



# „Alles ist Bewegung“

***Präsentation einer expliziten Modellierung von  
Wissen, Methoden und Strategien der  
Systemtheorie***

# Was ist der Plan?

- Das Forschungstreffen ist eine transdisziplinäre Begegnung von Experten, die sich als Ziel gesetzt haben, **eine Modellierung von Wissen, Methoden und Strategien der Systemtheorie so explizit zu repräsentieren und zu formalisieren, dass daraus eine mathematische Modellierung und IT-Spezifikation entwickelt werden kann**, die sowohl eine Beschreibung und Simulation von Prozessen als auch eine Entscheidungsfindung unterstützt.
- Der **Fokus des Forschungstreffens** soll dabei auf die **explizite Repräsentation und Formalisierung von dynamischen Systemen und deren konsistente Verknüpfung** gelegt werden. **Dazu werden u.a. bereits erarbeitete Ideen an Hand eines neuen Mehr-Quadranten-Modells erprobt**, das ein klassisches 4-Quadranten Schema aus der Volkswirtschaftslehre verallgemeinert und den neuen Anforderungen an Modelle der Systemtheorie im Rahmen von Human- und Künstlicher Intelligenz entspricht.

-> Folie 19

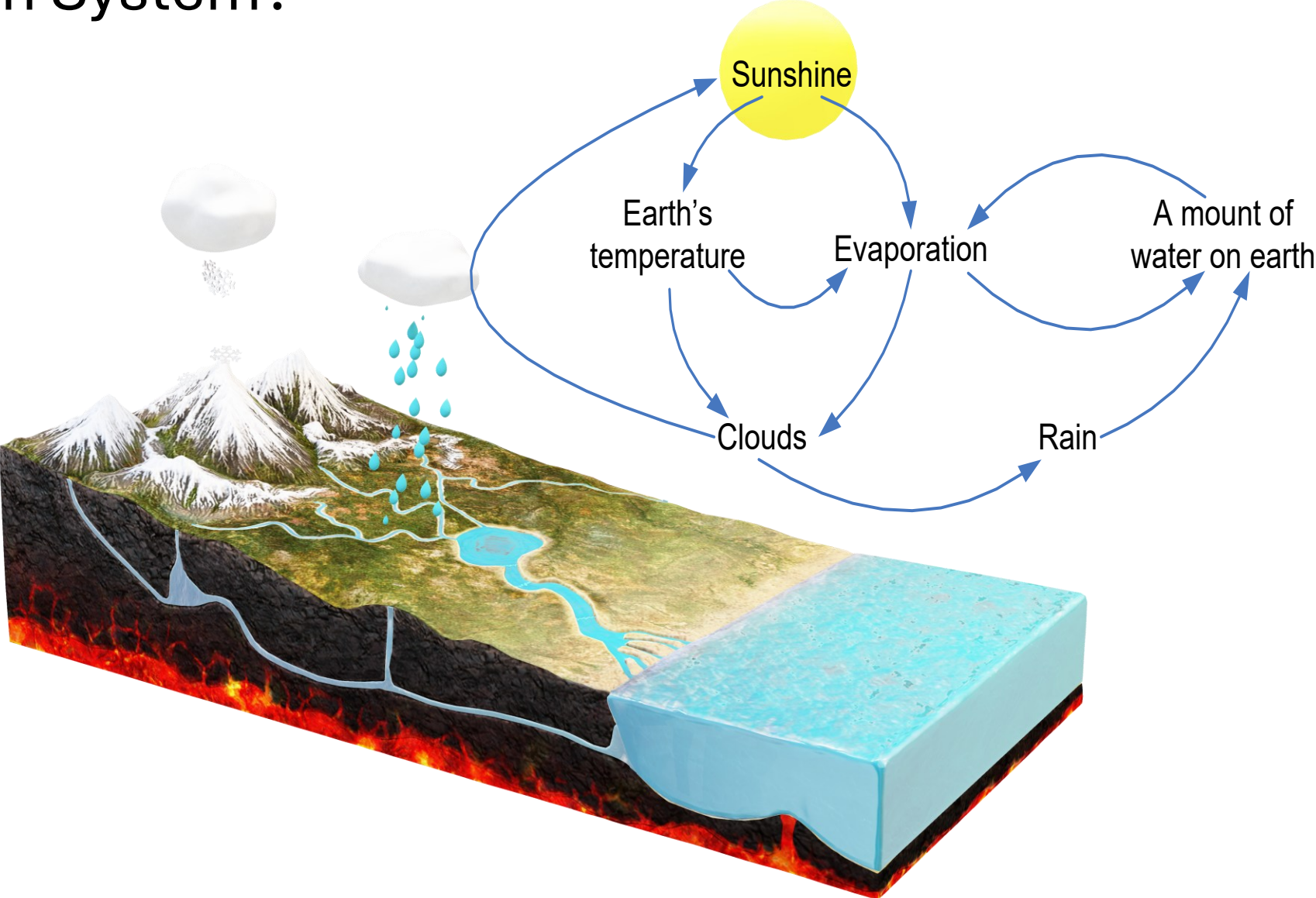
-> Folie 33

->Folie 61



Sapere aude!

# Was ist ein System?

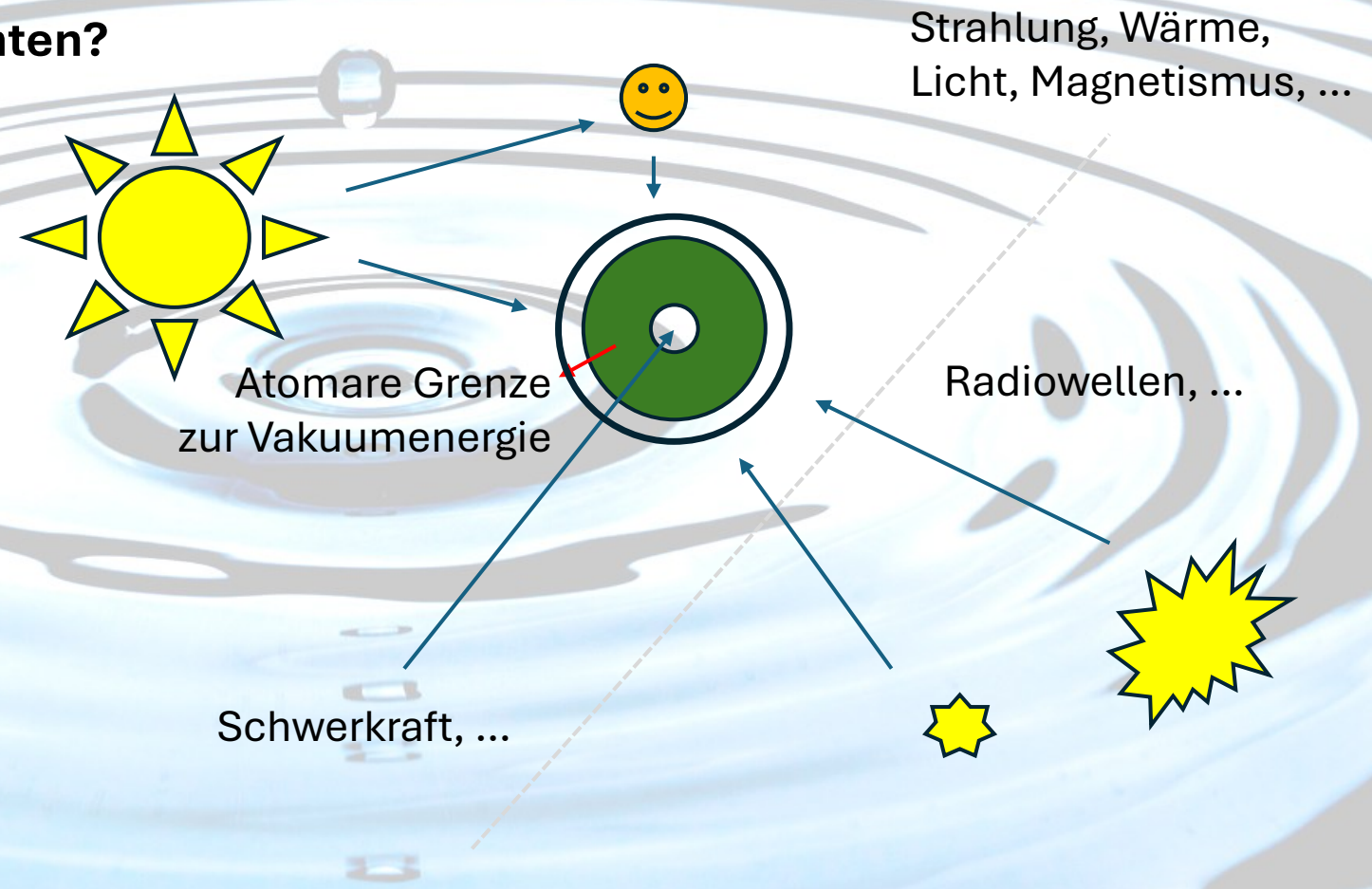


# Hyper-, Sub-, Systeme

Welche wollen wir betrachten?

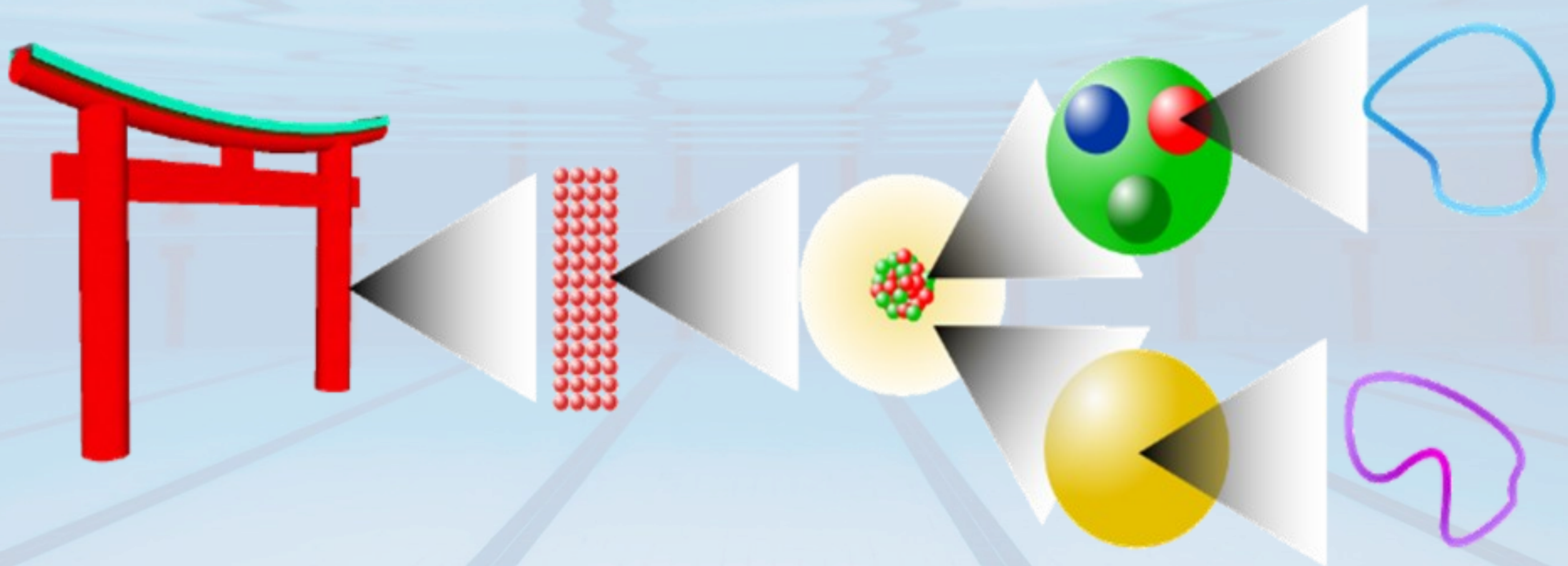
Systemgrenzen?

- Milchstraße
- Sonnensystem
- Erde
- Natur
- Menschheit
- Wertschöpfungskette
- ...



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>

# Was meint Bewegung? – vom String zur Kreiszahl Pi der Physik



## Eine Bewegungs- bzw. 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.**

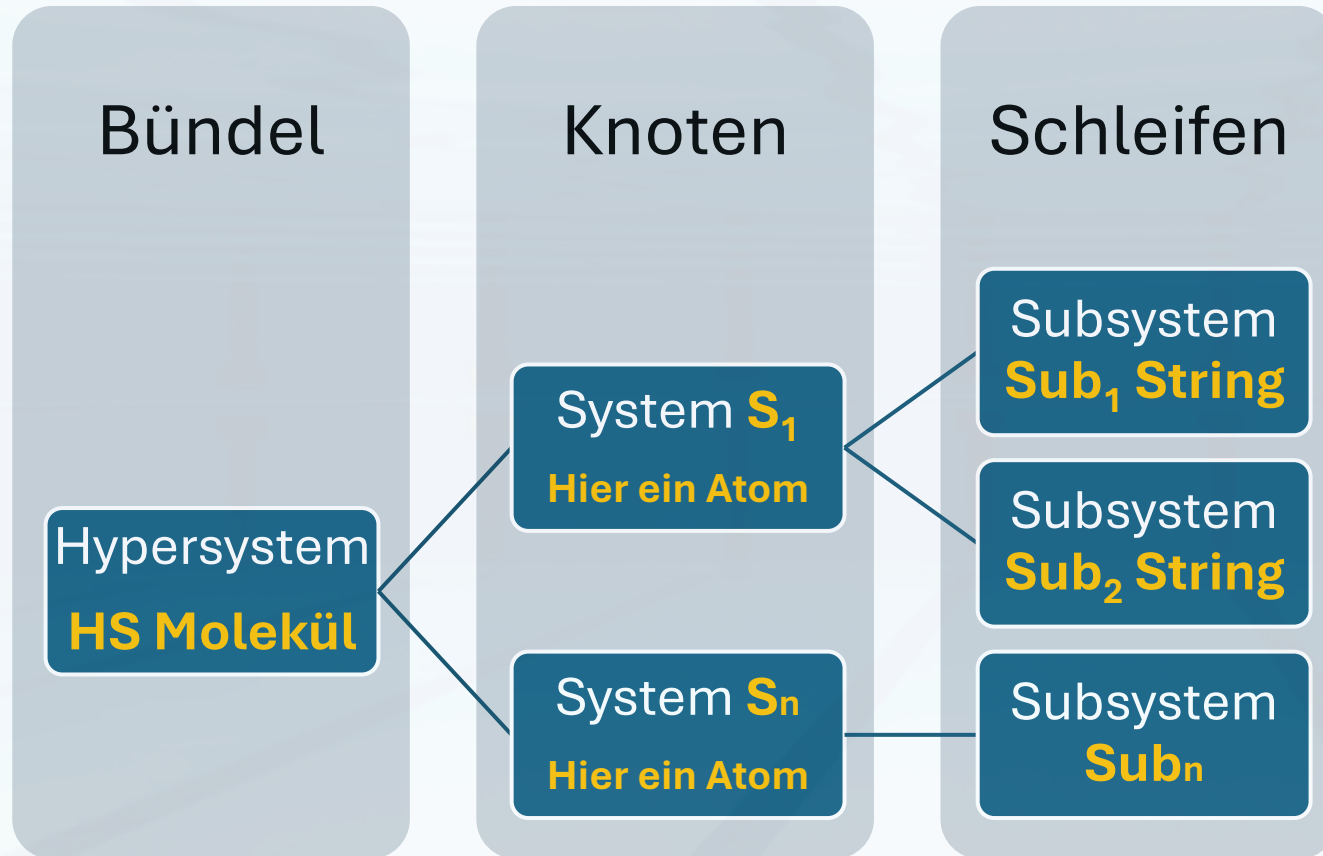
**"Bewegung benötigt stets eine Differenz in Zeit, Raum oder Menge,,**

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



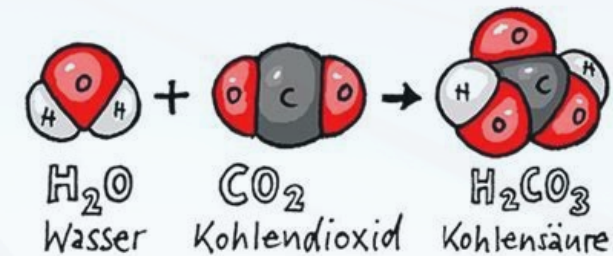
Carbon



Oxygen



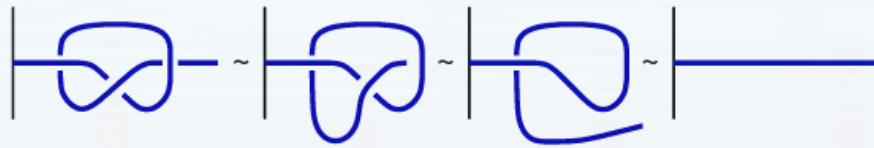
Hydrogen



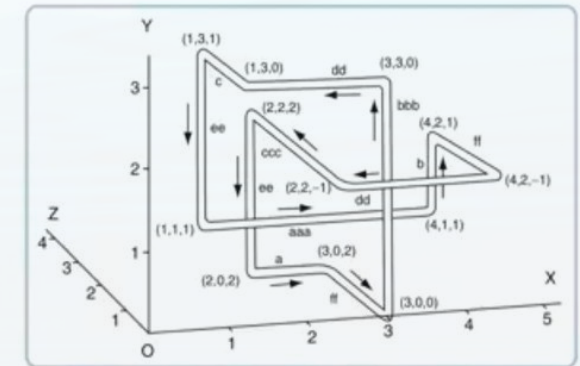
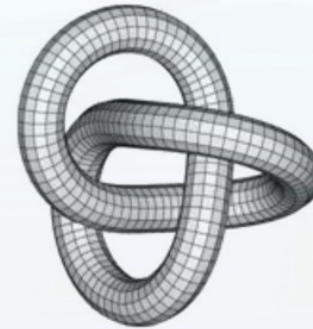
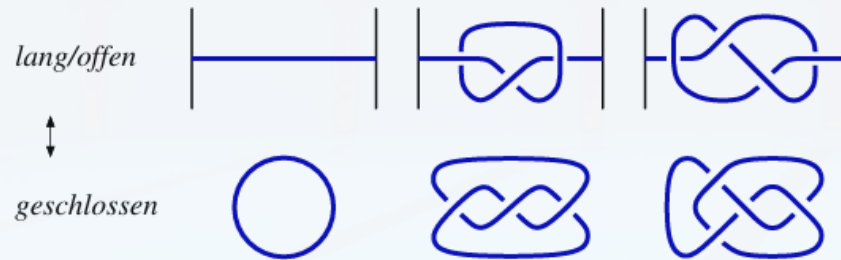
# Beispiel für einen Knoten und seine geometrische Erfassung

Wie modelliert man Knoten?

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



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



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)

aaabffddccceaffbbbddcee

Vom Zopf (Prozess) zum Knoten (System)

# Vorzüge des Leeren Raums bzw. absoluter Freiheit



## Attraktoren der Bewegung:

**„Leerer Raum“ oder „Freiheit“**

D.h. in materieller als auch immaterieller Betrachtung:  
**Innenattraktor = Außenattraktor**

Also **ein** grundlegender Attraktor  
jeweils und darüber hinaus  
mehr oder weniger

**„Dichte“ - Wirkungen (Senken)**

## Dichteunterschiede (Senken) führen zum Wandel

- Allen Materialien/Objekten gemeinsam sind Luftlöcher/Leere bzw. Dichteunterschiede oder innere ungenutzte Ressourcen.
- Die höchste Dichte besitzt das Plasma.
- Die geringste Dichte besitzt der Absolute (Leere) Raum Newtons.
- Zeiteffekt: Schlagartige Veränderung in den Dichteunterschieden bzw. Druck- und Entdruck führt zum Platzen oder Spalten. So werden nicht nur Nüsse geknackt, sondern auch Diamanten. Taucher kennen dies, wenn sie aus Tiefe zu rasch auftauchen.
- Bestimmtes Atmen (bewusst oder unbewusst), korrekter Pulsschlag, ... gehören zum Leben.
- ...

# Transformation in interdisziplinärer Anwendung

## Beispiele für Energieumwandlungen:

Mechanische Energie	<i>Getriebe</i>	Bremsen	Synchrotron	Generator	Eischnee
Thermische Energie	Dampfturbine	<i>Wärmekopplung</i>	Glühendes Metall	Thermoelement	Hochofen
Strahlungsenergie	Radiometer	Solarkollektor	<i>Wärmebildkamera</i>	Solarzelle	Photosynthese
Elektrische Energie	Elektromotor	Elektroherd	Blitz	<i>Transformator</i>	Akkumulator
Chemische Energie	Muskel	Ölheizung	Glühwürmchen	Brennstoffzelle	<i>Kohlevergasung</i>
<b>wird umgewandelt in</b>	Mechanische Energie	Thermische Energie	Strahlungsenergie	Elektrische Energie	Chemische Energie

# Physikalische und andere Systeme

In der Quantentheorie wird ein physikalisches System, sei es ein Atom, ein DNS-Molekül, eine Katze in einer Kiste - bzw. deren Zustand - mit dem Buchstaben  $\Psi$  (psi) symbolisiert. Er enthält alle Informationen, die dem System zu eigen sind.

**Das 4-Q-M oder das Hyper-M-Q-M unterstützt in diesem Sinne auch das psi der Physik.**

Während europäische Physiker bis ins 20. Jahrhundert hinein die Knotentheorie Thomsons geometrisch ausbauten und Tait entsprechende Knotentabellen, entdeckte Mendelejew auf arithmetische Weise die heute gebräuchlichen Atomtabellen. Von der Physik nicht weiter verfolgt, beschäftigten sich jedoch Mathematiker weltweit mit der Knotentheorie, auch der Atome, und entwickelten Ansätze hierzu u.a. im Bereich der Erforschung von Polynomknoten in Quantenfeldern bis heute weiter.

# Anstoß zum 4Q-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

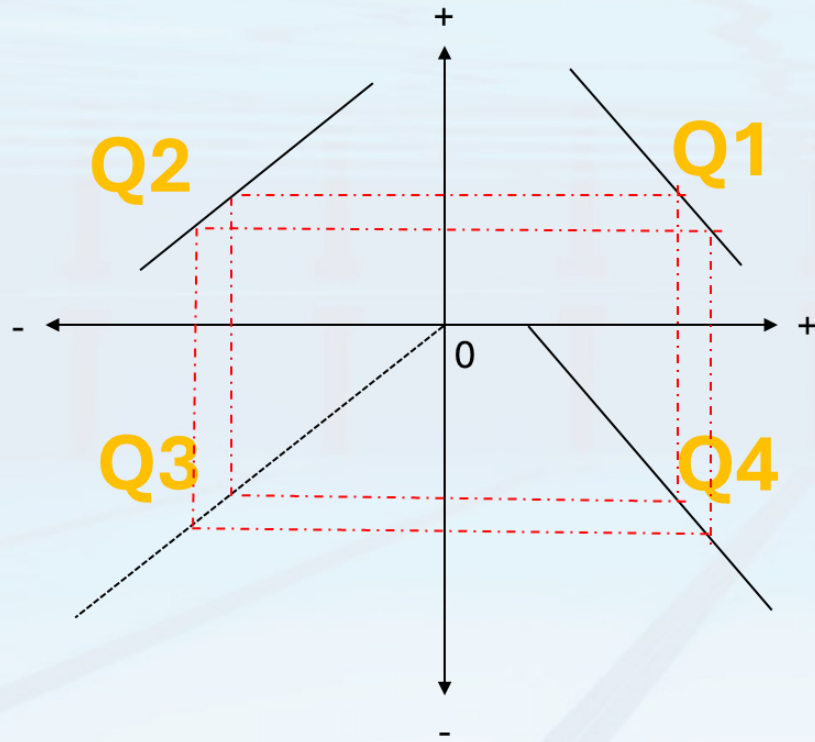
**Veränderung** eines Teilchens  
oder Elements (z.B. durch  
Aufnahme/  
Weitergabe von Ladung)  
**am Ort über die Zeit**

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

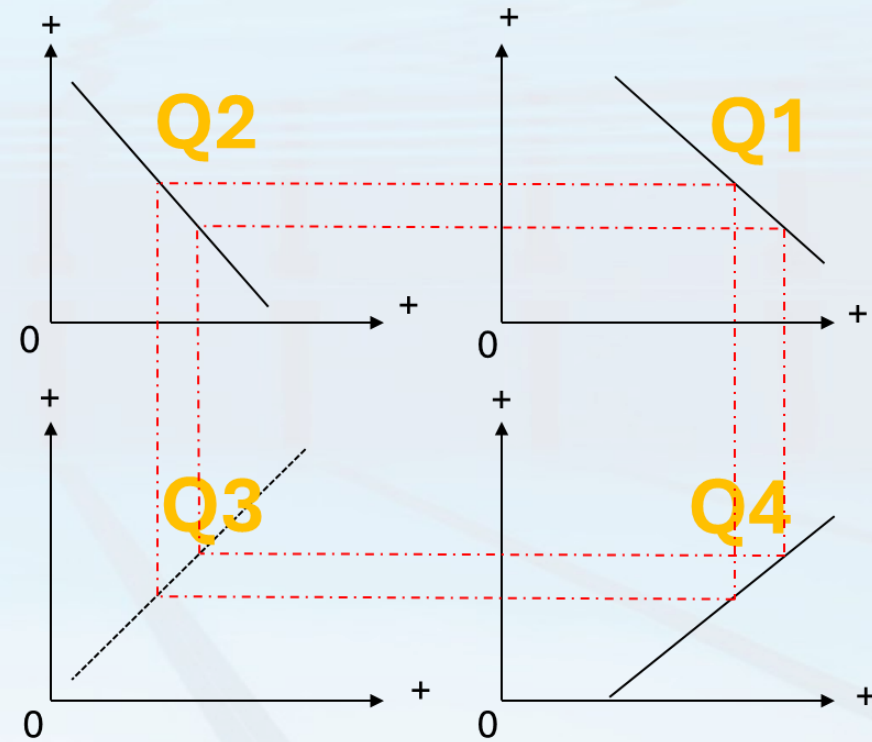
Transformation - Q1, **Überlagerung von Bewegung und Feld**, Spannung/Wellenlänge/Frequenz

# Anstoß zum 4Q-Modell: Fehler in der Arithmetik

**Koordinatenkreuz**



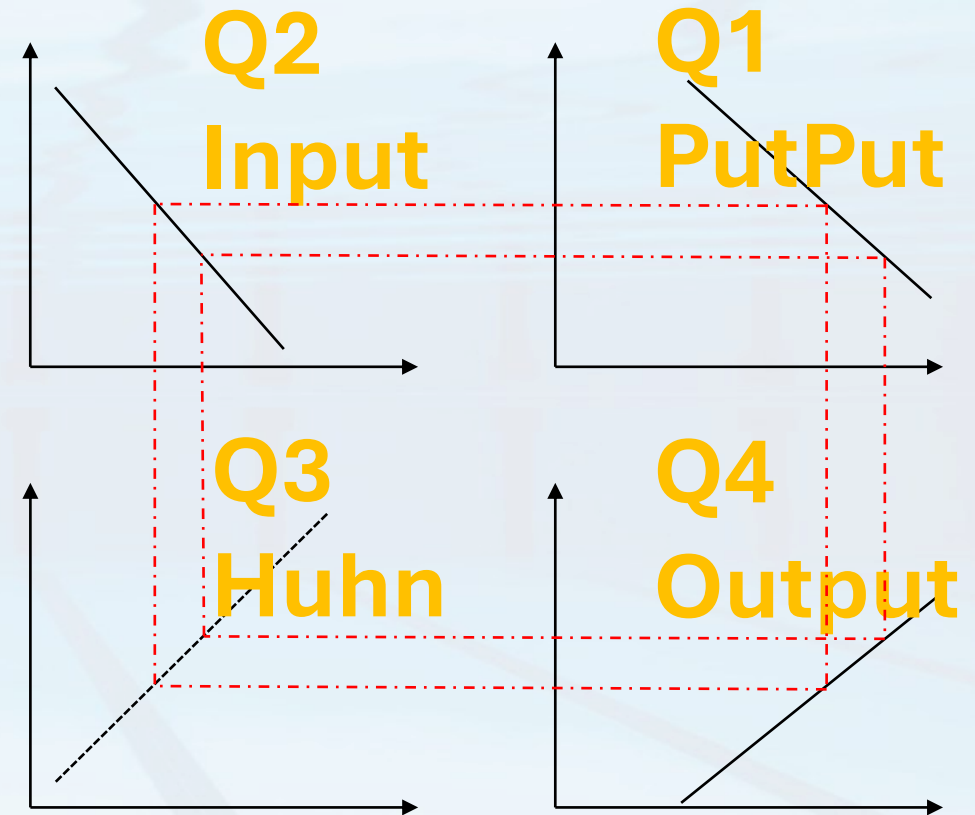
**4-Quadranten-Modell**



# Komponentenwahl für das interdisziplinäre 4-Q-M

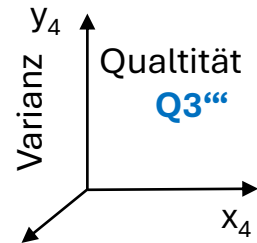
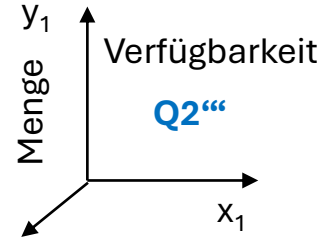
Mit der **Komponenten-Bezeichnung** wurden auch Relationen der VWL-Vorlage nach Tests beibehalten. Gemäß diesem Modell werden elementare dynamische Systeme einheitlich beschrieben über ihr

- **Regelwerk oder Leistungsparameter (Q1),**
- **Informations- oder Materialfluss (Q2),**
- **Gesamt- oder Leitbild (Q3) und**
- **Zwischen-, Endergebnis oder ihre Bestände (Q4)**

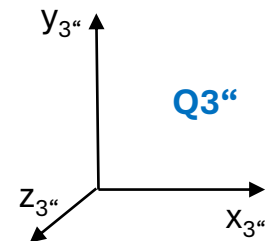
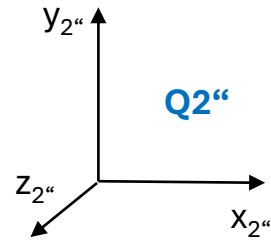


