

Fragebogen zur Analyse einer nachhaltigen Wertschöpfungsaktivität

(für die Abbildung in einer „virtuellen Fabrik“ / Digital Twin)

Der Fragebogen dient dazu, eine **konkrete Wertschöpfungsaktivität** so zu beschreiben, dass sie in einer **virtuellen Fabrik / Digital Twin** energetisch, ökologisch und wirtschaftlich analysiert und optimiert werden kann. Er basiert auf dem **Multi-Quadrant Model (M-Q-M)**, das Systeme als Aktivität bzw. Bündel von Aktivitäten (Entscheidung + Handlung) versteht. Der Fragebogen ist zugeschnitten auf das M-Q-M und die Anforderungen einer Simulation.

0. Hinweise zur Anwendung

0.1 Was ist eine „Aktivität / ein System“?

In diesem Fragebogen werden die Begriffe „**Aktivität**“ und „**System**“ synonym verwendet:

Aktivität / System = ein konkreter, klar abgegrenzter Ausschnitt der Wertschöpfung, z.B. „Montagelinie X“, „Regionallager Nord“, „Transportrelation Werk A – Werk B“, „Kundenservice-Hotline“, „Recyclinganlage für Kunststoff Y“.

Eine Aktivität ist im Sinn des M-Q-M (mit Kern Q1-Q4) eine **Einheit von „Entscheidung + Handlung“**, also etwas, das aktiv gesteuert wird – nicht ein bloßes Objekt.

Mit ‘Aktivität/ System’ ist in diesem Fragebogen also ein klar abgegrenzter Ausschnitt gemeint (z.B. Lagerbetrieb, Transportrelation, Produktionslinie). Die innerhalb dieses Ausschnitts ablaufenden Prozessschritte (z.B. Wareneingang, Einlagerung, Kommissionierung) beschreiben Sie bitte in Abschnitt E.

0.2 Was gilt hier als ein „Prozess“?

Innerhalb einer Aktivität/System laufen **Prozessschritte** ab, z.B.:
Wareneingang → Einlagerung → Kommissionierung → Verladung

Der Fragebogen beschreibt also:

- die **Aktivität / das System** als Ganzes
- und die darin ablaufenden **Prozessschritte / Phasen oder Sequenzen einer Bewegung** (insbesondere in Abschnitt E).
- Die Aktivität bleibt aber der Systemrahmen, für den die Quadranten Q1–Q4 ausgefüllt werden.

Für die Bearbeitung des Fragebogens muss sich eine Aktivität aus dem Produktionsprozess ausgewählt werden.

0.3 Was ist ein „Hypersystem“?

Mit **Hypersystem** (Aktivitätenbündel) ist hier das **größere Ganze** gemeint, in das Ihre Aktivität eingebettet ist, z.B.:

- das Werk oder der Standort
- das Logistiknetzwerk
- die gesamte Wertschöpfungskette
- ein Markt oder Ökosystem

0.4 Welche Aktivitäten sind für den Fragebogen geeignet?

Gut geeignet sind Aktivitäten/Systeme, bei denen

- klar ist, **was hinein- und herausgeht** (Inputs/Outputs),
- **regelmäßig Ressourcen fließen** (Material, Energie, Informationen, Personal),
- **Entscheidungen und Regeln** eine Rolle spielen (Schichtplanung, Routen, Losgrößen, Parameter),
- **Nachhaltigkeit** (Energie, Emissionen, Ressourcen, Arbeitsbedingungen) relevant ist.

Typische Beispiele:

- Produktionslinien, Fertigungsstufen, Anlagen
- Lager und Logistikknoten, Transportrelationen
- Energieerzeugung / -verteilung
- IT-Services / digitale Plattformen
- Service-, Wartungs- und Reparaturprozesse
- Rücknahme- und Recyclingprozesse

Weniger geeignet:

- sehr kleine Einheiten ohne nennenswerte Flüsse, losgelöste Ereignisse, Aktionen oder Subsysteme (z.B. „ein einzelner Druckvorgang“), sofern nicht sonst von besonderer Bedeutung
- einmalige, schlecht strukturierte Einzelevents (z.B. ein einzelner Workshop). - Hier kann man eher den laufenden Betrieb (z.B. Projektmanagementprozess) beschreiben, nicht das einzelne Event.

Pragmatische Faustregel:

Wenn Sie für die Aktivität **Kennzahlen** haben oder haben könnten (z.B. Durchsatz, Energie, CO₂, Qualität, Servicelevel), ist sie in der Regel gut geeignet.

0.5 Nutzen für die ausfüllende Person

Der Fragebogen hilft Ihnen,

- Ihre Aktivität **strukturiert zu durchleuchten** (Ziele, Ressourcen, Prozesse, Ergebnisse),
 - **Hebel für Effizienz und Nachhaltigkeit** zu erkennen (Kosten, CO₂, Risiken),
 - Ihre Aktivität in einer **virtuellen Fabrik / Digital Twin** abbildbar zu machen (Energie- und Materialflüsse, CO₂-Ströme, Szenarien),
 - **Schnittstellen und Abhängigkeiten** zu anderen Partnern der Wertschöpfungskette sichtbar zu machen.
-

1. Kurzüberblick über die Abschnitte A–I und Anhang

Zur Orientierung:

A. Basisdaten & Rolle

Worum geht es hier?

Stammdaten zur Organisation und **konkreten Aktivität**, Rolle in der Wertschöpfungskette. - Wer sind Sie, welche Aktivität wird beschrieben, welche Rolle haben Sie?

Nutzen: Einordnung, wer was ausfüllt und wo in der Kette diese Aktivität sitzt

B. Systemgrenzen & Einbettung

Worum geht es hier?

Was gehört zu dieser Aktivität dazu, was nicht – und wie ist sie in übergeordnete Kontexte / in welches Hypersystem (Werk, Standort, Markt, virtuelle Fabrik) eingebettet.

Nutzen: Klare Abgrenzung des Betrachtungsbereichs und Verständnis von Vor- und Nachgelagerten Aktivitäten oder Prozessen.

C. Identität, Plan & Ziele (Q3)

Worum geht es hier?

Zweck, strategische Ziele, Nachhaltigkeitsziele, Kennzahlen, Normalbetrieb und Verflechtungs-/Komplexitätsgrad der Aktivität über ihren Lebenszyklus.

Nutzen: Zeigt, was diese Aktivität „eigentlich soll“ und woran Erfolg gemessen wird.

D. Materielle und immaterielle Flüsse, Ressourcen & Verbräuche (Q2)

Worum geht es hier?

Materielle, energetische, personelle und informationelle (interne und externe Zu-) **Flüsse**, die in die Aktivität einfließen. Material, Energie, Daten/Informationen und Personal-Rollen (Input intern/extern & Verbrauch innerhalb der Gesamtdauer der Aktivität).

Nutzen: Grundlage, um Energie-, Material- und Datenströme in der virtuellen Fabrik abzubilden und zur Steuerung im engeren Sinne (Regulierung im Folgenden unter E).

E. Transformation & Regulierung bzw. Steuerung im weiteren Sinne (Q1)

Worum geht es hier?

Wie die Aktivität aus Input und Regeln einen Output erzeugt: Verfahren, Prozessschritte, Anlagen-Regulierung, Energiewandlung, Verluste, Effizienzmaßnahmen.

Nutzen: Hebel für Effizienz, Qualität und Nachhaltigkeit identifizieren.

F. Outcome, Output, Bestände & Wirkungen (Q4)

Worum geht es hier?

(Zwischen-)Ergebnisse der Aktivität, Produkte, Services, Emissionen, Portfolios, Bestände/Puffer sowie externe Wirkungen auf die Aktivität, Störungen.

Nutzen: Sichtbar machen, was am Ende „rauskommt“ – auch in ökologischer und sozialer Hinsicht.

G. Zeitdimensionen & Entwicklung

Worum geht es hier?

Vergangenheit, Gegenwart und absehbare Zukunft der Aktivität: Laufzeiten, Schicht- und Taktstrukturen, historische Entwicklung, kritische Momente, Trends.

Nutzen: Verstehen, wie stabil oder veränderlich die Aktivität ist und wie sie sich ggfs. über ihre Eigenzeit hinaus entwickelt.

H. Daten, Schnittstellen & Virtuelle Fabrik

Worum geht es hier?

Welche Daten gibt es, wie gut sind sie, wie sind sie angebunden – und was fehlt noch, um einen Digital Twin/virtuelle Fabrik automatisiert zu füttern. – Datenquellen, Qualität, Schnittstellen zur virtuellen Fabrik.

Nutzen: Bewertet Digitalisierungsgrad und Anschlussfähigkeit an Simulation und Optimierung.

I. Zusammenarbeit, Risiken & Potenziale

Worum geht es hier?

Schnittstellen Mensch/Maschine/IT, Risiken, Quick Wins, strukturelle Hebel und größere Veränderungsbedarfe sowie Kooperationswünsche.

Nutzen: Grundlage für gemeinsame Verbesserungsprojekte im Netzwerk.

Anhang

Wie ließe sich „**Polykontextualität**“ integrieren und warum sollte man dies tun?

Wie ließe sich „**KI**“ in den Gesamtprozess des M-Q-M integrieren und warum sollte man dies tun?

A. Basisdaten & Rolle im Wertschöpfungsnetzwerk

A1: Name der Organisation / Einheit

A2: Bezeichnung der beschriebenen Aktivität / des Systems

(z.B. „Montagelinie E-Motoren“, „Regionallager Nord“, „Transport Werk A – Werk B“, „Recyclinganlage Kunststoff X“)

A3: Welche Rolle haben Sie in der Wertschöpfungskette?

