

# Zur Soziologie des Systems Engineering

Dieter Scheithauer

H-I-T-S Engineering, Dr.-Ing. Dieter Scheithauer  
Breitensteinstraße 26, 83727 Schliersee, dieter.scheithauer@hitseng.eu

Keywords: *Systemtheorie, Feldtheorie, Wissenschaftstheorie, Argumentative Sprache*

**Zusammenfassung:** Im Kern beinhaltet die Systemtheorie eine allgemeine Lösungsmethodik zur approximativen Darstellung gegenseitiger Abhängigkeiten unter Berücksichtigung freier Variabler. Ihre Bedeutung erlangt sie durch ihre Anwendbarkeit auf alle Feldtheorien beginnend mit Isaac Newton („*actio = reactio*“). Allerdings bleiben die Erzählstrukturen argumentativer Sprache dahinter zurück. Mit zunehmender Verbreitung von systemtheoretisch basierten Lösungsansätzen führte diese Diskrepanz in der Philosophie zur sogenannten Linguistischen Wende und die Theorie der Wissenschaften wandelte sich nach Karl Popper zu einer Soziologie der Wissenschaften. In der Darstellung des Systems Engineering in Lehrbüchern und Standards sind diese Entwicklungen bisher nur begrenzt berücksichtigt worden. Im Text werden die Konsequenzen für das Verständnis von Systems Engineering zu einer Soziologie des Systems Engineering verdichtet.

## 1 Einleitung

Der Inhalt dieses Textes baut auf dem Beitrag zum letztjährigen TdSE zu den Grenzen des Systems Engineering auf [1], ist aber auch inhaltlich eng mit den dort enthaltenen Herleitungen verwoben. Drei Aussagen des früheren Textes sind als Anknüpfungspunkte von Relevanz: (i) Systemdenken und Systems Engineering sind in den menschlichen kognitiven Fähigkeiten fundamental verankert. Argumentativer Sprache kommt dabei eine entscheidende Bedeutung zu. (ii) Argumentative Sprache folgt einer Kausalität, die zu einer universalen Beschreibung einer Feldtheorien folgenden Realität nur begrenzt geeignet ist. (iii) Mit der allgemeinen Feedback-Theorie hat Norbert Wiener Erweiterungen der Logik aufgezeigt, wie wechselseitige Abhängigkeiten in ihrem Zeitverlauf sprachlich-kausal approximiert werden können.

Die Argumentation des früheren Textes wird hier um die historische Dimension erweitert und hinsichtlich der Schlussfolgerungen ergänzt. Im Geschichtsverlauf verdichten sich die Aussagen zu einer Soziologie des Systems Engineering. Der Diskussionsschwerpunkt liegt auf der Diskrepanz der Systemtheorie mit ihren geschlossenen Wirkungsketten und der Kausalität argumentativer Sprache, so wie sie David Hume zutreffend im achtzehnten Jahrhundert formuliert hat [2]. Ideengeschichtlich wird diese Diskrepanz im Laufe der Philosophie- und Wissenschaftsgeschichte immer wieder evident, ohne dass schon eine Systemtheorie formuliert worden wäre. Aufgrund der engen Korrespondenz realer Phänomene mit systemtheoretischen Modellen, die wechselseitige Abhängigkeiten approximieren können,

lassen sich auch früher erkannte Grenzen und Paradoxien sprachlicher Argumentation teils als lösbare systemtheoretische Problemstellungen interpretieren.

Es ist sinnvoll zu untersuchen, wie mit der Diskrepanz zwischen Systemtheorie und argumentativer Sprache im Lauf der Geschichte umgegangen wurde. Die Historie lässt sich dafür in drei Abschnitte unterteilen: die Zeit vor Etablierung der neuzeitlichen Wissenschaften, die Entwicklung der Wissenschaftstheorie bis zur Formulierung der allgemeinen Systemtheorie und die Entwicklungen der letzten achtzig Jahre, nachdem Norbert Wiener allgemeine Grundlagen der Systemtheorie formuliert hatte [3]. Daraus lassen sich Schlussfolgerungen zur Bewertung des gegenwärtigen Erkenntnisstandes der Systems-Engineering-Theorie und Empfehlungen zu deren Weiterentwicklung ableiten.

