

Mathias Dreier

Einführung in das Systems Engineering

Fallstudie: Transformation der maritimen Industrie

Was hat ein Jahr in Japan mit der Dekarbonisierung der Schifffahrt zu tun? Auf den ersten Blick wenig. Und doch erzählen beide Geschichten vom selben Thema – von Transformation, dem heurigen PRO SCIENTIA Jahresthema. In meinem Vortrag habe ich versucht, beide Fäden zusammenzuführen: die persönliche Verwandlung, die das Leben in einer fremden Kultur mit sich bringt, und die technische Transformation einer ganzen Industrie auf ihrem Weg zur Klimaneutralität, die ich in meiner Masterarbeit mit den Methoden des *Systems Engineering* (SE) begleitet habe.

Über mich und mein Institut

Seit 2025 bin ich Universitätsassistent am Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik (IME) der Technischen Universität Graz und promoviere im Bereich der digitalen Produktentwicklung, mit Fokus auf die Integration künstlicher Intelligenz in ingenieurwissenschaftliche Arbeitsabläufe. Das IME deckt in Forschung und Lehre den gesamten Produktentwicklungsprozess entlang des V-Modells¹ ab: vom Systementwurf mit Anforderungen und Systemarchitektur über die disziplinspezifische Entwicklung in Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software bis zur Systemintegration, Verifikation und Validierung. Die Forschungsschwerpunkte reichen von klassischen Maschinenelementen – etwa Antriebssystemen, Tribologie und schnell drehenden Maschinen – bis zu den Entwicklungsmethodiken, darunter *Model-Based Systems Engineering* (MBSE), Prozess- und Methodenmodellierung sowie der Einsatz von KI-Agenten in der Systementwicklung.

Ein Jahr in Japan: Transformation im Persönlichen

Den Ausgangspunkt bildete mein Austauschjahr an der University of Tokyo (2022–2023). Geplant war ein Auslandssemester – geblieben bin ich ein Jahr: Aus Kontakten zu AVL wurde ein einmonatiges Vollzeitpraktikum bei AVL Japan in Tokio, aus einer Idee eine

¹ V-Modell = Ein etabliertes Vorgehensmodell der Produktentwicklung. Auf dem linken Ast wird das System von oben nach unten entworfen – vom Gesamtsystem mit seinen Anforderungen und der Architektur bis hinunter zu den einzelnen Komponenten. Auf dem rechten Ast wird es von unten nach oben wieder zusammengesetzt und getestet – bis geprüft ist, dass das Gesamtsystem korrekt funktioniert (Verifikation) und die Anforderungen erfüllt (Validierung).

Forschungsk Kooperation zwischen der TU Graz und der University of Tokyo, die ich in Eigeninitiative aufbauen durfte.

Japan hat mich gefordert wie kein Ort zuvor – und gerade deshalb inspiriert. Was mich am meisten geprägt hat, waren nicht die Sehenswürdigkeiten, sondern der Alltag: die Selbstverständlichkeit von Respekt und Rücksichtnahme, die Rituale, die dem Tag Struktur geben, ein Gemeinschaftssinn, der sich in unzähligen kleinen Gesten zeigt. Um wirklich anzukommen, belegte ich Japanischkurse und suchte den Austausch abseits der Universität – in Gesprächen, die anfangs oft mit Händen und Füßen geführt wurden und aus denen Freundschaften entstanden sind, die bis heute halten. Auch die spirituelle Seite des Landes ließ mich nicht los: die Verbindung von Shinto- und buddhistischen Traditionen, ein Weltverständnis, das Harmonie und Achtsamkeit betont. Nach diesem Jahr bin ich offener, reflektierter und interdisziplinärer zurückgekommen, als ich losgeflogen bin.