(Mehrfachnennung möglich)

- ☐ Rohstofflieferant
- ☐ Komponenten-/Teilelieferant
- ☐ Produzent / Verarbeiter
- ☐ Logistik / Transport / Lager
- ☐ Energieerzeuger / -dienstleister
- ☐ Handel / Distribution
- ☐ Dienstleistung / Service / Betrieb
- ☐ Rücknahme / Reparatur / Recycling
- ☐ Sonstiges: _____

A4 – Wie würden Sie Ihre Aktivität kategorisieren?

(Mehrfachnennung möglich)

- ☐ Physische Produktion / Verarbeitung
- ☐ Transport / Lager / Handling
- ☐ Planung / Disposition / Administration
- ☐ Digitale Verarbeitung / IT-Service
- ☐ Beratung / Service am Kunden
- ☐ Entsorgung / Rückführung / Recycling
- ☐ Energie- / Medienbereitstellung
- ☐ Sonstiges: _____

A5: Wer sind die wichtigsten direkten Kunden / Abnehmer des Outputs dieser Aktivität / dieses Systems nach Größe und Art?

(interne Abteilungen, andere Unternehmen, Endkund:innen)

A6: Standort(e) der Aktivität (Land, Region, Werk/Anlage)

A7: Kontaktperson für Rückfragen (Name, Funktion, E-Mail)

B. Systemgrenzen & Einbettung in das Hypersystem

B1 – Systemgrenze:

Was gehört **dazu**, was **nicht**?
Bitte kurz beschreiben, z.B.:

„Betrachtet wird der Lagerbetrieb ab Wareneingangstor bis Verladung auf LKW;
Warenausgangsprozesse beim Kunden sind nicht enthalten.“

B2 – Vorgelagerte Systeme:

Welche **unmittelbar vorgelagerten Aktivitäten/Systeme** liefern Inputs?
(Lieferanten, interne Prozesse, IT-Systeme, Energieversorger etc.)

B3 – Nachgelagerte Systeme:

Welche **nachgelagerten Aktivitäten/Systeme** nutzen Ihren Output?
(z.B. „Montage Linie 2“, „Großhandelskunde X“, „Endkund:innen über Online-Shop“)

B4 – Hypersystem:

In welches übergeordnete Hypersystem ist Ihre Aktivität eingebettet?

- ☐ Werk / Fabrik / Standort
- ☐ Unternehmensbereich / Business Unit
- ☐ Logistiknetzwerk / Plattform
- ☐ Region / Kommune / Industriepark
- ☐ Markt / Branche / Ökosystem
- Beschreibung: _____

B5 – Rahmenbedingungen:

Welche Rahmenbedingungen beeinflussen Ihre Aktivität besonders stark?
(z.B. Gesetze, Regulierung, Kundenvorgaben, physische Infrastruktur, Klimabedingungen, Tarifverträge, gesellschaftliche Erwartungen)

B6 – Abhängigkeit von der Umgebung:

Wie stark ist Ihre Aktivität von ihrer Umgebung abhängig?
Bitte bewerten Sie auf einer Skala von 1–5:

- **1** = fast **geschlossen** (kaum Austausch, wenige externe Einflüsse)
- **5** = sehr **offen** (viele externe Einflüsse, starke Wechselwirkung mit anderen Systemen, spürbare Verluste nach außen – z.B. Abwärme, Emissionen, Informationsabflüsse)

Wert (1–5): _____

Kurzbegründung: _____

C. Identität, Plan & Ziele der Aktivität (Q3)

Q3 steht für die **Identität, den Plan, das Wesen und die Gesamtenergie** der Aktivität über ihren Lebenszyklus. Ziele (aktive Vorgaben, Aufgaben) werden hier vom inneren und äußeren „Attraktor“ (Leerer Raum materiell bzw. Freiheit immateriell) unterschieden. Letztere finden sich in Form von passiven „Dichtesenken“ abgebildet in Q1“, siehe Näheres dort.

C1 – Ziele / Zweck / Nutzen:

Was treibt das System intrinsisch an, wenn keine äußeren Zwänge bestehen?
(z.B. Wachstum, Maximierung Durchsatz, Minimierung Fehlerquote)

Welchen übergeordneten **Zweck** erfüllt Ihre Aktivität in der Wertschöpfungskette?

Welcher Idealzustand Ihres Systems wird als **Idealbeitrag** innerhalb der Kette angestrebt?

C2 – Kernleistungen:

Welche **Kernleistungen, Produkte oder Services** sollen durch diese Aktivität bereitgestellt werden?

C3 – Strategische Ziele:

Welche **strategischen Ziele** gibt es für diese Aktivität?
(z.B. Kosten, Qualität, Lieferservice, Flexibilität, Innovation, Resilienz)

C4 – Nachhaltigkeitsziele:

Welche **Nachhaltigkeitsziele** gelten spezifisch für diese Aktivität?
Bitte – sofern vorhanden – Zielgrößen und Zeitbezüge nennen, z.B.:

- Energieverbrauch (kWh pro Einheit / Jahr)
- CO₂-Emissionen (kg CO₂e pro Einheit / Jahr)
- Ressourcenverbrauch (z.B. Wasser, kritische Rohstoffe, Flächen)
- Kreislaufaspekte (Reparatur-, Wiederverwendungs- und Recyclingquoten)
- Soziale Ziele (Arbeitsbedingungen, Gesundheit, Sicherheit, Diversität, regionale Wirkung)

C5 – Kennzahlen (KPIs):

Welche **Kennzahlen** nutzen Sie zur Steuerung dieser Aktivität?
Beispiele:

- **OEE (Overall Equipment Effectiveness)** = Gesamtanlageneffektivität
(Verfügbarkeit × Leistung × Qualität)
- Durchlaufzeit
- Liefertreue
- Energieverbrauch pro Einheit
- CO₂-Emissionen pro Einheit
- Ausschuss- / Fehlerquote
- Auslastung, Wartezeiten etc.
- Servicegrad/-niveau
- ...
- ...

Bitte die wichtigsten KPIs auflühren:

KPI 1: _____

KPI 2: _____

KPI 3: _____

C6 – geplante Lebensdauer:

Wie lange ist die **geplante Lebensdauer** dieser Aktivität / dieses Systems?

z.B. „mindestens 15 Jahre“, „bis 2035“, „solange Produktlinie X am Markt ist“.

C7 – zukünftige Entwicklungsstufen:

Gibt es definierte oder absehbare **zukünftige Entwicklungsstufen**?

(z.B. *Automatisierung, Digitalisierung, Umstellung auf erneuerbare Energie, neue Materialien, Standortverlagerung, Stilllegung*)

C8 – Normalbetrieb:

Wie sieht der typische „**Normalbetrieb**“ dieser Aktivität aus?

Bitte kurz beschreiben:

- übliche **Auslastung** (z.B. in %, oder qualitativ: „hoch“, „mittel“, „niedrig“),
- typisches **Schicht- oder Arbeitszeitmodell**,
- typische **Schwankungen** (z.B. tägliche Peaks, saisonale Spitzen).

Bitte listen Sie alle diskreten Zustände des Systems auf (z.B. Idle, Rüstvorgang, Produktion, Störung, Wartung).

Definieren Sie die Übergangsbedingungen (Transitions): Welches Ereignis (Event) oder welcher Datenwert löst den Wechsel von Zustand A nach Zustand B aus?

Welche Ressourcenverbräuche (Q2) sind mit welchem Zustand gekoppelt? (z.B. Energieverbrauch im Standby vs. Volllast)

C9 – Balance von Wirtschaft, Umwelt, Soziales:

Wie balancieren Sie derzeit **Wirtschaftlichkeit, Ökologie und Soziales** (Triple Bottom Line) in dieser Aktivität?

(kurze qualitative Einschätzung, ggf. mit Beispielen)

D. Flüsse & Ressourcen der Aktivität, Steuerung im engeren Sinne (Q2)

Q2 beschreibt die **kontinuierlichen Flüsse/Verbräuche** von Ressourcen, Energie und Informationen. Wichtig ist hier die Unterscheidung von Träger (Energie) und Ladung (Arbeitsvermögen), Objekt und Fluss.

D1 – Hauptressourcen:

Welche **Hauptressourcen** fließen laufend in Ihre Aktivität ein?

- Material / Rohstoffe / Komponenten: _____
- Energieformen (Strom, Wärme, Kälte, Druckluft, Kraftstoffe ...): _____
- Wasser / sonstige Medien: _____
- Personalzeit / Know-how: _____
- Daten / Informationen: _____

D2 – Mengenströme (Input intern und extern):

Bitte geben Sie – soweit möglich – wichtige **Input-Mengen** pro Zeiteinheit und über die Gesamtdauer der Aktivität an. Unterscheiden Sie zwischen **Durchsatzraten** (Flow: Stück/Stunde, kw) und Impulsen (Events). Für die Simulation benötigen wir Raten.

Beispiele:

- Input:
 - t/Tag oder t/Jahr an Rohmaterial
 - Paletten/Tag, Sendungen/Tag
 - kWh/Schicht, m³ Wasser/Tag
- Ggfs. Zwischenergebnisse:
 - Stück/Tag
 - Aufträge/Tag, Servicefälle/Woche
 - t/Jahr an Produkt, m³/h an gereinigtem Wasser

Soweit möglich geben Sie bitte nicht nur den Durchschnitt, sondern die statistische Verteilung an (z.B. Normalverteilung mit Mittelwert μ und Standardabweichung σ)

Gibt es Mindest- und Höchstmengen (Min/Max)?

Wie sieht das Ankunfts Muster aus? (Stetiger Fluss vs. diskrete Batches/Pakete)

D3 – Energieformen & Herkunft:

Welche **Energieformen** nutzen Sie, und aus welchen **Quellen** stammen diese?

