

Reinhard Haberfellner
Olivier de Weck

Ernst Fricke
Siegfried Vössner

Systems Engineering

Grundlagen und
Anwendung

14. überarbeitete Auflage

orell füssli

Systems Engineering

Grundlagen und Anwendung

Herausgeber

Reinhard Haberfellner

Olivier de Weck

Ernst Fricke

Siegfried Vössner

Systems Engineering

Grundlagen und Anwendung

14. überarbeitete Auflage

orell füssli Verlag

Herausgeber: Reinhard Haberfellner, Olivier de Weck, Ernst Fricke, Siegfried Vössner

14. Auflage 2018
ISBN 978-3-280-09215-6 (E-Book)

Orell Füssli Verlag, www.ofv.ch
© 2018 Orell Füssli Sicherheitsdruck AG, Zürich
Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Dadurch begründete Rechte, insbesondere der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Vervielfältigungen des Werkes oder von Teilen des Werkes sind auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie sind grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen werden straf- und zivilrechtlich verfolgt.

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Orell Füssli Verlag Lernmedien
lernmedien@ofv.ch
www.ofv.ch/lernmedien

Vorwort zur 14. Auflage

Der Erfolg unseres SE-Ansatzes hält unvermindert an. Für die Herausgabe und Bearbeitung sind neben Prof. Reinhard Haberfellner folgende drei Experten seit der vollständig überarbeiteten 12. Auflage aus dem Jahr 2012 zuständig:

- Prof. Dr. Olivier de Weck von der Airbus Group, der dieses SE-Konzept während seines Studiums an der ETH kennengelernt und am Massachusetts Institute of Technology (MIT) gelehrt hat,
- Dr. Ernst Fricke von der BMW Group, der es an der TU München kennengelernt und in seinen Projekten genutzt hat sowie
- Prof. Dr. Siegfried Vössner, der sich mit Modellierungs-, Architektur- und Simulationsaspekten des Systems Engineerings beschäftigt und diese an der TU Graz lehrt.

Was sind die Gründe für den Erfolg des SE-Konzepts? Sog. Best Practices und formale SE-Methoden sind bereits in den 1950er-Jahren entstanden und in der Folge Bestandteile von Standards und Handbüchern geworden. Derartige Standards sind nützlich, weil sie dem SE-Prozess Struktur geben. Allerdings entwickeln sie teilweise eigene Begriffe und Denkweisen und oft starre, rezepthafte Regeln, die in der Praxis bisweilen nur schwer oder ineffizient anzuwenden sind. Der Erfolg des SE-Konzepts basiert auf wenigen anwendbaren Grundprinzipien sowie einfachen, nachvollziehbaren und anpassbaren Ansätzen, die nicht nur hochqualifizierten Spezialisten verständlich sein sollen, sondern möglichst vielen Berufstätigen, die in unterschiedlichen Projekten arbeiten. Genau das wollen wir in diesem Buch vermitteln.

Die wesentlichen Stärken des hier dargestellten SE-Konzepts lassen sich beispielhaft mit einigen Facetten beschreiben:

- Das Konzept kann in einer einzigen Übersichtsskizze grafisch dargestellt und damit leichter erklärt und verinnerlicht werden (siehe Abb. 0.3).
- Der *Systemgedanke* ist Bestandteil der SE-Philosophie und gut integriert.
- Das *SE-Vorgehensmodell* ist aus *vier Modulen* aufgebaut, die zueinander in Beziehung stehen, aber auch – je nach den Anforderungen eines Projekts – losgelöst voneinander verwendet werden können (siehe später Abb. 2.7).
- Die aus der Softwareentwicklung stammenden, sog. *Agilen Prozessmodelle* werden charakterisiert und wo möglich in unseren Ansatz integriert – in einer wohlwollenden und nicht ideologischen Grundhaltung. Unser Modell wirkt auf den ersten Blick «plan driven»¹, weist aber durchaus auch agile Eigenschaften auf. Wir haben dementsprechend das Thema «Agiles Systems Engineering» sowohl bei den *Vorgehensmodellen* als auch beim *Projektmanagement* als Ansatz in das Buch aufgenommen.

¹ Boehm, B.; Turner, R. (2004): Balancing Agility and Discipline. Anmerkung: Boehm und Turner haben den Begriff «plan driven» zur Abgrenzung von «agile» verwendet, den wir ebenfalls verwenden wollen.

Darüber hinaus sind wir der Ansicht, dass die beiden Ansätze auch miteinander kombiniert werden können: Die «plan driven»-Ansätze (Phasenmodell, V-Modell) haben zweifellos in den managementorientierten *Grobphasen* Vorteile, wenn es um die Erarbeitung eines konzeptionellen Rahmens geht. Die «agilen» Ansätze bewähren sich in der *konkreten Ausgestaltung*. Derartige gemischte Ansätze werden in der Praxis vermehrt erfolgreich angewendet und sind unter dem Begriff «Hybride Ansätze» in der Literatur beschrieben.

- Die *Philosophie des SE* wird von den *Methoden, Techniken und Werkzeugen (MTW)* konsequent getrennt. Die Bedeutung der MTW für den Einzelfall erkennen wir natürlich an (z. B. Risikomanagement, Konfigurationsmanagement, Verification u. ä.), wir betrachten sie jedoch nicht als Kernbestandteile der Methodik, da diese – insbesondere für weniger umfassende und neuartige Projekte – ebenfalls verwendbar sein soll. Wir haben sie deshalb in der Basis des Konzepts, im «Werkzeugkasten», angesiedelt.
- Von Anfang an und über die Jahre beibehalten wurde eine nicht dogmatische Einstellung gegenüber den eigenen Vorstellungen, die bereits ganz zu Beginn Alfred Büchel geprägt hat. Eine Methodik – so hat er gemeint – kann den Erfolg eines Projekts weder erzwingen noch garantieren. Sie kann ihn aber erleichtern. Zentrales Element sind und bleiben Menschen, die in der Lage sind, die Methodik intelligent zu interpretieren, konkreten Situationen anzupassen – und schließlich auch konsequent anzuwenden.

Das hier vorgestellte SE-Konzept wurde von einem relativ kleinen Kernteam erarbeitet. Den wesentlichen Startimpuls hat Prof. em. Alfred Büchel 1969 mit seinem, auf dem Buch von A. D. Hall basierenden Aufsatz in der Management Zeitschrift *io* gegeben.² Diesen Ansatz haben die Autoren der 1. Auflage weiterentwickelt und vertieft: Peter Nagel, Reinhard Haberfellner, Heinrich von Massow, Klaus Rutz, Paul Wildmann und Mario Becker. Dieses BWI-Kernteam hat das Konzept über viele Jahre in praktischen Projekten angewendet und mit bzw. auch von ihren Kunden dazugelernt.

Neu an der 14. Auflage sind:

- Ein *zusätzliches Fallbeispiel* (Smart City und Science Tower Graz), das die beiden bestehenden (Bau eines privaten Wohnsitzes und Flughafenbau) ergänzt. Hinweis: Beim Projekt Smart City waren die Planer und Entwickler vorher nicht formal mit der SE-Methodik vertraut. Sie haben u. E. einfach «gutes Engineering» gezeigt, das wir nachträglich mit den Begriffen und Modellen unseres Konzepts beschrieben haben. Ein Ziel dieses Buches ist es auch, «gutes Engineering» besser verständlich und leichter vermittelbar zu machen.
- Aus didaktischen Gründen haben wir am Ende jedes Kapitels eine Reihe von *Fragen zur Lernkontrolle* formuliert, die am Schluss des Buches beantwortet werden. Diese Fragen sollen das eigene Wissen und Verständnis bestätigen und zur vertieften Auseinandersetzung mit dem Thema anregen.

