MEHR-QUADRANTEN-MODELL

M-Q-M-Wissensbasis für systemische Analyse, Modellierung und Simulation

Überarbeitete Dokumentation als Wissensbasis für einen Agent Skill

Erstellt ausschließlich auf Grundlage der bereitgestellten M-Q-M-Unterlagen

23. Juli 2026

Inhaltsverzeichnis

M-Q-M-Wissensbasis für systemische Analyse, Modellierung und Simulation

- Zweck
- Grundprinzipien
- Konzepte und Begriffe
- Methode
- Vorgehensweise
- Entscheidungsregeln
- Best Practices
- Typische Fehler
- Beispiele
- Checkliste
- Merksätze
- Referenzen

M-Q-M-Wissensbasis für systemische Analyse, Modellierung und Simulation

Zweck

- Das M-Q-M dient der **Beschreibung, Bewertung, Simulation und zielkongruenten Steuerung komplexer dynamischer Systeme**.
- Es adressiert das Problem, dass Ziele, Ressourcenflüsse, Transformationsregeln, Bestände, Ergebnisse, Wirkungen und historische Entwicklungen häufig in getrennten Fachmodellen behandelt werden.
- Es stellt eine gemeinsame semantische Ordnung für Management, Produktion, Logistik, Informatik, Energie, Nachhaltigkeit, Digital Twins und agentische Systeme bereit.
- Es ist keine statische 2x2-Managementmatrix, sondern ein skalierbarer, dreidimensionaler und rückgekoppelter Modellierungsrahmen.
- Der grundlegende Perspektivwechsel besteht darin, Systeme nicht primär als Ansammlungen von Objekten, sondern als **Aktivitäten oder Aktivitätenbündel** zu modellieren.
- Ein System wird vollständig betrachtet, wenn seine Identität und Ziele, seine Flüsse und Ressourcen, seine Transformation und Regelung sowie seine Ergebnisse, Bestände und Wirkungen miteinander verbunden werden.
- Lokale Optimierungen werden in einen gemeinsamen Entscheidungs-, Ressourcen- und Wirkungszusammenhang eingeordnet.
- Ein zentraler praktischer Anwendungsbereich ist der **Green Digital Energy Twin** einer grünen virtuellen Fabrik. Dabei sollen Prozess-, Maschinen-, Lager-, Transport-, Energie-, CO2-, Kosten- und Wertschöpfungsdaten in einem dynamischen Systemmodell verbunden werden.
- Die M-Q-M-Kernsemantik ist in den Materialien gut dokumentiert.
- Die mathematische Formalisierung liegt als Arbeitsmodell vor.
- Der Digital-Twin- und Simulationseinsatz ist als fortgeschrittener Entwurf dokumentiert.
- Die Unternehmensvalidierung ist operationalisierungsnah.
- Eine abgeschlossene empirische Validierung des Gesamtmodells mit veröffentlichtem Datensatz, unabhängiger Replikation und standardisiertem Benchmark ist **Nicht im Material beschrieben**.

Grundprinzipien

Aktivitätsorientierung

- Die grundlegende Analyseeinheit ist die **Aktivität**.
- Eine Aktivität verbindet in den frühen Managementquellen Entscheidung und Handlung.
- In der erweiterten technischen Lesart verbindet eine Aktivität Wahrnehmung, Ressourcenfluss, Transformation, Regelung und Wirkung.
- Technische, organisatorische und agentische Systeme werden über ihre wesentlichen Aktivitäten und deren Kopplungen beschrieben.
- Maschinen, Lager, Datenträger, Personen oder Organisationen werden nicht isoliert betrachtet, sondern als Träger oder Bestandteile von Aktivitätenbündeln.

- Ein Lager ist in dieser Perspektive nicht nur ein räumliches Objekt, sondern ein Aktivitätenbündel aus Zufluss, Einlagerung, Bestandshaltung, Steuerung, Energieverbrauch, Entnahme und Wirkung.
- Ein Agent ist nicht nur ein Softwareobjekt, sondern eine gekoppelte Einheit aus Wahrnehmung, Zielbild, Entscheidungsregel und Wirkung.
- Die philosophisch-ontologischen Materialien erweitern die Aktivitätenorientierung durch das Axiom **„Alles ist Bewegung“**.
- Die Gleichsetzung von Bewegung, Ereignis und System ist eine quelleninterne Modellannahme und kein in den Materialien empirisch validiertes Naturgesetz.

Vier-Quadranten-Kern

Quadrant	Kernfunktion	Leitfrage	Typische Inhalte	Energetische Zuordnung
Q3	Identität, Plan, Leitbild, Gesamtzustand	Warum existiert die Aktivität und was soll sie erreichen?	Zweck, Ziele, KPIs, Budget, Prioritäten, Sollstruktur, Lebenszyklus, Zukunftsstufen, Welt- oder Selbstmodell	Gesamtenergie
Q2	Input, Fluss, Ressourcen, Verbrauch	Was fließt oder wird verbraucht?	Material, Energie, Information, Daten, Personalzeit, Mengenströme, Raten, Lastprofile, Sensorwerte, Durchsatz	Kinetische Energie
Q1	Transformation, Regeln, Parameter, Steuerung	Wie werden Inputs in Ergebnisse transformiert?	Verfahren, Algorithmen, SOPs, Schwellenwerte, Regelkreise, Prozessschritte, Entscheidungslogik, Verluste, Dissipation	Transformationsenergie
Q4	Outcome, Output, Bestand, Potenzial, Wirkung	Was entsteht, bleibt oder steht zur Verfügung?	Produkte, Leistungen, Ergebnisse, Bestände, Puffer, Portfolio, Emissionen, Qualität, positive und negative Wirkungen	Potenzielle Energie

- Die Quadranten sind systemisch gekoppelt.
- Sie dürfen nicht als voneinander unabhängige Kategorien behandelt werden.
- Die semantischen Inhalte können domänenspezifisch verfeinert werden.
- Die Grundfunktionen der Quadranten müssen dabei erhalten und die Zuordnungen nachvollziehbar bleiben.
- Ein reiner Prozessblick vernachlässigt Ziel und Wirkung.
- Ein reiner Bestands- oder Portfolioblick vernachlässigt Fluss und Regelung.
- Ein reiner Managementblick vernachlässigt materielle, energetische und informationelle Bedingungen.

Zyklische Wirkung

Die korrigierte innere Wirkungsfolge des Simulationsmodells lautet:

`Q3 → Q2 → Q1 → Q4 → Q3`

- Q3 setzt Identität, Sollstruktur, Zielgrößen und Planung.

- Q2 führt die erforderlichen Material-, Energie-, Informations- und Ressourcenflüsse.
- Q1 transformiert und regelt diese Flüsse.
- Q4 bewertet und speichert Ergebnisse, Bestände und Wirkungen.
- Q4 liefert die Grundlage für die nächste Planung in Q3.

Die Reihenfolge beschreibt eine geordnete zyklische Wirkung. Sie setzt keinen zusätzlichen unmittelbaren inneren Direktoperator zwischen Q1 und Q3 voraus. Q1 und Q3 sind mittelbar über `Q3 → Q2 → Q1`, `Q1 → Q4 → Q3` und über zeitversetzte Rückkopplungen verbunden.

Rückkopplung als Widerstand

Rückkopplungen werden als Widerstände in der umgekehrten zyklischen Richtung modelliert:

`Q3 → Q4 → Q1 → Q2 → Q3`

- Ein Plan aus Q3 erzeugt Sollgrößen, an denen Q4 bewertet wird.
- Ein Rückstand oder Qualitätsproblem aus Q4 beeinflusst Q1.
- Eine Energie- oder Wartungsgrenze aus Q1 begrenzt Q2.
- Energieverbrauch, Instabilität oder reale Kapazität aus Q2 begrenzen Q3.
- Widerstände wirken zeitversetzt.
- Ein am Zeitpunkt `t` festgestellter Widerstand beeinflusst die jeweils vorgelagerte Teilstruktur am Zeitpunkt `t + 1`.
- Hauptwirkung und Widerstandsrichtung sind getrennt zu modellieren.

Systemhierarchie

Das M-Q-M unterscheidet:

- Hypersystem,
- System,
- Subsystem.

Regeln der Hierarchie:

- Ein Subsystem kann eine eigene Q1-Q4-Struktur besitzen.
- Ein System kann selbst Subsystem eines übergeordneten Hypersystems sein.
- Eine Aktivität kann als System oder als Bestandteil eines Systems modelliert werden.
- Aktivitäten können zu Knoten oder Aktivitätenbündeln zusammengefasst werden.
- Schleifen beschreiben zyklisch geschlossene Bewegungs- oder Wirkungsstrukturen.
- Das Q4-Ergebnis oder der Q4-Bestand eines Systems kann zum Q2-Input eines nachgelagerten Systems werden.
- Dadurch entstehen Wertschöpfungsketten, Kreisläufe und Netzwerke statt isolierter Prozessblöcke.
- Die Systemgrenze bestimmt, welche Flüsse intern und welche Verluste, Wirkungen oder Kopplungen extern sind.

Offene und geschlossene Systeme

Geschlossenes System

- Input Q2 und Ergebnis Q4 verbleiben idealtypisch im Systemkreislauf.
- Verluste zum Hypersystem werden mit null angesetzt oder vernachlässigt.
- Die Gleichsetzung `Input = Output` ist eine Modellannahme.

- Geschlossene Systeme eignen sich für idealisierte Erhaltungs- und Konsistenzbetrachtungen.

Offenes System

- Das System tauscht Material, Energie, Information und Wirkungen mit seinem Hypersystem aus.
- Reale Unternehmen, Produktionssysteme, Lieferketten, Informationssysteme und Agenten sind in der Regel offene Systeme.
- Zu erfassen sind insbesondere:
  - Wärme,
  - Emissionen,
  - Abfälle,
  - Informationsverluste,
  - Reibung,
  - ungenutztes Potenzial,
  - externe Abhängigkeiten,
  - positive und negative Wirkungen auf das Hypersystem.

Die ontologischen Materialien beschreiben geschlossene Systeme zusätzlich als fundamentale elementare Existenzeinheiten. Diese Deutung gehört zum spekulativen Hintergrundmodell und ist von der operativen Nutzung als idealisierte Systemannahme zu trennen.

Achsenstruktur

Achse	Grunddimension	Typische Ausprägungen
x	Zeit	Dauer, Lebensdauer, Prozesszeit, Periode, Wellenlänge, Zyklus, Ereigniszeit, Zeitpunkt
y	Raum, Menge oder Ausdehnung	Menge, Kapazität, Bestand, Differenz, Spannung, Ausdehnung, Varianz, Schwankungsbreite, Dichte
z	Modus und historische Entwicklung	Zustand, Betriebsart, Priorität, Sequenz, Phase, Häufigkeit, Verflechtung, Gedächtnis, Zukunftsstufe

- Die x-Achse kann je nach Quadrant absolute oder relative Zeit ausdrücken.
- Die y-Achse verbindet qualitative Systemzustände mit messbaren Mengen-, Raum-, Kapazitäts- oder Differenzgrößen.
- Die z-Achse erweitert die statische Quadrantenansicht um Modi, Sequenzen, Phasen, Gedächtnis und historische Entwicklung.
- Die z-Achse ermöglicht die Modellierung von:
  - Werden,
  - Ruhen,
  - Vergehen,
  - Lernen,
  - Vergessen,
  - Wartungszuständen,
  - Betriebsmodi,
  - zukünftigen Systemvarianten.

