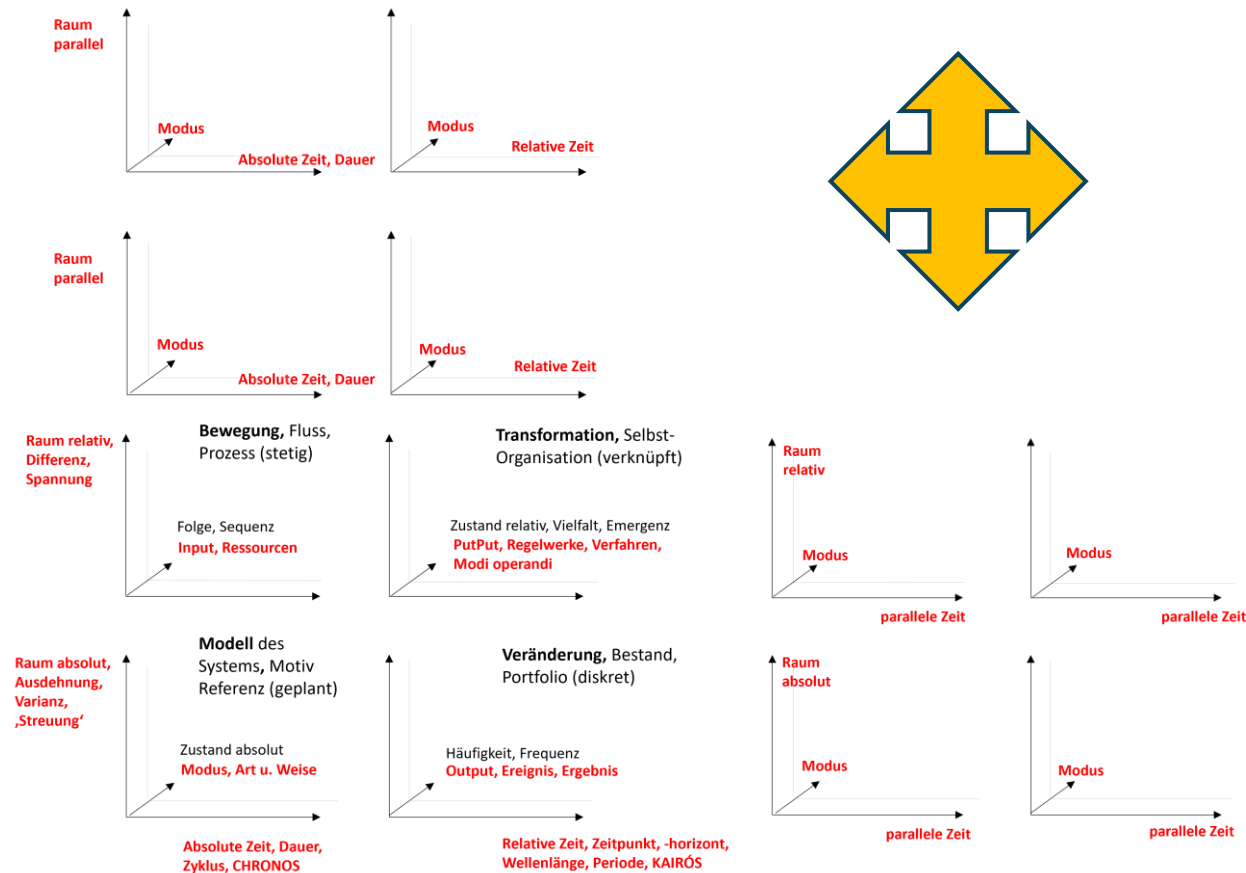


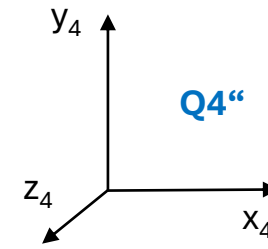
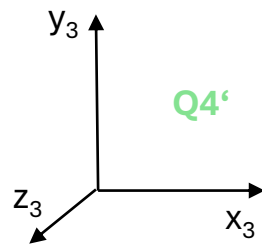
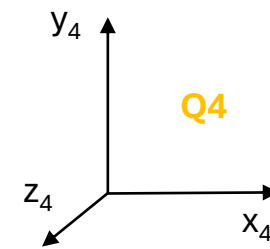
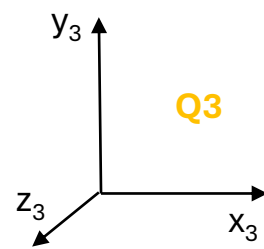
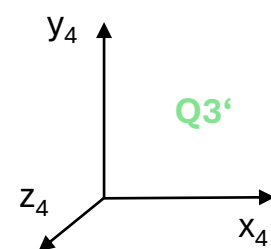
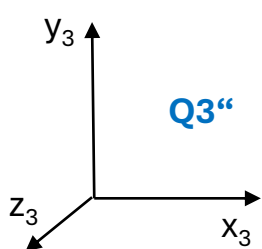
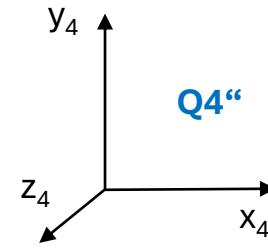
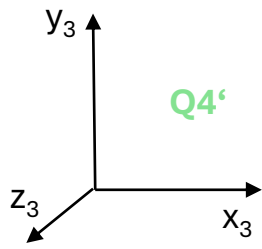
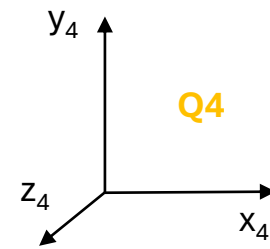
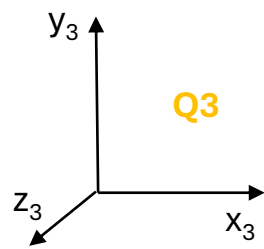
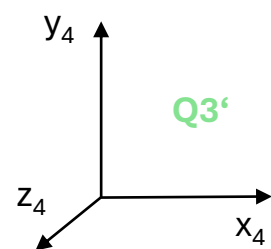
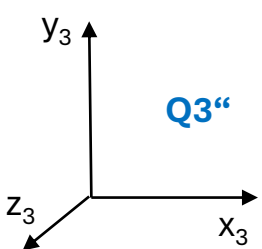