# Aktivität

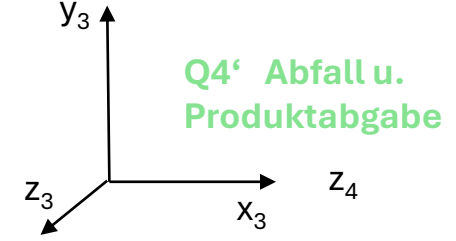
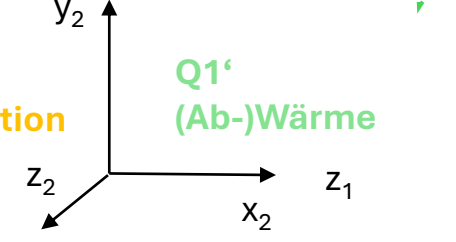
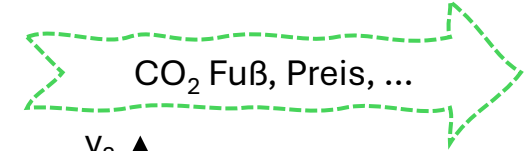
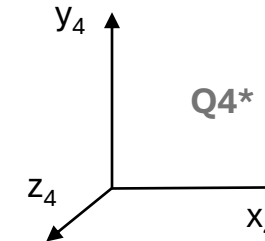
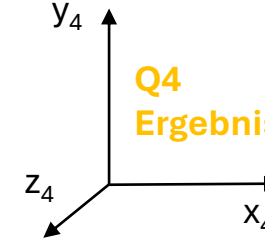
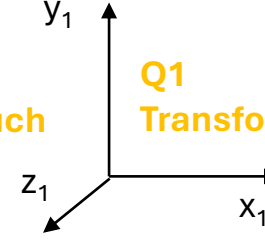
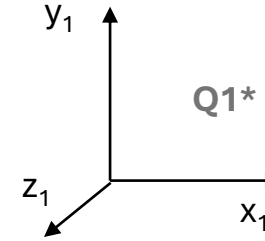
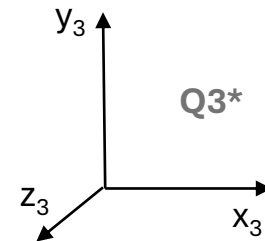
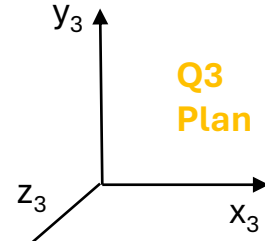
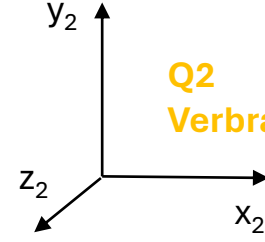
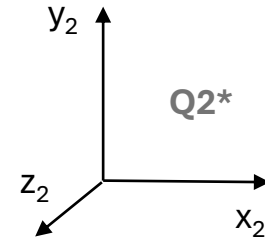
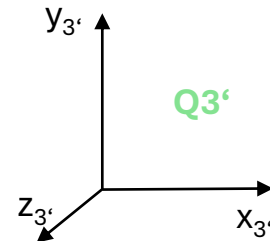
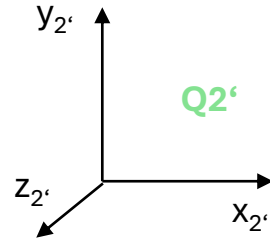
Ressource



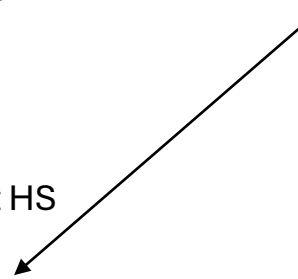
Preis



CO<sub>2</sub> Fuß

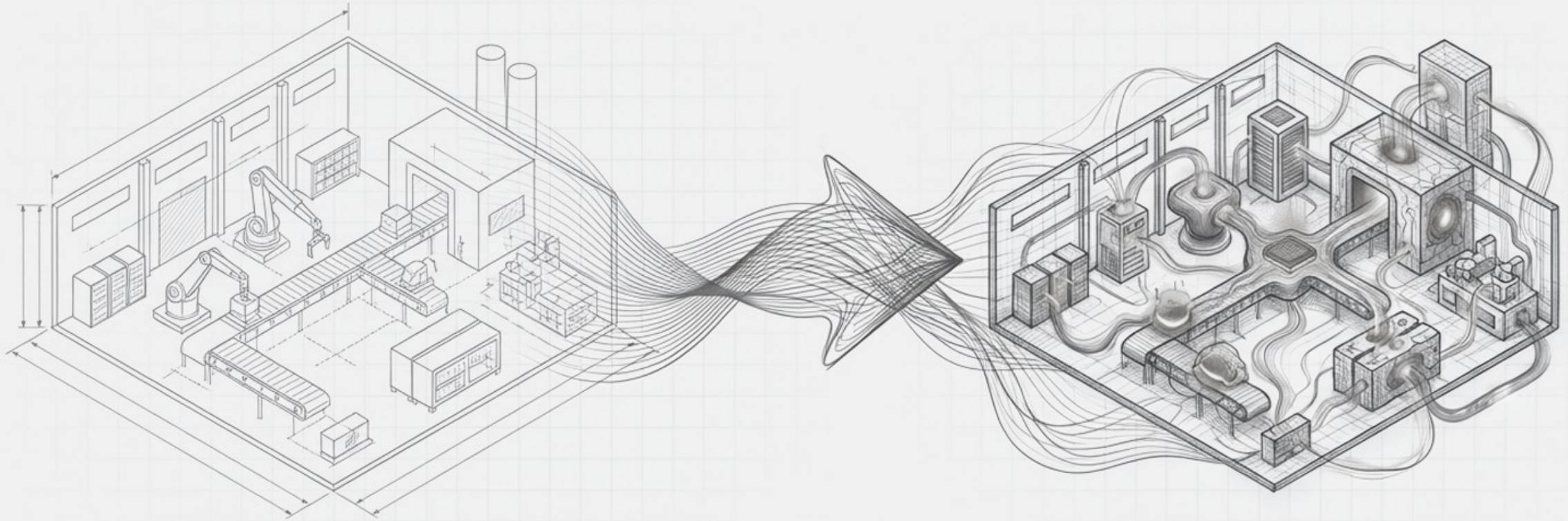


Entwicklung, Uhrzeit HS



# From Digital Shadow to Cognitive Agent

A New Architecture for Autonomous and Sustainable Digital Twins

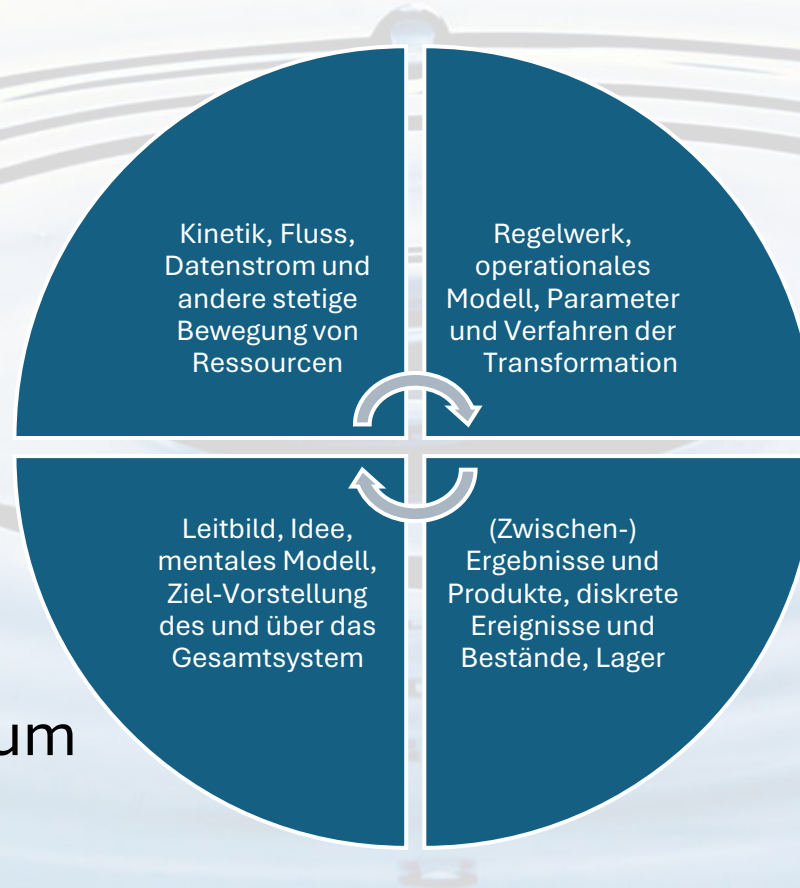


This presentation outlines a methodology and architecture for transforming digital twins from passive descriptive models into autonomous, resilient, and purpose-driven partners.

# Kernstruktur M-Q-M: Vier Wissensräume (4-Q-M)

- Prozessraum (Q2)

- Regelraum (Q1)



- Bedeutungsraum (Q3)

- Bestandsraum (Q4)

# Kernstruktur M-Q-M: Vier Agenten (4-Q-M)

- Sensor, Aktor, Fahrer (Q2)
- KI: Ressourcenmanager

- Strategie (Q3)
- KI: Kausale KI- und Wissensdiagramme



- Entscheider (Q1)
- KI: Fortgeschrittene Systeme, z.B. N-FS

- Portfoliomanager (Q4)
- KI: Prädiktive Algorithmen (LSTM/Transformer)

# Das M-Q-M für KI-gestützte Wissensassistenten

- Prozess & Fluss (Q2)
- Die Live-Interaktion

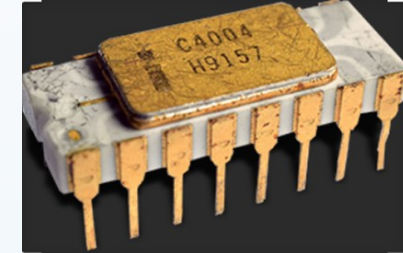
- Ziele & Bedeutung (Q3)
- Die Absicht des Systems



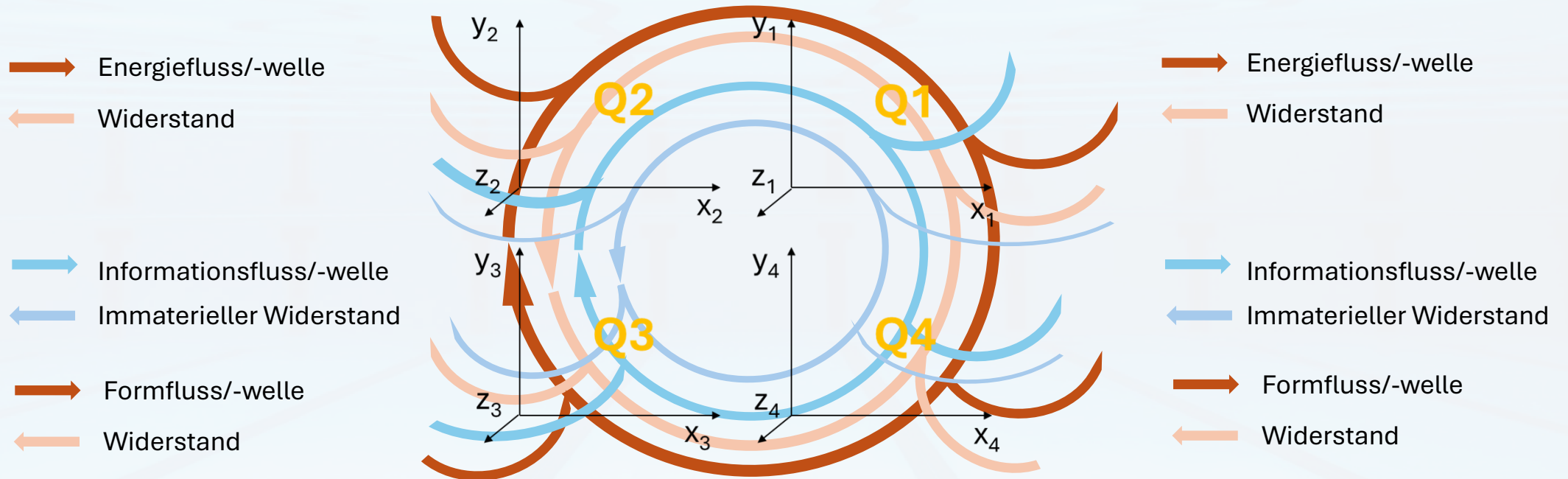
- Regeln & Parameter (Q1)
- Die Systemarchitektur

- Ergebnis & Bestand (Q4)
- Output & Wissensbasis

# Energiefluss und Widerstand im M-Q-M Kern



## Wechselwirkungen und interne Komponenten eines Systems

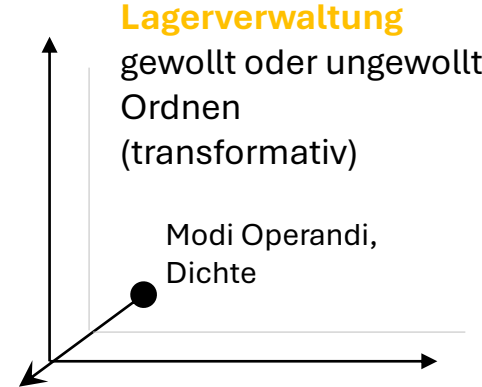
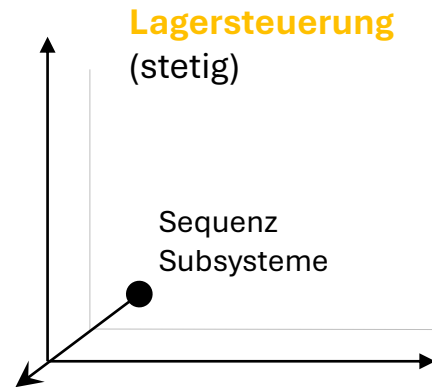


# Äußere Einwirkungen Lager, hier externe Treiber - modal

**Zur Steuerung:**  
Externe Wirkung  
auf die Sequenzen,  
Abfolgen der  
Phasen einer  
Aktivität



Raum  
relativ,  
Bedarf,  
Differenz



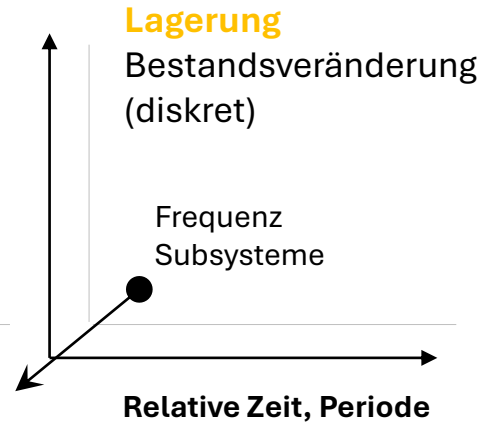
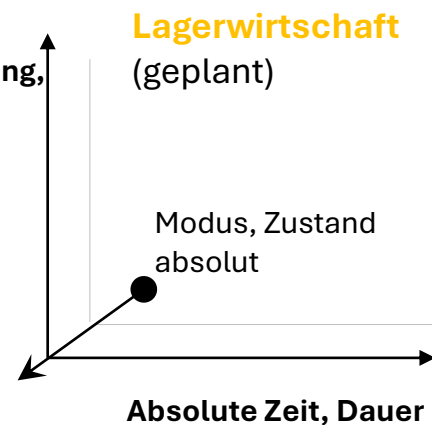
**Zur Regelung:**  
Verdichtungen,  
Weiterungen,  
Freiheiten  
Beispiel Legalisierung



**Zur Planung:**  
Externe  
Entscheidungen  
vielerlei Art



Raum  
absolut,  
Ausdehnung,  
Varianz



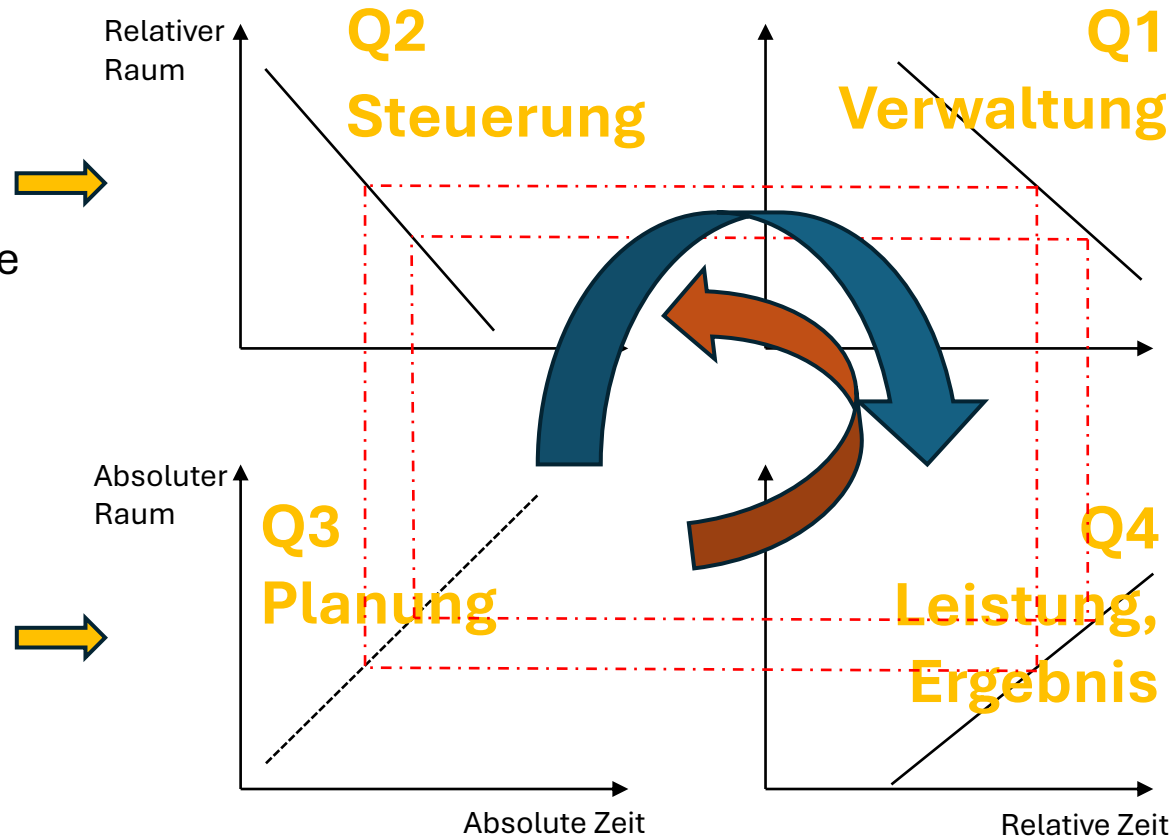
**Zur Störung:**  
Häufigere externe  
Ereignisse, Wetter,  
Katastrophen, Unfälle, ...



# Äußere Einwirkungen: hier externe Treiber - **räumlich**

**Zur Steuerung:**  
Kapital, Budget  
Ressourcen wie  
mehr / besseres  
Futter, Licht, Fake  
Führung,  
Befähigung  
Motivation

**Zur Planung:**  
Planänderungen  
Eingriffe in die  
Vorstellungen  
Externe  
Entscheidungen  
vielerlei Art



**Zur Regelung:**  
Verfahrensoptimierung  
Energiesparmaßnahme  
Gesetzesänderungen



**Zu Leistung, Ergebnis:**  
Externe Ereignisse, Wetter,  
Katastrophen, Unfälle, ...



**Agenda:**  
Leistung und  
Widerstand

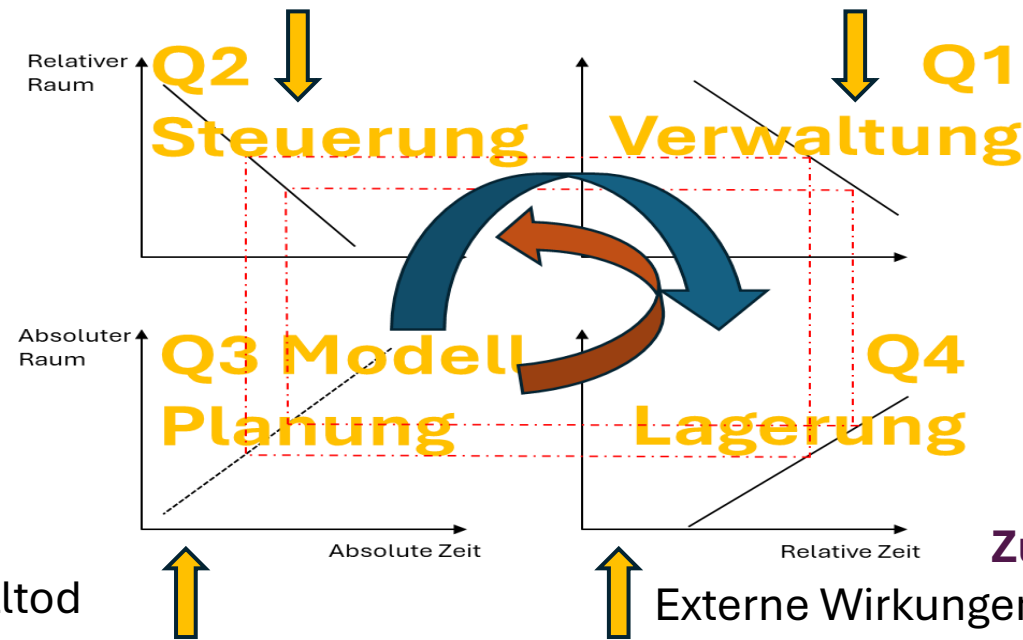
# Äußere Einwirkungen: hier externe Treiber - **zeitlich**

## Zur Steuerung:

Externe Wirkungen auf den Ressourcenverbrauch verkürzt die Lebensdauer der Aktivität

## Zur Regelung:

Externe Einwirkungen auf die Periodendauer, wie beispielsweise Fristenänderungen



**Agenda:**  
Leistung und  
Widerstand

## Zur Planung:

Projektabbruch, Unfalltod

## Zu Beispiel hier Lagerung:

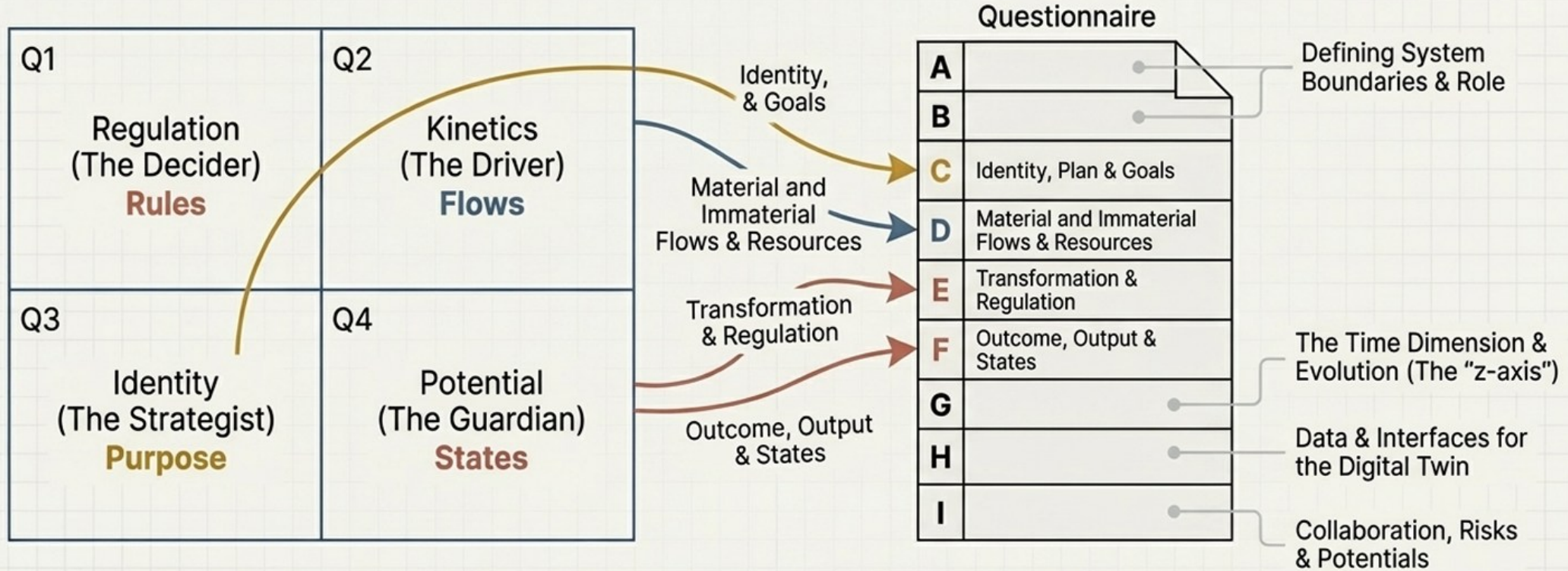
Externe Wirkungen auf Welllänge / Perioden

# The Blueprint: The Multi-Quadrant Model (MQM)

<p><b>Regulation (The Decider)</b></p> <p><b>Rules</b></p> <p>The rules, process steps, and algorithms that transform input into output. The “Schaltzentrale” or control center where decisions are made and losses occur.</p>	<p><b>Kinetics (The Driver)</b></p> <p><b>Flows</b></p> <p>The continuous flows of resources, energy, and information entering the system. Represents kinetic energy and the drive for efficiency.</p>
<p><b>Identity (The Strategist)</b></p> <p><b>Purpose</b></p> <p>The system’s purpose, strategic goals, and identity over its lifecycle. The plan, the “Wesen,” the attractor state.</p>	<p><b>Potential (The Guardian)</b></p> <p><b>States</b></p> <p>The discrete results, outputs, stocks, and buffers. Represents potential energy, stability, and the system’s state.</p>

The MQM provides a complete language to describe any value-creating activity not as a static object, but as a dynamic unit of ‘Decision + Action.’

# Operationalizing the Model: A Structured Inquiry

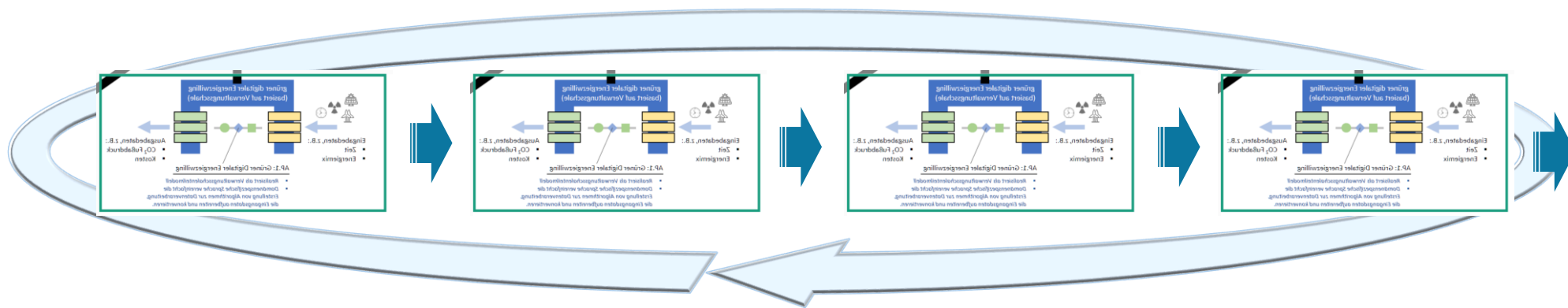


The questionnaire is not a checklist; it is a diagnostic instrument designed to populate the MQM with the specific physics and logic of any system, making the theory tangible and 'simulation-ready.'

