

UFZ-Diskussionspapiere

**Sektionen
Ökonomie, Soziologie und Recht;
Ökosystemanalyse**

2/2003

**Eine allgemeine Theorie
der Bestände**

Malte Faber^{* +}, Karin Frank[#],
Bernd Klauer[#], Reiner Manstetten^{*},
Johannes Schiller^{# +}, Christian Wissel[#]

März 2003

* Universität Heidelberg, Alfred Weber-Institut für Sozial- und Staatswissenschaften,
Grabengasse 14, 69117 Heidelberg, Email: faber@uni-hd.de

+ Universität Heidelberg, Interdisziplinäres Institut für Umweltökonomie,
Bergheimer Str. 20, 69115 Heidelberg

UFZ Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH,
Permoserstr. 15, 04318 Leipzig, Email: klauer@alok.ufz.de

Eine allgemeine Theorie der Bestände

Zusammenfassung:

Im vorliegenden Aufsatz wird ein Begriffskonzept entwickelt, das zum besseren Verständnis des Zusammenspiels der Dynamiken von Ökosystemen und Wirtschaft dient: das Konzept des Bestandes. Der Bestandsbegriff wird allgemein mengentheoretisch formuliert. Die zentrale Eigenschaft eines Bestandes liegt in seiner zeitlichen Dauerhaftigkeit. Damit eignen sich Bestände zur Abbildung von Einflüssen, die die Vergangenheit von Systemen auf deren Gegenwart ausübt, und damit zur Analyse von zeitlichen Entwicklungen. Da Beständigkeit eine Eigenschaft in der Zeit darstellt, ist das Konzept des Bestandes nicht spezifisch auf den Gegenstandsbereich einzelner wissenschaftlicher Disziplinen beschränkt und so für die interdisziplinäre Analyse geeignet. Der Begriff wird auf ökonomische und ökologische Beispiele angewandt und dabei auf stochastische Mengen verallgemeinert. Durch die Abgrenzung der Bestandsperspektive von einer Systemsicht kann die hierarchische Struktur realer ökologisch-ökonomischer Systeme analysiert werden. Die Theorie der Bestände stellt einen Baustein für die konzeptionellen Grundlagen der Ökologischen Ökonomie dar.

Schlagworte: Dynamik, Beständigkeit, System, Zeitskalen, Population, Persistenz

JEL-Klassifikation: A12, B40, Q20

1 Einleitung

1.1 Der Hintergrund

Das menschliche Leben ist unbeständig: Es dauert nur eine Frist. Über die Dauer des unbeständigen Lebens hinweg versucht der Mensch, das Bestehen dieses Lebens solange wie möglich zu sichern. Dazu greift der Mensch auf natürliche Strukturen zurück und schafft zusätzlich selbst Strukturen, die eine gewisse Dauerhaftigkeit aufweisen und damit zu diesem Bestehen beitragen. Ganz allgemein lassen sich derartige Strukturen als Bestände bezeichnen. In diesem Sinne drücken Bestände die Sorge des Menschen um die Erhaltung und damit die Fortdauer seines Daseins aus. So werden in der Wirtschaft naturgegebene Bestände, wie beispielsweise verfügbares Wasser, Luft und Boden, Lagerstätten von Erz und Kohle sowie verfügbares Holz, Getreide, Vieh etc. verwendet, um nützliche Konsumgüter sowie Kapitalgüter, wie Werkzeuge, Maschinen, Häuser etc. herzustellen. Letztere akkumulieren im Laufe der Zeit zu willentlich geschaffenen Beständen. Bei der Produktion entstehen unwillentlich weitere Produkte, wie Abwässer, Abluft und Abfälle, die, soweit sie nicht natürlich abgebaut werden, zu unwillentlich geschaffenen Beständen werden. Diese beeinflussen ihrerseits die naturgegebenen Bestände und gefährden damit unter Umständen die Lebensgrundlagen der Menschen.

1.2 Das Ziel einer allgemeinen Theorie der Bestände

In diesem Aufsatz wollen wir nicht ein bestimmtes Umweltproblem untersuchen, sondern uns mit einer allgemeinen Fragestellung beschäftigen: Wie können wir eine allgemeine Terminologie entwickeln, die es ermöglicht, das Zusammenspiel der Dynamiken von Ökosystemen und Wirtschaft besser als bisher zu verstehen? Wir wollen das mit einer allgemeinen Theorie der Bestände tun. Ziel dieser Theorie ist es, zunächst eine gemeinsame Sprache und ein gemeinsames konzeptionelles Schema der Ökonomie und Ökologie (und später ggf. auch anderer Disziplinen) zu entwickeln, um die Dynamik gekoppelter Wirtschafts-Natur-Systeme zu beschreiben und zu analysieren.

Eine solche gemeinsame Sprache ist notwendig, wenn Probleme behandelt werden sollen, die in der Schnittmenge verschiedener Disziplinen liegen. Dies trifft insbesondere auf Umweltprobleme zu, die durch menschliche Handlungen hervorgerufen werden, sich auf Ökosysteme auswirken und wiederum Rückwirkungen auf Menschen haben. Umweltprobleme liegen also sowohl im Gegenstandsbereich der Ökologie (Lehre von den Wechselwirkungen zwischen Lebewesen und deren Umwelt) als auch der Ökonomik (Lehre von wirtschaftlichen Entscheidungen der Menschen). Umweltprobleme und die ihnen zugrundeliegenden Dynamiken sind folglich nicht nur aus einem Blickwinkel zu analysieren, sondern müssen umfassend betrachtet werden. Unsere Theorie der Bestände soll damit einen Baustein für die konzeptionellen Grundlagen einer Ökologischen Ökonomie bilden.

Umweltprobleme sind in vielen Fällen langfristiger Natur, d.h. besitzen eine in Relation zu den Zeitskalen, auf denen Menschen agieren, ausgedehnte Zeitstruktur. Sollen Umweltproble-

me und ihre Entstehung verstanden werden, ist es daher notwendig, nicht nur die Eigendynamik der beteiligten Einzelsysteme, sondern auch die Dynamik der Wechselwirkungen zwischen ökologischen und ökonomischen Systemen zu berücksichtigen – insbesondere die durch menschliche Tätigkeiten induzierte Dynamik.

Das in diesem Papier entwickelte Bestandskonzept stellt einen wichtigen Baustein zu einer solchen Berücksichtigung von Dynamik dar: Dynamik manifestiert sich durch zeitliche Entwicklung, d.h. im Allgemeinen durch die Veränderung von Größen über die Zeit.¹ Veränderung jedoch ist das Gegenteil des Beständigseins und wird deshalb in der Regel relativ zum Beständigen gemessen. Die *Beständigkeit* kann daher als ‚Basis‘ aufgefasst werden, der gegenüber Veränderungen analysiert werden können. Genau die Eigenschaft der Beständigkeit wird durch das hier entwickelte Konzept eines Bestandes ausgedrückt.

Die Eigenschaft der Beständigkeit kann sich dabei im Allgemeinen auf quantitativ messbare sowie nicht-quantitativ beschreibbare Entitäten beziehen – beide können die Eigenschaft der Beständigkeit besitzen. Aus formalen Gründen beschränken wir uns jedoch im Großteil des Papiers, insbesondere bei den formalen Definitionen, auf quantitativ messbare Bestände.

1.3 Die Struktur des Aufsatzes

Abschnitt 2 zeigt, dass eine wissenschaftliche Untersuchung zeitlicher Phänomene ohne subjektive Momente des Betrachters, wie z.B. den gewählten Zeithorizont, nicht möglich ist. Dies ist für die Fassung unseres Bestandsbegriffes besonders wichtig. In Abschnitt 3 werden formale Definitionen für den Bestandsbegriff gegeben und seine Eigenschaften diskutiert. Abschnitt 4 gibt mehrere konkrete Beispiele für Bestände aus dem Bereich ökonomischer und ökologischer Systeme. Abschnitt 5 beschäftigt sich eingehender mit der Dynamik von Beständen im Bereich ökologischer Systeme. Dabei wird eine stochastische Erweiterung des eingeführten Bestandsbegriffes vorgenommen. In Abschnitt 6 werden je nach dem Grad ihrer Beeinflussung durch den Menschen verschiedene Klassen von Beständen unterschieden. Abschnitt 7 zieht ein Fazit.

2 Subjektive Momente – Die Ebene des Betrachters

Jede modellhafte Beschreibung einer Realität – und damit auch unser Versuch der Entwicklung einer Theorie der Bestände – ist durch subjektive Faktoren seitens des Betrachters beeinflusst, insbesondere durch sein *Erkenntnisinteresse* (vgl. hierzu Baumgärtner und Schiller, 2001: 374-375). Es liegt im Wesen einer modellhaften Abstraktion der Wirklichkeit, dass sie eine Vereinfachung realer Zusammenhänge vornehmen muss. Die Auswahl der vorgenommenen Vereinfachungen obliegt dabei im Allgemeinen dem Betrachter und orientiert sich an den strukturellen Notwendigkeiten der Problemstellung, die sich aus dem Erkenntnisinteresse des

¹ Dynamik im eigentlichen Sinne beinhaltet neben Bewegung auch die Ursachen der Bewegung. In diesem Aufsatz werden diese beiden Aspekte jedoch aus didaktischen Gründen getrennt behandelt; insbesondere bezieht sich der in diesem Aufsatz verwendete Begriff der Bestandsdynamik zunächst auf die reine Veränderung von Größen (vgl. dazu Definition 3.6).

Betrachters ergibt.² Dies gilt auch für den im Folgenden entwickelten Bestandsbegriff, mit dessen Hilfe wir die zeitliche Entwicklung sowohl von ökonomischen als auch von ökologischen Systemen beschreiben wollen.

Auf zwei Aspekte der Rolle des Betrachters wollen wir an dieser Stelle genauer hinweisen, da sie im Folgenden eine wichtige Rolle spielen werden: die Wahl bzw. Abgrenzung des betrachteten Gegenstandes selbst sowie die Wahl des Zeithorizonts des Betrachters und der Zeitskala der Betrachtung, auf der die Dynamik des betrachteten Gegenstands untersucht werden soll.

2.1 Abgrenzung des Gegenstands der Betrachtung

Wir wollen den betrachteten Gegenstand als ein Gebilde von im Regelfall interagierenden Elementen verstehen, welches wir als System auffassen können. Prinzipiell kann dabei jedes Element seinerseits wieder als Konglomerat von interagierenden Sub-Elementen aufgefasst werden, falls ein entsprechendes Erkenntnisinteresse besteht, d.h. man kann jedes Element auf einer niedrigeren hierarchischen Ebene wieder als System von Elementen auffassen. Umgekehrt kann ein auf einer gegebenen hierarchischen Ebene als System aufgefasstes Gebilde auf einer höheren hierarchischen Ebene als Element eines ‚Super‘-Systems aufgefasst werden.³

Die geschilderte hierarchische Struktur führt auch bei bereits gegebener Abgrenzung des betrachteten Gegenstands zu einer Vielzahl von möglichen Betrachtungsperspektiven: So ist es immer möglich, makroskopische und mikroskopische Betrachtungsperspektiven zu unterscheiden. Eine makroskopische Perspektive entspricht dabei z.B. der Aggregationsebene des Gesamtsystems, wohingegen bei einem stärker mikroskopischen Zugang die einzelnen Elemente des Systems untersucht werden.

Betrachtet man ein System als ein Gebilde von miteinander interagierenden Elementen, folgt daraus zugleich, dass ein System immer strukturiert ist. Alle lebendigen, geistigen aber auch alle unlebendigen Phänomene können in diesem Sinne als Systeme aufgefasst werden, d.h. weisen Systemeigenschaften im Sinne der Strukturiertheit auf. Demgegenüber abstrahiert der im vorliegenden Aufsatz zu entwickelnde Bestandsbegriff seinem Wesen nach von der inneren Strukturiertheit des als Bestand betrachteten Gegenstandes. Werden wir im Folgenden etwas als Bestand bezeichnen, so sehen wir in Bezug auf bestimmte Eigenschaften der Elemente des Bestandes gerade von seiner inneren Strukturiertheit ab.⁴ Ob ein betrachteter Gegenstand als System oder Bestand aufgefasst wird, stellt daher keine objektive Eigenschaft der Phänomene dar, sondern ergibt sich aus der Sichtweise des Betrachters.

² Darüber hinaus existieren in der Regel eine Vielzahl von weiteren Beschränkungen, etwa Grenzen der Messgenauigkeit und vielerlei Formen von Unwissen.

³ Neben der Abgrenzung des Betrachtungsgegenstandes müssen in der Regel noch Vereinfachungen der in der Natur beobachteten Wirkungszusammenhänge zwischen den Elementen des Systems vorgenommen werden. Baumgärtner und Schiller (2001: 368) fassen dies als Wahl einer Systemrepräsentation auf, die die Grundlage für die modellmäßige Beschreibung der Realität darstellt.

⁴ Dies drückt sich beispielsweise in der Zugehörigkeitseigenschaft aus, die die Elemente eines Bestandes aufweisen müssen (vgl. Abschnitt 3). Im Hinblick auf diese Eigenschaft ist ein Bestand homogen, d.h. weist keine innere Struktur auf.

So kann man z.B. ein hochkomplexes System wie den Menschen auch als Bestand von Zellen auffassen, oder eine hierarchische Struktur von Mitarbeitern in einer Firma als einen Bestand von Angestellten. Das Auffassen eines Gegenstandes als Bestand, d.h. die Abstraktion von seiner *inneren* Strukturiertheit, impliziert jedoch seine Einbettung in eine *äußere* Struktur. So ist es in der Regel nur sinnvoll, Bestände als Teil einer Metastruktur zu betrachten, als Teil eines Systems, wie z.B. den Menschen als Teil des ökologischen Systems ‚Biotop‘ oder die Firma als Teil des sozialen Systems ‚Volkswirtschaft‘. Man betrachtet dann also Systeme von interagierenden Beständen.⁵

2.2 Zeithorizont und Zeitskala der Betrachtung

Neben der Abgrenzung des betrachteten Gegenstands muss vor einer dynamischen Beschreibung eine Vorstellung darüber bestehen, über welchen Zeitraum die Beschreibung bzw. Modellierung der zeitlichen Entwicklung des untersuchten Systems erfolgen soll. Diesen Zeitraum wollen wir *Zeithorizont* T nennen.

