

M-Q-M als Strukturmodell für unscharfes Wissen und Multiagentensysteme

Das “Mehr-Quadranten-Modell (M-Q-M)” stellt ein interdisziplinäres, dynamisches Strukturmodell zur konsistenten Beschreibung, Analyse und Steuerung hoch-komplexer Systeme dar, dies aber nicht nur im Sinne eines Modells, einer Architektur oder eines Simulationsrahmens. Vielmehr gilt das M-Q-M darüber hinaus als „synechistisch-semiotische Theorie technischer Intelligenz“ (Peirce, Willke et.al.). Es richtet sich damit sowohl an Praktiker:innen als auch an Forschende, die mit “unscharfem Wissen”, “unvollständiger Information” oder “Multiagentensystemen” arbeiten.

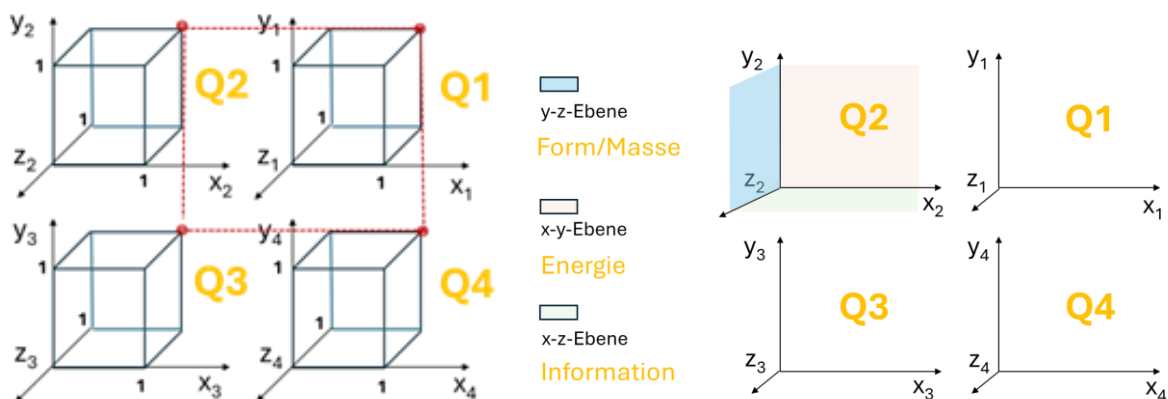
Warum ist das M-Q-M für diese Communities sowohl konzeptionell anschlussfähig und zugleich wissenschaftlich interessant?

1. Unscharfes Wissen systemisch modellieren

In klassischen Ansätzen wird Unsicherheit häufig rein probabilistisch oder mit nicht-klassischer Logik (Fuzzy-Logik u.a.) behandelt. Das M-Q-M erweitert diese Perspektiven, indem darin Unsicherheit als systemische Eigenschaft von Prozessen, Zuständen und Transformationen verstanden wird.

Das Modell unterscheidet **im Kern** vier komplementäre Wissens- und Wirkungsräume (Quadranten):

- Q1 – Regel- und Parameterraum (Normen, Modelle, Verfahren)
- Q2 – Prozess- und Flussraum (Beobachtungen, Material- und Datenströme)
- Q3 – Zustands- und Bedeutungsraum (Ziele, mentale Modelle, Motive)
- Q4 – Ergebnis- und Bestandsraum (Outcome/-puts, Speicher, Artefakte)



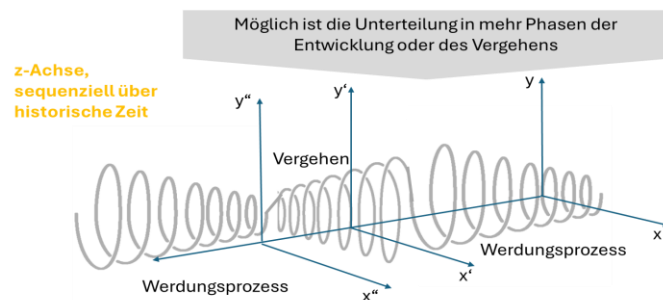
Unscharfes Wissen kann so gezielt lokalisiert werden – zum Beispiel als

- unvollständige Parameter (Q1),
- mehrdeutige Wahrnehmung (Q2) oder
- konkurrierende Zielvorstellungen (Q3).

