

# Analyse und Synthese im Systems Engineering

Dieter Scheithauer

CASSIDIAN, COED System Design Centre and Conceptual Design,  
Rechliner Straße, 85077 Manching, dieter.scheithauer@cassidian.com

© Dieter Scheithauer, 2012.

**Zusammenfassung:** Zusammenhänge verstehen und gestalten. Das Leitthema des diesjährigen Tags des Systems Engineering beschreibt die Herausforderungen an den Systemingenieur treffend. In Beziehung zum Begriffspaar Erkennen und Gestalten steht die Begriffskombination Analyse und Synthese. Von diesen vier Begriffen begegnet man in der Systems-Engineering-Methodik insbesondere dem Terminus Analyse häufig. Die nachfolgenden Ausführungen gehen den analytischen und synthetischen Elementen im Systems Engineering nach. Die eingenommene Perspektive berücksichtigt den erkenntnisfähigen und gestaltungswilligen System-Ingenieur, der sich die Systems-Engineering-Methodik zunutze macht.

## 1 Einleitung

Im Kern wird Analyse allgemein als die Zerlegung eines Ganzen in Einzelteile verstanden. In Opposition dazu bedeutet Synthese die Zusammenfügung von Teilen zu einem Ganzen. Es sei angemerkt, dass es bei diesen beiden Begriffen auch keine Bedeutungsverschiebungen zwischen englischer und deutscher Sprache gibt.

Eine direkte Übertragung der beiden Begriffe in das V-Modell mit der Zuordnung des linken Astes zur Analyse und des rechten Astes zur Synthese ist naheliegend. In der Anforderungsanalyse sind somit die Anforderungen jeweils zu den Systemelementen auf der nächsten Architekturebene durchzureichen. Niklas Luhmann, ein namhafter Vertreter der Systemtheorie in der Soziologie, spricht in diesem Zusammenhang vom Prinzip der Komplexitätsbeherrschung durch Komplexitätsreduktion [Lu87]. So werden komplexe Probleme letztlich durch die Teillösungen auf der untersten Ebene in der Systemarchitektur beherrschbar.

So nachvollziehbar dieser Gedankengang auch ist, begründet er letztlich, dass Systemdenken überflüssig ist. Wenn man die Gesamtkomplexität nicht versteht, reicht es demnach, sich Ersatzproblemen zuzuwenden, die man versteht und lösen kann. So ließ sich die Umweltverschmutzung in den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts durch höhere Kamine minimieren. Der versprochene blaue Himmel über der Ruhr hatte ein paar Jahre später ein neues Problem geschaffen: das Waldsterben.

Nun geht es nicht immer so daneben, wie in diesem ersten Beispiel. In ähnlicher Weise wurde die Abnahme der Fischbestände im Bodensee mit der zunehmenden Gewässerverschmutzung in Verbindung gebracht. Der Zusammenhang zwischen Abnahme des Fischreichtums und Umweltverschmutzung wurde gesellschaftlich

wirkungsmächtig. So wurde in Kläranlagen investiert, und weitere Auflagen in den Anrainerstaaten erlassen. Eine einfachere, wenn auch weniger nachhaltige Abhilfe wäre gewesen, die Maschengröße der Netze zu vergrößern, um dem durch die Überdüngung größeren Wachstum der Fische Rechnung zu tragen. Dann wären diese nicht mehr vor Erreichung der Geschlechtsreife abgefischt worden.

Das bisher Gesagte widerspricht nicht dem Wert, der analytischen Vorgehensweisen und Wissenschaftlichkeit im Systems Engineering zukommt. Klar geworden sein sollte der vielschichtige Zusammenhang zwischen den Begriffspaaren Erkennen und Gestalten sowie Analyse und Synthese. Diesem Zusammenhang nachzugehen, ist das Ziel der folgenden Ausführungen.

