Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement

Universität Duisburg-Essen, Campus Essen
Fachbereich Wirtschaftswissenschaften
Universitätsstraße 9, 45141 Essen
Tel.: ++49 (0) 201 / 183 - 4007
Fax: ++49 (0) 201 / 183 - 4017

Arbeitsbericht Nr. 35

Das ADL-Modell der Prinzipal-Agent-Theorie für die Just-in-Time-Produktionssteuerung

– Darstellung, Analyse und Kritik –

Univ.-Prof. Dr. Stephan Zelewski

E-Mail: stephan.zelewski@pim.uni-due.de

Internet: http://www.pim.wiwi.uni-due.de/team/stephan-zelewski/

ISSN 1614-0842

Essen 2008

Abstract

Die Prinzipal-Agent-Theorie befasst sich vornehmlich mit betriebswirtschaftlichen Problemen, die aus Interessenskonflikten in Vertragsbeziehungen bei asymmetrischer Information resultieren. Es existiert eine große Vielfalt unterschiedlicher Theorievarianten, die sich jedoch um produktionswirtschaftliche Details kaum kümmern. Zu den seltenen Ausnahmen zählt der Beitrag von ALLES, DATAR und LAMBERT. Er präsentiert eine Variante der Prinzipal-Agent-Theorie für Produktionssysteme, die nach Maßgaben des Konzepts der Just-in-Time-Produktionssteuerung ausgestaltet sind. Seitens dieser Theorievariante wird insbesondere das Motivationsproblem von „moral hazard" diskutiert, auf dessen Vermeidung oder zumindest Reduzierung die Gestaltung „anreizkompatibler" Arbeitsverträge zwischen Management (Prinzipal) und Arbeitskräften in der Produktion (Agenten) abzielt.

Mit der hier vorgelegten Analyse wird ein zweifaches Ziel verfolgt. Erstens soll der Beitrag von ALLES, DATAR und LAMBERT hinsichtlich seines produktionswirtschaftlichen Gehalts kritisch hinterfragt werden. Zweitens wird anhand dieses Beitrags in exemplarischer Weise aufgezeigt, dass die Prinzipal-Agent-Theorie einen grundsätzlichen Strukturierungsdefekt aufweist. Unter diesem Defekt leiden nahezu alle, „hinreichend gehaltvollen" Theorien, die aus der Perspektive des konventionellen Theorienkonzepts – dem sogenannten Received View oder Statement View – formuliert sind. Zur Behebung dieses Strukturierungsdefekts wird eine Rekonstruktion der inhaltlich unveränderten Theorievariante aus der Perspektive des (wissenschaftstheoretischen) Strukturalismus – dem sogenannten Non Statement View – empfohlen. Er achtet vor allem darauf, die nomischen Hypothesen und den intendierten Anwendungsbereich einer Theorie explizit und präzise zu spezifizieren.

Die Untersuchungen besitzen sowohl wissenschaftliche als auch praktische Relevanz. Einerseits vermitteln sie einen normativen Einblick in „wohlstrukturierte" wissenschaftliche Theorien. Andererseits bieten sie konstruktive Gestaltungsempfehlungen, wie Theorien formuliert werden sollten, um sie in Wissensbasierten Systemen oder „Expertensystemen" für computergestützte Erklärungszwecke einsetzen zu können.

Inhaltsverzeichnis

1 Problementfaltung

1.1 Einführender Überblick über die Prinzipal-Agent-Theorie

Die Prinzipal-Agent-Theorie[1)] hat seit etwa Beginn der siebziger Jahre des vorangehenden Jahrhunderts große Beachtung seitens der Betriebswirtschaftslehre erfahren. Dies lässt sich vor allem auf zwei Gründe zurückführen. Erstens stellt die Prinzipal-Agent-Theorie eine konzeptionelle Nahtstelle zwischen Allgemeiner Betriebswirtschaftslehre und Mikroökonomie dar. Sie trägt somit wesentlich zu einer „Versöhnung“ zwischen Betriebs- und Volkswirtschaftslehre anhand eines gemeinsam verwendbaren und gehaltvollen theoretischen Fundaments bei. Zweitens lässt sich die Prinzipal-Agent-Theorie als die „neoklassische“ Reaktion auf die weit verbreitete Kritik an der Realitätsferne des „klassischen“ Leitbilds des Homo oeconomicus auffassen.