2. Zeit, Geschichte und Ambiguität

Ein zentrales Merkmal des M-Q-M ist die explizite historische Dimension (z-Achse). Sie erlaubt es, Wissen nicht nur als Zustand, sondern als Entwicklung zu modellieren:

- parallele Hypothesen
- widersprüchliche Zustände
- Lernen, Vergessen und Revision



Für die Arbeit mit unscharfem Wissen bedeutet dies: Ungewissheit muss nicht sofort aufgelöst werden, sondern kann über Zeit beobachtet, verglichen und bewertet werden.

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



Neben dieser "historischen Zeit" aus dem Hypersystem (z-Achsen) bildet das M-Q-M sowohl die beiden "Eigenzeiten" des Systems (stetige Gesamt- oder Lebensdauer über die Achsen $x_{3,2}$ und diskrete Perioden über die Achsen $x_{4,1}$, diese jeweils verkürzbar auch auf Zeitpunkte) als auch die "Ereigniszeiten" der Subsysteme über Q4 ab und erlaubt so erstmals methodisch und praktisch eine konsistente Verknüpfung von Hypersystemen, Systemen und Subsystemen jedweder Art.

3. Anschlussfähigkeit an Multiagenten-Theorie

Ein intelligenter Agent lässt sich im M-Q-M vollständig als Aktivität oder Aktivitätenbündel (System) beschreiben:

- Q1 – Entscheidungslogik, Policies, Regeln
- Q2 – Wahrnehmung und Handlung (Sensorik/Aktorik)
- Q3 – interner Zustand, Ziele, Idee, Gesamtsystem
- Q4 – Wirkungen, (Zwischen-)Ergebnisse, Ereignisse, Veränderungen

Damit fungiert das M-Q-M als strukturierte Meta-Architektur, die mit BDI-Agenten, lernenden Agenten oder hybriden Agenten kompatibel ist.

Besonders relevant für Multiagentensysteme ist die Fähigkeit des M-Q-M, Subsysteme, Agenten und Hypersysteme konsistent zu verschachteln.

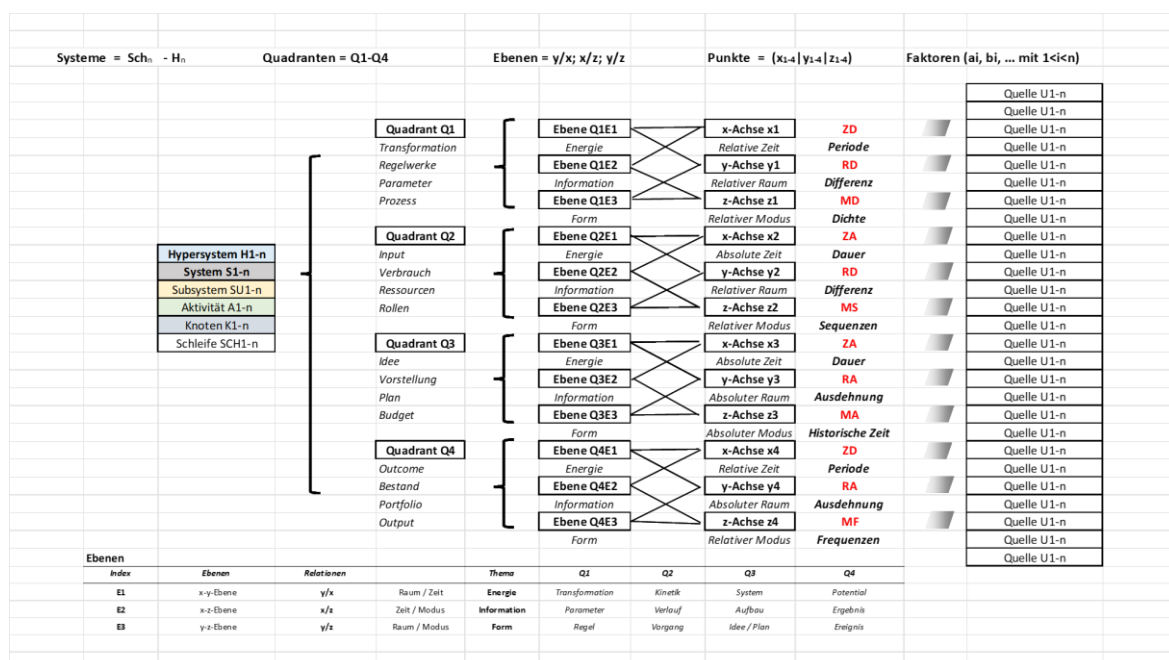
Kooperation, Konkurrenz, Koordination und Emergenz lassen sich als Energie-, Form- und Informationsflüsse zwischen Agenten modellieren, dies inclusive deren innere und äußere Widerstände.