² Büchel, A. (1969): Systems Engineering. Eine Einführung. Hall, A.D. (1962): A Methodology for Systems Engineering

- *Agile Konzepte* und deren Charakteristiken werden eingehender behandelt. Unser Fokus liegt aber dominant auf einer methodischen Anleitung für Studenten und junge Berufstätige. Insofern betonen wir Basics wie gesamtheitliches Denken, Denken in Wirkungszusammenhängen sowie methodisch klare und einsichtige Vorgehensweisen. Den Trend zu agilen Vorgehensweisen beachten und schätzen wir als Antworten auf die Dynamik unserer Zeit. Deshalb beschreiben wir deren Charakteristiken und arbeiten Unterschiede zu traditionellen Vorgehensweisen heraus. Wir wissen aber, dass auch die industrielle Praxis noch vielfach Schwierigkeiten mit der Verwendung agiler Methoden in der *Hardwareentwicklung* hat. Wir vertrauen deshalb darauf, dass unser Zielpublikum diese zwar kennt, aber erst in der praktischen Tätigkeit besser verstehen wird, v. a. auch in der notwendigerweise geänderten Zusammenarbeit in Projekten und hinsichtlich der Vertrautheit im Umgang mit der dazu erforderlichen Werkzeugumgebung (z. B. MBSE).
- Die Enzyklopädie der Methoden und Techniken wurde gestrafft und den neuen Möglichkeiten der Informationsbeschaffung (Google, Wikipedia) angepasst.

Graz/Cambridge/München, im September 2018

Die Herausgeber:

R. Haberfellner

O. de Weck

E. Fricke

S. Vössner

Dank und Anerkennung:

Wir danken den nachstehend genannten Altautoren der früheren Auflagen sehr herzlich dafür, dass wir ihre Beiträge frei verwenden und bearbeiten durften: Prof. Alfred Büchel, Dr. Peter Nagel, Dipl.-Ing. Heinrich von Massow, Dr. Klaus Rutz und Dr. Mario Becker

Inhaltsübersicht

SE-Konzept und Aufbau des Buchs	9
Inhalt	13
Zum Geleit – Einführung in die Thematik	23
Teil I: SE-Philosophie	25
1 Systemdenken	27
2 Das SE-Vorgehensmodell und andere	53
Teil II: Der Problemlösungsprozess	127
3 Systemgestaltung	129
4 Projektmanagement (PM)	167
Teil III: Systemgestaltung als Architektur- und Konzeptgestaltung	187
5 Architekturgestaltung	189
6 Konzeptgestaltung	201
6.1 Situationsanalyse	202
6.2 Zielformulierung	225
6.3 Lösungssuche: Synthese/Analyse	243
6.4 Bewertung und Entscheidung	269
6.5 Sonderfälle und situationsbedingte Interpretation	298
Teil IV: Fallbeispiele	307
7 Die SE-Basics im SE-Konzept	309
8 Fallbeispiel 1: Hausbau	313
9 Fallbeispiel 2: Flughafenplanung	323
10 Fallbeispiel 3: Smart City und Science Tower Graz	351
Teil V: SE in der Praxis	373
11 Sieben grundsätzliche Empfehlungen	375
12 Typische Schwachstellen in Projekten (Stolpersteine)	379
13 Aktivitäten-Checklisten	380
14 Erfolgsmerkmale des Projektmanagements	390
Teil VI: Methoden, Techniken und Werkzeuge (MTW)	395
15 Methoden, Techniken und Werkzeuge (MTW) im Überblick	397
16 Enzyklopädie / Glossar	401
Teil VII: Anhang	441

SE-Konzept und Aufbau des Buchs

Grundidee des SE-Konzepts

Das im vorliegenden Buch beschriebene Konzept will eine *Methodik* darstellen, die bei der Bearbeitung von Problemen hilft, gleichgültig, welcher Art diese sind. Als *Problem* soll dabei die Differenz zwischen dem, was vorhanden ist (= IST) und der Vorstellung von einem SOLL verstanden werden, so vage, unsicher und umstritten dieses zu Beginn auch sein mag. Diese Situation tritt in mehr oder weniger stark ausgeprägter Form praktisch in jedem Projekt auf und wird in Abb. 0.1 mit Fragezeichen ausgedrückt:

- Oft ist das IST bzw. seine Einschätzung nicht (genau) bekannt, sondern sind Untersuchungen bzw. Erhebungen nötig, um dies herauszufinden.
- Die Beurteilung des IST kann außerdem nicht losgelöst vom Wissen, von den Vorstellungen und Erwartungen an das SOLL gesehen werden.
- Das SOLL muss selbstverständlich erst erarbeitet werden.
- Und wenn sowohl IST als auch SOLL unsicher sind, wird auch das Delta, im Sinne des Weges, der Dringlichkeit, des zulässigen Aufwands, um vom IST zum SOLL zu gelangen, zu unterschiedlichen Einschätzungen und Diskussionen Anlass geben.

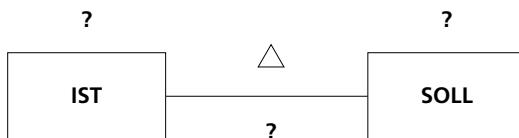


Abb. 0.1: Problem als Differenz zwischen dem IST und der Vorstellung vom SOLL

Will man ein Problem einer Lösung zuführen, so sind in der Regel viele Faktoren dafür maßgebend, damit eine gute Lösung gelingt. Diese reichen vom Fachwissen, über Situationskenntnis, Erfahrung, Methodik des Vorgehens, über die Verhaltenskomponente zur Handlungsethik u. a. m. Dies wird in der Abb. 0.2 zum Ausdruck gebracht: Das SE stellt die methodische Komponente bei der Problemlösung dar und soll helfen, die anderen Faktoren sinnvoll aufeinander abzustimmen. Es soll aber deutlich gesagt werden, dass wir den Standpunkt vertreten, dass Methodik allein kein Problem löst.¹ Methodik soll auch nicht der dominante Faktor sein: Obwohl die Methodik in der Mitte steht – weil sie Gegenstand dieses Buches ist –, können Gelingen oder Misslingen eines Projekts Ursachen auch in jeder anderen Komponente haben, die in Abb. 0.2 dargestellt ist.

¹ Wir sind deshalb auch der Ansicht, dass SE eine «Bindestrich-Disziplin» ist und immer mit einer Ausbildung in einer bzw. zunehmend mehrerer Fachdisziplinen in Verbindung stehen soll.