## 2 Frühformen von Systemdenken und Systems Engineering

Einerseits betrachten wir Systems Engineering als neuzeitliche Errungenschaft der letzten achtzig Jahr, nachdem Norbert Wiener mit seiner allgemeinen Feedback-Theorie neue Möglichkeiten zur Modellierung und Analyse komplexer Systeme eröffnet hatte. Andererseits berufen wir uns hinsichtlich des Systemdenkens gern auf Aristoteles Metaphysik. Dazwischen liegen mehr als zwei Jahrtausende. Die Annahme, in dieser Zeit sei in Sachen Systems Engineering nichts oder nur wenig passiert, ist durch die historische Evidenz leicht widerlegbar. Man denke hier zum Beispiel an das Aquädukt von Nîmes, für dessen Konzeption, Errichtung und Betrieb vielfältiges naturwissenschaftliches und technisches Wissen sowie der Einsatz umfangreicher materieller und personeller Ressourcen erforderlich waren.

Um die Entwicklungen nachzeichnen zu können, müssen wir Systems Engineering weniger fokussiert auf neuzeitliche Kontexte definieren. Hilfreich sind hierzu kognitions-wissenschaftliche Erkenntnisse [4]. Wenn wir Systemdenken als Denken in Szenarien begreifen, kommen wir nicht umhin, zumindest allen Wirbeltieren aufgrund der gleichen Basisarchitektur des zentralen Nervensystems ähnliche Fähigkeiten in abgestufter Form zuzugestehen [5]. Wenn wir Systems Engineering allgemein als die innovative Gestaltung von zielorientierten Änderungen von Szenarien mittels des Einsatzes von existierenden oder neu zu entwickelnden Werkzeugen verstehen, trifft dies auch für Systems Engineering zu. Man denke hier an Kaledonische Krähen, die eine Technik entwickelt haben, Raupen aus Spalten mittels aus dünnen Zweigen gefertigter Haken zu angeln. Wie im letzten Jahr ausgeführt, ist die Anthropologie zu der Erkenntnis gelangt, dass wir Menschen uns durch die Fähigkeit zur argumentativen Sprache von allen anderen Arten unterscheiden [6]. Im Gegensatz zu Kaledonischen Krähen sind die Weitergabe von Techniken nicht auf Imitation und kontinuierliche Verbesserungen nicht auf die Intuition anderer Individuen beschränkt. Menschen können kausale Erklärungen für ihre Handlungen vermitteln und argumentativ-sprachliche Theorien entwickeln.

Aristoteles ist nach unserem Wissen die Erkenntnis zuzuschreiben, dass argumentative Aussagen erst durch die kontextuelle Einordnung Bedeutung gewinnen. Diese Einsicht mag er wohl bei der Durchführung seines enzyklopädischen Projekts gewonnen haben, die

physikalische Welt mittels der im Organon definierten Syllogistik und Kategorienlehre zu beschreiben [7]. Es spricht von großer Wahrhaftigkeit, dass er diese Diskrepanzen nicht einfach unter den Tisch hat fallen lassen, sondern in seiner Schrift *Metaphysik* [8] thematisiert hat. In Bezug auf Systemdenken sind zwei Beispiele relevant. An einer Stelle weist er darauf hin, dass die Bedeutungen der Buchstaben *a* und *b* in keinem direkten Zusammenhang zu den Bedeutungen der Silben *ab* oder *ba* stehen. Im zweiten Beispiel stellt er fest, dass die Bauelemente eines Hauses allein noch keine vollständigen Informationen über Aussehen und Funktion des entstehenden Gebäudes liefern. Es ist also keineswegs so, dass Aristoteles Erkenntnis gewesen wäre, das Ganze sei größer als die Summe seiner Teile, was in einem Vortrag vor zwei Jahrzehnten in der Aussage kulminierte, im Systemdenken würde gelten, eins plus eins sei gleich drei. Jedem Bauherren sei angeraten, darauf zu setzen, dass die Bauhandwerker das Gebäude als nach allen Regeln der Handwerkskunst zusammenzufügende Bauelemente betrachten. Vom Architekten ist hingegen zu erwarten, die Handwerkskunst und die Entfaltungsmöglichkeiten der Gebäudenutzer in Passung zu bringen. Aristoteles Erkenntnis lässt sich also durchaus in der Phrase, das Ganze sei mehr als die Summe seiner Teile, zusammenfassen. Nun handelt es sich bei Aristoteles Beispielen um menschliche Erfindungen. Inwieweit diese Erkenntnis auf die Natur übertragbar ist, bleibt offen. Dem Archimedes zugeschriebenen Ausspruch, gebt mir einen festen Punkt und ich hebe euch die Welt aus den Angeln, lässt sich zwar spekulativ eine Einsicht in die Relativität der physikalischen Welt andichten, doch erst die neuzeitliche Wissenschaft hat entsprechende Theorien explizit aufgestellt und validiert.