- Netzstrom (falls bekannt: Anteilswerte erneuerbar / fossil)
- Eigenerzeugung (z.B. PV, Wind, BHKW, Abwärmenutzung, Batteriespeicher)
- Brennstoffe (z.B. Gas, Öl, Kohle, Biomasse, Wasserstoff)
- Sonstiges: _____

D4 – Hilfs- und Betriebsstoffe:

Welche **Hilfs- und Betriebsstoffe** werden benötigt, und in welcher Größenordnung, z.B. Anteil in % im Verhältnis zum Gesamtverbrauch?

z.B. Chemikalien, Schmierstoffe, Verpackungsmaterial, Reinigungsmittel, Verschleißteile etc.

D5 – Zeitliche Profile der Flüsse:

Wie **variieren** die Input-/Output-Ströme im Zeitverlauf?

- über den **Tag** (Lastprofile, Spitzenzeiten),
- über die **Woche** (Werktag vs. Wochenende),
- über das **Jahr** (Saisonspitzen, Heiz-/Kühlbedarf etc.).

D6 – Datenströme:

Welche **Datenströme** laufen kontinuierlich durch die Aktivität?

z.B. Sensorwerte, Bestandsdaten, Auftragsdaten, Verkehrsdaten, Kundendaten, Maschinendaten

D7 – Datenerfassung:

Wie werden diese Daten **erfasst**?

- Sensorik / Steuerungen
- Zähler (Strom, Wärme, Wasser, Druckluft)
- ERP / MES / SCADA / TMS / andere IT-Systeme
- Manuelle Erfassung (Excel, Papierformulare)
- Sonstiges: _____

D8 – Engpässe, Reibung / Widerstände:

Wo sehen Sie **Engpässe** oder kritische Punkte in den Flüssen? Welche Faktoren bremsen den Fluss stetig ab? (*Nicht Störungen, sondern systemimmanente Widerstände*).

Kapazitätsbegrenzungen, Lieferfähigkeit, Energieverfügbarkeit, Datenqualität, Schnittstellenprobleme, Rüstzeiten, Transportwege, administrative Hürden ...

Welche Rückkopplungsschleifen existieren? (z.B. Wenn Lager voll (Q4) -> Drosselung Input (Q2)). Gibt es Schwellenwerte, bei deren Überschreitung das System das Verhalten kippt (Nichtlinearität)?

Damit wird nicht nur ein Zustand beschrieben, sondern das Verhalten des Systems, was für den Digitalen Zwilling entscheidend ist.

D9 – Rückflüsse / Feedbacks:

Welche **Rückflüsse** gibt es?

z.B. Rework/ Nachbearbeitung, Retouren, Reklamationen, zurückströmende Energie/Wärme, Rücklieferungen, Feedbackschleifen

D10 – Nachhaltigkeitskritische Flüsse:

Welche Flüsse sind aus Ihrer Sicht besonders **kritisch für Nachhaltigkeit**?

z.B. CO₂-intensive Inputs, knappe Rohstoffe, wasserintensive Schritte, besonders schadstoffhaltige Abfälle.

E. Transformation, Regelung (Steuerung im weiteren Sinne), Attraktor & Verluste (Q1)

Q1 umfasst die **Regeln, Prozessschritte und Verluste**, mit denen Input in Output überführt/umgewandelt wird. Die (bewusste) Schaltzentrale einer nichtlinearen Regelfunktion und einer polykontexturalen (multifunktionalen) Logik für den Digital Twin.

E1 – Kern-Transformationsprozess:

Beschreiben Sie bitte den **Kern-Transformations- oder Transferprozess** innerhalb Ihrer Aktivität / Ihres Systems:

z.B. mechanischer, thermischer, chemischer, biologischer, logistischer, digitaler oder organisatorischer Prozess oder reine Weitergabe im Logistikprozess.

Beispiel Lager (nur zur Orientierung):

„Im Lager werden ankommende Paletten angenommen, geprüft, im IT-System eingebucht und anschließend einem Lagerplatz zugewiesen. Die Ware wird mit Flurförderzeugen eingelagert. Für Kundenaufträge werden die benötigten Positionen kommissioniert, auf Versandpaletten zusammengestellt, verpackt und mit Versandpapieren versehen. Abschließend werden die Sendungen den LKW-Touren zugeordnet und an der Rampe verladen.“

Beschreiben Sie sofern möglich die Input-Output-Funktion: Ist der Zusammenhang linear (doppelter Input = doppelter Output) oder nicht-linear (z.B. Sättigungseffekte, abnehmender Grenznutzen)?

Gibt es Schwellenwerte (Thresholds)? (Beispiel: Die Maschine startet erst, wenn Puffer > 10 Einheiten).“

E2 – Prozessschritte & Entscheidungen:

Skizzieren Sie bitte die wichtigsten **Prozessschritte** – inklusive wichtiger **Entscheidungspunkte**, soweit relevant.

Beispiel:

Auftragseingang → Entscheidung über Priorität → Einplanung in Schicht → Bearbeitung
Schritt 1 → Qualitätsprüfung → ggf. Nacharbeit → Freigabe → Versand

Hinweis: Nennen Sie Entscheidungen vor allem dort, wo sie **Qualität, Kosten, Zeit oder Nachhaltigkeit** stark beeinflussen

(z.B. Wahl des Transportmittels, Routenwahl, Losgrößen, Temperatur, Rezeptur, Materialauswahl).

Gibt es eine Totzeit oder Latenz zwischen Input-Start und Output-Verfügbarkeit? Ist die Bearbeitungszeit fix oder variabel (stochastisch)?

In welcher Taktung (Frequenz) wird das System aktualisiert oder abgefragt? (Wichtig für die Wahl zwischen diskreter und kontinuierlicher Simulation).

E3 – Beteiligte Anlagen & Systeme:

Welche **Anlagen, Maschinen, Fahrzeuge, Gebäude, IT-Systeme** sind beteiligt?

Bitte ggf. grobe Leistungsdaten / Kapazitäten angeben (z.B. t/h, Stück/h, Lagerplätze, Serverleistung).

E4 – Steuerung im weiteren Sinne bzw. Regelung:

Wie wird der Prozess in einem weiteren Sinne gesteuert, besser gesagt: geregelt?

- Manuelle Entscheidungen (z.B. Operator, Disponent, Teamleitung)
- Feste Regeln (Arbeitsanweisungen, Checklisten, SOPs)
- Automatische Regelkreise (z.B. Temperatur-, Druck-, Drehzahlregelungen)
- Algorithmische / KI-gestützte Steuerung
- Kombination: _____

Welche Algorithmen oder Heuristiken liegen der Regelung in welcher Dichte zugrunde (z.B. *FIFO, Prioritätsregeln, glättende Regelung*)?

Unterscheiden Sie zwischen passiver Attraktion (materieller Leere, immaterieller Freiheit) und Regelung (in Q1: Mischung von i.e.S. steuerbaren stetigen Flüssen und periodisch bzw. Zeitpunkt-bezogenen regelbaren Veränderungen oder Beständen)?

Gibt es Regelkreise? Wenn ja, welche Variable ist die Führungsgröße (Soll-Wert) und welche die Stellgröße?“

Wie reagiert das System auf Sättigung? (z.B. Wenn Lager Q4 voll ist: Stoppt Q2 sofort, oder wird Q2 gedrosselt, oder läuft es in einen Überlauf/Verlust?).

E5 – Verluste & Ineffizienzen:

Wo entstehen **Verluste** oder **Ineffizienzen**? Bitte – soweit möglich – Größenordnungen und Ursachen angeben.

- Materialverluste (Ausschuss, Verschnitt, Fehlchargen)
- Zeitverluste (Wartezeiten, Störungen, ungeplante Stillstände)
- Energieverluste (Abwärme, Leerlaufbetrieb, Leckagen, unnötige Wege)
- Qualitätsverluste (Rework, Reklamationen, Rückrufaktionen)

Wie viel Energie/Ressource wird allein für die Aufrechterhaltung der Struktur benötigt (Grundlast), ohne dass Output erzeugt wird?

Bitte definieren Sie die Verlustfunktion: Ist der Verlust (z.B. Energie, Ausschuss) konstant oder abhängig von der Auslastung?

E6 – Standards & Vorgaben:

Welche **Sicherheits-, Qualitäts-, Umwelt- und Sozialstandards** gelten im Prozess, und wie werden sie umgesetzt?

z.B. ISO-Normen (ISO 9001, 14001, 45001 ...), Arbeitsschutzvorschriften, Umweltauflagen, Lieferkettengesetz, Codes of Conduct

E7 – Passive Attraktoren oder Freiheitsgrade der Mitarbeitenden:

Welche **Freiheitsgrade** und **Verantwortung** haben Mitarbeitende, um in den Prozess einzugreifen?

z.B. Parameter anpassen, Prozess stoppen, Verbesserungsvorschläge umsetzen, Abweichungen melden

Wie schaffen Sie Bewusstsein für die Bedeutung ihrer Entscheidungen und Handlungen (z.B. Schulung, Coaching oder „Learning by Doing“)?

Was treibt das System intrinsisch an, wenn keine äußeren Zwänge bestehen? (z.B. Wachstum, Ruhe, Maximierung von Durchsatz, Minimierung von Fehlerquote)“

Welcher ‚Idealzustand‘ wird angestrebt (Soll-Zustand bei geringer/hoher Prozessdichte bzw. geringer/großer Freiheit)?“
– Lassen Sie das System „atmen“?

E8 – Bisherige Effizienz- und Nachhaltigkeitsmaßnahmen:

Welche Maßnahmen zur **Effizienz- und Nachhaltigkeitssteigerung** wurden bereits umgesetzt?

z.B. Lean-Projekte, Prozessoptimierungen, Wärmerückgewinnung, alternative Materialien, Schulungen, Automatisierung, Routenoptimierung

E9 – Begrenzungen & Randbedingungen:

Welche **Randbedingungen** begrenzen Ihren Prozess?

physikalische/technische Grenzen, Technologie-Limits, Kundenanforderungen, Normen, Verträge, IT-Restrictions

E10 – wichtigste Hebel:

Wo sehen Sie die **größten Hebel**, um Transformation und Verluste nachhaltiger zu gestalten? Bitte Ihre Top-3 kurz benennen.