4. Mehrwert für Forschung und Praxis

Für Forschende im Bereich unscharfes Wissen und Multiagentensysteme bietet das M-Q-M:

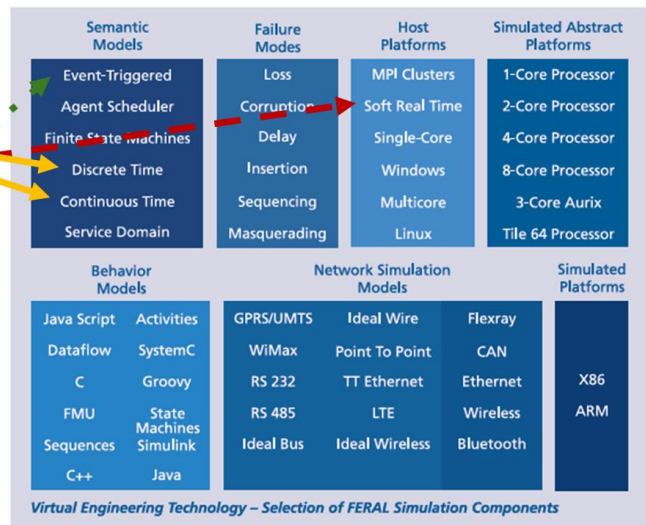
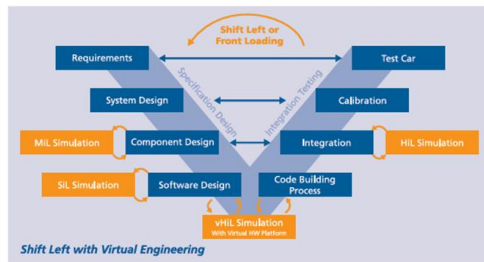
- eine explizite Struktur für Ambiguität und Nicht-Wissen
- zeitliche Modellierung von Lernen und Evolution
- systemische Integration von Wahrnehmung, Entscheidung und Wirkung
- Simulations- und Digital-Twin-Fähigkeit für komplexe Szenarien

Das Modell eignet sich somit sowohl als theoretischer Rahmen als auch als Brücke zu simulations- und IT-gestützten Umsetzungen.



Zum Beispiel: Das vom Fraunhofer IESE entwickelte FERAL-Simulationsframework

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



5. Einladung zum Dialog

Das M-Q-M versteht sich nicht als Konkurrenz bestehender Theorien, sondern als strukturierendes Integrationsmodell. Gerade für Forschende, die mit Unsicherheit, Emergenz und agentenbasierter Dynamik arbeiten, bietet es einen erweiterten Denk- und Modellierungsraum.

Wir laden Sie ein, das M-Q-M als gemeinsamen Referenzrahmen zu diskutieren, weiterzuentwickeln und in bestehende Forschungsansätze zu integrieren.

