

## Erläuterungen zur Methode: Systemanalyse und Simulation

Die nachfolgenden leicht überarbeiteten Erläuterungen wurden dem Bericht zum Forschungsprojekt **"Technikfolgenabschätzung für die landwirtschaftliche Produktion"** von Prof. Dr. Hartmut Bossel; Dipl.-Ing. Peter H. Kramer u.a. entnommen. Die zumeist in Klammern gesetzten Ergänzungen erfolgten 1997. Der vollständige Bericht wurde als **Bundestagsdrucksache 10/6801, Band V, 1987** veröffentlicht (Enquete-Kommission „Einschätzung und Bewertung von Technologien; Gestaltung von Rahmenbedingungen der technischen Entwicklung). 2019 wurde er auf die neue Rechtschreibung angepasst.

Simulation und Systembeschreibungen dienen nicht einem Selbstzweck. Ziel ist es die Möglichkeiten der menschlichen Handlungen in seinen Folgen abschätzen zu können.

Außer in trivialen Fällen hat eine Folgenabschätzung immer mit einem komplexen Gesamtsystem zu tun, in dem Teilsysteme unterschiedlicher Qualität miteinander verkoppelt sind. Zwangsläufig ist daher eine Abschätzung der Folgen (z.B. der Gemeinbedarfsentwicklung) eine Systemstudie und, da eine zeitliche Entwicklung verfolgt werden muss, eine Analyse dynamischer Systeme.

Eine Folgenabschätzung soll Wirkungen und Entwicklungen entdecken helfen, die zwar im System, seinen Ausgangszustand und seinen Entwicklungsbedingungen angelegt sind, die aber nicht ohne weiteres ersichtlich sind, weil sie zum Teil durch die Entwicklung des Systems erst generiert werden. Prinzipiell werden also Abweichungen vom historischen Verhalten erwartet. Die Fortschreibung von Beobachtungen aus der Vergangenheit reicht daher nicht aus; es müssen die im System selbst wirkenden Vorgänge untersucht werden. Dies setzt zwingend eine strukturgültige Beschreibung voraus, d.h. die wirkungs- und entwicklungsbestimmende Systemstruktur muss sich auch in der Darstellung der Folgenabschätzung wiederfinden. Es gilt also, die verhaltensrelevanten Verknüpfungen zu identifizieren und zu beschreiben.

Die zeitliche Entwicklung eines Systems wird durch die Entwicklung seines Zustandes beschrieben, die sich wiederum anhand charakteristischer Systemgrößen (Zustandsgrößen, Zustandsvektor) ausdrücken lässt. (Im Falle der demographischen Entwicklung wären dies u.a. Anzahl der Bevölkerung je Jahrgang, Geschlecht, Geburten häufigkeit).

Diese Zustände ändern sich von einem Zeitpunkt zum nächsten durch die zwischenzeitlich ablaufenden Prozesse. Diese Prozesse und die daraus resultierenden Zustandsänderungen ergeben sich teilweise aus den Zustandsgrößen selbst (z.B. Die Mütter von heute mussten gestern geboren werden), zum Teil sind sie durch äußere (exogene), und teilweise zufällige Bedingungen bestimmt, auf die das System keinen Einfluss hat (z.B. Wirtschaftliche Entwicklung außerhalb des Untersuchungsraumes oder Katastrophen).

Diese Wirkungsbeziehungen zwischen Zustandsgrößen, Prozessen und exogenen Bedingungen müssen in der Systemdarstellung richtig wiedergegeben sein, um zu einer

gültigen Folgenabschätzung zu gelangen. Die für eine Folgenabschätzung notwendige Betonung der Systemstruktur, ihrer Elemente und Wirkungsbeziehungen folgt auch aus der Tatsache, dass die Folgenabschätzung immer voraussetzt, dass am System eine Veränderung vorgenommen wird durch neue Bedingungen oder Änderung bestehender Verhältnisse (städtebauliche Entwicklung, Wohnungsbau etc.). Die Folgewirkungen lassen sich aber nur ermitteln, wenn eine entsprechende Systembeschreibung vorliegt.

Die zu untersuchende Weitergabe von Wirkungen setzt damit die Abbildung der Wirkungsstruktur und damit der relevanten Systembeziehungen voraus. Sie bedeutet gleichzeitig auch, dass dynamische Effekte prinzipiell erwartet werden, die von dem linearen Wirkungsprinzip (kleine Ursache/Eingriffe - kleine Wirkung, große Ursache/Eingriffe - große Wirkung) abweichen kann. Hierfür gibt es mehrere wichtige Gründe, die praktisch in jedem realen System anzutreffen sind: Rückkopplungen, Speichereffekte und nichtlineare Wirkungsbeziehungen.