Zeitformen

Zeitform	Bedeutung
Absolute Zeit / Chronos	Kontinuierliche Gesamtdauer, Eigenzeit oder Lebensdauer eines Systems beziehungsweise einer Aktivität
Relative Zeit / Kairos	Periode, Wellenlänge, Betrachtungsintervall, Ereigniszeit oder diskreter Zeitpunkt
Historische Zeit / Äon	Entwicklung eines Systems über Vergangenheit, Gedächtnis, Gegenwart, Erwartungen, Phasen und Zukunftsstufen

- Absolute Zeit ist vor allem mit Q2 und Q3 verbunden.
- Relative Zeit ist vor allem mit Q1 und Q4 verbunden.
- Historische Zeit wird über die z-Achse dargestellt.
- Historische Zeit beschreibt nicht nur den aktuellen Zustand, sondern auch das Gewordensein und mögliche Entwicklungsstufen eines Systems.

Quadrantenspezifische Achsenausprägungen

Quadrant	x-Achse	y-Achse	z-Achse
Q1	Relative Zeit: Periode	Relativer Raum: Differenz	Relativer Modus: in der Achsenübersicht „Volumen“
Q2	Absolute Zeit: Dauer	Relativer Raum: Differenz	Relativer Modus: Sequenzen
Q3	Absolute Zeit: Dauer oder Lebensdauer	Absoluter Raum: Ausdehnung oder Schwankungsbreite	Absoluter Modus: Verflechtung, Gesamtmodus oder historische Einordnung
Q4	Relative Zeit: Periode oder Wellenlänge	Absoluter Raum: Ausdehnung, Schwankungsbreite oder Amplitude	Relativer Modus: Häufigkeit oder Frequenz

Dokumentierte Achsenrelationen:

- `y2 = y1`: Differenz oder Spannung.
- `y3 = y4`: Ausdehnung oder Schwankungsbreite.
- `x3 = x2`: Dauer oder Lebensdauer.
- `x4 = x1`: Periode oder Wellenlänge.
- `z1 ≠ z2 ≠ z3 ≠ z4`: unterschiedliche Gegenstände innerhalb eines Systems.
- Auf der Ebene des Hypersystems können die z-Achsen eines Systems gemeinsam dessen historische beziehungsweise „Hyperzeit“-Achse bilden.

Ebenenstruktur

Ebene	Kopplung	Generische Bedeutung
xy	Zeit × Raum beziehungsweise Menge	Energie oder Aufwand
xz	Zeit × Modus	Information oder Steuerung
yz	Raum beziehungsweise Menge × Modus	Form oder Struktur

Quadrantenspezifische Zuordnung:

Quadrant	xy-Ebene	xz-Ebene	yz-Ebene
Q1	Energie der Transformation	Information als Parameter oder Regel	Form als Dichte oder Transformationsstruktur
Q2	Kinetische Energie	Information als Verlauf	Form als materielle oder immaterielle Substanz
Q3	Gesamtenergie des Systems	Information als Entwicklungsstand	Form als Aufbau oder Gesamtstruktur
Q4	Potenzialenergie	Information als Ergebnis	Form als Ereignis oder Ergebnisstruktur

- Achsen sind Basisdimensionen.
- Ebenen sind eigenständige Kopplungs- oder Interaktionszustände.
- Ein Ebenenzustand darf nicht ohne Begründung auf ein einfaches Produkt seiner beiden Achsenzustände reduziert werden.

Quadranten und Zustände

Quadranten sind keine Zustände, sondern Teilstrukturen oder Projektionen eines Systems:

`Qi = Qi(S), i ∈ {1, 2, 3, 4}`

Der Systemzustand ist eine Funktion der vier Quadrantenzustände:

`Z(S) = F(Z(Q1(S)), Z(Q2(S)), Z(Q3(S)), Z(Q4(S)))`

Der Zustand eines Quadranten wird aus sechs Komponenten zusammengesetzt:

`Z(Qi(S)) = fi(Z(Qix), Z(Qiy), Z(Qiz), Z(Qixy), Z(Qixz), Z(Qiyz))`

Die Zustandsstruktur ist hierarchisch:

`Achsen und Ebenen → Quadrant → System`

- Ein Quadrant darf nicht mit seinem Zustand gleichgesetzt werden.
- Ein Quadrantenzustand ist kein einzelner Wert.
- Der Systemzustand ist kein einfacher vierdimensionaler Zahlenvektor.

Typisierte Zustandswerte

Ein Zustandswert wird als typisiertes Objekt modelliert:

`Z = (v, τ, u, m)`

Bestandteil	Bedeutung
`v`	Wert
`τ`	Typ
`u`	optionale Einheit
`m`	optionale Metadaten

Zulässige Grundtypen:

Typ	Beispiele	Zulässige Grundoperationen
Numerisch	Energie, Zeit, Menge, Effizienz	Addition, Skalierung, Vergleich, Optimierung
Ordinal	niedrig, normal, hoch, kritisch	Ordnung, Minimum, Maximum, Eskalation
Nominal	automatic, rush, stabilize, maintenance	Klassifikation, Regelzuordnung, Fallunterscheidung
Relational	Graphen, Abhängigkeiten, Konfigurationen	Merge, Einschränkung, Pfade, Annotation

- Der Zustandsraum ist heterogen.
- Er ist kein klassischer einheitlicher Vektorraum.
- Die Typisierung bestimmt, welche Operationen und Kopplungen zulässig sind.
- Ein nominaler Modus besitzt keine natürliche numerische Ordnung.
- Ein relationaler Zustand darf nicht ohne Begründung auf einen Skalar reduziert werden.

Kopplungsoperatoren

Ebenenzustände werden durch explizite, kontextabhängige Kopplungsoperatoren erzeugt:

`Z(Qiab) = C⁽ⁱ⁾ab(Z(Qia), Z(Qib); θ⁽ⁱ⁾ab, κ)`

Dabei bezeichnet:

- `θ` die Parameter des Operators,
- `κ` den Kontext, beispielsweise:
  - Domäne,
  - Quadrant,
  - Regelwerk,
  - Simulationsmodus.

Operatoren sind partielle, typisierte Abbildungen:

`C∨αβ : Zα × Zβ ⇀ Zγ`

- Nicht jede Typkombination ist in jedem Kontext sinnvoll.
- Vor der Ausführung sind Eingangstypen, Ausgangstyp, Einheiten, Kontext und Validitätsbedingungen zu prüfen.
- Ein allgemeines Tensorprodukt ist als Standardannahme zu stark.
- Ein Tensorprodukt ist nur in begründeten linearen oder numerischen Spezialfällen zulässig.

Operatorfamilien

Operatorfamilie	Verwendung	Beispiel	Charakter
Physikalisch-deterministisch	Quantitativ definierte Beziehung	Energie als Funktion von Menge, Zeit und Wirkungsgrad	parametrisierbar
Regelbasiert	Fall-, Schwellen- oder Prioritätslogik	Priorität und Status führen zu Alarm oder Maßnahme	auditierbar
Datengetrieben	Aus historischen Daten geschätzte Beziehung	Verbrauchsmodell	empirisch und lernbar

Operatorfamilie	Verwendung	Beispiel	Charakter
Relational	Graphen, Abhängigkeiten und Konfigurationen	Auswahl oder Annotation eines Teilgraphen	strukturbildend
Hybrid	Kombination aus Regel, Messwert und Schätzung	Steuerlogik mit geschätztem Energiebedarf	praktisch häufig

Typkombinationen der Operatorbibliothek

Eingangstypen	Operatoridee	Möglicher Zieltyp	Beispiel
Num × Num	additiv, multiplikativ, sättigend oder verlustbehaftet	Num	Energie als Wirkungsgrad × Menge × Zeit
Num × Ord	Gewichtung oder Schwellenlogik	Num oder Ord	Menge × Priorität → gewichtete Last
Num × Nom	kontextuelle Transformation	Num oder Nom	Verbrauch abhängig vom Maschinenmodus
Num × Rel	Verteilung über Graph oder Annotation	Rel oder Num	Energie auf Maschinenknoten verteilen
Ord × Num	Gewichtung oder Eskalation	Num oder Ord	hoher Rückstand eskaliert Priorität
Ord × Ord	Maximum, Minimum, Dominanz oder Kompromiss	Ord	Maximum aus hoch und kritisch
Ord × Nom	Regelmatrix	Nom oder Ord	Priorität + Modus → Steuerstrategie
Ord × Rel	Graphfilter oder Constraint	Rel	nur kritische Aufträge aktivieren
Nom × Num	parametrische Fallunterscheidung	Num oder Nom	rush erhöht einen Kapazitätsfaktor
Nom × Ord	Klassifikation	Nom oder Ord	Modus + Qualitätsgrad → Maßnahme
Nom × Nom	Lookup oder endlicher Automat	Nom	machine critical → alarm
Nom × Rel	Annotation oder Auswahl	Rel	energy_save wählt einen Teilgraphen
Rel × Num	Bewertung oder Kapazitätsfluss	Rel oder Num	Graph mit Kantenlasten versehen
Rel × Ord	Constraint Propagation	Rel	Priorität beschränkt zulässige Pfade
Rel × Nom	Labeling oder Modusfilter	Rel	Knoten mit stabilize markieren
Rel × Rel	Merge, Pullback, Join oder Differenz	Rel	Auftrags- und Maschinengraph verbinden

- Die Operatorbibliothek ist eine Software-Schnittstelle.
- Sie ist keine vollständige universelle Semantik.
- Sie ist kein Naturgesetz.
- Operatoren müssen je Domäne parametrisiert, validiert und getestet werden.

Daten, Information und Wissen

Daten werden im M-Q-M nicht allein nach ihrem Speicherort, sondern nach ihrer **Systemrolle** eingeordnet.