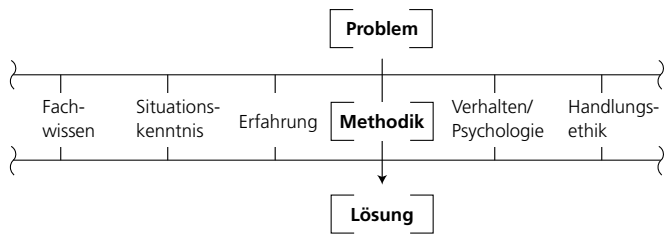


Abb. 0.2: SE als methodische Komponente bei der Problemlösung

Aus diesen Überlegungen ergibt sich das in Abb. 0.3 dargestellte SE-Konzept, das mit dem Aufbau dieses Buches korrespondiert und nachstehend kurz beschrieben wird.

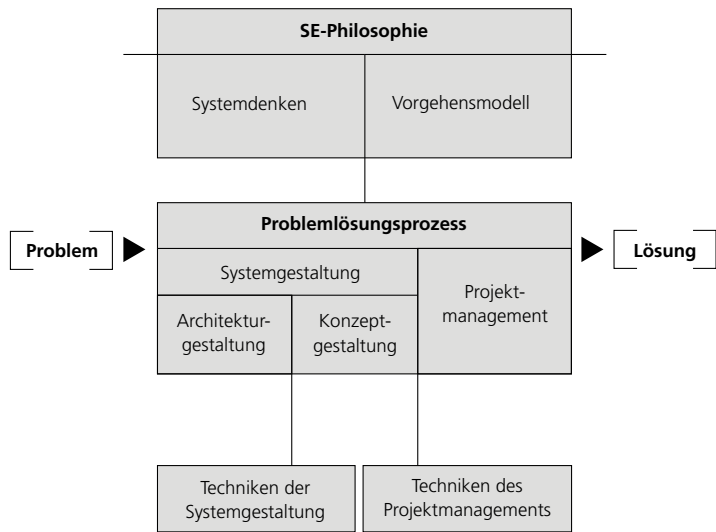


Abb. 0.3: Das SE-Konzept

Aufbau des Buchs

Das vorliegende Buch besteht aus sieben Teilen:

In Teil I, **SE-Philosophie** wird das gedankliche Gerüst des Systems Engineering beschrieben. Dies ist einerseits das *Systemdenken* (Kap. 1) als Hilfsmittel, um Situationen und Sachverhalte strukturieren, in ihren Zusammenhängen darstellen und damit besser verstehen, abgrenzen und gestalten zu können. Und andererseits handelt es sich um das *Vorgehensmodell des SE* (Kap. 2), das aus verschiedenen Grundprinzipien und Komponenten besteht, die helfen sollen, die Entwicklung und Realisierung einer Lösung in überblickbare Teilschritte zu untergliedern. Außerdem kann das

Vorgehensmodell bausteinartig aus seinen Komponenten zusammengesetzt und damit der Größe und Komplexität eines Projekts angepasst werden.

Die SE-Philosophie wird zunächst in vereinfachter Form beschrieben, ohne Sonder- und Ausnahmefälle zu behandeln. Diese werden in späteren Teilen ergänzend dargelegt.

In **Teil II, Problemlösungsprozess** werden die Anwendungsaspekte der SE-Philosophie und insbesondere jene des Vorgehensmodells behandelt. Dabei werden auch Einschränkungen bzw. Erweiterungen der in Teil I getroffenen Aussagen vorgenommen.

Der Problemlösungsprozess wird gedanklich aufgeteilt: Kap. 3 befasst sich mit der Systemgestaltung (= inhaltlicher Aufbau der Lösung) und Kap. 4 mit Projektmanagement (= organisatorische Aspekte, wie Vereinbarung eines Projektauftrags, Zusammenstellung der Projektgruppe, ihre organisatorische Eingliederung in die Stammorganisation, Festlegung eines Steuerungsausschusses, Vereinbarung der Termine, des Berichtswesens usw.).

In **Teil III, Systemgestaltung** geht es in Kap. 5 *Architekturgestaltung* um die grundlegende Struktur, das Lösungsprinzip und in Kap. 6 *Konzeptgestaltung* um deren Ausformung.

Das Kapitel Architekturgestaltung beschreibt im Sinne einer Übersichtsdarstellung Bedeutung, Aufgabe, Möglichkeiten und Auswirkungen der Wahl der Systemarchitektur. Im Kapitel Konzeptgestaltung werden die einzelnen Schritte des Problemlösungszyklus vertieft dargestellt: Situationsanalyse, Zielformulierung, Konzeptsynthese, Konzeptanalyse, Bewertung und Entscheidung, die sich alle auf den verschiedenen Konkretisierungsebenen in der gleichen Logik und Grundstruktur wiederholen.

Teil IV, Fallstudien fasst in Kap. 7 *Basics* den hier vertretenen SE-Ansatz kurz zusammen. Hierauf wird in Kap. 8 *Hausbau* als einfaches und gut überschaubares Projekt der Bau eines Einfamilienhauses – von der Definition der grundlegenden Absicht bis zur Detailplanung – beschrieben. Eine zweite Fallstudie erläutert in Kap. 9 *Flughafenplanung* in drehbuchartiger Form den Einsatz der SE-Methodik bei der Planung eines Flughafens als Beispiel für ein sehr komplexes System. In Kap. 10 wird eine neue Fallstudie beschrieben, bei der es um die Planung eines neuen Stadtteils als sog. Smart City geht, in dem ein technologisch und architektonisch attraktiver Science Tower errichtet wurde.

Teil V, SE in der Praxis beinhaltet praktische Hilfestellungen für Projekte. Insbesondere geht es in Kap. 11 um grundsätzliche Empfehlungen und in Kap. 12 um typische Schwierigkeiten in Projekten (Stolpersteine, Misserfolgskomponenten, «Sündenregister»). Darauf folgen in Kap. 13 Aktivitäts-Checklisten, welche die Qualität der Projektabwicklung unterstützen sollen und schließlich in Kap. 14 die Ergebnisse einer empirischen Untersuchung über die Erfolgsmerkmale von Projekten, im Sinne von «Seligpreisungen».

Teil VI, Methoden, Techniken und Werkzeuge (MTW) zeigt zunächst eine Übersicht über MTWs (Kap. 15), die im SE nutzbringend verwendet werden können, ohne damit integrierender Bestandteil der Methodik zu werden. In Kap. 16 sind etwa 100 MTWs kurz beschrieben, die – aus verschiedensten Disziplinen kommend – die Systemgestaltung und das Projektmanagement unterstützen können.

In **Teil VII, Anhang** findet man im Kap. 17 Antworten auf die «Wissens- und Verständnisfragen», die am Ende jedes Kapitels gestellt werden und der Selbstkontrolle der Lesenden dienen sollen. Es folgen das Abbildungs- und Literaturverzeichnis sowie ein Index, der das Auffinden der Stichworte und Begriffe erleichtert. Der Anhang schließt mit den biografischen Angaben und den Adressen der Autoren, die an einem Feedback interessiert sind.

Wissens- und Verständnisfragen² zum SE-Konzept

1. Beschreiben Sie die Grundidee dieses SE-Konzepts.
2. Welche Bedeutung haben die Methodik und das Vorgehen bei der Problemlösung? Ist Methodik die einzige und wichtigste Komponente? Wenn Sie der Ansicht sind, dass dies nicht der Fall ist – welche anderen können eine Rolle spielen?
3. Welche Rolle spielt das Projektmanagement im SE-Konzept?