Rückkopplungen führen oft zu dynamischen Effekten, die jeden anderen Einfluss überwältigen. Sie spielen daher eine enorme Rolle bei der Dynamik von Systemen und insbesondere bei ihrer Stabilität. (Beispiel: Abwanderung Jugendlicher zu den Stätten ihrer Ausbildung, weniger potentielle Mütter, weniger Kinder und Schüler usw.)

Speichereffekte im System können dazu führen, dass systembedrohende allmähliche Veränderungen lange Zeit kaum Auswirkungen haben und dass umgekehrt auch massives Handeln zum Zeitpunkt der akuten Bedrohung kaum noch Wirkung zeigt. (Beispiel: Bei ansteigenden Geburtenzahlen fehlt ausreichend Wohnraum, wenn diese Kinder später ihren Haushalt gründen wollen. Bis der Wohnraum dann geschaffen ist, sind die jungen Leute längst abgewandert.)

Nichtlineare Wirkungen, etwa das Umkippen eines Ökosystems bei Überschreiten des Schwellenwertes einer Belastung, sind in realen Systemen weit verbreitet und müssen in Folgenabschätzungen berücksichtigt werden. Das Systemverhalten hängt im allgemeinen stark von der quantitativen Höhe solcher Schwellenwerte ab oder anderer nichtlinearer Parameter, so dass sich bei der Folgenabschätzung die Aufmerksamkeit besonders auch auf diese kritischen Wirkungsbeziehungen konzentrieren muss. (Beispiel: Der derzeitige Bevölkerungsaufbau ist extrem nicht linear, ebenso wie die Geburten- und Sterberaten. Dadurch kommt es starken Schwankungen bei der Anzahl der Geborenen. Der Babyboom der 60er Jahre und der anschließende 'Pillenknick' wird auch noch die demographische Entwicklung des 21. Jahrhunderts bestimmen.)

Diese Einflüsse sind in der einen oder anderen Form praktisch in jedem System zu finden und bestimmen dann meist das Systemverhalten unter gewissen Bedingungen. Da die Folgenabschätzung das gesamte Spektrum der möglichen Systemverhaltensweisen unter plausiblen äußeren Bedingungen abdecken soll, müssen diese Effekte berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass die Strukturgültigkeit der Systembeschreibung als unumgängliche Voraussetzung der Folgenabschätzung zu fordern ist. Das bedeutet aber auch, dass Systembeschreibungen von der Klasse der statistischen Modelle, die auf der

Grundlage von in der Vergangenheit beobachteten Zeitreihen mathematische Zusammenhänge zwischen den Input- und den Output-Größen eines Systems konstruieren, im allgemeinen für eine gültige Folgenabschätzung absolut unzulässig sind. Bei diesen Modellen wird nicht der Versuch unternommen, die reale Struktur gültig darzustellen und mit den realen Systemparametern zu quantifizieren, sondern es wird eine einfache mathematische Relation zwischen Input und Output postuliert, und die dazugehörigen Parameter werden so geschätzt, dass die erhaltene mathematische Funktion die empirischen Vergangenheitsdaten in etwa wiedergibt. Dieses Verfahren kann zur Bestimmung einzelner Systemparameter der Folgenabschätzung verwendet werden, aber es ist für eine vollständige Folgenabschätzung nicht verwendbar. Die geänderten Bedingungen, deren Folgen abgeschätzt werden sollen, können prinzipiell auf verschiedene Weise in die Wirkungsbeziehungen eines bestehenden Systems eingreifen:

1. Neue Elemente und entsprechende Wirkungsbeziehungen werden in das bestehende System eingeführt (z.B.: Einführung der 'Pille')
2. Bisher unbekannte Wirkungsbeziehungen werden relevant (z.B.: die Emanzipation)
3. Systemparameter verändern sich (z.B.: Die Ausbildungsdauer steigt)
4. Die exogenen Größen dominieren das System, welches selber keinen Einfluss auf diese hat. (z.B.: Die wirtschaftliche Entwicklung der Nation oder der Welt bestimmt über die Erwerbstätigkeit die Anzahl der Kinder je Familie.)

Es ist offensichtlich, dass die Vielfalt dieser möglichen Einwirkungen nicht durch ein simples Einheitsverfahren berücksichtigt werden kann, sondern dass jeweils eine Systemdarstellung erforderlich ist, die sich an den realen Wirkungszusammenhängen orientiert.

Die Eigendynamik mancher System kann dazu führen, dass sie bei selbst geringfügigen Veränderungen auf Bahnen geraten, aus denen sie weder gewollte noch ungewollte externe Einflüsse leicht herausbringen. Solchen selbsterzeugten Entwicklungspfaden muss die besondere Aufmerksamkeit der Folgenabschätzung gelten. Die Analyse wird bei solcher autonomer Systemdynamik dadurch vereinfacht, dass die genaue Erfassung der äußeren Bestimmungsgrößen von untergeordneter Bedeutung ist, während allerdings die für die Eigendynamik verantwortlichen Strukturkomponenten genau bekannt sein müssen.