Die Prinzipal-Agent-Theorie hält an zwei charakteristischen Vorstellungen des Homo oeconomicus fest. Es handelt sich einerseits um die Annahme ausschließlich selbstinteressierter, „egoistischer“ oder sogar „opportunistischer“ Akteure, die ausschließlich im Sinne ihrer individuellen Nutzenmaximierung agieren und dabei auch nicht vor Verheimlichen und Betrügen zurückschrecken. Dies entspricht in einer extremen Variante dem wirtschaftswissenschaftlichen „Paradigma“ des methodologischen Individualismus[2)]. Dadurch werden aus entscheidungstheoretischer Perspektive vor allem Sozialpräferenzen ausgeschlossen, die sich beispielsweise in Fairnessvorstellungen oder auch Neideffekten manifestieren können. Andererseits wird von jeglichen Einschränkungen der Informationsverarbeitungskapazität von Akteuren abstrahiert. Deswegen bleiben z.B. Erkenntnisse aus den Konzepten eingeschränkter Rationalität weitgehend unberücksichtigt, zu denen vor allem die Verfolgung von lediglich Satisfizierungszielen anstatt der „klassischen“ Extremierungsziele gehört. Ebenso wenig werden zeitlich variable Satisfizierungsniveaus beachtet, die es beispielsweise gestatten, sowohl (erwünschte) Lerneffekte als auch (problematische) zeitlich instabile Präferenzstrukturen zu erfassen. Hinsichtlich dieser Aspekte der Nutzenmaximierung und der unbeschränkten Informationsverarbeitungskapazität verhält sich die Prinzipal-Agent-Theorie wie eine „klassische“ ökonomische Theorie. Dies ist vermutlich ein wesentlicher Grund für ihre weitreichende „Anschlussfähig-

---

1) Vgl. zu Überblicken über die Prinzipal-Agent-Theorie z.B. SPENCE/ZECKHAUSER (1971); ROSS (1973); HARRIS/RAVIV (1978); HOLMSTRÖM (1979); GROSSMAN/HART (1983), S. 7 ff.; ARROW (1985), S. 37 ff.; REES (1985a); REES (1985b); HART/HOLMSTRÖM (1987); HOLMSTRÖM/MILGROM (1987); SPREMANN (1987b), S. 341 ff.; WENGER/TERBERGER (1988), S. 506 ff.; EISENHARDT (1989); HARTMANN WENDELS (1989); NEUS (1989b); KIENER (1990), S. 7 ff.; ELSCHEN (1991a); ELSCHEN (1991b); PICOT (1991), S. 150 ff.; KLEINE (1996); WIGAND/PICOT/REICHWALD (1997), S. 42 ff.; EILERS (1998); GIBBONS (1998); MIKUS (1998); JUNG (1999), S. 14 ff.; MEINHÖVEL (1999), S. 7 ff.; GINTIS (2000), S. 332 ff. (aus spieltheoretischer Perspektive); JOST (2001a), S. 12 ff.; DEMOUGIN/JOST (2001), S. 45 ff.; LAMBERT (2001); WRIGHT/MUKHERJI/KROLL (2001), S. 413 ff. (mit einer Analyse der zentralen Prämissen der Prinzipal-Agent-Theorie und einer Diskussion zahlreicher Optionen, diese Prämissen durch andersartige Prämissen zu ersetzen, insbesondere abzuschwächen); PICOT/DIETL/FRANCK (2002), S. 85 ff.; KALUZA/DULLNIG/MALLE (2003), S. 14 ff.; EKANAYAKE (2004), S. 49 ff.; ALPARSLAN (2006), S. 1 ff. (mit zahlreichen weiterführenden Angaben zu Anwendungsgebieten der Prinzipal-Agent-Theorie in Fußnote 15 auf S. 3), 11 ff., 35 ff. u. 42 ff.; EBERS/GOTSCH (2006), S. 258 ff.; PETERS (2008), S. 134 u. 310 ff.; TERBERGER (2008), S. 21 ff. Vgl. darüber hinaus auch die weiteren Beiträge in dem Sammelwerk JOST (2001b).
Die Prinzipal-Agent-Theorie ist derart komplex und in vielfache Theorievarianten ausdifferenziert, dass in dem hier vorgelegten Beitrag in keiner Weise der Anspruch erhoben wird, einen Überblick über diese Theorie zu gewähren. Stattdessen werden in diesem einführenden Kapitel lediglich einige charakteristische Aspekte der Prinzipal-Agent-Theorie und einiger ihrer Varianten hervorgehoben, die für das inhaltliche Verständnis und die Positionierung der Theorievariante von ALLES, DATAR und LAMBERT als hilfreich erscheinen.