² Versuchen Sie, diese Fragen zunächst selbstständig zu beantworten. In Kap. 17 finden Sie dann die Antworten, wobei wir durchaus der Meinung sind, dass diese nicht die einzig «richtigen» und auch andere sinnvolle Antworten möglich sind.

Inhalt

Teil I: SE-Philosophie	25
1 Systemdenken	27
1.1 Zweck und Terminologie	27
1.1.1 Systemdenken als Bestandteil des SE-Konzepts	27
1.1.2 Grundbegriffe und Merkmale von Systemen	27
1.1.2.1 Systeme/Elemente/Beziehungen	28
1.1.2.2 Systemgrenze/Umfeld	29
1.1.2.3 Struktur eines Systems	29
1.1.2.4 Untersysteme/Subsysteme	30
1.1.2.5 Übersysteme	30
1.1.2.6 System von Systemen (SvS)	31
1.1.2.7 Systemhierarchie	32
1.1.2.8 Blackbox, Greybox und Whitebox	32
1.1.2.9 Aspekte eines Systems/Systemtypen	33
1.2 Denkansätze zur Systembetrachtung	35
1.2.1 Systemmodelle als Basis des Systemdenkens	35
1.2.2 Die umfeldorientierte Betrachtungsweise	36
1.2.3 Wirkungsorientierte Betrachtung (Input/Output-Betrachtung)	36
1.2.4 Strukturorientierte Betrachtung	37
1.2.5 Hilfsmittel zur Darstellung von Zusammenhängen bzw. Strukturen	38
1.2.6 Aspekte der Systembetrachtung	39
1.2.7 Anwendung des systemhierarchischen Denkens	40
1.2.8 Abschlussbemerkungen	42
1.3 Agilität von Systemen	42
1.3.1 Das Konzept	42
1.3.2 Drei Beispiele für agile Systeme	43
1.4 System Dynamics	45
1.5 Zusammenfassung	48
1.6 Selbsttest Wissen und Verstehen – Systemdenken	49
1.7 Literatur zum Systemdenken	50

2	Das SE-Vorgehensmodell und andere	53
2.1	Komponenten des SE-Vorgehensmodells	53
2.1.1	Das Vorgehensprinzip «Vom Groben zum Detail» (Top-down)	54
2.1.1.1	Grundidee	54
2.1.1.2	Anwendung auf die Strukturierung der Ausgangssituation (Problemstrukturierung) und den Lösungsentwurf	55
2.1.1.3	Alternativen zum Vorgehensprinzip «Vom Groben zum Detail»	56
2.1.1.4	Zusammenfassung	56
2.1.2	Das Prinzip der Variantenbildung	57
2.1.2.1	Grundidee	57
2.1.2.2	Prinzipvarianten vs. Detailvarianten	59
2.1.2.3	Alternativen zum Prinzip der Variantenbildung	60
2.1.2.4	Zusammenfassung	60
2.1.3	Das Prinzip der Gliederung in Projektphasen als Makro-Logik	61
2.1.3.1	Grundidee	61
2.1.3.2	Die einzelnen Projektphasen	62
2.1.3.3	Andere Phasenmodelle	68
2.1.3.4	Alternativen zum Prinzip der sequentiellen Phasengliederung	69
2.1.3.5	Zusammenfassung	69
2.1.4	Der Problemlösungszyklus als Mikro-Logik	70
2.1.4.1	Grundidee	70
2.1.4.2	Die einzelnen Schritte im Problemlösungszyklus	71
2.1.4.3	Alternativen zum Problemlösungszyklus	77
2.1.4.4	Zusammenfassung	80
2.1.5	Zusammenhänge zwischen den einzelnen Komponenten des Vorgehensmodells	81
2.2	Andere Vorgehensmodelle	82
2.2.1	«Plan-driven methods» (pdm)	83
2.2.1.1	Wasserfallmodell	83
2.2.1.2	V-Modell (engl. Vee-model)	85
2.2.1.3	Der SIMILAR-Process	87
2.2.1.4	VDI-Richtlinie 2221	90
2.2.1.5	Konstruktionsmethodik nach Pahl/Beitz	91
2.2.1.6	Der Prototyping-Ansatz	92
2.2.1.7	Das Versionenkonzept	95
2.2.1.8	Simultaneous Engineering, Concurrent Engineering	96
2.2.2	Agile Prozessmodelle	99

2.2.2.1	Spiralmodell	99
2.2.2.2	Agile Manifesto	100
2.2.2.3	eXtreme Programming (XP)	102
2.2.2.4	Feature Driven Development (FDD)	103
2.2.2.5	Scrum	103
2.2.2.6	Crystal	105
2.2.3	Wann eignen sich «plan-driven», wann eher «agile methods»?	105
2.2.3.1	Gegenseitige Annäherung möglich?	105
2.2.3.2	Bereits bestehende Agility im SE-Modell	106
2.2.3.3	Im SE-Modell problemlos anwendbare Agility	108
2.2.3.4	Agility, die schwer mit dem SE-Modell zu vereinbaren ist	109
2.2.4	Offenhalten von Optionen als Vorgehensansatz, der Agilität unterstützt ...	110
2.2.5	Real-Optionen RO	112
2.3	Wie sehen die Vorgehensmodelle der Zukunft aus?	119
2.4	Zusammenfassung und Abrundung	122
2.5	Selbsttest Wissen und Verstehen – Vorgehensmodelle	124
2.6	Literatur zu den Vorgehensmodellen	125

Teil II: Der Problemlösungsprozess 127

3 Systemgestaltung 129

3.1	Zur Anwendung des Systemdenkens	130
3.1.1	Exkurs über die Bildung von Elementen und Beziehungen	130
3.1.2	Problemfeld und Lösungssystem	132
3.1.3	Anwendung des Systemdenkens auf die Strukturierung und Analyse des Problemfeldes	133
3.1.4	Abgrenzung des Problemfeldes	134
3.1.5	Systemdenken und Lösungssystem	135
3.1.6	Systemorientiertes Denken und Teamarbeit	137
3.1.7	Systemdenken und Projektmanagement	137
3.2	Zur Anwendung des Vorgehensmodells	138
3.2.1	Anwendung des Vorgehensprinzips «Vom Groben zum Detail»	138
3.2.2	Anwendung des Prinzips der Variantenbildung	139
3.2.3	Anwendungsaspekte des Phasenmodells	140
3.2.3.1	Konzeptentscheidungen	141