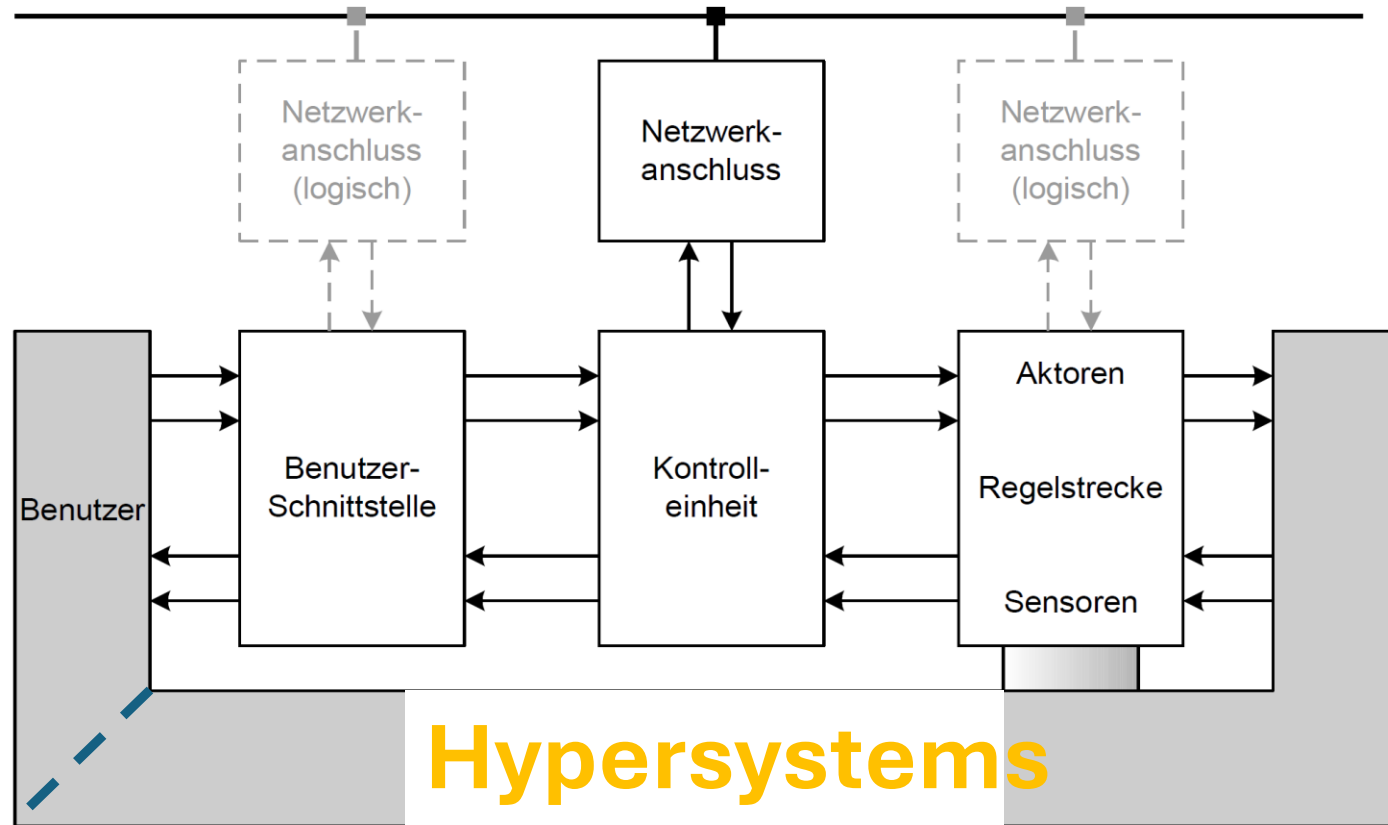
# Digitale Virtuelle Produktion und Logistik im Hypersystem

Zwischen den Werkzeugen und Methoden der digitalen Fabrik und der Vision der virtuellen Produktion beziehungsweise der virtuellen Logistik wird unterschieden:

- Die **Virtuelle Produktion** bezeichnet eine durchgängige, experimentierfähige Planung, Evaluation und Steuerung von Produktionsprozessen und –anlagen mithilfe digitaler Modelle.
- Der Begriff **Virtuelle Logistik** umschreibt die softwareunterstützte Planung logistischer Prozesse und Strukturen. **An dieser Stelle ergeben sich übertragbare Ansatzpunkte zum Hintergrundmodell.**



# Einordnung „**Embedded Systems**“



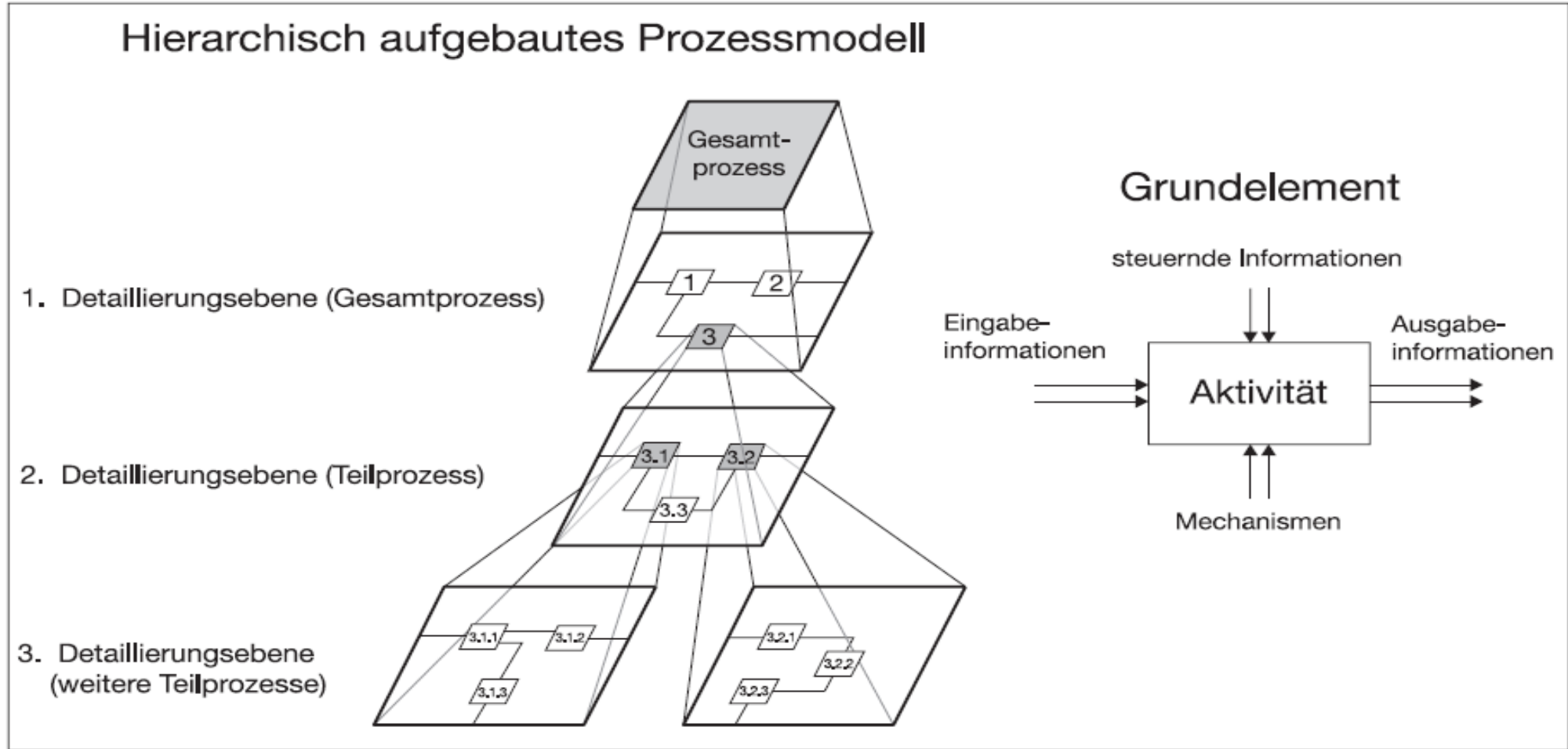


Bild 14. Modellierung von Anwendungsprozessen mittels SADT

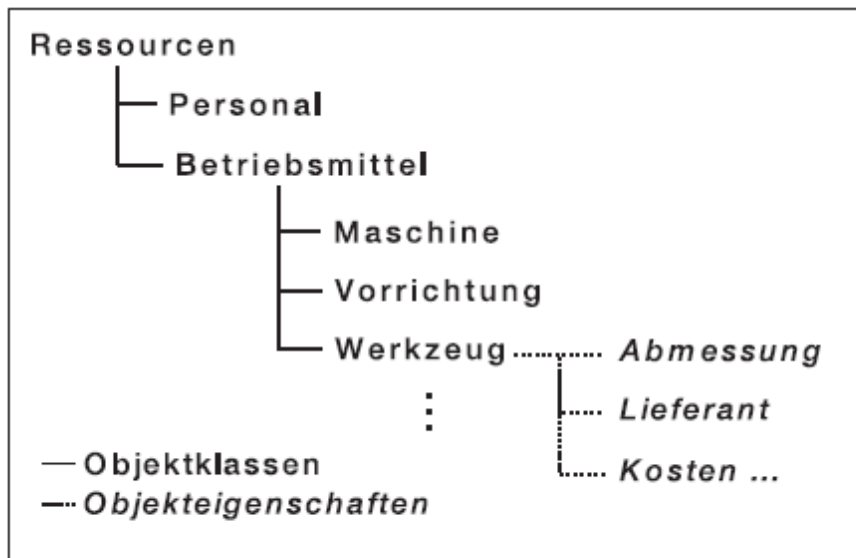


Bild 17. Beispiel eines Datenmodells

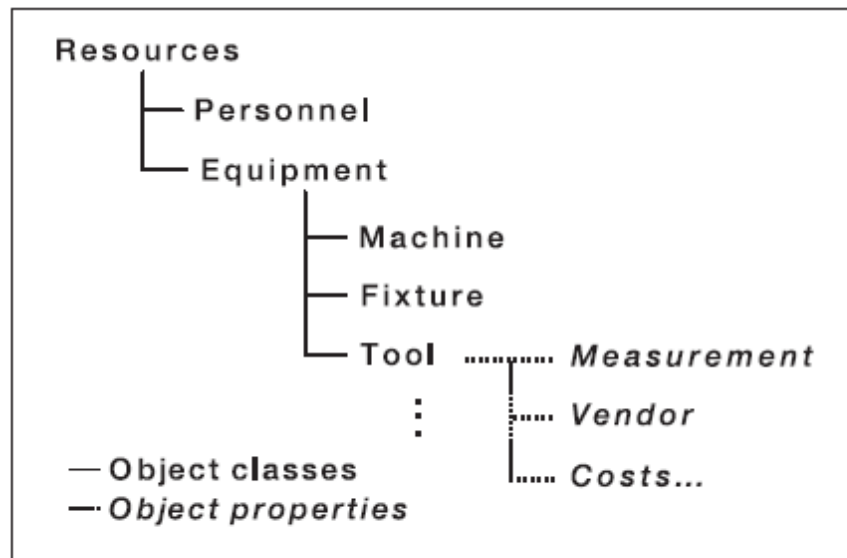


Figure 17. Example of a data model



# M-Q-M

*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*

Status:

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

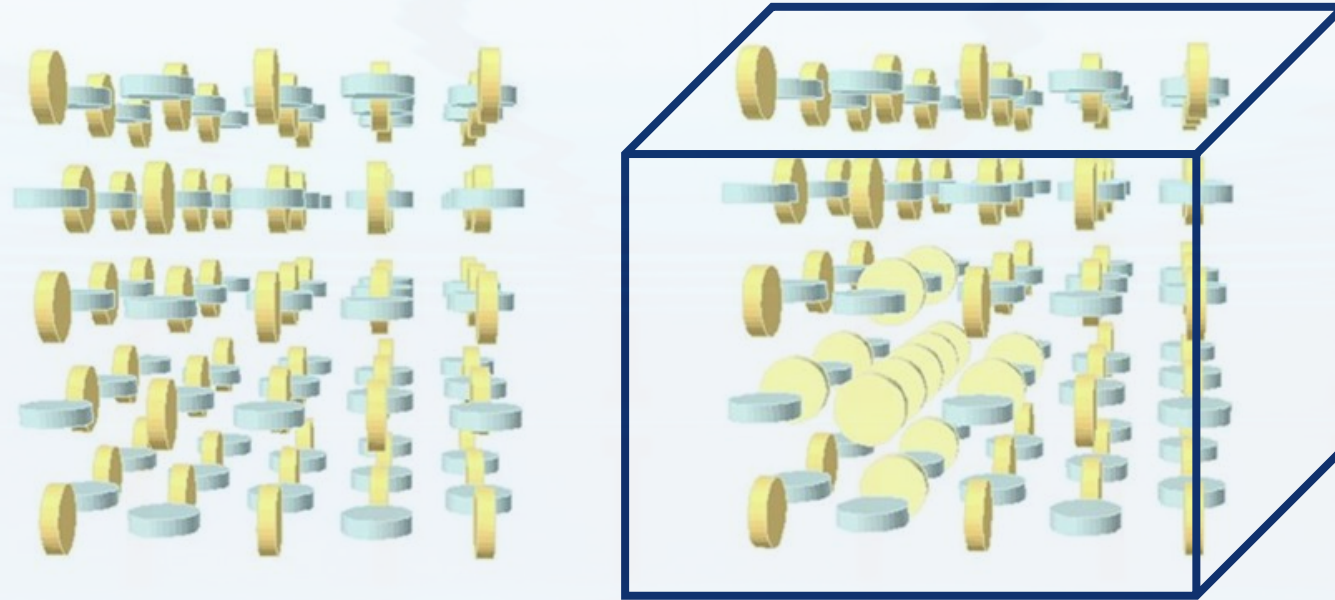
# Zielstellung des vom BMBF geförderten Vorhabens

**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)*

Warum ist eine Unterscheidung in Raum und System wichtig? - 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.**

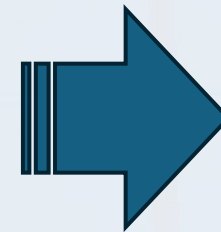
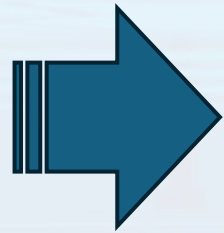
Aus dem thermodynamischen Gleichgewicht entwickeln sich wiederum komplexe Strukturen:

**“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?**

# Extending the Ontology of Physics for Biology (OPB) with Thermodynamics

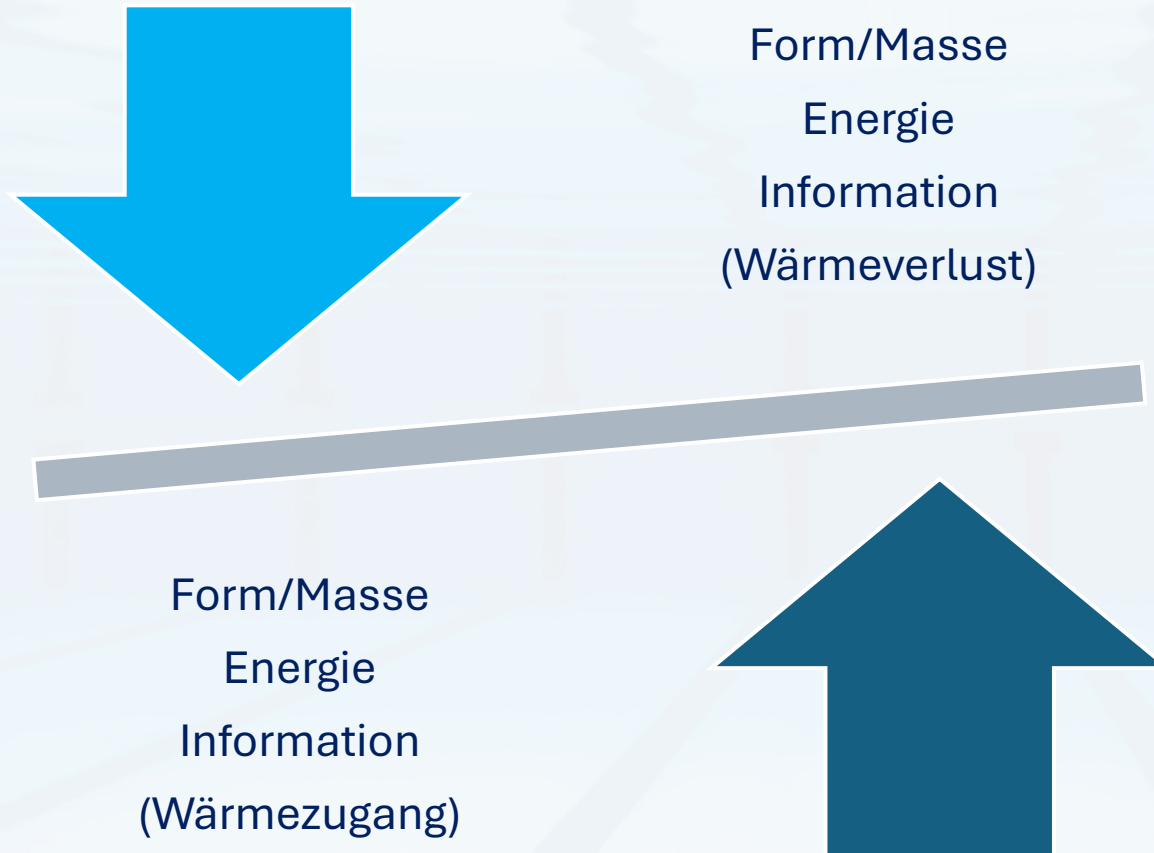
Erweiterung einer OPB um eine **explizite thermodynamische Ebene**. Ausgangspunkt ist, dass in vielen Modellen thermodynamische Regeln wie Energieerhaltung zwar implizit in Gleichungen stecken, aber nicht explizit repräsentiert werden. Deshalb werden in der Biologie neue Klassen für **thermodynamische Entitäten, thermodynamische Eigenschaften und thermodynamische Abhängigkeiten bzw. Nebenbedingungen** eingeführt.

Dazu gehören etwa Portionen von kinetischer und potenzieller Energie, Energie- und Entropieflüsse, thermische Kapazität und Leitfähigkeit sowie Nebenbedingungen wie Energieerhaltung, adiabatische, isotherme oder isovolumetrische Restriktionen. Thermodynamische Klassen werden mit dynamischen Zustands- und Rateneigenschaften sowie mit konstitutiven Abhängigkeiten verknüpft. Methodisch bleibt **SemGen/SemSim** zentral: Variablen werden als Instanzen physikalischer Eigenschaften, Gleichungen als Instanzen physikalischer bzw. thermodynamischer Abhängigkeiten modelliert.

Damit positioniert sich OPB als Referenzontologie der Biophysik, die Oberontologien wie BFO/GFO ergänzt und mit Domänenontologien wie FMA, GO und ChEBI zusammenspielen soll.

# Systemisches Gleichgewicht und Nichtgleichgewichtsstrukturen

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



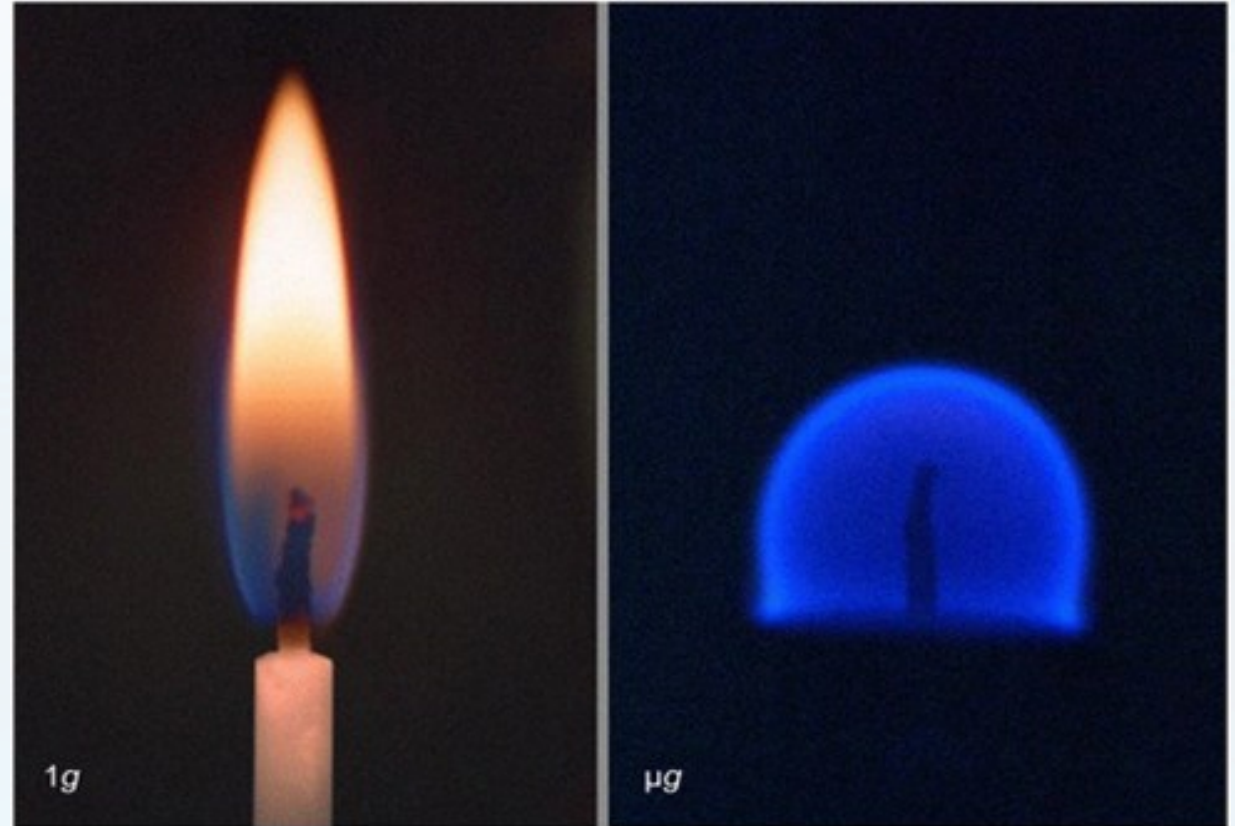
**Nichtgleichgewichtszustände  
umgeben uns in großer Zahl:**

- **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.**

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

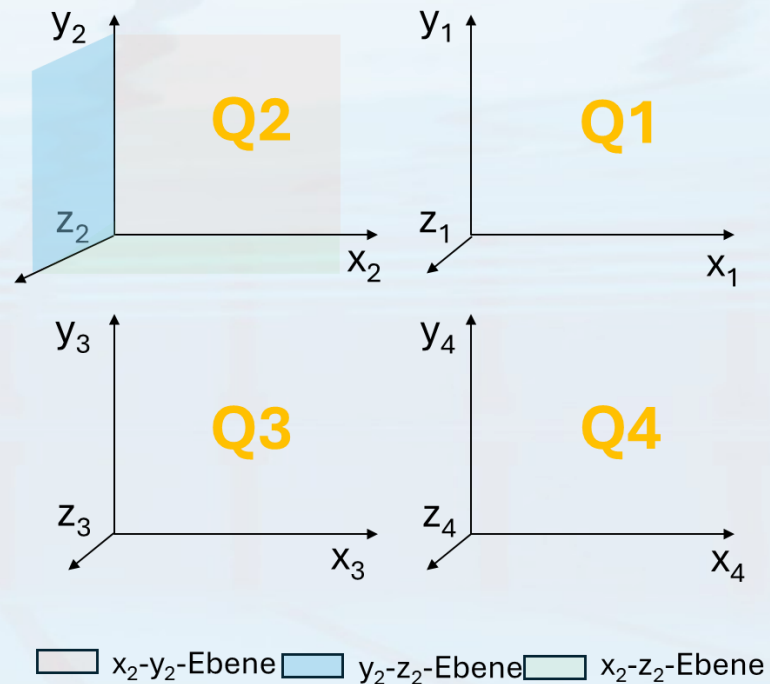
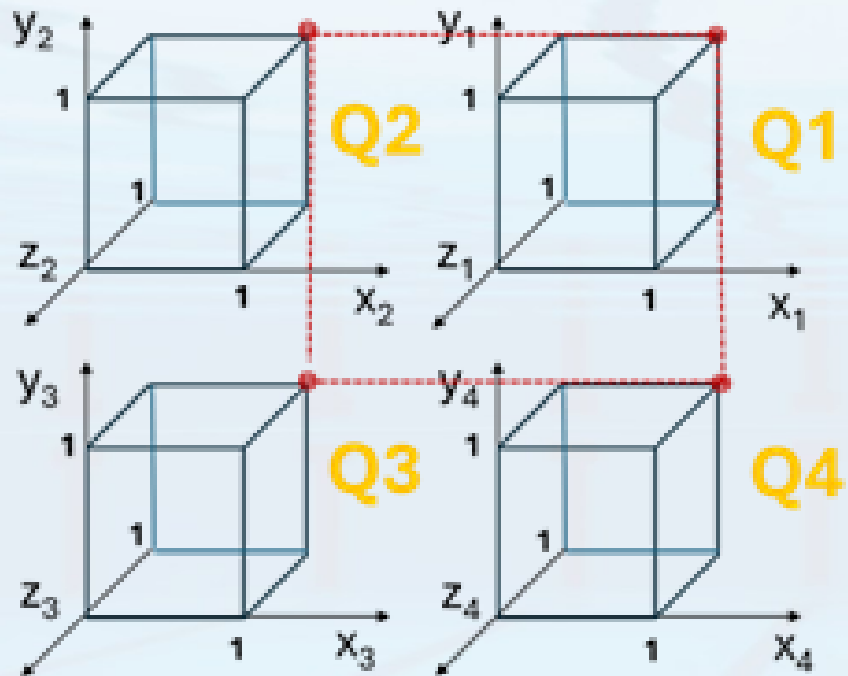


Die Ähnlichkeit zwischen Kerzenflammen und Blüten ist nicht nur äußerlich. Auch eine Pflanze kann als dissipative Struktur angesehen werden, die sich in ständigem Auf- und Abbau befindet.



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.

# Das Ganze und seine Teile – Achsen und Ebenen

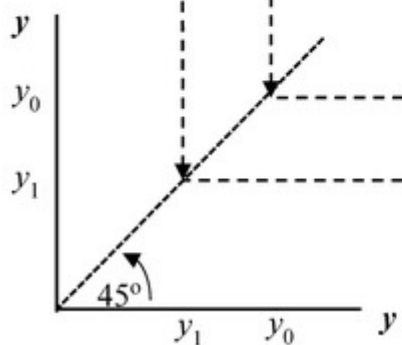
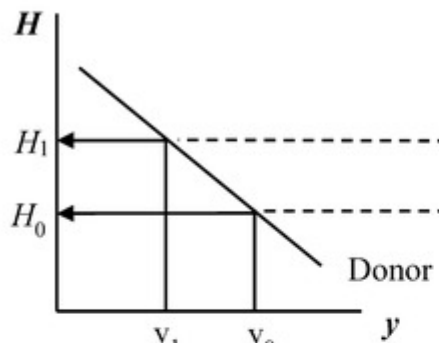


**Eine Verwebung von Raum, Zeit und Modus: die Metaebene hinter dem Modell.**



### Samaritan's Dilemma

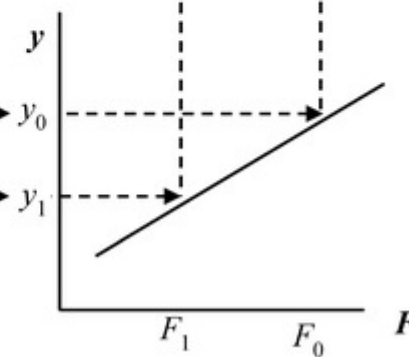
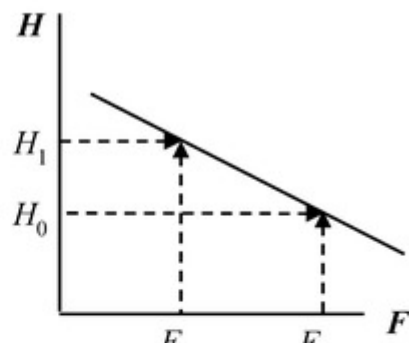
[Donor's Best Reply Function from Eq. (6)]



45° Line

### Aid and Freedom Tradeoff

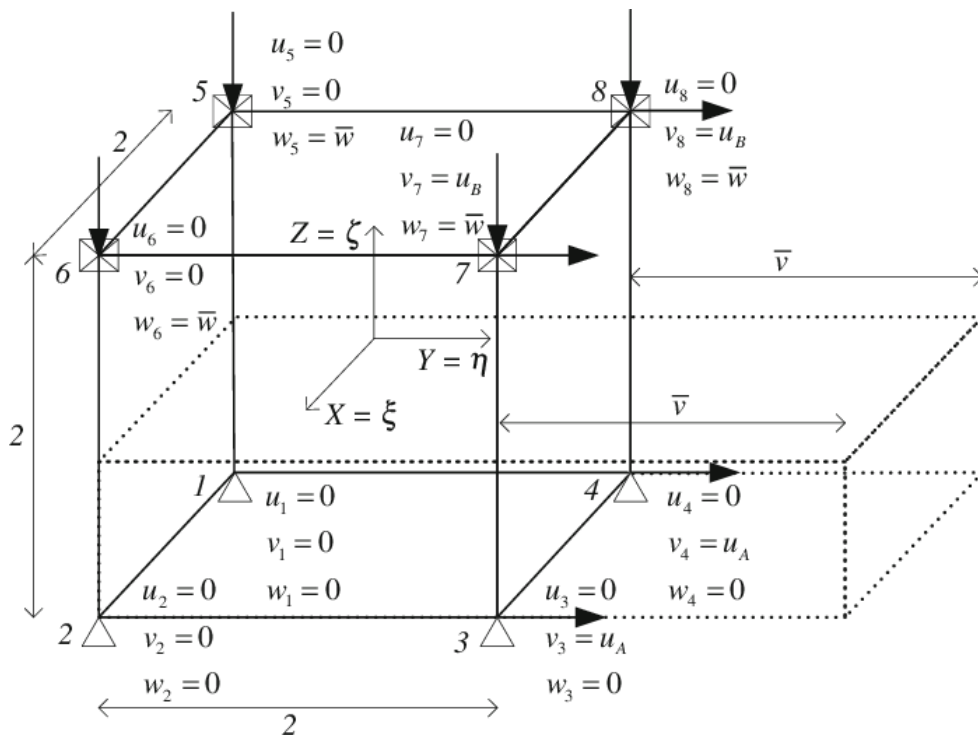
[Eq. (10)]

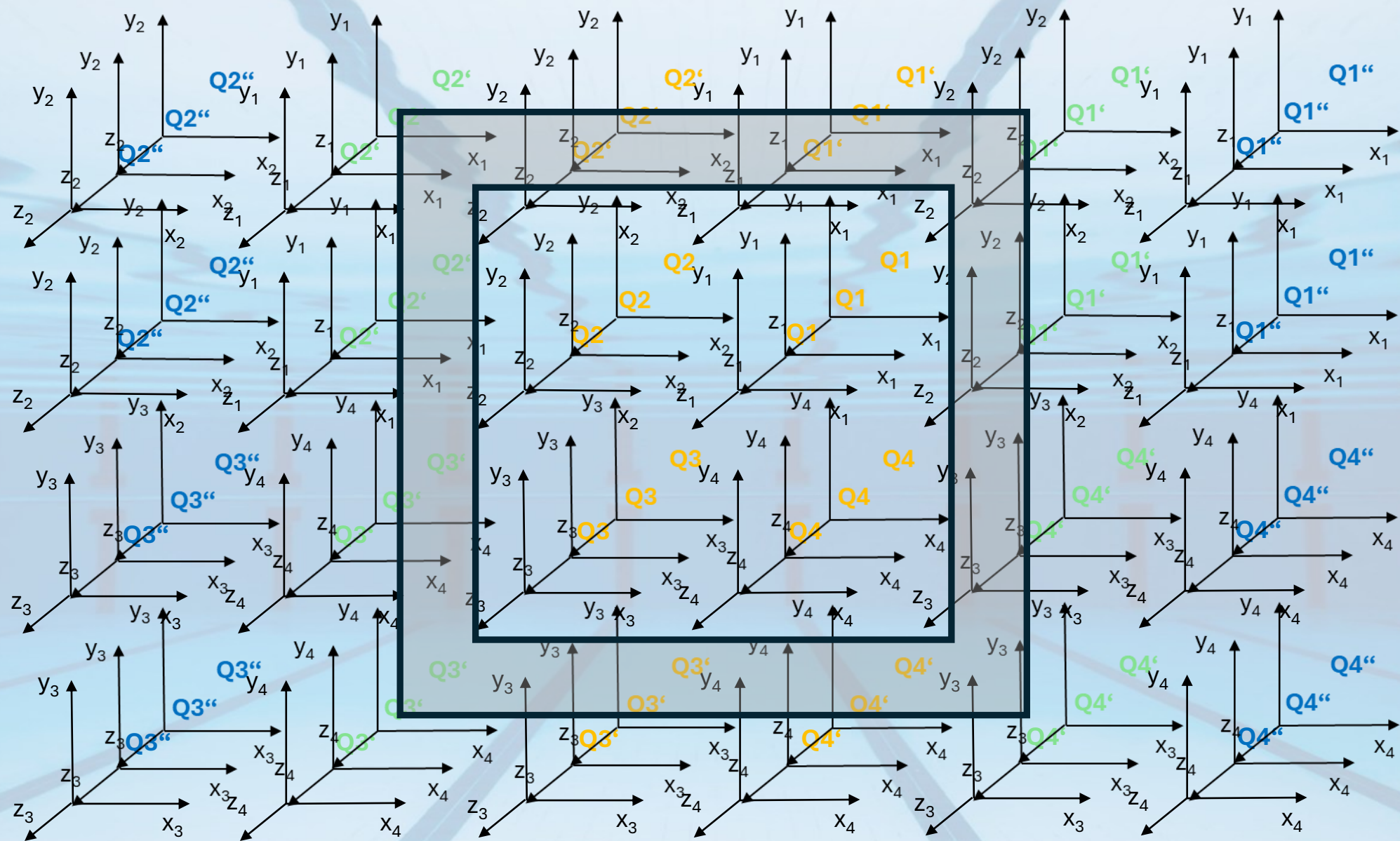


Freedom-Growth Relationship

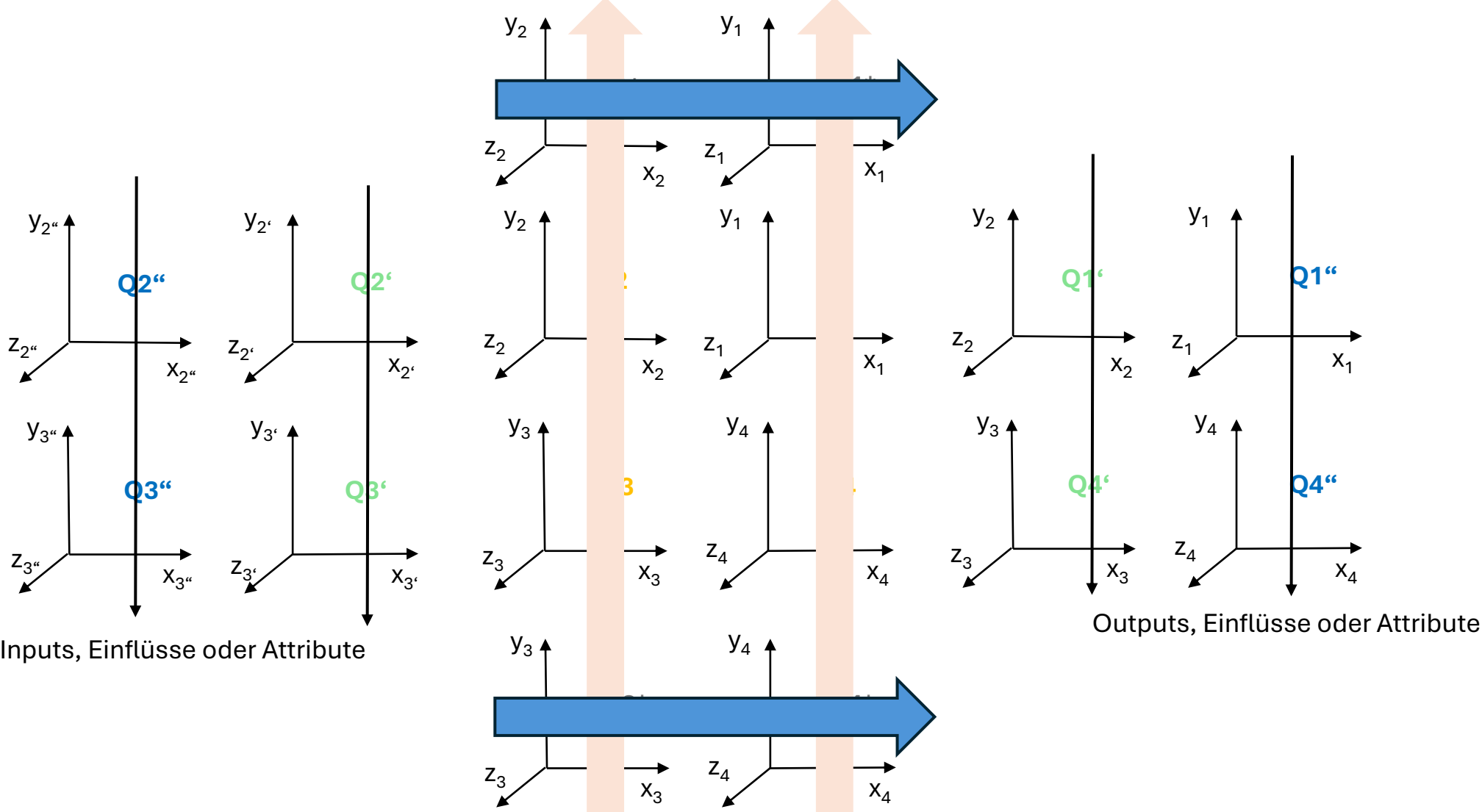
[Eq. (8)]