F. Outcome/-put, Bestände & Wirkung der Aktivität, inneres/äußeres Potential (Q4)

Q4 beschreibt die **diskreten Veränderungen, (Zwischen-)Ergebnisse, Bestände und Wirkungen**, auch Portfolios, Felder oder Märkte. Unterscheiden Sie bei "Output" zwischen gewolltem Produkt und Entropie/Abwärme/Verluste im Sinne Q1, d.h. in die innere und äußere Umgebung/ passiver allgegenwärtiger „Modell-Hintergrund“ (Leere, Freiheit).

F1 – Hauptoutcomes/-puts:

Welche **Hauptoutcomes/-puts** erzeugt Ihre Aktivität?

- Physische Produkte / Zwischenprodukte
- Dienstleistungen / Nutzungsleistungen
- Datenprodukte / Reports / Software
- Zustandsänderungen (z.B. gereinigte Luft, gereinigtes Wasser, gespeicherte Energie)

Welche Outcomes nutzen Sie selbst wieder als Ressourcen in Q2, welche geben Sie weg.

Welches ungenutzte Potential (gespeicherte Energie/Wissen/Kapazität,Zwischenprodukt) liegt im System, das sofort abgerufen werden könnte?

F2 – Mengen & Einheiten:

In welchen **Einheiten** messen Sie diese Outputs?

z.B. Stück, t, m, kWh, Servicefälle, Tickets, Datensätze, Nutzerstunden

F3 – Qualitäts- und Leistungsmerkmale:

Welche **Qualitäts- und Leistungsmerkmale** charakterisieren Ihren Output?

Spezifikationen, Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Lieferzeit, Verfügbarkeit, Servicelevel

F4 – Bestände & Puffer:

Welche **Bestände / Puffer** gehören zu Ihrer Aktivität?

Bitte nennen Sie – soweit vorhanden:

- **physische Bestände:** Lager, Zwischenlager, WIP (Work in Progress), Pufferflächen
- **Datenbestände:** z.B. Datenbanken mit Auftrags-, Maschinen-, Kundendaten, auf die Sie regelmäßig zugreifen
- **Kapazitätspuffer:** z.B. freie Maschinenstunden, zusätzliche Fahrzeuge, Reserveschichten, freie Server-/Speicherkapazitäten

Gemeint sind alle Formen von „Vorräten“ oder Reserven, mit denen Sie Schwankungen oder Unsicherheiten abfedern.

F5 – Nebenprodukte, Abfälle, Emissionen, Risiken:

Welche **Nebenprodukte, Abfälle, Emissionen** oder **Risiken** entstehen?

z.B. CO₂, andere Treibhausgase, Abwärme, Abwasser, Abfallfraktionen, Lärm, Staub, Gefahrstoffe, Unfall-/Störfallrisiken

F6 – Messung & Reporting der Wirkung:

Wie werden Output und Nachhaltigkeitswirkung **gemessen und berichtet**?

z.B. CO₂e pro Produkt, Energie pro Einheit, Abfallquote, Arbeitsunfälle, Krankenstand, Beschwerdequote

F7 – Einfluss auf nachgelagerte Systeme:

Wie beeinflusst Ihr Output das **Potenzial/ Ergebnis nachgelagerter Systeme**?

z.B. Reparierbarkeit, Recyclingfähigkeit, Wiederverwendbarkeit, Lebensdauer beim Kunden, Energieeffizienz im Gebrauch, Datenqualität für Folgesysteme

F8 – positive externe Effekte:

Welche **positiven externen Effekte** gehen von Ihrer Aktivität aus?

z.B. regionale Wertschöpfung, Ausbildungsplätze, Infrastrukturverbesserung, ökologische Aufwertung, Innovationsimpulse

F9 – negative externe Effekte:

Welche **negativen externen Effekte** können entstehen?

z.B. Flächenversiegelung, Verkehrsbelastung, Lärm, Geruch, soziale Spannungen, lokale Umweltbelastungen

G. Zeitdimensionen & Entwicklung der Aktivität

Das M-Q-M unterscheidet mehrere **Zeitdimensionen**: Lebensdauer, wiederkehrende Perioden und historische Entwicklung.

G1 – Existenzdauer: Seit wann existiert die beschriebene Aktivität, und wie lange wird sie voraussichtlich noch betrieben?

Bau-/Startjahr / Inbetriebnahme: _____
geplante Restlebensdauer: _____

G2 – Zeitmuster & Perioden: Welche typischen **Zeitmuster** gibt es? Bitte beschreiben Sie:

- **Schichtmodelle:** z.B. 2-Schicht, 3-Schicht, nur Tagschicht, Wochenendarbeit
- **Bearbeitungszeiten:** typische Zeit, die eine Einheit (Teil, Auftrag, Sendung) von Start bis Ende eines Prozessschrittes benötigt
- **Taktzeiten:** falls relevant, feste Taktvorgaben (z.B. Stück/min)
- **Wartungsintervalle:** z.B. wöchentliche Inspektion, jährliche Grundwartung
- **Saisonalität / Kampagnen:** z.B. „Produkt X nur im Sommer“, Hochsaison Q4

G3 – kritische Ereignisse / „Momente der Wahrheit“:

Welche **kritischen Ereignisse oder Zeitfenster** sind besonders relevant für Qualität, Sicherheit oder Nachhaltigkeit?

z.B. Start-/Stopp-Vorgänge, Rüstprozesse, Beladen/Entladen, Peak-Lastzeiten, Schichtübergaben, Wetterereignisse

G4 – bisherige Entwicklungsschritte und Betriebsmodi:

Welche wesentlichen **historischen Entwicklungsschritte** hat diese Aktivität bereits durchlaufen?

z.B. Technologie-Upgrades, Prozessreorganisation, Kapazitätserweiterungen, Standortwechsel, Änderung der Produktpalette

Gibt es diskrete Zustände/ **Betriebsmodi**, in denen das System völlig unterschiedliche Regeln (Q1) befolgt? (z.B. Normalbetrieb, Wartungsmodus, Notlauf, Hochlauf).

G5 – geplante zukünftige Entwicklungen:

Welche **zukünftigen Entwicklungsstufen oder Modi** sind geplant oder absehbar?

z.B. Umstellung auf erneuerbare Energien, neue Materialien, Kreislaufkonzepte, höhere Automatisierung, stärkere Dezentralisierung

G6 – Trends & Verlaufsdaten:

Welche **Trenddaten/ Verlaufsdaten** liegen vor (mindestens 2–3 Jahre)?

z.B. Durchsatz, Qualität, OEE, Energieverbrauch, CO₂-Emissionen, Unfallzahlen,
Krankenstand, Reklamationen, Kundenzufriedenheit

H. Daten, Schnittstellen & virtuelle Fabrik

Dieser Abschnitt prüft, wie gut Ihre Aktivität für eine **virtuelle Fabrik / Digital Twin** anschlussfähig ist.

H1 – Datenquellen:

Welche **Datenquellen** stehen für Ihre Aktivität zur Verfügung?

- Maschinendaten (Steuerung, Sensorik)
- Zählerdaten (Strom, Wärme, Wasser, Druckluft, Gas etc.)
- ERP / MES / SCADA / Transport-Management / Lagerverwaltung
- Manuelle Erfassung (Excel, Papier, Formulare)
- Sonstige: _____

In welchem Format und welcher Einheit liegen die Daten vor? (z.B. JSON, CSV; Grad Celsius, Kelvin, float, integer)

Gibt es eine Verwaltungsschale (AAS) für dieses Asset? Wenn ja, bitte Referenz angeben.

H2 – zeitliche Auflösung:

In welcher **zeitlichen Auflösung**/ Frequenz liegen diese Daten vor (Abtastrate oder Sampling Rate)? - *Dies entscheidet, ob das System im Digital Twin als kontinuierlich oder diskret-event-basiert modelliert wird.*

- Echtzeit / Sekundenbereich
- minütlich
- stündlich
- täglich / wöchentlich
- nur periodische Reports (monatlich, jährlich)

H3 – Datenqualität:

Wie beurteilen Sie die **Datenqualität** (Vollständigkeit, Plausibilität, Genauigkeit)?

Welche Maßnahmen gibt es zur Sicherstellung der Qualität (Kalibrierung, Plausibilitätsprüfungen, Schulungen, automatisierte Checks)?

H4 – vorhandene Kennzahlen & Visualisierungen:

Welche **Kennzahlen** werden bereits automatisch berechnet und ggfs. visualisiert?

z.B. Dashboards für Auslastung, Durchsatz, Energieverbrauch, CO₂-Emissionen, Qualität, Servicelevel

H5 – technische Schnittstellen:

Welche **technischen Schnittstellen** zu anderen Systemen bestehen?

z.B. OPC UA, MQTT, APIs, EDI, Datelexport (CSV, XML), manuelle Reports

H6 – zusätzliche benötigte Daten:

Welche **zusätzlichen Daten** wären nötig, um Ihre Aktivität in einer virtuellen Fabrik energetisch und ökologisch genauer abzubilden?

z.B. genauere Lastprofile, Temperaturverläufe, Produktspezifikationen, Emissionsfaktoren, Zustandsdaten

H7 – Datenschutz & IT-Sicherheit:

Welche **Datenschutz-, IT-Sicherheits- und Vertraulichkeitsanforderungen** gelten für Ihre Daten?

z.B. personenbezogene Daten, Geschäftsgeheimnisse, kritische Infrastruktur, regulatorische Vorgaben

H8 – Digitalisierungsgrad:

Wie schätzen Sie den **Digitalisierungsgrad** Ihrer Aktivität ein (Skala 1–5)?

