



SYSTEMATISCHE PLANUNG MIT  
SYSTEMS ENGINEERING

von Reinhard HABERFELLNER, Dipl.-Ing.  
Dr. sc.techn.

Betriebswissenschaftliches Institut  
der ETH Zürich

Zusammenfassung:

Je weitreichender die Auswirkungen von Maßnahmen sind, deren Durchführung man beabsichtigt, desto besser müssen sie durch eine seriöse, methodische Planung abgesichert werden. Optimale Resultate können dadurch zwar nicht garantiert, die Wahrscheinlichkeit dafür aber wesentlich erhöht werden.

Systems Engineering ist eine leistungsfähige Planungsmethodik, die am Betriebswissenschaftlichen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich weiterentwickelt wurde, in Ausbildungskursen vermittelt und in der Beratungstätigkeit praktisch angewendet wird.

1. Einleitung und Übersicht

Die Ursache für das Scheitern betrieblicher Planungsvorhaben ist nicht unbedingt darin zu suchen, daß das Fachwissen der beteiligten Spezialisten unzureichend wäre. Vielfach ist gerade das Gegenteil der Fall: Hochqualifizierte Spezialisten bemächtigen sich betrieblicher Probleme und lösen sie aus der Sicht, die sie am besten kennen, aus der ihres Fachgebiets. Fachabteilungen, die darüber klagen, daß die EDV in ihre Bereiche "hineinregiere" und die betrieblichen Bedürfnisse vernachlässige, Rationalisierungsvorhaben, die unwirksam bleiben, weil sie nicht Ursachen, sondern Symptome bekämpfen, Industrialisierungsprojekte, die primär vom maschinentechnischen Standpunkten bearbeitet

werden und Fragen der Personalausbildung, der Materialbeschaffung, des Warenflusses, der Absatzorganisation u.ä. vernachlässigen, sind die Konsequenzen.

Zur Lösung derartiger Probleme genügen weder guter Wille, noch Fachwissen, Erfahrung u.ä. allein. Zusätzlich erforderlich ist eine brauchbare Vorgehensmethodik, die uns dazu anregt, Einzelprobleme in einen größeren Rahmen zu stellen, und die als Leitfaden zur Untergliederung eines Vorhabens in zweckmäßige und überblickbare Arbeitsschritte dienen kann.

Systems Engineering (SE) ist eine derartige Methodik. SE ist ein Weg, komplexe Probleme in Angriff zu nehmen und deren Lösung zu organisieren. Die Methodik soll die Arbeit der Fachspezialisten nicht konkurrenzieren, sondern wirkungsvoll unterstützen.

Bild 1 gibt eine Vorstellung von den Komponenten des SE. Es ist darin der Weg angedeutet, der vom Empfinden einer problematischen Situation (Problem), einer Chance oder Gefahr, zur Lösung des Problems, zur erfolgreichen Nutzung der Chance bzw. Anwendung der Gefahr führt.

Das Systemdenken ist zunächst eine Grundeinstellung zu Problemen im Sinne des gesamtheitlichen Denkens, des Denkens in Wirkungszusammenhängen. Es stellt darüber hinaus aber auch Modelle und Begriffe zur Verfügung, um die Komplexität einer realen Situation akzeptieren und bewältigen zu können.

Das Vorgehensmodell enthält eine Reihe von als zweckmäßig und erfolgversprechend erachteten Vorgehensschritten zur Lösungssuche.

Systemdenken und Vorgehensmodell bilden zusammen die SE-Philosophie.

Der Problemlösungsprozeß kann gedanklich in die Systemgestaltung (= Problemlösung im engeren Sinn) und das Projekt-Management (= Summe von planenden, steuernden und koordinierenden Maßnahmen im Hinblick auf die Einsatzfaktoren Personal, Geld, Sachmittel, wodurch die Problemlösung unterstützt bzw. überhaupt erst ermöglicht wird) untergliedert werden.