Bleibt noch die Frage zu klären, warum so wenig von dem naturwissenschaftlich-technischen Wissen der hellenistisch-römischen Antike die Zeit überdauert hat. Zwei geschichtliche Ereignisse spielen eine wesentliche Rolle. Durch die Teilung des römischen Imperiums war Westrom wirtschaftlich und kulturell weitgehend von der hellenistisch geprägten Hemisphäre abgeschnitten. Das Ausbleiben von Papyruslieferungen aus Ägypten leitete einen Niedergang der Schriftkultur ein [9]. Die Umbrüche der Völkerwanderungszeit führten zwar nicht zum Abbruch aller kulturellen Traditionslinien [10], aber hochintegriertes wissenschaftlich-technisches Wissen ging verloren. Die Franken haben nach der Eroberung Kölns den von den Römern hinterlassenen Komfort sicher gern genossen. Sie waren aber nicht in der Lage, die technischen Anlagen zu warten, instand zu halten oder zu rekonstruieren. Hieraus lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass reife Zivilisationen und komplexe Systemtechnik miteinander verschränkt sind. Mit dem Zusammenbruch der Zivilisation geht auch der Verlust wissenschaftlich-technischen Wissens einher. Von diesen Verlusten hatte sich die Philosophie der Sprache im Hochmittelalter erholt, als William of Ockham im Universalismus-/Nominalismusstreit postulierte, Sprache sei menschengemacht. Er widersprach somit dem kirchlichen Anspruch einer von Gott gegebenen, Wahrheitsvorstellungen erfüllenden Sprache. Philosophisch ist der kirchliche Wahrheitsanspruch auf Platon zurückzuführen. In seinem Höhlengleichnis wertet er die sinnliche Empirie nur als Schatten einer Ideenwelt, die eine höhere, wahre Wirklichkeit repräsentiere [11]. Folglich wurde William of Ockham der Häresie beschuldigt und exkommuniziert. Ihn ereilte ein ähnliches Schicksal wie Galileo Galilei hunderte Jahre später. Er konnte sich nach München in den Schutzbereich des ebenfalls exkommunizierten Kaisers zurückziehen [12].

### 3 Spielarten des Positivismus

Die europäische Aufklärung im achtzehnten Jahrhundert brachte den Durchbruch empirischer Wissenschaft. Seitdem lassen sich drei Phasen positivistischer Weltanschauungen identifizieren. In der geistesgeschichtlichen und wissenschaftstheoretischen Forschung existieren etliche Bezeichnungen und Unterscheidungen. Zur Durchgängigkeit der Gedankenführung wird diese Vielfalt unter dem Thema Spielarten des Positivismus subsumiert.

Die erste Phase lässt sich als naiver Positivismus bezeichnen. Da wird ganz im Sinne August Comtes [13] gemessen und experimentiert. Gesetzmäßigkeiten werden mathematisch formuliert. Hypothesen und Theorien werden aufgestellt und überprüft [14]. Das Ergebnis all dieser Bemühungen kulminierte in den heute gültigen Feldtheorien: Natürliche Phänomene entfalten sich in wechselseitigen kontextuellen Abhängigkeiten, so wie schon in den naturphilosophischen Überlegungen der Aufklärung formuliert [15].