- 1 = überwiegend analog, kaum automatische Datenerfassung
- 5 = weitestgehend/ voll digitalisiert, umfassende Echtzeitdaten und integrierte Systeme

Wert (1–5): ____

Kurzbegründung: _____

I. Zusammenarbeit, Risiken & Verbesserungspotenziale

I1 – Abhängigkeiten & kritische Schnittstellen:

Wo sehen Sie die wichtigsten **Abhängigkeiten** und **kritischen Schnittstellen** zu anderen Mitgliedern der Wertschöpfungskette?

z.B. bestimmte Lieferanten, Logistikpartner, Energieversorger, IT-Dienstleister, Behörden

I2 – Risiken für Kontinuität & Nachhaltigkeit:

Welche **Risiken** bedrohen die Kontinuität oder Nachhaltigkeit Ihrer Aktivität?

z.B. Lieferengpässe, Energiepreiskrisen, Klimarisiken, regulatorische Risiken, Fachkräftemangel, gesellschaftliche Akzeptanz

I3 – kurzfristige Verbesserungsmöglichkeiten („Quick Wins“):

Wo sehen Sie **kurzfristige Verbesserungsmöglichkeiten** mit hohem Nachhaltigkeitseffekt?

z.B. einfach umsetzbare Effizienzmaßnahmen, parametrierbare Einstellungen, organisatorische Anpassungen

I4 – strukturelle Änderungsbedarfe:

Wo wären **grundlegende Strukturänderungen** nötig, um wirklich nachhaltig zu werden?

z.B. anderes Produktdesign, alternative Materialien, neue Standortwahl, neue Geschäftsmodelle, stärkere Nutzung von Kreislaufkonzepten

I5 – gewünschte Kooperation & Datenteilung:

Welche Formen der **Kooperation und Datenteilung** in der virtuellen Fabrik würden Sie sich wünschen?

z.B. gemeinsame Dashboards, geteilte KPIs, gemeinsame Optimierungsprojekte, Lastmanagement, gemeinsame Kreislaufösungen

I6 – Unterstützungsbedarf:

Welche **Unterstützung** (Methoden, Tools, Governance, Schulung) benötigen Sie, um Ihre Aktivität in Richtung **nachhaltigere Wertschöpfung** weiterzuentwickeln?

Anhang

Wie ließe sich „Polykontexturalität“ integrieren und warum sollte man dies tun?

Günthers Kernkritik war, dass die klassische zweiwertige Logik (Aristoteles: Wahr/Falsch, 0/1, Sein/Nichts) nicht ausreicht, um lebende oder bewusste Systeme zu beschreiben. Das M-Q-M versucht genau das Gleiche: Es will weg von der reinen "Objekt-Betrachtung" hin zur "Aktivität" (Subjektivität, Entscheidung).

A. Die Quadranten als "Kontexturen"

Im Sinne Günthers ist das M-Q-M kein *monokontexturales* System (eine einzige Weltsicht), sondern ein **polykontexturales Verbundsystem**.

- **Integration:** Betrachten Sie jeden Quadranten (Q1-Q4) nicht nur als "Behälter" für Daten, sondern als eigenständige **logische Domäne (Kontextur)** mit eigenen Wahrheitswerten.
 - **Q2 (Kinetik/Effizienz):** Hier gilt die Logik der Ökonomie (Schneller/Langsam, Effizient/Ineffizient).
 - **Q4 (Potenzial/Nachhaltigkeit):** Hier gilt eine *andere* Logik (Nachhaltig/Schädlich, Stabil/Instabil).
 - **Konflikt:** In einer klassischen Logik ist "Hoher Verbrauch" (Q2) oft ein Widerspruch zu "Nachhaltigkeit" (Q4). In der PKT können beide Aussagen in ihren jeweiligen Kontexturen "wahr" sein.
- **Der "Transjunktions-Operator":** Um diese Quadranten zu verbinden, braucht es in der Simulation (Q1) Schaltregeln, die zwischen diesen Logiken vermitteln (Günther nannte das Transjunktionen). Das M-Q-M leistet das bereits geometrisch über die Achsen – logisch müsste es in der Steuerung implementiert werden.

B. Das "Dritte" und der "Leere Raum"

Das M-Q-M betont den "Leeren Raum" als Attraktor und lehnt die "Null" als Nichts ab.

- **Integration:** Das entspricht exakt Günthers Konzept des **Kenogramms**. Für Günther ist das "Nichts" nicht einfach die Abwesenheit von Etwas (0), sondern ein *Platzhalter* für mögliche Besetzungen. Der "Leere Raum" im M-Q-M ist der **Hintergrund**, auf dem logische Strukturen erst möglich werden. Die "Eins in der Null" ist quasi das Setzen eines ersten Wertes in eine leere Kontextur.

C. Subjektivität und Q3 (Identität)

Günther führte die Subjektivität in die Logik ein. Ein System, das sich selbst steuert (Q3 – Plan/Identität), muss sich von seiner Umwelt unterscheiden können.

- **Integration:** Q3 ist der Ort der **Selbstreflexion**. In einer klassischen Maschine (Turing-Maschine) gibt es keine Reflexion, nur Abarbeitung. Ein "Grüner Digitaler Zwilling", der Entscheidungen trifft (z.B. "Produktion drosseln wegen CO2-Ziel"), handelt als *Subjekt*. Günthers "Reflexionslogik" liefert den Formalismus, wie ein System sich selbst beobachten kann, ohne in logische Paradoxien zu geraten.

Welche Vorteile würden bestehen?

Die Integration würde das M-Q-M von einem *beschreibenden* Modell zu einem *handlungsfähigen* kognitiven Modell machen.

Vorteil 1: Auflösung von "Widersprüchen" (Double Binds)

In der Industrie 4.0 gibt es oft Zielkonflikte: „Maximiere den Durchsatz (Q2)“ UND „Minimiere den Energieverbrauch (Q4)“.

- **Klassisch:** Das führt zu einem Fehler oder einem faulen Kompromiss (Mittelwert).
- **Mit PKT:** Das System erkennt, dass diese Befehle aus unterschiedlichen logischen Stellenwerten kommen. Es kann **heterarchisch** umschalten: "Jetzt dominiert Kontextur Q2 (Lieferdruck)", "Jetzt dominiert Kontextur Q4 (Nachtschicht/Stromsparphase)". Das System wird **resilienter**, weil es Widersprüche als Verteilungsaufgabe versteht, nicht als Fehler.

Vorteil 2: Modellierung von Autonomie und "Freiheit"

Sie betonen im M-Q-M den Begriff der "Freiheit" (Q1/Q3). In der klassischen Kybernetik (Regelkreis) gibt es keine Freiheit, nur Soll-Ist-Abweichung.

- **Vorteil:** Mit der PKT können Sie **Wahlfreiheit** simulieren. Ein System hat die Freiheit, den *Kontext* zu wechseln. Wenn Q1 (Transformation) merkt, dass die Regeln von Q2 nicht mehr funktionieren, springt es auf eine Meta-Ebene (Reflexion) und ändert die Regeln. Das ist der Schritt von der *Automatisierung* zur *Autonomie*.

Vorteil 3: Heterarchie statt Hierarchie (Hypersysteme)

Das M-Q-M spricht von Hypersystemen. Oft wird das hierarchisch verstanden (oben steuert unten).

- **Vorteil:** Günther propagierte die **Heterarchie** (nebeneinander liegende Zentren). In einer Lieferkette (Supply Chain) gibt es keinen "Welt-Chef". Jede Fabrik ist ihr eigenes Zentrum. Die PKT erlaubt es, diese **Dezentrierung** mathematisch abzubilden. Der Digital Twin einer Fabrik kann verstehen, dass der Digital Twin des Lieferanten eine *eigene* Logik hat, die nicht deckungsgleich mit der eigenen ist, und dennoch mit ihm interagieren (strukturelle Kopplung).

Vorteil 4: Simulation von "Sinn"

In Ihrem Fragebogen fragen Sie nach dem "Zweck" (C1). Ein klassischer Algorithmus kennt keinen Zweck, nur Input/Output.

- **Vorteil:** Günthers Logik erlaubt die Einführung von "Sinn" als logische Kategorie (Wertigkeit). Das M-Q-M könnte damit simulieren, ob eine Maßnahme nicht nur *effizient* (Q2), sondern auch *sinnvoll* im Hinblick auf die Identität (Q3) ist.

Zusammenfassung & Empfehlung

Das M-Q-M ist in seiner geometrischen und philosophischen Anlage bereits **implizit polykontextural**.

Empfehlung zur Operationalisierung:

Wenn Sie den "Prototypen" in FERAL/Ptolemy II bauen:

1. Versuchen Sie nicht, alle Quadranten in *eine* einzige große Formel zu pressen (Monokontextur).
2. Bauen Sie stattdessen **vier parallele Logik-Module** (für Q1, Q2, Q3, Q4), die lose gekoppelt sind.
3. Implementieren Sie in Q1 eine "**Umschalt-Logik**" (den Transjunktions-Operator), der entscheidet, *welcher* Quadrant gerade die Führung übernimmt (z.B.: "Bei Energiepreis > X dominiert Q4").

Damit würde das M-Q-M die theoretische Avantgarde der Kybernetik (Günther/Von Foerster/Luhmann) technisch anwendbar machen.

Entwurf der vier parallelen Logik-Module für den Digitalen Zwilling

Modul Q2: Die "Kinetische Logik" (Der Antreiber)

Repräsentiert den Fluss, den Input, die reine Bewegung (Strom).