Daneben kann eine zeitliche Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes auf der Zeitachse nicht unendlich genau erfolgen, sondern es muss eine Vorstellung über einen ‚Zeittakt‘ existieren, auf dem die Untersuchung vonstatten geht. Diesen ‚Zeittakt‘ wollen wir als *Zeitskala der Betrachtung* t bezeichnen. Es muss sich hierbei nicht um ein präzise definiertes Zeitintervall handeln, sondern die Zeitskala der Betrachtung kann durch die Angabe einer zeitlichen Größenordnung festgelegt werden, auf der die Dynamik des betrachteten Systems beschrieben werden soll. Beispielsweise kann die Entwicklung eines meteorologischen Systems auf einer Zeitskala von Stunden beschrieben werden, was einer Untersuchung des ‚Wetters‘ entspricht. Betrachtet man dessen Entwicklung jedoch auf eine Zeitskala von Monaten, Jahren oder Jahrzehnten, so handelt es sich um die Entwicklung des ‚Klimas‘. Beides sind unterschiedliche Probleme, die im Allgemeinen unterschiedliche Herangehensweisen erfordern.

Prinzipiell ist die Wahl von Zeithorizont T und Zeitskala der Betrachtung t nur durch die triviale Bedingung $t < T$ eingeschränkt, ansonsten jedoch unabhängig voneinander. Aus Gründen der Praktikabilität besteht in der Praxis jedoch in vielen Fällen eine Beziehung zwischen beiden Größen: Während es im oben gegebenen Beispiel zwar *prinzipiell* möglich ist, räumlich und zeitlich hochaufgelöste Modellsysteme (mit sehr kleinem t) für die Wettervorhersage über einen sehr langen Zeithorizont von Jahrzehnten laufen zu lassen, so wäre dies jedoch erstens übertrieben aufwändig und zweitens aus Gründen auftretender Unsicherheit für die Voraussage realer (Wetter-)Phänomene unbrauchbar. Umgekehrt scheint eine dynamische Modellierung des ‚Klimas‘ über einen kurzen Zeithorizont T von wenigen Monaten bei einer Zeitskala der Betrachtung t in derselben Größenordnung ebenfalls unsinnig – es handelt sich dann eher um eine statische Betrachtung. Wir können damit die obige Bedingung für eine

⁵ Insofern besteht eine gewisse Hierarchie der Begriffe ‚Bestand‘ und ‚System‘: Bestände existieren in der Regel im Rahmen von Systemen. Die Umkehrung gilt hingegen nicht: Innerhalb eines Bestandes wird die Strukturiertheit, d.h. die Systemeigenschaften, vernachlässigt. Eine Betrachtung der Systemstruktur innerhalb von Beständen würde hingegen eine andere, detailliertere Betrachtungsebene voraussetzen.

sinnvolle Wahl von t und T schärfer fassen: $t \ll T$, wobei jedoch aus Praktikabilitätsgründen in der Regel auch eine relativ zu T gegebene untere Schranke für t existiert.

Sowohl der Zeithorizont als auch die Zeitskala der Betrachtung stehen nicht objektiv fest, sondern ergeben sich aus dem Erkenntnisinteresse des Beobachters. Es handelt sich damit um subjektive Momente, die auf der Ebene des Betrachters angesiedelt sind.

2.3 Der Kontext der Untersuchung

Die Zusammenfassung der durch den Betrachter vorgegebenen subjektiven Momente, insbesondere betrachteter Gegenstand, Zeithorizont und Zeitskala der Betrachtung, wollen wir als den *Kontext* einer Untersuchung bezeichnen. Der Kontext – und damit die genannten subjektiven Momente – wird durch das Erkenntnisinteresse der untersuchenden Wissenschaftler bestimmt und ist in der Regel auf ein spezifisches Problem bezogen.

Die Tatsache, dass der Kontext subjektive Momente zusammenfasst, bedeutet keineswegs, dass er beliebig ist. Im Rahmen wissenschaftlicher Forschung wird der Kontext intersubjektiv gesetzt, in dem Sinne, dass er den Anforderungen der Scientific Community entspricht. Generell lässt sich sagen: Die Qualität von Wissenschaft erweist sich nicht zuletzt darin, dass der Kontext angemessen gewählt wird. Das bedeutet z.B., dass er bereits gewonnene Erfahrungen mit dem jeweiligen Problem reflektiert, oder dass Wertungen der Gesellschaft – beispielsweise hinsichtlich angemessener Zeithorizonte – berücksichtigt werden. Ein Beispiel für Kriterien einer sinnvollen Gestaltung des Kontextes bilden die im vorhergehenden Abschnitt diskutierten Bedingungen für das Verhältnis von Zeithorizont und Zeitskala der Betrachtung.

Im Folgenden wird deutlich werden, dass die Angabe des Kontextes bereits für die genaue Fassung unseres Bestandsbegriffes unverzichtbar ist: In der Definition werden Bedingungen formuliert, deren Zutreffen bzw. Nicht-Zutreffen nur vor dem Hintergrund eines gewissen Kontextes festgestellt werden kann.

3 Unsere Bestandskonzeption

Nun soll untersucht werden, wie das Phänomen des Beständigen begrifflich gefasst werden kann. Wir wollen dabei davon ausgehen, dass der Kontext einer Untersuchung gegeben ist, d.h. insbesondere, dass Zeithorizont und Zeitskala der Betrachtung festliegen. Der Einfluss des Kontextes auf die Eigenschaft der Beständigkeit zeigt sich bereits im alltäglichen Sprachgebrauch: Das Wetter ist beständig, wenn es für einige Tage gleich bleibt. Einen Fluss, der nach jeder Winterflut seinen Lauf ändert, würde man jedoch in den meisten Fällen als unbeständig bezeichnen, obwohl sich das Wetter wesentlich schneller ändert als der Lauf des Flusses. Das liegt daran, dass die meisten Flüsse wesentlich langsamer ihren Lauf wechseln, und man damit als Betrachter bei der Untersuchung der Veränderung von Flussläufen in der Regel sehr viel längere Zeitskalen der Betrachtung zugrunde legt.

3.1 Definitionen

Wir wollen nun eine Definition des Begriffes ‚Bestand‘ entwickeln, die mengentheoretisch fundiert und daher allgemein anwendbar ist.⁶ Bevor die eigentliche Definition eines Bestands erfolgen kann, müssen zunächst einige Hilfsbegriffe geklärt werden.

Definition 3.1 (Menge, Zugehörigkeitseigenschaft): Eine *Menge* ist eine Zusammenfassung von solchen Elementen, die eine gewisse Eigenschaft aufweisen. Diese, die Menge abgrenzende Eigenschaft nennen wir *Zugehörigkeitseigenschaft*.

Die Zugehörigkeitseigenschaft einer Menge ist also die Eigenschaft, die *per definitionem* von jedem Element der Menge erfüllt werden muss.⁷ Es handelt sich damit um eine Eigenschaft, die die Einzelelemente der betrachteten Menge charakterisiert und damit auf einer mikroskopischen Betrachtungsebene angesiedelt ist. Gleichzeitig charakterisiert die Zugehörigkeitseigenschaft die Menge als Ganzes, d.h. kann auch als Eigenschaft auf der makroskopischen Betrachtungsebene aufgefasst werden.

Wir verstehen die Zugehörigkeitseigenschaft eines Bestandes als eine *objektivierbare* Eigenschaft der Elemente in dem Sinne, dass man intersubjektive Kriterien finden kann, nach denen entschieden wird, ob die Zugehörigkeitseigenschaft erfüllt ist oder nicht. So kann z.B. der Aufenthaltsort eines Gegenstandes als Zugehörigkeitseigenschaft dienen; er ist objektiv feststellbar. Soll die Farbe des Gegenstandes als Zugehörigkeitseigenschaft dienen, so muss ggf. vorher eine Konvention geschaffen werden, welcher Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes genau welcher Farbe zugeordnet wird. Zunächst rein subjektiv empfundene Eigenschaften von potentiellen Elementen, wie die ‚Schönheit‘ von Kunstgegenständen, müssten, sofern es möglich ist, erst in irgendeiner Form objektivierbar gemacht werden, um als Zugehörigkeitseigenschaft verwendbar zu sein.⁸

Eine sinnvolle Wahl einer Zugehörigkeitseigenschaft erfolgt immer in Abhängigkeit des Kontextes der vom Betrachter vorgenommenen Untersuchung. Betrachten wir als Beispiel mehrere Maschinen in einer Fabrikhalle. Soll untersucht werden, wie viel Elektroenergie durch die Produktionsaktivitäten in der Fabrikhalle verbraucht wird, so besteht eine zweckmäßige Zugehörigkeitseigenschaft der Menge der Maschinen in der Halle darin, dass (i) die Maschinen sich *in* der Halle befinden und dass sie (ii) elektrische Energie zu ihrem Betrieb benötigen. Eine Maschine mit reinem Handbetrieb wird hier nicht erfasst. Sollen dagegen die Eigentumsverhältnisse des Fabrikbesitzers bezüglich der Maschinen in der Halle untersucht werden, so besteht die Zugehörigkeitseigenschaft bezüglich der Menge der Maschinen darin, dass die Maschinen dem Fabrikbesitzer selbst gehören und sich in der Halle befinden. Geleaste Maschinen werden dagegen in der Menge nicht erfasst. Das Beispiel zeigt, dass der Kontext der Untersuchung entscheidend für eine sinnvolle Wahl einer Zugehörigkeitseigenschaft ist.

⁶ In Abschnitt 5.1 werden wir bei der Untersuchung der Dynamik von Beständen diese Allgemeinheit etwas einschränken und eine räumliche Bestandsabgrenzung fordern (vgl. dazu auch Abschnitt 3.2).

⁷ In Bezug auf andere Eigenschaften können sich die Elemente unterscheiden, d.h. heterogen sein.

⁸ Hier wird jedoch eine Grenze dieser Bestandskonzeption sichtbar: Der z.B. in der Welt existierende ‚Bestand‘ an schönen Bildern ist mit der Angabe einer Quantität kaum in seinem Wesen beschreibbar.

Aus dem Beispiel geht darüber hinaus hervor, dass die Elemente einer Menge auch durch mehr als eine Zugehörigkeitseigenschaft gekennzeichnet sein können (vgl. i und ii). Im folgenden werden wir jedoch von *einer* Zugehörigkeitseigenschaft sprechen, die im Allgemeinen mehrere Teileigenschaften umfasst.

Damit können wir nun zur Fassung des Bestandsbegriffs kommen. Das für uns zentrale Charakteristikum eines Bestandes liegt in seiner Eigenschaft der *Beständigkeit*. Eine Menge ist nur dann als Bestand zu bezeichnen, wenn sie für eine gewisse Zeit besteht. Es ist der Aspekt des Zeitlichen, der den Kern unseres Bestandskonzeptes darstellt. Dieser Gedankengang führt uns zu folgender Definition:

Definition 3.2 (Beständigkeit, Bestand): Eine Menge ist im Kontext einer Untersuchung zum Zeitpunkt t_0 *beständig*, wenn sie für eine bei t_0 beginnende Zeitspanne, die auf der durch den Kontext gegebenen Zeitskala t von null verschieden ist, nicht leer ist. Eine beständige Menge heißt *Bestand*.

Die für Bestände zentrale Eigenschaft der Beständigkeit lässt sich nur relativ zu einer gegebenen Zeitskala der Betrachtung angeben. Sie stellt ein Maß dar, an dem Beständigkeit gemessen wird. In Bezug auf den *genauen* Zeitraum, in dem die betrachtete Menge nicht leer sein darf, bedarf Definition 3.2 weiterer Konkretisierung; an dieser Stelle geht es zunächst darum, für Beständigkeit ab dem Zeitpunkt der Betrachtung t_0 einen – auf der Zeitskala der Betrachtung t gemessenen – positiven Zeitabschnitt der nicht-leeren Menge zu fordern. In den Abschnitten 3.2.4 – 3.2.6 werden wir die Definition in dieser Hinsicht diskutieren und konkretisieren.

Die Definition 3.2 zugrunde liegende Zeitskala der Betrachtung wird durch den Kontext der Untersuchung, d.h. durch das Erkenntnisinteresse des Betrachters gegeben; es handelt sich damit um eine subjektiv durch den Betrachter gegebenes Moment, nicht jedoch um ein objektiv gegebenes Charakteristikum des betrachteten Bestandes. Bei der Beschreibung von Beständen spielt jedoch eine zweite Zeitspanne eine wichtige Rolle: die Dauer bzw. die zum Zeitpunkt t_0 verbleibende Dauer des Bestandes.

Definition 3.3 (Dauer eines Bestandes, verbleibende Dauer): Die *Dauer* eines Bestandes bezeichnet die gesamte Zeitspanne seiner Existenz. Die im Betrachtungszeitpunkt t_0 *verbleibende Dauer* eines Bestandes, $T_B^{t_0}$, ist die zum Zeitpunkt t_0 verbleibende Zeitspanne seiner Existenz.

Im Unterschied zur Zeitskala der Betrachtung handelt es sich bei der Dauer eines Bestandes um ein objektives, also unabhängig vom Betrachter gegebenes Charakteristikum des Bestandes, das auf der Gegenstandsebene angesiedelt ist.⁹ Die Dauer eines Bestandes entspricht der

⁹ Die Angabe der Dauer eines Bestandes setzt voraus, dass der Bestand abgegrenzt ist, d.h. dass eine Zugehörigkeitseigenschaft definiert wurde. Die Abgrenzung des Bestandes wird vom Kontext der Untersuchung bestimmt, d.h. von subjektiven Momenten beeinflusst. Damit ist die ‚Objektivität‘ der Eigenschaft ‚Dauer‘ nicht absolut, d.h. die Dauer nicht unabhängig vom Kontext. Sie ist jedoch unabhängig von der – rein subjektiven – Zeitskala der Betrachtung. Liegt darüber hinaus der Betrachtungszeitpunkt t_0 fest, so ist auch die verbleibende Dauer eines Bestandes im genannten Sinne objektiv.

verbleibenden Dauer zu dem Zeitpunkt, an dem der Bestand zu existieren beginnt. Auf die Rolle der Dauer bei der Begriffskonzeption gehen wir im Abschnitt 3.2 ausführlicher ein.