- 3.2.3.2 Der Verlauf des Aufwands während der verschiedenen Phasen
eines Projekts. 142
 - 3.2.3.3 Integration von Teillösungen 144
 - 3.2.3.4 Im Projektablauf tendenziell abnehmender Innovationsgrad 145
 - 3.2.3.5 Dynamik der Gesamtkonzeption 146
 - 3.2.3.6 Zeitlich überlapptes Vorgehen 148
 - 3.2.3.7 Sofortmaßnahmen 150
 - 3.2.4 **Anwendungsaspekte des Problemlösungszyklus (PLZ)**..... 151
 - 3.2.4.1 Schwerpunkte der einzelnen Teilschritte des PLZ 151
 - 3.2.4.2 Informationsfluss zwischen den Teilschritten des PLZ 153
 - 3.2.4.3 Gedankliche Vor- bzw. Rückgriffe (Wiederholungszyklen, Iterationen) 153
 - 3.2.4.4 Erweiterter Problemlösungszyklus 156
- 3.3 **Model-Based Systems Engineering (MBSE)** 162
- 3.4 **Selbsttest Wissen und Verstehen – Systemgestaltung** 164
- 3.5 **Literatur zur Systemgestaltung** 165
- 4 **Projektmanagement (PM)** 167
- 4.1 **Begriff und Übersicht** 167
 - 4.1.1 Was ist ein Projekt? 168
 - 4.1.2 Was ist Projektmanagement? 168
 - 4.1.3 Das «Eiserne Dreieck» des Projektmanagements 169
 - 4.1.4 Die Aufgaben des Projektmanagements 170
- 4.2 **Die funktionale Dimension des Projektmanagements** 171
 - 4.2.1 Ingangsetzungsarbeiten 171
 - 4.2.2 Inganghaltungsarbeiten 171
 - 4.2.3 Abschließen von Projekten 171
 - 4.2.4 Projektmarketing 172
- 4.3 **Institutionelles Projektmanagement** 172
 - 4.3.1 Beteiligte Gremien/Instanzen 173
 - 4.3.2 Organisationsformen für Projekte 174
 - 4.3.2.1 Reine Projektorganisation 174
 - 4.3.2.2 Einfluss-Projektorganisation (Stabs-Projektorganisation) 175
 - 4.3.2.3 Matrix-Projektorganisation 176
 - 4.3.2.4 Eignungsbereiche 177
 - 4.3.2.5 Mischformen der Projektorganisation 177

4.4	Instrumentelles Projektmanagement	179
4.5	Personelle Aspekte des Projektmanagements	179
4.5.1	Anforderungen an den Projektleiter	179
4.5.2	Erfolgreiche Teamarbeit	180
4.6	Erfolgskomponenten des Projektmanagements	181
4.7	Agiles Projektmanagement?	181
4.8	Selbsttest Wissen und Verstehen – Projektmanagement	183
4.9	Literatur zum Projektmanagement	184

Teil III: Systemgestaltung als Architektur- und Konzeptgestaltung

187

5 Architekturgestaltung 189

5.1	Beispiele für Architekturvarianten von Systemen	190
5.2	Verhältnis von Funktion und Form zur Architektur	191
5.3	Aufgaben und Bedeutung der Architekturgestaltung	192
5.4	Gestaltungsmerkmale guter Architekturen	194
5.5	Architektur und Innovation	196
5.6	Die Rolle von Systemarchitekten	198
5.7	Selbsttest Wissen und Verstehen – Architekturgestaltung	199
5.8	Literatur zur Architekturgestaltung	200

6 Konzeptgestaltung 201

6.1	Situationsanalyse	202
6.1.1	Zweck und Begriff	203
6.1.2	Leitideen und Grundsätze zur Analyse von Situationen	203
6.1.2.1	Einflussfaktoren auf das Problemverständnis	204
6.1.2.2	Handlungsrelevante Problembetrachtung	204
6.1.3	Verschiedene Betrachtungsweisen in der Situationsanalyse	205
6.1.3.1	Systemorientierte Betrachtungsweise	205
6.1.3.2	Ursachenorientierte Betrachtungsweise	208
6.1.3.3	Lösungsorientierte Betrachtungsweise	211
6.1.3.4	Zeit- bzw. zukunftsorientierte Betrachtungsweise	211

- 6.1.4 Zur Abgrenzung von Problemfeld, Lösungsfeld und Eingriffsbereich. 212
 - 6.1.5 Herausfinden von Randbedingungen und Einschränkungen der
gestalterischen Freiräume 214
 - 6.1.6 Zieloffenheit, Lösungsneutralität und Nachvollziehbarkeit 215
 - 6.1.7 Techniken für die Situationsanalyse 215
 - 6.1.7.1 Techniken zur Informationsbeschaffung 215
 - 6.1.7.2 Techniken zur Informationsaufbereitung und -darstellung 216
 - 6.1.7.3 Art der Informationsbeschaffung 217
 - 6.1.8 Vorgehensschritte bei der Situationsanalyse 219
 - 6.1.8.1 Verwendung von Arbeitshypothesen 219
 - 6.1.8.2 Die Vorgehensschritte 219
 - 6.1.9 Unterschiedlicher Stellenwert der Situationsanalyse im Phasenablauf. 221
 - 6.1.10 Zusammenfassung 223
 - 6.1.11 Selbsttest Wissen und Verstehen – Situationsanalyse 224
 - 6.1.12 Literatur zur Situationsanalyse 225
- 6.2 Zielformulierung 225
 - 6.2.1 Zweck und Terminologie 225
 - 6.2.1.1 Zielbegriff 225
 - 6.2.1.2 Stellung im Problemlösungszyklus 226
 - 6.2.2 Zielformulierung auf verschiedenen Systemebenen 227
 - 6.2.3 Denkansätze, Prinzipien und Leitideen für eine handlungs-
orientierte Zielformulierung 227
 - 6.2.3.1 Operationale Zielformulierung 228
 - 6.2.3.2 Formulierung von erwünschten oder ausdrücklich unerwünschten
Wirkungen 229
 - 6.2.3.3 Unterscheidung zwischen Systemzielen und Projektablauf-
(Vorgehens-)zielen 229
 - 6.2.3.4 Struktur eines Zielkatalogs 230
 - 6.2.3.5 Anwendung des Ziel-Mittel-Denkens 231
 - 6.2.3.6 Prinzip der Orientierung von Zielen an Fakten wie an Wertvorstellungen. . 233
 - 6.2.3.7 Prinzip der Lösungsneutralität 234
 - 6.2.3.8 Prinzip der Vollständigkeit hinsichtlich der Zielinhalte 234
 - 6.2.3.9 Prinzip der Prioritätensetzung bei der Zielformulierung 236
 - 6.2.3.10 Prinzip der Widerspruchsfreiheit von Teilzielen. 237
 - 6.2.3.11 Prinzip der Überblickbarkeit eines Zielkatalogs 239
 - 6.2.4 Techniken für die Zielformulierung 240
 - 6.2.5 Vorgehen bei der Zielformulierung 240
 - 6.2.6 Einschränkungen 241

6.2.7	Zusammenfassung	242
6.2.8	Selbsttest Wissen und Verstehen – Zielformulierung	242
6.2.9	Literatur zur Zielformulierung	243
6.3	Lösungssuche: Synthese/Analyse	243
6.3.1	Zweck und Terminologie	243
6.3.2	Synthese von Lösungen	245
6.3.2.1	Die Bedeutung der Kreativität	245
6.3.2.2	Arbeiten mit Modellen	245
6.3.2.3	Generelle Entwurfsprinzipien	246
6.3.2.4	Variantenkreation und -reduktion	247
6.3.2.5	Zusammenwirken von Synthese und Analyse im Verlauf der System- entwicklung	249
6.3.3	Strategien zur Lösungsfindung (Synthese)	250
6.3.3.1	Begrenzung des Lösungsfeldes	250
6.3.3.2	Unterschiedliche Ausgangspunkte für die Lösungssuche	251
6.3.3.3	Systematische Suchstrategien	253
6.3.3.4	Mathematische Methoden des Operations Research	256
6.3.3.5	Heuristiken als Strategie zur Lösungsfindung	257
6.3.4	Analyse von Lösungen	257
6.3.4.1	Intuitive vs. systematische Analyse	258
6.3.4.2	Inhalte der systematischen Analyse	258
6.3.5	Techniken für die Synthese/Analyse	262
6.3.6	Vorgehen bei der Synthese/Analyse	262
6.3.7	Zusammenfassung Lösungssuche	266
6.3.8	Selbsttest Wissen und Verstehen – Lösungssuche Synthese/Analyse	268
6.3.9	Literatur zur Lösungssuche Synthese/Analyse	268
6.4	Bewertung und Entscheidung	269
6.4.1	Zweck, Begriffe, Grundlagen	270
6.4.1.1	Verschiedene Entscheidungsarten	271
6.4.1.2	Methodisch unterstützte Entscheidungen	272
6.4.1.3	Ablauf von Entscheidungsvorbereitung und Entschluss	273
6.4.2	Bewertungsmethoden	274
6.4.2.1	Die Argumentenbilanz	274
6.4.2.2	Die Bewertungsmatrix als Basis für den Variantenvergleich	276
6.4.2.3	Nutzwertanalyse	278
6.4.2.4	Kosten-Wirksamkeits-Analyse	279
6.4.2.5	Andere Bewertungsmethoden	281