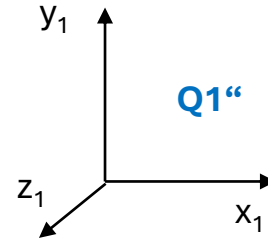
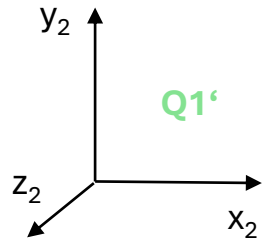
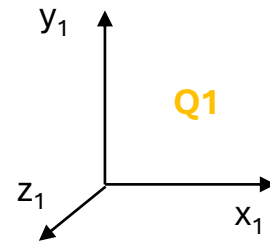
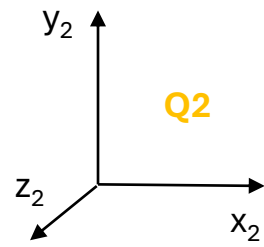
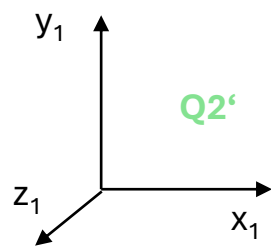
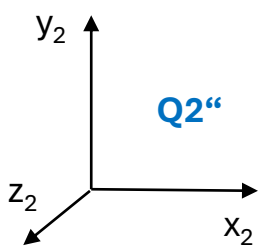
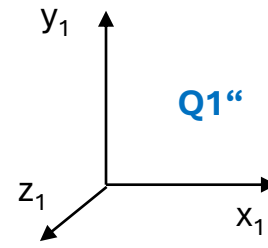
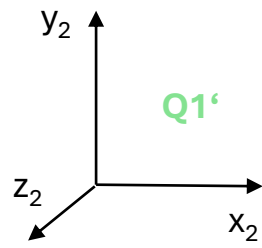
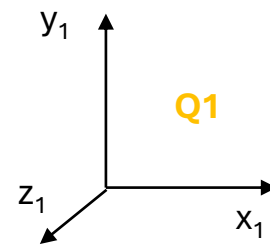
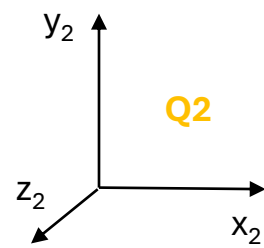
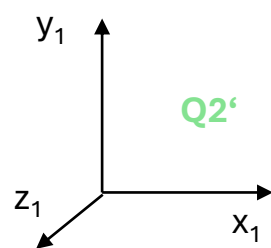
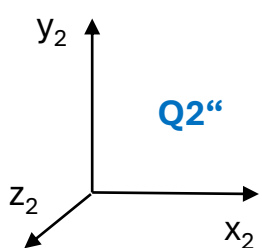
Energiefluss und Widerstand im M-Q-M