## Weitere Bausteine der Entwicklung

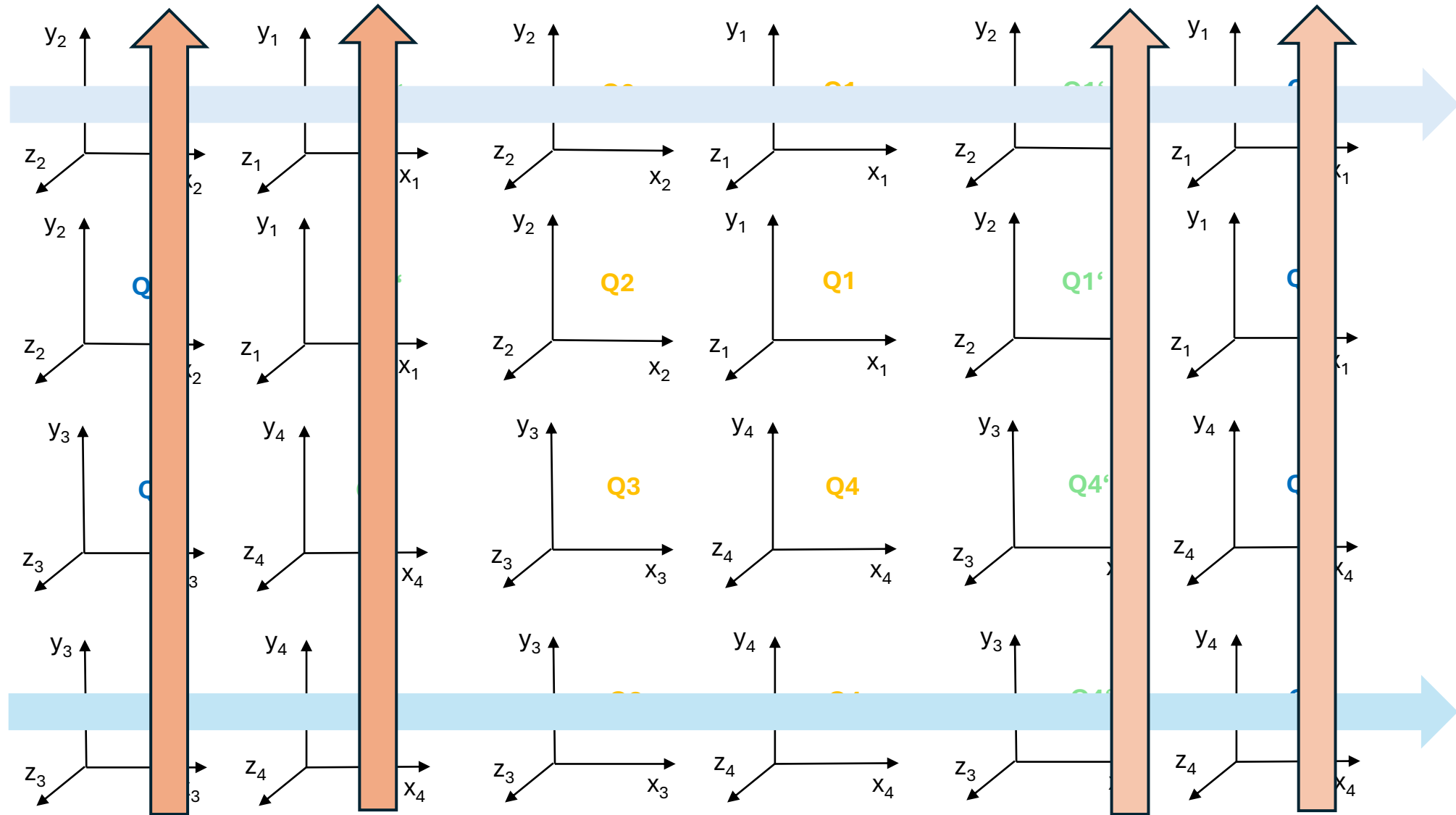




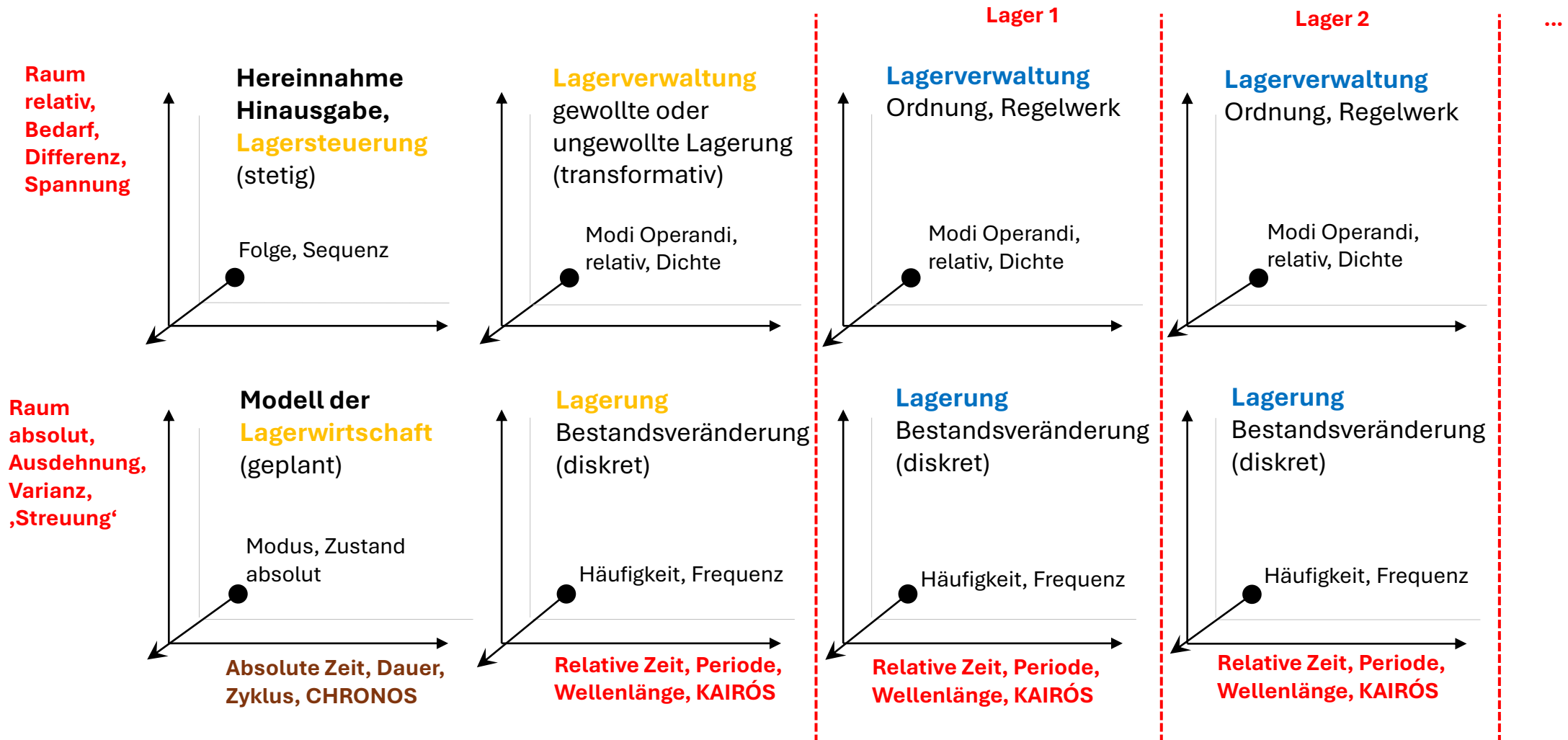
# Räumliche Aspekte über Dauer oder Perioden



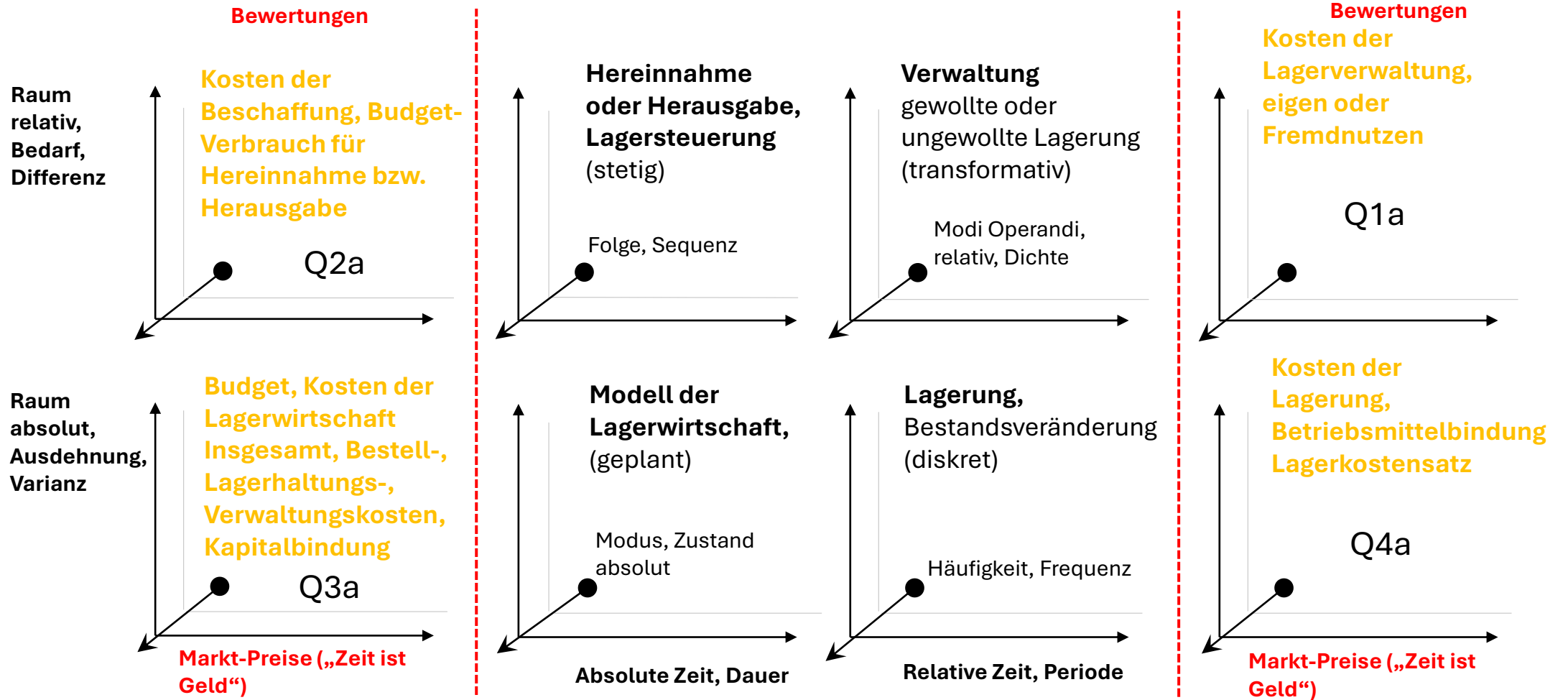
# Diverse hier auch weitere zeitliche Aspekte im M-Q-M



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

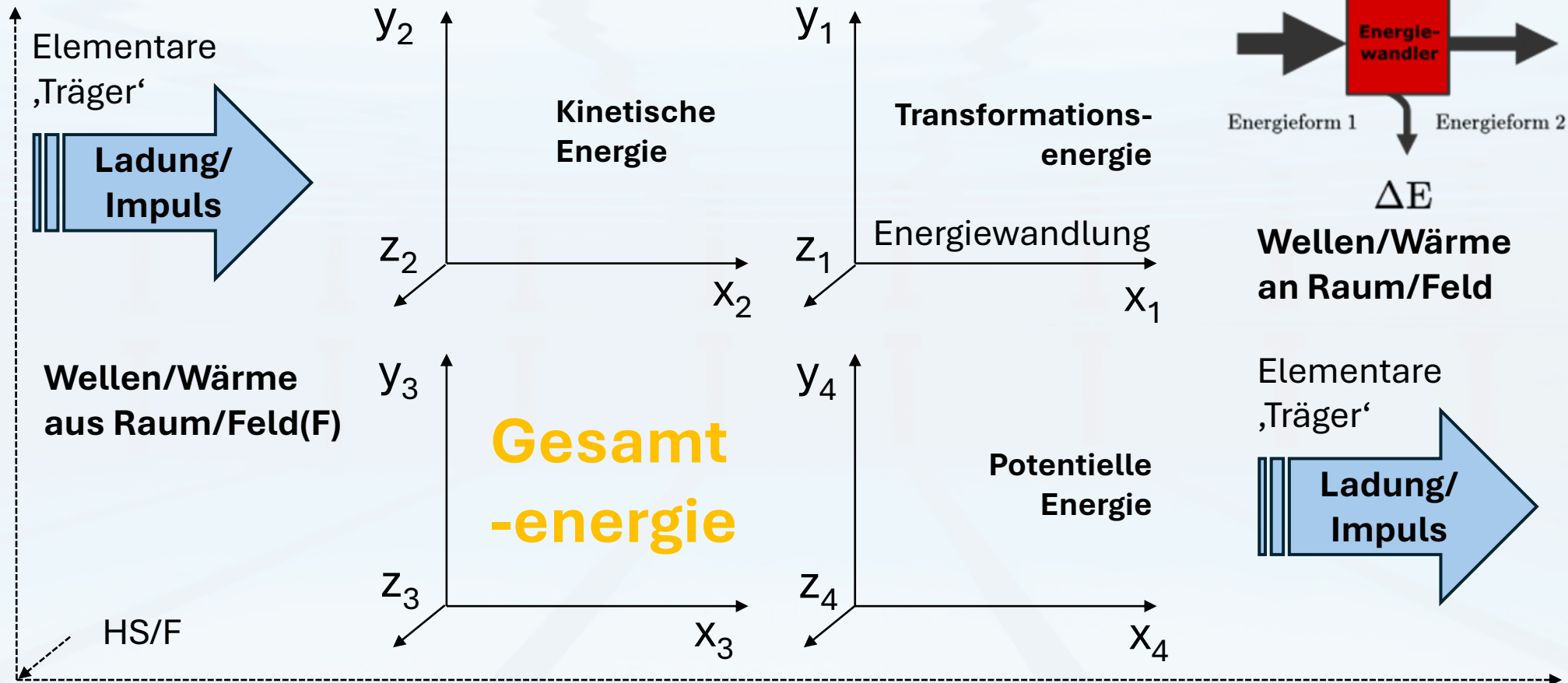


# ... oder Bewertung eines Lagersystems über ‚Kostenquadranten‘



# Speicherung, Transport, Transformation, ...

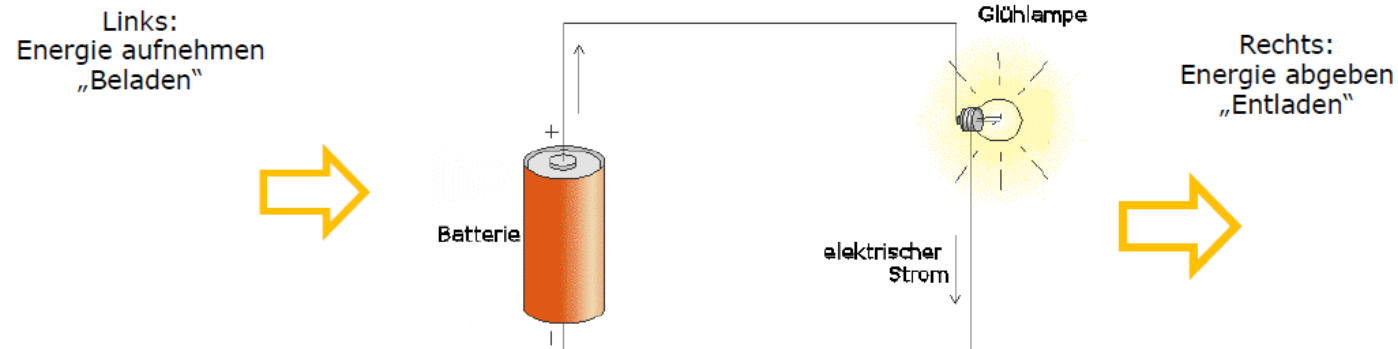
Stets der gleiche Kern für alle Energieformen und ‚Träger‘ möglich?



# Analogien in den verschiedenen Darstellungsformen



Die Bahn läuft immer im Kreis!



Der elektrische Strom läuft immer im Kreis!

# Energieformen, Größen, Werte, KPIs

## Energien:

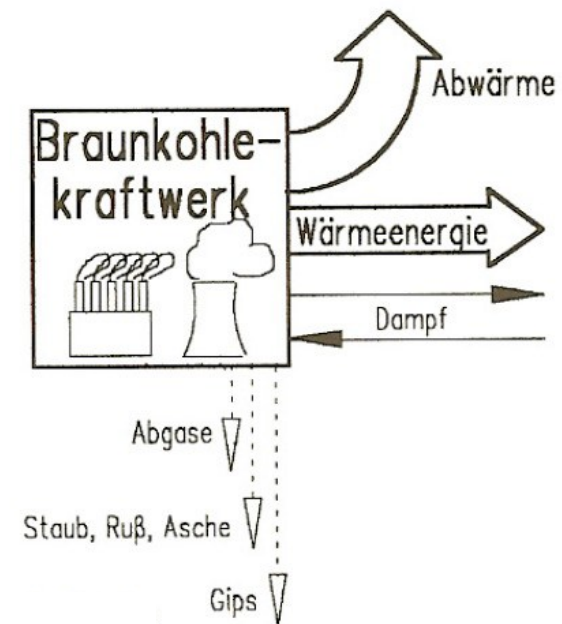
- Physikalische, Chemische, Biologische, Psychische, ....
- Kinetische, Transformations-, Potential-, Gesamtenergie von Impuls oder System
- Elektrische, Magnetische, Strahlungs-(Licht), Kernenergie
- Mechanische, Bewegungs-, Schwingungs-, Rotations-, Verformungs-, Spann-, Lageenergie
- Gravitation, Gespeicherte Energie, ...

Relevant davon für CO<sub>2</sub> ?

⇒ **CO<sub>2</sub> Umbewertung**

## Sonstige KPIs

Effizienz, Effektivität, ...



# Wichtiger KPI: Wirkungsgrad

Der **Wirkungsgrad** beschreibt die Effizienz einer technischen Einrichtung oder Anlage als Verhältniszahl der Dimension Zahl oder Prozentsatz, und zwar in der Regel das Verhältnis der Nutzenergie zur zugeführten Energie. Sofern keine Verfälschung durch gespeicherte Energie erfolgt, kann genauso mit der Leistung gerechnet werden als Verhältnis der Nutzleistung zur zugeführten Leistung. Üblicherweise wird der Wirkungsgrad mit dem griechischen Buchstaben (eta) bezeichnet und kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen:

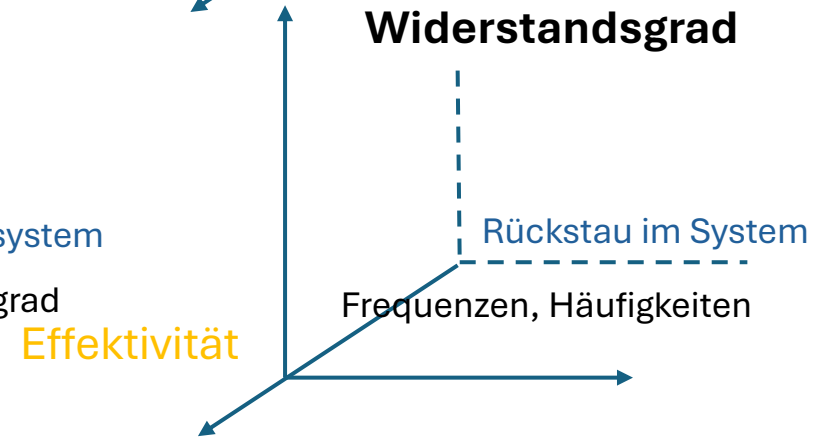
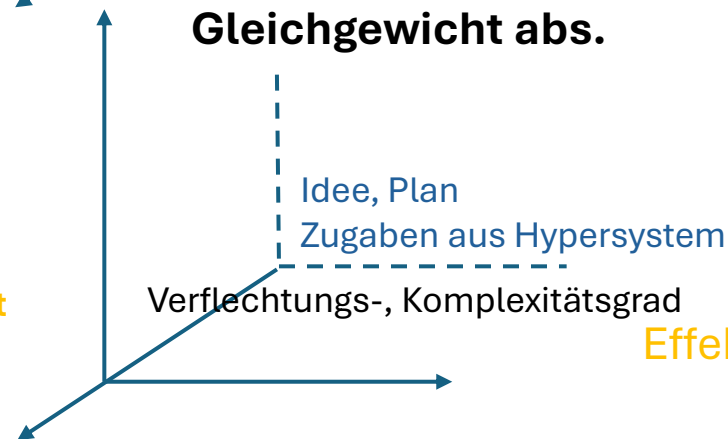
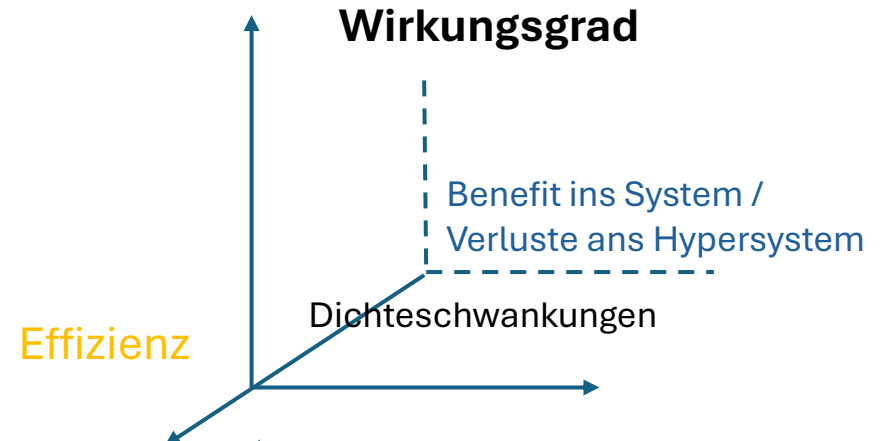
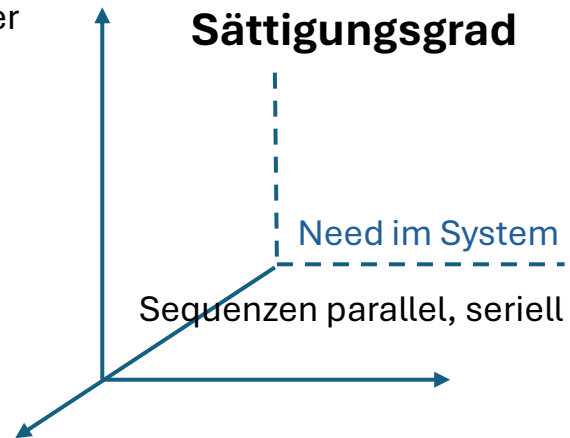


Wirkungsgrad einer Glühlampe[Anm. 1]  
(Darstellung als Sankey-Diagramm)

Mehr zu Wirkungsgraden siehe Anhang

# System: Aktivität / Bewegung / Bündel

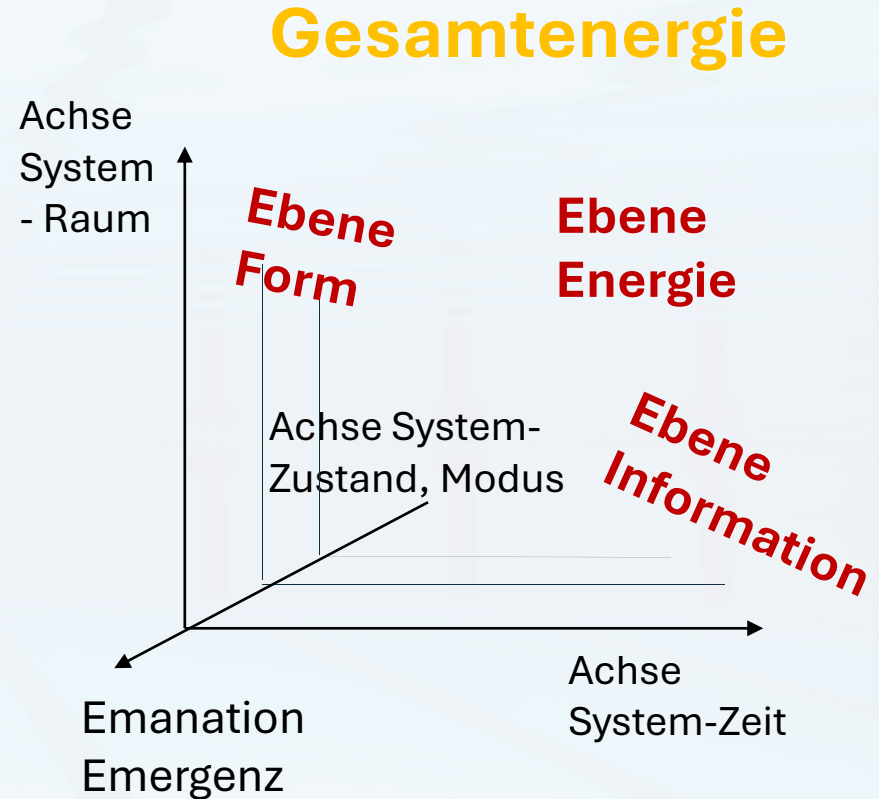
Sättigungsgrad = großes oder geringes Bedürfnis, außen Ressourcen nachzufragen  
Wirkungsgrad =  
Widerstandsgrad =  
Gleichgewicht =



# 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**.



# Die Komponenten eines Systems im Einzelnen

## Q1:

Parameterraum = ( $y_1; x_1; z_1$ )

## Q2:

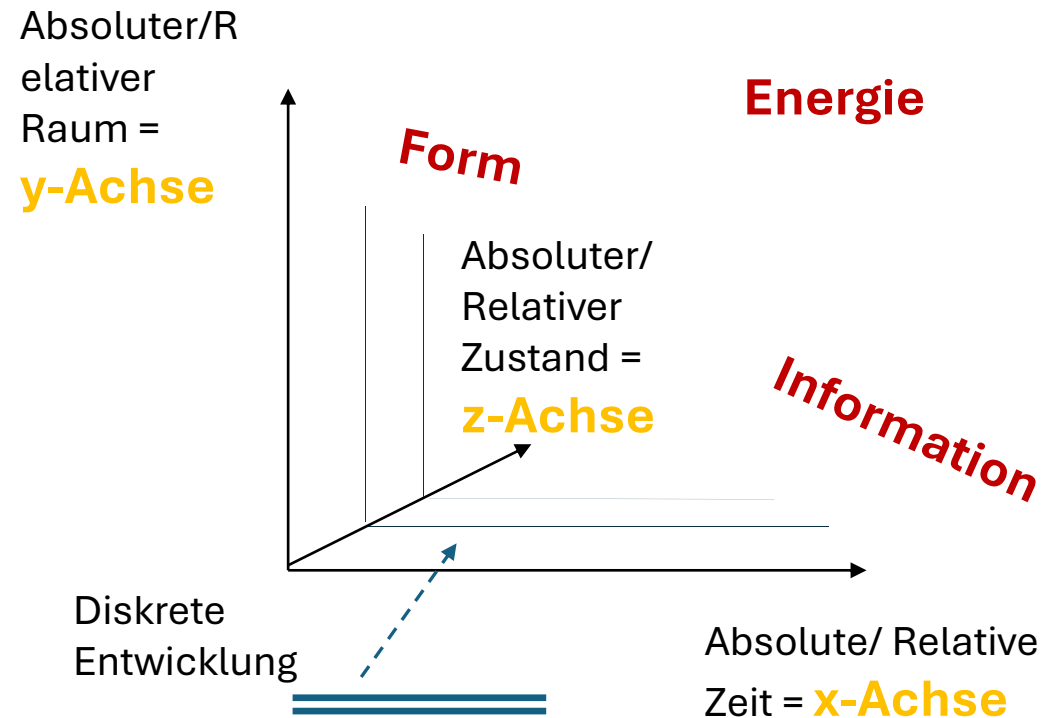
Prozessraum = ( $y_2; x_2; z_2$ )