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, insbesondere mit einem Simulationswerkzeug durch IESE und PRCSM

Das Mehr-Quadranten-Modell – eine Einführung in das F&E Projekt von PRCSM

1. Projektziel

Das Forschungsprojekt entwickelt ein **skalierbares Mehr-Quadranten-Modell (M-Q-M)**, abgeleitet aus einem bestehenden 4-Quadranten-Modell. Ziel ist eine **dynamische, systemische, interdisziplinäre Analyse- und Steuerungsmethodik** für hochkomplexe Systeme – insbesondere für **Grüne Virtuelle Fabriken (gVF)** und **Digitale Energie-Zwillinge**.

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)*

2. Grundidee des M-Q-M

Das Modell integriert mehrere Dimensionen zu einem konsistenten mathematisch-geometrischen Rahmen:

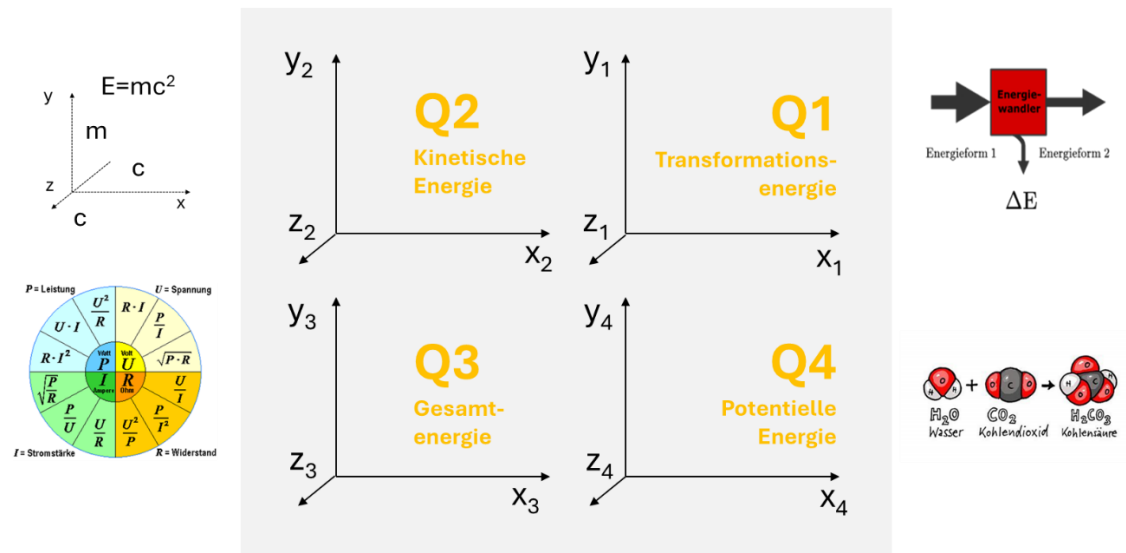
- **Quadranten (Q1–Q4):**
Transformation, Kinetik/Fluss, Leitbild/Plan, Ergebnis/Bestand
- **Achsen:**
x = Zeit, y = Raum/Menge, z = Modus/Sequenz/Historie
- **Systemebenen:**
Hyper-, System- und Subsysteme; Träger/Ladung; Bewegung/Aktivität
- **Zeitformen:** absolut, relativ, historisch/zyklisch
- **Modi:** materiell / immateriell, diskret / stetig

Der Kern basiert auf einem **System aus Energieflüssen**, Widerständen und Formen, die durch die Quadranten abgebildet werden.

Warum ist das nützlich? Weil man damit:

- Abläufe **sichtbar** machen kann,
- bessere **Entscheidungen** trifft,
- Energie- und Ressourcenverbrauch **optimiert**,
- Probleme früh erkennt (z. B. Staus, Verluste, Überlastungen),
- verschiedene Systeme **vergleichbar** macht.

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



3. Zentrale Konzepte

3.1 Energie- und Informationsstrukturen

Das M-Q-M modelliert **Energie, Form und Information** als äquivalente Strukturelemente eines dynamischen Systems.

Bewegung, Energie und Aktivität werden als **kleinste wirkungsrelevante Einheiten** verstanden.

