

Kapitel 4: Didaktisches Stufenmodell zur Konstruktion eines funktional-relationalen Bezugssystems

4.1 Stufe 1 – 2D: Operative Ebene und Begrenzung

In der ersten Stufe lernen die Anwender, einfache zwei-dimensionale Räume mit festen Bezugspunkten zu nutzen. Diese Darstellung ist verbreitet und entspricht der gewohnten Repräsentation vieler technischer Systeme – von der Maschinenzeichnung bis zur Visualisierung von Bewegungsprofilen. Wichtig ist hier das Verständnis von Position, Orientierung und der Unterscheidung zwischen Objekt und Hintergrund. Grenzen der 2D-Darstellung zeigen sich, sobald Interaktionen in mehreren Ebenen (z. B. Hindernisvermeidung) oder perspektivische Effekte berücksichtigt werden müssen.

4.2 Stufe 2 – 3D: Erweiterung um Tiefe und Richtung

Die Einführung der dritten Dimension bedeutet eine kognitive Erweiterung, die räumliche Vorstellungskraft und ein dynamisches Koordinatensystem erfordert. Viele technische Systeme, etwa CAD, Robotik-Umgebungen oder VR-Systeme, arbeiten in 3D – aber oft nur geometrisch, nicht funktional. In dieser Phase lernen die Anwender, Bewegungen im Raum darzustellen, Kollisionen zu erkennen und Transformationen (Rotation, Translation) zu interpretieren. Zentral ist das Verständnis, dass Objekte sich nicht nur im Raum befinden, sondern auch Relationen zwischen sich bilden.

4.3 Stufe 3 – 4D: Zeit als dynamische Ordnung

Zeit wird häufig als rein sequentielle Größe betrachtet, nicht als integraler Bestandteil des Raumes. Diese Stufe führt die Lernenden in die Verknüpfung von Raum und Zeit als vierdimensionales Koordinatensystem ein. Ziel ist es, Veränderung, Kausalität und Bewegung nicht nur als Abfolge, sondern als strukturierte Zustandsveränderung zu begreifen. Das führt zur Entwicklung von Weltlinien, Ereignisräumen und kausalen Netzen – erste Schritte zur funktional-relationalen Modellbildung.

4.4 Stufe 4 – Funktional-relational: Bezugssystem als Systemstruktur

Hier erfolgt die methodische Wende: Das Bezugssystem ist nicht mehr geometrisch vorgegeben, sondern wird durch die Eigenschaften, Wahrnehmungen und Handlungsoptionen des Systems selbst definiert. Lernende erfassen, dass jedes beobachtende System seine eigene Raumzeitstruktur konstruiert. Unterschiedliche Branen (z. B. verschiedene Roboter oder Agenten) konstruieren individuelle Wirklichkeitsausschnitte, die über Interaktion gekoppelt werden müssen. Diese Stufe ist die Basis für alle höheren Modellierungen.

4.5 Didaktische Prinzipien: Spiralisches Lernen, Fehlermuster, Abstraktion durch Handlung

Das didaktische Modell stützt sich auf das Spiralprinzip (Bruner), Piagets Konstruktivismus und Ansätze aus der systemischen Pädagogik. Lernende wiederholen Inhalte auf höheren Abstraktionsebenen mit wachsender Tiefe. Fehler werden als Lernchancen genutzt – insbesondere dann, wenn Diskrepanzen zwischen geometrischer und funktionaler

Vorstellung auftreten. Lernen geschieht durch modellbildendes Handeln, nicht durch abstrakte Definition allein.

4.6 Empirische Hypothese: Warum 95% der Anwender ohne gezielte Didaktik keine 4D-Raumzeit internalisieren

Zahlreiche informelle Interviews und Praxiserfahrungen belegen: Selbst erfahrene Ingenieurinnen und Entwicklerinnen operieren meist implizit in 2D oder 3D, ohne eine explizite Integration der Zeit in ihre Systemmodelle. Erst durch gezielte didaktische Interventionen – z. B. Simulationen, Reflexionen über Referenzrahmen oder Systemgrenzen – kann das Verständnis von Raumzeitrelationen aufgebaut werden. Ohne diese Intervention bleibt die Komplexität unsichtbar.

4.7 Lernzielkatalog und Modellbausteine zur Vermittlung des Raumzeitkonzepts

- Lernende erkennen den Unterschied zwischen externen und internen Koordinatensystemen.
- Sie konstruieren funktionale Bezugssysteme anhand technischer Anwendungsbeispiele (z. B. Robotik).
- Sie vergleichen die Wahrnehmungsräume unterschiedlicher Systeme (Branen).
- Sie analysieren emergente Eigenschaften aus dem Zusammenspiel mehrerer Akteure.
- Sie entwickeln eigene didaktische Szenarien zur Vermittlung des Raumzeitbegriffs.

Anhang: Methodisch-didaktische Strukturelemente zur gestuften Vermittlung

Um die komplexen Modellinhalte nachhaltig zu vermitteln, wird ein granularer Ansatz gewählt, der fünf didaktische Felder voneinander trennt und gezielt verbindet. Dabei steht der Mensch als Lehrender im Zentrum jeder Vermittlungssituation – zur Identifikation, Reflexion und dialogischen Begleitung. Die KI bleibt unterstützendes Werkzeug, nicht didaktischer Akteur.

1. Wissensvermittlung

- Ziel: Aufbau eines fachlich fundierten Vorwissens.
- Methoden: Kurvvorträge, strukturierte Lektüre, grafische Übersichten, Formelsammlungen.
- Fokus: Begriffsklärung, Konzepte, Präzision.

2. Förderung des Vorstellungsvermögens

- Ziel: Entwicklung mentaler Modelle.
- Methoden: Visualisierungen, VR/AR, dynamische Simulationen, animierte Transformationen.
- Fokus: Anschauung, Erlebnis, Perspektivwechsel.

3. Experimentelles Lernen

- Ziel: Erkenntnis durch aktives Handeln.

- Methoden: Konstruktion eigener Szenarien, Manipulation digitaler/physischer Modelle, kollaborative Aufgaben.
- Fokus: exploratives und erfahrungsorientiertes Lernen.

4. Reflexion

- Ziel: Bewusstwerdung der eigenen Denkstruktur.
- Methoden: Lerntagebuch, Gruppendialog, Reflexionsfragen, Selbsttests.
- Fokus: epistemische Auseinandersetzung.

5. Transferkompetenz

- Ziel: Anwendung auf neue Kontexte.
- Methoden: Mini-Projekte, didaktische Modellentwicklung, fachübergreifende Szenarien.
- Fokus: Kreative Anwendung und Verständnistiefe.