Zu den Techniken der Systemgestaltung gehören alle jene, die der Informationsbeschaffung, der Analyse der Problemstruktur, der Zielformulierung, der Lösungssuche, der Bewertung von Lösungsalternativen und der Auswahl dienen.

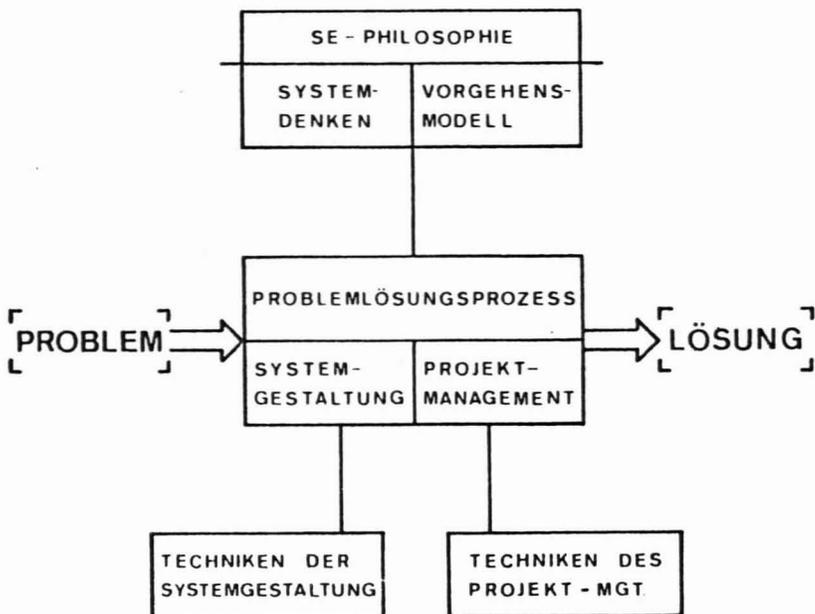


Bild 1: Komponenten des Systems Engineering

Die Techniken des Projekt-Management umfassen insbesondere alle Planungs- und Darstellungstechniken des Projektablaufs sowie die Möglichkeiten des Einsatzes verschiedener Organisationsmodelle bei der Projektabwicklung.

Der Schwerpunkt der folgenden Ausführungen liegt angesichts des Übersichtscharakters dieses Artikels auf den Komponenten Systemdenken und Vorgehensmodell.

## 2. Systemdenken

Viele Entscheidungen, die heute im Bereich der privaten und öffentlichen Wirtschaft getroffen werden, kranken daran, daß Einzelaspekte in einem allzu engen Rahmen isoliert gesehen werden. Das Systemdenken soll uns dazu anregen,

Einzelaspekte nicht für sich allein, sondern in Wirkungszusammenhängen als Bestandteile eines umfassenderen Systems zu sehen.

Der hier geäußerte Gedanke ist nicht ganz ungefährlich. Denn mit der Erweiterung des Betrachtungsbereichs ist auch die Gefahr einer sukzessiven Handlungsunfähigkeit verbunden. Aus diesem Grund müssen die so entstehenden, sich tendenziell unbegrenzt ausdehnenden Sachverhalte wieder abgegrenzt und untergliedert werden.

Der Systemansatz ist dabei als Denkmodell zu betrachten. Er stellt Modelle und Begriffe als Strukturierungshilfen zur Verfügung, um Probleme ganzheitlich behandeln zu können.

## 2.1 Begriffliches

### System

Ein System ist eine gegen die Umwelt abgegrenzte Gesamtheit von Elementen, die zur Erreichung von Zielen in einem Wirkungszusammenhang stehen bzw. in einen solchen gebracht werden können.

### Systemhierarchie

Als Systemhierarchie bezeichnet man die Gliederung eines Systems in Ober- und Untersysteme bzw. Elemente.