Systemrolle	Quadrant	Beispiele
Regel, Code, Typ oder Parameter	Q1	Algorithmus, Datentyp, Schwellenwert, Validierungsregel
Fluss, Kanal oder Signal	Q2	Messwert, Nachricht, Datenstrom, Sensorwert
Bedeutung, Zweck oder Nutzungskontext	Q3	Interpretation, Benutzerabsicht, Entscheidung, Zielbezug
Bestand oder Lager	Q4	Datei, Datenbankeintrag, gespeicherte Nachricht

- Dieselbe Zahl oder Bitfolge kann je nach Systemrolle mehreren Quadranten zugeordnet werden.
- Daten sind nicht nur gespeicherte Werte, sondern systembezogene Zustands- und Prozessspuren.
- Information wird nicht auf eine einzige Stelle reduziert:
  - Q1 enthält die Regel- und Codeebene.
  - Q2 enthält den Informationsfluss.
  - Q3 enthält Bedeutung, Absicht und Zielvorstellung.
  - Q4 enthält den gespeicherten Informationsbestand.
- Code ist nicht Bedeutung.
- Ein Datenspeicher ist nicht automatisch Wissen.
- Wissen wird in den Materialien mit der Vernetzung von Informationen und Erfahrungen verbunden.
- Der M-Q-M-Datenraum ist ein heterogener, geschichteter Zustandsraum:

`x/y/z + xy/xz/yz → Quadrant → System`

Reifegrad und Geltungsbereich

Bereich	Einordnung aus dem Material
Aktivitätenbasierte Management- und Risikologik	relativ reif
Q1-Q4-Kernsemantik und x/y/z-Struktur	gut dokumentiert
Mathematische Formalisierung	Arbeitsmodell
Digital-Twin- und Simulationseinsatz	fortgeschrittener Entwurf
Fragebogen und Unternehmensvalidierung	operationalisierungsnah
Agenten- und KI-Anwendungen	konzeptionell und formal im Aufbau
Physikalisch-kosmologische Erweiterungen	spekulativ

- Mathematische Formeln sind als Struktur- und Konsistenzannahmen zu behandeln.
- Domänenspezifische Einheiten, Parameter und Validierungsregeln sind erforderlich.
- Die Quaternionen-, Faser- und Hopf-Fibrationsdeutungen sind optionale Forschungshypothesen.
- Das Hintergrundkonzept **„Eins statt Null“** ist nicht als notwendige Voraussetzung der praktischen M-Q-M-Anwendung dokumentiert.

- Die Konzepte „Leerer Raum“, fluiddynamische Gravitation und elementare Rotationsimpulse gehören nicht zum empirisch validierten Management-, Digital-Twin- oder Simulationskern.

Gekennzeichnete Widersprüche und Unschärfen

Gegenstand	Dokumentierte Varianten	Behandlung
Allgemeine Wirkungsfolge	Das korrigierte Simulationsmodell verwendet `Q3 → Q2 → Q1 → Q4 → Q3`. Das Datenspeicherungsbeispiel verwendet beim Speichern `Q3 → Q1 → Q2 → Q4`.	Für allgemeine Simulationen ist die ausdrücklich korrigierte Folge des Simulationsartikels zu verwenden. Die Speicherfolge ist als beispielspezifische beziehungsweise nicht aufgelöste Quellenabweichung zu kennzeichnen.
Abruf einer Datei	Das Datenspeicherungsbeispiel verwendet `Q4 → Q1 → Q2 → Anwendung`.	Als domänenspezifische Abrufdarstellung behandeln, nicht als allgemeine M-Q-M-Hauptfolge.
Q1-z-Achse	Die Achsenübersicht bezeichnet `z1` als relativen Modus beziehungsweise „Volumen“. Andere Darstellungen verwenden in Q1 zusätzlich „Dichte“.	Volumen und Dichte nicht stillschweigend vereinheitlichen. Eine verbindliche Auflösung ist **Nicht im Material beschrieben**.
Dichte in Q1	Die Achsenübersicht ordnet Dichte der Q1-yz-Ebene zu; weitere Darstellungen verwenden Dichte zugleich im Umfeld der Q1-z-Achse.	Achsen- und Ebenenbezug getrennt dokumentieren.
Absoluter Raum	Das Achsendokument verwendet den Begriff operativ für Ausdehnung, Varianz oder Schwankungsbreite. Das Glossar verwendet den Newton-Bezug für einen vollständig leeren Hintergrundraum.	Operative Raumgröße und philosophisch-physikalischen Hintergrundbegriff nicht gleichsetzen.
Geschlossenes System	Die operationalisierungsnahen Quellen behandeln es als idealisierte Erhaltungsannahme. Das Glossar beschreibt es zusätzlich als elementare Existenzeinheit.	Für praktische Modelle als gekennzeichnete Idealannahme verwenden; die ontologische Deutung als spekulativen Hintergrund behandeln.
Weitere Quadranten	Das M-Q-M wird als Erweiterung des Vier-Quadranten-Kerns beschrieben.	Eine verbindliche Regel zu Anzahl, Nummerierung, Semantik und Validierung zusätzlicher Quadranten ist **Nicht im Material beschrieben**.
Mathematische Formeln	Teilweise werden Energie- und Balancegleichungen sowie geometrische Deutungen vorgeschlagen.	Nur als Arbeits- und Konsistenzmodelle verwenden. Einheiten, Operatoren und empirische Validierung sind domänenspezifisch zu ergänzen.
Standardprozess	Die Materialien enthalten Analysebeispiele, Fragebogenansätze und ein Simulationsmodell.	Ein normierter Projektablauf mit verbindlichen Rollen, Mindestdauer, Freigabegremien und Pflichtartefakten ist **Nicht im Material beschrieben**.
Empirische Bewährung	Konkrete Architektur-, Analyse- und Simulationsentwürfe liegen vor.	Ein veröffentlichter, unabhängig replizierter Gesamtmodell-Benchmark ist **Nicht im Material beschrieben**.
Konfliktpriorität	Der Simulationsartikel nennt Sicherheit, Qualität, Energie, Liefertermin und Normalbetrieb in dieser Reihenfolge.	Als Beispiel der virtuellen Produktionszelle behandeln, nicht als universellen Standard.

Konzepte und Begriffe

Begriff	Definition
4-Q-M / 4QM	Vier-Quadranten-Kern aus Q1, Q2, Q3 und Q4; Ausgangspunkt des skalierbaren M-Q-M.
M-Q-M / MQM	Mehr-Quadranten-Modell beziehungsweise Multi-Quadrant Model; skalierbarer Modellierungsrahmen für Systeme, Subsysteme und Hypersysteme.
System	Betrachtete Einheit, deren Identität, Flüsse, Transformationen, Ergebnisse, Zustände und Wirkungen über die Quadranten beschrieben werden.
Aktivität	Grundlegende Analyseeinheit; in den frühen Managementquellen eine Einheit von Entscheidung und Handlung, später auf technische, organisatorische und agentische Zusammenhänge erweitert.
Aktivitätenbündel	Mehrere gekoppelte Aktivitäten, die gemeinsam ein System oder einen wesentlichen Systemteil bilden.
Bewegung	In den ontologischen Materialien kleinste Wirkeinheit und Grundlage des Axioms „Alles ist Bewegung“.
Ereignis	Diskrete Veränderung oder Ergebnisbildung; in Teilen des Materials mit Bewegung oder System in Beziehung gesetzt.
Knoten	Konkretisierung eines Systems oder Aktivitätenbündels in einer vernetzten Struktur.
Schleife	Zyklisch geschlossene Bewegungs- oder Wirkungsstruktur.
Hypersystem	Übergeordnetes System, in das das betrachtete System eingebettet ist, beispielsweise Werk, Wertschöpfungskette, Markt oder Ökosystem.
Subsystem	Untergeordnetes oder konstituierendes System, das eine eigene Q1-Q4-Struktur besitzen kann.
Systemgrenze	Festlegung, welche Flüsse, Transformationen, Bestände und Wirkungen zum betrachteten System gehören.
Offenes System	System mit Austausch, Verlusten, Einflüssen und Wirkungen gegenüber dem Hypersystem.
Geschlossenes System	Idealtypisches System, bei dem Input und Output im Kreislauf bleiben und externe Verluste null sind oder vernachlässigt werden.
Q1	Transformation, Regelwerk, Parameter, Verfahren, Steuerung, Entscheidungslogik, Verluste und Dissipation.
Q2	Input, Ressourcen, Verbrauch, Flüsse, Prozess und Durchsatz von Material, Energie, Information, Daten und Personalzeit.
Q3	Plan, Identität, Leitbild, Zweck, Gesamtzustand, Budget, Muster, Lebenszyklus sowie Welt- oder Selbstmodell.
Q4	Outcome, Output, Bestand, Portfolio, Potenzial, Wirkung, Produkt, Puffer, Emission oder diskretes Ergebnis.
x-Achse	Zeitdimension eines Quadranten; umfasst je nach Quadrant Dauer, Lebensdauer, Prozesszeit, Periode oder Ereigniszeit.

Begriff	Definition
y-Achse	Raum-, Mengen- oder Ausdehnungsdimension; umfasst Menge, Kapazität, Differenz, Spannung, Ausdehnung, Varianz oder Bestand.
z-Achse	Modus-, Zustands- und historische Entwicklungsachse; umfasst Sequenzen, Phasen, Modi, Gedächtnis, Verflechtung und Zukunftsstufen.
xy-Ebene	Kopplung von Zeit und Raum beziehungsweise Menge; wird als Energie oder Aufwand interpretiert.
xz-Ebene	Kopplung von Zeit und Modus; wird als Information oder Steuerung interpretiert.
yz-Ebene	Kopplung von Raum beziehungsweise Menge und Modus; wird als Form oder Struktur interpretiert.
Absolute Zeit / Chronos	Kontinuierliche Gesamtdauer, Eigenzeit oder Lebensdauer eines Systems oder einer Aktivität.
Relative Zeit / Kairos	Periode, Wellenlänge, diskretes Intervall, Betrachtungszeit oder Zeitpunkt eines Ereignisses.
Historische Zeit / Äon	Entwicklungszeit eines Systems mit Vergangenheit, Gedächtnis, Gegenwart, Erwartungen, Phasen und Zukunftsstufen.
Absoluter Raum	In der operativen Achsenbeschreibung Ausdehnung, Varianz, Streuung oder Schwankungsbreite eines Systems.
Relativer Raum	Raum als Relation innerhalb eines Systems, beispielsweise Differenz, Spannung, Bedarf oder Struktur.
Leerer Raum	In den philosophisch-physikalischen Materialien impulsfreier Hintergrund und passiver Attraktor; spekulatives Hintergrundkonzept.
Senke	Relativ leerer Raum beziehungsweise passiver Attraktor innerhalb einer Bewegung oder eines Systems.
Modus	Betriebsart, Zustand, Sequenz, Phase, Häufigkeit oder Verknüpfungsstruktur eines Systems.
Quadrantenzustand	Komposition der Zustände `x`, `y`, `z`, `xy`, `xz` und `yz` eines Quadranten.
Systemzustand	Funktion beziehungsweise Komposition der vier Quadrantenzustände.
StateValue	Softwaretechnische Repräsentation eines typisierten Zustandswerts aus Wert, Typ, Einheit und Metadaten.
Numerischer Zustand	Quantitativer Wert wie Energie, Zeit, Menge oder Effizienz.
Ordinaler Zustand	Geordnete Ausprägung wie niedrig, normal, hoch oder kritisch.
Nominaler Zustand	Benannter Modus ohne natürliche Zahlenordnung, beispielsweise automatic oder maintenance.
Relationaler Zustand	Graph, Abhängigkeit, Konfiguration oder Netz von Bezügen.
Kopplungsoperator	Explizite, typ- und kontextabhängige Abbildung, die Zustände verbindet oder einen Ebenenzustand erzeugt.
Widerstandsoperator	Operator für eine zeitversetzte Rückkopplung in der umgekehrten zyklischen Wirkungsrichtung.
FeedbackLoop	Softwarekomponente mit Quelle, Ziel, Verzögerung und Rückkopplungsregel.