Die zweite Phase ist von der Frage nach den Grenzen menschlicher Erkenntnisfähigkeit geprägt. Die Aufmerksamkeit wendet sich sensorischen und kognitiven Fähigkeiten zu. Eine zentrale Figur nimmt hier der Physiker und Philosoph Ernst Mach ein. Er beeinflusste die weitere Entwicklung der Wissenschaften in vielfältiger Hinsicht. Relativitäts- und Quantentheorie bauten auf der Vorarbeit auf, den Einfluss menschlicher Wahrnehmungsfähigkeiten und den Standpunkt des Beobachters ins Kalkül einzubeziehen. Die aufkommende experimentelle Psychologie profitierte generell und führte zu den Erkenntnissen der Gestaltpsychologie, die heute im Rahmen der Kognitionspsychologie durch moderne messtechnische Verfahren der Neurowissenschaften kontinuierlich bestätigt werden. Der amerikanische Pragmatismus wurzelt tief im schottisch-englischen Empirismus [16], ist aber auch ohne den Einfluss Ernst Machs kaum denkbar. Angemerkt sei hier, dass Norbert Wiener philosophisch im amerikanischen Pragmatismus beheimatet war [17].

Ernst Mach hat aber insbesondere die weitere Entwicklung der Wissenschaftstheorie direkt beeinflusst, als sich nach dem Durchbruch der Relativitäts- und Quantentheorien Philosophen und andere Wissenschaftler in einer dritten Phase des Positivismus zum *Kreis Ernst Mach* zusammenfanden, der in der ersten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts als *Wiener Kreis* reüssierte [18]. Zusammen mit mehr gestalttheoretisch geprägten Philosophen und Wissenschaftler aus Berlin – heute auch als *Berliner Gruppe* bezeichnet [19] – veranstaltete man gemeinsame Symposien und gab die Zeitschrift *Erkenntnis* heraus. Die wissenschaftstheoretischen Ergebnisse werden heute unter dem Titel *logischer Empirismus* oder auch *logischer Positivismus* zusammengefasst. Inhaltlich setzte man sich mit den philosophischen Implikationen der großen physikalischen Entdeckungen zu Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts auseinander. Allgemeine Relativitätstheorie und Quantenmechanik generieren eine physikalische Weltvorstellung, die sinnlich nicht wahrnehmbar ist, ohne schon vorab an die Gültigkeit der Transformationsbeziehungen zwischen sinnlich wahrnehmbaren Messgrößen und den dinglich vorgestellten physikalischen Phänomenen zu glauben. Auch wenn die Transformationsbeziehungen in technischen Anwendungen in beiden Richtungen funktionieren, ergibt sich daraus noch nicht zwingend die Richtigkeit dieser dinglichen Vorstellungen. Eine extreme Position innerhalb dieser Strömung wurde vor allem von

Rudolph Carnap vertreten. Er postulierte die Einheit der Wissenschaft auf Basis einer Universalsprache [20] – quasi als Strategie zur Überwindung der von Ernst Mach formulierten Skepsis.

Der schwelende Konflikt lässt sich am Beispiel des Zusammenhangs von klassischer Mechanik und statistischer Mechanik illustrieren. Als Ludwig Boltzmann die Transformationsbeziehung zwischen klassischer und statistischer Mechanik gefunden und den Vorrang atomistischer Theorien postuliert hatte, widersprach Ernst Mach. Ohne hier die Debatte im Detail nachzeichnen zu wollen, sei zur Illustration die analoge Frage zu einem ähnlich gelagerten Problem gestellt, was denn nun wirklicher sei: unser menschliches Farbempfinden oder die Theorie der elektromagnetischen Wellen. Diese Frage ist unentscheidbar. Die visuelle Unterscheidung von Rot und Grün ist verbunden mit einem spezifischen Enzym. Mangelt es an dem entsprechenden Enzym bildet sich eine Rot-Grün-Sehschwäche aus. Andererseits beruhen unsere Feldtheorien auf reversiblen Transformationsbeziehungen. Ob die abstrakten Vorstellungsräume eine höhere Realität abbilden, ist angesichts von Paradoxien wie zum Beispiel dem Korpuskel-Wellen-Dualismus fraglich. Die Transformationsbeziehungen funktionieren für ein breites Spektrum spezifischer Fragestellungen, aber nicht unbedingt universal. Dennoch hatten sich wissenschaftstheoretische Vorstellungen mit Anspruch der Universalgültigkeit durchgesetzt und sind bis heute als grundlegende Prämisse im Bewusstsein vieler wissenschaftlich Gebildeter fest verankert. Karl Popper hat mit dem Falsifikationsprinzip den Endpunkt dieser Wissenschaftstheorie gesetzt [21]. Da er die Frage nach dem Universalitätsanspruch wissenschaftlicher Hypothesen und Theorien nicht stellt, ist er offensichtlich zumindest in seinen Anfängen den Universalisten zuzuordnen, bevor er sich später als Verfechter offener Gesellschaftsformen profilierte und sich insbesondere auch gegen den Universalismus Platons idealisierter Ideenwelt gestellt hat [22].