## Q3:

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

## Q4:

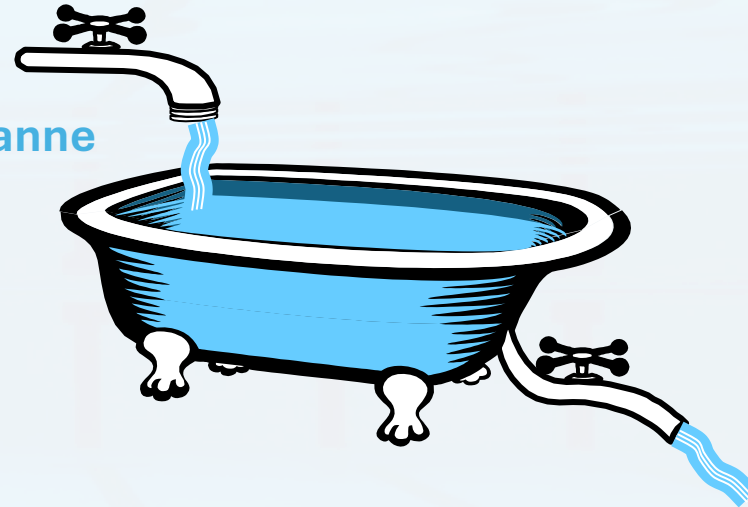
Veränderungsraum = ( $y_4; x_4; z_4$ )



# 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**

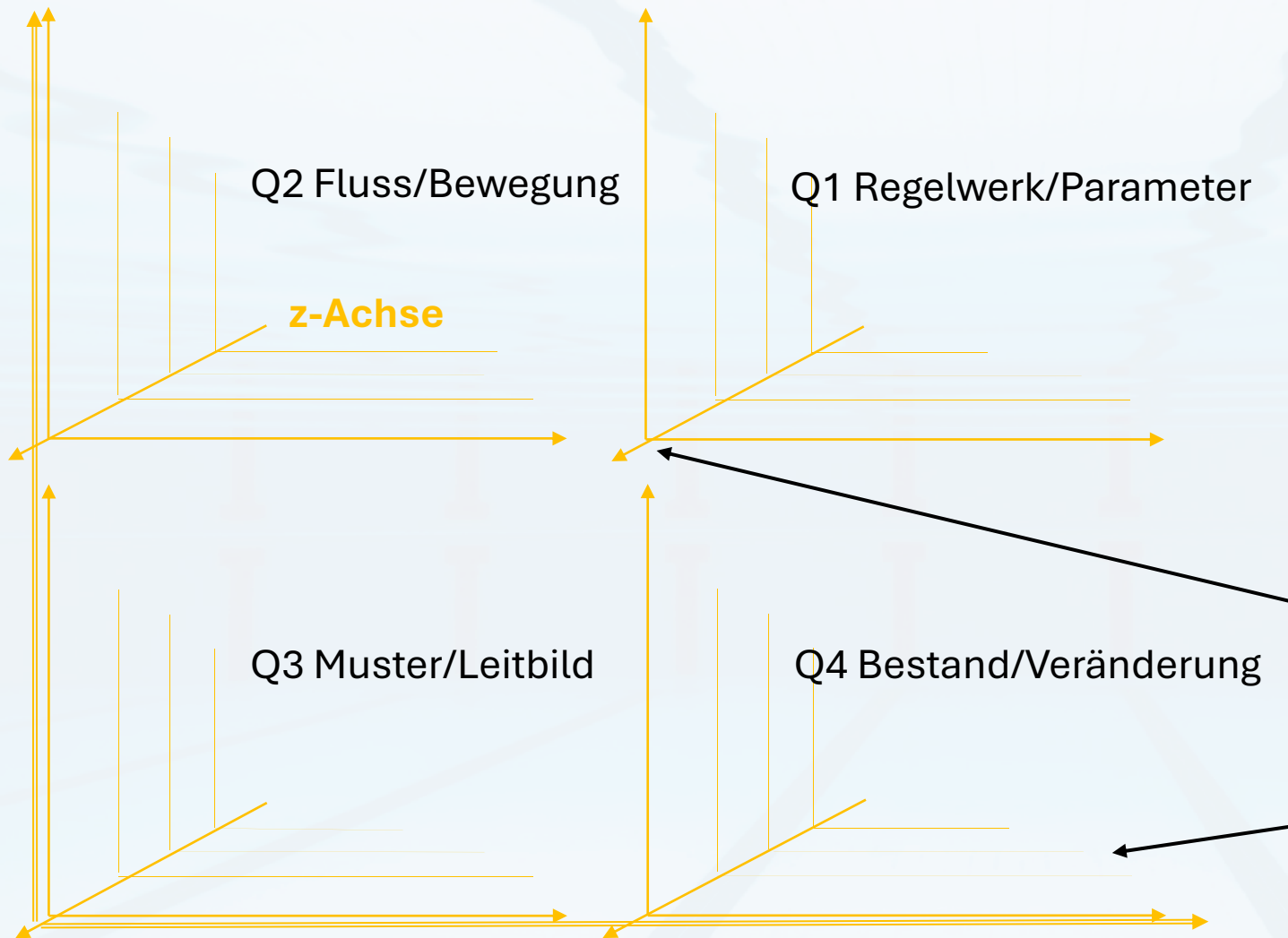
Lager, Speichersystem Wanne



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

Im Flussdiagramm SD  
(Eindimensionale Zeit):



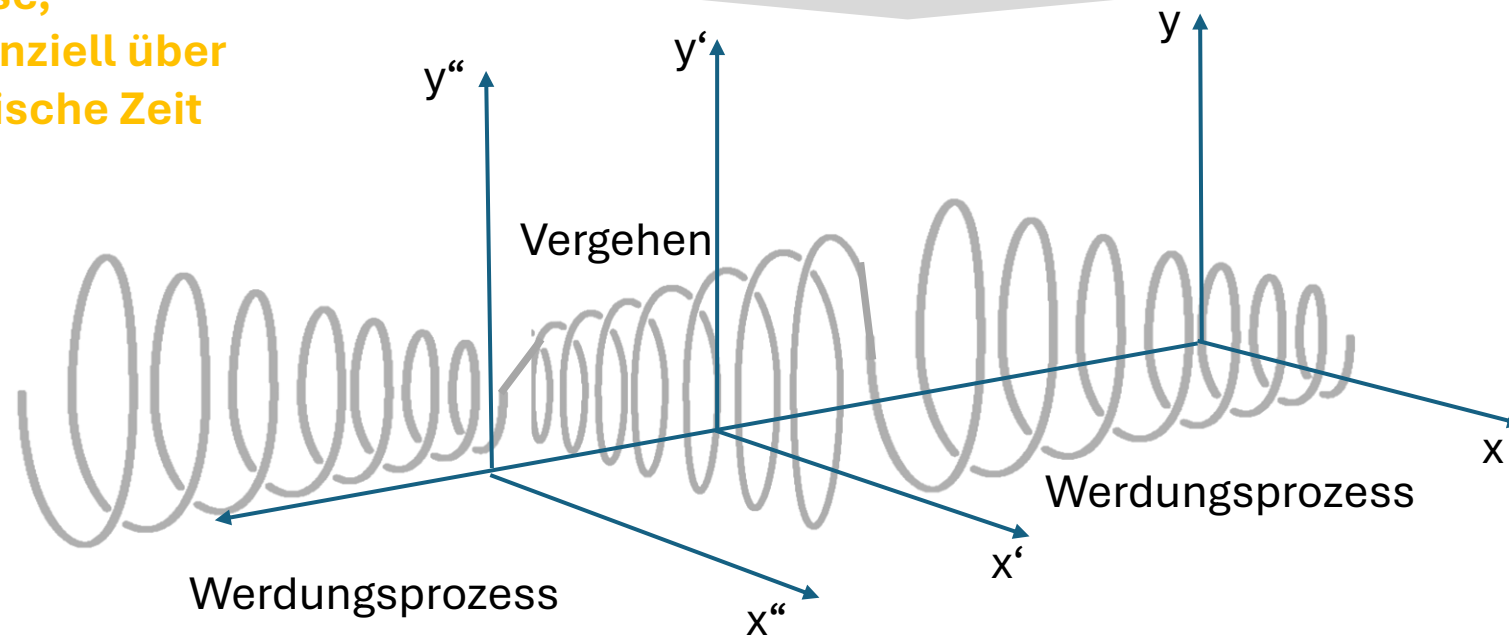


Die **z-Achse** erlaubt Beobachtung und Dokumentation eines Systems über einen „hyper“-historischen Zeitverlauf, d.h. über einen Zyklus des Systems (Werden-Vergehen) hinaus. Dabei können Teilungen und Entwicklung von Stämmen u.a.m. konsistent über fiktive Zeiträume, zum Beispiel eines Experiments, modelliert 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.

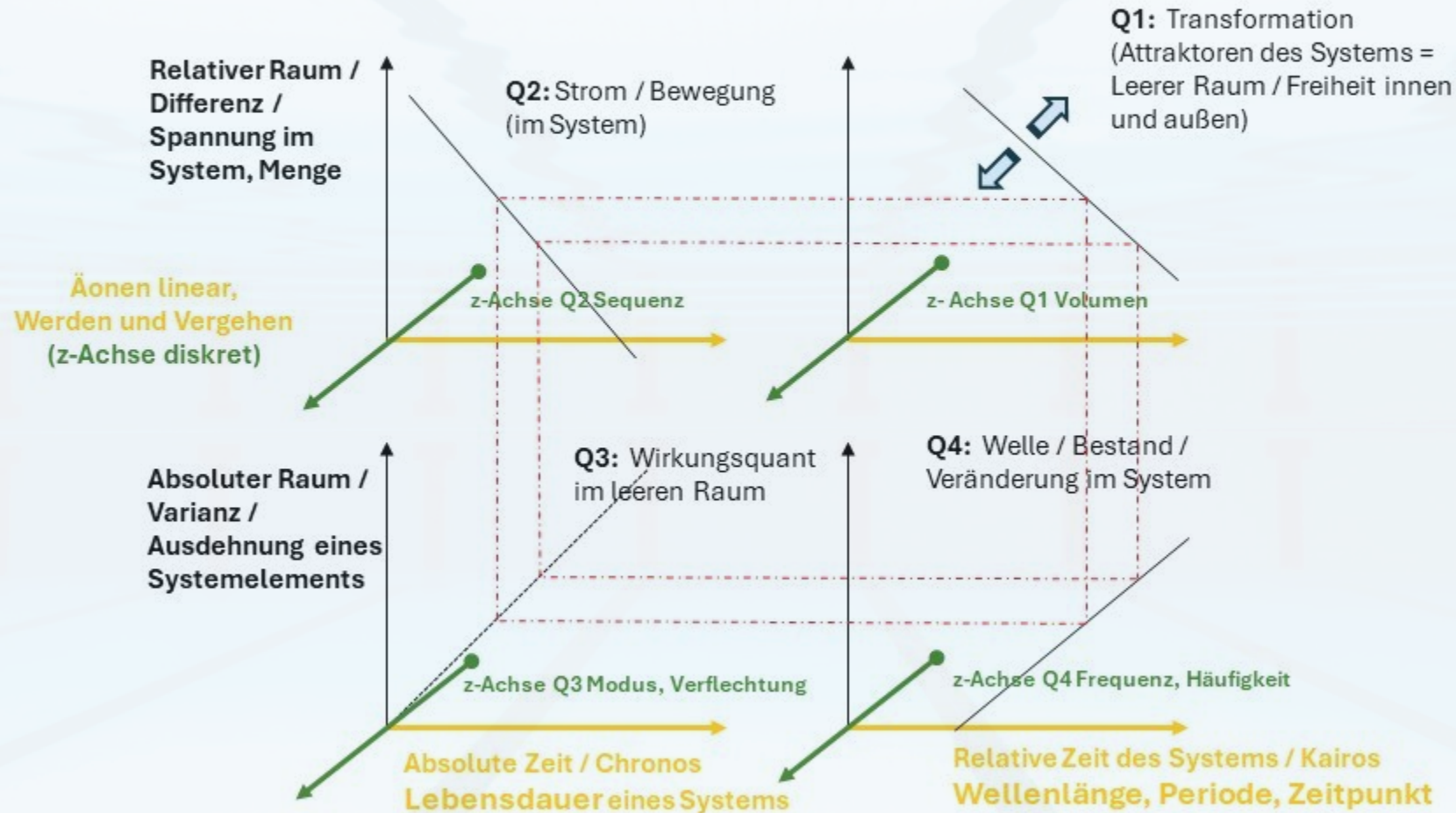
# Werden und Vergehen über die historische Zeit

Möglich ist die Unterteilung in mehr Phasen der Entwicklung oder des Vergehens

**z-Achse,  
sequenziell über  
historische Zeit**

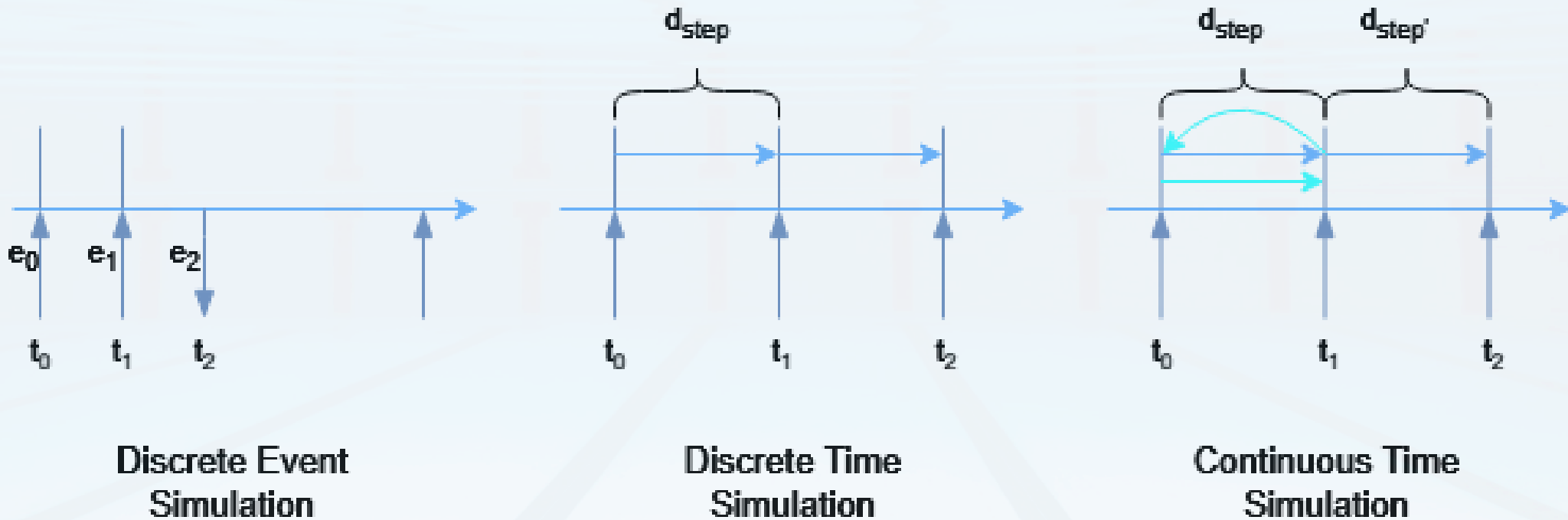


# Zeitgedanken übertragen ins 4-Q-M



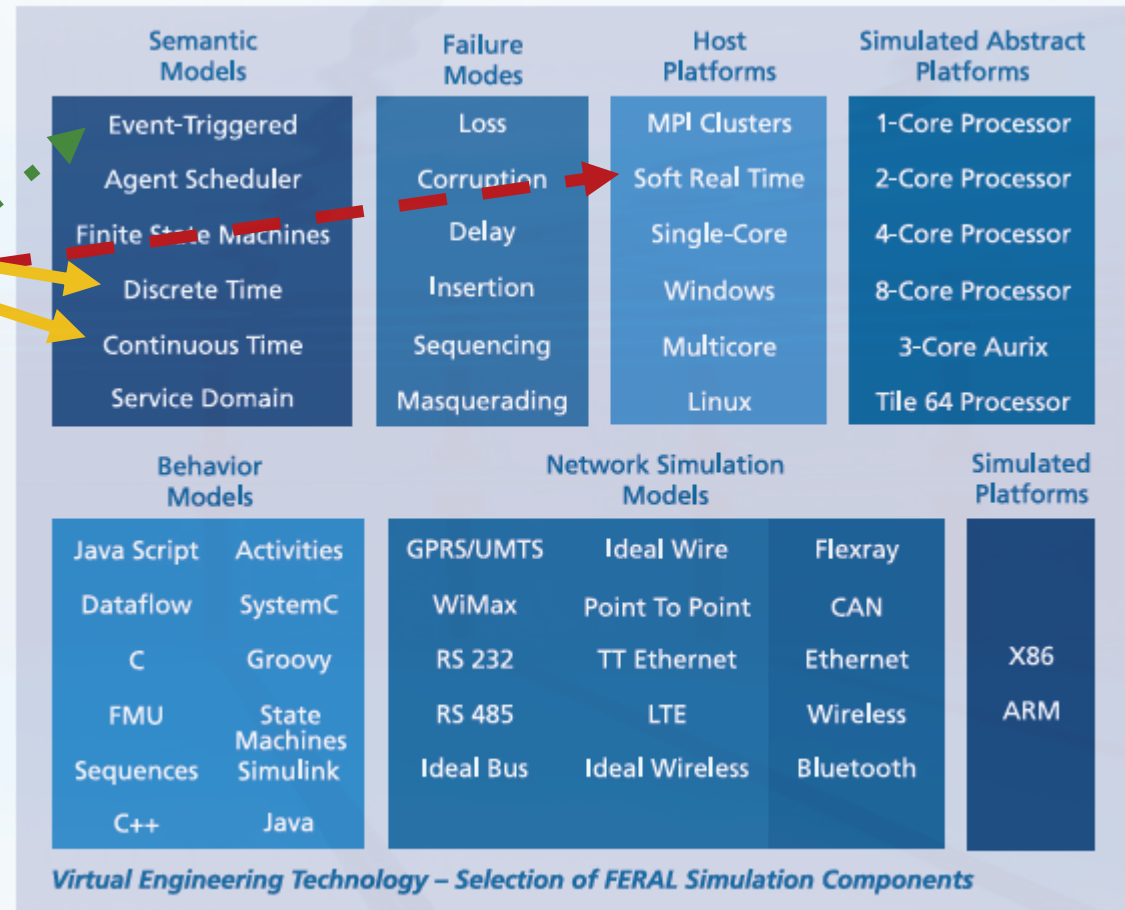
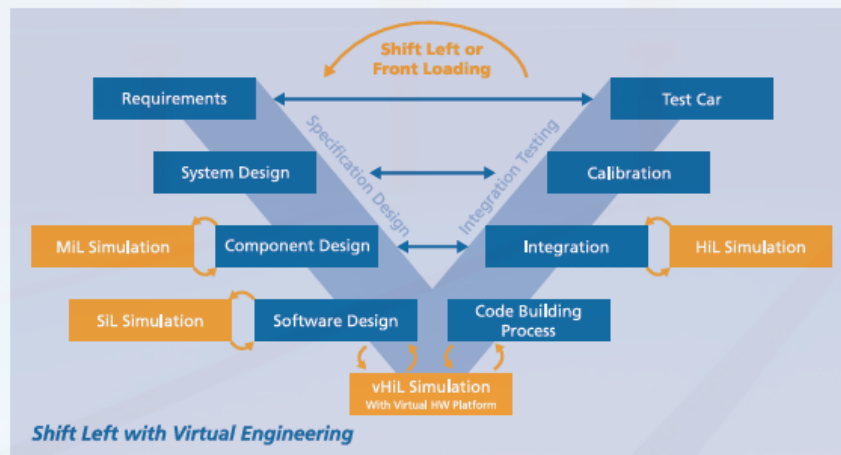
# Modelle der Berechnung und Kommunikation MOCC

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)**



**M-Q-M**

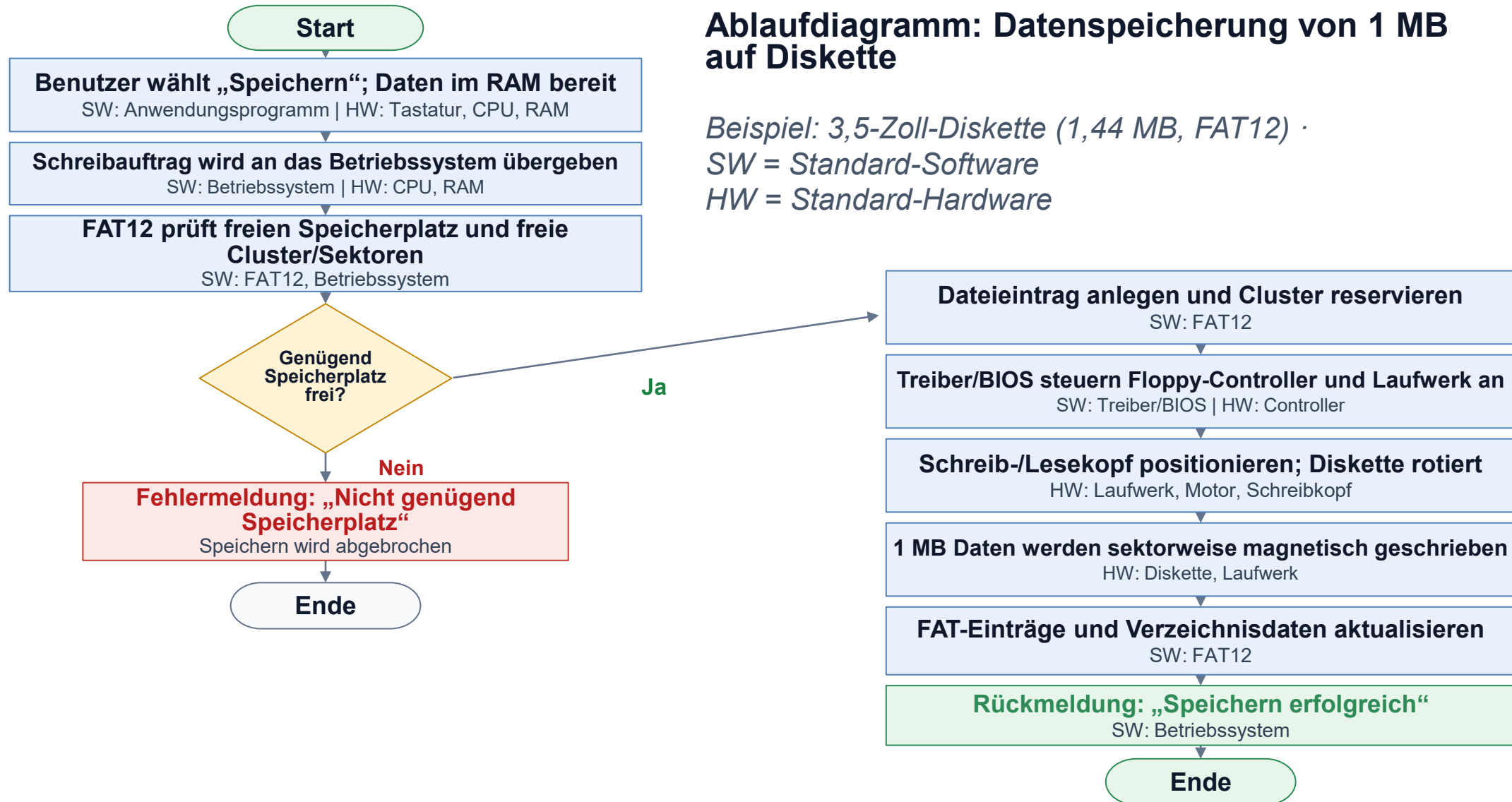
Beispiel

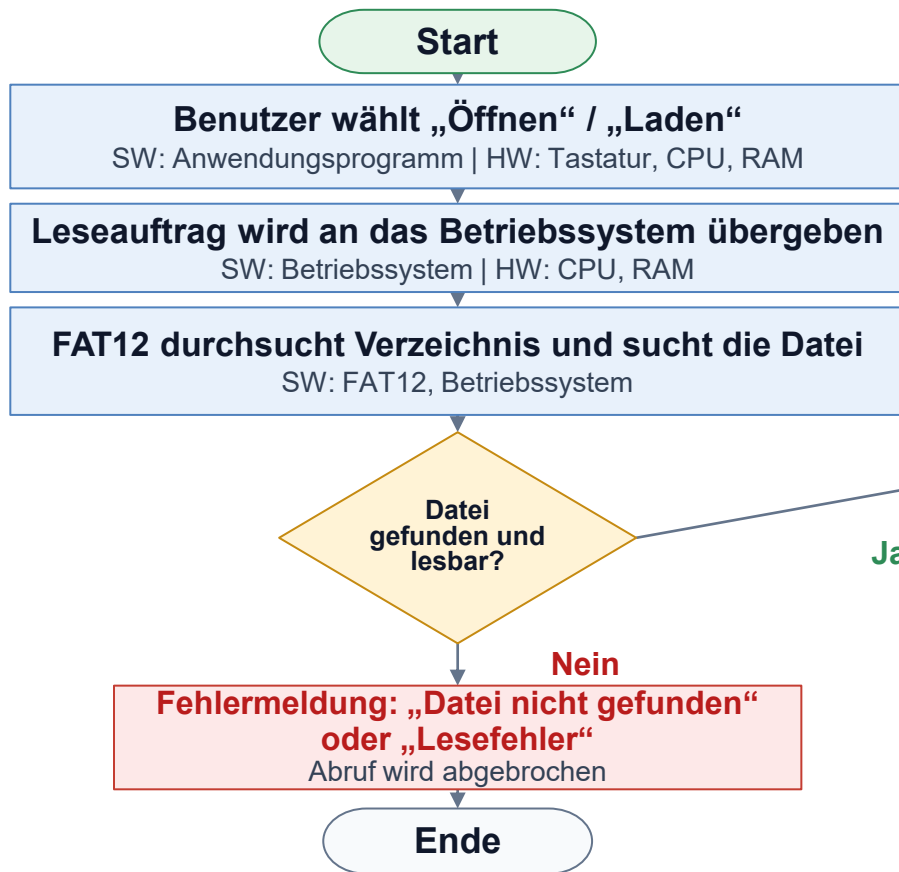
## Ablaufdiagramm: Datenspeicherung von 1 MB auf Diskette

Beispiel: 3,5-Zoll-Diskette (1,44 MB, FAT12) ·

SW = Standard-Software

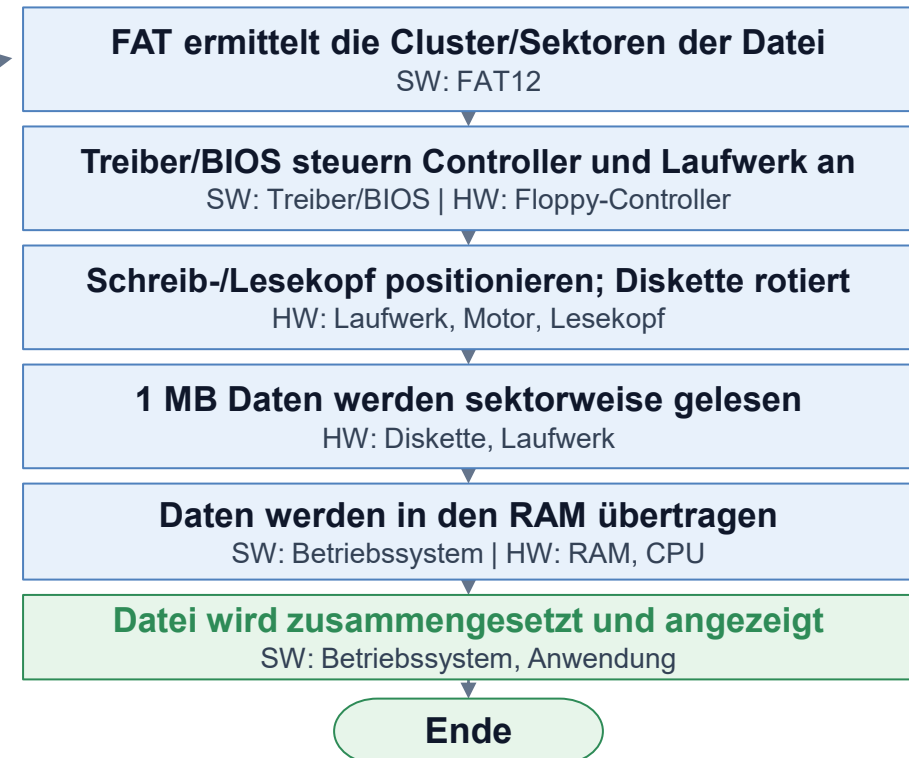
HW = Standard-Hardware





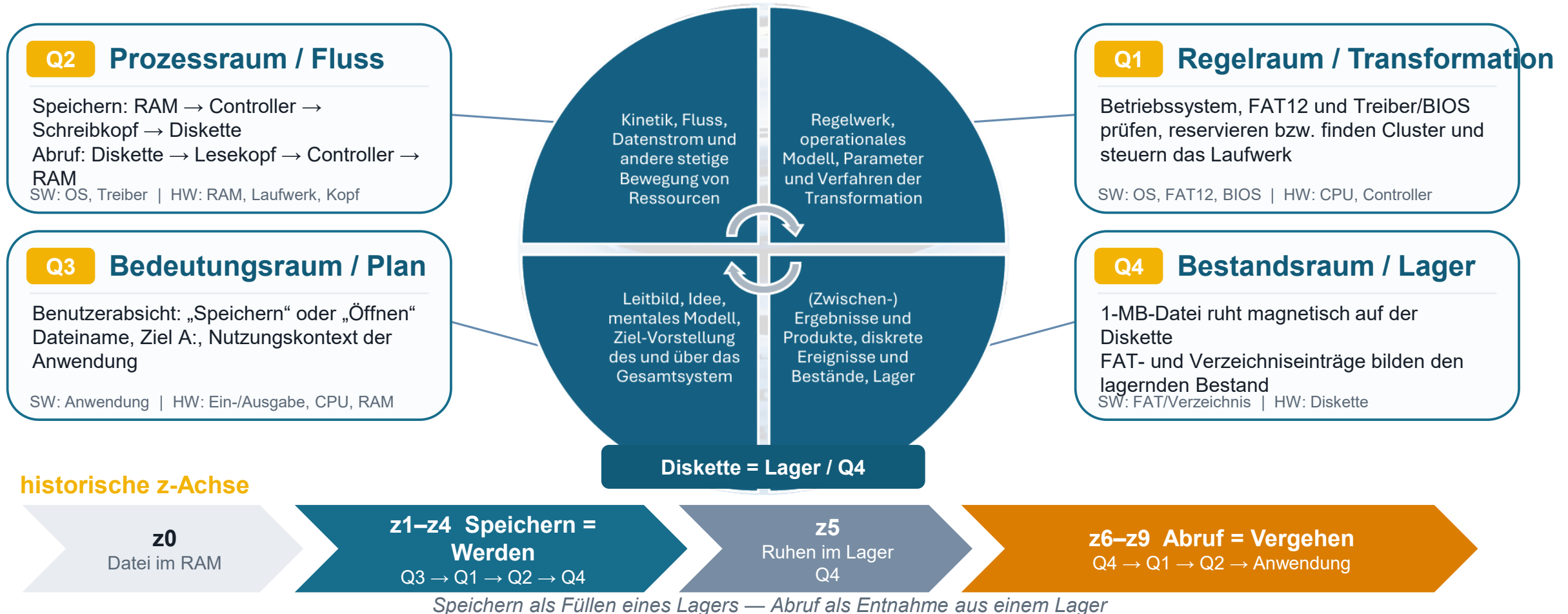
## Ablaufdiagramm: Abruf von 1 MB von Diskette