Begriff	Definition
Dissipation	Verlust oder qualitative Umwandlung von Energie beziehungsweise Ressourcen, beispielsweise Abwärme oder Reibung.
Traceability	Relationale Dokumentation, welche Aufträge, Ressourcen, Maschinen, Regeln, Modi und Messwerte zu einem Ergebnis geführt haben.
Daten	Formal codierte Werte oder Zeichen, die im M-Q-M zusätzlich nach ihrer Systemrolle in Fluss, Regel, Bedeutung oder Bestand verortet werden.
Information	Im M-Q-M auf Regel und Code, laufenden Fluss, Bedeutung sowie gespeicherten Bestand verteilt.
Wissen	Im Datenspeicherungsdokument als Vernetzung von Informationen mit Erfahrungen beschrieben; nicht mit einem bloßen Datenbestand gleichzusetzen.
Datentyp	Klassifikation eines Zustandswerts; im Simulationsmodell numerisch, ordinal, nominal oder relational.
Typisierter Zustandsraum	Heterogene mehrstufige Struktur aus Achsen- und Ebenenzuständen, Quadrantenzuständen und Systemzustand.
Speicherung	Zeitliche Überbrückung an einem Ort, während der Energie, Materie oder Information als Bestand in einem System verweilt.
Bestand	In Q4 gehaltenes Ergebnis, Potenzial, Produkt, Datenobjekt oder Puffer.
Widerstand	Rückwirkung, Begrenzung oder Störung, die eine vorgelagerte Quadrantenfunktion in einem späteren Zeitschritt beeinflusst.
Green Digital Energy Twin	Digitaler Energiezwilling einer grünen virtuellen Fabrik zur Verbindung von Prozess-, Energie-, CO2-, Kosten- und Wertschöpfungsdaten.
Digital Twin	In den Materialien daten- und simulationsbezogene Repräsentation realer Assets und Prozesse; eine allgemeine normierte Definition ist **Nicht im Material beschrieben**.
AAS / Verwaltungsschale	Asset Administration Shell; industrielle Daten- und Schnittstellenstruktur zur Integration von Assets in Digital Twins.
FERAL	Genannte Simulations- und Co-Simulationsumgebung für heterogene Modelle und virtuelle Engineering-Szenarien.
Petri-Netz	Formaler Modellierungsansatz für diskrete Prozesse, Nebenläufigkeit und Aktivierung; als operativer Prozesskern einer hybriden M-Q-M-Architektur vorgeschlagen.
Polykontexturalität	Quelleninterner Bezug auf unterschiedliche logische Kontexturen, in denen Quadranten eigene Wahrheits- und Entscheidungslogiken besitzen können.
„Eins statt Null“	Philosophisch-mathematische Hintergrundidee, die Eins als Gleichgewichts- oder Leerlaufzustand in das Zentrum stellt; keine notwendige operative Voraussetzung des M-Q-M.

Methode

- Die Materialien enthalten keinen einzelnen normativ abgeschlossenen M-Q-M-Methodenstandard.

- Die nachfolgenden Schritte konsolidieren die wiederkehrenden Vorgehensweisen aus Modellkern, Analyse-Steckbrief, Achsenbeschreibung, Simulationsmodell und Datenspeicherungsbeispiel.
- Verbindliche Projektrollen, Mindestdauer, Freigabegremien und Pflichtartefakte sind **Nicht im Material beschrieben**.

Schritt 1: Aktivität und Systemrahmen festlegen

- **Ziel**
  - Eindeutig bestimmen, welches System oder welche Aktivität modelliert wird.
- **Eingaben**
  - Prozess- oder Tätigkeitsbeschreibung.
  - Start- und Endpunkt.
  - Organisations-, Anlagen- oder Anwendungskontext.
  - Vor- und nachgelagerte Systeme.
- **Aktivitäten**
  - Aktivität statt bloßes Objekt benennen.
  - Enthaltene Prozessabschnitte festlegen.
  - Ausgeschlossene Prozessabschnitte dokumentieren.
  - Hypersystem, System und relevante Subsysteme bestimmen.
  - Offenes oder idealtypisch geschlossenes System kennzeichnen.
  - Schnittstellen zu anderen Systemen benennen.
- **Ergebnis**
  - Dokumentierter Systemrahmen mit Grenzen, Einbettung und Ausschlüssen.

Schritt 2: Q3 - Identität, Zweck und Zielsystem erfassen

- **Ziel**
  - Festlegen, wofür das System existiert und welchen Sollzustand es verfolgt.
- **Eingaben**
  - Leitbild.
  - Auftrag.
  - Ziele und KPIs.
  - Budgets.
  - Prioritäten.
  - Qualitäts-, Sicherheits- und Nachhaltigkeitsgrenzen.
- **Aktivitäten**
  - Zweck und Identität formulieren.
  - Messbare und qualitative Ziele unterscheiden.
  - Planungshorizont und Zielmengen erfassen.
  - Prioritäten und Zielkonflikte dokumentieren.
  - Zukunftsstufen und relevante Betriebsmodi aufnehmen.
- **Ergebnis**
  - Q3-Ziel-, Identitäts- und Planstruktur.

Schritt 3: Q2 - Ressourcen, Inputs und Flüsse erfassen

- **Ziel**
  - Bestimmen, welche materiellen und immateriellen Ressourcen durch das System fließen.
- **Eingaben**
  - Materialmengen.
  - Energieverbräuche.
  - Daten- und Informationsströme.
  - Personalzeit.
  - Kapazitäten.
  - Sensor- und Prozessdaten.
- **Aktivitäten**
  - Eingangs- und Verbrauchsflüsse erfassen.
  - Kontinuierliche und diskrete Flüsse unterscheiden.
  - Sequenzielle und parallele Verläufe beschreiben.
  - Mengen, Raten, Lastprofile und Durchsatz bestimmen.
  - Engpässe und kapazitätskritische Ressourcen identifizieren.
- **Ergebnis**
  - Q2-Flussmodell mit Mengen-, Zeit- und Ressourcenbezügen.

Schritt 4: Q1 - Transformation, Regelung und Verluste erfassen

- **Ziel**
  - Beschreiben, wie Q2-Flüsse in Q4-Ergebnisse überführt werden.
- **Eingaben**
  - Prozessschritte.
  - Verfahren.
  - Algorithmen.
  - SOPs.
  - Schwellenwerte.
  - Steuerungsparameter.
  - Betriebsmodi.
- **Aktivitäten**
  - Transformationsschritte dokumentieren.
  - Entscheidungs- und Ausnahmewege erfassen.
  - Regeln, Schwellenwerte und Regelkreise bestimmen.
  - Nichtlineare Pfadwechsel kennzeichnen.
  - Verluste, Dissipation, Wartezeiten, Nacharbeit und Medienbrüche erfassen.
- **Ergebnis**
  - Q1-Regel- und Transformationsmodell einschließlich Verlust- und Ausnahmefunktionen.

Schritt 5: Q4 - Ergebnisse, Bestände und Wirkungen erfassen

- **Ziel**
  - Bestimmen, welche Ergebnisse, Bestände, Potenziale und externen Wirkungen entstehen.
- **Eingaben**

    - Produkte und Leistungen.
    - Qualitätsdaten.
    - Bestände und Puffer.
    - Emissionen.
    - Nebenprodukte.
    - Datenprodukte.
- **Aktivitäten**
    - Output, Outcome und Bestand unterscheiden.
    - Interne und externe Wirkungen dokumentieren.
    - Positive und negative Wirkungen erfassen.
    - Puffer, Rückstände und ungenutzte Potenziale aufnehmen.
    - Q4-Ergebnisse möglichen Q2-Inputs nachgelagerter Systeme zuordnen.
- **Ergebnis**
    - Q4-Ergebnis-, Bestands- und Wirkungsstruktur.

Schritt 6: x-, y- und z-Achsen zuordnen

- **Ziel**
    - Die Basisdimensionen jedes Quadranten explizit machen.
- **Eingaben**
    - Q1-Q4-Inhalte.
    - Dauer- und Periodenangaben.
    - Mengen-, Kapazitäts- und Ausdehnungsgrößen.
    - Modi, Sequenzen und historische Zustände.
- **Aktivitäten**
    - Zeitgrößen der x-Achse zuordnen.
    - Raum-, Mengen- und Differenzgrößen der y-Achse zuordnen.
    - Modi, Sequenzen, Phasen und Historie der z-Achse zuordnen.
    - Absolute, relative und historische Zeit unterscheiden.
    - Gedächtnis, Vorgeschichte und Zukunftsstufen dokumentieren.
- **Ergebnis**
    - Achsenmodell `x`, `y` und `z` für jeden Quadranten.

Schritt 7: xy-, xz- und yz-Ebenen bestimmen

- **Ziel**
    - Relevante Interaktionen zwischen den Basisdimensionen erfassen.
- **Eingaben**
    - Achsenzustände.
    - Physikalische Beziehungen.
    - Regeln.
    - Datenmodelle.
    - Strukturen und Konfigurationen.
- **Aktivitäten**
    - `xy` als Energie oder Aufwand prüfen.

    - `xz` als Information oder Steuerung prüfen.
    - `yz` als Form oder Struktur prüfen.
    - Bestimmen, ob ein Ebenenzustand gemessen oder durch einen Operator erzeugt wird.
    - Eigenständige semantische Qualität eines Ebenenzustands dokumentieren.
- **Ergebnis**
    - Definierte Ebenenzustände mit nachvollziehbarer Bedeutung.

Schritt 8: Zustandswerte typisieren

- **Ziel**
    - Jeden modellierten Wert mit einer zulässigen Zustandsklasse versehen.
- **Eingaben**
    - Achsen- und Ebenenwerte.
    - Einheiten.
    - Kategorien.
    - Modusnamen.
    - Graphen und Abhängigkeiten.
- **Aktivitäten**
    - Numerische Werte kennzeichnen.
    - Ordinale Skalen kennzeichnen.
    - Nominale Modi kennzeichnen.
    - Relationale Strukturen kennzeichnen.
    - Einheit und Metadaten ergänzen.
- **Ergebnis**
    - Typisierte Zustandswerte nach dem Muster `Z = (v, τ, u, m)`.

Schritt 9: Kopplungsoperatoren definieren

- **Ziel**
    - Festlegen, wie Zustände miteinander verbunden und Ebenenzustände erzeugt werden.
- **Eingaben**
    - Quell- und Zielzustände.
    - Typen.
    - Einheiten.
    - Domänenregeln.
    - Historische Daten.
    - Dokumentiertes Expertenwissen.
- **Aktivitäten**
    - Operatorfamilie auswählen.
    - Eingangs- und Ausgangstypen festlegen.
    - Parameter und Kontext dokumentieren.
    - Gültigkeitsbereich und Validitätsbedingungen bestimmen.
    - Einheiten- und Dimensionskonsistenz prüfen.
    - Unbegründete automatische Faktorisierung vermeiden.
- **Ergebnis**

- Benannte, prüfbare und auditierbare Kopplungsoperatoren.