- **Interne Logik (Die "Wahrheit" von Q2):**
 - **Ziel:** Maximierung des Flusses (Durchsatz).
 - **Werte:** Schnell vs. Langsam / Viel vs. Wenig.
 - **Motto:** "Stillstand ist Tod."
- **Simulations-Funktion (Mathematisch):**
 - Dies ist ein **Differential-Modul**
 - Es berechnet Raten: Input_Rate, Energy_Consumption_Rate.
 - Es kennt keine Sättigung, es "drückt" blind nach vorne (Push-Prinzip).
- **PKT-Status:**
 - Kontextur 1: Die materielle Notwendigkeit.

Modul Q4: Die "Potentielle Logik" (Der Bewahrer)

Repräsentiert den Bestand, das Ergebnis, die Nachhaltigkeit, das Feld.

- **Interne Logik (Die "Wahrheit" von Q4):**
 - **Ziel:** Stabilität, Qualität, Speicherfüllung, Minimierung von Entropie (Abfall).
 - **Werte:** Stabil vs. Instabil / Voll vs. Leer / Sauber vs. Schmutzig.
 - **Motto:** "Überfluss ist Verschwendung, Mangel ist Gefahr."

- **Simulations-Funktion (Mathematisch):**
 - Dies ist ein **Integral-Modul**
 - Es berechnet Bestände (Level), Akkumulation von CO₂, fertige Produkte.
 - Es erzeugt "Gegendruck" (Widerstand), wenn Grenzen erreicht sind.
- **PKT-Status:**
 - Kontextur 2: Die ökologische/ökonomische Bilanz.

Modul Q3: Die "Reflexive Logik" (Die Identität)

Repräsentiert den Plan, die Idee, den "Leeren Raum" als Attraktor, das Selbst.

- **Interne Logik (Die "Wahrheit" von Q3):**
 - **Ziel:** Identitätserhalt, Sinnhaftigkeit, Resilienz.
 - **Werte:** Ich vs. Nicht-Ich / Sinnvoll vs. Sinnlos.
 - **Motto:** "Wer sind wir und wo wollen wir hin?" (Der Attraktor).
- **Simulations-Funktion (Mathematisch):**
 - Dies ist ein **Sollwert-Generator (Targeting)**.
 - Hier liegt der "Bauplan" und die z-Achse (Historie/Gedächtnis).
 - Es definiert den "Leeren Raum" als den idealen Zustand (z.B. reibungslose Produktion, Null-Fehler, Autonomie), den das System anstrebt.
- **PKT-Status:**
 - Kontextur 3: Die Subjektivität / Das Selbst-Referenzielle.

Modul Q1: Die "Transjunktions-Logik" (Der Manager)

Repräsentiert die Transformation, das Regelwerk, die Entscheidung.

- **Interne Logik (Die Funktion von Q1):**
 - **Ziel:** Auflösung der Widersprüche zwischen Q2, Q3 und Q4.
 - **Aktion: Transjunktion.** Das ist der operative Kern der Polykontextualität. Q1 entscheidet, *welche* Logik gerade Vorrang hat.
 - **Motto:** "Ich entscheide, welche Regel jetzt gilt."
- **Simulations-Funktion (Mathematisch):**
 - Dies ist eine **State Machine (Zustandsautomat)** mit nicht-linearer Schaltlogik.
 - Hier wird der Input (Q2) real in Output (Q4) gewandelt, aber *moduliert* durch die Vorgaben von Q3.
- **PKT-Status:**
 - Der Operator / Der Vermittler. Hier geschieht der Wechsel zwischen den Kontexturen.

Zusammenfassung: Der Mehrwert in der Simulation

Wenn Sie diese vier Module so in FERAL implementieren, erhalten Sie kein starres "Input-Process-Output"-System, sondern ein **lebendes System**:

1. **Q2 drückt** (Energie).
2. **Q4 bremst oder zieht** (Materie/Feld).
3. **Q3 beobachtet** und setzt den Kurs (Geist/Attraktor).
4. **Q1 entscheidet** jeden Takt neu, wer gewinnt (Handlung).

Das System kann dadurch **Emergenz** zeigen: Es kann beispielsweise von sich aus entscheiden, die Produktion kurzzeitig zu stoppen (Q4-Dominanz), um Energie zu sparen, damit der langfristige Plan (Q3) nicht gefährdet wird, obwohl Material da wäre (Q2). Das ist genau die Operationalisierung der "Freiheit", die Sie im theoretischen Teil beschreiben.

Wissenschaftliche Begründung der Operationalisierung des M-Q-M durch polykontexturale Logikmodule

Die Entwicklung hochkomplexer Simulationsumgebungen, wie sie für den „Grünen Digitalen Zwilling“ (gDEZ) und virtuelle Fabriken angestrebt wird, steht vor einer fundamentalen epistemologischen Herausforderung: der Diskrepanz zwischen der linearen Kausalität klassischer Rechenmodelle und der nicht-linearen, selbstreferentiellen Dynamik realer, lebender oder sozialer Systeme. Während klassische Simulationen auf einer monokontexturalen Logik basieren – also einer einzigen, widerspruchsfreien Beschreibungsfolie –, erfordert die adäquate Abbildung von Autonomie, Resilienz und Zielkonflikten in Wertschöpfungsnetzwerken eine Erweiterung des logischen Raums. Die Integration der Polykontexturalitätstheorie (PKT) nach Gotthard Günther in das Mehr-Quadranten-Modell (M-Q-M) bietet hierfür nicht nur eine theoretische Erweiterung, sondern **eine operative Notwendigkeit**, um Systemverhalten jenseits trivialer Maschinenmodelle zu simulieren.

1. Überwindung der monokontexturalen Schranke in Digitalen Zwillingen

Klassische Ansätze des Systems Engineering und der Simulation basieren weitgehend auf der zweiwertigen, aristotelischen Logik (Wahr/Falsch, 0/1). In dieser Logik ist ein Widerspruch (*tertium non datur*) ein Fehlerzustand, der zum Abbruch oder zur Instabilität des Systems führt (Günther, 1978). Das M-Q-M hingegen postuliert in seiner geometrischen Struktur bereits eine Gleichzeitigkeit von Zuständen, die in einer klassischen Logik inkommensurabel wären: Der unbedingte Vorwärtsdrang der kinetischen Energie (Q2) steht in einem dialektischen Spannungsverhältnis zur bewahrenden Struktur der potentiellen Energie (Q4).

In einer monokontexturalen Simulation würde der Befehl „Maximiere Durchsatz“ (Q2) bei gleichzeitiger Restriktion „Minimiere Energieverbrauch“ (Q4) zu einem logischen Deadlock führen, sofern nicht extern eine Priorisierung (z. B. durch einen menschlichen Operator) vorgegeben wird. Die PKT löst dieses Problem, indem sie die Welt nicht als *ein* Universum, sondern als ein *Polyversum* aus verschiedenen logischen Orten (Kontexturen) begreift, die gleichzeitig existieren können (Günther, 1976). Der wissenschaftliche Mehrwert der vorgeschlagenen Modul-Architektur liegt darin, dass diese logischen Orte nicht mehr abstrakt bleiben, sondern den energetischen Quadranten des M-Q-M direkt zugeordnet werden. **Das System wird dadurch befähigt, Widersprüche nicht als Fehler, sondern als Verteilungsaufgabe zwischen verschiedenen Rationalitäten zu behandeln** (Baecker, 1993).

2. Q2 und Q4 als orthogonale Rationalitäten: Die Dialektik von Fluss und Bestand

Die physikalische Basis des M-Q-M unterscheidet strikt zwischen Fluss (Q2) und Bestand/Feld (Q4). In der Sprache der Kybernetik zweiter Ordnung (von Foerster, 1984) handelt es sich hierbei um zwei unterschiedliche Beobachtungsmodi. Das Modul Q2 folgt einer linearen Kausalität und der Thermodynamik dissipativer Strukturen (Prigogine & Stengers, 1984): Es operiert fern vom Gleichgewicht und strebt nach Entropieproduktion

durch Bewegung. Das Modul Q4 hingegen folgt einer homöostatischen Logik, die auf Systemerhalt, Speicherung und Begrenzung ausgerichtet ist.

Der Simulations-Mehrwert durch die Trennung in zwei autonome Logik-Module besteht darin, dass das System „lernen“ kann, dass die Wahrheit von Q2 („Wir müssen produzieren“) und die Wahrheit von Q4 („Das Lager ist voll“) gleichzeitig gültig sein können. In herkömmlichen Simulationen werden diese Größen oft in eine einzige Kostenfunktion verrechnet (*Trade-off*). In der polykontexturalen Modellierung bleiben sie als eigenständige Werte erhalten, was eine heterarchische statt einer hierarchischen Steuerung ermöglicht (Willke, 2001). Das System kann so dynamisch zwischen Expansion (Q2-Dominanz) und Konsolidierung (Q4-Dominanz) oszillieren, ähnlich wie biologische Systeme, die zwischen Anabolismus und Katabolismus wechseln, ohne ihre Identität zu verlieren.

3. Q3 und der „Leere Raum“ als Attraktor der Selbstreflexion

Ein zentrales Defizit technischer Regelkreise ist ihre Blindheit gegenüber dem eigenen Zweck. Sie können Soll-Ist-Abweichungen korrigieren, aber den Soll-Wert nicht selbstständig hinterfragen (Luhmann, 1984). Das M-Q-M führt mit Q3 (Identität, Plan) und dem Konzept des „Leeren Raums“ eine Instanz ein, die in der PKT als „Subjektivität“ oder „Reflexionszentrum“ bezeichnet wird.