- Jedes System kann über praktisch beliebig viele Stufen in untergeordnete Systeme (= Untersysteme) gegliedert werden.
- Ein Element eines Systems ist jene Einheit, die man nicht mehr unterteilen will (weil die Struktur auf den tieferen Stufen z.B. vorläufig nicht wesentlich ist) oder - seltener - nicht mehr unterteilen kann (z.B. weil die unterste Stufe bereits erreicht ist).

### Beziehungen

Die Beziehungen (Relationen) zwischen den Elementen eines Systems bzw. zwischen

verschiedenen Systemen können den Charakter von Material-, Informations-, Energie- oder Kräfteflüssen annehmen. Sie können sachlogischer Art sein (z.B. Tätigkeitsfolgen angeben), es kann sich im einfachsten Fall auch nur um Anordnungs- bzw. Lagebeziehungen handeln.

Die Komplexität eines Systems wird maßgeblich durch den Beziehungsreichtum seiner Untersysteme oder Elemente bestimmt.

### Struktur

Das abstrakte Gerüst der Elemente eines Systems und ihre Beziehungen werden als Struktur bezeichnet. Die Struktur ist demnach das Anordnungsprinzip, nach dem das System aufgebaut ist.

### Systemgrenze, Umwelt

Ein System wird von seiner Umwelt durch eine effektive und sichtbare oder auch nur gedachte Grenzlinie abgegrenzt, die man Systemgrenze nennt.

Als Umwelt (Umsystem) wird alles bezeichnet, was außerhalb der Systemgrenze liegt; mit dem System aber Beziehungen aufweisen kann.

### Teilsysteme

Man kann Systeme unter bestimmten Teilaspekten, gewissermaßen durch eine Brille, betrachten, die ganz bestimmte Elemente, deren Eigenschaften und Beziehungen in den Vordergrund treten und andere verschwinden läßt. Derartige bewußt einseitige Systemabbildungen nennen wir Teilsysteme. Sie helfen, die Komplexität einer realen Situation temporär zu reduzieren.

## 2.2. Anwendungsaspekte des Systemdenkens

Folgende Teilaspekte charakterisieren die praktische Anwendung des Systemdenkens:

- Probleme sollen nicht in einem allzu engen Rahmen, sondern als Bestandteile eines umfassenderen Systems betrachtet werden. Der Betrachtungsbereich ist so lange zu erweitern, bis er auch jene Bereiche umfaßt, in denen man die

größte Nutzen für den Planer ist u. E. bereits dann erreicht, wenn

- er mit Hilfe des Systemansatzes eine problematische Situation sauber strukturieren, d.h. ihre Bestandteile (Elemente) und deren gegenseitige Beziehungen herausarbeiten, eine Abgrenzung des Untersuchungs- bzw. Gestaltungsbereichs vornehmen, die externen Einflußgrößen und Randbedingungen erfassen und dies veranschaulichen kann.
- die Situation für alle am Planungsprozeß Beteiligten dadurch verständlich bzw. vernünftig diskutierbar wird und man über eine brauchbare Basis für die Erarbeitung eines Tätigkeits- bzw. Untersuchungsprogramms verfügt.

### 3. Vorgehensmodell

Das nachstehend beschriebene Vorgehensmodell enthält eine Reihe von Vorgehensrichtlinien, die sich praktisch bewährt haben. Es läßt sich durch drei gedankliche Ansätze charakterisieren: Es ist zweckmäßig,

- vom Groben zum Detail vorzugehen und nicht umgekehrt
- den Prozeß der Entwicklung und Realisierung einer Lösung in zeitlich voneinander abgrenzbare Phasen zu gliedern
- bei der Lösung von Problemen innerhalb der einzelnen Phasen einen in seiner Grundstruktur gleichbleibenden Problemlösungszyklus anzuwenden.