Schritt 10: Zyklus, Widerstände und Verzögerungen modellieren

- **Ziel**
  - Die dynamische Wirkung über mehrere Zeitschritte abbilden.
- **Eingaben**
  - Quadrantenzustände.
  - Aktualisierungsregeln.
  - Rückstände.
  - Qualitäts-, Energie- und Kapazitätsabweichungen.
- **Aktivitäten**
  - Hauptzyklus `Q3 → Q2 → Q1 → Q4 → Q3` implementieren.
  - Widerstandsrichtung `Q3 → Q4 → Q1 → Q2 → Q3` ergänzen.
  - Zeitverzögerungen explizit angeben.
  - Q1-Q3-Direktoperatoren nicht als allgemeine Regel voraussetzen.
- **Ergebnis**
  - Rückgekoppeltes zeitliches Systemmodell.

Schritt 11: Konflikt- und Entscheidungsregeln festlegen

- **Ziel**
  - Gleichzeitige Zielabweichungen nachvollziehbar auflösen.
- **Eingaben**
  - Sicherheitsstatus.
  - Qualität.
  - Energiegrenzen.
  - Auslastung.
  - Rückstand.
  - Prioritäten.
- **Aktivitäten**
  - Ziele hierarchisieren.
  - Ordinale und nominale Zustände in Steuerungsmodi übersetzen.
  - Eskalations- und Rückkehrregeln definieren.
  - Konfliktlogik außerhalb schwer nachvollziehbarer numerischer Formeln dokumentieren.
- **Ergebnis**
  - Auditierbare Q1-Konfliktauflösung.

Schritt 12: Daten-, Traceability- und Digital-Twin-Struktur bestimmen

- **Ziel**
  - Fachmodell und technische Datenlandschaft verbinden.
- **Eingaben**
  - ERP-, MES-, Prüf-, Energie-, Qualitäts- und Sensordaten.
  - APIs und Dateischnittstellen.
  - AAS- oder Digital-Twin-Strukturen.

- **Aktivitäten**
  - Daten nach ihrer Q1-Q4-Systemrolle zuordnen.
  - Datenquellen und Aktualisierungsraten erfassen.
  - Historien und Versionen bestimmen.
  - Medienbrüche und semantische Unterschiede dokumentieren.
  - Relationale Traceability zwischen Auftrag, Ressource, Maschine, Modus, Energie, Regel und Ergebnis aufbauen.
- **Ergebnis**
  - Datenlandkarte und technische Integrationsstruktur.

Schritt 13: Softwarekomponenten abbilden

- **Ziel**
  - Das fachliche Modell in eine implementierbare Architektur übertragen.
- **Eingaben**
  - Quadrantenmodell.
  - Zustandswerte.
  - Operatoren.
  - Rückkopplungen.
  - Aktualisierungsregeln.
- **Aktivitäten**
  - Verantwortungen mindestens auf folgende Komponenten verteilen:
    - `MQMSystem`: Identität und Historie des Systems.
    - `MQMState`: Systemzustand zu einem Zeitpunkt.
    - `QuadrantState`: sechs Achsen- und Ebenenkomponenten.
    - `StateValue`: Wert, Typ, Einheit und Metadaten.
    - `CouplingOperator`: typ- und kontextabhängige Kopplung.
    - `ResistanceOperator`: Rückkopplung in Widerstandsrichtung.
    - `FeedbackLoop`: Quelle, Ziel, Verzögerung und Regel.
    - `PlannerQ3`: Aktualisierung der Planung.
    - `ProcessQ2`: Aktualisierung der Prozesssteuerung.
    - `ControllerQ1`: Transformationsregelung und Konfliktauflösung.
    - `EvaluatorQ4`: Bewertung von Ergebnis und KPIs.
- **Ergebnis**
  - UML-nahe oder funktional gleichwertige Softwarearchitektur.

Schritt 14: Kalibrieren und validieren

- **Ziel**
  - Prüfen, ob das Modell die reale Domäne belastbar abbildet.
- **Eingaben**
  - Historische oder experimentelle Prozessdaten.
  - Dokumentiertes Expertenwissen.
  - Szenarien.
  - Qualitäts-, Energie-, Output- und Durchlaufzeitdaten.
- **Aktivitäten**

    - Domänenparameter kalibrieren.
    - Operatoren auf Typ- und Einheitenkonsistenz prüfen.
    - Rückstands-, Energie-, Qualitäts- und Kapazitätsszenarien testen.
    - Simulationsergebnisse mit realen Daten vergleichen.
    - Unsicherheiten und Geltungsbereich dokumentieren.
- **Ergebnis**
    - Validiertes, eingeschränkt validiertes oder ausdrücklich unvalidiertes Modell.

Schritt 15: Systeme verknüpfen und historisch fortschreiben

- **Ziel**
    - Einzelmodelle in Systemketten, Kreisläufe oder Netzwerke integrieren.
- **Eingaben**
    - Systemmodelle.
    - Q4-Q2-Schnittstellen.
    - Hypersystem- und Subsystembeziehungen.
- **Aktivitäten**
    - Q4-Ergebnisse als Q2-Inputs nachgelagerter Systeme verknüpfen.
    - Zustände entlang der z-Achse historisch fortschreiben.
    - Modellversionen, neue Modi und geänderte Regeln dokumentieren.
    - Zusätzliche Quadranten nur mit expliziter fachlicher Semantik ergänzen.
- **Ergebnis**
    - Vernetztes und historisch fortschreibbares M-Q-M.
- **Offener Punkt**
    - Eine allgemeingültige Methode zur Erzeugung, Nummerierung und formalen Kopplung zusätzlicher Quadranten ist **Nicht im Material beschrieben**.

Vorgehensweise

Vorbereitung

- Betrachtete Aktivität benennen.
- Start- und Endpunkt der Betrachtung festlegen.
- Enthaltene und ausgeschlossene Prozesse dokumentieren.
- Hypersystem und relevante Subsysteme bestimmen.
- Offene oder geschlossene Systemannahme kennzeichnen.
- Vorhandene Prozess-, Energie-, Daten-, Qualitäts- und Wirkungsinformationen zusammentragen.
- Datenquellen, Formate, Schnittstellen und Datenverantwortung erfassen.
- Reifegrad der verwendeten Aussagen unterscheiden:
    - dokumentiertes Ergebnis,
    - Arbeitsmodell,
    - Architekturentwurf,
    - Hypothese.
- Verbindliche Rollenverteilung, Workshopdauer und Freigabeverfahren: **Nicht im Material beschrieben**.

Durchführung

- Q3-Zweck, Ziele, KPIs und Prioritäten erfassen.
- Q2-Flüsse, Ressourcen, Mengen, Raten und Engpässe aufnehmen.
- Q1-Prozessschritte, Regeln, Schwellenwerte, Verluste und Ausnahmen dokumentieren.
- Q4-Outputs, Bestände, Puffer, Wirkungen und Datenprodukte erfassen.
- Achsen und Ebenen je Quadrant bestimmen.
- Zustandswerte typisieren.
- Kopplungsoperatoren definieren.
- Widerstände und Verzögerungen modellieren.
- Konfliktprioritäten festlegen.
- Datenquellen und technische Integrationsfähigkeit bewerten.
- Fehlende Informationen ausdrücklich als **Nicht im Material beschrieben** kennzeichnen.

Abschluss

- Systemrahmen und Ausschlüsse prüfen.
- Vollständigkeit von Q1-Q4 prüfen.
- Achsen-, Ebenen- und Typzuordnungen prüfen.
- Einheiten und Kopplungsoperatoren validieren.
- Offene Systemverluste und externe Wirkungen prüfen.
- Kritische Entscheidungspfade und Widerstände dokumentieren.
- M-Q-M-Analyse-Steckbrief erstellen.
- Digital-Twin- und Simulationspotenziale bewerten.
- Widersprüche und nicht aufgelöste Begriffsvarianten sichtbar halten.

Nachbereitung

- Domänenparameter anhand realer Daten kalibrieren.
- Rückstands-, Energie-, Qualitäts- und Ausfallszenarien simulieren.
- Ergebnisse mit historischen oder experimentellen Daten vergleichen.
- Fehlende Datenfelder und Schnittstellen priorisieren.
- Reklamationen, Störungen und neue Messdaten in Q1-Regeln zurückführen.
- Historie und Moduswechsel auf der z-Achse fortschreiben.
- Operatoren, Einheiten und Metadaten versionieren.
- Vergleich mit etablierten Methoden anhand identischer Anwendungsfälle vorbereiten.
- Ergebnisse erst nach dokumentierter Prüfung als empirisch bestätigt bezeichnen.

Entscheidungsregeln

Zuordnung zu Quadranten, Achsen und Ebenen

Situation	Entscheidung	Begründung
Eine Information beschreibt Zweck, Identität, Ziel, Budget oder Priorität.	Q3 zuordnen.	Q3 bildet Sollstruktur, Identität und Leitbild.
Eine Information beschreibt Material-, Energie-, Daten- oder Personalfluss.	Q2 zuordnen.	Q2 bildet Input, Ressourcen, Verbrauch und Durchsatz.
Eine Information beschreibt Regel, Prozessschritt, Schwelle, Steuerung oder Verlust.	Q1 zuordnen.	Q1 bildet Transformation und Regelung.
Eine Information beschreibt Produkt, Ergebnis, Bestand, Puffer, Emission oder Wirkung.	Q4 zuordnen.	Q4 bildet Output, Potenzial und Wirkung.
Eine Größe beschreibt Dauer oder Lebensdauer.	x-Achse; in Q2 oder Q3 typischerweise absolute Zeit.	Q2 und Q3 verwenden Dauer beziehungsweise Lebensdauer.
Eine Größe beschreibt Periode, Wellenlänge oder Ereigniszeit.	x-Achse; in Q1 oder Q4 typischerweise relative Zeit.	Q1 und Q4 verwenden periodische oder diskrete Zeitbezüge.
Eine Größe beschreibt Menge, Kapazität, Differenz, Spannung oder Ausdehnung.	y-Achse zuordnen.	y repräsentiert Raum-, Mengen- oder Differenzstruktur.
Eine Größe beschreibt Modus, Priorität, Sequenz, Phase, Frequenz oder Historie.	z-Achse zuordnen.	z repräsentiert Modus und Entwicklung.
Zeit und Menge werden zu Energie oder Aufwand gekoppelt.	xy-Ebene prüfen.	xy ist die Energie- oder Aufwandsebene.
Zeit und Modus werden zu Regel-, Ereignis- oder Informationsbezug gekoppelt.	xz-Ebene prüfen.	xz ist die Informations- und Steuerungsebene.
Menge oder Raum und Modus bilden Konfiguration oder Gestalt.	yz-Ebene prüfen.	yz ist die Form- und Strukturebene.