Bisher haben wir Bestände in zwei Bereichen charakterisiert: (i) Die Zugehörigkeitseigenschaft muss auf der mikroskopischen Betrachtungsebene von den Einzelelementen eines Bestandes *per definitionem* erfüllt werden. Dadurch grenzt die Zugehörigkeitseigenschaft den Bestand auf der makroskopischen Betrachtungsebene gegenüber seiner Umwelt ab und charakterisiert ihn. (ii) Die Dauer des Bestandes charakterisiert ihn in der zeitlichen Dimension.

Bei der Untersuchung von konkreten Problemstellungen mit Hilfe des Bestandsbegriffes ist man (iii) an weiteren Eigenschaften des Bestandes auf der makroskopischen Betrachtungsebene interessiert. Dies können Eigenschaften sein, die mittels eines quantitativen Maßes angegeben werden können, oder solche, für die ein sinnvolles quantitatives Maß nicht existiert. Zur Unterscheidung definieren wir eine quantitative Eigenschaft.

Definition 3.4 (Quantitative Eigenschaft): Eine *quantitative Eigenschaft* einer Menge ist eine solche Eigenschaft der Menge, die sich zu jedem Zeitpunkt innerhalb des Zeithorizonts T auf einer kardinalen Skala angeben lässt. Eine quantitative Eigenschaft A lässt sich innerhalb des Zeitintervalls $[t_0, T]$ durch eine Funktion $f_A: [t_0, T] \rightarrow \mathbf{R}$ messen.

Im oben genannten Beispiel stellt die Zahl der Elektroenergie benötigenden Maschinen in der Halle eine quantitative Eigenschaft des Bestandes dar, ebenso der gesamte Stromverbrauch aller Maschinen des Bestandes. Solche quantitativen Eigenschaften eines Bestandes wollen wir als Bestandsgrößen bezeichnen.

Definition 3.5 (Bestandsgröße): Eine *Bestandsgröße* ist eine quantitative Eigenschaft des betrachteten Bestandes.

Betrachtet man beispielsweise einen Sandhaufen als Bestand, so bilden seine Temperatur, seine Masse und sein Gewicht auf der Erdoberfläche verschiedene Bestandsgrößen. Bei einer Fischpopulation bilden sowohl die Anzahl der Individuen als auch deren gesamte Biomasse unterschiedliche Bestandsgrößen. In der Regel ist es also möglich, zu jedem Bestand eine Vielzahl von Bestandsgrößen anzugeben.

Bei der Untersuchung eines konkreten Problems ist es daher notwendig, für die Beschreibung eines Bestandes aus der Vielzahl von möglichen Bestandsgrößen einige, für die Problemstellung geeignete, auszuwählen. Damit ergibt sich aus dem gegebenen Kontext einer Untersuchung – neben der Zeitskala der Betrachtung und der Abgrenzung des untersuchten Gegenstands – auch, welche Bestandsgrößen geeignet für die Beschreibung und Analyse der betrachteten Bestände sind.

Betrachtet man als Beispiel wieder den erwähnten Maschinenpark in einer Fabrikhalle, so stellen z.B. der gesamte Stromverbrauch der Maschinen bei ihrem Betrieb wie auch ihr gesamter monetärer Anlagewert verschiedene Bestandsgrößen dar. Besteht der Kontext der Untersuchung in einer betriebswirtschaftlichen Untersuchung der Rentabilität der Produktion, so ist der Anlagewert eine wichtige Bestandsgröße. Besteht hingegen der Kontext der Untersuchung in der Beurteilung der Klimarelevanz der Produktion in der Fabrikhalle, so stellt der gesamte Stromverbrauch eine relevante Bestandsgröße dar, der Anlagewert hingegen nicht.

Bevor wir im folgenden Abschnitt 3.2 einige weitere Eigenschaften unserer Bestandsdefinition diskutieren, wollen wir zuvor noch den Begriff der Bestandsdynamik einführen. Bestandsdynamik bezieht sich in unserer Begriffsfassung auf die Bestandsgrößen eines Bestandes. Wie bereits erläutert, ist die Wahl von relevanten Bestandsgrößen abhängig vom Kontext der Untersuchung – dies gilt damit auch für die Bestandsdynamik.

Definition 3.6 (Bestandsdynamik): Die *Dynamik eines Bestandes*, oder *Bestandsdynamik*, umfasst auf der durch den Kontext gegebenen Zeitskala der Betrachtung die zeitliche Entwicklung der zum Bestand gehörigen und im Kontext der Untersuchung relevanten Bestandsgrößen im Rahmen des Zeithorizonts der Untersuchung.¹⁰

Bei dieser Definition ist zu beachten, dass wir auch dann von der Dynamik eines Bestandes reden, wenn dieser sich im Betrachtungszeitraum überhaupt nicht verändert, d.h. die Bestandsgrößen zeitlich konstant sind.¹¹ Weiterhin ist unser Dynamikbegriff relativ in Bezug auf die Zeitskala der Betrachtung und den Zeithorizont (vgl. hierzu Abschnitt 2.2). Beide ‚schneiden‘ aus der im Allgemeinen auf verschiedenen Zeitskalen stattfindenden zeitlichen Entwicklung der Bestandsgrößen ein ‚Fenster‘ heraus, dass in der Untersuchung betrachtet wird. Zeitliche Entwicklung, die schneller vonstatten geht als die Zeitskala der Betrachtung, wird ebenso vernachlässigt, wie zeitliche Entwicklung die so langsam verläuft, dass sie innerhalb des Zeithorizonts nicht erfasst wird.¹²

Im Folgenden werden wir Eigenschaften unseres Bestandskonzeptes diskutieren.

3.2 Eigenschaften unseres Bestandsbegriffes

3.2.1 Räumlicher Bezug von Beständen

In Definition 3.2 wurde der Begriff des Bestandes nur über die Dimension der Zeit formuliert, ohne dass die Dimension des Raumes explizit erwähnt wurde.¹³ In der Regel jedoch besitzt ein Bestand räumlichen Bezug. Dies ist offensichtlich für ökologische Bestände und die mei-

¹⁰ Analog zur Abstraktion von der inneren Strukturiertheit eines Bestandes (vgl. Abschnitt 2.1) umfasst unser Begriff von Dynamik in Bezug auf Bestände nicht die *Ursachen* im eigentlichen Sinne für die zeitliche Entwicklung der betrachteten Bestandsgrößen auf der Mikroebene. Der Begriff ist also phänomenologisch orientiert und beinhaltet dabei z.B. phänomenologische Gesetzmäßigkeiten. Die Ursachen für derartige Gesetzmäßigkeiten können bei entsprechendem Erkenntnisinteresse auf niedrigerer Aggregationsebene im Rahmen einer komplexeren Untersuchung betrachtet werden (vgl. hierzu die Diskussion in Abschnitt 2.1).

¹¹ Dynamik bedeutet hier also nichts Anderes als das sich Verändernde oder Gleichbleibende in der Zeit. Ein solcher Begriff von Dynamik ist der Alltagssprache eher fremd, da sie Dynamik im Allgemeinen mit Veränderungen mindestens einer Bestandsgröße verbindet. Für die Untersuchung der zeitlichen Entwicklung eines den betrachteten Bestand enthaltenden Gesamtsystems (vgl. hierzu Abschnitt 2.1) sind jedoch im Allgemeinen sowohl Veränderung als auch Konstanz des Bestandes von Bedeutung.

¹² Mathematisch-technisch betrachtet entspricht dies einer Fouriertransformation der wirklichen zeitlichen Entwicklung der betrachteten Bestandsgrößen in den Frequenzraum und der nachgeschalteten Unterdrückung zu niedriger und zu hoher Frequenzen.

¹³ Dies rührt aus der allgemeinen, mengentheoretischen Fassung des Begriffs. Sie ist zunächst sinnvoll, da ein räumlicher Bezug je nach Erkenntnisinteresse nicht zwingend gegeben sein *muss*. Beispielsweise existieren, bezogen auf soziale Systeme, Bestände, die nur in der Zeit existieren, aber sofern sie Bestände sind, keinen räumlichen Bezug haben. Ein Beispiel dafür sind Geldbestände, etwa in der Form von Girogeld.

sten ökonomischen Bestände. Eine Population besitzt immer ein bestimmtes Ausbreitungsgebiet – maximal kann es sich dabei um die ganze Erde handeln. Ebenso gehört zur Beschreibung der weitaus meisten ökonomischen Güter die Angabe ihres Ortes. Betrachtet man beispielsweise einen Bestand an Kapitalgütern – Maschinen zum Kohleabbau – so sind für die weitaus meisten Fragestellungen die Orte ihrer Verfügbarkeit von Interesse – z.B. ‚alle Maschinen im Lausitzer Braunkohlerevier‘.

Formal wird ein ggf. gegebener räumlicher Bezug von Beständen in unserer Begriffsfassung als Teileigenschaft der Zugehörigkeitseigenschaft aufgefasst und ist damit zunächst nicht gegenüber anderen Eigenschaften ausgezeichnet. In Abschnitt 5, bei der Untersuchung grundlegender Mechanismen der Bestandsdynamik, werden wir jedoch den räumlichen Bezug herauslösen und separat behandeln. Wir werden dies tun, um Flüsse über räumliche Bestandsgrößen thematisieren zu können.

3.2.2 Quantitative und qualitative Eigenschaften von Beständen

Unsere Begriffsfassung eines Bestandes bezieht sich auf die zeitliche Eigenschaft der Beständigkeit. Insbesondere ist sie – bei gegebener Zugehörigkeitseigenschaft – nicht abhängig davon, welche Eigenschaften des Bestandes quantitativ sind, d.h. durch Bestandsgrößen beschreibbar sind, und welche qualitativ sind. Bestände besitzen in der Regel auch solche Eigenschaften, die nicht adäquat durch Bestandsgrößen ausgedrückt werden können. Betrachtet man beispielsweise das Rechtssystem als einen Bestand von Gesetzen, so kann man als zugehörige Bestandsgrößen die Zahl der Gesetze, die Zahl der Paragraphen, die Zahl der Druckseiten etc. angeben. Die Gerechtigkeit des Rechtssystems ist dagegen keine Bestandsgröße. Sie spielt aber eine wesentliche Rolle, wenn es um die Sozialstruktur und damit die Stabilität einer Gesellschaft geht.

Aus Gründen der Handhabbarkeit werden wir im Folgenden vor allem solche Eigenschaften von Beständen betrachten, die sich in quantitativer Weise d.h. durch Bestandsgrößen beschreiben lassen. Dabei ist zu beachten, dass dies eine gewisse Einschränkung des Anwendungsspektrums darstellt, denn es existieren gerade in sozio-ökonomischen Systemen eine Vielzahl von Entitäten, die über die Eigenschaft der Beständigkeit verfügen und daher für die dynamische Betrachtung von derartigen Systemen wichtig sind, die gleichzeitig aber durch (quantitative) Bestandsgrößen nur sehr unvollständig beschrieben werden können.

3.2.3 Ursachen von Beständigkeit – Dauerhaftigkeit und Reproduktion

Wir haben oben die Eigenschaft der Beständigkeit als zentrale Eigenschaft von Beständen identifiziert. Beständigkeit ist eine Eigenschaft der von außen beobachtbaren Dynamik eines Bestandes, d.h. eine Eigenschaft auf der makroskopischen Betrachtungsebene. Sie sagt jedoch zunächst nichts darüber aus, wie diese Beständigkeit zustande kommt. Insbesondere reicht die alleinige Identifizierung des Bestandscharakters einer Menge noch nicht aus, um die Determinanten ihrer Dynamik und damit die Ursachen ihrer Beständigkeit zu bestimmen. Um diese Ursachen zu identifizieren, ist es ggf. notwendig, Zusammenhänge auf der Ebene der Elemente zu untersuchen. Dies können zum Beispiel Interaktionszusammenhänge mit anderen Elementen sein, wie Zu- und Abflüsse in Form von Investitionen in einen Kapitalbestand und

dessen Abnutzung, oder interne dynamische Prozesse, wie der radioaktive Zerfall von Uran und anderen Stoffen.

Im Folgenden geben wir zwei Vorgänge auf der mikroskopischen Betrachtungsebene – also auf der Ebene der Einzelemente – an, die ursächlich für die Eigenschaft der Beständigkeit auf der Makroebene sind. Dabei handelt es sich um Vorgänge, die die interne Dynamik des Bestandes charakterisieren:¹⁴ (i) die Dauerhaftigkeit von einzelnen Elementen der Menge und (ii) die Reproduktion von Elementen der Menge. Beide Vorgänge spiegeln zwei fundamentale Mechanismen wider – Beständigkeit durch Überdauern und Beständigkeit durch Reproduktion, also durch Erzeugung neuer Elemente mit gleichartigen Eigenschaften.

Dauerhaftigkeit bedeutet hier, dass die einzelnen Elemente auf der Zeitskala der Betrachtung ununterbrochen existieren und sich im Hinblick auf die Zugehörigkeitseigenschaft nicht verändern. Der zweite Vorgang, der zu Beständigkeit führen kann, ist die Reproduktion der Elemente einer Menge und spielt insbesondere bei Beständen mit belebten Elementen eine zentrale Rolle. Von Reproduktion oder Fortpflanzung sprechen wir, wenn aus einem oder mehreren Elementen ein neues, gleichartiges Element entsteht. Durch Reproduktion der Elemente kann die Beständigkeit eines Bestandes also gegeben sein, ohne dass die individuellen Elemente eine Dauerhaftigkeit auf der Zeitskala der Betrachtung besitzen müssen. Für beide Vorgänge geben wir Beispiele in Abschnitt 4.