Wissenschaftlich betrachtet fungiert Q3 als *Attraktor*. In der Chaostheorie ist ein Attraktor ein Zustand, auf den sich ein dynamisches System zubewegt. Im M-Q-M ist dieser Attraktor jedoch nicht statisch, sondern repräsentiert die „Idee“ oder das „Wesen“ des Systems (Fornefett, 2025). Die Implementierung von Q3 als eigenständiges Logik-Modul erlaubt die Simulation von *Resilienz zweiter Ordnung*: **Das System kann nicht nur auf Störungen reagieren (erste Ordnung), sondern seine eigenen Regelparameter ändern, wenn die Identität des Systems gefährdet ist.** Der „Leere Raum“ ist hierbei, analog zu Günthers *Kenogrammatik*, kein Nichts im Sinne der Null, sondern ein *Platzhalter für Möglichkeiten* – ein Raum der Freiheit, der noch nicht durch materielle Zwänge (Q2/Q4) determiniert ist (Günther, 1978). Dies ermöglicht in der Simulation das Durchspielen hypothetischer Szenarien („Was wäre, wenn wir die Produktionslogik komplett umstellen?“), ohne die operative Ebene sofort zu destabilisieren.

4. Q1 als Transjunktions-Operator: Die Logik der Entscheidung

Der entscheidende operative Mehrwert liegt im Modul Q1 (Transformation). In der klassischen Logik gibt es nur Konjunktion (UND) und Disjunktion (ODER). Günther führte den Operator der *Transjunktion* ein, um den Sprung von einem logischen System in ein anderes zu beschreiben (Günther, 1976).

Wenn Q2 (Vollgas) und Q4 (Stopp) im Widerspruch stehen, kann eine klassische Logik nur einen der Werte verwerfen (Rejection). Ein transjunktionales Modul Q1 hingegen kann diesen Widerspruch als Trigger nutzen, um auf eine höhere logische Ebene zu wechseln – nämlich zur Konsultation von Q3 (Identität). Die Entscheidung, die Q1 trifft, ist somit nicht deterministisch aus den Inputs abgeleitet, sondern *kontingent* (Luhmann, 1990). **Dies ist die mathematische Operationalisierung von „Entscheidungsfreiheit“ in einem deterministischen Computer.** Das System „entscheidet“ sich für eine Kontextur (z. B. Nachhaltigkeit vor Profit), basierend auf dem aktuellen Zustand des Attraktors in Q3.

Für die Simulation in FERAL bedeutet dies, dass Q1 als *State Machine* implementiert wird, deren Übergangsbedingungen nicht starr codiert sind, sondern aus der *Bedeutung* der Signale von Q2 und Q4 im Licht von Q3 generiert werden. Das System wird dadurch *autopoietisch* anschlussfähig: Es erzeugt seine eigenen Steuerungsregeln basierend auf seiner internen Struktur, statt nur externen Input zu verarbeiten (Maturana & Varela, 1987).

5. Zusammenfassung des Mehrwerts

Die Integration der PKT in das M-Q-M transformiert den Digitalen Zwilling von einem passiven Abbild (Digital Shadow) zu einem aktiven kognitiven Agenten. Der Mehrwert lässt sich in drei Punkten kondensieren:

1. **Robustheit durch Mehrwertigkeit:** Das System stürzt bei Zielkonflikten nicht ab, sondern nutzt sie als Treiber für Adaption.
2. **Simulation von Sinn:** Durch Q3 erhält die energetische Optimierung eine teleologische Komponente (Zweckgebundenheit), die über reine Effizienz hinausgeht.
3. **Strukturelle Kopplung:** Das Modell erlaubt die Interaktion verschiedener Systeme (Hypersystem), die unterschiedlichen Logiken folgen, ohne diese Logiken gleichschalten zu müssen.

Ein Paradigmenwechsel in der Modellierung komplexer Produktionssysteme, der die theoretischen Forderungen von Willke (Steuerungstheorie) und Günther (Logik) technisch einlöst.

Literaturverzeichnis

Baecker, D. (1993). *Kalkül der Form*. Suhrkamp.

Fornefett, A. (2025). *Die Eins in der Null. Artikel zur Theorie des Mehr-Quadranten-Modells*. PRCSM.

Günther, G. (1976). *Beiträge zur Grundlegung einer operationsfähigen Dialektik* (Bd. 1–3). Felix Meiner Verlag.

Günther, G. (1978). *Idee und Grundriss einer nicht-aristotelischen Logik* (2. Aufl.). Felix Meiner Verlag.

Luhmann, N. (1984). *Soziale Systeme: Grundriß einer allgemeinen Theorie*. Suhrkamp.

Luhmann, N. (1990). *Die Wissenschaft der Gesellschaft*. Suhrkamp.

Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1987). *Der Baum der Erkenntnis: Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*. Scherz.

Prigogine, I., & Stengers, I. (1984). *Order out of chaos: Man's new dialogue with nature*. Bantam Books.

von Foerster, H. (1984). *Observing Systems* (2. Aufl.). Intersystems Publications.

Willke, H. (2001). *Systemtheorie III: Steuerungstheorie* (3. Aufl.). Lucius & Lucius.

Wie ließe sich „KI“ in den Gesamtprozess des M-Q-M integrieren und warum sollte man dies tun?

In Verbindung mit der Polykontextualitätstheorie (PKT) ist das nicht nur fruchtbar, sondern theoretisch notwendig und praktisch der entscheidende Hebel, um das Modell von einer statischen Beschreibung in eine dynamische, lernende Steuerung zu verwandeln.

Ohne KI bleibt die im vorigen Schritt definierte "Transjunktions-Logik" (Q1) auf deterministische Wenn-Dann-Regeln beschränkt, die ein Mensch vorab definieren muss. Mit KI wird das System fähig zur echten Autopoiesis (Selbsterschaffung/Selbststeuerung) und Adaption.

1. Theoretische Fruchtbarkeit: KI als "Beobachter zweiter Ordnung"

In der Systemtheorie (Luhmann/Willke) und der PKT (Günther) ist ein System nur dann intelligent, wenn es **sich selbst beobachten** und seine Beobachtungskriterien ändern kann (Reflexion).

- **Das Problem klassischer Algorithmen:** Ein klassischer Algorithmus ist "blind" für seinen eigenen Kontext. Er optimiert Q2 (Durchsatz), egal ob das System gerade darauf zusteuert, in Q4 (Ressourcen) zu kollabieren. Er agiert monokontextual.
- **Die Rolle der KI:** Eine KI kann Muster erkennen, die über die linearen Zusammenhänge hinausgehen. Sie kann als **Meta-Instanz** fungieren, die nicht nur *im* System arbeitet, sondern *am* System lernt.
 - *Theoretischer Gewinn:* Die KI operationalisiert den "Leeren Raum" (Q3) als einen Raum der **Latenz**. Sie erkennt Möglichkeiten ("Wir könnten die Produktion umstellen"), die im aktuellen operativen Betrieb (Q2/Q1) noch nicht realisiert, aber als Potential im Datenraum vorhanden sind.

2. Praktische Fruchtbarkeit: Bewältigung der Hyper-Komplexität

In einer "Grünen Virtuellen Fabrik" fallen Datenströme an, die menschliche Operatoren kognitiv überlasten (Ashby's Law of Requisite Variety: *Nur Varietät kann Varietät vernichten*).

- **Datenfusion:** Das M-Q-M verlangt die gleichzeitige Auswertung von energetischen (Q2), materiellen (Q4) und normativen (Q3) Daten. KI ist das einzige Werkzeug, das diese heterogenen Datenformate (Sensordaten, CO2-Zertifikate, Markttrends) in Echtzeit korrelieren kann.
- **Prädiktion statt Reaktion:** Während klassische Regelungstechnik auf Fehler *reagiert* (Feedback), kann KI *antizipieren* (Feedforward). Sie kann vorhersagen, wann die Identität des Systems (Q3) gefährdet ist, bevor die Kennzahlen in Q2 oder Q4 rot blinken.

3. Welche Form der KI bietet sich an? (ab hier Gemini-Vorschlag)

Da das M-Q-M auf einer **strukturierten Logik** (den Quadranten) basiert, wäre eine reine "Black-Box"-KI (wie ein einfaches neuronales Netz, das Input auf Output mappt) **nicht ideal**. Sie würde die feine Architektur des M-Q-M ignorieren und die Erklärbarkeit (Explainability) zerstören.

Die ideale Form ist die **Neuro-Symbolische KI (Neuro-symbolic AI)**.

Die Verteilung der KI-Methoden auf die Quadranten

Um das M-Q-M optimal zu unterstützen, sollte man nicht *eine* riesige KI nutzen, sondern eine **Föderation von spezialisierten KI-Agenten** (Multi-Agenten-System), die den Logik-Modulen entsprechen:

Quadrant	Funktion im M-Q-M	Empfohlene KI-Methode	Warum?
Q2 (Kinetik)	Optimierung des Flusses	Reinforcement Learning (RL)	Ein RL-Agent lernt durch "Belohnung" (Durchsatz), wie er den Fluss unter wechselnden Bedingungen maximiert. Er ist der perfekte "Antreiber".
Q4 (Potential)	Prognose von Beständen/Zuständen	LSTM / Transformer (Time Series Forecasting)	Diese Netze sind spezialisiert darauf, zeitliche Reihen (Historie) zu analysieren und zukünftige Engpässe oder Überläufe (Sättigung) vorherzusagen.
Q3 (Identität)	Mustererkennung & Strategie	Causal AI / Knowledge Graphs	Hier geht es um <i>Verstehen</i> und <i>Sinn</i> . Ein Wissensgraph kann die Identität der Fabrik ("Wir sind ein nachhaltiger Betrieb") abbilden. Causal AI erkennt, <i>warum</i> Dinge passieren (Ursache-Wirkung), nicht nur Korrelationen.
Q1 (Transjunktion)	Entscheidung & Regelung	Neuro-Fuzzy-Systeme oder Explainable AI (XAI)	Hier muss zwischen den "Wahrheiten" von Q2 und Q4 entschieden werden. Fuzzy-Logik eignet sich perfekt, um unscharfe Übergänge ("Energie ist <i>ziemlich</i> teuer, Lager ist <i>fast</i> voll") in klare Schaltbefehle zu übersetzen.

