

Complex Systems Engineering

Qualifikationsprofil und Aufgabenbeschreibung

von **Michael Endl**

Das **Complex Systems Engineering** befasst sich mit der wissenschaftlichen Erforschung von Strukturen, Beziehungen und möglichen Konsequenzen von Interaktionen und Nicht-Linearitäten in Systemen, die sich aus vielen **Objekten** mit den unterschiedlichsten Charakteristika zusammensetzen, um daraus Produkte zu entwickeln, mit denen diese Systeme von uns Menschen gemanagt werden können.

Die Charakteristika heutiger Systeme können rein technischer, ökonomischer, ökologischer oder sozialer Natur sein, am häufigsten treten jedoch Kombinationen all dieser Eigenschaften auf. Weiters tendieren diese Systeme zunehmend dazu, umfangreicher und komplexer, verteilt, vernetzt und von ganz spezifisch auftretenden Ereignissen abhängig zu werden.

Große Konzerne wie Siemens oder EADS machen immer öfters die Erfahrung, dass viele ihrer Geschäftsbereiche sich zu so genannten großen komplexen Systemen (**Large Scale Complex Systems**) entwickeln. Integrierte Verkehrs-, Energieversorgungs- und Telekommunikationssysteme sind nur einige Beispiele dieser Large Scale Complex Systems.

Es ist zu erwarten, dass sich in den nächsten Jahrzehnten das **Complex Systems Engineering & Management** weit über seine gegenwärtige ökonomische Bedeutung hinaus entwickeln wird.

Alle großen komplexen Systeme unterscheiden sich sowohl in ihrer Struktur und Funktion als auch in ihrem Einsatzbereich voneinander. Öffentliche Telekommunikationssysteme zum Beispiel sind äußerst langlebig und können zu unzähligen technischen Versionen und Länder spezifischen Varianten weiterentwickelt werden. Obwohl Kraftwerksprojekte oft auf wenige Kerntechnologien beschränkt werden können, besteht die Leistung der Ingenieure darin, diese unterschiedlichen und verteilten Technologien sinnvoll zu einem Gesamtkonstrukt zu integrieren. Andererseits ist der Aufbau eines weltweiten Netzwerks, wie es das WorldWideWeb repräsentiert, in erster Linie eine Konfigurations- und Integrationsaufgabe, bei der Ingenieure aus Tausenden potentiellen Komponenten, Subsystemen und Software-Produkten auszuwählen haben, um den strengen Vorgaben in Bezug auf Zuverlässigkeit, Flexibilität, Funktionalität und Kosten zu entsprechen. Verkehrssysteme wie zum Beispiel Flughäfen mit Eisenbahnanbindung tendieren dazu so genannte **One-Of-A-Kind Systeme** zu sein, weil sie extrem an ihre natürliche Umgebung gebunden sind und somit einer strengen örtlichen Gesetzgebung unterliegen.

Natürlich wird man als Ingenieur beim Bau großer komplexer Systeme mit einer Unzahl **alltäglicher Herausforderungen** konfrontiert, die charakteristisch für das Complex Systems Engineering sind. In den meisten Fällen müssen sowohl die technologische Innovation und Marktdynamik als auch die Evolutionsgeschichte eines Produkts mit seinen produzierten Versionen und den in Betrieb befindlichen Varianten in Betracht gezogen werden. Ebenso muss auf die Kooperation der einzelnen ausführenden Personen, in Bezug auf ihre Fertigkeiten in heterogenen Teams, während aller Phasen des langen Lebens eines Produkts, Rücksicht genommen werden.

Es gibt mittelgroße Systeme, die aus 5.000 und mehr funktionalen Charakteristika bestehen. Wie oben bereits erwähnt, sind diese Anforderungen nicht nur rein technischer Natur, sondern müssen auch ökonomische und juristische Vorgaben erfüllen. Und in vielen Fällen ist es Ingenieuren nicht gelungen, alle diese Zusammenhänge in einer systematischen Art und Weise zu beschreiben und zu dokumentieren.