Um eine realistische Beschreibung des wahrscheinlichen Systemverhaltens zu bekommen, müssen über die äußeren Einflüsse oder internen Strukturverschiebungen Annahmen gemacht werden. Diese Annahmen betreffen sowohl die Art, den Zeitpunkt (oder die zeitliche Verteilung) und die Stärke von äußeren Einwirkungen oder Ereignissen. Im allgemeinen wird es sich um eine Vielzahl von möglichen Einflüssen handeln, die zunächst in beliebiger Kombination eintreten können. Die vollständige Untersuchung beliebiger Kombinationen ist offensichtlich aussichtslos.

In der Praxis der Folgenabschätzung wird die Vielfalt der möglichen Kombinationen externer Einwirkungen in 'Szenarien' zusammengefasst. Ein Szenario steht dabei unter einer

bestimmten Leitidee, an der sich die Auswahl der Art und Stärke der äußeren Einwirkungen orientiert. Diese Leitidee, in der Kurzbeschreibung des Szenarios und meist auch in seinem Titel fixiert, bestimmt die Grundzüge der externen Entwicklung und wird benutzt, um einen im Rahmen dieser Grundannahmen plausiblen und in sich konsistenten Satz von externen Parametern abzuleiten. Selbstverständlich müssen die Annahmen des Szenarios relativ bruchlos an die historische Entwicklung anknüpfen, es sei denn, es sollen gerade die Folgewirkungen eines solchen Bruches untersucht werden. Mit der strukturgetreuen Beschreibung eines Systems, den Daten für seinen Anfangszustand und der Vorgabe externer Einwirkungen über den interessierenden Zeitraum in Form von Szenarien ist es im Prinzip möglich, die zu erwartende Entwicklung zu beschreiben. Bei komplexen Systemen, wie es dies bei Folgenabschätzungen im allgemeinen der Fall ist, wird dies mit Hilfe eines computerisierten Simulationsmodells zu geschehen haben. Dieses hat vor allem den Vorteil, dass sich ohne großen Zeitaufwand beliebige Struktur- und Parameterveränderungen durchführen lassen, um etwa die mutmaßlichen Folgen von Eingriffen oder die Empfindlichkeit der Reaktionen des Systems (Sensitivität) auf nur unsicher zu schätzende Parameter zu ermitteln. Mit solchen Simulation kann vor allem auch die gesamte Bandbreite der möglichen Entwicklungspfade (die 'systemaren Alternativen') nach Vorgabe entsprechender Szenarien mit relativ geringem Aufwand abgeklopft werden.

Die Untersuchung der möglichen Bandbreite zukünftiger Wirkungen und Entwicklungen unterscheidet sich grundsätzlich von dem Versuch, mit Hilfe eines Systemmodells zu einer Prognose der zukünftigen Entwicklung zu gelangen. Dies würde bedeuten, zukünftige Entwicklungen oder Ereignisse oder Handlungen wichtiger Akteure genau zu kennen - eine Voraussetzung, die kaum erfüllbar sein wird. Trotzdem lässt sich die Vielfalt zukünftiger Ereignisse durch Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen und Plausibilitätsanalysen immer erheblich eingrenzen. Eine weitere erhebliche Eingrenzung ergibt sich aus den Leitlinien des betrachteten Szenarios. Schließlich kann davon ausgegangen werden, dass sich das Verhalten der Akteure im und außerhalb des Systems an (Eigen-)Interessen orientiert, so dass gewisse Verhaltensweisen wesentlich wahrscheinlicher sind als andere, und weitere aus der Betrachtung völlig ausgeklammert werden können.