Ausdifferenzierte externe Wechselwirkungen und interne Komponenten eines Systems

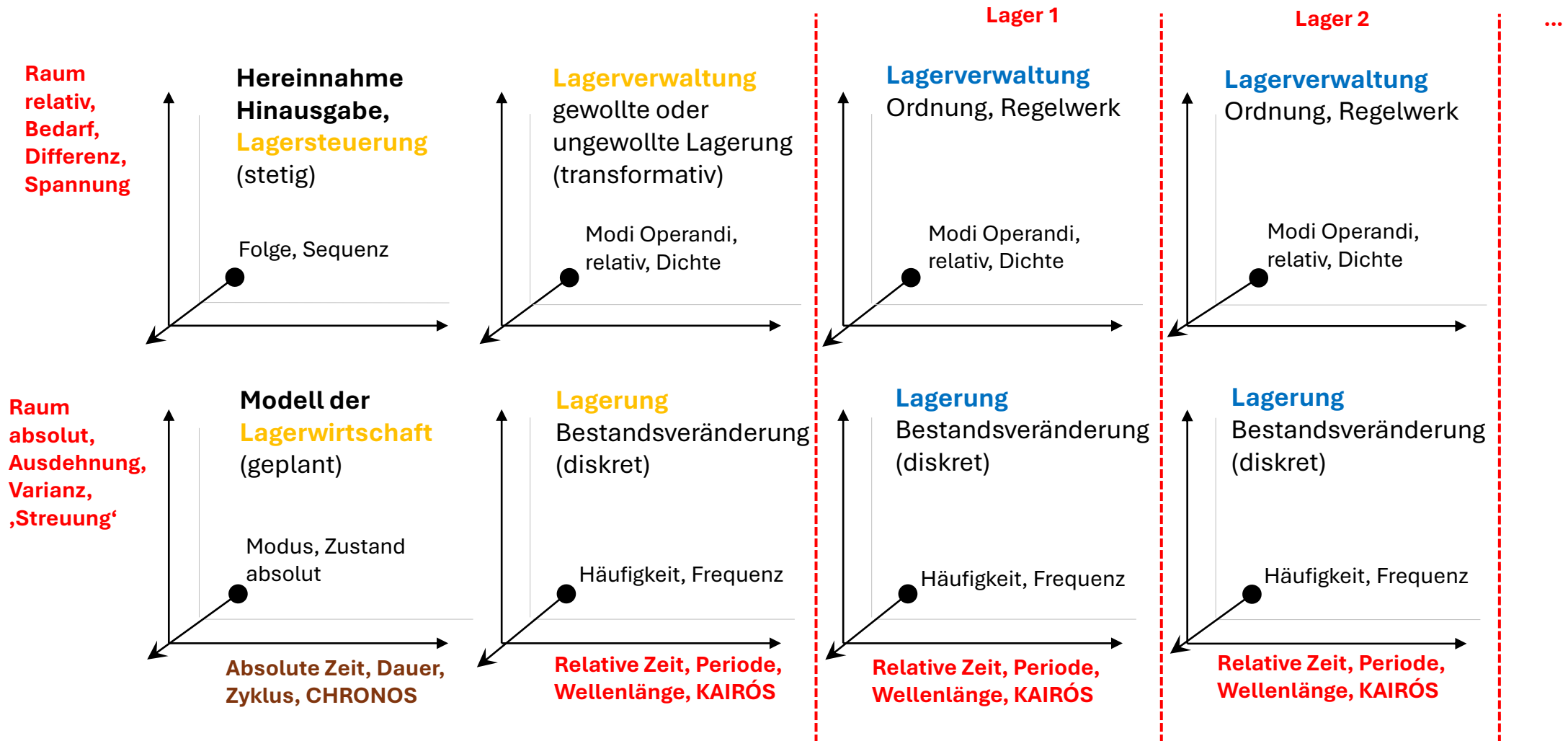