Beispiel: 3,5-Zoll-Diskette (1,44 MB, FAT12) ·  
 SW = Standard-Software  
 HW = Standard-Hardware



# Datenspeicherung und Datenabruf im M-Q-M

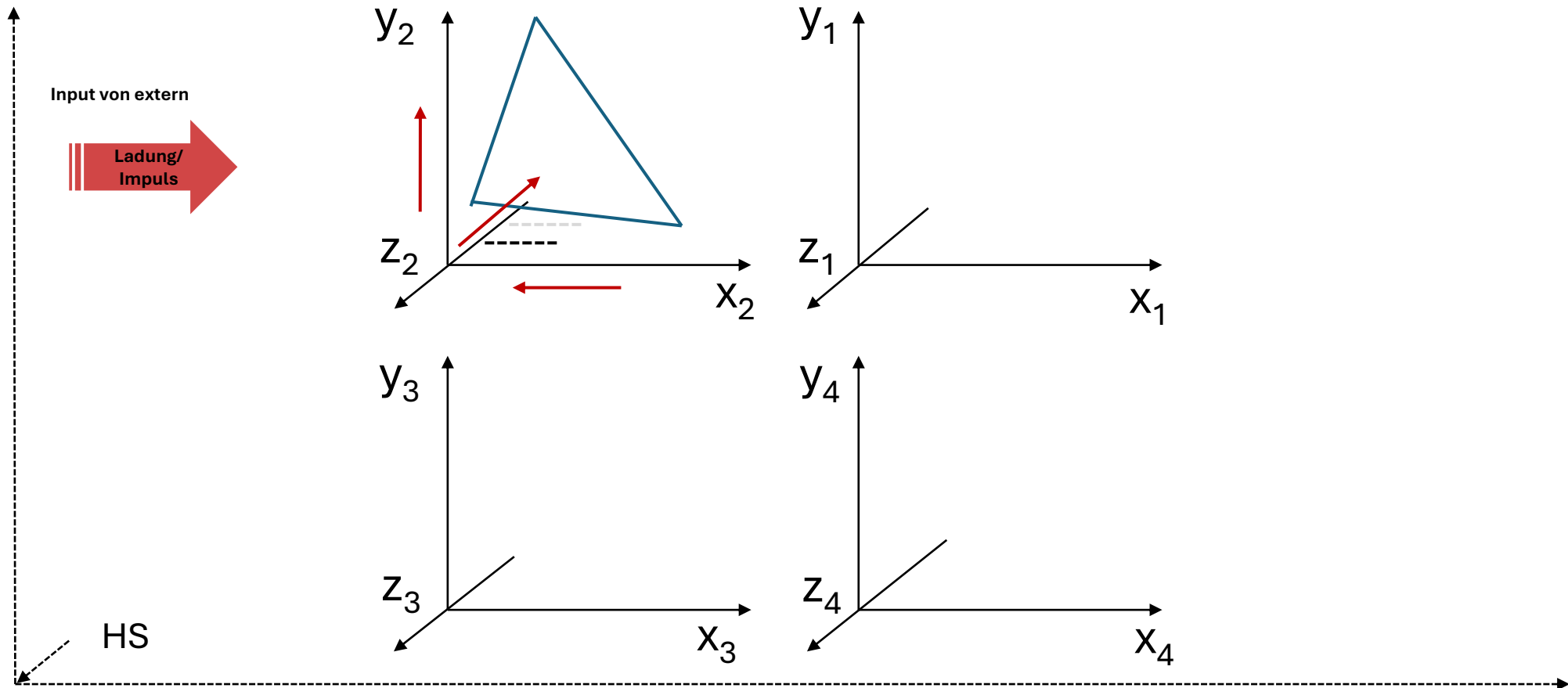
Diskette als Lager (Q4): Speichern = **Werden** | Abruf = **Vergehen** auf der z-Achse



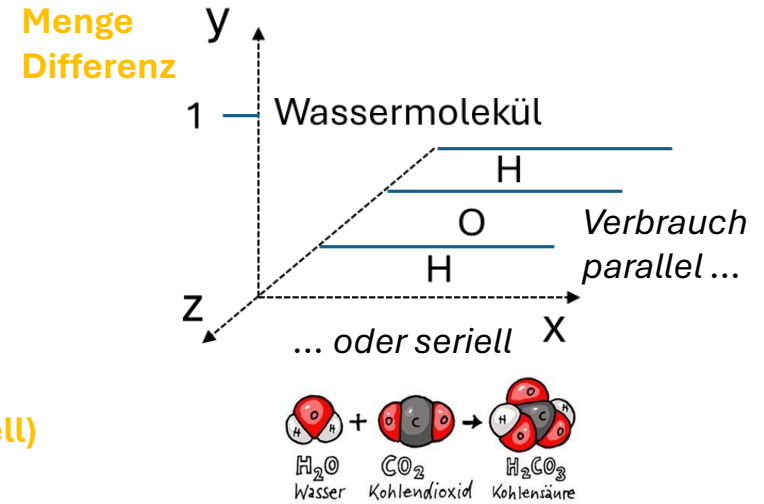
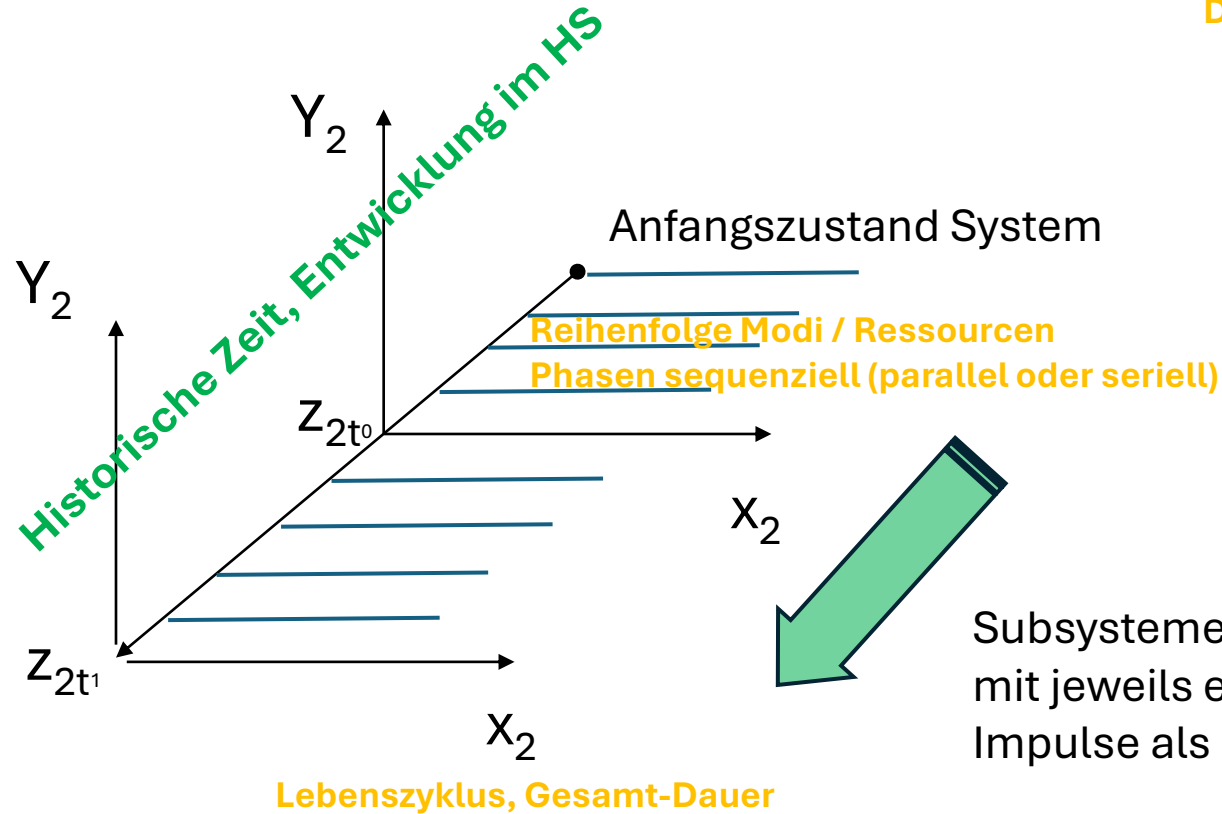
\*Modelltheoretisch: „Vergehen“ meint hier das Verlassen des ruhenden Lagerzustands; die Datei kann physisch auf der Diskette erhalten bleiben.

# M-Q-M Ladung oder Träger = Energie, Bewegung, Aktivität

## Identität im geschlossenen System



# Bedeutung der z-Achse: Hier für Q2



Subsysteme (Bewegungen, Aktivitäten mit jeweils eigener Kinetischer Energie), Impulse als Phasen eines Impulses HS

## Quadrant

## Ebenen

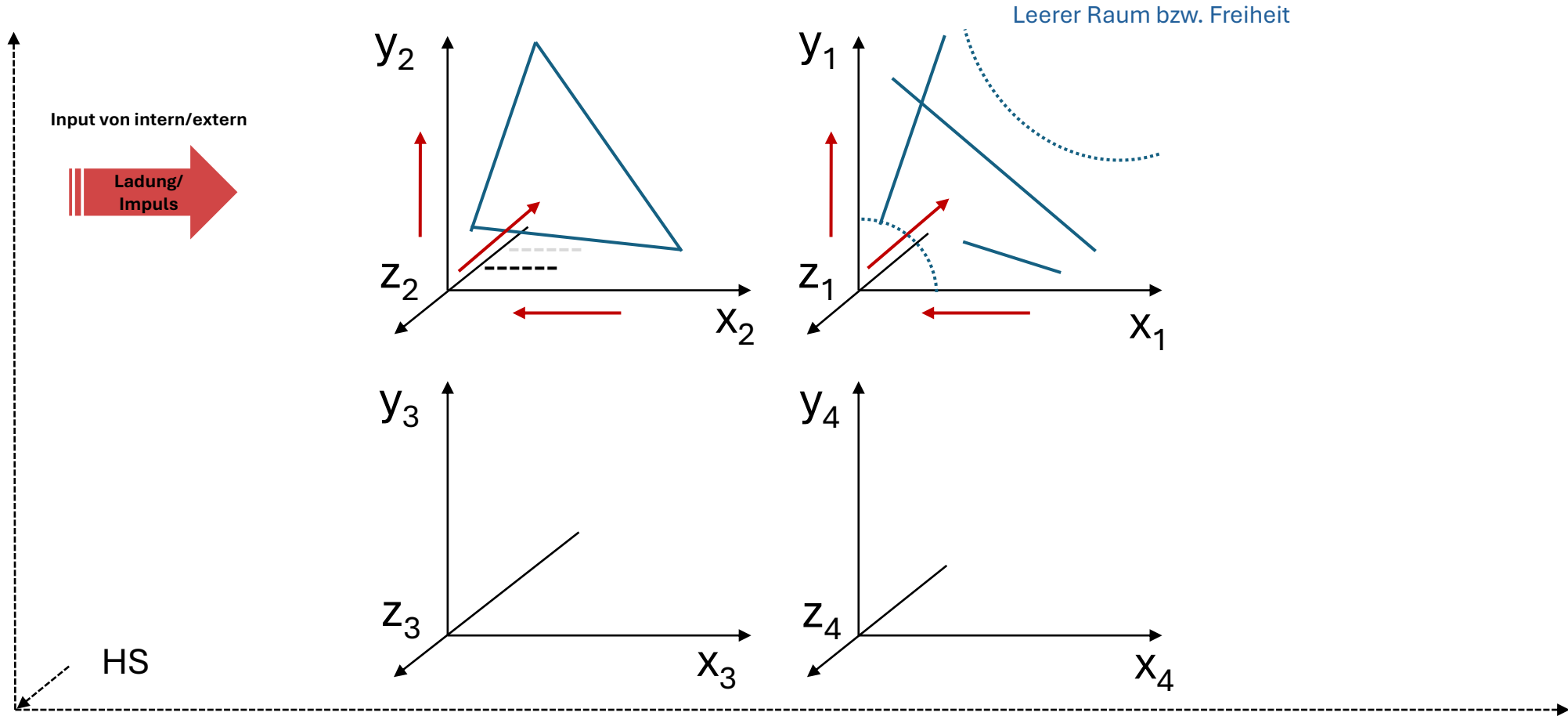
## Achsen

	Form:	Menge/Sequenz	$y_2$ : Menge, Differenz, Spannung
Q2: Input intern oder extern, Verbrauch	Information:	Sequenz/Dauer	$z_2$ : Sequenz, Folgen, Phasen div. Ressourcen
	Energie <sub>kin.</sub> :	Menge/Dauer	$x_2$ : Gesamt-, Lebensdauer

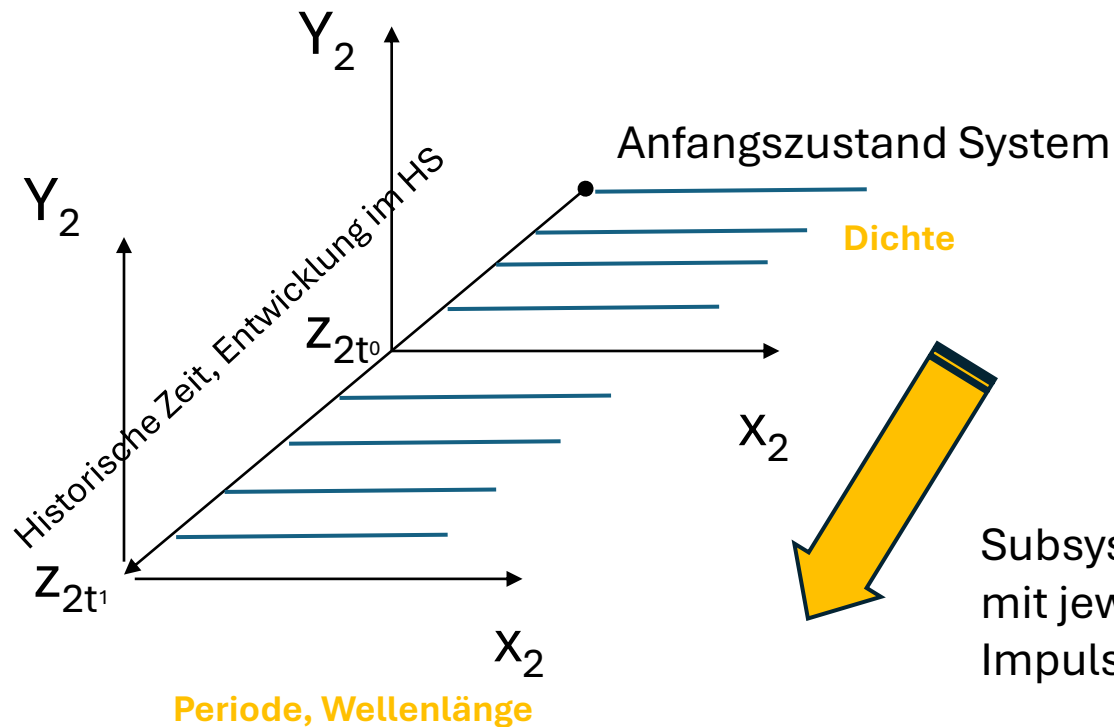
**Wieviel Energie einer Ressource ( $y_2$ ) wird in welcher diskreten Reihenfolge ( $z_2$  – parallel, sequenziell) über welchen gesamten Verbrauchszeitraum ( $x_2$ ) laufend bzw. stetig fließend benötigt.**

# M-Q-M Ladung und Träger

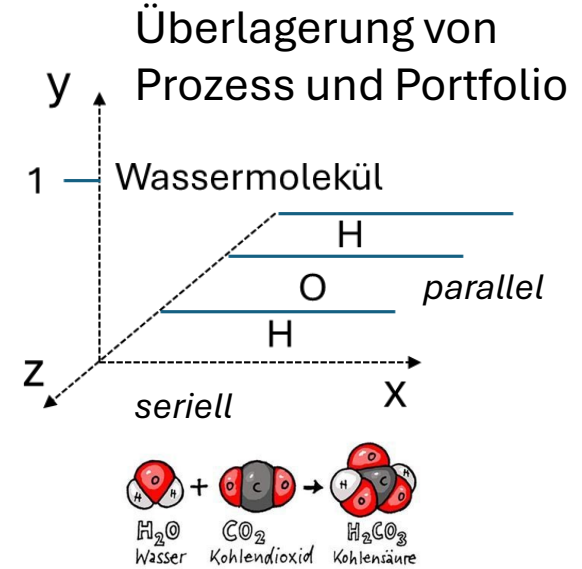
## Identität im geschlossenen System



# Bedeutung der z-Achse: Hier für Q1



Menge  
Differenz



Subsysteme (Bewegungen, Aktivitäten mit jeweils eigener Transformationsenergie), Impulse als Phasen eines Impulses HS

## Quadrant

## Ebenen

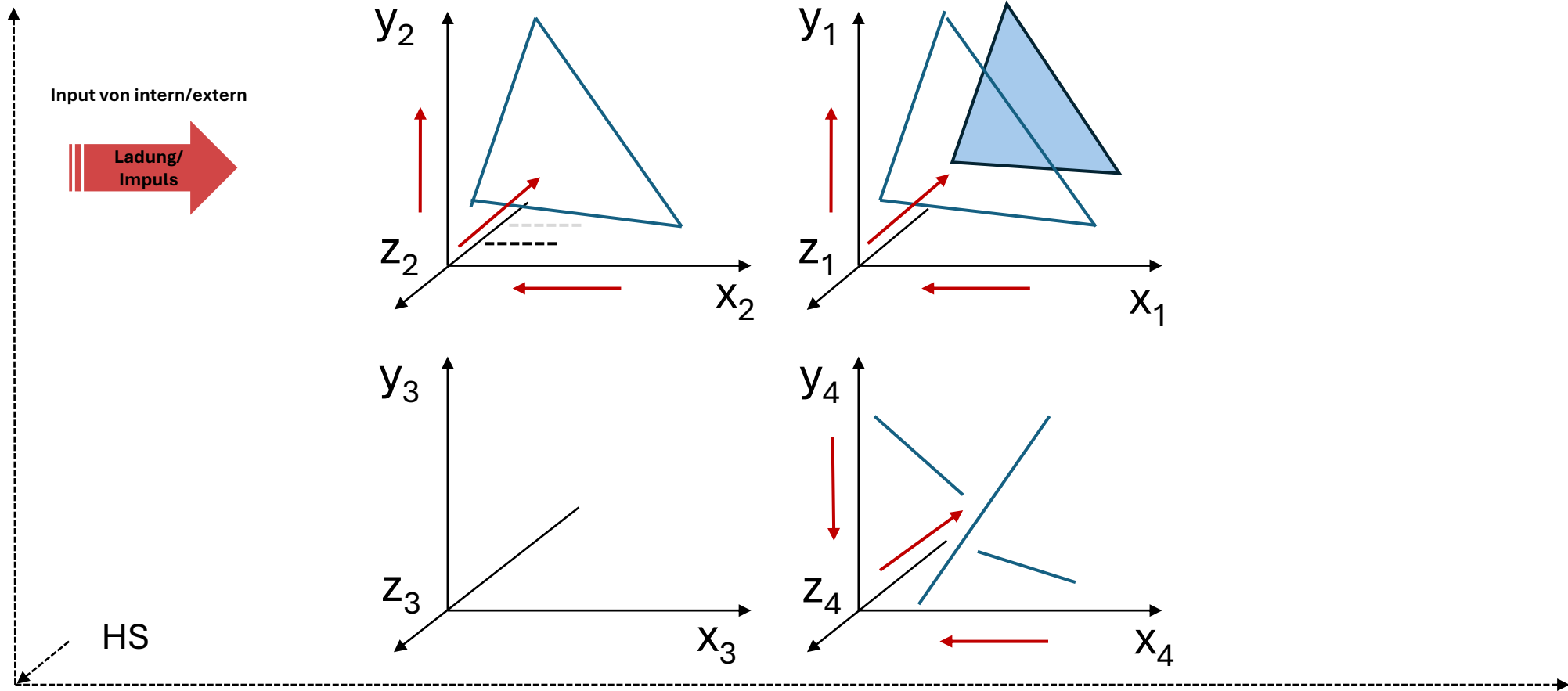
## Achsen

	Form:	Menge/Dichte	$y_1$ : Menge, Differenz, Spannung
Q1: Transformation	Information:	Dichte/Periode	$z_1$ : Dichte
	Energie <sub>transf.</sub> :	Menge/Periode	$x_1$ : Perioden-, Wellenlänge

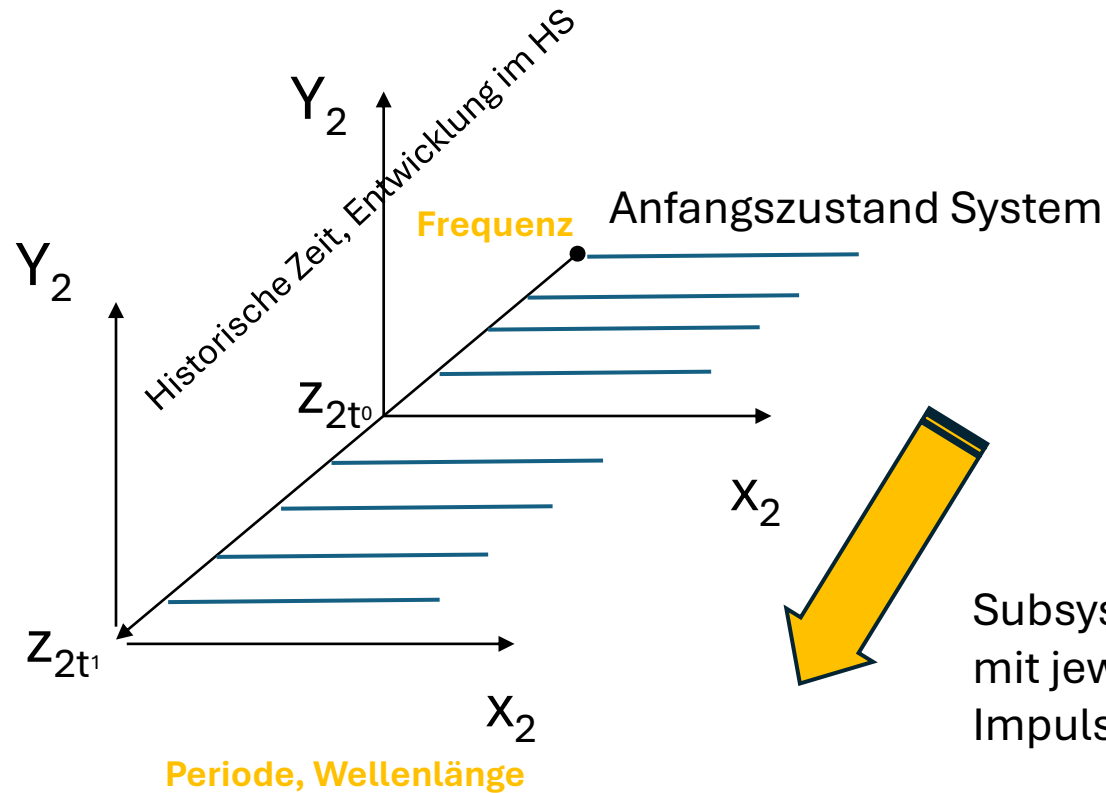
**Wieviel Energie einer Ressource ( $y_1$ ) wird in welcher Dichte bzw. nach welchen Regeln oder Verfahren ( $z_1$ ) über welche Periode ( $x_1$ ) verarbeitet.**

# M-Q-M Ladung und Träger

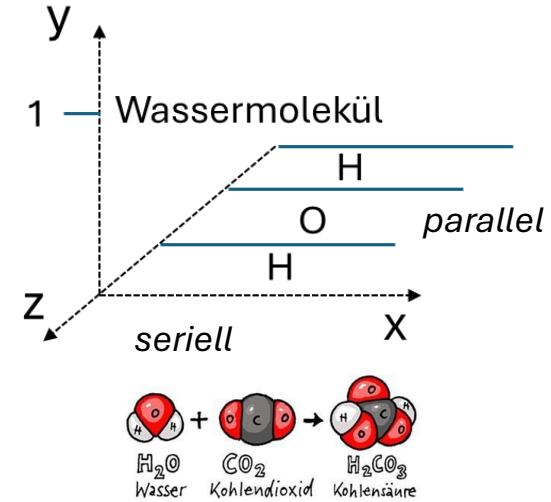
## Identität im geschlossenen System



# Bedeutung der z-Achse: Hier für Q4



Ausdehnung  
Varianz  
Amplitude



Subsysteme (Bewegungen, Aktivitäten mit jeweils eigener Potentialenergie), Impulse als Phasen eines Impulses HS

## Quadrant

## Ebenen

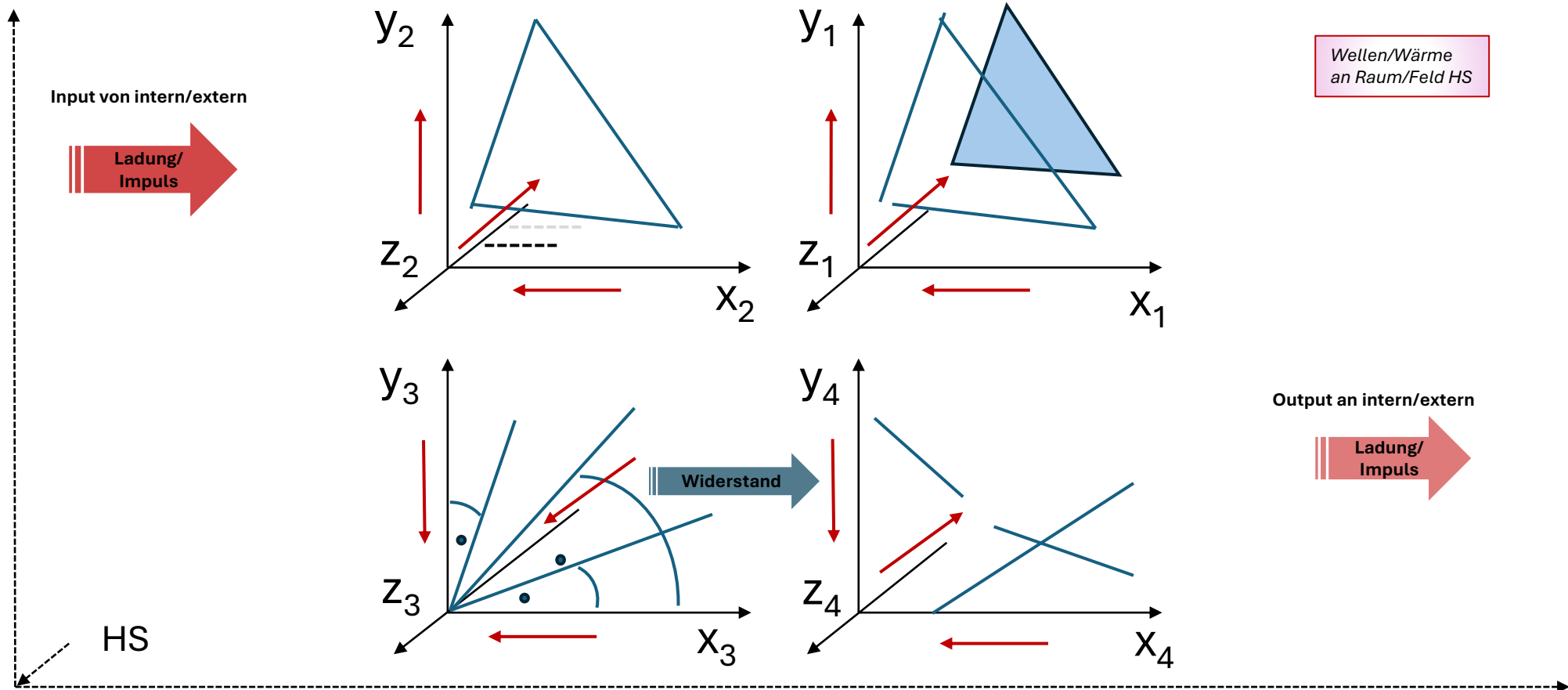
## Achsen

	Form:	Ausdehnung/Frequenz	$y_4$ : Ausdehnung, Varianz, (2x)Amplitude
Q4: Outcome/-put	Information:	Frequenz/Periode	$z_4$ : Frequenz, Häufigkeit
	Energie <small>Potent.</small> :	Ausdehnung/Periode	$x_4$ : Perioden-, Wellenlänge

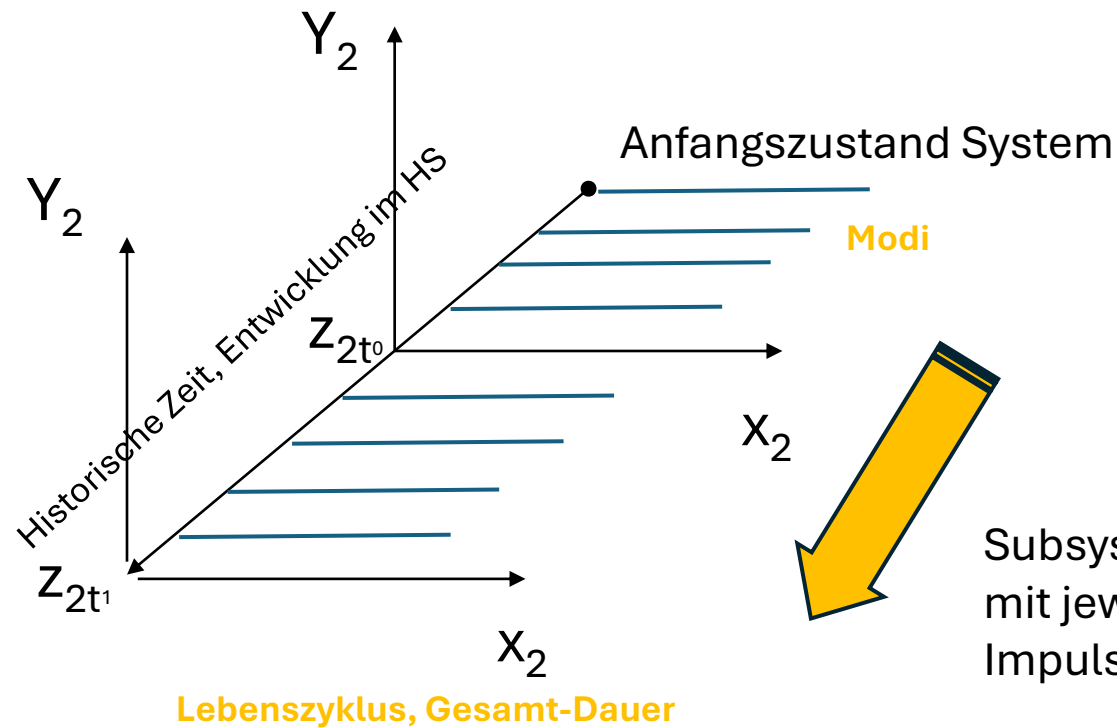
**Wie stark schwankt die im Ergebnis / Produkt gespeicherte Energie ( $y_4$ ) in welcher Häufigkeit ( $z_4$ ) und über welche Periode ( $x_4$ ) hergestellt.**