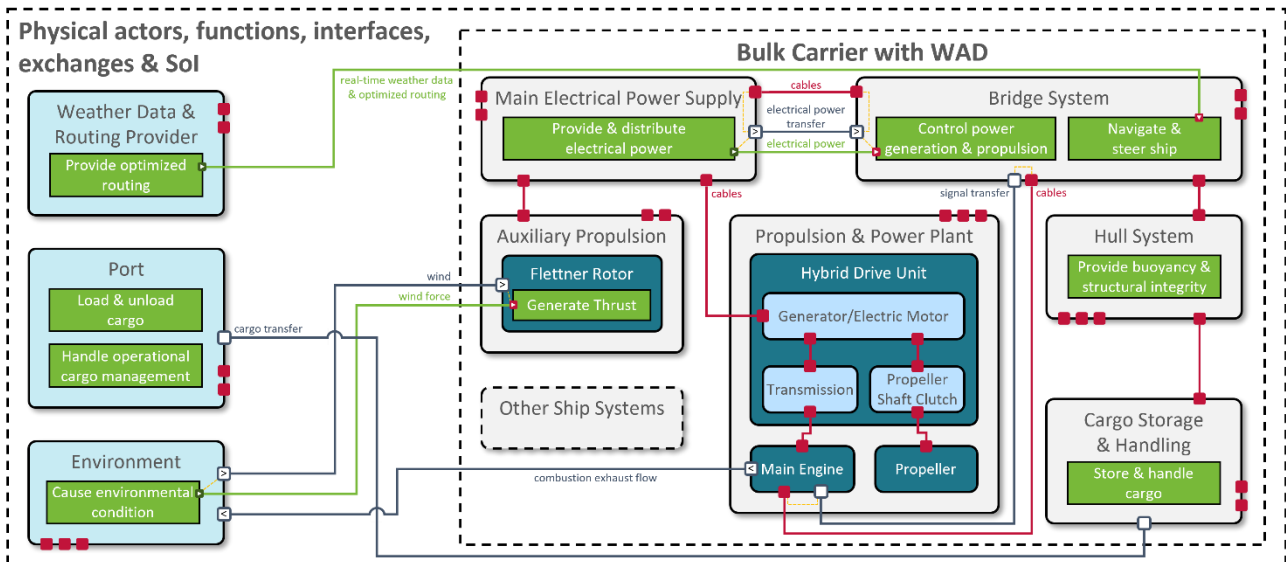
Warum erzähle ich das in einem Vortrag über *Systems Engineering*? Weil genau diese Haltung – genau hinsehen, zuhören, Perspektiven wechseln – der Kern dessen ist, was *Systems Engineering* methodisch verlangt.



Eindrücke aus Japan: Chureito-Pagode beim Arakura-Sengen Schrein in Kawaguchiko mit Blick auf den Fuji zur Kirschblüte (links) und Kiyomizu-dera Tempel in Kyoto im Herbst (rechts). Fotos: privat.

Systems Engineering: Systeme verstehen, bevor man sie baut

Technische Systeme werden zunehmend interdisziplinär: Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software greifen immer enger ineinander. Zugleich arbeiten die technischen Disziplinen häufig in Silos, wodurch Schnittstellen und Wechselwirkungen zwischen ihnen unklar bleiben – eine der häufigsten Ursachen für Fehlentwicklungen. *Systems Engineering* begegnet dieser Herausforderung mit einer ganzheitlichen Sicht auf das System. Die Systemmodellierung schafft eine gemeinsame Sprache über Disziplinengrenzen hinweg und ermöglicht Nachvollziehbarkeit (Traceability) von den Anforderungen bis zur technischen Lösung. Ein Systemmodell beschreibt das System hinsichtlich seiner Anforderungen, seiner Struktur, seines Verhaltens und seiner Randbedingungen. Zentrale Denkfigur ist das Systemdenken: Ein System wird zunächst als Black Box mit Energie-, Stoff- und Signalflüssen betrachtet, dann werden Systemgrenzen, Umgebung, Subsysteme und deren Beziehungen schrittweise präzisiert.