2) Vgl. WRIGHT/MUKHERJI/KROLL (2001), S. 414, zur engen inhaltlichen Beziehung zwischen Prinzipal-Agent-Theorie und methodologischem Individualismus.

keit“ an andere betriebs- und volkswirtschaftliche Theorien, die zu dem breiten Interesse an der Prinzipal-Agent-Theorie in den zurückliegenden Jahrzehnten geführt hat.

Im Gegensatz zum ehemaligen Leitbild des Homo oeconomicus gibt die Prinzipal-Agent-Theorie die idealisierte Vorstellung vollkommener Rationalität aller Akteure auf. Die Abschwächung dieses Ideals erstreckt sich jedoch nur auf die „klassische“ Annahme vollständiger und symmetrischer Information aller Akteure. An ihre Stelle tritt die realitätsnähere Annahme, dass die Akteure nur über unvollständige, oftmals nur unsichere Informationen verfügen und diese Informationen in asymmetrischer Weise auf die Akteure verteilt sind. Diese „doppelte“ Annahme der Informationsunvollständigkeit – in der Regel ist Informationsunsicherheit[1)] gemeint[2)] – und der Informationsasymmetrie[3)] stellt die essenzielle Neuartigkeit der Prinzipal-Agent-Theorie gegenüber dem „klassischen“ Leitbild des Homo oeconomicus dar, die sich im Präfix „neo-“ niederschlägt.

Im Allgemeinen erfolgt eine dichotome Separierung der Akteure, die zu der Bezeichnung „Prinzipal-Agent-Theorie“ geführt hat.

Auf der einen Seite stehen die relativ gut informierten Agenten, die eine Aufgabe im Auftrag eines Vorgesetzten (Managers) erfüllen. Sie verfügen nicht notwendig über vollständige, aber immerhin über bessere Kenntnisse als ihr Vorgesetzter hinsichtlich derjenigen Prozesse und Restriktionen, von denen die Aufgabenerfüllung abhängt. In den meisten Beiträgen zur Prinzipal-Agent-Theorie wird als pars pro toto nur ein einzelner Agent betrachtet[4)], von dem angenommen wird, dass er die Gesamtheit aller Agenten, die an der Erfüllung derselben Aufgabe arbeitsteilig zusammenwirken, „repräsentativ“ vertritt[5)]. Hiervon wird auch im Folgenden ausgegangen.

---

1) Vgl. zur Informationsunsicherheit als Charakteristikum der Prinzipal-Agent-Theorie ARROW (1985), S. 37; ALPARSLAN (2006), S. 2 u. 18 f. (dort als Umweltunsicherheit thematisiert).

2) Im Folgenden wird der Einfachheit halber nur noch von Informationsunsicherheit die Rede sein, weil die hier behandelte Variante der Prinzipal-Agent-Theorie, analog zu den meisten anderen Theorievarianten, die Unvollständigkeit von Informationen im Sinne ihrer Unsicherheit auslegt. Dabei wird Unsicherheit stets „stochastisch“ interpretiert, d.h., die Akteure verfügen immerhin über subjektive Wahrscheinlichkeitsvorstellungen hinsichtlich des Eintritts oder Vorliegens jener Umweltereignisse bzw. Umweltzustände, von denen andere Größen, wie insbesondere die Ergebnisse der Aufgabenerfüllung, abhängen. Informationsunvollständigkeit im extremen Verständnis der Ungewissheit, angesichts derer die Akteure noch nicht einmal subjektive Wahrscheinlichkeitsvorstellungen im Hinblick auf Umweltereignisse oder -zustände besitzen, bleibt hingegen unberücksichtigt.