# M-Q-M Ladung und Träger

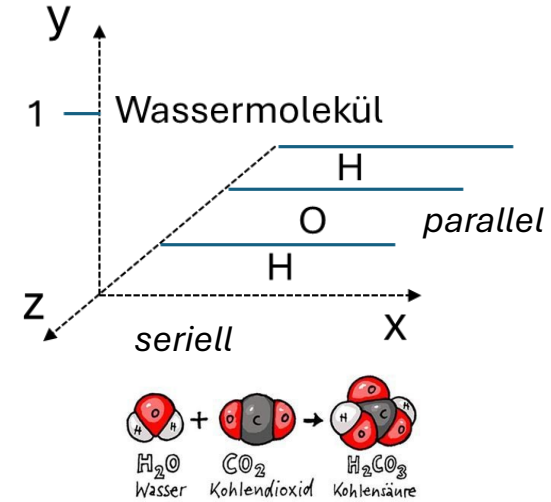
## Identität im geschlossenen System



# Bedeutung der z-Achse: Hier für Q3



**Ausdehnung**  
**Varianz**  
**Amplitude**



Subsysteme (Bewegungen, Aktivitäten mit jeweils eigener Gesamtenergie), Impulse als Phasen eines Impulses HS

Quadrant

Ebenen

Achsen

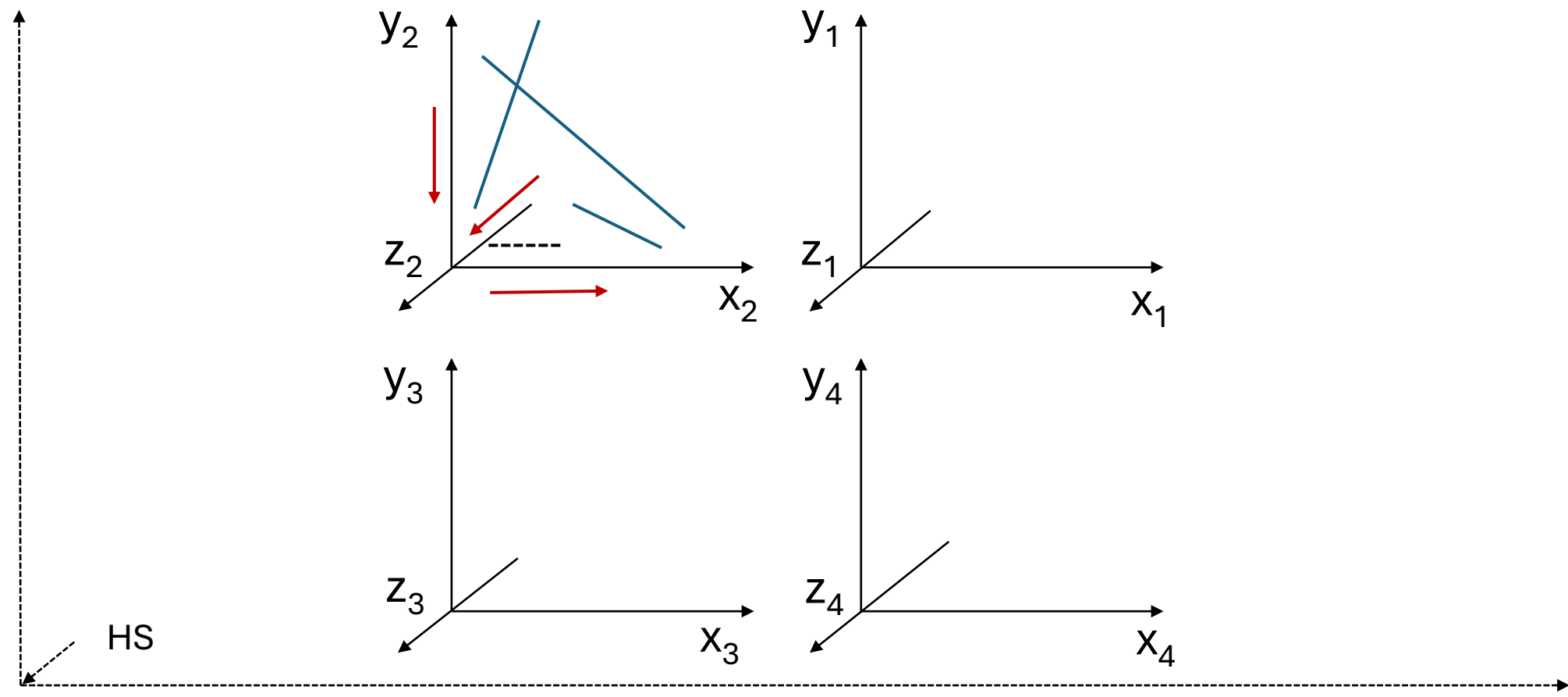
	Form:	Ausdehnung/Modus	$y_3$ : Ausdehnung, Varianz, (2x)Amplitude
Q3: Plan, Vorbild, Gesamtsystem	Information:	Modus/Gesamtdauer	$z_3$ : Modus
	Energie <sub>Gesamt</sub> :	Ausdehnung/Gesamtdauer	$x_3$ : Gesamt-/Lebensdauer

**Wie weit reicht die Gesamtenergie ( $y_3$ ) welcher Art ( $z_3$ ) über welchen Gesamtzeitraum ( $x_3$ ) der Aktivität oder des Aktivitätenbündels / Systems.**

Mathematische Spiegelachse 45° des Prozesses, der Produktion, des Transports,...

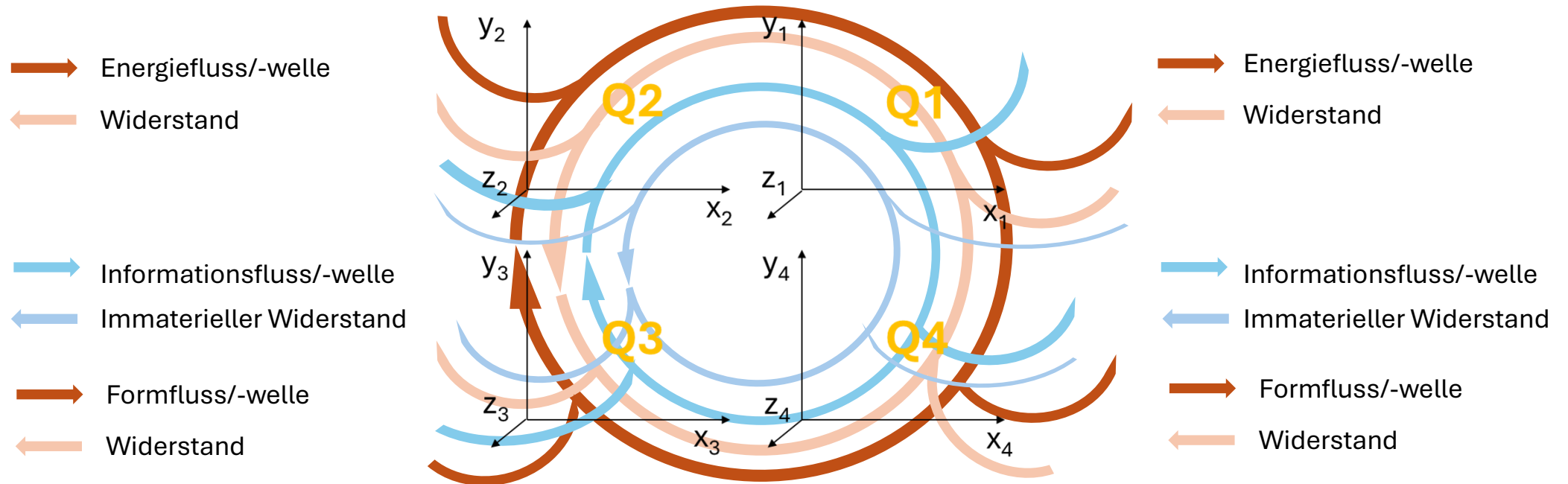
# M-Q-M Ladung und Träger

## Identität im geschlossenen System



# Energiefluss und Widerstand im M-Q-M

Ausdifferenzierte externe Wechselwirkungen und interne Komponenten eines Systems



# Innere Widerstandsformen

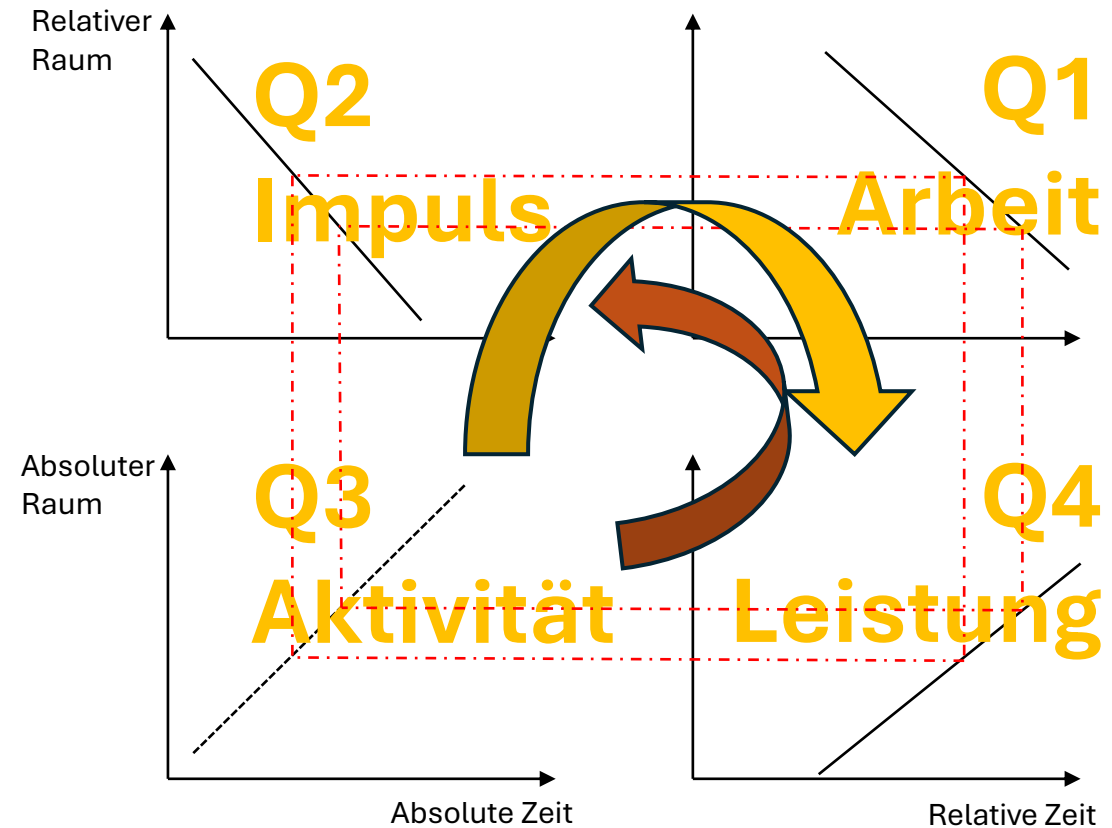
aus:

Q2 – Effizienzgebot aus der Dauer

Q3 - Planung = Kontrolle  
Zeitliche in Richtung Q2 oder  
Qualitätsvorgaben hinsichtlich Q4  
werden nicht erfüllt

Q4 - Bestand  
Volle Lager, Outcome ohne Output

Q1 – Transformation  
Procedere stockt wegen RM

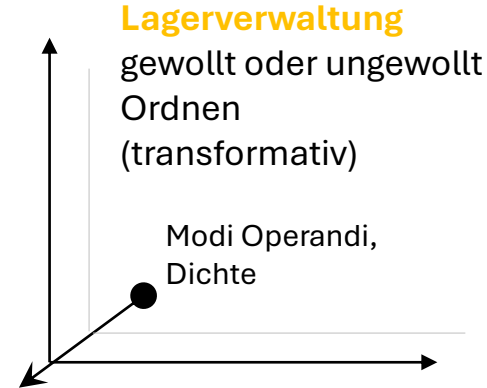
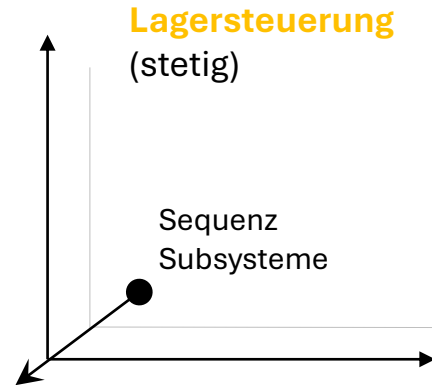


# Äußere Einwirkungen Lager, hier externe Treiber - modal

**Zur Steuerung:**  
Externe Wirkung  
auf die Sequenzen,  
Abfolgen der  
Phasen einer  
Aktivität



Raum  
relativ,  
Bedarf,  
Differenz



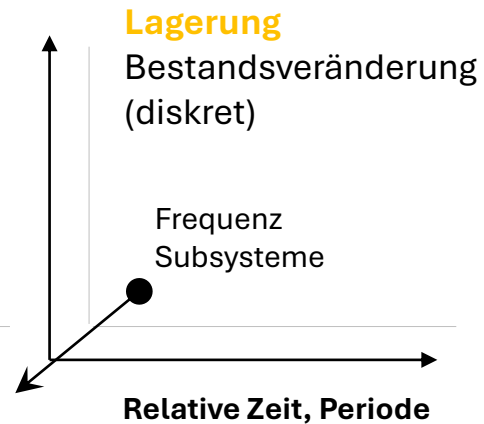
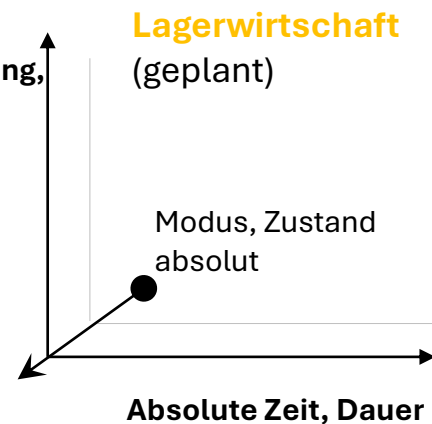
**Zur Regelung:**  
Verdichtungen,  
Weiterungen,  
Freiheiten  
Beispiel Legalisierung



**Zur Planung:**  
Externe  
Entscheidungen  
vielerlei Art



Raum  
absolut,  
Ausdehnung,  
Varianz



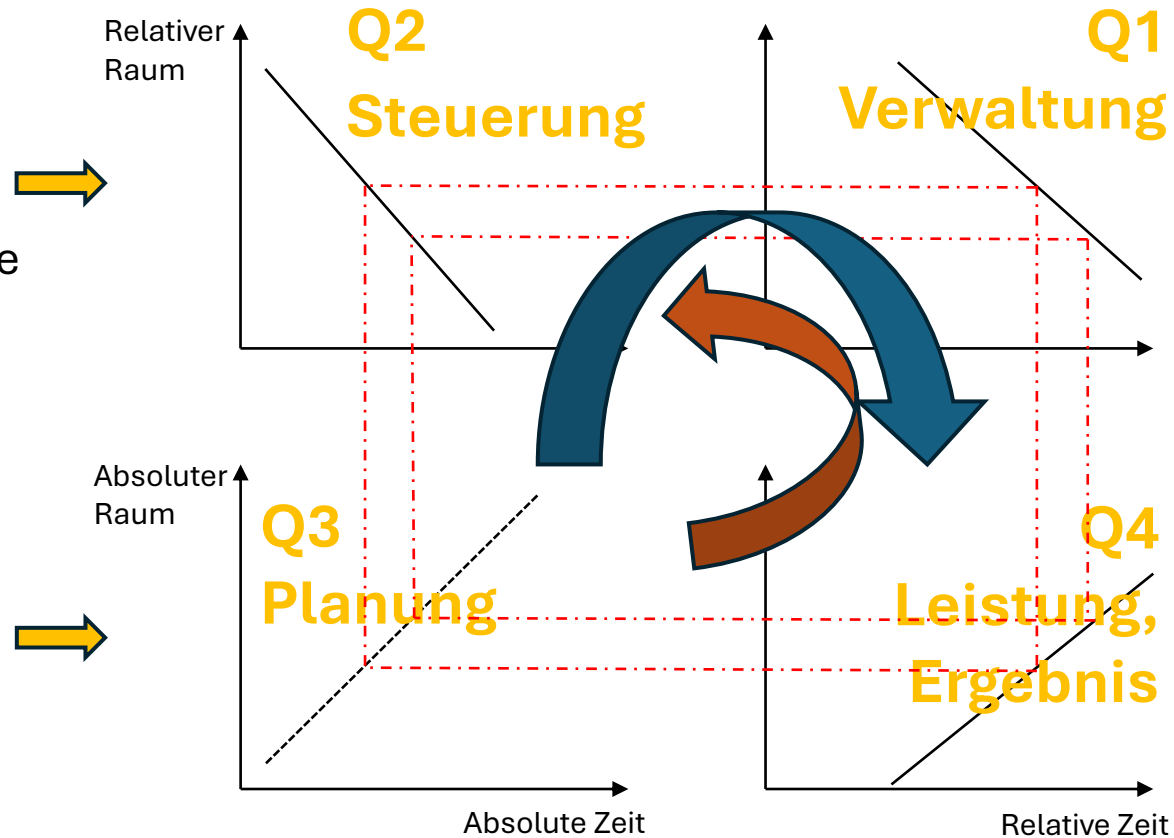
**Zur Störung:**  
Häufigere externe  
Ereignisse, Wetter,  
Katastrophen, Unfälle, ...



# Äußere Einwirkungen: hier externe Treiber - **räumlich**

**Zur Steuerung:**  
Kapital, Budget  
Ressourcen wie  
mehr / besseres  
Futter, Licht, Fake  
Führung,  
Befähigung  
Motivation

**Zur Planung:**  
Planänderungen  
Eingriffe in die  
Vorstellungen  
Externe  
Entscheidungen  
vielerlei Art



**Zur Regelung:**  
Verfahrensoptimierung  
Energiesparmaßnahme  
Gesetzesänderungen



**Zu Leistung, Ergebnis:**  
Externe Ereignisse, Wetter,  
Katastrophen, Unfälle, ...



**Agenda:**  
Leistung und  
Widerstand

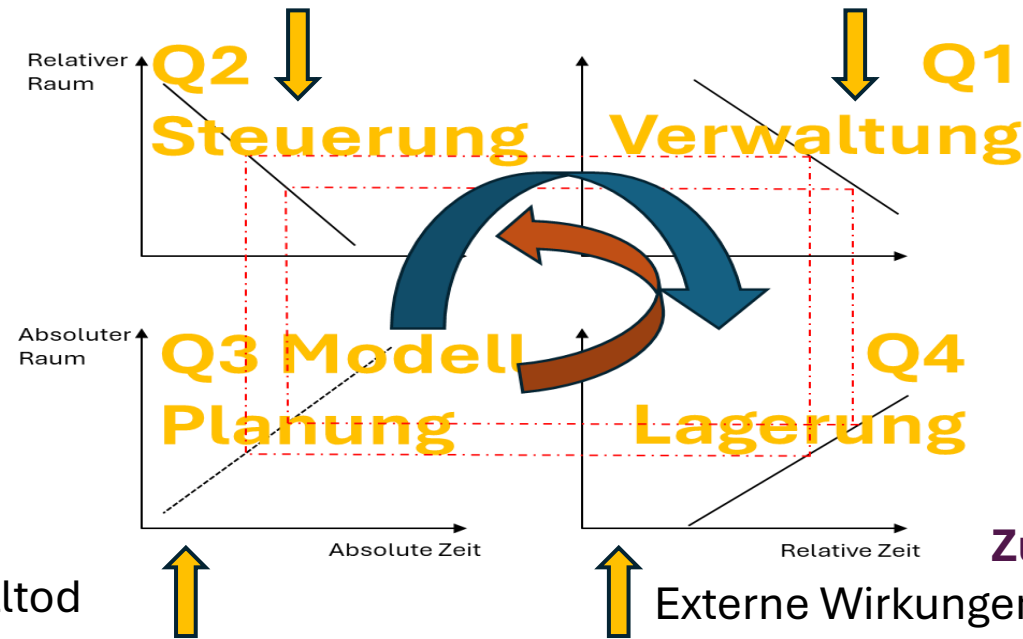
# Äußere Einwirkungen: hier externe Treiber - **zeitlich**

## Zur Steuerung:

Externe Wirkungen auf den Ressourcenverbrauch verkürzt die Lebensdauer der Aktivität

## Zur Regelung:

Externe Einwirkungen auf die Periodendauer, wie beispielsweise Fristenänderungen



## Zur Planung:

Projektabbruch, Unfalltod

## Zu Beispiel hier Lagerung:

Externe Wirkungen auf Welllänge / Perioden

M-Q-M

und Bewertungsformen

# Input-gleich-Output Ansätze

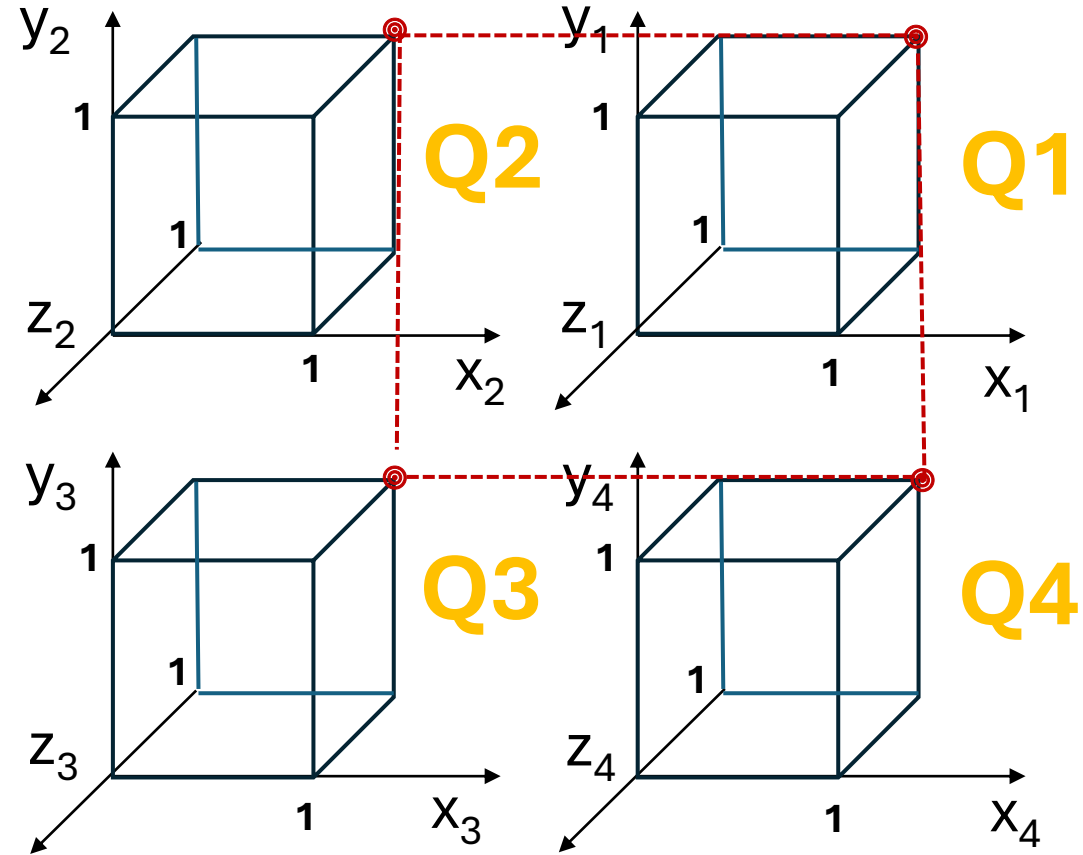
**Kreislaufwirtschaft** (Energieerhaltung, ...)

**Geschlossene Systeme** (Torus, Knoten, ...)

**Sich selbst erhaltende Wertschöpfungsketten:**

- Das Geschäftsmodell  
(Verknüpfung Leistungsprozesse; geeignete Produkte für XaaS – Zugang versus Eigentum)
- Das Kooperationsmodell  
(Verknüpfung Organisationen)

# Geschlossenes System im M-Q-M (Input = Output)



# Vom geschlossenen System zur historischen Zeit

$$F = m \text{ (kg)} * a \text{ (g)} = 1 \text{ Newton}$$

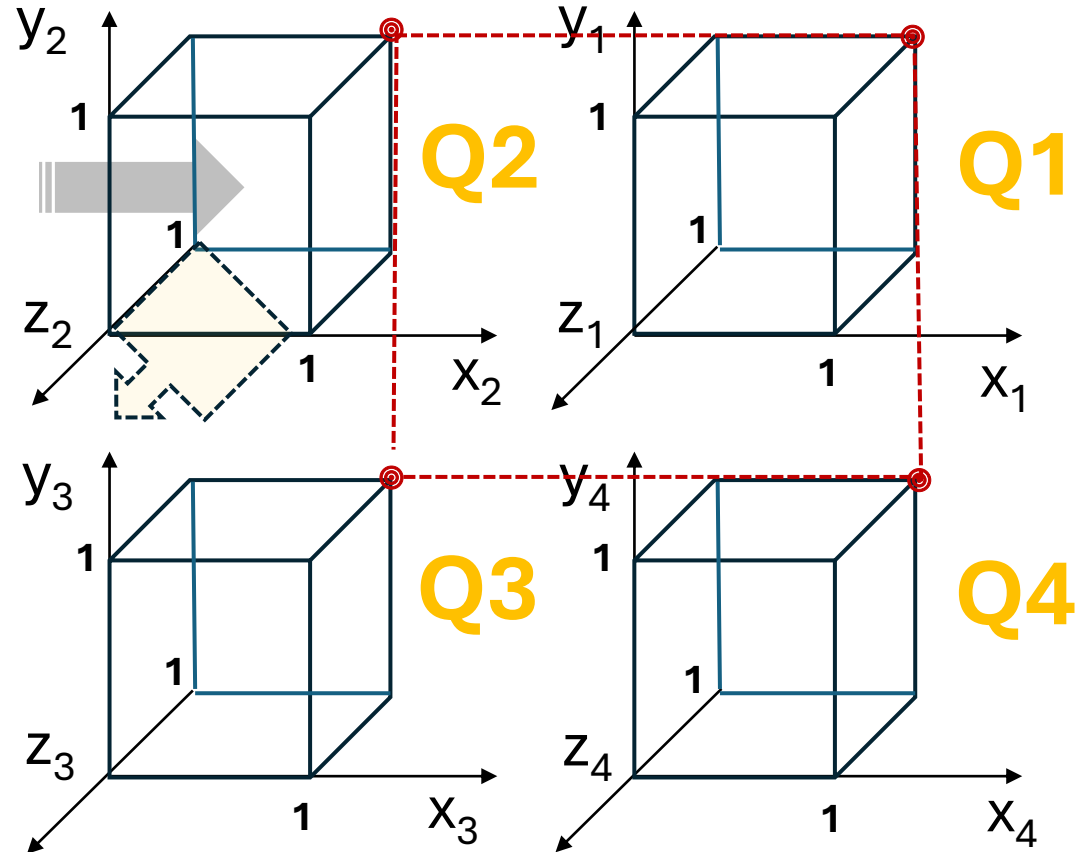
$$E \text{ kinetisch} = \frac{1}{2} m * v^2$$

$$\text{Impuls} = m * v$$

Bewegung intern

Impulserhaltung im Leeren  
Raum

Wirkt ein Impuls auf einen  
Impuls, beginnt eine  
Entwicklung



Solarzelle



elektrische  
Energie

Batterie



elektrische  
Energie

Glühlampe



Lichtenergie

### Energieumwandlungsketten

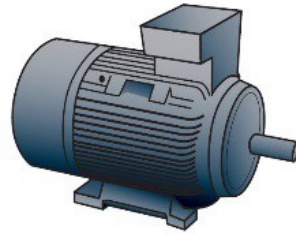
Mit Energieketten kann man darstellen,

wie Energie in verschiedene Energieformen umgewandelt wird

und

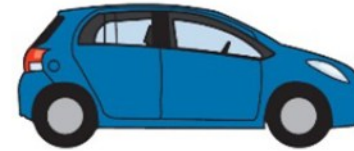
welche Energieumwandler dazu verwendet werden.