Zudem erweiterte Betrachtungen mit dem M-Q-M möglich

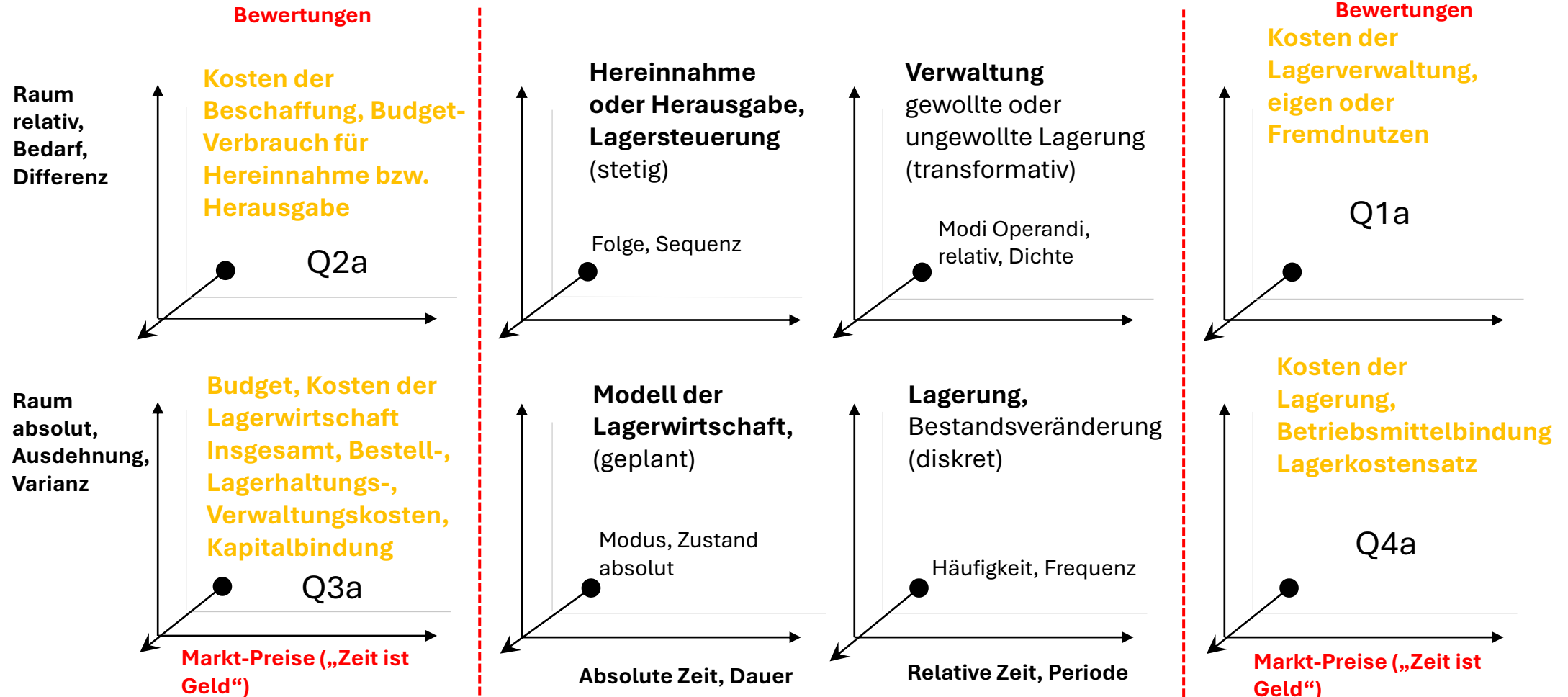