## **4 Die Transition der Wissenschaftstheorie zur Wissenschaftssoziologie**

Die Kybernetik erweiterte durch Logik erschließbare Sprachräume massiv. Physikalische Feldtheorien konnten nun umfassend analysiert und modelliert werden. Geistes- und Humanwissenschaften profitierten von neuen kybernetischen Erzählstrukturen. Infolge entstand ein neuer Glaube an die Einheit der Wissenschaft auf Basis einer allgemein anwendbaren kybernetischen Methodik [23, 24]. Die Machbarkeitseuphorie ging so weit, dass Ludwig von Bertalanffy die vollständige Abbildung der Realität durch partielle Differentialgleichungssysteme imaginierte [25]. Inwieweit Norbert Wiener selbst die fortbestehenden Grenzen der Logik hinsichtlich Ordnung und Entscheidbarkeit bedachte, muss hier offenbleiben. Er entwickelte seine generelle Feedback-Theorie im Frequenzbereich unter Nutzung probabilistischer Überlegungen [26]. Erst praktische Umsetzungen der Theorie in Computern ermöglichten umfangreiche numerische Analysen komplexer Systeme im Zeitbereich, auf deren Basis im letztjährigen Vortrag der Zusammenhang zwischen argumentativer Sprache und den Grenzen des Systems Engineering herausgearbeitet wurde.

Ernst Mach hatte vier Prinzipien der Theoriebildung identifiziert: Analogie, Ökonomie, Abstraktion und Kontinuität [27]. Kognitionswissenschaftlich wird dieses Modell heute in

den Grundzügen gestützt. Am Beispiel des Analogieprinzips sei dargestellt, wie die von Norbert Wiener angestoßenen Möglichkeiten zur Modellierung und Analyse komplexer Systeme wissenschaftlich-technische Arbeitsweisen verändert haben.

Im Jahr 1980 bekommt ein Diplomand die Aufgabe gestellt, im Rahmen von Magnet-schwebbahntechnologie den Zusammenhang zwischen Schwebefunktion und aerodynamischen Einflüssen in hinreichender Tiefe zu modellieren. Da die aerodynamischen Einflüsse näherungsweise mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zunehmen, wäre es für eine Hochgeschwindigkeitsbahn vorteilhaft, die Störeinflüsse besser zu kompensieren und womöglich durch ein modifiziertes Regelungskonzept zur Einsparung von fahrzeugseitig bereitzustellender Energie beizutragen. Vorarbeiten sind geleistet. Ein mathematisches Systemmodell, zusammengesetzt aus dem Gleichungssystem für die flugzeugdynamische Längsbewegung und dem schon länger genutzten elektromagnetisch-mechanischen Modell für den Schwebemagneten, liegt vor. Nur einige Kopplungsterme seien noch festzulegen und abzustimmen. Der Diplomand hinterfragt die Sinnfälligkeit, Kopplungsterme per Gremienabstimmung festzulegen, und versucht unter Hinzuziehung seines Wissensstandes in technischer Mechanik, das Gleichungssystem aus den kinematischen Grundgleichungen abzuleiten. Es scheint auch zu gelingen, doch besitzt das Systemmodell einen Freiheitsgrad weniger als die Vorgabe. Trotz anfänglicher Skepsis entscheidet der Betreuer schließlich, mit dem Modell geringerer Ordnung zu arbeiten. Nach und nach wird klar, warum dies eine gute Entscheidung war. In dem aus Teilmodellen zusammengesetzten Gesamtmodell wird die Trägheitskraft für jedes Teilmodell separat angesetzt mit dem Resultat einer erhöhten Systemordnung. Die Kopplung der Teilsysteme im Gesamtmodell erscheint so schwächer als sie wirklich ist. Darüber hinaus ist fraglich, wie belastbar Aussagen zum Gesamt-systemverhalten sind, wenn Kopplungsparameter willkürliche dimensionsanpassende Faktoren enthalten und physikalisch nur bedingt interpretierbar sind.