Dazu wird zunächst die Verwendung des Begriffes Analyse im Systems Engineering thematisiert. Auf der Grundlage wissenschaftstheoretischer Vorüberlegungen werden dem Namen nach systemdefinierende Analysen kritisch hinterfragt. Anschließend werden analytische Vorgehensweisen in der Nachweisführung diskutiert. Im darauffolgenden Teil steht der Synthesebegriff im Zentrum. Obwohl der Begriff Synthese im Systems Engineering nur sparsam verwendet wird, wird seine zentrale Bedeutung für Systemdenken und Systems Engineering herausgearbeitet. Dies schließt eine Diskussion über Kreativität und eine detaillierte Betrachtung der Synthese im Systems Engineering ein.

## **2 Analyse im Systems Engineering**

### **2.1 Wissenschaftstheoretische Vorüberlegungen**

Die in der Wissenschaftstheorie vorherrschenden Gedanken fußen im kritischen Rationalismus Karl Poppers [Po05]. Erkenntnis von Wahrheit folgt aus der Erfahrung. Erfahrungen führen zu Hypothesen. Wissenschaftliche Hypothesen müssen falsifizierbar sein. Dies heißt nun nicht, dass wissenschaftliche Arbeit hauptsächlich aus der Widerlegung von Hypothesen besteht. Im Gegenteil werden Wissenschaftler in erster Linie daran interessiert sein, Evidenz für die Gültigkeit ihrer Hypothesen zu generieren [Ka11]. In einer wissenschaftlichen Konkurrenzsituation werden eher andere Einzelwissenschaftler oder Wissenschaftlergruppen darauf aus sein, Gegenbeweise zu führen. Falsifizierbarkeit gewährleistet so die Offenheit der Wissenschaft. Wissenschaftliche Hypothesen dürfen demnach keine selbstreferentiellen letzten Wahrheiten postulieren, die mit kausaler Logik nicht angreifbar sind.

Offen bleibt in diesen Überlegungen, woher die wissenschaftlichen Hypothesen eigentlich kommen. Da hier Erfahrungswissen eingeht, kann davon ausgegangen werden, dass die Aufstellung von Hypothesen eine induktive Komponente aufweist. Dieser Aspekt wird im Zusammenhang mit der Diskussion der Synthese unten weiterverfolgt werden. Ansonsten wird Wissenschaft vornehmlich deduktiv betrieben. Aus Sätzen und axiomatischen Gesetzen werden neue stimmige Untersätze und Gesetzmäßigkeiten abgeleitet.

Dies ist die Domäne der Analyse. Hierzu äußert sich Immanuel Kant in der Kritik der reinen Vernunft dahingehend, die Analyse mit dem Explizieren von Inhalten, die in den Obersätzen schon enthalten sind, zu verbinden [Ir10]. Die aphoristische Antwort auf die Frage nach dem Unterschied zwischen Naturwissenschaftlern und Ingenieuren bringt dies folgendermaßen auf den Punkt: Naturwissenschaftler beschreiben das, was existiert, während Ingenieure sich immer wieder neue Dinge ausdenken müssen, die bis dato noch nicht existierten.

## 2.2 Systemdefinierende Analysen

Bei der Systemdefinition wird der Analysebegriff vorrangig in drei Zusammenhängen verwendet: Analyse der Stakeholder-Anforderungen, Analyse der Systemanforderungen und Analyse der Funktionen. Die entsprechenden Beschreibungen im INCOSE Systems Engineering Handbook [Ha11] und in der ISO 15288:2008 [ISO08] beschreiben die anzuwendenden Kriterien und durchzuführenden Arbeitsschritte in der Tat entsprechend dem hier betonten Analysebegriff. Die Stakeholder-Anforderungen ergeben sich, vereinfacht gesagt, zwingend aus den Bedürfnissen, die Systemanforderungen detaillieren im Wesentlichen die Stakeholder-Anforderungen, und die funktionale Analyse zieht den funktionalen Gehalt aus den Systemanforderungen.