Warum Neuro-Symbolische KI?

Diese Disziplin vereint zwei Welten:

1. **Symbolische KI (Logik/Regeln):** Hier wird die Struktur des M-Q-M (die Quadranten, die Axiome der PKT, die physikalischen Erhaltungssätze) fest verdrahtet. Das garantiert, dass die KI nicht "halluziniert" oder physikalisch Unmögliches tut.
2. **Neuronale KI (Lernen/Daten):** Hier werden die Parameter innerhalb der Quadranten (z.B. Effizienz in Q2, Prognosen in Q4) durch Deep Learning aus den Datenströmen gelernt.

4. Das Herzstück: Der "KI-Transjunktork" in Q1

Der innovativste Schritt wäre der Einsatz eines **Meta-Learning-Algorithmus** in Q1.

- **Funktion:** Dieser Algorithmus lernt nicht, wie man eine Maschine steuert (das macht Q2), sondern er lernt, **welche Logik wann anzuwenden ist**.
- **Szenario:**
 - Phase A: Energie ist billig. Der KI-Manager (Q1) gibt dem RL-Agenten in Q2 (Durchsatz) 80% Stimmgewicht.
 - Phase B: Energiepreise explodieren. Der KI-Manager erkennt eine Gefährdung der Identität (Q3: "Wir müssen profitabel bleiben"). Er entzieht Q2 das Stimmrecht und übergibt die Führung an Q4 (Sparmodus).
- **Vorteil:** Das System verhält sich **polykontextural**. Es stürzt nicht ab, weil Q2 und Q4 widersprüchliche Ziele haben, sondern es *wechselt die Perspektive*.

Zusammenfassung

Die Integration von KI ist **zwingend erforderlich**, um die Theorie praktisch nutzbar zu machen.

Empfohlene Architektur:

Ein **hybrides Multi-Agenten-System** auf Basis von **Neuro-Symbolischer KI**.

- Nutzen Sie **Deep Learning** für die Wahrnehmung (Q2/Q4: Was passiert gerade?).
- Nutzen Sie **Symbolische Logik (PKT)** für die Entscheidung (Q1: Welche Regel gilt jetzt?).
- Nutzen Sie **Causal AI** für die Reflexion (Q3: Passt das noch zu unseren Zielen?).

Dies verhindert, dass die Simulation zur "Black Box" wird, und erhält die wissenschaftliche Strenge des M-Q-M, während es gleichzeitig die enorme Adaptivität moderner KI nutzt.

Implementation eines solchen Neuro-Symbolischen Multi-Agenten-Systems in einer Simulationsumgebung wie FERAL

Phase 1: Die Basis – Die Datenebene (Q4 & Q2 Input)

Bevor KI laufen kann, muss das System „fühlen“.

- **Wann:** Sofort (Initialisierung der Simulation).
- **Wo:** In der **Verwaltungsschale (Asset Administration Shell - AAS)** der Maschine/Anlage.
- **Wie:**
 - Definition der **State-Vektoren**. Wir benötigen standardisierte Datenpunkte.
 - *Beispiel-Vektor:* [Energieverbrauch_kW, Durchsatz_Stück_pro_min, Lagerfüllstand_%, CO2_Preis_€, Aktueller_Modus].
- **Die KI-Vorbereitung:**
 - Normalisierung der Daten (Skalierung auf 0..1), damit die neuronalen Netze damit arbeiten können.

Phase 2: Implementierung der "Fach-Agenten" (Q2 & Q4)

Diese KIs sind Spezialisten. Sie arbeiten parallel und unabhängig voneinander.

Schritt 2.1: Der Q2-Agent (Der "Antreiber")

- **Ziel:** Kinetik maximieren (Fluss).
- **KI-Form: Reinforcement Learning (RL)** (z.B. PPO - Proximal Policy Optimization).
- **Wo:** Als Python-Skript, das im FERAL-Simulationsloop aufgerufen wird.
- **Input:** Aktueller Durchsatz, Maschinenstatus.
- **Aktion:** Vorschlag für Maschinengeschwindigkeit (target_speed).
- **Reward-Funktion (Lernziel):** +1 für jedes produzierte Stück, -1 für Stillstand.
- **Wirkung:** Dieser Agent wird immer versuchen, die Simulation ans physische Limit zu fahren. Er repräsentiert den "Willen zur Leistung".

Schritt 2.2: Der Q4-Agent (Der "Mahner")

- **Ziel:** Potential bewahren, Risiken minimieren.
- **KI-Form: LSTM (Long Short-Term Memory)** oder **Transformer** (Zeitreihenvorhersage).
- **Wo:** Parallel zum Q2-Agenten.
- **Input:** Historische Verbrauchsdaten, Lagerbestände, CO2-Emissionswerte der letzten Stunde.
- **Aktion:** Prädiktion (forecast). Er gibt eine Wahrscheinlichkeit für kritische Zustände aus (z.B. "80% Wahrscheinlichkeit für CO2-Limit-Überschreitung in 10 Min").
- **Wirkung:** Dieser Agent liefert die "Bremssignale" aus der Zukunft. Er repräsentiert die physikalische und ökologische Realität.

Phase 3: Die Implementierung der Identität (Q3)

Hier kommt das "Wissen" und der "Sinn" ins Spiel.

Schritt 3: Der Q3-Agent (Der "Strategie-Wächter")

- **Ziel:** Abgleich mit dem "Leeren Raum" (Idealzustand) und der Identität.
- **KI-Form: Causal AI / Wissensgraph (Ontologie).**
- **Wo:** Auf der Ebene des Hypersystems (Fabrik-Ebene).
- **Wie:**
 - Hinterlegt ist ein Wissensgraph: „*Wir sind eine Grüne Fabrik. Priorität 1 = CO2-Neutralität. Priorität 2 = Liefertreue.*“
- **Input:** Die Signale von Q2 (Will schnell sein) und Q4 (Warnt vor CO2).
- **Aktion:** Setzen des **Kontext-Modus**.
 - Wenn Q4 eine Gefahr meldet, prüft Q3 im Graphen: "Ist CO2-Verletzung akzeptabel?" -> Antwort: "Nein".
 - Output: Context_Mode = "SUSTAINABILITY_FIRST"
- **Wirkung:** Dieser Agent bestimmt die "Spielregeln" für den nächsten Zeitschritt. Er verändert nicht die Maschine direkt, sondern die Logik der Entscheidung.

Phase 4: Das Herzstück – Die Transjunktion (Q1)

Hier wird die Entscheidung getroffen und physikalisch umgesetzt.

Schritt 4: Der Q1-Controller (Der "Entscheider")

- **Ziel:** Transformation von Wille (Q2) und Widerstand (Q4) in eine Handlung, basierend auf dem Modus (Q3).
- **KI-Form: Neuro-Fuzzy-System** (z.B. ANFIS - Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System).
- **Wo:** Im Steuerungskern der virtuellen SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung).
- **Funktionsweise (Die Polykontextualität in Code):**
Das System bekommt Inputs von Q2 (Vorschlag: 100% Speed), Q4 (Warnung: Hoch) und Q3 (Modus: Grün).

Logik-Tabelle (Fuzzy Rules):

1. IF (Modus == "Performance") AND (Q2 == "Push") THEN (Output = 100%).
 2. IF (Modus == "Green") AND (Q4_Warnung == "High") THEN (Output = 50% [Drosselung]).
 3. IF (Modus == "Green") AND (Q4_Warnung == "Critical") THEN (Transjunktion -> Wechsel in "Notlauf" -> Output = 0%).
- **Wirkung:** Q1 berechnet den **tatsächlichen Stellwert** für die Simulation. Hier wird der Widerspruch aufgelöst. Das System entscheidet "autonom", ob es dem Kinetik-Trieb (Q2) oder dem Potential-Erhalt (Q4) folgt.

Phase 5: Die z-Achse – Lernen und Evolution

Damit das System nicht dumm bleibt.

Schritt 5: Der Feedback-Loop (Historische Zeit)

- **Wann:** Nach jedem Simulationslauf oder in zyklischen Intervallen (z.B. jede "virtuelle Schicht").
- **Was:**
 - Die getroffenen Entscheidungen (Q1) und ihre Ergebnisse (Q4 real) werden gespeichert.
 - **Retraining:** Der Q2-Agent (RL) bekommt sein Feedback ("Du warst schnell, aber wir haben zu viel Energie verbraucht -> Strafe"). Er passt seine Strategie für den nächsten Lauf an.
 - **Drift-Detection:** Der Q3-Agent prüft, ob die Identität noch passt. Wenn das System dauerhaft seine Ziele verfehlt, meldet Q3 an den Menschen: "Strukturelles Problem – Identität/Anlagenpark muss angepasst werden."

Zusammenfassung der Architektur für die Entwickler

Wenn Sie dies an Ihr IESE-Team oder Software-Entwickler weitergeben, ist dies die **technische Spezifikation:**

1. **Interface:** Python-Wrapper um die FERAL-Engine.
2. **Agent Q2:** Stable-Baselines3 (Python Library für RL) -> Lernt optimale Geschwindigkeit.
3. **Agent Q4:** PyTorch (LSTM Modell) -> Vorhersage von Energie/Verschleiß.
4. **Agent Q3:** Neo4j oder einfaches JSON-Regelwerk (Ontologie) -> Definiert den aktuellen "Geltungsbereich".
5. **Agent Q1:** Eine Python-Klasse Transjunction Controller, die die Outputs von Q2 und Q4 gewichtet, basierend auf dem State von Q3.