#### 3.1 Vom Groben zum Detail

Da eine Summe von Teilentscheidungen noch kein tragfähiges Gesamtkonzept gibt, soll zunächst ein genereller Lösungsrahmen festgelegt werden, dessen Konkretisierungs- und Detaillierungsgrad später stufenweise erhöht wird. Neben der schrittweisen Einengung des Betrachtungsfeldes ist dabei eine stufenweise Variantenbildung und -ausscheidung charakteristisch: Man soll sich auf jeder Betrachtungsstufe einen möglichst umfassenden Überblick über denkbare Lösungsmöglichkeiten verschaffen, diese jeweils so weit konkretisieren, daß man sich ein grobes Bild über die Wirkungsweise, die Voraussetzungen und Konsequenzen (inkl. Kosten und Nutzen) machen kann, und im Anschluß daran die erfolgversprechendste Lösung wählen usw. (siehe Bild 2).

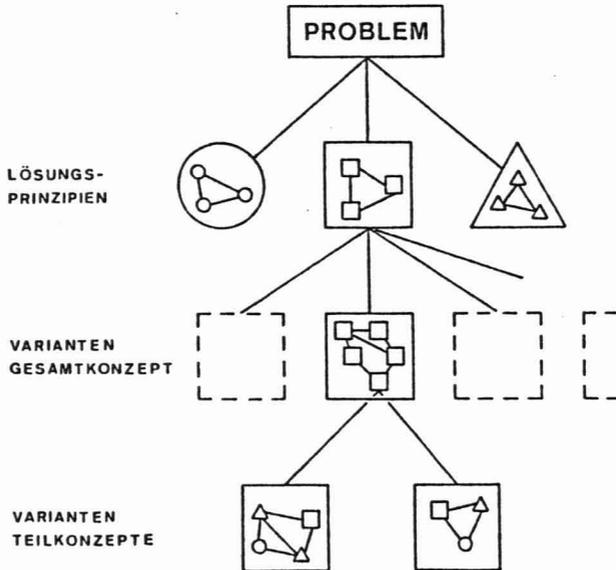


Bild 2: Vom Groben zum Detail

Diese Zwischenauswahl auf jeder Stufe hat den Zweck, ein explosionsartiges Anwachsen des Variantenspektrums zu verhindern. Es ist vor allem für den Auftraggeber wichtig, ihre Bedeutung zu erkennen, damit er sich nicht der Illusion hingibt, er könnte bei der Entscheidung über die Freigabe zum Systembau noch eingreifen und die Lösung nach seinen Vorstellungen beeinflussen. Die Variantenvielfalt wurde an den Übergängen zwischen den einzelnen hierarchischen Stufen bereits derart eingeschränkt, daß die Lösung praktisch kaum mehr beeinflußt, sondern nur noch akzeptiert oder abgelehnt werden kann.

## GRUNDSATZ 1

BEI DER PLANUNG VON SYSTEMEN SOLL VOM GROBEN ZUM  
DETAIL VORGEGANGEN WERDEN

, DETAILLIERTE ERHEBUNGEN ERST NACH EINER GROBSTRUKTURIERUNG

## DES PROBLEMFELDES

- ZUERST GENERELLE ZIELE UND LÖSUNGSKONZEPTE ERARBEITEN, DIE DEN RAHMEN FÜR DIE SYSTEMENTWICKLUNG AUF DEN TIEFEREN STUFEN BILDEN UND ALS ORIENTIERUNGSHILFEN FÜR DIE DETAILLIERTE AUSGESTALTUNG DIENEN
- DIE ERARBEITUNG UND GEGENÜBERSTELLUNG VON JEWEILS MEHREREN LÖSUNGSANSÄTZEN (VARIANTEN) VERSCHAFFT EINEN BESSEREN EINBLICK IN DIE PROBLEMSITUATION UND GIBT MEHR SICHERHEIT HINSICHTLICH DER RICHTIGKEIT DES WEITEREN ABLAUFES.

### 3.2 Phasenablauf

Die Unterscheidung verschiedener, nach zeitlichen Gesichtspunkten voneinander abgegrenzter Vorgehensphasen stellt eine Konkretisierung und Erweiterung der Vorgehenskomponente "Vom Groben zum Detail" dar. Sie ermöglicht es, ein Vorhaben in überschaubare Teiletappen zu gliedern und schafft damit die Basis für einen stufenweisen Planungs-, Entscheidungs- und Realisierungsprozeß (Bild 3). Der Inhalt der einzelnen Phasen soll nachstehend stichwortartig angegeben werden.