3) Vgl. zur Informationsasymmetrie als Charakteristikum der Prinzipal-Agent-Theorie ARROW (1985), S. 37; SPREMANN (1987a), S. 3, 6 ff. u. 12; NEUSS (1989a), S. 472; PICOT (1991), S. 150 ff.; WIGAND/PICOT/REICHWALD (1997), S. 44; MENSCH (1999b), S. 937; ROEDER (2000), S. 118 ff.; KRAPP (2000), S. 4 f.; JOST (2001a), S. 21 u. 23 ff.; DEMOUGIN/JOST (2001), S. 45; GÖX/BUDDE/SCHÖNDUBE (2002), S. 66 f.; KALUZA/DULLNIG/MALLE (2003), S. 18 u. 20 ff.; ALPARSLAN (2006), S. 2 ff. u. 19 ff.; EBERS/GOTSCH (2006), S. 261; PETERS (2008), S. 317 ff., 321 f. u. 343 f.

4) Vgl. zu abweichenden Beiträgen, die sich ausdrücklich mit der Beteiligung mehrerer Agenten befassen, beispielsweise HOLMSTRÖM (1982), S. 326 ff.; DEMSKI/SAPPINGTON (1984), S. 154 ff.; ARROW (1985), S. 37 f. u. 46 ff.; MALCOMSON (1986), S. 807 ff.; RASMUSEN (1987), S. 429 ff.; MA (1988), S. 556 ff.; ITOH (1991), S. 611 ff.; GIBBONS (1992), S. 79 ff.; ITOH (1994), S. 693 ff.; DATAR/RAJAN (1995), S. 35 ff.; MELUMAD/MOOKHERJEE/REICHELSTEIN (1995), S. 656 ff.; GUPTA/ROMANO (1998), S. 429 ff.; KRAPP (2000), S. 5 f. u. 45 ff.; AUSTIN (2001), S. 197 ff.; FANDEL/LORTH (2001), S. 279 u. 285 ff.; LU/VAN MIEGHEM/SAVASKAN (2006), S. 7 ff.; vgl. zu weiterführenden Hinweisen auch ALPARSLAN (2006), S. 44 f.; PETERS (2008), S. 312, Fußnote 1183.

5) Vgl. zu einer solchen Repräsentativitätsannahme z.B. FANDEL/LORTH (2001), S. 281 („ … eines Unternehmens, dessen … Eigentümer (Prinzipal) einen repräsentativen … Arbeitnehmer (Agenten) beschäftigt“); LU/VAN MIEGHEM/SAVASKAN (2006), S. 9 („the contracting problem of each agent is … identical“ und „two identical agents“).

➥

Auf der anderen Seite ist der Vorgesetzte, der gemeinhin als Prinzipal bezeichnet wird, nur relativ schlecht über die Prozesse und Restriktionen der Aufgabenerfüllung informiert. Dies begründet die charakteristische Informationsasymmetrie der Prinzipal-Agent-Theorie. Dafür besitzt der Prinzipal aber die Definitionsmacht, die Konditionen von Arbeitsverträgen zu bestimmen, zu denen die Agenten in seinem Unternehmen beschäftigt werden. Diese Definitionsmacht erstreckt sich insbesondere auf die Festlegung, wie das Ergebnis der Aufgabenerfüllung gemessen wird, und auf die Art, in der das Entgelt der Agenten für ihre Aufgabenerfüllung bestimmt wird. Zwar lässt es die Prinzipal-Agent-Theorie grundsätzlich zu, auch Vorgesetzten-Teams, wie etwa Gruppen von Managern, zu betrachten.[1)] Sie geht jedoch in der Regel von nur einem Prinzipal aus, der die Vertragsbeziehungen mit den Agenten in seinem Einflussbereich regelt, die Aufgabenerfüllung dieser Agenten überwacht und deren Entgelte auszahlen lässt. Dies wird im Folgenden ebenso vorausgesetzt.