Zunächst ist gegen die inhärente Logik der Analyse nichts einzuwenden. Doch ein zwingendes und vollständiges Modell, Stakeholder-Bedürfnisse zu verstehen und daraus eine Vorstellung für eine technische Lösung zu entwickeln, ist ohne eine Berücksichtigung der handelnden Personen, also der Stakeholder und der Systemingenieure wohl nur eingeschränkt möglich. Wegweisend ist hier die vor allem auf Heinz von Förster zurückgehende Kybernetik zweiter Ordnung [FP11; Fo93]. Wahrnehmung entsteht erst im Kopf des Beobachters. Plakativ ausgedrückt, errechnen rund einhunderttausendmal mehr Neuronen diese Realität als die Zahl der Neuronen beträgt, die direkt auf Umweltreize reagieren. Dieser Beobachter ist zudem nicht getrennt von der beobachteten Welt, sondern ein interagierender Teil von ihr.

Berücksichtigt man die Rolle des Beobachters bei der Ermittlung von Stakeholder-Anforderungen, so rücken Motivationsunterschiede, unterschiedliche Erfahrungshintergründe und verschiedene sprachliche Begriffswelten als wesentliche Kriterien in den Vordergrund, die über den Erfolg einer erfolgreichen Aufnahme von Stakeholder-Anforderungen entscheiden. Die Analyse der Stakeholder-Anforderungen ist so weniger als Deduktionsproblem und um so mehr als Kommunikationsproblem aufzufassen. Erst mit dieser Erkenntnis lassen sich die kommunikationsbedingten Sachprobleme rationalen Lösungen zuführen und Kommunikationshemmnisse auf der Beziehungsebene ausräumen [WBJ69].

Die Definition von Systemanforderungen und Funktionen sind nur schwer als Analysen begreifbar, wenn die handelnden Systemingenieure als Beobachter mit in das Prozessmodell einbezogen werden. Schließlich geht es hier bereits um die Erarbeitung einer technischen Lösung durch die Systemingenieure. Diese bringen ihr Wissen und ihre Erfahrung ein, nicht nur um die Stakeholder-Anforderungen zu explizieren, sondern

um unter den möglichen und gangbaren Alternativen eine effektive und effiziente technische Lösung zu generieren.

Den oben stehenden Ausführungen nach lässt sich diese Kritik an der Verwendung des Analysebegriffs noch als theoretische Gedankenspielerei abtun. Nur hat dies durchaus Auswirkungen auf Einstellungen und Haltungen der Systemingenieure und den Erfolg im Systems Engineering. Die praktische Relevanz sei zum Schluss dieses Kapitels darum mit einigen Beispielen belegt.

Die implizite Gleichsetzung von Stakeholder-Bedürfnissen und niedergelegten Stakeholder-Anforderungen, siehe zum Beispiel das INCOSE Systems Engineering Handbook [Hal1], begrenzt die Bereitschaft der Systemingenieure sich mit den Stakeholdern und ihren Bedürfnissen umfassend auseinanderzusetzen. Die Beziehungsebene bleibt weitgehend ausgeblendet. Missverständnisse in den niedergelegten Stakeholder-Anforderungen, die aufgrund unterschiedlicher Sprachverständnisse und Erfahrungen entstehen, werden seitens der Systemingenieure weitgehend ignoriert. Der ISO/IEC/IEEE-Standard zum Requirements Engineering vom letzten Jahr [ISO11] bringt insofern eine Verbesserung, dass die Gleichsetzung beider Begriffe aufgehoben wird. Doch bleibt der Standard eine exakte Definition, was unter Stakeholder-Bedürfnissen zu verstehen ist, weiter schuldig. Der Ausbreitung des Systems Engineering auf kommerzielle, marktgetriebene Wirtschaftsbereiche sind so unnötige Grenzen gesetzt.

Die unermüdlichen Versuche, eine exakte Sprache für Anforderungen zu definieren oder zu erzwingen und unumstößliche sprachliche Qualitätskriterien etablieren zu wollen, führen im Endeffekt eher zur Frustration über die Unmöglichkeit erfolgreicher Kommunikation, wenn die beobachtende und filternde Funktion der Kommunikationsteilnehmer ausgeblendet bleibt. Aufgrund der Unterschiede in Bezug auf genetische Grundlagen, erworbenem Wissen und gemachten Erfahrungen werden sprachliche Konstrukte von verschiedenen Personen immer unterschiedlich verstanden werden, zumindest in Nuancen. Anforderungen bedürfen deshalb unbedingt der Umschreibung in Form von Begründungen und Beispielen. Im direkten Dialog zwischen Stakeholdern und Systemingenieuren lassen sich zudem Fehlinterpretationen von Bedürfnissen schon im Ansatz entdecken und ausräumen.