3.2.4 Drei Ausprägungen von Zeit im Zusammenhang mit unserem Bestandsbegriff

Insgesamt sind drei Ausprägungen von Zeit wichtig für unseren Bestandsbegriff. Ein Bestand bezieht sich (i) auf einen bestimmten Betrachtungszeitpunkt t_0 , für den angegeben wird, ob eine Menge beständig ist oder nicht. Um die Eigenschaft seiner Beständigkeit zu definieren, ist (ii) die Zeitskala der Betrachtung t wichtig, auf der die Beständigkeit im Sinne einer Kontinuität gegeben sein muss. Als dritte Ausprägung von Zeit im Zusammenhang mit unserem Bestandskonzept haben wir (iii) die zum Betrachtungszeitpunkt t_0 verbleibende Dauer eines Bestandes als objektives Charakteristikum des Bestandes formuliert. Mit Hilfe eines Vergleichs zwischen diesen drei Ausprägungen von Zeit lässt sich nun unser Bestandskonzept in alternativer Weise formulieren und damit analytisch schärfer fassen:

Proposition 3.1 (Äquivalente Definition von Beständigkeit): Eine Menge ist zum Zeitpunkt t_0 genau dann ein Bestand, wenn Folgendes gilt: Die zum Zeitpunkt t_0 verbleibende Dauer der betrachteten Menge, $T_B^{t_0}$, ist wesentlich größer als die durch den Kontext gegebene Zeitskala der Betrachtung t , d.h. $T_B^{t_0} = At$, mit $A \gg 1$.

Da die Zeitskala der Betrachtung t den ‚Zeittakt‘ bildet, mit dem die Dynamik des Bestandes vom Betrachter erfasst wird, bedeutet die Bedingung in Proposition 3.1, dass sich die verbleibende Dauer des Bestandes über mehrere Takte erstreckt.¹⁵ Dies ist ein Ausdruck der Bestän-

¹⁴ Vgl. hierzu auch Abschnitt 5.1.

¹⁵ Die genaue Festlegung der Größe der Konstante A ist in diesem allgemeinen Zusammenhang nicht so wichtig – sie wird i.d.R. vom betrachteten Problem abhängen.

digkeit, die den Kern der Bestandsdefinition ausmacht. Somit kann ein derartiger Vergleich der Zeiträume als ‚Test‘ dienen, ob eine Menge von Elementen einen Bestand darstellt oder nicht. Proposition 3.1 kann damit der empirischen Feststellung der Beständigkeit betrachteter Mengen dienen.

3.2.5 Empirische Überprüfung I: Bestände haben eine Geschichte

Im Verlauf der vorangegangenen Abschnitte haben wir den Bestandsbegriff als theoretisches Konzept eingeführt, in dessen Rahmen es zunächst keine Rolle spielt, unter welchen Bedingungen zuverlässige Informationen zur Identifikation der Beständigkeit einer konkreten Menge zur Verfügung stehen.¹⁶ Dies ändert sich, wenn empirisch ermittelt werden soll, ob es sich bei einem konkreten Untersuchungsgegenstand um einen Bestand handelt oder nicht.

Interpretiert man den Zeitpunkt der Betrachtung t_0 als die Gegenwart, so erfordert die Beurteilung der Beständigkeit einer betrachteten Menge nach Definition 3.2 bzw. Proposition 3.1 eine Aussage über deren *zukünftige* zeitliche Entwicklung. Eine solche Aussage ist damit zwangsläufig zu einem gewissen Teil mit Unsicherheit bzw. Unwissen behaftet. Um dennoch *ex ante* sinnvolle Aussagen über die Beständigkeit konkreter Untersuchungsgegenstände treffen zu können, müssen weitergehende Informationen über die Bestandsdynamik vorhanden sein.

Eine mögliche Quelle solcher weitergehenden Informationen über die Bestandsdynamik stellt in vielen konkreten Problemen das Erfahrungswissen aus der Vergangenheit dar. In Abschnitt 3.2.6 wird zwar dargestellt, dass die Kenntnis der Geschichte eines Bestandes *allein* nicht ausreicht, um die Frage nach der Beständigkeit in der Gegenwart zu beantworten. Aus der Geschichte eines Bestandes ergeben sich normalerweise jedoch Hinweise auch auf die gegenwärtige Beständigkeit.¹⁷

Wenn wir etwas heute Existierendes als Bestand bezeichnen, so besagt dies, dass es als *gegenwärtig* existierender Bestand notwendig in die Zukunft hinein besteht und diese damit beeinflusst. Verschiebt man nun den Zeitpunkt der Betrachtung t_0 zurück in die Vergangenheit, folgt daraus, dass es aus der Vergangenheit herrührende Bestände sind, die wir in der Gegenwart vorfinden und die die Gegenwart beeinflussen. Ein Bestand verknüpft aufgrund seiner Beständigkeit die Vergangenheit über die Gegenwart mit der Zukunft auf der zeitlichen Größenordnung der durch den Kontext gegebenen Zeitskala der Betrachtung. Damit fungieren Bestände als Träger von Beeinflussungen aus der Vergangenheit in die Gegenwart und damit als Momente von Geschichte.¹⁸

¹⁶ Darüber hinaus stellen Aussagen über Beständigkeit aus einer *ex post*-Perspektive heraus, also in Bezug auf die Vergangenheit im Allgemeinen kein Problem dar, da in diesem Fall vollständige Information unterstellt werden kann.

¹⁷ Ein völlig ‚geschichtsloser‘ Bestand, d.h. ein ‚Bestand‘, der *genau* zum Betrachtungszeitpunkt t_0 zu existieren beginnt, ist zwar formal nach Definition 3.2 als Bestand anzusehen, stellt jedoch einen Grenzfall dar und entspricht damit nicht dem Kern dessen, was durch das Bestandskonzept ausgedrückt werden soll.

¹⁸ Schiller (2002: Kap 3.1 und 4.1) analysiert die Beeinflussungen der Gegenwart durch die Vergangenheit mit Hilfe des von ihm eingeführten Konzeptes „kausal-faktischer Beeinflussungen“. Er identifiziert Bestände als Träger dieser Beeinflussungen und damit als zentrales Element ökonomisch-ökologischer Dynamik.

3.2.6 Empirische Überprüfung II: Aussagen über die Dynamik von Beständen

Aus einer empirisch festgestellten Beständigkeit einer Menge in der Vergangenheit allein können nicht in allen Fällen Aussagen über ein Fortbestehen in der Zukunft, d.h. über einen gegenwärtigen oder zukünftigen Bestandscharakter, abgeleitet werden. In der Regel müssen für derartige Aussagen die Dynamik der betrachteten Menge bzw. die ihr zugrunde liegenden Mechanismen berücksichtigt werden. Dies kann grundsätzlich sowohl auf einer kausalen oder phänomenologischen Ebene geschehen. Aufgrund der *ex ante* auftretenden Unsicherheiten sind dabei oft stochastische Konzepte hilfreich, wie in Abschnitt 5 deutlich wird.

Betrachtet man beispielsweise lebende Populationen, so darf die Zahl der Individuen in einem Ökosystem nicht unter eine gewisse Schwelle sinken, um die dauerhafte Fortpflanzungsfähigkeit und damit das dauerhafte Fortbestehen der Population zu gewährleisten. Die bloße Kenntnis des *Bestehens* der Population über einen vergangenen Zeitraum lässt daher keine Rückschlüsse auf ihre gegenwärtige Beständigkeit zu. Für Aussagen über die Populationsdynamik in der Zukunft – und damit Aussagen über die gegenwärtige und zukünftige Beständigkeit – sind weitere Informationen notwendig. In den Abschnitten 5.2 und 5.3 geben wir ein formales Beispiel, wie in der theoretischen Ökologie Aussagen über die Dynamik von Beständen aus der Kenntnis von strukturellen Zusammenhängen heraus möglich sind.

4 Beispiele von Beständen

Es gibt eine Vielzahl von Dingen, die gemäß Definition 3.2 als Bestände aufgefasst werden können.¹⁹ Bestände können dabei unterschiedlichen Sphären angehören – wir interessieren uns hier insbesondere für Bestände aus den ökonomischen und ökologischen Bereichen. Im Kontext typischer ökonomischer Fragestellungen sind Beispiele für Bestände vorhandene Mengen von Kohle, Öl, Erzen, Holz, Baumwolle, Getreide, Kaffee, Perlen, Diamanten, Goldmünzen, Maschinen, Computern, Werkzeugen, Gebäuden, Straßen, Hafenanlagen, Schiffen, Kühlschränken, Fotoapparaten und das Eisenbahnnetz. Bei all diesen Gegenständen handelt es sich gemeinhin um Vorräte oder Kapitalgüter, denn ihr Gebrauch liefert direkt oder indirekt Dienstleistungen für Menschen. Es existieren auch ökonomische Bestände, die keine Vorräte oder Kapitalgüter sind, z.B. Mengen von Hausmüll, Schlamm aus Hafenanlagen, Autowracks, ausgedienten Maschinen, Ruinen von Gebäuden, CO₂, Schwermetall in Flüssen etc. Ob ein Bestand Kapital darstellt, hängt von seiner Nutzung ab; zum Beispiel war Uran, solange es noch nicht von Menschen benutzt wurde, kein Kapitalgut. Nach Einführung der Kerntechnik wurde Uran in Form von Brennstäben zu einem Kapitalgut.

Bei den meisten der bisher genannten Bestände beruht die Eigenschaft ihrer Beständigkeit auf der Dauerhaftigkeit der Einzelelemente (vgl. Abschnitt 3.2.3). D.h. für diese Bestände spielt der Vorgang der Reproduktion der Elemente keine Rolle; vielmehr beruht die Beständigkeit

¹⁹ Hierbei ist zu beachten, dass alles, was wir im Folgenden als Beispiel für Bestände anführen, auch unter dem Gesichtspunkt eines Systems betrachtet werden könnte (vgl. dazu Abschnitt 2.1). Als *Bestand* erscheinen die Beispiele unter den Gesichtspunkten ihrer Beständigkeit und der Abstraktion von ihrer inneren Strukturiertheit.

beispielsweise von Perlen, Diamanten und Goldmünzen darauf, dass die einzelnen Elemente – also z.B. die konkrete Goldmünze – eine lange Dauer besitzen.

Beispiele für ökologische Bestände sind Seen, Flüsse, Wälder, Wüstengebiete, Habitate und Biotope, Tier- und Pflanzenpopulationen. Zwischen ökonomischen und ökologischen Beständen besteht ein große Schnittmenge, denn beispielsweise Schlamm aus Hafenanlagen, Ruinen von Gebäuden, CO₂-Bestände und Schwermetall in Flüssen können sowohl als ökonomische als auch als ökologische Bestände aufgefasst werden.

Im Folgenden beschäftigen wir uns ausführlicher mit ökologischen Beständen anhand von zwei Beispielen, einer Fuchspopulation und einer Population von Tagfaltern. Der Kontext der Betrachtung sei eine ökologische Felduntersuchung zur langfristigen Dynamik der jeweiligen Populationen. Daraus ergibt sich, dass für die Fuchspopulation die Zeitskala der Betrachtung t im Bereich von Jahren liegt, der Zeithorizont T mindestens mehrere Jahrzehnte beträgt; für die Schmetterlingspopulation liegt die Zeitskala der Betrachtung t im Bereich von Monaten, der Zeithorizont T umfasst ca. ein Jahrzehnt.²⁰

Eine Fuchspopulation ist eine Fortpflanzungsgemeinschaft von Füchsen. Die Zugehörigkeitseigenschaft, d.h. die Eigenschaften, die die Elemente der Menge erfüllen müssen, um zum Bestand zu gehören, ist hier also die Möglichkeit, sich mit anderen Mitgliedern der Gemeinschaft fortpflanzen zu können – im biologischen Sprachgebrauch die Zugehörigkeit zur Art der Füchse. Eine Population ist zum Betrachtungszeitpunkt t_0 beständig, wenn sie noch gewisse Zeit nach t_0 bestehen wird. Diese Aussage muss vor dem Hintergrund der durch den Kontext gegebenen Zeitskala der Betrachtung erfolgen – in diesem Fall, wie oben angegeben, ein bis mehrere Jahrzehnte.

Betrachtet man eine Population von Tagfaltern, so kann es auf den ersten Blick so erscheinen, dass diese Population im Winter eines jeden Jahres ausstirbt und damit keine Beständigkeit gegeben ist. Eine solche Betrachtungsweise legt die klassische Populationsdefinition zugrunde und berücksichtigt nur die reproduktive Phase des Lebens eines Individuums – die Phase der Imagines. In jedem Winter sterben zwar alle Imagines, es überleben aber die Puppen, aus denen im Frühjahr neue Tagfalter schlüpfen. Umfasst also die Zugehörigkeitseigenschaft – abweichend von der klassischen Populationsdefinition – die Individuen in *allen* Lebensphasen, dann ist die Beständigkeit der Population gegeben. Zwar ist der Vorgang der Dauerhaftigkeit der Individuen über das Jahresende hinaus nicht gegeben, aber durch den Vorgang der Reproduktion wird die Beständigkeit gesichert.

5 Die Dynamik von Beständen

Nachdem wir den Bestandsbegriff definiert und erläutert haben, wenden wir uns jetzt der Bestandsdynamik zu. Sie enthält die zeitliche Entwicklung der zum Bestand gehörigen relevan-

²⁰ Um Aussagen über die Dynamik einer Population machen zu können, muss man sie über viele Reproduktionszyklen hinweg beobachten. Daraus ergeben sich die jeweiligen im Text angegebenen Zeitskalen der Betrachtung.

ten Bestandsgrößen.²¹ Bei der Untersuchung realer Phänomene kann man Bestände immer als interagierende Elemente eines übergeordneten Systems auffassen (vgl. Abschnitt 2.1). Möchte man diese Interaktion verstehen – und damit die Entwicklung des Gesamtsystems –, ist es erforderlich, die Dynamiken der beteiligten Bestände zu kennen. Beides schließlich ist Voraussetzung für ein zielgerichtetes, steuerndes Eingreifen in das System.

5.1 Allgemeine Mechanismen der Bestandsdynamik

Aufgrund der Vielfältigkeit von Beständen und ihrer Interaktion ist es nicht möglich, die konkreten Determinanten der Bestandsdynamiken generell für alle Bestände anzugeben. In diesem Abschnitt 5.1 wollen wir vielmehr phänomenologisch einige allgemeine Mechanismen identifizieren, die die Dynamik eines Bestandes bestimmen können.²² Dazu ist es zunächst notwendig, die Allgemeinheit unserer mengentheoretischen Bestandskonzeption aus Abschnitt 3 in Bezug auf die Zugehörigkeitseigenschaft leicht einzuschränken, indem wir als Teil der Zugehörigkeitseigenschaft eine *räumliche* Abgrenzung des Bestandes vornehmen.