Schließlich präsupponiert die Prinzipal-Agent-Theorie – ohne es in ihren formalsprachlichen Repräsentationen zu explizieren – eine Art „natürlichen Antagonismus“ zwischen dem Prinzipal und seinen Agenten. Von Effekten, angesichts derer beide Seiten jeweils ihren individuellen Nutzen steigern können, wird abgesehen. Dazu gehören vor allem Effizienzgewinne, die aus Kooperationen erzielt werden können. Vernachlässigt werden also z.B. die häufig zitierten „Win-Win-Situationen“ des Supply Chain Managements und auch die multilateral-positiven Effekte, die sich aus strategischen Analysen von Nicht-Null-Summen-Spielen ableiten lassen. Stattdessen wird in der Prinzipal-Agent-Theorie zumindest implizit davon ausgegangen, dass ein grundsätzlicher Interessenskonflikt zwischen dem Prinzipal und seinen Agenten besteht.[2)] Jede von diesen beiden Seiten kann ihren Nutzen nur zu Lasten der jeweils anderen Seite steigern. Es wird also die Situation eines strategischen Null-Summen-Spiels präsupponiert.

Vor diesem Hintergrund dient der Prinzipal-Agent-Theorie die Ausgestaltung von Arbeitsverträgen als das zentrale Koordinierungsinstrument, um zwischen den konfligierenden Interessen des Prinzipals einerseits und seiner Agenten andererseits zu vermitteln.[3)] Koordinierungsziel ist es, die Erfüllung einer Arbeitsaufgabe durch die Agenten auf der einen Seite mit der Überwachung und Entgeltung ihrer Arbeitstätigkeiten durch den Prinzipal auf der anderen Seite so abzustimmen, dass der Prinzipal seinen individuellen Nutzen maximiert. Insofern stellt die Prinzipal-Agent-Theorie prima facie eine betriebswirtschaftliche Theorie dar, die „einseitig“ aus der Perspektive des Prinzipals ar-

Die Repräsentativitätsannahme kann jedoch eine unzulässige Vereinfachung darstellen. Dies gilt insbesondere dann, wenn Interaktionen zwischen den Agenten – wie z.B. gegenseitige Hilfe oder auch Sabotage der Arbeit der jeweils anderen Agenten – möglich sind und wenn sich die Arbeitsergebnisse der Agenten positiv oder negativ beeinflussen können. Von solchen Phänomenen wird mit der o.a. Repräsentativitätsannahme abstrahiert.

1) Vgl. zu solchen Beiträgen, die sich mit der Beteiligung mehrerer Prinzipale befassen, beispielsweise ARROW (1985), S. 42 f.; BOND/GRESIK (1997), S. 229 ff.; DIXIT/GROSSMAN/HELPMAN (1997), S. 755 ff.; MEZZETTI (1997), S. 323 ff., insbesondere S. 327 ff.; BERGEMANN/VÄLIMÄKI (2003), S. 26 ff.; vgl. zu weiterführenden Hinweisen auch ALPARSLAN (2006), S. 45; PETERS (2008), S. 312, Fußnote 1182.

2) Vgl. zur Betonung von Interessenskonflikten oder Zielkonflikten als konstitutivem Merkmal der Prinzipal-Agent-Theorie GRAßHOFF/SCHWALBACH (1999), S. 437; JOST (2001a), S. 15 ff., insbesondere S. 17, sowie S. 21 u. 23; WRIGHT/MUKHERJI/KROLL (2001), S. 413 u. 417 ff. (zum Teil distanziert); GÖX/BUDDE/SCHÖNDUBE (2002), S. 66; ALPARSLAN (2006), S. 2 u. 17 f.