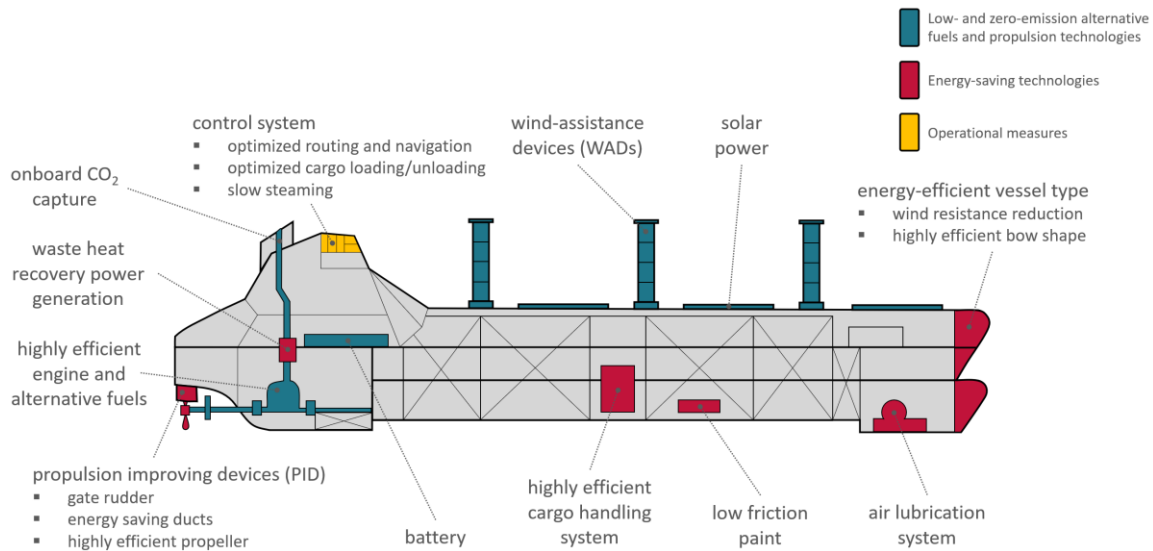
Physische Architektur des Massengutfrachters mit integriertem WAD²: Subsysteme, Funktionen und Schnittstellen des Sol³ in strukturell-hierarchischer und funktionaler Sicht – das Ergebnis der vierten Arcadia-Phase (Physical Architecture). Vereinfachte Darstellung; das vollständige Architekturmodell wurde in Capella erstellt. Quelle: eigene Darstellung aus der Masterarbeit (Dreier 2025).

Fallstudie: Transformation der maritimen Industrie

Wie das konkret aussieht, zeigte ich an meiner in Tokio entstandenen Masterarbeit „MBSE in the Maritime Industry“. Die internationale Seeschifffahrt verursacht rund drei Prozent der globalen CO₂-Emissionen – in absoluten Zahlen vergleichbar mit dem Ausstoß eines großen Industrielandes – und wächst mit dem Welthandel weiter. Zugleich hat die *International Maritime Organization* (IMO) 2023 das Ziel von Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis etwa 2050 beschlossen und damit einen ambitionierten Rahmen gesetzt, der die gesamte Branche unter Handlungsdruck stellt. Reedereien stehen dadurch in einem mehrfachen Spannungsfeld: Dekarbonisierung versus Gesetzgebung versus Kosten sowie Pünktlichkeit versus Umwelt versus Marktanforderungen. Erschwerend kommt hinzu, dass Schiffe über Jahrzehnte im Einsatz bleiben – Investitionsentscheidungen von heute prägen die Emissionen also weit in die Zukunft. Technisch steht dabei kein einzelner Königsweg zur Verfügung, sondern ein ganzes Bündel an Ansätzen: von alternativen Kraftstoffen und Antriebstechnologien über energiesparende Technologien bis zu operativen Maßnahmen wie optimiertem Routing oder reduzierter Geschwindigkeit. In der Praxis werden diese Maßnahmen meist kombiniert, um die Ziele überhaupt erreichbar zu machen. Der Fokus der Fallstudie lag auf windunterstützten Antriebssystemen, konkret auf Flettner-Rotoren: rotierende Zylinder an Deck, die über den Magnus-Effekt – dasselbe physikalische Prinzip, das auch einen angeschnittenen Fußball krumm fliegen lässt – aus dem natürlichen Wind zusätzlichen Vortrieb erzeugen und unter günstigen Bedingungen bis zu 20 Prozent Treibstoff einsparen können.

² WAD = Wind-assistance device (windunterstützendes Antriebssystem), z. B. ein Flettner-Rotor.

³ Sol = System of Interest, also das betrachtete System – hier der Massengutfrachter.



Technische Lösungen für die Transformation zu Netto-Null-Emissionen: alternative Kraftstoffe und Antriebstechnologien, energiesparende Technologien und operative Maßnahmen am Massengutfrachter.
Quelle: eigene Darstellung aus der Masterarbeit (Dreier 2025).