Die Klage, dass zu viele detaillierte Anforderungen auf hohen Ebenen in der Systemarchitektur definiert werden, ist immer wieder zu vernehmen. Dies ist in der Regel eine direkte Folge einer analytischen Interpretation der Anforderungsdefinition. Lässt eine weitergegebene Anforderung unterschiedliche Interpretationen zu, kann also der Anforderungsgehalt nicht eindeutig expliziert werden, wird eine Klarstellung auf höherer Systemebene angemahnt und vorgenommen. Als Paradox ergibt sich so immer wieder, dass Entwicklungsteams für übergeordnete Systemelemente Anforderungen definieren, deren Sinngehalt sich ihnen nur begrenzt erschließt, da sie erst auf weit untergeordneten Systemebenen relevant werden.

In diesem Zusammenhang ist ebenso anzuführen, dass Anforderungen nicht interpretiert werden, sondern direkt an untergeordnete Systemelemente weitergereicht werden. Dies

führt manchmal dazu, dass Systemingenieure keine Trennung zwischen den Anforderungen, die einem Systemelement von der übergeordneten Ebene zugeordnet werden (Allocated Requirements), und den sich in der Entwicklung des untergeordneten Systemelementes ergebenden Systemanforderungen (System Requirements) vornehmen. Dies führt in einer für komplexe Systeme typischen, hoch-dynamischen, iterativen Entwicklung sehr schnell zu Inkonsistenzen im Anforderungsmanagement. Außerdem bleibt die Qualität einer anforderungsbasierten Nachweisführung begrenzt, da Systemverhalten und Systemeigenschaften in den Systemanforderungen nicht vollständig erfasst oder nur ungenügend beschrieben sind.

### **2.3 Analysen in der Nachweisführung**

Ein großer Teil der Nachweisführung ist in der Regel testbasiert. In Tests werden Systemfunktionen exekutiert. So lassen sich Anforderungen, die funktional relevant sind, überprüfen. Anforderungen, die sich nicht in Funktionen widerspiegeln, werden durch entsprechende Analysen überprüft. Analysen werden auch bevorzugt, sofern Tests zu aufwändig oder risikoreich sind.

Die Verifikation der Systemanforderungen erbringt den Nachweis, dass Systemanforderungen richtig implementiert sind. Analysen dienen somit in der Regel der Bestätigung. Der analytische Ansatz wird nur durch Systemanforderungen, die nicht klar ausgedrückt, eindeutig oder quantifizierbar sind, beeinträchtigt. Im Hinblick auf den beobachtenden Systemingenieur bleibt anzumerken, dass Qualitätskriterien an die Systemanforderungen aus Sicht der Systemingenieure erfüllt sein müssen.

Validierung weist nach, dass die Systemanforderungen die Stakeholder-Bedürfnisse treffen. Bedürfnisse sind nicht direkt messbar. Die Stakeholder-Anforderungen stellen mehr oder weniger gute Repräsentationen der Bedürfnisse dar. Aus diesem Grund spielen neben bestätigenden Analysen auch falsifizierende Analysen eine größere Rolle, um ungewollte Funktionen und Zustände auszuschließen. Beispiele hierfür sind die Functional Hazard Analysis und Common Cause Analysis in Bezug auf Sicherheit oder entsprechende Untersuchungen der Mensch-/Maschine-Schnittstellen nach ungewollten Funktionen.

## **3 Synthese im Systems Engineering**

### **3.1 Synthese**

Synthese ist ein Begriff der im Systems-Engineering-Vokabular kaum Verwendung findet. Dies ist angesichts der Bedeutung des Begriffs Synthese für das Systemdenken verwunderlich. Schon im Zeitalter der Aufklärung beschäftigten sich Geistesgrößen wie Johann Heinrich Lambert und Immanuel Kant mit analytischem und synthetischem Denken. In seinem Organon verbindet Lambert alles Verstehen mit synthetischem Denken [La88]. Kant nimmt in der Kritik der reinen Vernunft eine analoge Position ein. Bewusstsein baut auf Synthese auf. Synthese besitzt einen Erkenntnis erweiternden

Charakter [Ir10]. In den weiteren Ausführungen, denen hier nicht nachgegangen wird, ergeben sich vielfach Erkenntnisse, die wir heute mit Systemdenken verbinden.