Typ- und Operatorauswahl

Situation	Entscheidung	Begründung
Ein Wert ist quantitativ messbar.	Numerischen Typ verwenden.	Numerische Operationen sind zulässig.
Ausprägungen sind geordnet, aber nicht metrisch.	Ordinalen Typ verwenden.	Ordnung und Eskalation sind möglich, Abstände nicht zwingend.
Ein Zustand ist ein benannter Betriebsmodus.	Nominalen Typ verwenden.	Modusnamen besitzen keine natürliche Zahlenordnung.
Abhängigkeiten, Pfade oder Konfigurationen sind relevant.	Relationalen Typ verwenden.	Die Struktur ist graph- oder netzartig.
Ein Ebenenzustand lässt sich nicht nachweisbar aus zwei Achsen berechnen.	Eigenständigen Kopplungsoperator definieren.	Eine allgemeine Tensor- oder Produktannahme ist nicht zulässig.
Eine Beziehung ist physikalisch bekannt und parametrisierbar.	Physikalisch-deterministischen Operator verwenden.	Die Kopplung kann quantitativ begründet werden.

Situation	Entscheidung	Begründung
Eine Beziehung beruht auf Schwellen oder Fallunterscheidungen.	Regelbasierten Operator verwenden.	Die Entscheidung soll auditierbar sein.
Eine Beziehung wird aus historischen Daten geschätzt.	Datengetriebenen Operator verwenden und validieren.	Die Kopplung ist empirisch, nicht universell.
Eine Beziehung betrifft Graphen oder Konfigurationen.	Relationalen Operator verwenden.	Skalare Operationen bilden die Struktur nicht ab.
Regeln und Schätzwerte wirken gemeinsam.	Hybriden Operator verwenden.	Hybride Kopplung verbindet formale Regeln mit Mess- oder Schätzwerten.

Rückkopplung und Konfliktauflösung

Situation	Entscheidung	Begründung
Ein Q4-Rückstand entsteht.	Q1-Modus anhand der dominierenden Ursache auf stabilize, rush oder maintenance setzen.	Q4 wirkt als Ergebniswiderstand auf Q1.
Energieverbrauch, Instabilität oder reale Kapazität begrenzen die Planung.	Nächste Q3-Planmenge glätten oder verschieben.	Q2 wirkt als Prozesswiderstand auf Q3.
Eine Energiegrenze oder ein Wartungszustand wird in Q1 erkannt.	Q2-Prozesssteuerung einschränken.	Q1 wirkt als Regelungswiderstand auf Q2.
Q3 enthält ein hohes Soll.	Q4 relativ zu diesem Soll bewerten.	Derselbe Output kann bei unterschiedlichen Sollgrößen unterschiedlich bewertet werden.
Maschinenzustand ist kritisch.	maintenance priorisieren.	Im Produktionszellenbeispiel hat Sicherheit beziehungsweise Maschinenzustand Rang 1.
Qualität ist niedrig oder Stabilität ist instabil.	stabilize wählen.	Qualität hat im Beispiel Vorrang vor Energie- und Lieferzielen.
Energieverbrauch überschreitet das Budget.	energy_save wählen.	Die Energiegrenze folgt im Beispiel nach Sicherheit und Qualität.
Auslastung liegt über 95 % und Priorität ist hoch oder kritisch.	rush wählen.	Liefertermin oder Rückstand wird nach höherrangigen Zielen behandelt.
Keine Ausnahmebedingung liegt vor.	automatic wählen.	Normalbetrieb.

Die Konfliktpriorität und der Schwellenwert von 95 % sind Beispiele der virtuellen Produktionszelle. Universelle Schwellenwerte sind **Nicht im Material beschrieben**.

Daten- und Systementscheidungen

Situation	Entscheidung	Begründung
Ein Datenwert befindet sich als Datei oder Datensatz im Speicher.	Q4-Rolle dokumentieren.	Er ist Bestand.
Ein Datenwert wird gemessen, übertragen oder gelesen.	Q2-Rolle dokumentieren.	Er ist laufender Fluss.
Ein Datenwert steuert Verarbeitung oder Validierung.	Q1-Rolle dokumentieren.	Er ist Regel oder Parameter.

Situation	Entscheidung	Begründung
Ein Datenwert erhält Zweck, Bedeutung oder Nutzungskontext.	Q3-Rolle dokumentieren.	Er wird semantisch und zielbezogen eingeordnet.
Ein realer Prozess tauscht Energie, Stoff, Daten oder Wirkungen mit seiner Umwelt aus.	Als offenes System modellieren.	Externe Verluste und Kopplungen sind wesentlich.
Nur eine ideale Erhaltungsbetrachtung ist beabsichtigt.	Geschlossenes System als Annahme verwenden und kennzeichnen.	`Input = Output` ist eine Idealannahme.
Q4 eines Systems wird in einem nachgelagerten System benötigt.	Als Q2-Input des nachgelagerten Systems modellieren.	Dadurch entsteht eine Systemkette oder ein Kreislauf.
Kontrollfluss, Nebenläufigkeit und formale Aktivierung sollen geprüft werden.	M-Q-M mit einem Petri-Netz oder einem geeigneten Prozessformalismus koppeln.	M-Q-M liefert den semantischen Kontext; Petri-Netze können den operativen Prozesskern formalisieren.
Eine Aussage stammt aus der physikalisch-kosmologischen Hintergrundebene.	Als Hypothese oder Arbeitsmaterial kennzeichnen.	Diese Erweiterungen sind nicht als empirisch validierter operativer Modellkern dokumentiert.
Eine reale Anwendung oder Simulation wird als belastbar bezeichnet.	Kalibrierung, Operatorvalidierung, Szenariotests und Vergleich mit realen Daten verlangen.	Ohne diese Schritte ist keine belastbare Validierung dokumentiert.

Best Practices

Modellabgrenzung

- Aktivität, Startpunkt, Endpunkt und Ausschlüsse ausdrücklich dokumentieren.
- Hypersystem, System und Subsystem nicht vermischen.
- Offene Systemgrenzen und externe Wirkungen sichtbar halten.
- Q4 eines Systems nur dann als Q2 eines anderen Systems übernehmen, wenn die Schnittstelle benannt ist.
- Objekte als Träger von Aktivitäten behandeln, nicht als alleinigen Modellkern.

Quadrantenqualität

- Alle vier Kernquadranten bearbeiten.
- Q3 nicht auf eine allgemeine Vision ohne messbare Zielbezüge reduzieren.
- Q2 nicht nur als Materialfluss verstehen.
- In Q2 auch Energie, Daten, Information, Personalzeit und Kapazität berücksichtigen.
- Q1 nicht nur als Ablaufdiagramm verstehen.
- In Q1 Regeln, Schwellenwerte, Modi, Verluste und Konfliktauflösung erfassen.
- Q4 nicht nur als Endprodukt verstehen.
- In Q4 Bestände, Puffer, Datenprodukte, Emissionen und Wirkungen ergänzen.

Achsen- und Zeitqualität

- Dauer, Periode, Ereigniszeit und historische Entwicklung auseinanderhalten.
- Die z-Achse für Moduswechsel, Gedächtnis, Wartung, Lernen und Zukunftsstufen nutzen.
- Sequenzielle und parallele Verläufe explizit erfassen.

- Achsenwerte und Ebenenzustände nicht verwechseln.
- Abweichende quelleninterne Achsenbegriffe kennzeichnen statt stillschweigend zu vereinheitlichen.

Zustands- und Datenqualität

- Jeden Zustand mit Typ, Einheit und Metadaten dokumentieren.
- Nominale und relationale Zustände nicht künstlich in Zahlen umwandeln.
- Daten nicht allein nach Speicherort, sondern nach Systemrolle klassifizieren.
- Code, Daten, Information, Bedeutung und Wissen getrennt halten.
- Datenqualität als möglichen Auslöser für Prozesspfade, Energieverbrauch, Sicherheitsentscheidungen und wirtschaftliche Wirkungen modellieren.
- Historische Zustände versionieren und nicht durch den jeweils aktuellen Zustand überschreiben.

Operatorqualität

Jeder Operator sollte mindestens dokumentieren:

- Name,
- Eingangsgrößen,
- Eingangstypen,
- Ausgangstyp,
- Einheiten,
- Parameter,
- Kontext,
- Gültigkeitsbereich,
- Validitätsbedingungen,
- Validierungsregel.

Zusätzlich:

- Ebenenzustände durch explizite Operatoren erzeugen.
- Tensor- oder Produktbeziehungen nur für begründete Spezialfälle verwenden.
- Datengetriebene Operatoren von physikalisch-deterministischen Beziehungen unterscheiden.
- Konfliktregeln nicht in schwer nachvollziehbaren numerischen Formeln verstecken.
- Typprüfung vor jeder Operatorausführung durchführen.

Dynamik und Rückkopplung

- Hauptzyklus und Widerstandsrichtung getrennt modellieren.
- Verzögerungen ausdrücklich angeben.
- Sollwerte aus Q3 als Bewertungsmaßstab für Q4 verwenden.
- Rückstände, Qualitätsabweichungen, Energiegrenzen und Kapazitätsausfälle als Widerstände modellieren.
- Keine unmittelbare Q1-Q3-Querkausalität als allgemeine Modellregel ergänzen.
- Konfliktprioritäten als eigene, auditierbare Regelstruktur führen.

Implementierung

- System-, Quadranten-, Wert-, Operator- und Rückkopplungsobjekte trennen.

- Relationale Traceability für Entscheidungen und Ergebnisse aufbauen.
- M-Q-M als semantischen Integrationsrahmen mit etablierten Simulations- und Prozessmethoden koppeln.
- AAS- und Digital-Twin-Strukturen nur bei semantisch geklärten Datenfeldern verwenden.
- Datenquellen, Schnittstellen und Aktualisierungsraten versionieren.
- Historische Entwicklung entlang der z-Achse im Datenmodell erhalten.

Validierung

- Parameter aus Messdaten oder dokumentiertem Expertenwissen ableiten.
- Einheiten und Typen jedes Operators prüfen.
- Stör- und Grenzszenarien simulieren.
- Output, Energie, Durchlaufzeit und Qualität mit realen Daten vergleichen.
- Validierungsstatus ausdrücklich benennen.
- Hypothese, Entwurf und empirisches Ergebnis nicht gleich behandeln.
- Behauptete Vorteile gegenüber anderen Modellierungsansätzen nur anhand vergleichbarer Anwendungsfälle bewerten.

Dokumentationsqualität für einen Agent Skill

- Nur Informationen aus den bereitgestellten Materialien verwenden.
- Fehlende Angaben als **Nicht im Material beschrieben** kennzeichnen.
- Widersprüche nicht stillschweigend korrigieren.
- Fachbegriffe konsistent verwenden.
- Informationen atomar formulieren.
- Quellenreife und Geltungsbereich mitführen.
- Keine domänenübergreifenden Regeln aus einem einzelnen Beispiel ableiten.
- Beispielwerte und universelle Modellregeln deutlich unterscheiden.