6.4.3	Vorgehen bei der Bewertung	281
6.4.3.1	Teilnehmerkreis bestimmen	282
6.4.3.2	Festlegung der Kriterien	282
6.4.3.3	Behandlung von Musszielen	284
6.4.3.4	Anzahl Teilziele	285
6.4.3.5	Gewichtung der Teilziele	285
6.4.3.6	Ermittlung der Teilzielerfüllung	287
6.4.3.7	Plausibilitätsüberlegungen	290
6.4.3.8	Sensibilitätsanalysen	292
6.4.3.9	Analyse des Risikos und potenzieller Probleme	293
6.4.4	Zur Objektivität von Bewertungsverfahren	294
6.4.5	Die Wirtschaftlichkeitsrechnung als Ergänzung des Schritts der Entscheidungsvorbereitung	295
6.4.6	Dokumentation des Bewertungsschritts	295
6.4.7	Entscheidung	296
6.4.8	Zusammenfassung und Abrundung	296
6.4.9	Selbsttest Wissen und Verstehen – Bewertung und Entscheidung	297
6.4.10	Literatur zu Bewertung und Entscheidung	298
6.5	Sonderfälle und situationsbedingte Interpretation	298
6.5.1	Umbauten am «lebenden Objekt»	299
6.5.2	Verbesserungs-(Meliorations-)Vorhaben	299
6.5.3	Vorhaben beschränkten Umfangs	301
6.5.4	Vorhaben außergewöhnlich großen Umfangs	301
6.5.5	Programme	302
6.5.6	Gestaffelte Realisierung von Vorhaben	303
6.5.7	Relative Unerfahrenheit der Beteiligten aufgrund von Pioniersituationen	304
6.5.8	Einstieg in ungeordnet verlaufende Problemlösungsprozesse	305
6.5.9	Stilllegungen und Abbrüche	305
6.5.10	Selbsttest Wissen und Verstehen – Sonderfälle und situationsbedingte Interpretation	306
6.5.11	Literatur zu Sonderfällen	306

Teil IV: Fallbeispiele 307

7 Die SE-Basics im SE-Konzept 309

7.1	Basic 1 – Anwendung des Systemansatzes	309
7.2	Basic 2 – Anwendung eines erkennbaren und akzeptierten Vorgehensmodells	310
7.3	Basic 3 – Anwendung von Methoden, Techniken, Werkzeugen (MTW)	312

8 Fallbeispiel 1: Hausbau 313

8.1	Ausgangssituation	313
8.2	Vorstudie	314
8.3	Hauptstudie	317
8.4	Detailstudien	319
8.5	Systembau und Einführung.....	320
8.6	Schlussbemerkungen	321

9 Fallbeispiel 2: Flughafenplanung 323

10 Fallbeispiel 3: Smart City und Science Tower Graz 351

10.1	Was ist eine Smart City?	351
10.2	Ausgangssituation in Graz.....	352
10.3	Warum Smart City Graz?.....	353
10.4	Visionen der Stadtentwicklung zur Smart City Graz 2050	354
10.5	Ziele und Maßnahmen zur smarten Stadtentwicklung bis 2030.....	356
10.6	Das Projektgebiet Smart City Graz Waagner-Biro.....	357
10.7	Rahmenplan Smart City Graz Waagner-Biro.....	360
10.8	Architektur- bzw. Gestaltungswettbewerbe	361
10.9	Leitprojekt Science Tower	361
10.10	Hinweise auf die SE-Methodik	367
10.10.1	Systemdenken.....	367
10.10.2	Vom Groben zum Detail	367
10.10.3	Gliederung in Projektphasen.....	368
10.10.4	Anwendung der Logik des Problemlösungszyklus (PLZ) in jeder Phase	370
10.10.5	Projektmarketing	371
10.10.6	Einfache und effiziente Projektorganisation	372

Teil V: SE in der Praxis	373
11 Sieben grundsätzliche Empfehlungen	375
12 Typische Schwachstellen in Projekten (Stolpersteine)	379
13 Aktivitäten-Checklisten	380
13.1 Aktivitäten-Checkliste «Vorstudie»	380
13.2 Aktivitäten-Checkliste «Hauptstudie»	384
13.3 Aktivitäten-Checkliste «Detailstudien»	386
13.4 Aktivitäten-Checkliste «Systembau»	387
13.5 Aktivitäten-Checkliste «Systemeinführung»	388
13.6 Aktivitäten-Checkliste «Abschluss des Projekts»	389
14 Erfolgsmerkmale des Projektmanagements	390
Teil VI: Methoden, Techniken und Werkzeuge (MTW)	395
15 Methoden, Techniken und Werkzeuge (MTW) im Überblick	397
16 Enzyklopädie/Glossar	401
Teil VII: Anhang	441
17 Selbsttest Wissen und Verstehen – Fragen und Antworten	443
18 Abbildungsverzeichnis	457
19 Literaturverzeichnis	462
20 Index	478
21 Herausgeber und Adressen	485

Zum Geleit – Einführung in die Thematik

(Vorwort zur 1. Auflage 1976, gekürzt)

Die steigende *Komplexität des Geschehens* in unserer *sozialen Umwelt* wird immer deutlicher. Mit dem durch die gesellschaftlichen Anforderungen stark gestiegenen Umfang der zu bewältigenden Probleme wächst das Bewusstsein über ihre Komplexität, ihre Vielfalt und die gegenseitigen Abhängigkeiten der wirksamen Einflussgrößen. Die Öffentlichkeit ist heute wesentlich weniger bereit, unerfreuliche Geschehnisse einfach als Schicksalsschläge oder Naturkatastrophen hinzunehmen. Sie wittert dahinter oft – und gelegentlich mit Recht – Planungsfehler oder Planungslücken. Aus dem geweckten und wachsenden Bewusstsein der Komplexität der bedrängenden Probleme reagiert die Gesellschaft. Einerseits stellt sie hohe Anforderungen und Erwartungen an die Leistungen jener, die sich mit komplexen Problemlösungen zu befassen haben – nämlich der Planer. Andererseits haben nicht erfüllte Erwartungen zu herber Enttäuschung und Skepsis geführt, die bis zur Negation des Nutzens der Planungsarbeit überhaupt führen kann.