3) Vgl. zur Hervorhebung der Vertragsgestaltung als zentrales Erkenntnisinteresse der Prinzipal-Agent-Theorie ARROW (1985), S. 38 u. 48; SPREMANN (1987b), S. 342; ALLES/AMERSHI/DATAR/SARKAR (2000), S. 1530; JOST (2001a), S. 12 u. 13 ff.; WRIGHT/MUKHERJI/KROLL (2001), S. 414 u. 415 f.; GÖX/BUDDE/SCHÖNDUBE (2002), S. 66; PLAMBECK/ZENIOS (2003), S. 372; ALPARSLAN (2006), S. 2 u. 12 ff.

gumentiert[1)] und somit die Interessen „des Managements" oder „des Kapitals" in den Vordergrund rückt.[2)]

Bei näherem Hinsehen zeigt sich jedoch, dass dieser oberflächliche erste Eindruck täuscht. Denn der Prinzipal maximiert seinen individuellen Nutzen nur unter mehrfachen Randbedingungen. Diese Randbedingungen sind keineswegs von lediglich „peripherer" Qualität, sondern können – je nach Sichtweise – entweder erheblich einschränkenden oder sogar dominierenden Einfluss ausüben.

Die ersten beiden Randbedingungen weisen einen kontingenten Charakter auf. Sie erstrecken sich – wie bereits oben erwähnt – auf die Informationsunsicherheit und die Informationsasymmetrie. Dadurch konstituieren sie eine „doppelte Kontingenz" der Prinzipal-Agent-Theorie. Aus der Perspektive der Informationsunsicherheit besitzt der Prinzipal kein vollständiges Wissen über die jeweils handlungsrelevante Situation, sodass er die Aktivitäten der Agenten nur anhand von Wahrscheinlichkeitsurteilen und daraus abgeleiteten Wahrscheinlichkeitsfunktionen (Dichtefunktionen) zu beurteilen vermag. Wie diese Wahrscheinlichkeitsfunktionen ausfallen, ist nicht „zwingend" vorgegeben, sondern hängt von zahlreichen kontingenten Einflussgrößen ab, die in der hier gebotenen Kürze nicht näher diskutiert werden können. Aus dem Blickwinkel der Informationsasymmetrie erweist es sich als kontingent, in welchen Hinsichten und in welchen Ausmaßen die Agenten einen Informationsvorsprung vor ihrem Prinzipal besitzen.

Die dritte Randbedingung der sogenannten Anreizkompatibilität besitzt essenziellen Charakter. Ihr zufolge verhält sich der Prinzipal stets so, dass er das individuell nutzenmaximierende Verhalten der Agenten antizipiert. Der Prinzipal ordnet sich dem Nutzenmaximierungskalkül der Agenten insofern unter, als dass er die Entgeltung seiner Agenten niemals so niedrig ausfallen lässt, dass die Agenten bei einem alternativen Einsatz ihrer Arbeitskraft einen höheren Nutzen – ihren sogenannten Reservationsnutzen[3)] – erzielen könnten, als es ihnen bei ihrer Tätigkeit zugunsten des Prinzipals möglich ist. Im Hinblick auf diesen Reservationsnutzen „determinieren" die Agenten sogar das Verhalten des Prinzipals, sodass nicht mehr die Rede davon sein kann, dass die Prinzipal-Agent-Theorie „einseitig" die Interessen „des Managements" oder „des Kapitals" bevorzuge. Da aus entscheidungstheoretischer Sicht Restriktionen stärker als Extremierungsziele wirken, kann sogar davon gesprochen werden, dass der Prinzipal in der Prinzipal-Agent-Theorie seinen Nutzen nur im Rahmen der Reservationsnutzenvorgaben seiner Agenten zu maximieren vermag und daher die Agenten das zweiseitige Nutzenkalkül letztlich „beherrschen".

Die essenzielle Bedeutung der Anreizkompatibilität für die Prinzipal-Agent-Theorie manifestiert sich auch darin, dass sie die Koordinierungsfunktion von Arbeitsverträgen zwischen einem Prinzipal und seinen Agenten um eine *Motivierungsfunktion* erweitert. Denn der Prinzipal muss sein Angebot von Arbeitsverträgen an die Agenten in seinem wohlverstandenen Eigeninteresse so ausgestalten, dass es die Agenten trotz ihres Informationsvorsprungs und trotz ihrer „egoistischen" oder „opportunistischen" Tendenz zum Verheimlichen sowie Betrügen als individuell vorteilhaft – d.h. nutzenmaximierend – empfinden, für den Prinzipal zu arbeiten. Erst durch die Wahrung dieser An-

1) Vgl. WRIGHT/MUKHERJI/KROLL (2001), S. 414.