Vorstudie: Mit vertretbarem Aufwand abklären,

- ob richtiges Problem angegangen wird
- ob Bedürfnis nach einer neuen bzw. geänderten Lösung besteht
- welchen Anforderungen diese genügen sollte
- welche Lösungsprinzipien denkbar und ob sie in technischer, wirtschaftlicher, sozialer u.ä. Hinsicht realisierbar sind
- welches Lösungsprinzip das erfolgsversprechendste ist.

Hauptstudie: Ausgehend von gewähltem Lösungsprinzip Gesamtkonzept erarbeiten, das

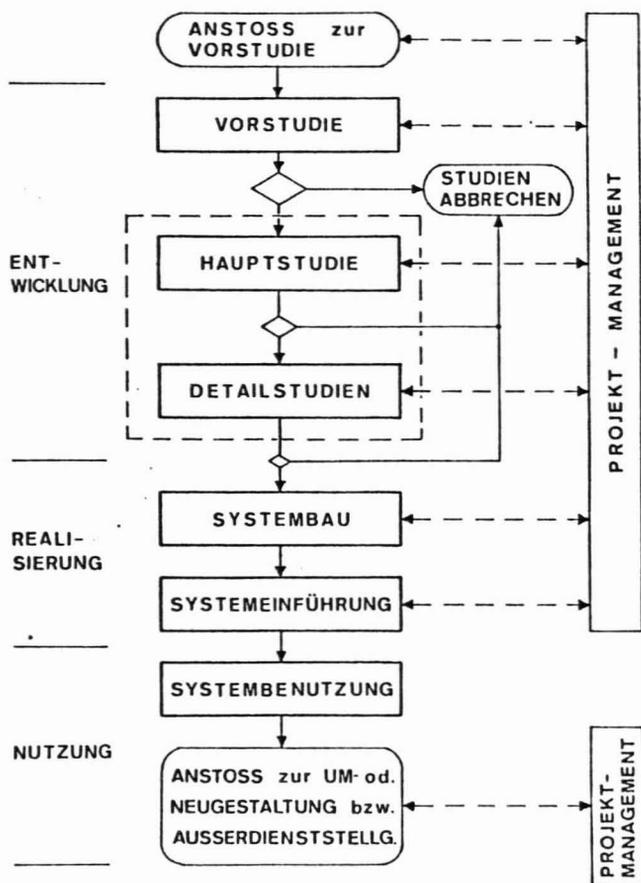
- eine fundierte Beurteilung der Funktionstüchtigkeit, Zweckmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit der eingeschlagenen Lösungsrichtung ermöglicht
- gestattet, Investitionsentscheidungen zu treffen

Ursachen für beobachtete Mängel lokalisieren kann oder vermutet, bzw. bis man die Auswirkungen geplanter Maßnahmen im Blickfeld hat.