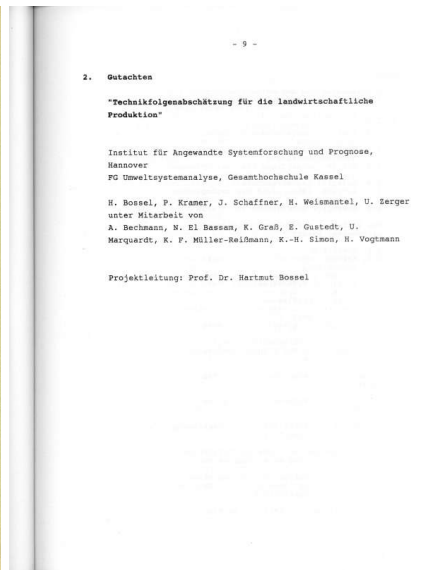
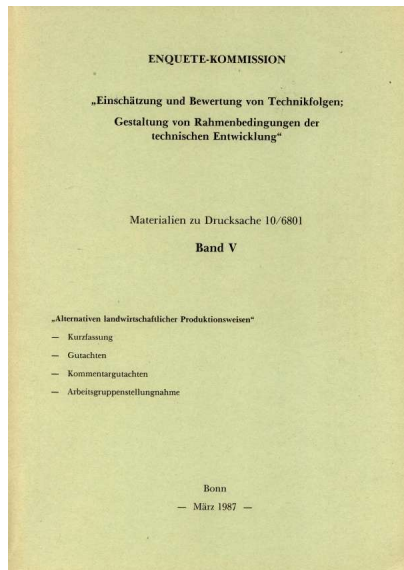
Für die Folgenabschätzung hat die Szenarienauswahl eine besondere Bedeutung da es von ihr abhängt, ob die im System vorhandenen systemaren Alternativen vollständig erkannt werden. Werden eine gültige Systembeschreibung und ein richtig beschriebener Anfangszustand vorausgesetzt, so hängt nämlich die weitere Systementwicklung nur noch von den äußeren Einwirkungen ab. Werden die möglichen und wahrscheinlichen Einwirkungen in Form in sich plausibler und konsistenter Szenarien so vollständig beschrieben, dass sie das gesamte Spektrum der externen Einwirkungsmöglichkeiten überdecken, so gehen auch die darauf gegründeten Systemsimulationen das Spektrum der zu erwartenden Wirkungen und Entwicklungen vollständig wieder. Gelingt es also, sowohl das System gültig zu beschreiben, als auch einen solchen die Möglichkeiten umspannenden Satz von Szenarien zu entwickeln, so ist die Vollständigkeit der Folgenabschätzungen weitgehend gewährleistet und die Chance auf ein Minimum reduziert, wichtige Aspekte übersehen zu haben und später böse Überraschungen zu erleben.

Komplexe Folgenabschätzungen sind ohne explizite Berücksichtigung von Bewertungen nicht durchzuführen. Es lassen sich zwei Komplexe unterscheiden bei dem dies besonders berücksichtigt werden muss. Zum einen bei der vergleichenden Bewertung der Ergebnisse verschiedener Entwicklungspfade und zum anderen bei der Eingrenzung der möglichen Verhaltensweisen für die Systementwicklung relevanter externer oder interner Akteure.

Der erste Aspekt, die vergleichende Bewertung, kann von der eigentlichen Folgenermittlung getrennt werden. Es handelt sich hier darum, die Vielzahl der berechneten oder anderweitig ermittelten Folgen in ihrer Bedeutung für die Teilsysteme und das Gesamtsystem zusammenzufassen. Hier müssen die verschiedensten Indikatoren zur Beschreibung eines resultierenden Systemzustands mit den entsprechenden Indikatoren einer konkurrierenden Alternative verglichen werden (z.B. der Infrastrukturbedarf, - auslastung, - kosten und Steueraufkommen bei unterschiedlicher Bevölkerungsentwicklung). Ein direkter Vergleich ist nur dann möglich, wenn es sich um sehr wenige Indikatoren handelt (z.B.: monetäre Bewertung). In allen anderen Fällen müssen die Zustandsindikatoren in geeigneter Weise aggregiert werden, um wiederum zu einigen wenigen Beurteilungsgrößen zu kommen.

Der zweite Aspekt, das zunächst völlig anders gelagerte Problem der Abschätzung von Verhaltens- und Entwicklungstendenzen der systeminternen oder externen Akteure, reduziert sich bei näherer Betrachtung auf das gleiche Problem: Auch hier muss der vor einer Entscheidung stehende Akteur sich zunächst ein Bild seiner Lage und seiner Möglichkeiten dadurch verschaffen, dass er wichtige Kennzeichen des Systemzustands und der Systementwicklung ('Zustandsgrößen') auf seine Erhaltungs und Entfaltungsinteressen 'abbildet'. Sein Verhalten orientiert sich am Ergebnis dieser Zustandsbeschreibung.

Nur selten lassen sich die Interessen auf ein Maxime beschränken, zumal die Eigeninteressen an der Stabilität des Systems eher Anlass geben zu einem integrierten Interessenansatz. Letztlich gefährdet die Beschränkung auf ein Ziel die eigene Position in anderen Bereichen durch Änderung der, für dieses eine Ziel, scheinbar einzig relevanten Zustandsgröße nachhaltig. Ebenso sind Handlungen oder Verhalten selten so offensichtlich und zielgerichtet; sie selbst sind ja den Bedingungen eines komplexen Systems unterworfen.



Dipl.-Ing. Peter H. Kramer  
Büro für angewandte Systemwissenschaften  
in der Stadt- und Gemeindeentwicklung  
31707 Bad Eilsen [www.kramergutachten.de](http://www.kramergutachten.de)  
Hermann-Löns-Str. 6 Tel. 05722 - 95 48 470