Das Beispiel illustriert die Sinnfälligkeit des Grundprinzips im Systems Engineering, immer vom Gesamtkontext auszugehen und dann vom Groben zum Feinen voranzuschreiten. Es wird auch deutlich, warum das Systems Engineering komplexer Systeme multidisziplinäre Ansätze erfordert. Aufgrund der Vielzahl und Spezifität möglicher komplexer Systeme wäre es anachronistisch, erst Personal für die spezifische Problemstellung ausbilden zu wollen und anschließend mit Konzeption und Entwicklung zu beginnen. Stattdessen ist die Synthese verschiedener Wissensgebiete integraler Teil des Entwicklungsprozesses.

Die Lektion, die der Diplomand in unserem Beispiel gelernt hat, haben vorher natürlich schon viele vor ihm lernen müssen, die komplexe wissenschaftliche und technische Problemstellungen bearbeitet haben. In Konsequenz hat sich so die Wissenschaftstheorie nach und nach zur Wissenschaftssoziologie weiterentwickelt. Den Startpunkt setzte Thomas Kuhn, als er die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen untersuchte [28]. Für weniger weitgehende Innovationen verfeinerte Imre Lakatos den Ansatz, indem er sich spezifischen Forschungsprogrammen zuwandte, wie sie für die heutige Großforschung, aber auch im Systems Engineering typisch sind [29]. Neben Imre Lakatos war auch Paul Feyerabend ein Schüler Karl Poppers. Paul Feyerabend vertrat eine anarchistische Wissenschaftstheorie: Der kreative Geist kreise willkürlich [30]. Es sei ausdrücklich angemerkt, dass die Kreativitätsforschung diese Position nicht unterfüttert [31]. Sie ist aber als Erbe der

Hippiekultur wirkmächtig geworden, als im Silicon Valley gut ausgebildete junge Amerikaner mit solider calvinistisch geprägter Weltanschauung diese Hypothese für sich entdeckten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die nun eher wissenschaftssoziologische Fortführung der Wissenschaftstheorie die Vorstellungen einer Einheit der Wissenschaften auf Basis einer Universalsprache als substanzlose Prämisse enttarnt hat. Ernst Mach ist insofern bestätigt, dass wissenschaftliches Arbeiten die Fähigkeiten und Beschränkungen der beteiligten Personen und vertretenen Wissensgebiete im Blick haben muss. Wert und Nutzen reversibler wissenschaftlicher Transformationstheorien werden dadurch keinesfalls geschmälert.

Die wissenschaftstheoretischen Erkenntnisse finden in der Philosophie durch den sogenannten *Linguistic Turn* eine Entsprechung. Eine prägnante Fassung der soziologischen Mechanismen kommt von dem Semiotiker Juri Lotman [32]. Sie schließt inhaltlich auch die Erkenntnisse der Wissenschaftssoziologie in einer Theorie der Semiosphäre ein [33]. Eine Semiosphäre umfasst einen symbolischen oder sprachlichen Raum zu bestimmten Zwecken oder Themen mit eigener Semantik. Semiosphären können ineinander verschachtelt sein. So umfasst die indoeuropäische Sprachfamilie Einzelsprachen, die wiederum verschiedene Dialekte enthalten mögen. Semiosphären können überlappen wie zum Beispiel disziplinspezifische Fachsprachen. Über die Zeit bilden aktive Semiosphären ein immer engeres semantisches Netz aus. Erfolgreiche Semiosphären neigen ausgehend vom thematischen Zentrum zur Ausbreitung und Generalisierung. Semiosphären zerfasern in der Peripherie und werden angreifbar. Vom Zentrum werden Angriffe aus der Peripherie in der Regel abgewehrt. Erfolgreiche Paradigmenwechsel gehen von dem Zentrum nahestehenden Vertretern aus, die sich der Nöte der Peripherie annehmen.

Das skizzierte Narrativ ist so allgemein, dass es dem Leser sicher nicht schwer fallen wird, gleich mehrere, selbst erlebte Vorgänge einzupassen. Wenn man alternativ Semiosphäre mit Szenario übersetzt und den Begriff System als das semantische Modell der Semiosphäre interpretiert, lassen sich die Aussagen direkt zur Charakterisierung von Systemdenken heranziehen. Die multidisziplinäre Zusammenarbeit zur Systemgestaltung folgt in der Analogie der Überlappung fachspezifischer Semiosphären, die als Teile einer aufgabenbezogenen Semiosphäre zusammenwirken. Die aufgabenbezogene Semiosphäre beinhaltet die zu gestaltenden Szenarien inklusive neu zu entwickelnder Produkte und Dienstleistungen. So ergibt sich aus diesem Narrativ eine grundlegende Beschreibung des Systems Engineering. Die Aussagen zu Peripherie und Paradigmenwechsel weisen auf die Prinzipien erfolgreicher Veränderungsprozesse hin.