Zur Erhaltung des Friedens zwischen Naturwissenschaftlern und Ingenieuren sei angemerkt, dass der oben zitierte Aphorismus über den Unterschied zwischen Naturwissenschaftlern und Ingenieuren durch diese Überlegungen der Aufklärung gegenstandslos wird.

Aus der Traditionslinie der Aufklärung lassen sich immer wieder Diskussionen der zwei philosophischen Kernfragen finden: (1) Wo kommen die Ideen beziehungsweise, in Anlehnung an Karl Popper, die Hypothesen her? (2) Was bedeutet Verstehen?

Seit der Aufklärung besteht weitgehende Übereinstimmung, dass Ideen durch die geistige Aktivität von Menschen ins menschliche Bewusstsein treten. Das Hervorbringen neuer Ideen betrachten wir heute als kreativen Akt. Ergebnisse der Kreativitätsforschung werden im Hinblick aufs Systems Engineering im nächsten Kapitel zusammenfassend bewertet.

Die Behandlung der zweiten Frage erscheint weit komplizierter. Bereits Lambert klassifiziert Systeme. Psychologen wie Max Wertheimer, Wolfgang Köhler, Kurt Koffka, Kurt Levin und Wolfgang Metzger sprechen in ähnlicher Weise von Gestalten [As98; Ko47; Me01]. Heinz von Foerster und Ernst von Glasersfeld nennen es Konstruktionen [FG10]. In der Komplexitätsforschung wird die Emergenz von Systemen betrachtet [FC10]. Die Neurowissenschaften eröffnen integrative Ansätze zur Verbindung dieser Konzepte [Go10], doch sind die wissenschaftlichen Herausforderungen groß. Im übernächsten Kapitel werden Parallelen zum Systems Engineering gezogen.

### **3.2 Kreativität**

Robert W. Weisberg wägt zwischen zwei Definitionen von Kreativität ab: (1) Kreativität gekennzeichnet durch die Neuartigkeit einer Idee oder (2) Kreativität gekennzeichnet durch die Neuartigkeit einer Idee, ihrer sozialen Akzeptanz und ihrer Wirkungsmacht [We06]. Betrachtet man das Design von Experimenten, mit denen Kreativität erforscht wird [Am96], drängt sich als weitere Definition auf, Kreativität als Zeichen individueller Ausdruckskraft zu bezeichnen. Jede dieser Definitionen ist für sich genommen sinnvoll.

Sofern individuelle Kreativität betrachtet wird, ist die erste Definition, die auch Weisberg favorisiert, am überzeugendsten. Die belastbarste Aussage über Voraussetzungen für hohe Kreativität ist nach Weisberg eine Zehnjahresregel. Hochkreative Leistungen setzen eine tiefgehende Kenntnis und langjährige Erfahrung im jeweiligen Sachgebiet voraus. Statistisch ist auch eine Korrelation von hoher Kreativität und der Auftretenswahrscheinlichkeit von Psychopathologien in der Verwandtschaft signifikant. Gregory J. Feist sieht in genetisch bedingten weitreichenderen und sensitiveren neuronalen Vernetzungen eine gemeinsame Ursache für Beides [Fe10].

Diese kargen Aussagen geben zwar Hinweise auf Voraussetzungen für Kreativität, beantworten aber die eigentliche Frage, woher die Ideen kommen nicht wirklich. Teresa M. Amabile sieht hier intrinsische motivationale Faktoren und sozialpsychologische Einflüsse bestimmend [Am96]. Eine andere Theorie betrachtet die Hervorbringung von gesellschaftlich relevanten neuen Ideen als evolutionären Prozess [We06]. Neue Ideen entstehen durch Variation und setzen sich in einem Selektionsprozess entweder durch oder gehen unter. Zweifelhaft ist, ob neue Ideen wirklich als zufallsbedingte Variation auftreten. Soweit es sich um individuelle Kreativität handelt, sind die Hinweise auf Intentionalität überzeugender. Im gesellschaftlichen Kontext mag ein evolutionäres Modell jedoch sinnfällig sein.