Dieser Mangel eines stringenten Modells für ein System oder Produkt ist zum Teil auf die Tatsache zurück zu führen, dass seine Eigenschaften im Lauf der Zeit weiterentwickelt wurden, um den Vorgaben eines sich ständig verändernden Marktes gerecht zu werden. Eine detaillierte Produktbeschreibung ist teilweise deshalb so schwierig, weil sehr viele Aspekte eines Systems relevant sind und dokumentiert werden müssen. Diese Aspekte erstrecken sich von den vielen Arten der anfallenden Kosten bis in Teilbereiche der Produktion, Instandhaltung und gesetzlichen Vorgaben.

Große komplexe Systeme können nicht isoliert von ihrer Umwelt entworfen, gebaut oder betrieben werden. Sie sind einem ständigen Einfluss sowohl ihrer **äußeren** als auch **inneren** Welt ausgesetzt.

Während die Technologie oft den Entwicklungsprozess von kleineren Systemen zu dominieren scheint, muss speziell bei der Konstruktion von großen komplexen Systemen auf nicht technische Vorgaben wie örtliche Gesetze und kulturelle Eigenheiten, Lizenzen und vertragliche Bindungen, mögliche zukünftige Änderungen und Wartung, ökologische Abhängigkeiten, öffentliche Akzeptanz usw. Rücksicht genommen werden.

Heutige Systemingenieure tendieren dazu ein System mehr in Bezug auf die technischen Charakteristika seiner Einzelkomponenten, als auf die Beziehungen dieser Komponenten untereinander zu verstehen. Weiters konzentrieren sie sich hauptsächlich auf die Eigenschaften von Einzelkomponenten bezogen auf das Gesamtsystem, als darauf wie Interaktionsrelationen auf die Systemcharakteristik einwirken.

Im Gegensatz dazu ist ein Complex Systems Engineer ein Experte für **Relationen/Beziehungen** und nicht ein Generalist, der ein bisschen was von allen Einzelkomponenten weiß.

Das Requirement-Engineering wird in Zukunft immer mehr zu einer der wichtigsten Voraussetzungen im Lebenszyklus eines großen komplexen Systems. Um zu bestimmen, was so ein System können oder nicht können **soll**, **muss** und **darf**, ist eine notorisch schwierige, Zeit und Ressourcen verzehrende Aufgabe. Die meisten der heute im Umlauf befindlichen Systemdokumentationen sind vage, unvollständig, widersprüchlich, schwer zu verstehen, nicht verbesserungsfähig und fast nicht handhabbar. Bis heute existieren nur sehr primitive Werkzeuge und Methoden, um die unterschiedlichen Anforderungen eines großen komplexen Systems in einer systematischen Art zu explizieren.

Große komplexe Systeme und ihre jeweiligen Umgebungen bilden so genannte **Domänen**, die hoch idiosynkratisch (überempfindlich gegen äußere Einflüsse) sind. Hauptsächlich gilt dies für die Domänen Transport, Energie und Telekommunikation. Da jedoch die Methoden und Werkzeuge, die heute in der Systemtechnik zur Anwendung kommen sehr allgemein gehalten sind, kann mit ihnen nicht auf die speziellen Anforderungen dieser Domänen eingegangen werden. Durch spezifisch entwickelte Makromodelle und deren Implementierung auf leistungsfähigen Computersystemen lässt sich jedoch das Verständnis dieser großen komplexen Systeme verbessern.

Die Aufgaben des Complex Systems Engineering liegen also darin, in diesen scheinbar unübersichtlichen und undurchschaubaren Systemen Strukturen und Beziehungen zu erkennen und zu analysieren, und falls das nicht möglich sein sollte, neue zu definieren. Unterstützt durch moderne Computertechnik wird der Complex Systems Engineer Methoden und Werkzeuge entwickeln, mit denen es künftig möglich sein wird, große komplexe Systeme noch zuverlässiger managen zu können.

Wels, 12. Dezember 2006