- Je größer der Betrachtungsbereich ist, desto schwieriger ist er zu erfassen und zu bewältigen. Er ist deshalb möglichst rasch wieder auf ein tolerierbares Maß zu beschränken und zu strukturieren.
- Bei der Abgrenzung sind Zweckmäßigkeitüberlegungen maßgebend. Aufgaben- und ablaufmäßig Zusammenhängendes soll durch die Grenzbeziehung nicht zerrissen werden (Beachtung des "Übergewichtes der inneren Bindung").
- Ein abgegrenztes System weist Beziehungen zu seiner Umwelt auf, die sichtbar gemacht und bei der Gestaltung einer Lösung beachtet werden müssen.
- Die bei der Untergliederung entstehenden Untersysteme weisen intensivere gegenseitige Beziehungen auf als jene mit Umwelt (wenn dies nicht der Fall ist, wurden die Systemgrenzen unzweckmäßig gewählt).
- Eine zweckmäßige Strukturierung ermöglicht es, einzelne abgegrenzte Teile herauszugreifen und während begrenzter Zeit isoliert zu behandeln. Dies ist insbesondere im Zusammenhang mit der Erarbeitung von Teillösungen von Bedeutung. Die spätere Integration von Teillösungen ist dann relativ einfach, wenn ein Gesamtkonzept existiert, in dem ihr Standort definiert ist.
- Die Ursachen einer problematischen Situation sind leichter feststellbar, wenn die Beziehungen zwischen Elementen des Systems und jenen, die mit der Umwelt bestehen, sichtbar gemacht werden.
- Komplexe Sachverhalten können durch eine einzige Systemdarstellung nicht ausreichend erfaßt werden. Es sind in der Regel verschiedene Teilaspekte nötig, unter denen ein Sachverhalt betrachtet werden muß (mehrdimensionale Systembetrachtung, Teilsystembegriff).
- Die Blackbox-Betrachtungsweise ermöglicht die Grobstrukturierung einer problematischen Situation oder einer Lösung unter vorläufiger Vernachlässigung von Details. Dies hilft den Überblick wahren und die Zusammenhänge sicherstellen.

Systemdenken kann in seiner extremen Anwendung zu mathematischen Modellen führen, mit deren Hilfe die Optimierung betrieblicher Systeme beabsichtigt wird. Die hier erhobenen Ansprüche sind jedoch ungleich bescheidener: Der

- die Definition von Teilprojekten und die Festlegung von Realisierungsetappen ermöglicht (Abhängigkeiten, Prioritäten, Teillösungen).



◇ = Entscheidung über Fortführung des Vorhabens  
(Modifikation der Zielsetzungen möglich)  
Grösse des Rhombus = Mass für die Wahrscheinlichkeit des Abbruchs

Bild 3: Phasenablauf

### Detailstudien: Starkes Einengen des Betrachtungsfeldes

- detaillierte Lösungskonzepte für Unter- oder Teilsysteme erarbeiten (wichtige bzw. kritische Systemkomponenten mit höherer Priorität bearbeiten)
- bessere Einsicht in Detailprobleme und Lösungsmöglichkeiten kann Anpassung des Gesamtkonzepts erforderlich machen
- Detailkonzepte sind soweit zu konkretisieren, daß sie anschließend realisiert ("gebaut" und "eingeführt") werden können.

Systembau: Beinhaltet alle Maßnahmen, die zwischen Abschluß der Konzeption und Einführung erforderlich sind, z.B.:

- Bau von Gebäuden, Produktionsanlagen
- Einrichten von Räumlichkeiten
- Programmierung von Abläufen
- Druck von Formularen
- Detaillierung organisatorischer Maßnahmen (Verfassen von Benutzer- und Bedienungsanweisungen etc.).

Systemeinführung: Schulung und Instruktion der Benutzer, Übergabe und Inbetriebnahme (entspr. den festgelegten Realisierungsetappen); evtl. Pilotbetrieb in abgeschlossenem Bereich.

Systembenützung: Wartung und Unterhalt. Erfahrungen sammeln für Verbesserung bzw. für Gestaltung ähnlicher neuer Lösungen.

## GRUNDSATZ 2

DER PROJEKTABLAUF SOLL IN ZEITLICH VONEINANDER ABGRENZBARE PHASEN GEGLIEDERT WERDEN, DIES ERMÖGLICHT EINEN STUFENWEISEN PLANUNGS-, ENTSCHEIDUNGS- UND KONKRETISIERUNGSPROZESS.

### 3.3 Problemlösungszyklus (PLZ)

Bezeichnet man das Lebensphasenmodell als Makro-Strategie, so kann man beim PLZ von einer Mikro-Strategie sprechen, die vor allem innerhalb jeder der Entwicklungsphasen (Vor-, Haupt-, Detailstudien) zur Anwendung kommt. Der PLZ läßt sich in die Subprozesse Zielsuche, Lösungssuche und Auswahl gliedern (Bild 4).