Das Bewusstsein der Vielfalt und der Interdependenzen der Einflussgrößen hat auf allen sich entwickelnden Arbeits- und Wissensgebieten zu einer methodologischen Entwicklung geführt: zum Systemansatz. Von großer Bedeutung ist dabei die Modellvorstellung, dass die das Problem darbietende Gesamtheit als System – bestehend aus Elementen und Beziehungen interpretiert werden kann. Die Modellinterpretation wird zwar möglichste Wirklichkeitsnähe anstreben, wobei man sich jedoch bewusst sein muss, dass jedes Modell lediglich eine Abstraktion der Wirklichkeit sein kann, oder genauer ausgedrückt – ein Versuch des Planers, seine Vorstellungen über die Wirklichkeit zum Ausdruck zu bringen.

Schon aus arbeitsökonomischen Gründen wird eine Tendenz zu möglichst einfachen Modellvorstellungen vorhanden sein. Diese Tendenz ist aber nicht ungefährlich, denn sie führt leicht zu Primitivmodellen, die normalerweise nur einzelne Einflussgrößen berücksichtigen – im Extremfall sogar nur eine einzige – und bewusst oder unbewusst von allen anderen abstrahieren. Derartige Modelle ergeben zwangsläufig ein Zerrbild der Wirklichkeit. Primitivmodelle haben im Leben der Gesellschaft zu allen Zeiten eine wesentliche und gelegentlich auch verhängnisvolle Rolle gespielt. Wir können nun feststellen, dass die Dominanz der Einflussgrößen oft auf Bereiche verlegt ist, die emotional leicht aufladbar sind. Viele Weltanschauungen waren und sind gut gemeinte, aber unrealisierbare Primitivmodelle.

Auf der Suche nach einer leistungsfähigen Problemlösungsmethodik war uns am Betriebswissenschaftlichen Institut der ETH (BWI) bald klar, dass Modellvorstellung und Systemansatz wichtige Bestandteile einer derartigen Methodik sein müssten, da sie dazu zwingen, komplexe Sachverhalte zu strukturieren, um sie damit besser überschau-, diskutier- und lösbar zu machen. Über derartige Strukturierungsüberlegungen hinaus sollte die gesuchte Methodik aber auch Leitfaden sein zur problemgerechten und effizienten Abwicklung komplexer Vorhaben. Dabei sind wir auf das in den USA entwickelte Systems Engineering gestoßen. Doch obwohl wir bei der Entwicklungsarbeit viele Anregungen aus einschlägigen Publikationen erhalten haben – insbesondere wa-

ren die Ansätze von A. Hall und H. Chestnut für uns wichtig – kann heute von einem eigenständigen BWI-Systems-Engineering gesprochen werden. Wichtige Merkmale unseres Ansatzes sind vor allem die Herauslösung aus dem eher technokratischen Rahmen der amerikanischen Vorbilder (mit der A. Büchel 1969 begonnen hat), die damit verbundene Ausdehnung auf betriebswissenschaftliche Problemstellungen im weitesten Sinn und die handlungsorientierte Operationalisierung der Aussagen. Dies entspricht unserer Vorstellung von guter Ingenieurstätigkeit, wobei man diese Bezeichnung mittlerweile guten Gewissens über den rein technischen Bereich hinaus erweitern kann.

Diese gestalterische, schöpferische Zielsetzung als Ingenieuraufgabe hat uns auch bewogen, den amerikanischen Begriff *systems engineering* zu übernehmen. Und obwohl der Amerikanismus nicht ganz befriedigt, bringt er wie kein zweiter zum Ausdruck, dass – auf der Basis einer ganzheitlichen (System)-Betrachtung – nach sachgerechten, realisierbaren und operationalen Lösungen gestrebt wird.

Vor diesem gedanklichen Hintergrund wurde am Betriebswissenschaftlichen Institut der ETH ein Ausbildungskurs über Systems Engineering erarbeitet, den seit seiner erstmaligen Durchführung (1971) mehr als 800 Teilnehmer absolviert haben.

Abschließend noch ein Wort zur Abgrenzung unserer Auffassung des Systems Engineering gegenüber anderen, in der Literatur heute angebotenen System- und Vorgehensmethodiken: Wir haben bewusst Wert auf Allgemeingültigkeit gelegt, wollten also keinen Ansatz erarbeiten, der auf spezielle Fachgebiete, deren Probleme und deren Begriffsapparat zugeschnitten ist.

Wir wollen mit unserem Ansatz keine andere Methodik bekämpfen oder gar verdrängen. Er soll aber dort als Ergänzung und Vertiefung verstanden werden, wo andere Ansätze keine Aussagen erbringen.

Der erreichte Entwicklungsstand scheint uns eine geschlossene Darstellung zu rechtfertigen.

Zürich, 1976

Prof. Dr. h. c. W. Daenzer

Teil I: SE-Philosophie

1 Systemdenken

- 1.1 Zweck und Terminologie
- 1.2 Denkansätze zur Systembetrachtung
- 1.3 Agilität von Systemen
- 1.4 System Dynamics
- 1.5 Zusammenfassung
- 1.6 Selbsttest Wissen und Verstehen – Systemdenken
- 1.7 Literatur zum Systemdenken

2 Das SE-Vorgehensmodell und andere

- 2.1 Komponenten des SE-Vorgehensmodells
- 2.2 Andere Vorgehensmodelle
- 2.3 Wie sehen die Vorgehensmodelle der Zukunft aus?
- 2.4 Zusammenfassung und Abrundung
- 2.5 Selbsttest Wissen und Verstehen – Vorgehensmodelle
- 2.6 Literatur zu den Vorgehensmodellen

1 Systemdenken

Das Systemdenken und das Vorgehensmodell sind wichtige Bestandteile der SE-Philosophie (Abb. 1.1).

1.1 Zweck und Terminologie

1.1.1 Systemdenken als Bestandteil des SE-Konzepts

Systemdenken wird hier als Denkweise verstanden, die es ermöglicht, komplexe Erscheinungen (= Systeme) besser verstehen und gestalten zu können.

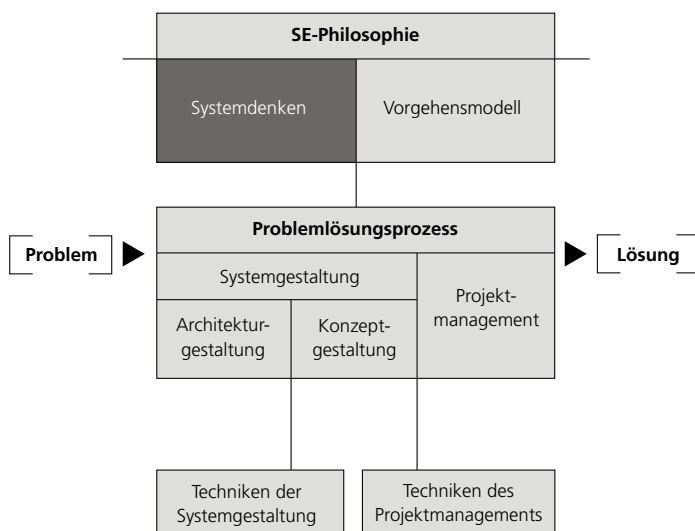


Abb. 1.1 Das Systemdenken im Rahmen des SE-Konzepts

Insbesondere beinhaltet das Systemdenken

- *Begriffe* zur Beschreibung komplexer Gesamtheiten und Zusammenhänge,
- modellhafte Ansätze, um reale, *komplexe Erscheinungen* zu veranschaulichen, ohne sie unzulässig vereinfachen zu müssen,
- und Ansätze, die das *gesamtheitliche Denken* unterstützen.