Interessant ist in diesem Zusammenhang ein von Seana Moran postuliertes sozialpsychologisches Modell [Mo10] mit vier abgegrenzten Funktionen: (1) Kreative, die neue Innovationen hervorbringen, (2) Unterstützern, die kreative Ideen in die Gesellschaft hineintragen, (3) Regulatoren, die über die Akzeptanz von Innovationen entscheiden und (4) Konsumenten, die Nutznießer einer Innovation sind. Eine Innovation dient in diesem Modell zwei unterschiedlichen Zwecken. Sie sind zum Einen eine Ausdrucksmöglichkeit der Kreativen. Zum anderen befördern sie gesellschaftlichen Fortschritt.

Von Weisberg wird des Weiteren eine Unterscheidung zwischen der Kreativität zur Definition eines neuen Problems und dessen Lösung sowie zur innovativen Lösung eines gegebenen Problems eingeführt [We06]. Untersuchungen, wie sich dies auf die gesellschaftliche Durchsetzung von Innovationen auswirkt, werden bedauerlicherweise in der Literatur nicht angegeben.

Was bedeuten diese wissenschaftlichen Befunde nun für den Systemingenieur? Als Individuum sollte ein Systemingenieur über kreatives Potential verfügen, um innovative und wettbewerbsfähige technische Lösungen zu finden. Der Zehnjahresregel folgend sollten Systemingenieure in Positionen mit hervorgehobener Verantwortung demnach über hinreichendes Wissen sowie langjährige und weitreichende Erfahrungen im Systems Engineering und im jeweiligen Anwendungsfeld verfügen. Sie müssen für die Erledigung der jeweiligen Aufgabe eine hinreichende intrinsische Motivation verspüren. Um innovative technische Lösungen durchzusetzen, müssen sich erfolgreiche Systemingenieure an ihrem sozialen Umfeld orientieren und mit Unterstützern, Regulatoren und Konsumenten jeweils zielführenden Umgang pflegen.

### **3.3 Anforderungsdefinition und System-Design**

Die Definition eines Systems oder Systemelementes setzt ein Verständnis der Stakeholder-Anforderungen voraus. Stakeholder-Anforderungen mögen hier entweder das Ergebnis von der selbst durchgeführten Erhebung von Stakeholder-Bedürfnissen oder die Vorgaben der technischen Lösung des übergeordneten Systems (Allocated Requirements) repräsentieren. Diese Aktivität fällt vollständig in die Kategorie der Erkenntnis fördernden Synthese. Die Rolle des Systemingenieurs kann weitgehend als passiver Beobachter aufgefasst werden, sofern man seine Mitwirkung am

Zustandekommen oder an der Überprüfung der Stakeholder-Anforderungen außer Acht lässt.

Wie in Bild 1 gezeigt, wird die technische Systemlösung auf der Grundlage der Stakeholder-Anforderungen entwickelt. Die Systemdefinition generiert im Wesentlichen drei Sichten auf das System: Systemanforderungen, Systemfunktionen und die interne Systemarchitektur. Diese drei Sichten folgen keiner willkürlichen Konvention. Sie spiegeln die Organisation unseres Gehirns wieder [Go10]. Wir verarbeiten dynamische Vorgänge anders als die strukturelle Attributierung von Objekten oder Gestalten. Es lässt sich mutmaßen, dass dies unserer Echtzeitfähigkeit im Leben und zum Überleben dienlich ist. Soweit lassen sich die funktionale und die Architektursicht begründen.

Die Systemanforderungen dienen als dritte Sicht vornehmlich der Kommunikation. Die Kommunikation muss nicht notwendigerweise sprachlich erfolgen. Doch bleibt zu bedenken, dass jede konzentriertere symbolische Repräsentation eines hohen Maßes an Vorabstimmung bedarf, um Missinterpretationen auszuschließen. Ein Systemingenieur ist deshalb gut beraten, sich zur Kommunikation im Allgemeinen der natürlichen Sprache zu bedienen. Schließlich kann keine andere Kommunikationsform für rationale Gedanken auf eine so lang dauernde Evolutionsgeschichte zurückblicken und ist beliebig adaptierbar auf die spezielle Kommunikationssituation.