## 5 Schlussfolgerungen

Die Gedankenführung des vorliegenden Textes zeigt auf, dass Systems Engineering keineswegs eine solitäre Erfindung der letzten achtzig Jahre ist, sondern ein in reifen, ausdifferenzierten Zivilisationen notwendiges Wissen repräsentiert, um Zivilisationen auszubauen und angesichts von wechselnden und vielfältigen Herausforderungen nach-

haltig aufrecht zu erhalten. Dabei geht Systems Engineering eng mit maximaler Nutzung menschlicher kognitiver Fähigkeiten einher.

Im Rahmen von Philosophie und Wissenschaftstheorie hat Systems Engineering grundsätzlich das Potential, sich zu einer maßgeblichen *Philosophie des Werdens* zu entwickeln. Die Geisteswissenschaften und vor allem die Naturwissenschaften konstituieren im Gegensatz eine *Philosophie des Seins*, da sie in erster Linie herauszufinden suchen, wie die Welt ist. Zukunftsprojektionen werden dann regelmäßig zu utopischen Vorstellungen zukünftiger Seinszustände, ohne sich hinreichend mit dem Weg dorthin und den weiteren Auswirkungen auseinanderzusetzen.

Zurecht lässt sich aber bezweifeln, ob die derzeitigen im Systems Engineering unhinterfragt geltenden Prämissen und die daraus resultierenden Prozesse, Methoden und Verfahren geeignet sind, einen weitreichenden Anspruch als *Philosophie des Werdens* erfolgreich zu postulieren und einzulösen. Aufgrund der Vielzahl und Tragweite der notwendigen Anpassungen bedarf es eines Paradigmenwechsels im Systems Engineering. Dazu sind hauptsächlich zwei Ansatzpunkte zielführend: (i) Die Terminologie im Systems Engineering ist hinsichtlich Allgemeingültigkeit und universalsprachlicher Prämissen kritisch zu hinterfragen. (ii) Die Erzählstrukturen zur Darstellung des Systems Engineering sind selbst nach systemtheoretischen Kriterien logisch zu analysieren, um Inkonsistenzen, zirkulare Abhängigkeiten und Unvollständigkeiten in relevanten Anwendungskontexten zu identifizieren. Hieraus lassen sich Verbesserungen der Terminologie und der praktischen Anwendbarkeit von Prozessdefinitionen gewinnen [34].

## Literaturverzeichnis

- [1] D. Scheithauer, “Grenzen des Systems Engineering”. In *Tag des Systems Engineering: Würzburg, 15 – 17. November 2023*, D. Wilke, Hg., Bremen: GfSE-Verlag, 2023. Verfügbar unter: <https://www.hitseng.eu/knowledge/pubs/index.html>
- [2] D. Hume, *A Treatise of Human Nature: Being an Attempt to introduce the experimental Method of Reasoning into Moral Subjects*. London, 1739. Verfügbar unter: <https://davidhume.org/>
- [3] N. Wiener, *Cybernetics: or, Control and Communication in the Animal and the Machine*. 2<sup>nd</sup> ed., Cambridge MA: The M.I.T. Press, 1961 (1948).
- [4] E. B. Goldstein, *Cognitive Psychology: Connecting Mind, Research, and Everyday Experience*. 4<sup>th</sup> ed., Stamford CT: Cengage Learning, 2015.
- [5] M. F. Bear, B. W. Connors und M. A. Paradiso, *Neurowissenschaften: Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie*. 3. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2009.
- [6] M. Tomasello, *A Natural History of Human Thinking*. Cambridge MA London: Harvard University Press, 2014.
- [7] Aristoteles, *Philosophische Schriften 1: Organon*. Hamburg: Felix Meiner Verlag, 1995.
- [8] Aristoteles, *Philosophische Schriften 5: Metaphysik*. Hamburg: Felix Meiner Verlag, 1995.
- [9] I. Vallejo, *Papyrus: Die Geschichte der Welt in Büchern*. Zürich: Diogenes Verlag AG, 2022.
- [10] M. Meier, *Geschichte der Völkerwanderung*. München: Verlag C. H. Beck, 2019.