Elektromotor



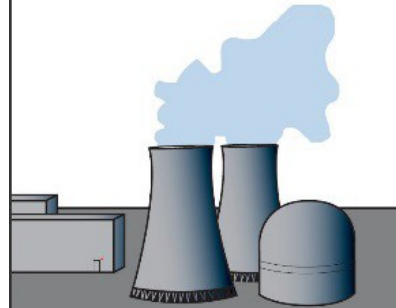
Bewegungs-  
energie

Automotor



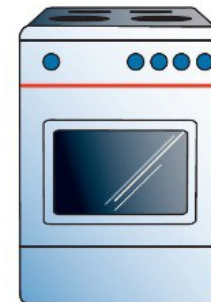
Bewegungs-  
energie

Atomkraftwerk

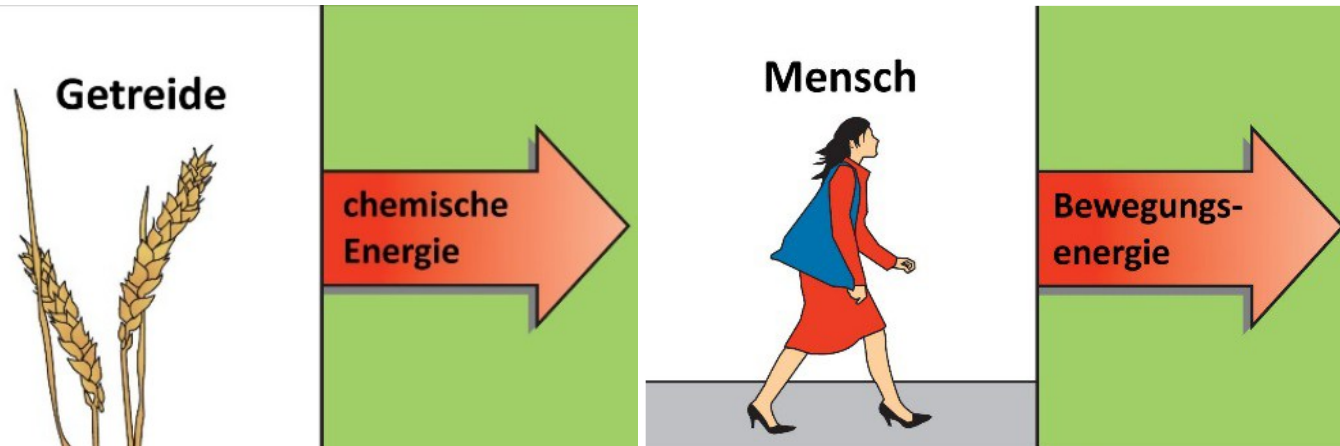
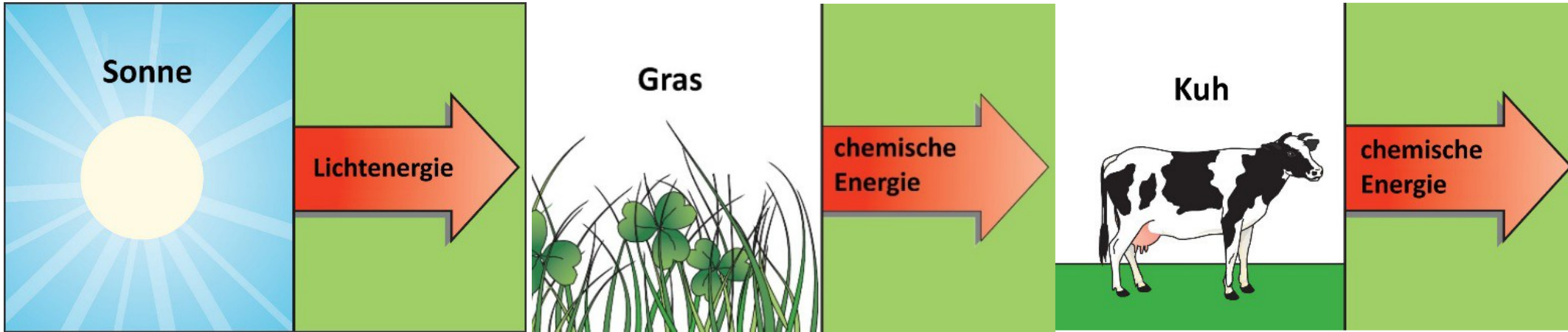


elektrische  
Energie

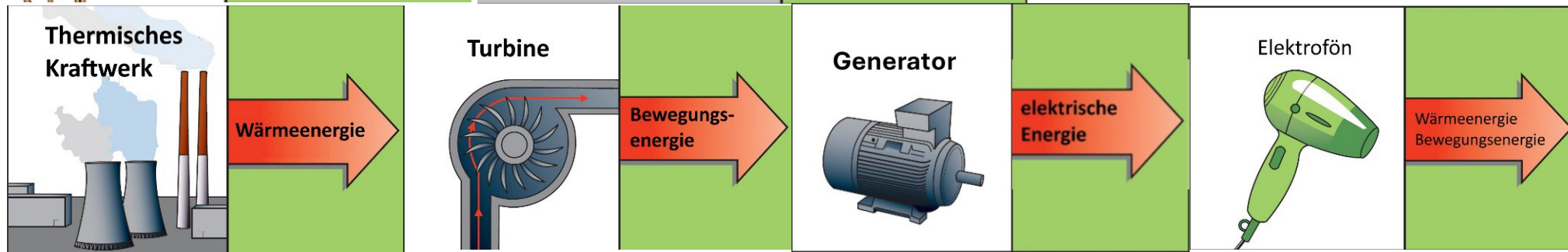
Elektroherd



Wärmeenergie

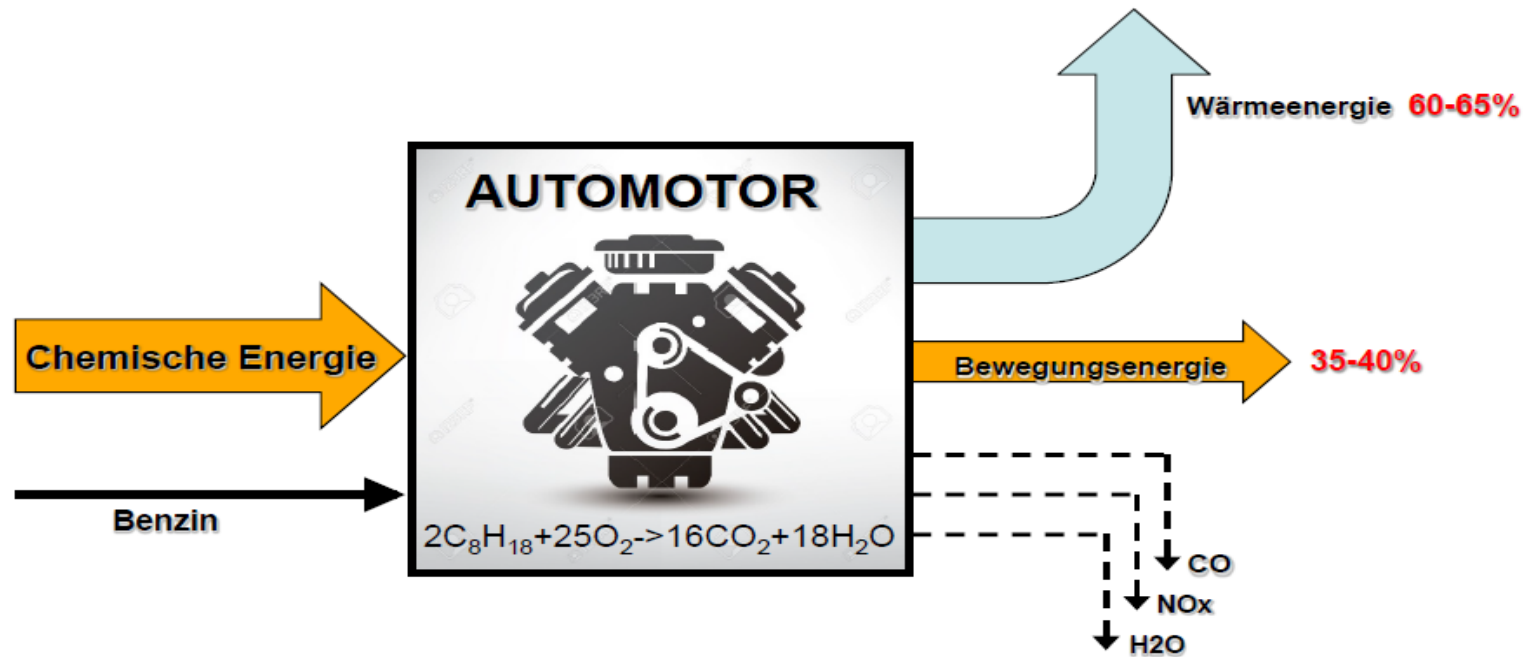


Mehr Beispiele hierzu unten im Anhang!



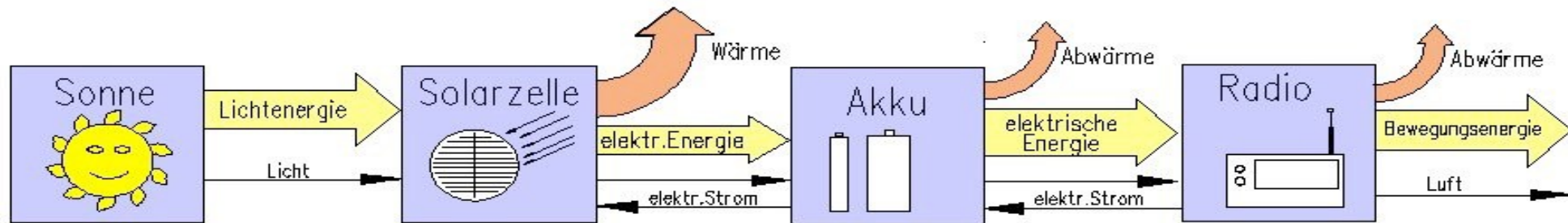
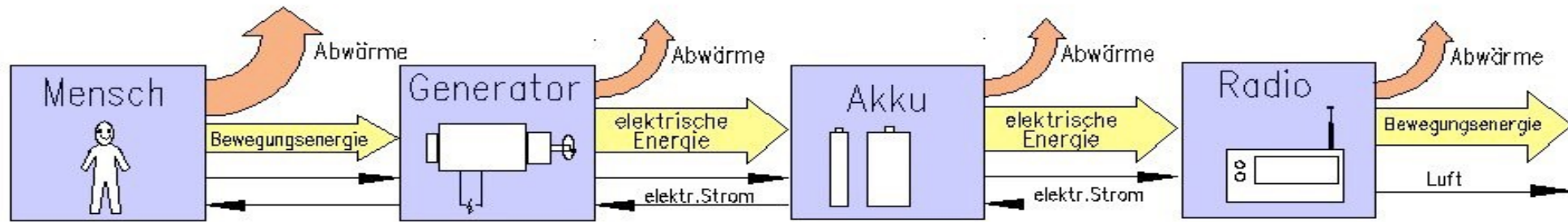
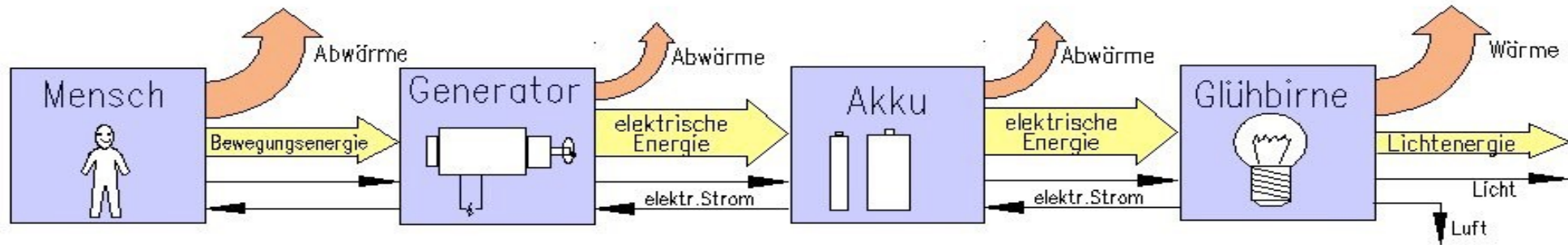
# Energiewandler in der chemischen Darstellungsweise

Für einzelne Reaktionsgleichungen sind Energieflussdiagramme nicht geeignet. Für technische Prozesse jedoch, in denen chemische Reaktionen eine Rolle spielen, können die Diagramme entsprechend angepasst werden.



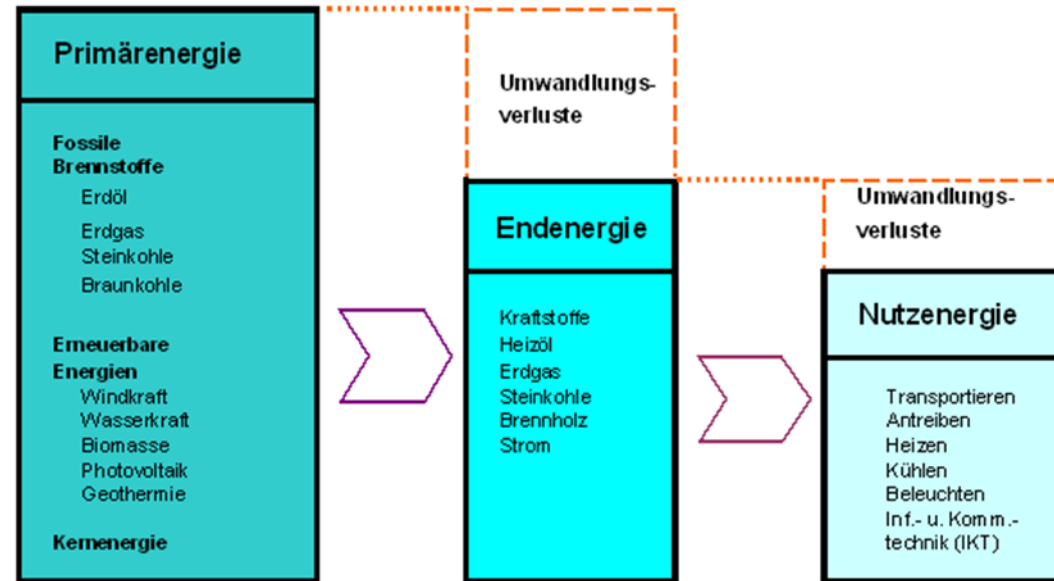
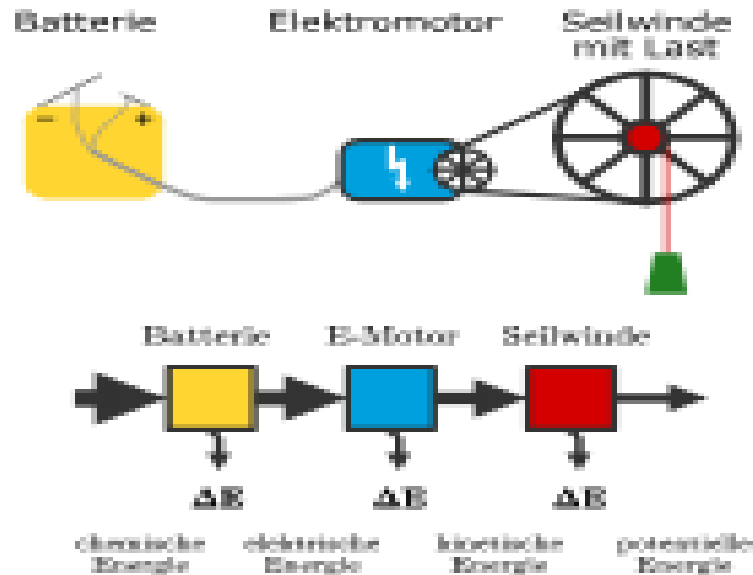
In diesem Energiediagramm spielt der Sauerstoff keine Rolle bei der Energiebetrachtung, denn Sauerstoff ist kein Energieträger.

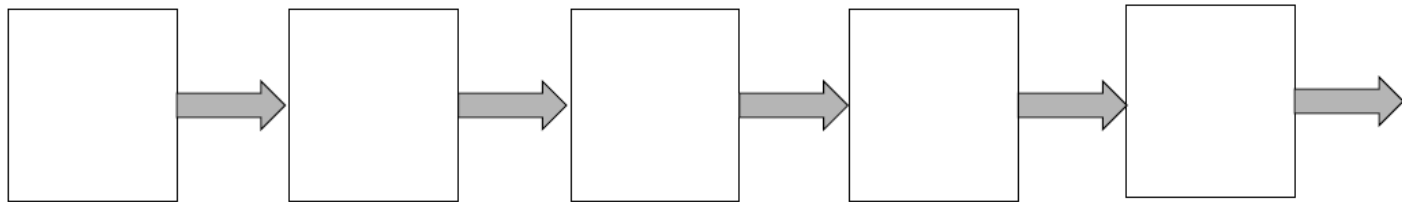
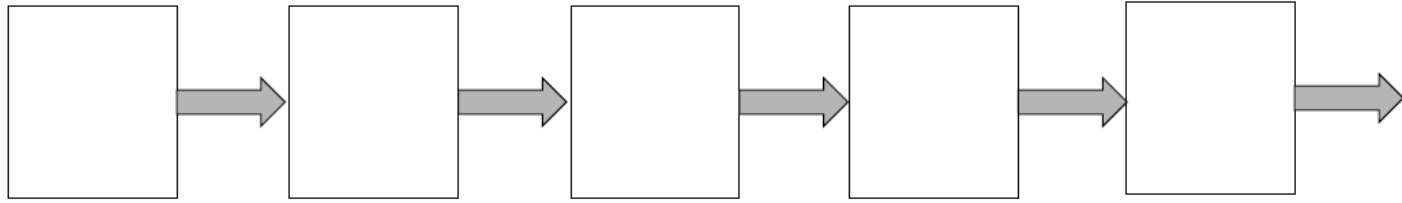
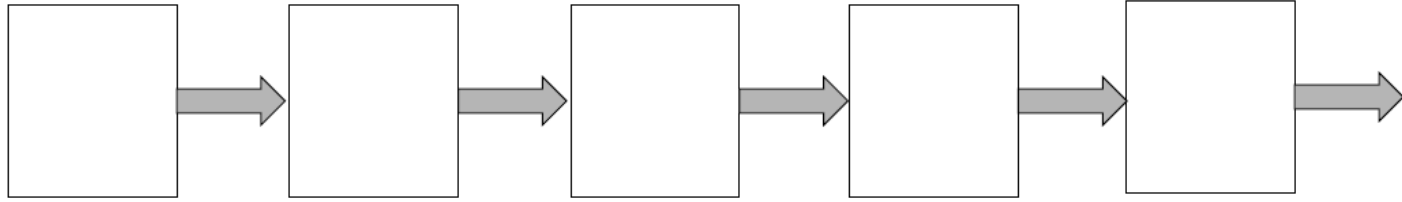
Durch einen weiteren Pfeil (nach oben) werden Energieverluste dargestellt.  
Je größer der Pfeil, desto größer die Verluste.



# Energieumwandler weitere verwendete Kategorien

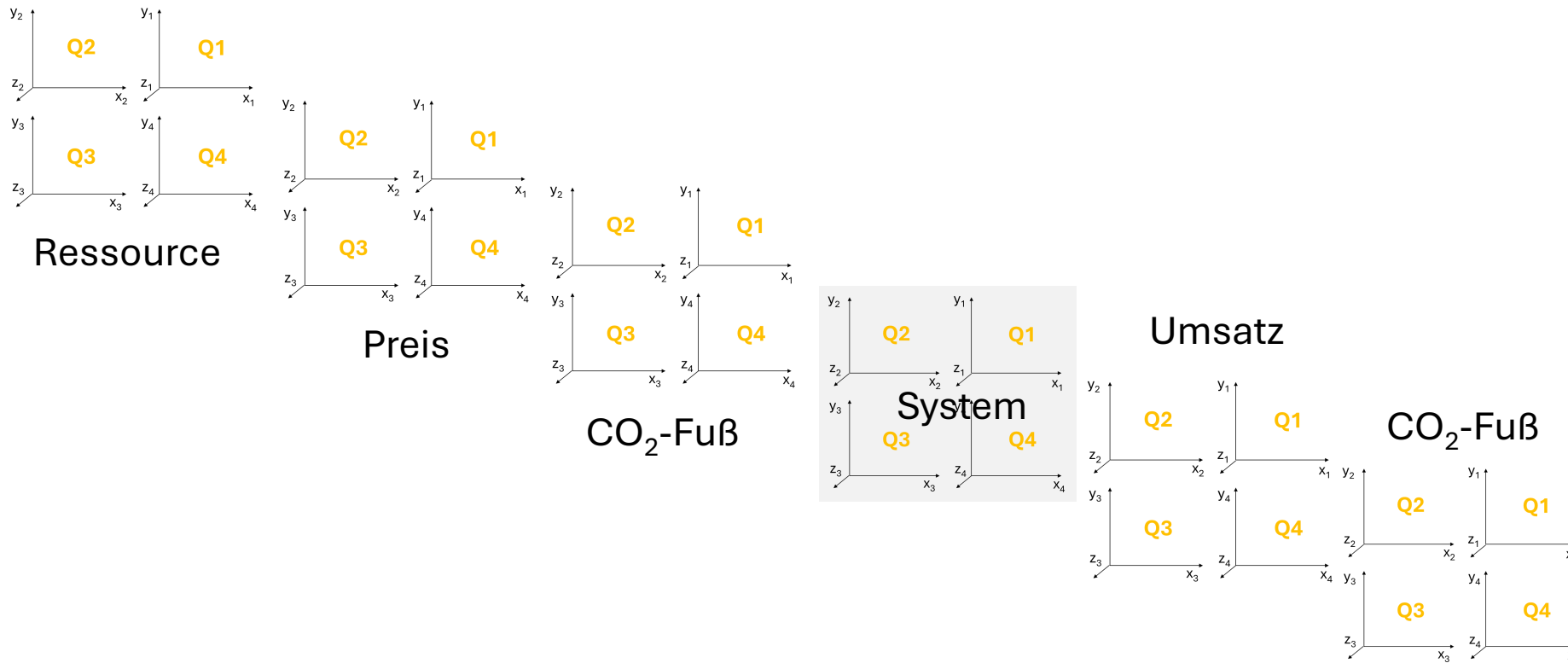
In dem Beispiel in der Grafik in **Abb. links** wird die chemische Energie der Materialien in einer Batterie in elektrische Energie, diese elektrische Energie in einem Elektromotor in (mechanische) kinetische Energie eines Seils bzw. einer Rolle, diese kinetische Energie schließlich über die Winde in potentielle Energie einer Last umgewandelt. Energie geht dabei allerdings nicht verloren, wie **Abb. rechts** suggeriert, sondern wird in andere (End-)Energie umgewandelt bzw. nicht genutzt. Das M-Q-M zeigt dies deutlicher.



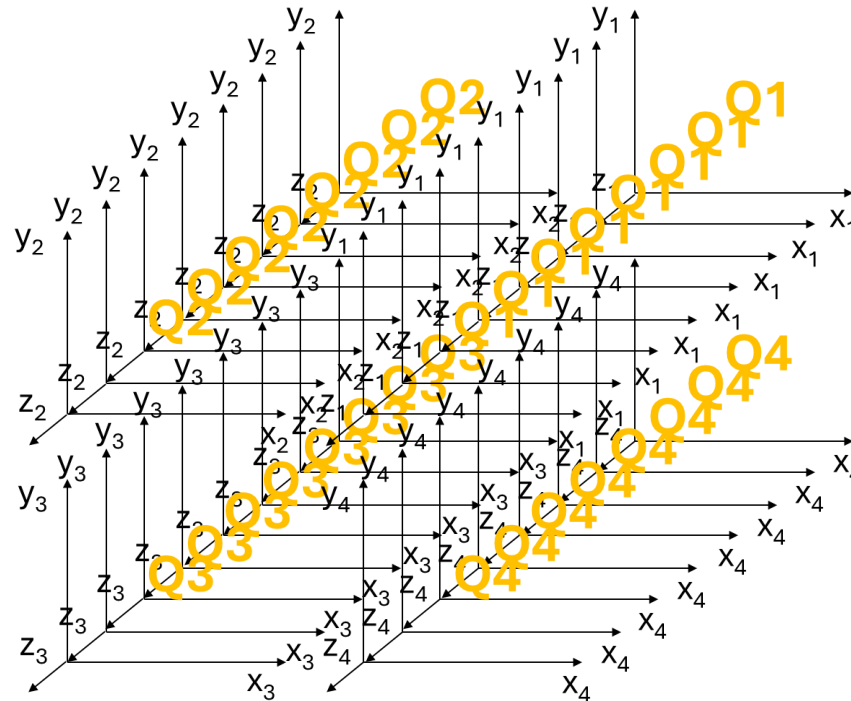


Kopiervorlage für Energieflussdiagramme

# Energiewandler als Wertschöpfungskette im M-Q-M

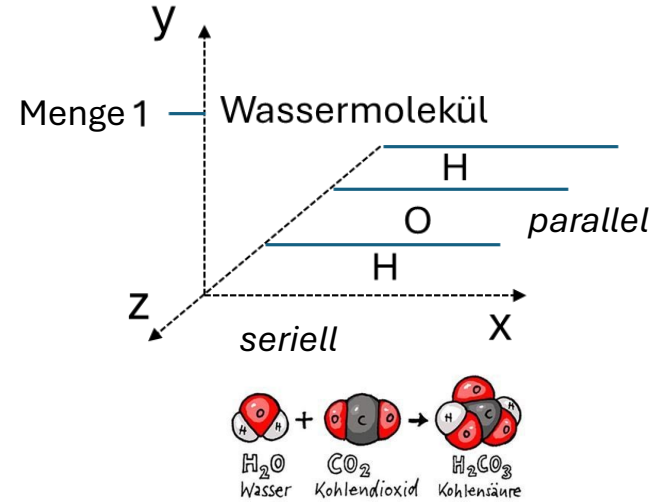
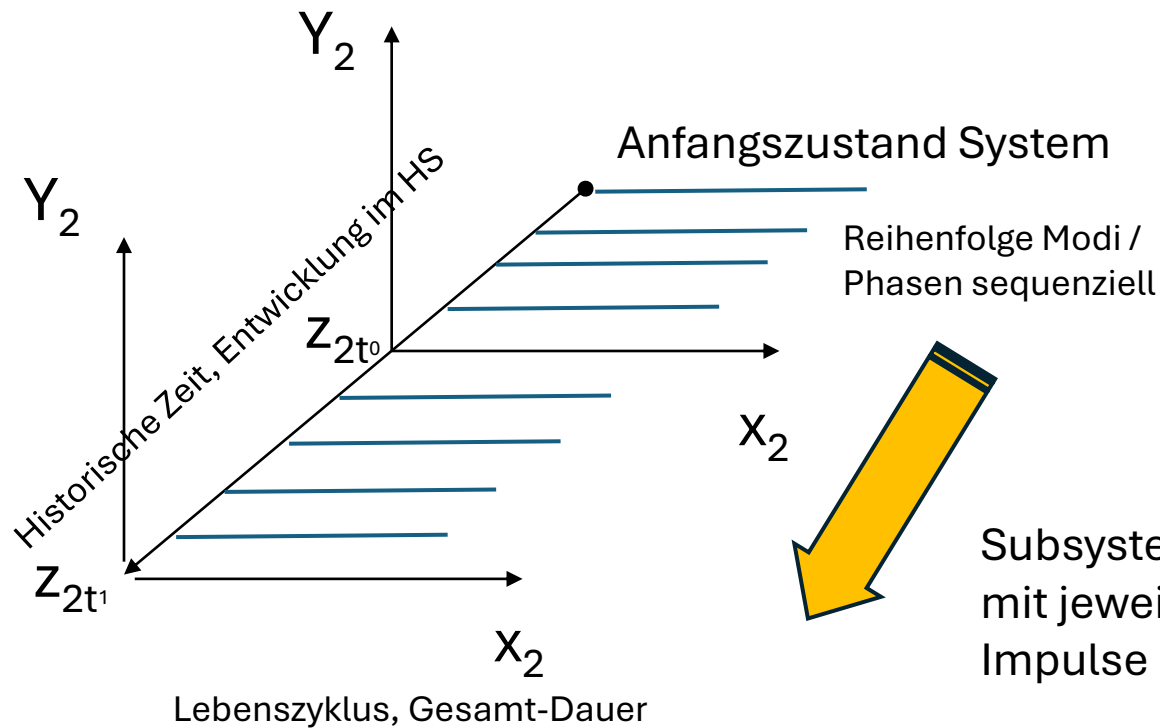


# Aktivität über die historische Zeit HS - seriell



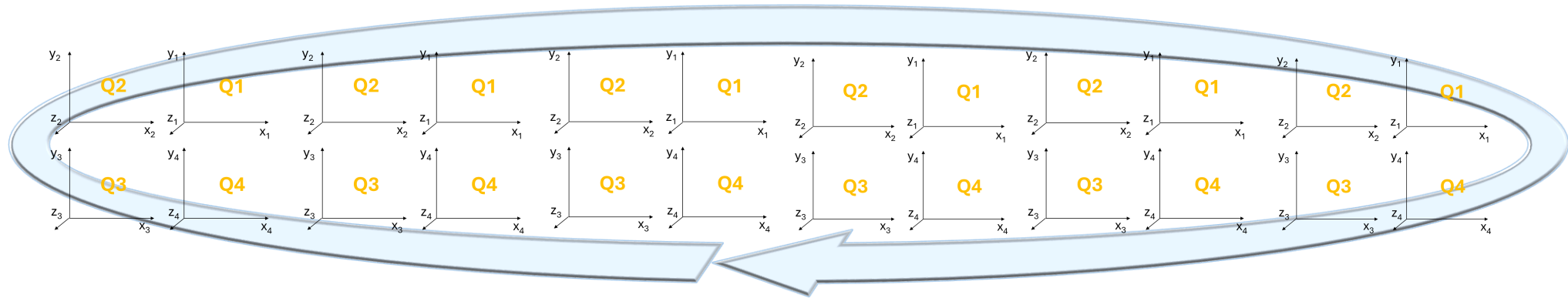
Entwicklung, Uhrzeit HS

# Hier für Q2



Subsysteme (Bewegungen, Aktivitäten mit jeweils eigener kinetischer Energie), Impulse als Phasen eines Impulses HS

# Wertschöpfungskette - Kreislaufwirtschaft



# Energetische Systemzustände

Der energetische Inhalt eines Systems lässt sich mit physikalisch messbaren Eigenschaften wie Druck, Temperatur, Geschwindigkeit etc. beschreiben. Dabei sind die Eigenschaften variabel, d.h. der gleiche Energieinhalt kann z.B. durch verschiedene Anteile an kinetischer (Q2) oder potentieller Energie (Q4) in einem System vorhanden sein. Nehmen diese Größen feste Werte an, so kann man damit einen bestimmten **Zustand des Systems** beschreiben.

Den **energetischen Zustand** eines Autos zum Beispiel beschreibt man physikalisch für einen bestimmten Augenblick (Zeitpunkt HS z-Achse) über seinen Materieinhalt (Masse und Stoffmenge aus Q1), die Fahrgeschwindigkeit (kinetische Energie HS Q2), Lage (äußere potentielle Energie HS Q4) und Tankinhalt (innere potentielle Energie Q4), seinen **Pflege- oder Wertzustand** hingegen eher wirtschaftlich über Tachostand, Nutzungsdauer, Reifenprofile etc.

**Mittels MQM könnte man Zustände eines energetischen Systems über seinen inneren und äußeren, energetischen und wirtschaftlichen Zustand in einem Guss beschreiben.**

# Beispiele

## **Beispiel Flugzeug:**

Fliegt das Flugzeug (Bewegungsbündel  $S$ ) an uns vorbei, so können wir von außen seinen Energieinhalt über die Fluggeschwindigkeit (kinetische Energie  $H_S$ ) und über seine Flughöhe (potentielle Energie  $H_S$ ) nur ungenügend beschreiben. Befindet sich das Flugzeug vollgetankt in Ruhe am Boden, so gehen die äußeren Zustandsgrößen sogar gegen null, aber der Energieinhalt im Flugzeug ist möglicherweise sehr groß. Aus dem Energieinhalt im Flugzeug (Kraftstoff als potentielle chemische Energie) kann einen Flug über den Atlantik ermöglichen.

## **Beispiel Sauerstoffflasche:**

Auch der Energieinhalt einer ruhenden Sauerstoffflasche ist beträchtlich, wenn sie mit einem Druck von 150 bar gefüllt ist oder ihr Inhalt einer Verwendung zugeführt wird.

**Solche Energien im System werden häufig über thermodynamische Zustandsgrößen beschrieben.**

# Beispiele

## Wie viel CO<sub>2</sub> erzeugt 1 kWh Strom?

Die Erzeugung einer Kilowattstunde Strom verursachte 2022 durchschnittlich 434 Gramm CO<sub>2</sub>. In 2021 lag dieser Wert bei 410 und in 2020 bei 369 Gramm pro Kilowattstunde.

(siehe hierzu auch Folien zu Rechnern für CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und Energieumwandlung im Anhang)

Quelle vom 22.05.2023:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen#Strommix>