Typische Fehler

- Das M-Q-M als statische 2x2-Matrix behandeln.
- Objekte statt Aktivitäten oder Aktivitätenbündel modellieren.
- Systemgrenze und Hypersystem nicht festlegen.
- Quadranten mit Zuständen gleichsetzen.
- Q1, Q2, Q3 und Q4 als voneinander unabhängige Kategorien behandeln.
- Nur Q2-Prozessdaten erfassen und Q3-Ziele beziehungsweise Q4-Wirkungen auslassen.
- Q3 ohne messbare Ziel- und Prioritätsstruktur formulieren.
- Q4 auf einen einzelnen Endoutput reduzieren.
- Verluste, Abwärme, Emissionen, Informationsverluste und ungenutzte Potenziale ignorieren.
- Reale offene Systeme als verlustfreie geschlossene Systeme behandeln.
- Absolute, relative und historische Zeit vermischen.
- Die z-Achse auf einen technischen Statuscode reduzieren.
- Achsen und Ebenen miteinander verwechseln.
- Ebenenzustände automatisch als Produkte der Achsenwerte berechnen.

- Alle Zustände als numerische Werte modellieren.
- Nominale Betriebsmodi künstlich ordnen.
- Relationale Zustände auf Skalare reduzieren.
- Einheiten, Metadaten und Kontext eines Operators nicht dokumentieren.
- Die korrigierte Hauptwirkung mit der Widerstandsrichtung verwechseln.
- Zeitverzögerungen der Rückkopplung ignorieren.
- Einen unmittelbaren Q1-Q3-Direktoperator als allgemeine M-Q-M-Regel voraussetzen.
- Konfliktprioritäten in undurchsichtigen Formeln verstecken.
- Datenbestand, Informationsfluss, Code, Bedeutung und Wissen gleichsetzen.
- Einen Datenspeicher als Wissensbasis behandeln, ohne Semantik und Nutzungskontext zu modellieren.
- Formeln aus idealisierten geschlossenen Systemen als universelle Naturgesetze verwenden.
- Physikalisch-kosmologische Hintergrundhypothesen als validierten operativen Modellkern darstellen.
- Das Datenspeicherungsbeispiel mit der Folge `Q3 → Q1 → Q2 → Q4` ungekennzeichnet als allgemeine korrigierte Wirkungsfolge übernehmen.
- „Volumen“ und „Dichte“ für Q1 stillschweigend vereinheitlichen.
- Den operativen und den Newton-bezogenen Begriff des absoluten Raums gleichsetzen.
- Zusätzliche Quadranten ohne explizite Semantik und Validierungsregel ergänzen.
- Simulationsergebnisse ohne Kalibrierung und Vergleichsdaten als empirische Bestätigung ausgeben.
- Die beispielhafte Konfliktpriorität der Produktionszelle als universellen Standard verwenden.
- Den Nutzen gegenüber Petri-Netzen, System Dynamics, MBSE, Process Mining oder anderen Verfahren ohne identischen Vergleichsfall behaupten.

Beispiele

Beispiel 1: Remanufacturing-Linie für Lithium-Ionen-Batteriemodule

Systemrahmen

- Betrachtet wird der interne Prozess ab Wareneingang gebrauchter Batteriemodule.
- Enthalten sind:
  - Registrierung,
  - Sicherheitsprüfung,
  - Entladung,
  - Demontage,
  - Diagnose,
  - Klassifizierung,
  - Remanufacturing,
  - Endprüfung,
  - Dokumentation,
  - Übergabe an Second-Life-Produktion oder Recyclingpartner.
- Ausgeschlossen sind:
  - Sammlung beim Kunden,
  - externer Transport zum Werk,
  - Herstellung neuer Batteriezellen,

    - spätere Nutzung der Second-Life-Speicher,
    - stoffliche Aufbereitung beim Recyclingpartner.
- Die Linie ist ein offenes Kreislaufsystem.

Q3 - Identität und Ziele

- Sichere, nachvollziehbare und wirtschaftliche Rückführung gebrauchter Module.
- Mindestens 70 % Wiederverwendung als Second-Life-Modul oder Ersatzteilspender bis 2028.
- Energieverbrauch unter 8 kWh je bearbeitetem Modul bis 2027.
- 25 % CO2e-Reduktion je freigegebenem Second-Life-Modul bis Ende 2028.
- 98 % vollständige digitale Rückverfolgbarkeit und Batteriepassdatensätze.
- Keine meldepflichtigen Sicherheitsereignisse.
- Stabile Qualität, regulatorische Konformität und planbarer Durchsatz.

Q2 - Flüsse und Ressourcen

- 90 bis 120 eingehende Module pro Tag im Serienanlauf.
- Ziel: 150 bis 180 Module pro Tag im Drei-Schicht-Betrieb.
- Durchschnittliches Modulgewicht: etwa 28 kg.
- Aktueller Energieverbrauch: etwa 9 bis 11 kWh je Modul.
- Relevante Ressourcen:
    - Strom,
    - Druckluft,
    - Lüftung,
    - Absaugung,
    - Klimatisierung,
    - IT,
    - Personalzeit,
    - Sicherheitsflächen,
    - Prüfstände,
    - Entladeplätze,
    - thermische Prüfkammern.
- Datenflüsse umfassen BMS-, Prüfstands-, Traceability-, Energie-, CO2- und Batteriepassdaten.

Q1 - Transformation und Regelung

- Eingangssicherung.
- Quarantäneentscheidung.
- BMS- und Historienprüfung.
- Kontrollierte Entladung.
- Demontage.
- Elektrische Diagnose.
- Thermische Prüfung.
- Reinigung und Instandsetzung.
- Endprüfung.
- Klassifizierung in Second-Life, Ersatzteilspender oder Recycling.
- Nichtlineare Pfadwechsel entstehen beispielsweise durch:
    - Temperaturanstieg,

- Isolationsfehler,
- mechanische Beschädigung,
- unbekannten Ladezustand,
- fehlende BMS-Historie,
- nicht bestandene Endprüfung.

Q4 - Ergebnisse und Wirkungen

- Sicherheitsgeprüfte Second-Life-Module.
- Instandgesetzte Module.
- Ersatzteilspender.
- Wiederverwendbare Komponenten.
- Sortierte Recyclingfraktionen.
- Prüfberichte und Sicherheitsfreigaben.
- Batteriepass-Updates.
- Energie- und CO2-Kennzahlen je Modul.
- Bestände in Eingang, Quarantäne, WIP, Ersatzteilen und Recycling.
- Positive Wirkungen:
  - verlängerte Batterielebensdauer,
  - Rohstoffschonung,
  - CO2-Vermeidung,
  - bessere Recyclingqualität,
  - höhere Transparenz.
- Negative potenzielle Wirkungen:
  - Gefahrguttransporte,
  - Energiebedarf und Abwärme,
  - Sonderabfälle,
  - Brandrisiken,
  - Haftungsrisiken,
  - Datenschutz- und Wettbewerbsrisiken.

Zentrale Kopplung

`Datenqualität → Sicherheitsentscheidung → Prozesspfad → Energieverbrauch → CO2-Wirkung → Wirtschaftlichkeit`

Digital-Twin-Reife

- Bewertet mit 4 von 5.
- Vorhanden sind unter anderem ERP, MES, Traceability, Prüfstandssoftware, Energiemanagement und Qualitätsmanagement.
- Offen sind:
  - vollständige AAS-Struktur,
  - harmonisierte BMS-Formate,
  - modulgenaue CO2e-Zuordnung,
  - semantische Harmonisierung,
  - bessere Partnerdatenräume.
- Der Anwendungsfall eignet sich besonders für einen Green Digital Energy Twin.

Beispiel 2: Virtuelle Produktionszelle

Quadranten

- Q3:
  - Planungshorizont,
  - geplante Menge,
  - Priorität,
  - Sequenzierungsregel.
- Q2:
  - tatsächliche Prozesszeit,
  - verarbeitete Menge,
  - Energieverbrauch,
  - Prozessstabilität.
- Q1:
  - Taktzeit,
  - Kapazität,
  - Regelungsmodus,
  - Maschinenkonfiguration.
- Q4:
  - Output,
  - Qualität,
  - Durchsatz,
  - Rückstand,
  - Effizienz,
  - Traceability.

Beispielhafte Beziehungen

Verarbeitbare Menge:

`M_proc(t+1) = min(M_plan(t+1), K(t+1) × H(t+1))`

Energieverbrauch:

`E(t+1) = α(s) × M_proc(t+1) × T_proc(t+1) × [1 + λ × max(0, L(t+1) - 1)]`

Regelungsaufwand:

`A_ctrl(t) = β(m) × K(t) / τ(t)`

Output:

`O(t+1) = M_proc(t+1) × Y_quality(t+1)`

Rückstand:

`B(t+1) = max(0, M_plan(t+1) - O(t+1))`

Effizienz:

`η(t+1) = O(t+1) / E(t+1)`

Beispielhafte Konfliktpriorität

1. Kritischer Maschinenzustand: `maintenance`.

2. Niedrige Qualität oder instabile Ausführung: `stabilize`.
3. Energieüberschreitung: `energy_save`.
4. Hohe Auslastung und hohe Priorität: `rush`.
5. Sonst: `automatic`.

Rückkopplungen

- Rückstand aus Q4 beeinflusst Q1.
- Energie, Stabilität und Kapazität aus Q2 begrenzen Q3.
- Energie- oder Wartungsgrenzen aus Q1 schränken Q2 ein.
- Q3-Sollwerte bilden den Bewertungsmaßstab für Q4.

Die Formeln und Prioritäten sind Demonstrationsregeln. Ihre universelle Gültigkeit ist **Nicht im Material beschrieben**.

Beispiel 3: Speicherung und Abruf einer Datei auf Diskette

Q3 - Bedeutungsraum und Plan

- Benutzerabsicht „Speichern“ oder „Öffnen“.
- Dateiname.
- Zielpfad.
- Nutzungskontext der Anwendung.

Q1 - Regelraum und Transformation

- Betriebssystem.
- FAT12.
- Treiber und BIOS.
- Prüfung des Speicherplatzes.
- Reservierung oder Suche von Clustern.
- Steuerung des Laufwerks.

Q2 - Prozessraum und Fluss

- Speichern:

`RAM → Controller → Schreibkopf → Diskette`

- Abruf:

`Diskette → Lesekopf → Controller → RAM`

Q4 - Bestandsraum und Lager

- Die Datei ruht magnetisch auf der Diskette.
- FAT- und Verzeichniseinträge bilden den lagernden Bestand.

Historische z-Achse

- `z0`: Datei im RAM.
- `z1-z4`: Schreiben beziehungsweise Werden.
- `z5`: Ruhen im Q4-Lager.
- `z6-z9`: Lesen beziehungsweise Vergehen.

- Danach: Anzeige oder Nutzung.

„Vergehen“ bezeichnet hier das Verlassen des ruhenden Lagerzustands. Die Datei kann physisch auf der Diskette erhalten bleiben.

Quellenabweichung

- Das Beispiel verwendet beim Speichern:

`Q3 → Q1 → Q2 → Q4`

- Das korrigierte allgemeine Simulationsmodell verwendet:

`Q3 → Q2 → Q1 → Q4 → Q3`

- Die Abweichung ist nicht aufgelöst.
- Die Speicherfolge darf nicht ungekennzeichnet zur allgemeinen M-Q-M-Wirkungsfolge erklärt werden.