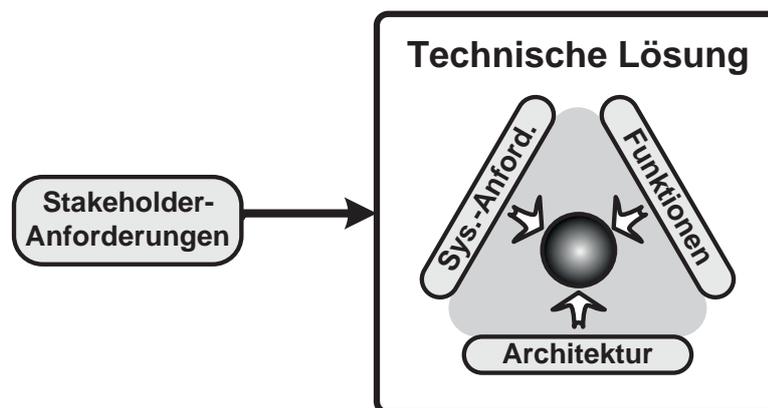


Bild 1: Stakeholder-Anforderungen und Technische Lösung.

Es ist die Aufgabe des Systemingenieurs, die drei Sichten konsistent und komplementär zu halten. Eine Segregation zwischen Systems Engineering auf der einen Seite und Systems Architecting auf der anderen [MR09] würde dieser Notwendigkeit entgegen stehen.

Während der Erarbeitung der technischen Lösung setzt sich der Erkenntnisprozess fort. Die Erkenntnisgewinnung konzentriert sich dabei auf die Funktionen und Eigenschaften, die auf der jeweiligen Systemebene emergent sind. Das heißt, diese Funktionen und Eigenschaften ergeben sich nicht zwangsläufig aus der Summe der Funktionen und Eigenschaften der untergeordneten Systemelemente.

Der Systemingenieur handelt als Beobachter im System. Gewonnene Erkenntnis beeinflusst das das System beeinflussende Handeln, was wiederum auf den

Erkenntnisprozess zurückgekoppelt ist. Es gibt vielfältige Hinweise, dass eigenes Handeln den Erkenntnisprozess intensiviert. Der Konstruktivismus thematisiert diese kybernetische Sichtweise auf die Synthese [FG10; Fo93] und stützt sich dabei auf die Kognitionspsychologie ab [Pi10].

## 4 Schlussfolgerungen

Dieser Aufsatz betont die Rolle des Systemingenieurs als handelnden Beobachter im Systems-Engineering-Prozess. Der Systemingenieur nimmt dabei weniger die Aufgabe eines deduktiv vorgehenden wissenschaftlichen Analytikers ein, der aus den Stakeholder-Anforderungen die darin schon zwingend enthaltene Lösung expliziert. Er führt im Gegenteil eine Synthese durch, in der die Vorstellungen der Stakeholder so angereichert und erweitert werden, dass sich eine effektive und effiziente technische Lösung ergibt.

Kritisch gesehen wird die Verwendung des Analysebegriffes bei Aktivitäten, die der Systemdefinition dienen. Dies führt in der Praxis immer wieder zu einem Verständnis von Systems Engineering, das dem Systemdenken diametral entgegengesetzt ist. Die Begründung für diese Kritik argumentiert vor Allem mit philosophischen, psychologischen und neurowissenschaftlichen Erkenntnissen.

Bleibt zum Abschluss noch festzuhalten, wie nun die Begriffspaare Analyse und Synthese sowie Erkennen und Gestalten zueinander in Beziehung stehen. Wenn wir dem Erkennen einen passiven Beobachterstatus zubilligen, ist für den gestaltenden Systemingenieur offensichtlich, dass er als Beobachter rückkoppelnd Einfluss nimmt. Wie gezeigt sind also sowohl das Erkennen wie auch das Gestalten mit der Synthese verknüpft. Die Analyse besitzt hauptsächlich Bedeutung in der Nachweisführung.