In diesem Falle setzt sich die Zugehörigkeitseigenschaft des betrachteten Bestandes (Definition 3.1) aus einer räumlichen Abgrenzung und weiteren Eigenschaften zusammen. Diese Einschränkung der Allgemeinheit ist in Bezug auf konkrete Untersuchungen ökonomischer und ökologischer Bestände jedoch nicht sehr gravierend; vielmehr sind sowohl ökonomische als auch ökologische Bestände in vielen Fällen mit einem räumlichen Bezug versehen – ökonomische Güter besitzen i.d.R. eine Ortskoordinate (da Transport nicht kostenlos ist und nicht unendlich schnell stattfinden kann), und ökologische Bestände sind oft auf ein bestimmtes, räumlich abgegrenztes Ökosystem bezogen.

Erfolgt eine räumliche Abgrenzung eines Bestandes, so existieren vier allgemeine Mechanismen, die seine Dynamik bestimmen: (i) Import von Elementen, (ii) Export von Elementen, (iii) Entstehung von Elementen und (iv) Vergehen von Elementen (vgl. Abbildung 1).²³ Innerhalb jeden Paares gibt es einen Prozess des Zunehmens und einen des Abnehmens. Die Mechanismen (i) und (ii) lassen sich direkt auf Wechselwirkungen des betrachteten Bestandes mit der Außenwelt zurückführen – es handelt sich um Flüsse von Elementen über die räumlichen Bestandsgrenzen hinweg. Die Mechanismen (iii) und (iv) beschreiben die Veränderung der Bestandsgrößen durch interne Prozesse – diese Mechanismen werden wir daher im Folgenden mit interner Dynamik bezeichnen. Dabei sind auch die Mechanismen der internen Dynamik über Wechselwirkungen des Bestandes mit Elementen außerhalb der Bestandsgrenzen verbunden. So hängt z.B. die Reproduktion von Elementen eines ökologischen Bestandes von

²¹ Hier soll noch einmal in Erinnerung gerufen werden, dass im Rahmen des Kontextes der Untersuchung bereits festgelegt ist, welche die Zeitskala der Betrachtung ist und welche die relevanten Bestandsgrößen darstellen.

²² In Abschnitt 5.2 werden wir diese Mechanismen dann an einem ökologischen System genauer betrachten.

²³ Ohne die räumliche Abgrenzung des Betrachtungsgegenstands könnte es keine Flüsse über die räumlichen Bestandsgrenzen und damit weder ‚Import‘ noch ‚Export‘ geben. Im Rahmen des allgemeinen mengentheoretischen Bestandsbegriffes aus Definition 3.2 sind daher die Mechanismen ‚Entstehen‘ und ‚Import‘ sowie ‚Vergehen‘ und ‚Export‘ äquivalent – die beispielsweise neu hinzukommenden Elemente erfüllen nach dem Hinzukommen einfach die Zugehörigkeitseigenschaft.

der verfügbaren Nahrung ab, die selbst nicht zum Bestand gehört. Ähnliches gilt auch für das Vergehen von Bestandselementen (iv), das ebenfalls von äußeren Umständen abhängt.

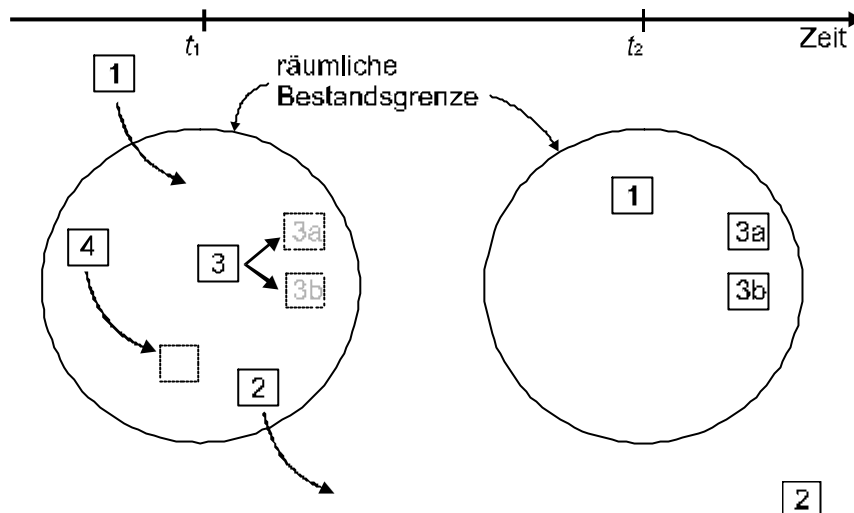


Abbildung 1: Skizze der vier allgemeinen Mechanismen der Bestandsdynamik bei Auszeichnung einer räumlichen Zugehörigkeitseigenschaft: Import (Element 1), Export (Element 2), Entstehen (Element 3) Vergehen (Element 4) von Elementen eines Bestandes. Die Kreise stellen die räumliche Grenze eines Bestandes an zwei verschiedenen Zeitpunkten dar, die Quadrate symbolisieren (hier der Übersichtlichkeit halber unterscheidbare) Elemente des Bestandes. Element 3 verdoppelt sich zwischen t_1 und t_2 zu zwei Elementen 3a und 3b, während Element 4 aufhört zu existieren.

Die Mechanismen (iii) und (iv) stellen zentrale Prozesse für die Dynamik eines Bestandes dar. Um im Hinblick auf einen spezifischen Bestand Aussagen über diese Mechanismen treffen zu können, muss eine Betrachtung auf der Ebene seiner einzelnen Elemente vorgenommen werden. Eine solche Mikrobetrachtung erfordert dabei einen Wechsel der Betrachtungsperspektive: Werden die Prozesse betrachtet, die zur Entstehung und zum Vergehen der einzelnen Elemente führen, so wird die Menge der Elemente nicht als homogener Bestand, sondern als System interagierender Elemente aufgefasst.²⁴

In Abschnitt 3.2 haben wir zwei Ursachen von Beständigkeit auf der Ebene der Einzelemente genannt: die Dauerhaftigkeit und die Reproduktion von Elementen. Diese Ursachen entsprechen den eben identifizierten Mechanismen (iii) und (iv) der Bestandsdynamik. Die Reproduktion entspricht dem Mechanismus (iii), der Entstehung von Elementen, die Dauerhaftigkeit ist genau das Gegenteil des Vergehens von Elementen (Mechanismus iv). Die Mechanismen (iii) und (iv) bilden damit den Kern der Eigenschaft der Beständigkeit. Dies schließt nicht aus, dass die Dynamik eines spezifischen Bestandes von den Mechanismen (i) und (ii), d.h. den Zu- und Abflüssen, dominiert werden kann. Ein Beispiel für Bestände, deren Dynamik von Import- und Exportprozessen dominiert wird, sind Vorräte.

²⁴ Falls sich alle Elemente eines Bestandes identisch und nicht komplex verhalten, kann u.U. auf eine weitere Analyse der Mikroebene verzichtet werden und lediglich die Bestandsebene betrachtet werden. Ein Beispiel dafür ist ein Bestand, dessen Elemente weder Reproduktion noch Alterungs- und Zerfallsprozesse zeigen. Dann wird der Bestand lediglich durch Import und Export beeinflusst.

5.2 Ein Beispiel: Populationen und ihre Dynamiken

Bislang haben wir uns mit der Konzeptionalisierung zentraler Begriffe wie „Bestand“, „Beständigkeit“ oder „Bestandsdynamik“ befasst. Dies geschah mit dem Ziel, eine gemeinsame Terminologie zu entwickeln, die es Ökologen und Ökonomen erleichtern soll, über dynamische Aspekte in ökologischen und ökonomischen Systemen zu kommunizieren, Zusammenhänge aufzudecken und zu analysieren. Im Folgenden wollen wir unsere allgemeine Bestandskonzeption auf ein gut untersuchtes Beispiel aus dem Bereich der Ökologie – Populationen und deren Dynamiken – anwenden und ihre Leistungsfähigkeit testen. Wir werden demonstrieren, dass das Konzept in der Lage ist, wichtige Aspekte von Populationsdynamiken zu beschreiben. Dabei werden wir sehen, dass es je nach konkreter Fragestellung erforderlich sein kann, eine Menge manchmal als (homogenen) Bestand, in anderen Fällen jedoch als System interagierender individueller Elemente aufzufassen.

In einem zweiten Schritt (ab Abschnitt 5.3) werden wir den Bestandsbegriff zu einem Konzept erweitern, das auch stochastische Prozesse abbilden kann. Dies ist notwendig, um populationsdynamische Phänomene von allgemeiner Relevanz beschreiben zu können und betrifft im Rahmen dieses Aufsatzes insbesondere die Frage, wann Beständigkeit vorliegt.

5.2.1 Die Beschreibung einer Population als Bestand

Wir betrachten in diesem Abschnitt Populationen in der ökologisch gebräuchlichen Definition.²⁵ Eine Population ist ein Bestand in unserem Sinne, wenn sie vom Beginn der Untersuchung t_0 an bis zum Zeitpunkt $t_0 + At$ (t ist die Zeitskala der Betrachtung, $A \gg 1$) ununterbrochen existiert und zwischendurch nicht ausstirbt (vgl. Definition 3.2 und Proposition 3.1). Eine sinnvolle Bestandsgröße ist die Populationsgröße N_t , d.h. die Zahl der zum Zeitpunkt t reproduktionsfähigen Individuen. Die Bestandsdynamik ist dann nach Definition 3.6 durch die Zeitreihe $\{N_{t_0}, N_{t_0+t}, N_{t_0+2t}, \dots, N_{t_0+T}\}$ der Populationsgröße N_t gegeben, die mit dem Zeitpunkt t_0 des Untersuchungsbeginns beginnt, den vorgegebenen Zeithorizont T der Untersuchung abdeckt und die zeitliche Entwicklung der Population auf der vorgegebenen Zeitskala t verfolgt.

Bei einer solchen Beschreibung der Populationsdynamik unter ausschließlicher Verwendung der Populationsgröße N_t wird die idealisierende Annahme gemacht, dass die Population eine homogene Einheit bildet. Unterschiede zwischen den Individuen (z.B. Alter, Ernährungszustand, Standort) werden bei diesem Ansatz vernachlässigt; alle Eigenschaften werden als effektive Eigenschaften eines ‚mittleren‘ Individuums abgebildet. Dieser populationsökologische Ansatz entspricht insofern seinem Wesen nach unserem Bestandskonzept, das ja ebenfalls die innere Struktur des betrachteten Bestandes vernachlässigt (vgl. Abschnitt 2.1).

Betrachtet man geschlossene Populationen ohne Individuenaustausch, so lässt sich deren Dynamik durch eine Wachstumsgleichung der Form

²⁵ Unter einer Population versteht man eine „Menge von Individuen einer Spezies, die in genetischem Austausch stehen“ (z.B. Wissel, 1989: 8), was implizit voraussetzt, dass nur die tatsächlich reproduktionsfähigen Individuen berücksichtigt werden (vgl. auch Abschnitt 4).

$$\frac{dN_t}{dt} = f_t(N_t), \quad (1)$$

beschreiben, wobei die Funktion $f_t(N_t)$ als *Gesamtwachstumsrate* der Population bezeichnet wird. Diese Beschreibung unter Annahme einer homogenen Population entspricht der Bestandsperspektive, insofern f eine Kumulation über die individuellen Reproduktionsverhalten darstellt.

5.2.2 Eine Population als System: Interne Determinanten der Populationsdynamik

Liegt das Erkenntnisinteresse jedoch nicht auf einer phänomenologischen *ex post*-Beschreibung der Populationsdynamik auf dieser Aggregationsstufe, sondern liegt in einem z.B. für *ex ante*-Prognosen notwendigen Verständnis der Ursachen der Dynamik, muss eine andere Betrachtungsperspektive eingenommen werden: Die Population wird dann als System interagierender Elemente aufgefasst, wobei u.U. die Annahme der Homogenität der Individuen aufgegeben wird.

Der Ausgangspunkt für unsere Überlegungen liegt nun im zentralen Ansatz der Populationsökologie, nach dem Veränderungen in der Populationsgröße N_t auf die vier fundamentalen demographischen Prozesse Geburt, Tod sowie Einwandern und Auswandern von Individuen zurückzuführen sind (Wissel, 1989 sowie Begon and Mortimer, 1986). Diese vier Prozesse sind Ausprägungen der in Abschnitt 5.1 identifizierten vier allgemeinen Mechanismen der Dynamik von Beständen.²⁶

Der Übergang zu einer systemaren Perspektive ist dabei erst dann vollzogen, wenn f aus Gleichung (1) als Funktional *individueller* Reproduktionsraten r_i ausgedrückt wird, wobei diese zwischen den einzelnen Individuen i der Population unterschiedlich sein können und sich in die Anteile ‚individuelle Nachkommenzahl‘ b_i und ‚individuelle Sterbewahrscheinlichkeit‘ d_i zerlegen lässt. Damit erfolgt eine Betrachtung der Fundamentalprozesse Geburt und Tod auf der Ebene der Individuen.

Diese individuellen Größen können dabei von Parametern, wie der aktuellen Populationsgröße N_t abhängig sein, denn bei einer zunehmenden Populationsgröße N_t kommt es zu einer verstärkten Konkurrenz der Individuen um die vorhandenen Ressourcen. Die damit verbundene Schwächung der Individuen schlägt sich in der Regel in einer reduzierten Nachkommenzahl oder einer erhöhten Sterbewahrscheinlichkeit nieder. Auf diese Weise wird die Populationsgröße N_t selbstreguliert auf Werten gehalten, die der Kapazität des Lebensraumes und der in ihm vorhandenen Ressourcen entsprechen. Um also ein Verständnis der Populationsdynamik aus der Perspektive des Bestandes heraus zu gewinnen, ist es in diesem Falle notwendig, die Population als System von interagierenden Individuen zu betrachten.

²⁶ Einwandern und Auswandern spielen nur in so genannten ‚offenen‘ Populationen eine Rolle, die in Wechselwirkung mit ihrer Außenwelt (z.B. anderen Populationen) stehen. Im Gegensatz dazu stehen die ‚geschlossenen‘ Populationen, in denen nur die reinen Reproduktionsprozesse (Geburt, Tod) ablaufen, ein Individuenaustausch (Einwandern, Auswandern) jedoch ausgeschlossen ist.