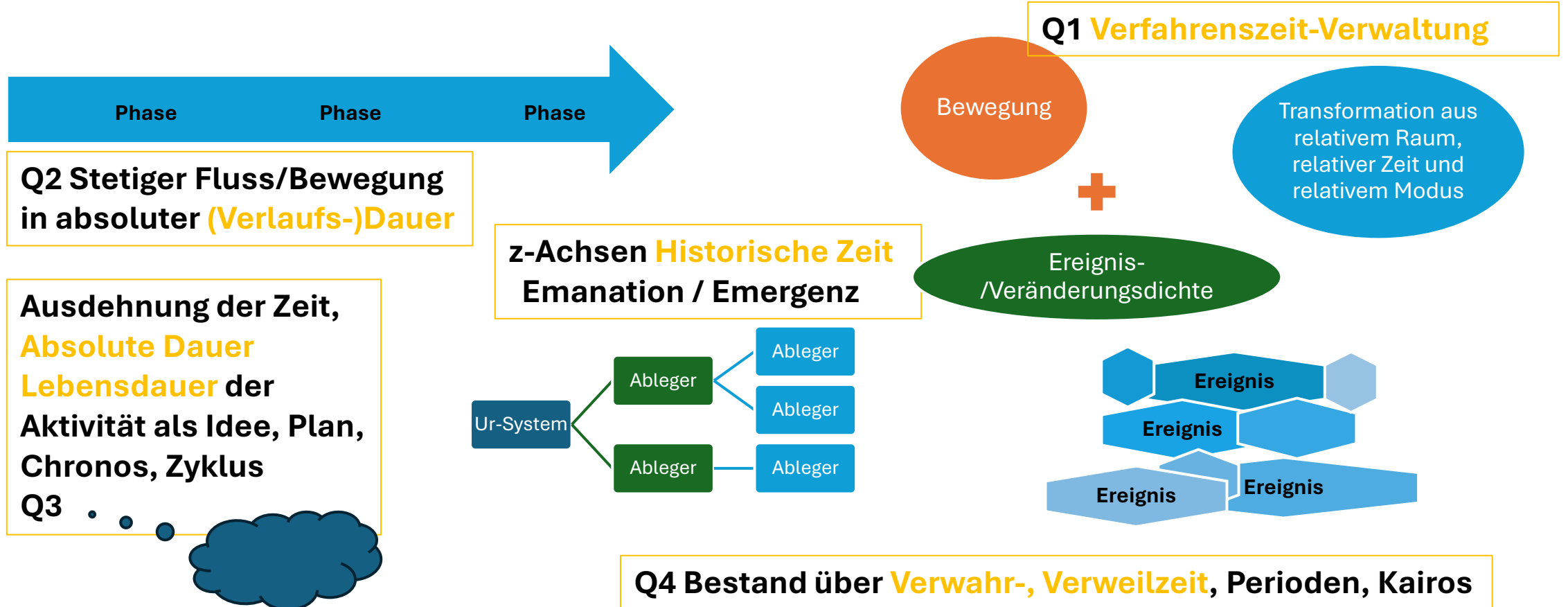
Beispiel Lagern in mehreren Lagern eines (Hyper-)Systems ...