1.1.2 Grundbegriffe und Merkmale von Systemen

Zur Beschreibung von Systemen werden bestimmte *Grundbegriffe* verwendet, die zunächst definiert und charakterisiert werden sollen.

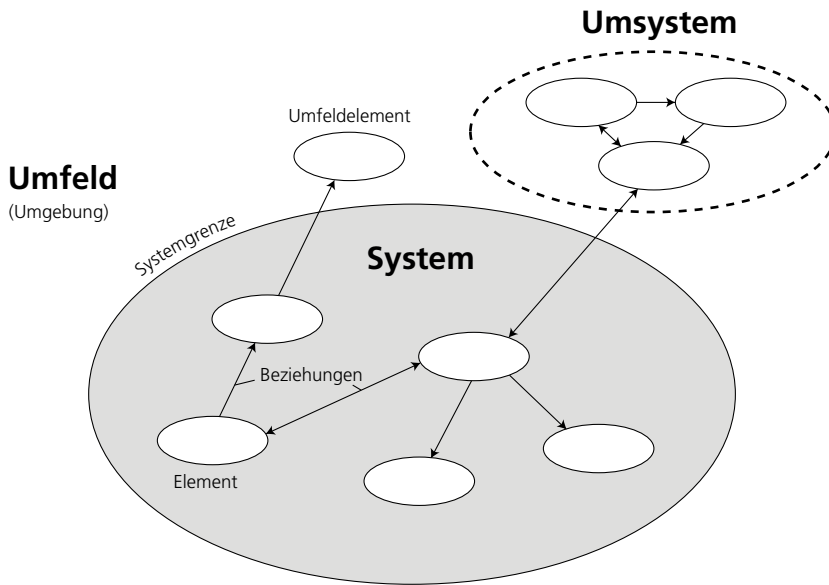


Abb. 1.2 Grundbegriffe des Systemdenkens

1.1.2.1 Systeme/Elemente/Beziehungen

Viele Erscheinungen werden im normalen Sprachgebrauch als System bezeichnet: IT-System, Kommunikationssystem, Transportsystem, Planungssystem, Sonnensystem, Wirtschaftssystem, Ausbildungssystem. Es können auch Ergänzungen beigefügt sein wie «die Unternehmung, ein sozio-technisch-ökonomisches System» oder «der Teich, ein biologisches System».

Alle diese Beispiele weisen Gemeinsamkeiten auf, die S. Beer wie folgt formuliert:

«Das Wort System steht für Konnektivität. Wir meinen damit jede Ansammlung miteinander in Beziehung stehender Teile. Was wir als System definieren, ist deshalb ein System, weil es miteinander in Beziehung stehende Teile umfasst und in gewisser Hinsicht ein Ganzes bildet» (siehe Abb. 1.2):

- Systeme bestehen demnach aus *Elementen* (Teilen/Komponenten), wobei damit in einem sehr allgemeinen Sinne die Bausteine des Systems gemeint sind.
- Elemente haben *Eigenschaften* und *Funktionen*: Bei physischen Elementen wären die Eigenschaften z. B. die Maße oder die Farbe. Die Funktion entspricht zumeist dem Zweck eines Elementes im Rahmen eines bestimmten Systemzusammenhangs.
- Elemente können ihrerseits wieder als Systeme betrachtet werden.
- Die Elemente sind untereinander durch *Beziehungen* verbunden. Auch der Begriff *Beziehung* ist sehr allgemein zu verstehen. Es kann sich etwa um Materialflussbeziehungen, Informationsflussbeziehungen, Lagebeziehungen, Wirkzusammenhänge handeln.

1.1.2.2 Systemgrenze/Umfeld

Unter einer Systemgrenze versteht man die mehr oder weniger willkürliche Abgrenzung zwischen dem System und seiner Umgebung bzw. dem Umfeld, in die es eingebettet ist. Die im SE interessierenden Systeme sind in der Regel offen. Ihre Elemente weisen nicht nur untereinander, sondern auch mit ihrer Umgebung Beziehungen auf.

Im *Umfeld* oder in der Umgebung eines Systems sind Systeme oder Elemente angesiedelt, die außerhalb der Systemgrenze liegen, die aber dennoch auf das System einwirken bzw. durch das System beeinflusst werden können. Wenn man deren Systemcharakter betonen will, spricht man von *Umsystemen*.

Charakteristisch ist, dass innerhalb der Systemgrenzen ein größeres (stärkeres, wichtigeres) Maß an Beziehungen besteht bzw. wahrgenommen wird als zwischen System und Umfeld. Dieses «Übergewicht der inneren Bindung» (N. Hartmann) macht daraus eine Gesamtheit im Sinne eines Systems. Die Systemgrenze muss dabei nicht physisch sichtbar sein. Sie kann rein gedanklicher Natur sein und je nach Betrachtungsstandpunkt durchaus unterschiedlich verlaufen – siehe dazu später.

1.1.2.3 Struktur eines Systems

Elemente und Beziehungen bilden ein Gefüge und weisen damit eine Ordnung auf. Man bezeichnet dies als *Struktur* eines Systems. Wir können darin Anordnungsmuster bzw. Ordnungsprinzipien der Elemente und der Beziehungen in einem System erkennen. Beispiele für derartige Strukturformen sind: hierarchische Struktur, Sternstruktur, Netzwerkstruktur, geschichtete Struktur, Strukturen mit Feedback u. a. m.

Anwendung der Begriffe am Beispiel eines Industriebetriebes

Versteht man einen Industriebetrieb als System, so ist er dadurch charakterisiert, dass er aus vielen verschiedenen *Elementen* bzw. Komponenten besteht, wie Mitarbeitern, Maschinen, organisatorischen Regelungen, Produkten, Rohmaterialien, Zwischenprodukten, Abteilungen u. a. m.

Innerhalb des Industriebetriebes sind viele *Beziehungen* wirksam und für das Funktionieren von großer Bedeutung. Diese Beziehungen verbinden die Elemente untereinander, z. B. als Materialfluss-, Informationsfluss-, Energieflussbeziehungen, soziale Beziehungen, Anordnungswege, Arbeitsreihenfolgen.

Da es sich um ein offenes System handelt, weist ein Industriebetrieb auch eine Umgebung auf, die es zum Überleben benötigt und die zum Verständnis der Funktionsweise relevant ist, z. B. Kunden, Marktbedürfnisse, Konkurrenten, Lieferanten, Arbeitsmarkt, Stand des technischen Wissens, Verbände, Kooperationspartner, Behörden, Gesetze, ökologische Umgebung, natürliche Ressourcen, Eigentümer, Banken. Zwischen dem System und dem Umfeld bestehen Beziehungen verschiedener, z. B. materieller, informationeller, energetischer Art, aber auch in Form von Wertflüssen u. a. m.

Die Abgrenzung von System und Umfeld ist zwar willkürlich, aber in vielen Fällen liegen – un-