5.2.3 Einwirkungen der Außenwelt auf die Population: Ein System von Beständen

Die treibenden Größen der Populationsentwicklung auf der Ebene der Individuen, die Nachkommenzahl und Sterbewahrscheinlichkeit der Individuen, b_t und d_t , sind im Allgemeinen nicht zeitlich konstant. So kann beispielsweise die Sterbewahrscheinlichkeit einen zeitlichen Gang aufweisen, welcher der Dynamik einer am selben Standort ansässigen Räuberpopulation folgt.²⁷ Damit ist die Dynamik der betrachteten Population – und damit die Dynamik des Bestandes – von der Dynamik der abiotischen und biotischen Umwelt der Population abhängig. Zur Umwelt der Population können dabei das Nahrungsangebot oder das Wetter gehören, jedoch auch andere Populationen derselben oder einer anderer Spezies. In der Regel handelt es sich auch bei diesen Einflussfaktoren um Bestände.²⁸

Liegt das Erkenntnisinteresse des Betrachters also auf dem *Verständnis* der Populationsdynamik, ist die isolierte Betrachtung der Population als einzelner Bestand in der Regel nicht sinnvoll. Vielmehr ist es notwendig, eine systemare Sichtweise des Zusammenspiels der Population mit ihrer ‚Außenwelt‘ einzunehmen, d.h. die Interaktion des betrachteten Bestands mit weiteren Beständen zu betrachten. In diesem Falle betrachtet man den Bestand als Teil eines übergeordneten Systems.

5.3 Populationsdynamische Langzeiteffekte: Die Erweiterung des Bestandsbegriffes

In den vorangegangenen Abschnitten haben wir die aktuelle Populationsgröße und den Zustand der Außenwelt als treibende Kräfte von Populationsdynamiken identifiziert. Damit passt sich das Wachstumsverhalten einer Population im Laufe der Zeit immer wieder an die aktuellen Gegebenheiten innerhalb der Population und im Bereich der Außenwelt an, wodurch sich Konsequenzen für die Vorhersagbarkeit der Langzeitdynamik der Population ergeben. Da die Außenwelt einer Population selbst dynamisch ist und im Allgemeinen ein komplexes System darstellt, können über längere Zeithorizonte immer unvorhersehbare Veränderungen der Außenwelt eintreten und die individuellen Wachstumsraten beeinflussen. Das bedeutet, dass über längere Zeiträume in der Regel keine definitiven Aussagen über die Entwicklung einzelner Populationen möglich sind.

5.3.1 Persistenz

Im Folgenden werden wir zeigen, dass es mit Hilfe *stochastischer* Konzepte trotz der für Populationen typischen Schwankungen in der Populationsgröße möglich ist, gewisse Vorhersa-

²⁷ Im Falle einer Abhängigkeit von Witterungseinflüssen (z.B. Temperatur, Feuchtigkeit), wie sie häufig bei Insekten anzutreffen ist, können die Nachkommenzahl und Sterbewahrscheinlichkeit auch unvorhersehbar schwanken und damit effektiv wie Zufallsgrößen wirken.

²⁸ Man kann *direkte* und *indirekte* Einwirkungen der Außenwelt unterscheiden, je nach Art ihrer Einwirkungen auf die individuelle Nachkommenzahl und Sterbewahrscheinlichkeit. Direkte Einwirkungen sind solche, die einen unmittelbaren Einfluss auf diese Größen haben, wie beispielsweise das ‚Abernten‘ einer Population, das zu einem unmittelbaren Anstieg der Sterbewahrscheinlichkeit führt. Dem gegenüber versteht man unter indirekten Einwirkungen solche, die die Umwelt der Population verändern und damit die effektiven Reproduktionsraten beeinflussen. So ist beispielsweise die Verkleinerung des Lebensraumes einer Population ein indirekter Eingriff, weil er primär eine Reduktion der Ressourcen und damit eine Verstärkung der Konkurrenz bewirkt, die sekundär zu einer Veränderung der Reproduktionsraten führt.

gen über den Bestandscharakter einer Population zu machen. Derartige Vorhersagen sind nicht mehr allein auf der Grundlage von empirischen Daten möglich, sondern bedürfen eines Modells, mit dessen Hilfe die Entwicklung der Population *ex ante* simuliert wird. Die Modellierung von stochastischen Populationsdynamiken²⁹ ist ein gut untersuchtes Gebiet der Populationsökologie (Nisbet und Gurney, 1982, Goel und Richter-Dyn, 1974, Goodman, 1987, Wissel und Stöcker, 1991, Frank et al., 1994 sowie Wissel et al., 1994).

Stochastische Populationsmodelle zeigen ein typisches dynamisches Verhalten: Eine simulierte Population mit einer gewissen Anfangsgröße $N_{t_0} = N_0 = n$ ³⁰ stirbt entweder sehr schnell aus, oder die Population erreicht einen so genannten etablierten Zustand, der durch typische Fluktuationen in der Populationsgröße N_t und eine konstante Aussterbewahrscheinlichkeit pro Zeiteinheit gekennzeichnet ist. Dieser Sachverhalt spiegelt sich im Strukturgesetz der stochastischen Populationsdynamik (Verboom, 1991, Stelter et al., 1997 sowie Grimm und Wissel, 2002) wider: Die Wahrscheinlichkeit $S_n(t)$, dass eine Population mit anfangs n Individuen bis zum Zeitpunkt t überlebt, lässt sich durch folgendes Exponentialgesetz approximieren:

$$S_n(t) = c_n \cdot e^{-t/T_p} . \quad (2)$$

Darin ist c_n die Wahrscheinlichkeit, mit einer Anfangspopulationsgröße von n Individuen den etablierten Zustand zu erreichen, und T_p die mittlere Lebensdauer der Population im etablierten Zustand. Die Größe c_n subsumiert alle Effekte, die von der Anfangsbedingung $N_0 = n$ herühren, während T_p alle Effekte aus der Phase des etablierten Zustands beinhaltet.³¹

Dieses Strukturgesetz macht auf ein prinzipielles Problem aufmerksam. Es beinhaltet, dass es zu *jedem* Zeitpunkt t ein gewisses Risiko gibt, dass die Population an diesem Zeitpunkt bereits ausgestorben ist – es gilt $S_n(t) < c_n = 1$ für alle $t > 0$. Die Populationsökologie hat deshalb als Maß für das Überdauern einer Population den Begriff der *Persistenz* eingeführt.³²

Definition 5.1 (Persistenz): Sei $t' > t_0$ ein beliebiger Zeitpunkt, bis zu dem die Überlebensfähigkeit der Population betrachtet werden soll, und sei e das maximale Aussterberisiko, das der Betrachter bereit ist zu akzeptieren. Dann heißt eine Population *persistent*, wenn ihre Überlebenswahrscheinlichkeit $S_n(t')$ zu diesem Zeitpunkt t' größer gleich $1 - e$ ist, d.h. wenn $S_n(t') = 1 - e$ gilt.

Zwischen dem ökologischen Konzept der Persistenz und dem von uns eingeführten Konzept der Beständigkeit gibt es klare Parallelen. Beide Begriffe beziehen sich auf eine vom Betrachter vorgegebene Zeitspanne und fordern eine ununterbrochene Existenz des Bestandes. Der Unterschied besteht darin, dass sich Persistenz auf stochastische Populationen bezieht und in diesem Kontext keine Absolutaussagen, sondern nur Wahrscheinlichkeitsaussagen gemacht

²⁹ Unter stochastischen Populationsdynamiken versteht man Populationsdynamiken, die zufälligen Schwankungen unterworfen sind, wie sie beispielsweise durch unvorhersehbare Umwelteinflüsse induziert werden.

³⁰ Wir wollen im Folgenden ohne Beschränkung der Allgemeinheit $t_0 = 0$ annehmen.

³¹ Die Analyse der Überlebensfähigkeit von Populationen ist Gegenstand eines eigenständigen Zweiges der Populationsökologie, der Populationgefährdungsanalyse (Population viability analysis; für einen Überblick siehe Burgman und Possingham, 2000, Possingham, 2001 und Frank et al., 2002: Kap. 13).

werden. Der Begriff der Persistenz kann somit als stochastische Variante des Begriffs der Beständigkeit in Bezug auf Populationen angesehen werden. Ob eine Population als persistent einzustufen ist, hängt zusätzlich vom akzeptierten Restrisiko e ab. Je geringer e ist, desto höher ist der Schwellenwert, den die Überlebenswahrscheinlichkeit übersteigen muss, d.h. desto restriktiver ist die Persistenzdefinition.

Soll in einer Untersuchung die stochastische Erweiterung unserer allgemeinen Bestandskonzeption, d.h. das Konzept der Persistenz, verwendet werden, so muss also eine Vorstellung über das akzeptierte Restrisiko e bestehen. Diese Größe ist keine objektivierbare Eigenschaft der betrachteten Population, sondern stellt ein subjektives Moment dar und gehört mithin zum Kontext der Untersuchung (vgl. Abschnitt 2.3). Die Höhe des akzeptierten Restrisikos e entspringt dabei der subjektiven Bewertung des Betrachters; sie wird beeinflusst vom in der Gesellschaft vorhandenen Wissen, ihrer Risikobereitschaft und vielen anderen Einflussfaktoren. Das akzeptierte Restrisiko kann sich damit im Laufe der Zeit verändern – z.B. durch der Veränderung von Präferenzen, ausgedrückt beispielsweise durch ein steigendes Problembewusstsein in ökologischen Belangen. Die Bestimmung des akzeptierten Restrisikos berührt somit in starkem Maße die Sphären der Politik und der Ökonomik.

5.3.2 Persistenz und Beständigkeit

Im Zuge der Entwicklung unserer allgemeinen Bestandskonzeption haben wir in Proposition 3.1 eine notwendige Bedingung für die Beständigkeit einer Menge angegeben, die in Abhängigkeit der verbleibenden Dauer des Bestandes, T_B^0 , formuliert ist. Wir wollen nun untersuchen, inwieweit eine – statistischen Fluktuationen unterworfenen – Population auch als Bestand aufgefasst werden kann. Dies ist nicht *a priori* klar, denn die prinzipiell bestehende Möglichkeit, dass eine sich stochastisch verhaltende Population zu jedem Zeitpunkt bereits ausgestorben ist, gilt insbesondere auch für jenen Zeitpunkt $t = At$ mit $A \gg 1$, an dem die Population nach Proposition 3.1 noch existent sein muss, um als beständig im Sinne von Abschnitt 3 angesehen zu werden – und mithin einen Bestand darzustellen. Um das Problem zu lösen, liegt es nahe, das für stochastische Populationen entwickelte Persistenzkonzept mit unserem Bestandskonzept zu verschmelzen und damit unser Bestandskonzept für sich stochastisch verhaltende Populationen zu erweitern.

Betrachtet man also persistente stochastische Populationen als gleichzeitig beständig im Sinne von Abschnitt 3, so ergibt sich aus Definition 5.1 die formale Bedingung für Beständigkeit einer stochastischen Population:

$$S_n(At) = 1 - e. \quad (3)$$

Wir wollen nun zunächst nur solche Populationen betrachten, die den etablierten Zustand erreichen. Für diese Populationen können wir $c_n = 1$ annehmen.³³ Gleichung (2) stellt dann einen funktionalen Bezug zwischen der Überlebenswahrscheinlichkeit $S_n(t')$ der Population

³² Für einen Überblick über das Konzept siehe Grimm und Wissel (1997) und Frank et al. (2002: Kapitel 13).

³³ Weiter unten werden wir noch den Fall $c_n < 1$ betrachten.

zum Zeitpunkt t' und ihrer mittleren Lebensdauer T_P her. Setzt man Ausdruck (2) in die Persistenzdefinition (3) ein, dann zeigt sich, dass eine Population nur dann beständig sein kann, wenn gilt: $e^{-At/T_P} \geq 1 - e$. Logarithmiert man beide Seiten, erhält man folgende notwendige Bedingung für das Vorliegen von Beständigkeit einer stochastischen Population, die bereits den etablierten Zustand erreicht hat:

$$T_P \geq \left\{ -\frac{1}{\ln(1-e)} \right\} \cdot At. \quad (4)$$

Bedingung (4) besagt, dass eine Population nur dann beständig ist, wenn ihre mittlere Lebensdauer T_P den ‚Testzeitraum‘ für Beständigkeit aus Proposition 3.1 At um einen Faktor $\left\{ -\frac{1}{\ln(1-e)} \right\} > 0$ übersteigt.

Vergleichen wir nun die in Proposition 3.1 zunächst für nicht stochastische Mengen aufgestellte Bedingung für Beständigkeit mit der in Gleichung (4) abgeleiteten Bedingung für die Beständigkeit einer stochastischen Population:

$$T_B^0 = At \quad (\text{Proposition 3.1})$$

$$T_P \geq \left\{ -\frac{1}{\ln(1-e)} \right\} \cdot At. \quad (4)$$

Beide Gleichungen haben dieselbe Struktur: Die Dauer eines nicht stochastischen Bestandes, T_B^0 , bzw. die mittlere Lebensdauer eines stochastischen Bestandes, T_P , als objektiv gegebene Größen müssen einen durch subjektive Momente bestimmten Vergleichszeitraum übersteigen. Es liegt daher nahe, die beiden Größen T_B^0 und T_P miteinander zu identifizieren und als verbleibende Dauer einer stochastischen Populationen die mittlere Lebensdauer zu definieren.

Stochastische Populationen und nicht stochastische Bestände unterscheiden sich jedoch dadurch, dass die verbleibende Dauer stochastischer Populationen, die als Bestände aufgefasst werden sollen, nach Gleichung (4) den um einen Faktor korrigierten ‚Testzeitraum‘ At übersteigen muss. Der Korrekturfaktor hängt dabei von der subjektiven Größe Restrisiko ab und ist in Abbildung 3 in Abhängigkeit von e dargestellt. Er drückt eine subjektive Bewertung des Risikos aus, das durch die Stochastizität der Population verursacht wird.

Je geringer das akzeptierte Restrisiko e ist, desto höher liegt für gegebene Zeitskala der Betrachtung t die Vergleichszeitdauer, die die mittlere Lebenszeit der Population überschreiten muss, damit die Population einen Bestand darstellt. Im Spezialfall $e = 1 - e^{-1} \approx 0,63$ nimmt der Wert des Korrekturfaktors gerade den Wert 1 an, d.h. der Schwellwert für stochastische Populationen entspricht dann gerade dem Wert für nicht stochastische Bestände.