3.2 Geschlossene, speichernde und transferierende Systeme

Im Modell sind typische Systemzustände darstellbar:

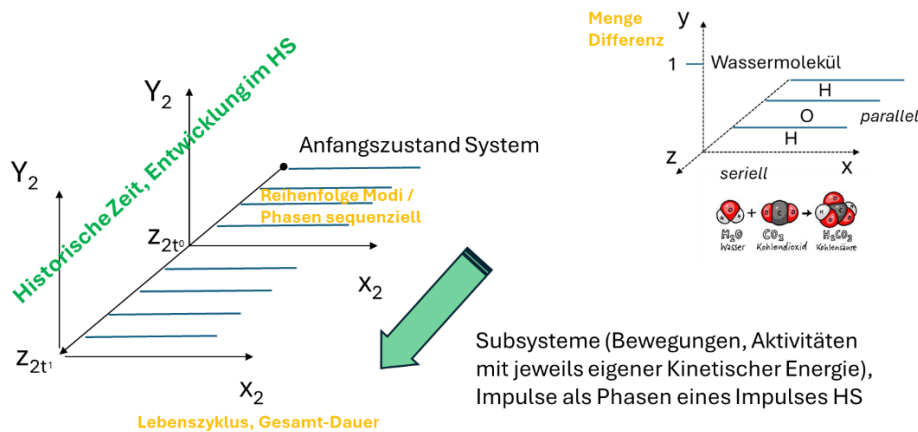
- Geschlossen (Input = Output)
- Reine Transformation
- Reiner Durchfluss
- Reine Speicherung
- Kombinationen davon

3.3 Bedeutung der z-Achse (historische Zeit)

Die z-Achse ermöglicht:

- Abbildung von **Werden und Vergehen**, Zyklus und Historie
- parallele und serielle **Phasen/Modi**
- Modellierung von evolutionären Verzweigungen (Stämme, Ableger)

Bedeutung der z-Achse: Hier für Q2



4. Anwendung auf Digitale Energie-Zwillinge und Virtuelle Fabriken

4.1 Grüner Digitaler Energie-Zwilling (gDEZ)

Der gDEZ verbindet reale Energie- und Prozessdaten mit Simulationen (z.B. über **FERAL**, **Ptolemy II**, **BaSyx**, **AAS**).

Ziele:

- Ressourcen-, Energie- und CO₂-Optimierung
- Echtzeitanalyse von Energieverbräuchen
- Integration in temporäre Unternehmenskooperationen (gVF)

4.2 Virtuelle Fabriken

Temporäre Zusammenschlüsse heterogener Unternehmen zur:

- schnellen Auftragsabwicklung
- Optimierung der Wertschöpfungskette
- Nutzung digitaler Zwillinge und Verwaltungsschalen (AAS)

5. Systemtheoretische und physikalische Grundlagen

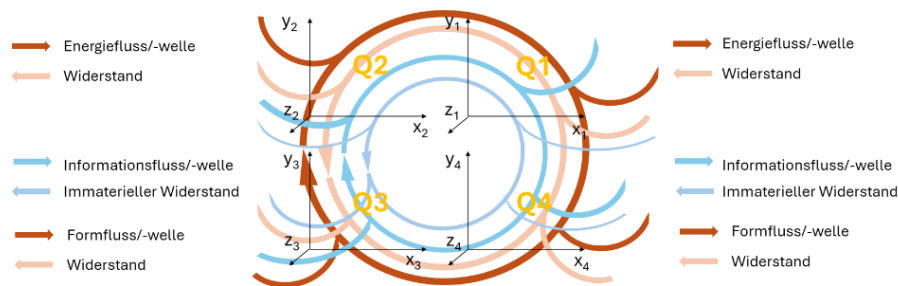
Das Hintergrundmodell greift klassische und moderne theoretische Ansätze auf:

- **Newton:** absoluter Raum, absolute Zeit, Äther-Hypothese
- **Quanten- und Knotentheorie** (String-Analogien, Torus-Bewegungen)
- **Bewegung als Kern aller Systeme** („Alles ist Bewegung“)
- **Energie als mengenartige Größe** (Energieerhaltung, Ladungstransfer)
- **Attraktoren und Dichte** als Ordnungsprinzipien
- **Philosophische Bezugspunkte:** Heraklit, Platon, Kant, Schweitzer

Das M-Q-M positioniert sich als **geometrisches, interdisziplinäres Modell**, das physikalische, biologische, organisatorische und soziale Systeme einheitlich beschreiben soll. Damit soll ein universell anwendbarer **Zustands- und Prozessraum** entstehen.

Energiefluss und Widerstand im M-Q-M

Ausdifferenzierte externe Wechselwirkungen und interne Komponenten eines Systems

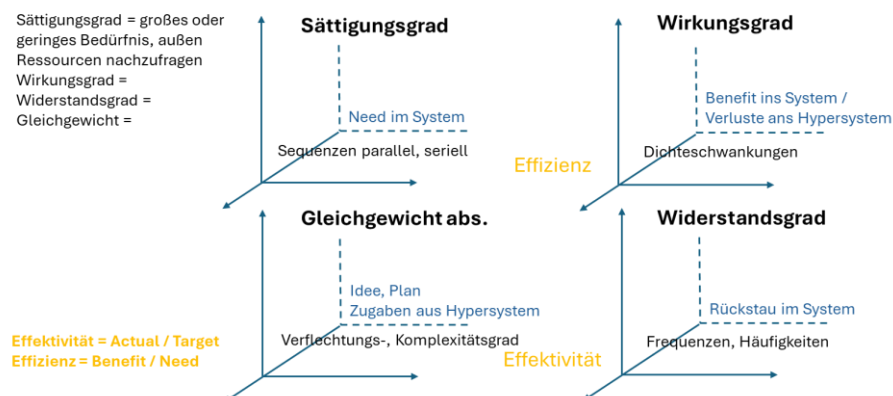


6. Evaluations- und Bewertungsformen

Einordnung und Quantifizierung u.a. über:

- **Effizienz, Effektivität, Wirkungsgrad, Widerstandsgrad**
- Energieströme und -umwandlungsketten
- Kosten- und Ressourcenbewertungen (z.B. für Lagerprozesse)
- CO₂-Fußabdruck-Modelle
- Portfolio- und Prozessanalyse entlang der Quadranten

System: Aktivität / Bewegung / Bündel



7. Projektfortschritt und nächste Schritte

Bereits abgeschlossen:

- Modellentwicklung
- Hypothesenformulierung
- Konzeption des IT-Unterbaus
- Validierungsmodelle (Energie-Zwilling, Historienmodelle)

Nächste Schritte:

- **Prototypische Implementierung** des M-Q-M in FERAL
- **Integration realer Datenquellen** (AAS-basiert)
- **Erweiterte Validierung z. B. Hypersystem Erde, Energieketten**, später auch über Experimente (Newton-Hypothese)

Für wen ist das wichtig?

Vor allem für:

- Unternehmen, die energieeffizienter werden wollen
- Produktionsnetzwerke („Virtuelle Fabriken“)
- Forschung zu Energie, Nachhaltigkeit und komplexen Systemen
- Physik, Informatik, Organisationsentwicklung

Kurzfazit

Das M-Q-M bedeutet ein umfassendes, interdisziplinäres Systemmodell, das Energie, Information, Form, Zeit und Raum in ein einheitliches geometrisch-mathematisches Framework gießt, das im ersten Schritt als Grundlage für digitale Zwillinge, virtuelle Fabriken und weitreichende systemwissenschaftliche Anwendungen sowie später auch physikalisch-philosophischen Grundsatzfragen dient.