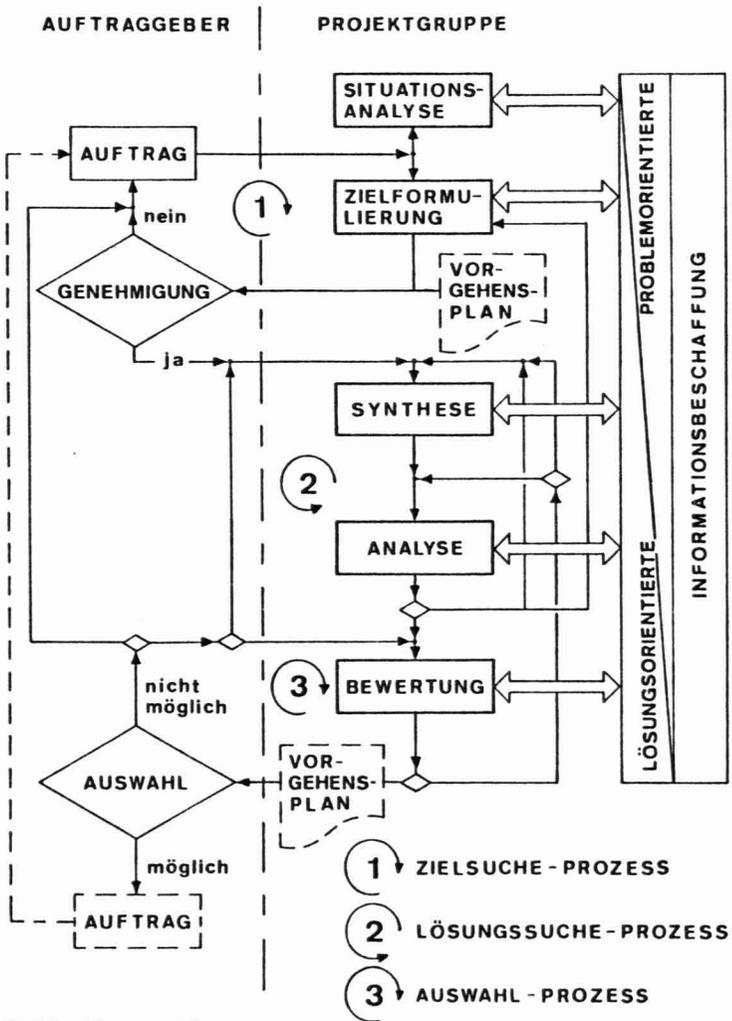


Bild 4: Problemlösungszyklus

Die Elemente dieser Darstellung sind nachstehend stichwortartig beschrieben:  
**Auftrag:** Problembeschreibung aus der Sicht des Auftraggebers, die bereits konkrete Anforderungen enthalten kann. Wenn der Lösungsweg im Auftrag bereits vorgeschrieben ist, diesen nicht unkritisch übernehmen (prüfen in Situationsanalyse).

Situationsanalyse: Problem verstehen und strukturieren; offensichtliche Mängel, Symptome einer unbefriedigenden Situation, erfassen und deren Ursachen untersuchen. Betrachtungsfeld abgrenzen. Blickfeld vor allem in Vorstudie nicht zu eng wählen. Wichtige Beschränkungen und Randbedingungen für Lösungssuche herausarbeiten. Entwicklungstendenzen abschätzen.

Zielformulierung: Beschreiben von erwünschten oder ausdrücklich unerwünschten Wirkungen der Lösung. Mußziele: Erreichung zwingend vorgeschrieben. Wunschziele: Erreichung positiv beurteilt, aber nicht unbedingt erforderlich.

Genehmigung: Gegenseitige Abstimmung von Ziel- und Wertvorstellungen zwischen Auftraggeber und Projektgruppe.