Für den Fall, dass das akzeptierte Restrisiko gegen null geht, d.h. $e \rightarrow 0$, tendiert der Schwellwert, den die mittlere Lebensdauer einer stochastischen Population überschreiten muss, damit die Population einen Bestand darstellt, gegen unendlich. Damit haben wir folgende Proposition bewiesen:

Proposition 5.1: Ist das im Kontext einer Untersuchung gegebene akzeptierte Restrisiko null, können sich stochastisch verhaltende Populationen nicht als Bestände im Sinne von Abschnitt 3 angesehen werden.

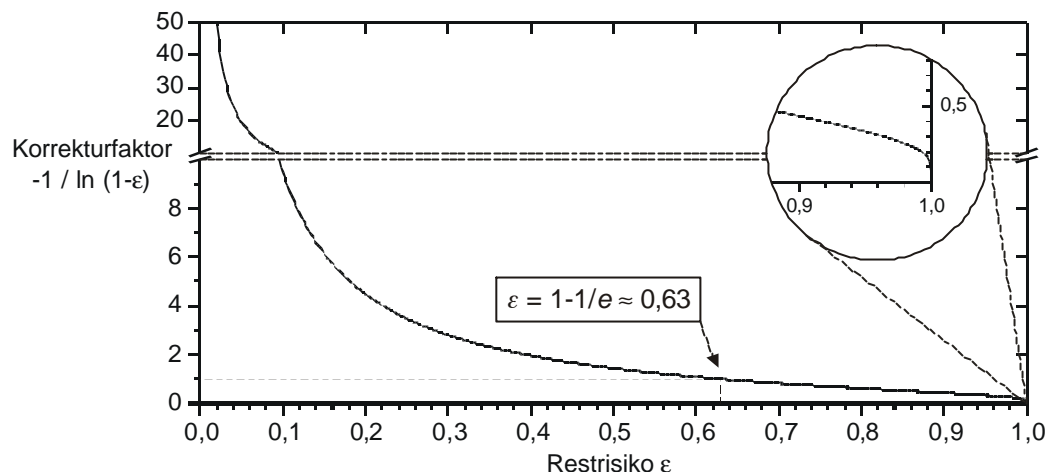


Abbildung 2: Korrekturfaktor für die Vergleichszeitdauer, die die mittlere Lebenszeit einer betrachteten Population überschreiten muss, damit diese Population einen Bestand darstellt, dargestellt in Abhängigkeit des akzeptierten Restrisikos e . Für $e = 1 - e^{-1} \approx 0,63$ wird der Korrekturfaktor gerade gleich 1, d.h. die Vergleichszeiträume sind für stochastische und nicht-stochastische Bestände identisch. Für $e \rightarrow 0$ tendiert der Korrekturfaktor gegen unendlich, $e \rightarrow 1$ tendiert der Korrekturfaktor gegen null.

Durch die Diskussion in diesem Abschnitt haben wir gezeigt, dass sich stochastisch verhaltende Populationen als Bestände aufgefasst werden können, falls das akzeptierte Restrisiko echt größer null ist. Die aus der ökologischen Theorie stammende Eigenschaft der Persistenz korrespondiert dann mit unserem allgemeinen Begriff der Beständigkeit.

5.3.3 Das Erreichen des etablierten Zustands

Bei der Ableitung von Gleichung (4) im vorangegangenen Abschnitt wurde angenommen, dass die Population sicher den etablierten Zustand erreicht, d.h. $c_n = 1$. Wird diese Annahme aufgeben, d.h. der Fall $c_n < 1$ betrachtet, ergibt sich aus Gleichung (2) und Definition 5.1 eine weitere notwendige Bedingung für das Vorliegen von Beständigkeit, nämlich $c_n > 1 - e$, d.h. die Wahrscheinlichkeit, den etablierten Zustand zu erreichen, muss den Schwellenwert $1 - e$ übersteigen. Auch diese Bedingung verknüpft – ähnlich wie Gleichung (4) – objektive Eigenschaften der Population mit subjektiven Bewertungen des Betrachters. Die Auswertung der Bedingung zeigt dabei, dass die Anfangspopulation über einem kritischen Schwellenwert n_c liegen muss, um Beständigkeit erreichen zu können.³⁴

³⁴ Für konstante und für alle Individuen gleiche Geburts- und Sterberaten, $b_i = b$ und $d_i = d$, gilt $c_n = 1 - (b/d)^n$ (Wissel, 1989), woraus sich die Bedingung $n > n_c \equiv -\ln(e) / \ln(b/d)$ ergibt. Beständigkeit kann damit nur dann erreicht werden, wenn die aktuelle Populationsgröße n eine Mindestgröße n_c übersteigt, die von den demographischen Eigenschaften der Individuen (b und d) und vom akzeptierten Restrisiko e abhängt.

5.3.4 Mechanismen zur Erreichung von Persistenz: Beispiel ‚Floater‘

In diesem Abschnitt soll beispielhaft ein Mechanismus betrachtet werden, der in realen Ökosystemen Persistenz bzw. Beständigkeit von Populationen sicherstellen kann. Zur Sicherung von Persistenz ist es notwendig, die Populationsgröße N oberhalb kritischer Schwellenwerte n_c zu halten. Dies kann mittels eines Puffermechanismus geschehen, der im Folgenden vorgestellt wird.

Wir betrachten dazu eine fiktive Population von territorialen Wildtieren, z.B. Dachse. In derartigen Populationen haben nur die ‚Territorieninhaber‘ die Möglichkeit sich zu reproduzieren, d.h. die effektive Populationsgröße n ist in diesem Fall durch die Zahl der besetzten Territorien gegeben. Alle anderen Tiere leben ohne Reproduktionsmöglichkeit in dem Gebiet und sind auf der ständigen Suche nach einem freien Territorium oder der Möglichkeit, einen Territorieninhaber zu vertreiben, um selbst dessen Position zu übernehmen. Obwohl diese so genannten ‚Floater‘ keinen unmittelbaren Beitrag zur Reproduktion leisten, sind sie für die Populationsdynamik von Bedeutung, da sie Todesfälle unter den Territorieninhabern kompensieren, indem sie vakante Positionen übernehmen und dadurch eine kontinuierliche Besetzung der Territorien sicherstellen. Damit wird die effektive Populationsgröße N auf einem genügend hohen Niveau oberhalb von n_c gehalten. Solange genügend ‚Floater‘ vorhanden sind, um vakante Territorien zu übernehmen, können adverse Ereignisse ‚abgepuffert‘ werden, und die Population kann folglich ein gewisses Maß an negativen Eingriffen kompensieren und langfristig überleben.

Das Beispiel der ‚Floater‘ weist auf folgendes hin: Soll die Dynamik einer solchen Population verstanden werden, ist es notwendig, statt eines homogenen Bestandes von Dachsen zwei eigenständige Bestände zu betrachten, Territorieninhaber und ‚Floater‘, die in enger Kopplung miteinander stehen.

5.4 Die Bedeutung des ökologischen Beispiels für unsere Bestandskonzeption

In den vorherigen Abschnitten haben wir am Beispiel ökologischer Systeme illustriert, wie unser allgemeiner Bestandsbegriff für spezielle Fragestellungen fruchtbar gemacht werden kann. In Abschnitt 5.2 haben wir Populationen und ihre Dynamik aus verschiedenen Betrachtungsperspektiven untersucht und dabei herausgearbeitet, dass die unterschiedlichen Perspektiven jeweils andere Facetten der Populationsdynamik erhellen. Wir haben gezeigt, wie eine Population einerseits als Bestand aufgefasst werden kann, andererseits die Population zum Verständnis ihrer Dynamik jedoch auch als System interagierender Elemente betrachtet werden kann. Schließlich wurde deutlich, dass eine Population, als Bestand aufgefasst, selbst wieder Teil eines übergeordneten Systems ist, was wesentliche Auswirkungen auf ihre zeitliche Entwicklung zur Folge hat. Wir haben damit in Abschnitt 5.2 illustriert, wie unser Bestandskonzept zur Strukturierung der hierarchischen Verknüpfungen in realen Systemen beitragen kann.

In Abschnitt 5.3 haben wir den zunächst für nicht-stochastische Mengen entwickelten Bestandsbegriff auf die Betrachtung stochastischer Populationen erweitert und dafür das aus der ökologischen Theorie stammende Konzept der Persistenz als Grundlage unserer Begriffser-

weiterung verwendet. Obwohl wir die Erweiterbarkeit des Begriffes zunächst nur für die spezielle Statistik von Populationen (Gleichungen 2 und 3) gezeigt haben, kann der angewendete Weg immer dann verwendet werden, wenn sich die Stochastik der betrachteten Menge durch eine mittlere Lebensdauer beschreiben lässt.

Die Erweiterung des Bestandsbegriffes auf stochastische Entitäten stellt eine wesentliche Voraussetzung zur universellen Anwendbarkeit des Begriffes dar, denn bei der *ex ante*-Betrachtung realer Probleme tritt in der Regel Unwissen auf, so dass in diesen Fällen die Verwendung statistischer Konzepte notwendig wird. Eine in diesem Zusammenhang wesentliche Erkenntnis liegt darin, dass bei der Verwendung des stochastischen Bestandsbegriffes als weiteres subjektives Moment das akzeptierte Restrisiko e eine entscheidende Rolle spielt.

6 Naturgegebene, willentliche und unwillentliche Bestände

Im bisherigen Verlauf des Aufsatzes haben wir eine Bestandskonzeption entwickelt, mit deren Hilfe dynamische Eigenschaften von ökonomischen und ökologischen Systemen analysiert werden können. Wir haben diese Konzeption auf Beispiele aus der theoretischen Ökologie angewendet und damit die Nutzbarkeit des Konzeptes auch bei der Untersuchung stochastischer Systeme aufgezeigt. Die Stärke des Bestandskonzeptes liegt u.E. darin, dass es neben der formalen Analyse der Dynamik ökonomischer und ökologischer Systeme auch erlaubt, explizit die Zielorientierung menschlichen Handelns in die Betrachtung mit einzubeziehen, die in ökonomischen Systemen – im Gegensatz zu rein ökologischen Systemen – eine entscheidende Rolle spielt. Eine ausführliche Analyse dieser Thematik würde indessen den Rahmen dieses Aufsatzes bei weitem übersteigen; in diesem Abschnitt soll daher nur ein kleiner Ausblick gegeben werden.

Wirtschaftliche Aktivitäten des Menschen sind zwangsläufig mit der Beeinflussung von Beständen aller Art verbunden (vgl. z.B. Schiller 2002, Kapitel 7.3.1). Es liegt daher nahe, Bestände danach zu unterscheiden, in welchem Maße sie durch menschliche Aktivität beeinflusst werden. Dabei differenzieren wir zunächst zwischen solchen Beständen, die als Folge menschlicher Aktivitäten entstanden sind, d.h. vom Menschen geschaffen wurden, und solchen Beständen, die sich natürlich entwickelt haben. Die vom Menschen geschaffenen Bestände sollen weiterhin danach eingeteilt werden, ob ihre Hervorbringung von den Akteuren gewollt oder nicht gewollt war. Dieses Kriterium ist wichtig für die weitere Analyse, denn es lenkt die Aufmerksamkeit auf die Intentionen der Akteure (vgl. hierzu auch Faber, Petersen und Schiller, 2002).

Wir wollen also die folgenden drei Bestandsarten unterscheiden:

1. Naturgegebene Bestände: Sie sind in der Natur und ohne den Einfluss des Menschen entstanden.³⁵ Beispiele sind Ökosysteme und natürliche Rohstoffvorkommen.

³⁵ In dieser Definition wird ‚naturegeben‘ als Gegensatz zu ‚durch Menschen beeinflusst‘ verstanden. Der Begriff ‚Natur‘ wird hier also nicht in dem umfassenden Sinn von ‚alles was den Naturgesetzten unterworfen ist‘ gebraucht.

2. Willentliche Bestände: Sie sind von Menschen willentlich, d.h. absichtlich geschaffen worden. Vorräte und Kapitalgüter, wie Maschinen, Straßen und Häuser, sind Beispiele für willentliche Bestände.
3. Unwillentliche Bestände: Sie sind durch den Einfluss menschlicher Aktivitäten unintendiert entstanden, d.h. ihre Schaffung lag nicht in der Absicht der Menschen, die sie verursacht haben. Beispiele sind FCKW in der Stratosphäre und Nitrate im Grundwasser.

Für alle Bestände der 2. und 3. Art sowie für viele Bestände der 1. Art gilt, dass sie in ihren Dynamiken und ihren Eigenschaften von Menschen direkt oder indirekt beeinflusst werden. Damit ist die getroffene Einteilung im Hinblick auf den Einfluss des Menschen nicht trennscharf; vielmehr gilt, dass der menschliche Einfluss auf die Entwicklung von Beständen unterschiedlich stark sein kann, d.h. auf einer kontinuierlichen Skala von nicht-existent bis bestimmend sein kann.

Für das menschliche Wirtschaften spielen alle drei Arten von Beständen eine wichtige Rolle:

- Viele naturgegebene Bestände leisten eine Reihe von Diensten für den Menschen. Beispielsweise sorgen die Pflanzen durch ihre Photosynthese für den Erhalt der lebensnotwendigen Sauerstoffkonzentration in der Atmosphäre. Naturgegebene Bestände werden darüber hinaus als Ressourcen verwendet, beispielsweise beim Bergbau von Kohle und Metallerzen.
- Willentliche Bestände sind vor allem Vorräte und Kapitalgüter. Vorräte wurden geschaffen, um für die Zukunft vorzusorgen. Kapitalgüter werden für die Herstellung von Gütern verwendet. Im Gegensatz zu Vorräten werden Kapitalgüter im Produktionsprozess nicht verbraucht.³⁶ Das schließt nicht aus, dass sich Kapitalgüter im Laufe der Zeit abnutzen. Die Abnutzung findet jedoch auf einer anderen Zeitskala statt als ihr Einsatz zur Produktion von Gütern.
- Unwillentliche Bestände entstehen durch menschliche und dabei vor allem wirtschaftliche Aktivitäten wie der Produktion von Gütern, obwohl sie nicht beabsichtigt sind. Es kann sein, dass unwillentliche Bestände bewusst in Kauf genommen werden. Häufig sind sich die Verursacher allerdings nicht bewusst über deren Entstehen. Beispiele für unwillentliche Bestände sind die durch Galvanisierung entstandenen Cadmiummengen in den Sedimenten der deutschen Flüsse oder die durch die Nutzung fossiler Energieträger entstandenen CO₂-Mengen in der Atmosphäre.