Beispiel 4: Datenwert „42“

- Q4:
  - „42“ ist als Datensatz oder Datenbankwert gespeichert.
- Q2:
  - „42“ wird als Sensorwert, Nachricht oder Datenstrom übertragen.
- Q1:
  - „42“ dient als Schwellenwert, Parameter oder Teil einer Validierungsregel.
- Q3:
  - Der Nutzungskontext legt fest, ob „42“ beispielsweise Temperatur, Lagerbestand, Priorität oder etwas anderes bedeutet.
- Merksatz:
  - Der codierte Wert allein enthält nicht seine vollständige Systembedeutung.

Beispiel 5: Agentisches System

- Q2:
  - Wahrnehmung,
  - Sensorik,
  - Ressourcenaufnahme,
  - laufende Interaktion.
- Q1:
  - Policy,
  - Entscheidungslogik,
  - Regeln,
  - Aktorsteuerung.
- Q3:
  - Zielmodell,
  - Weltmodell,
  - Selbstmodell,
  - strategische Orientierung.
- Q4:
  - Handlungsergebnis,

    - Wirkung,
    - Portfolio,
    - gespeicherte Erfahrung.
- Die Agentenabbildung ist in den Materialien konzeptionell und formal im Aufbau.
- Belastbare Experimente sind **Nicht im Material beschrieben**.

Checkliste

Systemrahmen

- ☐ Betrachtete Aktivität eindeutig benannt.
- ☐ Start- und Endpunkt festgelegt.
- ☐ Enthaltene Prozessabschnitte dokumentiert.
- ☐ Ausgeschlossene Prozessabschnitte dokumentiert.
- ☐ Hypersystem bestimmt.
- ☐ Relevante Subsysteme bestimmt.
- ☐ Offenes oder geschlossenes System gekennzeichnet.
- ☐ Externe Schnittstellen und Wirkungen erfasst.

Quadranten

- ☐ Q3-Zweck und Identität formuliert.
- ☐ Q3-Ziele, KPIs, Budgets und Prioritäten erfasst.
- ☐ Q2-Materialflüsse erfasst.
- ☐ Q2-Energieflüsse erfasst.
- ☐ Q2-Daten- und Informationsflüsse erfasst.
- ☐ Q2-Personal- und Kapazitätsressourcen erfasst.
- ☐ Q1-Prozessschritte erfasst.
- ☐ Q1-Regeln und Schwellenwerte erfasst.
- ☐ Q1-Verluste und Ausnahmen erfasst.
- ☐ Q4-Outputs erfasst.
- ☐ Q4-Bestände und Puffer erfasst.
- ☐ Q4-positive und negative Wirkungen erfasst.

Achsen und Ebenen

- ☐ x-Achse je Quadrant definiert.
- ☐ y-Achse je Quadrant definiert.
- ☐ z-Achse je Quadrant definiert.
- ☐ Absolute, relative und historische Zeit unterschieden.
- ☐ xy-Energie- oder Aufwandsebene definiert.
- ☐ xz-Informations- oder Steuerungsebene definiert.
- ☐ yz-Form- oder Strukturebene definiert.
- ☐ Quellenabweichungen bei Achsenbegriffen gekennzeichnet.

Zustände und Operatoren

- [ ] Quadranten nicht als Zustände modelliert.
- [ ] Jeder Zustand typisiert.
- [ ] Einheiten dokumentiert.
- [ ] Metadaten dokumentiert.
- [ ] Kopplungsoperatoren benannt.
- [ ] Eingangs- und Ausgangstypen geprüft.
- [ ] Kontext und Gültigkeitsbereich angegeben.
- [ ] Validitätsbedingungen dokumentiert.
- [ ] Unbegründete Tensor- oder Produktannahmen vermieden.
- [ ] Relationale Zustände für Abhängigkeiten und Traceability genutzt.

Dynamik und Entscheidungen

- [ ] Hauptzyklus dokumentiert.
- [ ] Widerstandsrichtung dokumentiert.
- [ ] Verzögerungen dokumentiert.
- [ ] Rückstandsregeln definiert.
- [ ] Energiegrenzen definiert.
- [ ] Qualitätsregeln definiert.
- [ ] Sicherheitsregeln definiert.
- [ ] Konfliktprioritäten definiert.
- [ ] Normal- und Ausnahmebetrieb unterschieden.
- [ ] Keine unbegründete Q1-Q3-Direktwirkung ergänzt.

Daten und Technik

- [ ] Daten nach Q1-Q4-Systemrolle eingeordnet.
- [ ] Datenbestand und Datenfluss unterschieden.
- [ ] Code und Bedeutung unterschieden.
- [ ] Datenquellen dokumentiert.
- [ ] Aktualisierungsraten dokumentiert.
- [ ] Historien und Versionen berücksichtigt.
- [ ] Medienbrüche und semantische Lücken erfasst.
- [ ] Digital-Twin- oder AAS-Anschlussfähigkeit bewertet.
- [ ] Traceability zwischen Inputs, Regeln und Ergebnissen hergestellt.

Validierung

- [ ] Domänenparameter kalibriert.
- [ ] Operatoren auf Typ- und Einheitenkonsistenz geprüft.
- [ ] Rückstandsszenario getestet.
- [ ] Energieüberschreitung getestet.
- [ ] Qualitätsabfall getestet.
- [ ] Kapazitätsausfall getestet.

- [ ] Simulation mit realen Daten verglichen.
- [ ] Geltungsbereich und Unsicherheiten dokumentiert.
- [ ] Reifegrad jeder Aussage gekennzeichnet.
- [ ] Fehlende Angaben als **Nicht im Material beschrieben** markiert.
- [ ] Widersprüche sichtbar dokumentiert.

Merksätze

- Systeme werden im M-Q-M als Aktivitäten oder Aktivitätenbündel modelliert.
- Q3 beschreibt, warum ein System existiert und was es erreichen soll.
- Q2 beschreibt, was in einem System fließt oder verbraucht wird.
- Q1 beschreibt, wie Flüsse transformiert, geregelt und begrenzt werden.
- Q4 beschreibt, was entsteht, verbleibt oder wirkt.
- Ein System ist erst vollständig beschrieben, wenn alle vier Perspektiven gekoppelt sind.
- Quadranten sind Teilstrukturen eines Systems und keine Zustände.
- Achsen- und Ebenenzustände bilden Quadrantenzustände.
- Quadrantenzustände bilden den Systemzustand.
- x steht für Zeit.
- y steht für Raum, Menge oder Ausdehnung.
- z steht für Modus und historische Entwicklung.
- xy steht für Energie oder Aufwand.
- xz steht für Information oder Steuerung.
- yz steht für Form oder Struktur.
- Zustände können numerisch, ordinal, nominal oder relational sein.
- Der M-Q-M-Zustandsraum ist heterogen und kein einheitlicher Zahlenraum.
- Ebenenzustände benötigen explizite, kontextabhängige Kopplungsoperatoren.
- Die korrigierte innere Wirkungsfolge lautet `Q3 → Q2 → Q1 → Q4 → Q3`.
- Rückkopplungen wirken als zeitversetzte Widerstände in umgekehrter Richtung.
- Zwischen Q1 und Q3 wird kein zusätzlicher unmittelbarer innerer Direktoperator vorausgesetzt.
- Code ist nicht Bedeutung.
- Ein Datenspeicher ist nicht automatisch Wissen.
- Q4 eines Systems kann Q2 eines anderen Systems werden.
- Reale Systeme sind in der Regel offen.
- Verluste und externe Wirkungen gehören zum Modell.
- Konfliktprioritäten müssen explizit, auditierbar und domänenspezifisch sein.
- Formeln und Operatorbibliotheken sind keine universellen Naturgesetze.
- Spekulative Hintergrundmodelle sind vom operativen Modellkern zu trennen.
- Ein Modell ist erst belastbar, wenn Parameter, Operatoren, Szenarien und reale Vergleichsdaten geprüft wurden.
- Nicht belegte Informationen sind als **Nicht im Material beschrieben** zu kennzeichnen.
- Quellenwidersprüche dürfen nicht stillschweigend aufgelöst werden.

Referenzen

- **„Frage Kurt mit folgendem Prompt“**
  - Vorgabe für Struktur, Qualitätsanforderungen, Markdown-Ausgabe sowie den Umgang mit Widersprüchen und fehlenden Informationen.
- **M-Q-M_Zusammenfassung PRCSM Archiv.pdf**
  - Modellkern und Kurzfassung.
  - Aktivitätenorientierung.
  - Quadranten, Achsen und Systemhierarchie.
  - Entwicklungslinie und Anwendungsfelder.
  - Digital-Twin-, Simulations- und Agentenansätze.
  - Reifegrade und offene Validierungspunkte.
  - Quellenmatrix und Kurzglossar.
- **M-Q-M_Artikel Simulationsmodell.pdf**
  - Trennung von System, Quadrant und Zustand.
  - Hierarchisches Zustandsmodell.
  - Numerische, ordinale, nominale und relationale Zustände.
  - Kopplungsoperatoren und Operatorbibliothek.
  - Virtuelle Produktionszelle.
  - Wirkungsfolge und Widerstandsrichtung.
  - Konfliktauflösung.
  - UML-nahe Softwarearchitektur.
  - Implementierungsprinzipien.
  - Grenzen und Validierungsbedarf.
- **M-Q-M_Glossar.pdf**
  - Vier Quadranten und Energiezuordnungen.
  - Aktivität und Aktivitätenorientierung.
  - Absolute, relative und historische Zeit.
  - z-Achse und Systemdynamik.
  - Offene und geschlossene Systeme.
  - „Eins statt Null“ und leerer Raum als Hintergrundkonzepte.
- **M-Q-M_Ausprägungen Achsen.pdf**
  - Ausprägungen von Zeit, Raum und Modus.
  - x-, y- und z-Achsen.
  - Achsenrelationen.
  - Energie-, Informations- und Formebenen.
  - System-, Aktivitäts-, Knoten- und Schleifenstruktur.
- **M-Q-M_Beispiel_Analyse-Steckbrief.pdf**
  - Systemrahmen einer Batterie-Remanufacturing-Linie.
  - Q3-Ziele.
  - Q2-Ressourcen und Flüsse.
  - Q1-Regeln, Entscheidungspfade und Verluste.
  - Q4-Outputs, Bestände und Wirkungen.
  - Digital-Twin-Reife.

    - Risiken und Verbesserungspotenziale.
    - Vorläufige M-Q-M-Diagnose.
- **M-Q-M_Beispiel_Datenspeicherung.pdf**
    - Abgrenzung von Daten, Information und Wissen.
    - Systemische Verortung von Daten in Q1-Q4.
    - Typisierter Daten- beziehungsweise Zustandsraum.
    - Speicherung als zeitliche Überbrückung.
    - Diskette als Q4-Lager.
    - Speichern und Abrufen entlang der historischen z-Achse.
    - Beispielbezogene Abweichung bei der Wirkungsfolge.
    - Abweichende Verwendung von Volumen und Dichte im Umfeld der Q1-z-Achse.