(Konzept-)Synthese: Suche nach Lösungen (Varianten). Verwendung von kreativen Techniken.

(Konzept-)Analyse: Kritische Prüfung von Lösungsvarianten, für sich allein betrachtet und gedanklich in den Rahmen ihrer Umwelt eingebettet. Untaugliche Varianten verbessern (zurück zu Synthese) oder ausscheiden; evt. Zielanpassung erforderlich.

Bewertung: Formale Gegenüberstellung tauglicher Lösungsvarianten. Bewertung ersetzt Entscheidung nicht, soll Entscheidungssituation transparent machen.

Auswahl: Durch Auftraggeber oder eine durch ihn zu benennende Instanz.

Informationsbeschaffung: Nicht allumfassend, sondern gezielt. Während der Zielsuche problemorientiert, später zunehmend lösungsorientiert.

### GRUNDSATZ 3

IN JEDER ENTWICKLUNGSPHASE SOLL NACH DER IM P R O B L E M L Ö -  
S U N G S Z Y K L U S ENTHALTENEN GRUNDLOGIK VORGEGANGEN WERDEN

- . ZIELSUCHE (WAS WOLLEN WIR?)
- . LÖSUNGSSUCHE (WELCHE MÖGLICHKEITEN GIBT ES?)
- . AUSWAHL (WELCHE IST DIE BESTE?)

#### 4. Bedeutung und Grenzen einer Vorgehensmethodik

Methodisches Vorgehen ist ein Hilfsmittel, um sich selbst und anderen erklären zu können, was man macht, warum man es macht und was man als nächstes tun soll. Auch methodisches Vorgehen kann keine Garantie für optimale Ergebnisse bieten, aber sie schafft bessere Voraussetzungen dafür. Methodik darf dabei nicht zum Selbstzweck werden, sie soll die Facharbeit unterstützen, nicht dominieren.

Methodisches Vorgehen ist umso wichtiger, je

- umfangreicher ein Vorhaben ist, und je länger es dauert
- größer der Kreis der Beteiligten und Betroffenen ist
- größer die Auswirkungen hinsichtlich Mitteleinsatz (Geld und Sachmittel) und je
- weitgreifender die mutmaßlichen Änderungen sind, die das Vorhaben bewirkt.

SE ist nicht erforderlich bei Routinevorhaben, deren Problemstruktur klar und deren Lösungsweg vorgezeichnet sind. Je weniger dies aber der Fall ist, desto wichtiger ist es, methodisch, d.h. planmäßig und systematisch, vorzugehen, also

- ein Problem in einem größeren Zusammenhang zu sehen, es sauber zu strukturieren und zu definieren
- das Vorgehen in einzelne Etappen mit vorgeplantem Marschhalten, Ausstiegs- bzw. Korrekturpunkten zu gliedern (Tendenz: "Vom Groben zum Detail") und
- sich innerhalb jeder Etappe die Frage zu stellen
  - Was wollen wir? (Zielsuche)
  - Welche Möglichkeiten gibt es, dies zu erreichen? (Lösungssuche)
  - Welche ist die beste? (Auswahl)

Auf diese einfache Formel gebracht, ist SE weder eine Geheimwirtschaft noch eine Vorgehensanweisung, der man aus Aufwandsgründen Bedenken entgegenstellen müßte. Natürlich verursacht systematische Planung auch Aufwand. Aber man sollte diesen Aufwand ins Verhältnis zum Risiko setzen, das man eingeht, wenn man auf Planung verzichtet.

Literatur:

- Büchel, A.: Systems Engineering. In: Management Enzyklopädie. Moderne Industrie, München 1971.
- Daenzer, W. (Hrsg.): Systems Engineering. Leitfaden zur methodischen Durchführung umfangreicher Planungsvorhaben. Industrielle Organisation, Zürich und Peter Hanstein, Köln 1976/77.
- Haberfellner, R.: Organisationsmethodik.  
In: Grochla (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation. Poeschel, Stuttgart (erscheint 1978).