## Literaturverzeichnis

- [Am96] Amabile, T. M.: Creativity in Context. Westview Press, Boulder Oxford, 1996.
- [As98] Ash, M. G.: Gestalt Psychology in German Culture 1890 -1997: Holism and the Quest for Objectivity. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Melbourne Madrid, Cape Town, Singapore, Sao Paulo, 1998.
- [Fe10] Feist, G. J.: The Function of Personality in Creativity: The Nature and Nurture of the Creative Personality. In (Kaufmann, J. C.; Sternberg, R. J. Hrsg.): The Cambridge Handbook of Creativity. Cambridge University Press, New York, 2010.
- [FC10] Flood, R. L., Carsson, E. R.: Dealing with Complexity – An Introduction to the Theory and Application of Systems Science. Second Edition. Premium Press, New York, London, 2010.
- [FG10] Foerster, H. v.; Glasersfeld, E.v.: Wie wir uns erfinden – Eine Autobiographie des radikalen Konstruktivismus. Vierte Auflage. Carl-Auer Verlag, Heidelberg, 2010.
- [Fo93] Foerster, H. v.: Wissen und Gewissen – Versuch einer Brücke. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 1993.
- [FP11] Foerster, H. v.; Pörksen, B.: Wahrheit ist die Erfindung eines Lügners – Gespräche für Skeptiker. Neunte Auflage. Carl-Auer Verlag, Heidelberg, 2011.

- [Go10] Goldstein, E. B.: Sensation and Perception. Eighth Edition. Wadsworth, Belmont CA, 2010.
- [Ha11] Haskins, C. (Hrsg.): Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities. Version 3.2.2. INCOSE, San Diego CA, 2011.
- [Ir10] Irrlitz, G.: Kant Handbuch – Leben und Werk. 2., überarbeitete und ergänzte Auflage. Verlag J. B. Metzler, Stuttgart Weimar, 2010.
- [ISO08] ISO/IEC 15288-2008: Systems and Software Engineering – System Life Cycle Processes. 2008.
- [ISO11] ISO/IEC/IEEE 29148-2011: Systems and Software Engineering – Life Cycle Processes – Requirements Engineering. 2011.
- [Ka11] Kahnemann, D.: Thinking, Fast and Slow. Farrer, Straus and Giroux, New York, 2011.
- [Ko47] Köhler, W.: Gestalt Psychology – An Introduction of New Concepts in Psychology. Liveright Publishing Corporation, New York, 1947.
- [La88] Lambert, J. H.: Texte zur Systematologie und zur Theorie der wissenschaftlichen Erkenntnis. Felix Meiner Verlag, Hamburg, 1988.
- [Lu87] Luhmann, N.: Soziale Systeme: Grundriss einer allgemeinen Theorie. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 1987.
- [MR09] Maier, M. W.; Rechtin, E.: The Art of Systems Architecting. 3rd Edition. CRC Press, Boca Raton FL, 2009.
- [Me01] Metzger, W.: Psychologie. 6. unveränderte Auflage. Verlag Wolfgang Krammer, Wien, 2001.
- [Mo10] Moran, S.: The Roles of Creativity in Society. In (Kaufmann, J. C.; Sternberg, R. J. Hrsg.): The Cambridge Handbook of Creativity. Cambridge University Press, New York, 2010.
- [Pi10] Piaget, J.: Meine Theorie der geistigen Entwicklung. 2. Auflage. Beltz Verlag, Weinheim Basel, 2010.
- [Po05] Popper, K.: Logik der Forschung. 11. Auflage. Mohr Siebeck, Tübingen, 2005.
- [WBJ69] Watzlawick, P., Beavin, J., Jackson, D.: Menschliche Kommunikation – Formen, Störungen, Paradoxien. Verlag Hans Huber, Bern, 1969.
- [We06] Weisberg, R. W.: Creativity – Understanding Innovation in Problem Solving, Science, Invention, and the Arts. John Wiley & Sons, Hoboken NJ, 2006.