... oder Bewertung eines Lagersystems über ‚Kostenquadranten‘

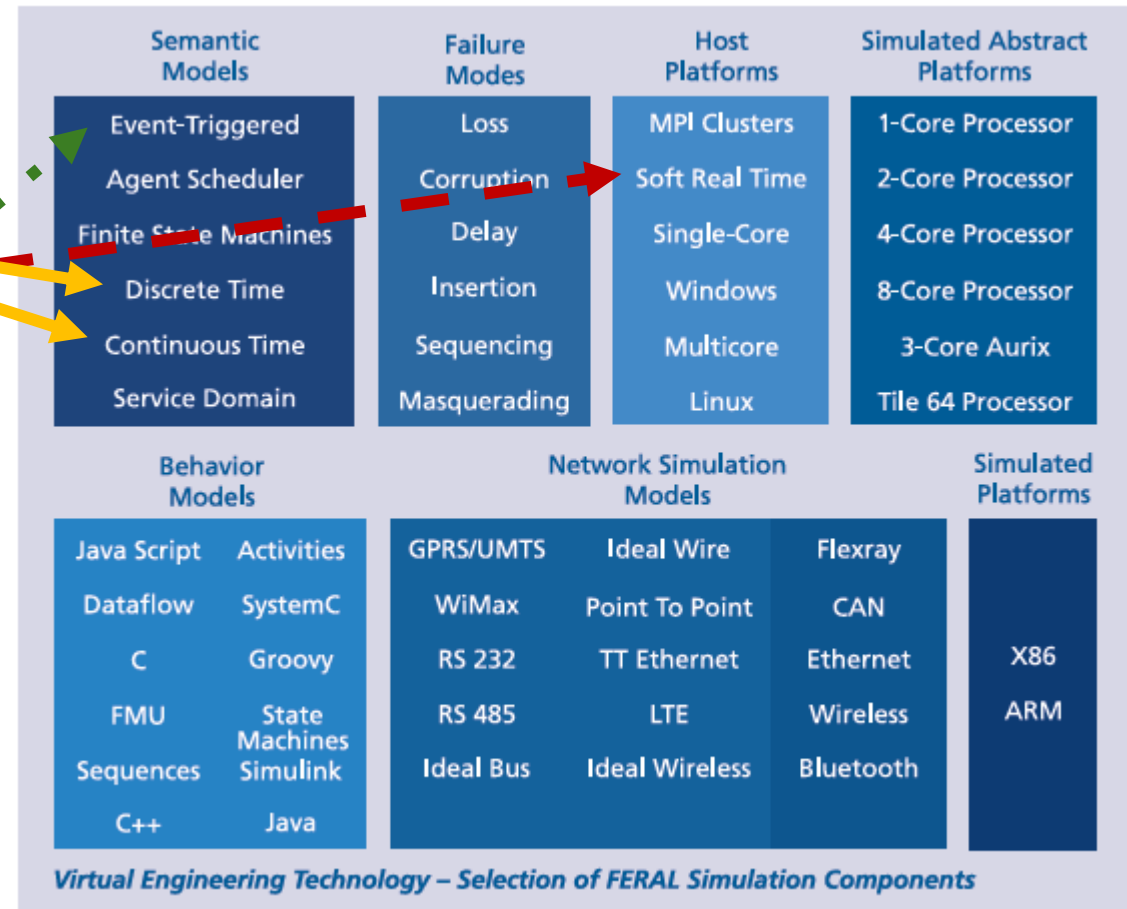
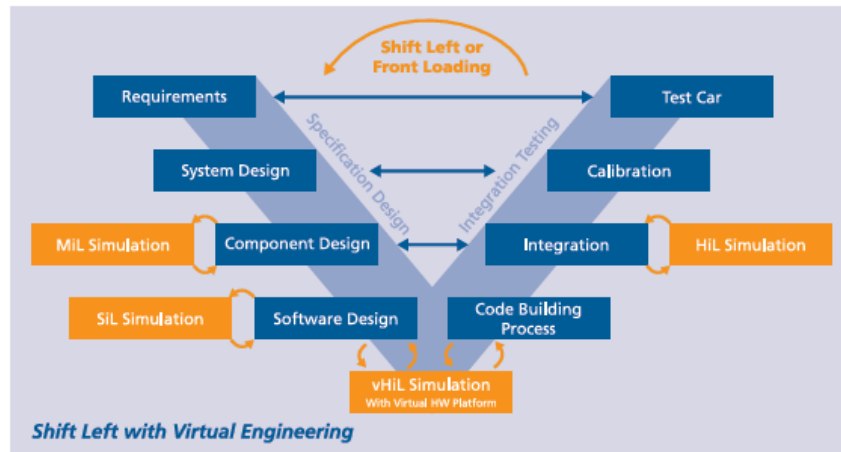


Berücksichtigung von **Dauer** und **Periode** des Systems und **Historie** innerhalb Hypersystem (HS), **Ereignis** (SubS)



Das vom Fraunhofer IESE entwickelte FERAL-Simulationsframework

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



Tool-Kombination für einen angestrebten Prototypen

Gemeinsame Sprache aller Assets – **Verwaltungsschale AAS**