- [11] C. Horn, J. Müller, J. Söder, Hg., *Platon Handbuch: Leben – Wirkung – Werk*. Stuttgart Weimar: Verlag J. B. Metzler, 2009.
- [12] J. P. Beckmann, *Wilhelm von Ockham*. 3. Aufl., München: Verlag C. H. Beck, 2014.
- [13] I. Fetscher, Hg., *A. Comtes: Rede über den Geist des Positivismus*. Hamburg: Felix Meiner Verlag, 1994.
- [14] D. Wootton: *The Invention of Science: A New History of the Scientific Revolution*. UK: Allen Lane, 2015.
- [15] N. Forbes and B. Mahon, *Faraday, Maxwell, and the Electromagnetic Field: How two Men Revolutionized Physics*. Guildford CT: Prometheus Books, 2014.
- [16] C. Misack, *The American Pragmatists*. Oxford: Oxford University Press, 2013.
- [17] L. Montagnini, *Harmonies of Disorder: Norbert Wiener, A Mathematician-Philosopher of Our Time*. Cham: Springer International Publishing, 2017.
- [18] M. Stöltzner und T. Uebel, Hg., *Wiener Kreis: Texte zur wissenschaftlichen Weltauffassung von R. Carnap, O. Neurath, M. Schlick, P. Franck, H. Hahn, K. Menger, E. Zilsel und G. Bergmann*. Hamburg: Felix Meiner Verlag, 2006.
- [19] N. Milkov, Hg., *Die Berliner Gruppe: Texte zum logischen Empirismus*. Hamburg: Felix Meiner Verlag, 2015.
- [20] R. Carnap, „Über die Einheitssprache der Wissenschaft: Logische Bemerkungen zum Projekt einer Enzyklopädie“. In [18], 1936.
- [21] K. R. Popper, *Logik der Forschung: Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft*. 11. Aufl., Tübingen: Mohr Siebeck, 2005 (1935).
- [22] K. R. Popper, *Die offene Gesellschaft und ihre Feinde 1: Der Zauber Platons*. 8. Aufl., Tübingen: Mohr Siebeck, 2003 (1957).
- [23] L. v. Bertalanffy, *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. New York NY: George Braziller, 1969.
- [24] C. Pias, Hg., *Cybernetics – Kybernetik I: The Macy Conferences 1946-1953, Transactions/Protokolle*. Zürich Berlin: diophanes, 2003.
- [25] C. Pias, Hg., *Cybernetics – Kybernetik II: The Macy Conferences 1946-1953, Essays & Documents / Essays & Dokumente*. Zürich Berlin: diophanes, 2004.
- [26] J. M. Almira, *Norbert Wiener: A Mathematician among Engineers*. Singapore: World Scientific Publishing, 2023.
- [27] G. Wolters und G. Horn, „Einleitung der Herausgeber“. In *Ernst Mach Studienausgabe Band 3*, Berlin: Xenomoi Verlag, 2012.
- [28] T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 4<sup>th</sup> ed. Chicago IL: The University of Chicago Press, 2012 (1962).
- [29] I. Lakatos, *The Methodology of Scientific Research Programmes*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.
- [30] P. Feyerabend, *Against Method*. 4<sup>th</sup> ed. London: Verso, 2010 (1975).
- [31] R. W. Weisberg, *Creativity: Understanding Innovation in Problem Solving, Science, Invention, and the Arts*. Hoboken NJ: John Wiley & Sons, 2006.
- [32] J. Lotman und W. Clark, „On the semiosphere“, *Sign Systems Studies*, 33(1), 205–229, 2005. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.12697/SSS.2005.33.1.09>
- [33] A. Koschorke, *Wahrheit und Erfindung: Grundzüge einer allgemeinen Erzähltheorie*. Frankfurt a. M.: S. Fischer, 2012.
- [34] D. Scheithauer, „Elemente für einen Paradigmenwechsel im Systems Engineering“, Tutorial. Leipzig: Tag des Systems Engineering, 2024.  
Verfügbar unter: <https://www.hitseng.eu/knowledge/pubs/index.html>