Abbildung 3 illustriert schematisch unsere Einteilung von Beständen danach, in welcher Weise sie durch menschliche Einflüsse in ihrer Dynamik und ihren weiteren Eigenschaften bestimmt werden.

³⁶ Vgl. den Fonds begriff bei Georgescu-Roegen (1971: Kap. 9). Siehe auch Schiller (2002: Kapitel 5), Faber, Manstetten und Proops (1996: Kapitel 9) und Faber und Manstetten (1998).

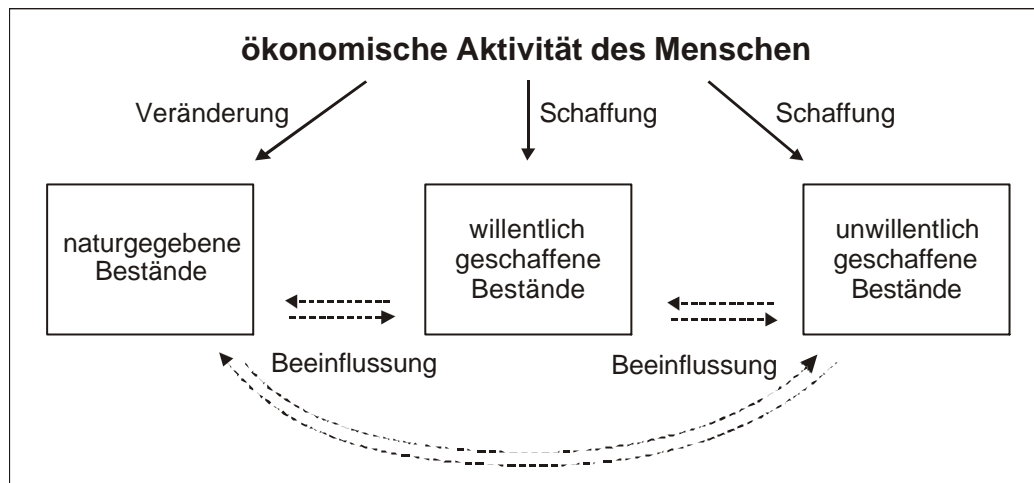


Abbildung 3: Schema der Beeinflussung naturgegebener, willentlicher und unwillentlicher Bestände durch den Menschen und der Beziehungen der Bestandsarten untereinander.

Die drei unterschiedlichen Arten von Beständen werden im Wesentlichen durch verschiedene wissenschaftliche Disziplinen erforscht: Naturgegebene Bestände – Populationen, Ökosysteme, Gesteinsformationen, Grundwasserspeicher, Sedimente etc. – sind Gegenstand der Naturwissenschaften und hier vor allem der Geologie und der Ökologie. Willentlich geschaffene Bestände – Kapitalgüter, Gütervorräte, Know-how – sind in aller Regel aus ökonomischer Motivation heraus entstanden und fallen daher in den Gegenstandsbereich der Wirtschaftswissenschaften. Unwillentliche Bestände stehen in der Regel nicht im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit einer einzigen Disziplin, weshalb in der Regel keine eindeutige Zuordnung zu den traditionellen Wissenschaftsdisziplinen möglich ist. Unwillentliche Bestände werden oft gleichzeitig aus den Blickwinkeln unterschiedlicher Disziplinen betrachtet und sind daher Gegenstand interdisziplinärer Forschung. Sie oder ihre Auswirkungen werden häufig als Umweltprobleme wahrgenommen und sind dann Gegenstand der Umweltwissenschaften, wie Planungswissenschaften, Geographie, Hydrologie, ökologische Ökonomik und der Umweltökonomik, die sich z.B. mit Schadstoffbeständen und Beständen von anderen unerwünschten Kuppelprodukten beschäftigt.³⁷

7 Was leistet der entwickelte Bestandsbegriff?

Der im Rahmen dieses Aufsatzes entwickelte Bestandsbegriff bietet unseres Erachtens eine gute Grundlage für die integrierte ökologisch-ökonomische Erforschung der Dynamik von gekoppelten ökologischen und ökonomischen Systemen. Dazu tragen insbesondere die folgenden Charakteristika des Bestandskonzeptes bei.

Dynamik: Mit Hilfe unserer Konzeption von Beständen gelingt es, analytisch das Charakteristikum einer Vielzahl von Entitäten herauszuarbeiten, das zentral für das Verständnis der Dynamiken ökonomischer als auch ökologischer Systeme ist, nämlich die Eigenschaft der *Be-*

³⁷ Thermodynamisch betrachtet ist jede Produktion mit Kuppelproduktion verbunden, d.h. der Entstehung von unerwünschten Nebenprodukten (Baumgärtner, 2000). Daraus ergibt sich die Frage nach der Verantwortung menschlichen Handelns (vgl. hierzu Baumgärtner et al., 2001).

ständigkeit. Zusammen mit der Interaktion der einzelnen Bestände ist es deren Dauerhaftigkeit, die die Entwicklung der einbettenden Systeme über die Zeit bestimmt.

Universalität: Da Beständigkeit eine Eigenschaft in der Zeit darstellt und sich damit nicht spezifisch auf den Gegenstandsbereich einzelner wissenschaftlicher Disziplinen bezieht, ist das Konzept der Beständigkeit *universell* anwendbar. Dementsprechend ist unser Bestandsbegriff so allgemein gehalten, dass damit sowohl ökonomische als auch ökologische Systeme charakterisiert werden können, was im Aufsatz anhand von Beispielen gezeigt wurde. Über seine Anwendung in Ökologie und Ökonomie hinaus, besteht unseres Erachtens prinzipiell die Möglichkeit, den Begriff auch für andere Fragestellungen und damit für andere Disziplinen fruchtbar zu machen. Dies gilt neben anderen naturwissenschaftlichen Zusammenhängen insbesondere auch im sozialwissenschaftlichen Bereich, wie etwa in der Soziologie und der Politologie. Unser Bestandsbegriff trägt damit zu einer *gemeinsamen Sprache* bei der Untersuchung von ökologischen und ökonomischen Systemen bei, die notwendig für die interdisziplinäre Analyse fachübergreifender Probleme ist.

Kompatibilität: Trotz seiner Universalität ist unser Bestandskonzept zu bereits eingeführten Konzepten im Bereich der Ökonomie und der Ökologie kompatibel. Er korrespondiert direkt zu dem Konzept des Kapitalbestandes in den Wirtschaftswissenschaften, der eine zentrale Rolle bei der dynamischen Analyse von Wirtschaftssystemen spielt. Gleichzeitig stellt der Begriff eine Verallgemeinerung des in der theoretischen Ökologie eingeführten Konzepts der Persistenz dar, so dass auch im Bereich der Ökologie eine direkte Anschlussmöglichkeit gegeben ist.

Thematisierung subjektiver Momente: Die Analyse ökologischer und ökonomischer Systeme mit Hilfe des entwickelten Bestandskonzeptes erfordert zunächst die Reflexion des Kontextes der Untersuchung, in dem die subjektiven Momente des Beobachters zusammengefasst sind. Durch die Thematisierung dieser subjektiven Momente – beispielsweise die Abgrenzung des Betrachtungsgegenstandes und die Wahl von Zeithorizont und Zeitskala der Betrachtung – erfolgt eine Methodenreflexion, wie sie für interdisziplinäres und transdisziplinäres Arbeiten grundsätzlich erforderlich ist. Gleichzeitig ermöglicht die Thematisierung das Wechseln zwischen verschiedenen Betrachtungsperspektiven auf den Untersuchungsgegenstand.

Zeitliche Skalen: Mit Hilfe unseres Bestandskonzeptes ist es möglich, explizit unterschiedliche zeitliche Skalen zu berücksichtigen. Der Bestandsbegriff bezieht sich seinem Wesen nach grundsätzlich auf einen Betrachtungszeitpunkt und auf eine Zeitskala der Betrachtung. Bei der Verwendung des Konzeptes müssen diese oft nur impliziten Elemente daher explizit thematisiert und festgelegt werden, wodurch gleichzeitig die Betrachtung einer Vielzahl von verschiedenen Zeitskalen möglich wird.

Abgrenzung von Systemsicht und Bestandsperspektive: Mit Hilfe unseres Bestandsbegriffes kann bei der Untersuchung eines Betrachtungsgegenstandes zwischen der Systemsicht und der Bestandsperspektive unterschieden werden. Mit Hilfe dieses Perspektivwechsels können zentrale Eigenschaften realer ökologisch-ökonomischer Systemen herausgearbeitet werden, wie die Diskussion in den Abschnitten 5.2 und 5.3 zeigt: Die hierarchische Struktur derartiger komplexer Systeme kann nur verstanden werden, wenn auf einer gegebenen Betrachtungs-

ebene *gleichzeitig* Vereinfachungen auf der mikroskopischen Betrachtungsebene vorgenommen werden (Bestandsperspektive), dabei jedoch ebenfalls die Interaktion der Bestände im Rahmen eines Systems berücksichtigt wird (Systemsicht).

Es ist mit Hilfe des hier entwickelten Bestandskonzeptes also prinzipiell möglich, die vielfältigen Beziehungsgeflechte zwischen ökologischen und ökonomischen Systemen abzubilden. Unser Bestandskonzept stellt damit ein wichtiges Grundkonzept einer integrativen und dynamischen interdisziplinären Umweltforschung dar.

8 Literatur

Baumgärtner, S., 2000: Ambivalent Joint Production and the natural Environment. An Economic and Thermodynamic Analysis. Physica-Verlag, Heidelberg.

Baumgärtner, S., H. Dyckhoff, M. Faber, J.L.R. Proops und J. Schiller, 2001: The concept of joint production and ecological economics. *Ecological Economics* 36, 365-372.

Baumgärtner, S. und J. Schiller, 2001: Kuppelproduktion. Ein Konzept zur Beschreibung der Entstehung von Umweltproblemen. In: Beckenbach et al. (Hrsg.): *Jahrbuch Ökologische Ökonomie*, Band 2, Metropolisverlag, Marburg, 353-393.

Burgman, M. und H. P. Possingham, 2000: Population viability analysis for conservation: the good, the bad and the undescribed. In: A.G. Young und G.M. Clarke (Hrsg.): *Genetics, Demography and Viability of Fragmented Populations*, Cambridge University Press, London, 97-112.

Begon, A. und M. Mortimer, 1986: *Population Ecology: A Unified Study of Animals and Plants*. 2. Auflage, Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Faber, M. und R. Manstetten, 1998: Produktion, Konsum und Dienste in der Natur – Eine Theorie der Fonds. In: F. Schweitzer und G. Silverberg (Hrsg.): *Selbstorganisation*, Bd. 9, *Evolution und Selbstorganisation in der Ökonomie*, Duncker & Humblot, Berlin, 209-236.

Faber, M., R. Manstetten und J.L.R. Proops, 1996: *Ecological Economics*. Edward Elgar, Cheltenham.

Faber, M., T. Petersen und J. Schiller, 2002: Homo oeconomicus und homo politicus in *Ecological Economics*, *Ecological Economics* 40, 323-333.

Frank, K., M. Drechsler und C. Wissel, 1994: Überleben in fragmentierten Lebensräumen – Stochastische Modelle zu Metapopulationen. *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* 3, 167-178.

Frank, K., H. Lorek, F. Köster, M. Sonnenschein, C. Wissel, und V. Grimm, 2002: *META-X: Software for Metapopulation Viability Analysis*. Springer-Verlag, Heidelberg, 195 Seiten.

Georgescu-Roegen, N., 1971: *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press, Cambridge.

Goel, N. S. und N. Richter-Dyn, 1974: *Stochastic Models in Biology*. Academic Press, New York

- Goodman, D., 1987: The demography of chance extinction. In: M. E. Soulé (Hrsg.): *Viable Populations for Conservation*, Cambridge University Press, Cambridge, 11-34.
- Grimm, V. und C. Wissel, 1997: Babel, or the ecological stability discussions: An inventory and analysis of terminology and a guide for avoiding confusion. *Oecologia* 109, 323-334.
- Grimm, V. und C. Wissel, 2002: The intrinsic mean time to extinction: a unifying approach to analyzing persistence and viability of populations. Zur Publikation eingereicht bei *Oikos*.
- Nisbet, R. M. und W. S. C. Gurney, 1982: *Modelling fluctuating populations*. John Wiley & Sons, New York.
- Possingham, H. P., D. B. Lindenmayer und M. A. McCarthy, 2001: Population Viability Analysis. *Encyclopedia of Biodiversity*, 4, 831-843.
- Schiller, J., 2002: *Umweltprobleme und Zeit. Bestände als konzeptionelle Grundlage ökologischer Ökonomik*. Metropolis-Verlag, Marburg.
- Spaemann, R. und R. Loew, 1991: *Die Frage Wozu? Geschichte und Wiederentdeckung des teleologischen Denkens*, Pieper, München.
- Stelter, C., M. Reich, V. Grimm und C. Wissel, 1997: Modelling persistence in dynamic landscapes: lessons from a metapopulation of grasshopper *Bryodemus tuberculata*. *Journal of Animal Ecology* 66, 508-518.
- Verboom, J., K. Lankester und J. A. J. Metz, 1991: Linking local and regional dynamics in stochastic metapopulation models. *Biological Journal of Linnean Society* 42, 39-55.
- Wissel, C., 1989: *Theoretische Ökologie: Eine Einführung*. Springer Verlag, Berlin.
- Wissel, C., Th. Stephan und S.-H. Zschke, 1994: Modelling extinction of small populations. In: *Minimum Viable Populations*. Hrsg. von H. Remmert, *Ecological Studies* 106, 67-103.
- Wissel, C. und S. Stöcker, 1991: Extinction of populations by random influences. *Theoretical Population Biology* 39, 315-328.