Methodisch wurde die Integration eines Flettner-Rotors in einen bestehenden Massengutfrachter mit der Arcadia-Methode im Open-Source-Werkzeug Capella modelliert – ein Ansatz, der das System nicht sofort in Bauteile zerlegt, sondern es schrittweise vom Zweck her erschließt, in vier aufeinander aufbauenden Ebenen. Die *Operational Analysis* erfasst zunächst Stakeholder wie IMO, Reedereien, Werften, Klassifikationsgesellschaften und Häfen samt ihren Interaktionen – also das Umfeld, in dem das Schiff überhaupt operiert, noch ganz ohne technische Festlegung. Die *System Analysis* definiert darauf aufbauend Mission und Fähigkeiten des Schiffssystems in seinem Umfeld: Was muss es leisten, und wo liegen seine Grenzen? Die *Logical Architecture* integriert die Emissionsreduktionslösungen lösungsneutral in die innere Struktur des Systems – sie beschreibt, welche Funktionen zusammenwirken müssen, bevor entschieden ist, durch welche konkrete Technik sie erfüllt werden. Dieser bewusste Verzicht auf eine zu frühe technische Festlegung hält den Lösungsraum offen und erlaubt es, verschiedene Varianten fair gegeneinander abzuwägen. Die *Physical Architecture* schließlich legt die konkreten Subsysteme, Komponenten und Schnittstellen fest – wie in der Abbildung oben, in der der Flettner-Rotor als Auxiliary Propulsion in den Massengutfrachter eingebettet ist und über klar definierte Schnittstellen mit den übrigen Subsystemen wie Antrieb, Energieversorgung und Brücke verknüpft wird. Jede Ebene baut dabei lückenlos auf der vorherigen auf, sodass sich jede technische Entscheidung bis zu ihrem ursprünglichen Zweck zurückverfolgen lässt – eine Eigenschaft, die im Systems Engineering als *Traceability* bezeichnet wird und gerade bei komplexen, langlebigen Produkten entscheidend ist. Dieser durchgängige, nachvollziehbare Weg von den Stakeholdern bis zur technischen Lösung ist der Kern des Systems-Engineering-Gedankens – und der Grund, warum sich der Ansatz auch auf ganz andere Branchen übertragen lässt.

Die Ergebnisse meiner Masterarbeit durfte ich 2024 als Paper auf dem 24. *INCOSE⁴ International Symposium* in Dublin präsentieren – mein erster Beitrag als Erstautor und mein erster Auftritt auf einer großen Bühne. Die Masterarbeit selbst ist später als Buch im Verlag der TU Graz erschienen.



Auf dem 24. *INCOSE International Symposium 2024* in Dublin – obligatorisches Selfie (links) und bei der Präsentation auf der Bühne (rechts). Fotos: privat.

Zwei Transformationen, eine Erkenntnis

Ob eine globale Industrie klimaneutral werden soll oder ein Mensch in einer fremden Kultur ankommen möchte – beides gelingt nicht durch isolierte Einzelmaßnahmen, sondern durch ein Verständnis des Ganzen: seiner Akteure, Beziehungen und Wechselwirkungen. Das *Systems Engineering* hat mir dafür die Methodik gegeben, Japan die Haltung. In der anschließenden Diskussion wurde vor allem die Übertragbarkeit des Ansatzes auf andere Branchen erörtert – und die Frage, welche Rolle künstliche Intelligenz in zukünftigen Entwicklungsprozessen spielen wird. Eine Frage, die mich seither nicht mehr loslässt: Sie ist der Kern meines Dissertationsvorhabens.

⁴ International Council on Systems Engineering = Weltweiter Fachverband für Systems Engineering

Literaturverzeichnis

Dreier, M. (2025). MBSE in the Maritime Industry – Enabling Digital Transformation for CO2 Reduction through Wind-assisted Ship Propulsion. Graz: Verlag der TU Graz. ISBN: 978-3-99161-044-1.

Dreier, M., Bajzek, M., Hick, H., Michels, N., Burchardt, C., & Aoyama, K. (2024). Application of the ARCADIA Method on a Bulk Carrier Vessel Equipped with a Wind-assistance Device. In: INCOSE International Symposium – Volume 34 (July 2024). International Council on Systems Engineering (INCOSE). URL: <https://doi.org/10.1002/iis2.13130>.

Hick, H., Küpper, K., & Sorger, H. (Eds.). (2021). Systems Engineering for Automotive Powertrain Development. First edition. Cham: Springer. ISBN: 978-3-319-99628-8. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-99629-5>.

INCOSE. (2023). Systems Engineering Handbook. Document Nr.: INCOSE-TP-2003-002-05. International Council on Systems Engineering (INCOSE). Hoboken: John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-119-81429-0.

International Maritime Organization (IMO). (2023). 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. London: International Maritime Organization. At: Marine Environment Protection Committee (MEPC 80).

Roques, P. (2018). Systems Architecture Modeling with the Arcadia Method – A Practical Guide to Capella. London / Oxford: ISTE Press / Elsevier. ISBN: 978-1-78548-168-0.