Kernaussage

Das M-Q-M stellt ein universales, technologiegestütztes Rahmenmodell bereit, das komplexe Systeme **einheitlich, dynamisch und interdisziplinär** analysieren, simulieren und steuern kann. Es verbindet methodische Tiefe aus Physik, Informatik, Ökonomie und Philosophie mit konkretem Nutzen für Energie-, Produktions- und Nachhaltigkeitssysteme. Damit man Systeme aller Art **klarer erkennen, besser verstehen und intelligenter steuern** kann.

Zusammenfassung: Entscheidungsverbesserung mit M-Q-M

M-Q-M ist ein skalierbarer, IT-gestützter Modellrahmen vergleichbar einer Landkarte zur **Analyse und Steuerung komplexer Systeme** (Energie, Produktion, Organisation). Allerdings statt Dinge oder Objekte zu betrachten, schaut das Modell auf Bewegung, Aktivitäten und Bündel hiervon und Dinge bedeuten lediglich gespeicherte Energie.

Kernansatz

- Strukturierung über **4 Quadranten** (Transformation, Fluss/Kinetik, Plan/Leitbild, Ergebnis/Bestand)
 1. **Transformation (Q1):** *Was verändert sich – nach welchen Regeln?*
 2. **Fluss/Kinetik (Q2):** *Was läuft gerade durch das System (Energie, Material, Info)?*
 3. **Plan/Leitbild (Q3):** *Was soll passieren – welches Muster/Ziel steuert das?*
 4. **Ergebnis/Bestand (Q4):** *Was ist das Resultat – was bleibt übrig?*
- plus **Achsen** für **absolute und relative Zeit (x_{1-4})**, **Raum/Menge (y_{1-4})**, **Modus/Sequenz/Historie (z_{1-4})**
→ Ziel: Prozesse, Zustände und Wirkzusammenhänge konsistent über verschiedene Systemebenen (Hyper-, Systeme, Subsysteme) beschreiben.
 1. x_{1-4} = **Zeit**: Wie entwickelt sich das über die gesamte (Lebens-)Zeit /Dauer der Aktivität bzw. innerhalb bestimmter Perioden/Zeitpunkte?
 2. y_{1-4} = **Raum, Ausdehnung/Menge**: Wo passiert es, wie viel ist beteiligt?
 3. z_{1-4} = **Modus/Historie**: In welchem Zustand/Modus passiert es, und wie hängt es mit der Vergangenheit zusammen?

Business-Nutzen

- Transparenz über **Energie-, Ressourcenflüsse**, Engpässe und Verluste
- Kennzahlenableitung/Bewertung: **Effizienz, Wirkungsgrad**, Widerstände, Wirksamkeit
- Entscheidungsunterstützung durch **Simulation** (Szenarien, Maßnahmenvergleich) Man kann Szenarien simulieren („Was passiert, wenn...?“) und unmittelbar reale Systeme als Digitalen Zwilling nachbilden und verbessern

Anwendungsfelder

- **Digitaler Energie-Zwilling** (Messdaten + Modell/Simulation)
- **Virtuelle Fabriken/Netzwerke** (temporäre Kooperationen, datengetriebene Koordination)
- Nachhaltigkeitssteuerung (Ressourcen/CO₂)

Mini-Beispiel (Energie in einer Fabrik)

- Q1: Regeln/Prozessschritte (Maschineinstellungen, Transformation)
- Q2: Energie/Ressourcenfluss in Echtzeit (Strom, Wärme, Druckluft, Arbeitsleistung)
- Q3: Ziel/Sollzustand (Produktionsplan, Energiesparmodus, Geschäftsmodell)
- Q4: Output/Bestand (Zwischen-, Endprodukte, Abwärme, Lager, Emissionen)

Entscheidungsbedarf aktuell für das F&E-Projekt

- Auswahl von 1–2 Pilot-Use-Cases (z. B. Energieverbrauch, Prozesskette, Kooperation)
- Festlegung Datenquellen/IT-Integration
- Definition der Erfolgskriterien (KPIs, Zeitrahmen, Verantwortlichkeiten)
- **Kurz** Modellrahmen steht; nächste Schritte: Prototyp, Datenintegration (z. B. AAS), Pilot Use Cases, Validierung (KPIs, Szenarien).