2) Die Gleichsetzung von Management und Kapitaleignern trifft allerdings nur zu, sofern die Manager im Interesse der Kapitaleigner agieren und nicht selbst als Agenten mit abweichenden Eigeninteressen konzeptualisiert werden. Auf die letztgenannte Variante, in der Manager als Agenten auftreten und die im Rahmen der Prinzipal-Agent-Theorie umfassend analysiert worden ist, wird in diesem Beitrag nicht weiter eingegangen, weil aus produktionswirtschaftlicher Perspektive die Vertragsbeziehungen zwischen angestellten Managern und Kapitaleignern nicht im Vordergrund des Interesses stehen.

3) Vgl. SPREMANN (1987b), S. 342 f.

reizkompatibilität werden Agenten, die nur ihren Eigennutz verfolgen, hinreichend motiviert, „en passant“ auch im Interesse des Prinzipals zu handeln.

Aufgrund dieser Motivierungsfunktion bietet sich insbesondere die Prinzipal-Agent-Theorie als eine der wenigen formalsprachlich „ausgereiften“ betriebswirtschaftlichen Theorien an, um auch die motivationalen Aspekte zu analysieren, die mit Konzepten verknüpft sind, die in erster Linie auf die Koordinierung von Prozessen zur arbeitsteiligen Aufgabenerfüllung zugeschnitten sind. Dazu gehören u.a. Konzepte der Produktionsplanung und -steuerung (PPS), bei denen der Koordinierungsaspekt im Vordergrund des betriebswirtschaftlichen Analyse- und Gestaltungsinteresses liegt. Als exemplarische Verdeutlichung für PPS-Konzepte wird in diesem Beitrag das Konzept der Just-in-Time-Produktionssteuerung betrachtet.

Vor dem voranstehend skizzierten Hintergrund lässt sich der *konzeptionelle Kern* der Prinzipal-Agent-Theorie wie folgt zusammenfassen: Sie befasst sich mit der Gestaltung von Arbeitsverträgen („Kontrakten“) zwischen einem Prinzipal und seinen Agenten, die in der Regel auf einen „repräsentativen“ Agenten reduziert werden. Die Arbeitsverträge erfüllen sowohl eine Koordinierungs- als auch eine Motivierungsfunktion. In koordinativer Hinsicht dienen sie dazu, die konfligierenden Interessen von Prinzipal und „repräsentativem“ Agent so aufeinander abzustimmen, dass der Prinzipal seinen individuellen Nutzen aus den Arbeitstätigkeiten seiner Agenten maximiert. Aus motivationaler Perspektive sind die Arbeitsverträge so zu gestalten, dass die Agenten nach Maßgabe ihrer individuellen Nutzenmaximierungskalküle keinen Anlass sehen zu defektieren, d.h. nicht mehr mit dem Prinzipal zu kooperieren, sondern ihre Arbeitskraft in alternativen Verwendungen mit höherem individuellen Nutzen zu „vermarkten“.

Der konzeptionelle Kern der Prinzipal-Agent-Theorie lässt sich in zwei Dimensionen mit jeweils zwei alternativen Ausprägungen ausdifferenzieren.

Einerseits lässt sich unterscheiden, ob mithilfe der Prinzipal-Agent-Theorie entweder *erklärt* wird, *warum* Arbeitsverträge so zustande kommen, wie sie sich empirisch beobachten lassen (positive, deskriptive oder explanative Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie), oder ob mithilfe der Prinzipal-Agent-Theorie Empfehlungen dafür ausgesprochen werden, *wie* Arbeitsverträge aus der Prinzipalperspektive *ausgestaltet* werden sollten (normative Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie).[1)] Diese Unterscheidung ist historisch gewachsen, aber nicht trennscharf.[2)] Denn es spricht nichts dagegen, eine positive Variante der Prinzipal-Agent-Theorie, die das Zustandekommen von Arbeitsverträgen aufgrund von gesetzesartigen Verhaltensannahmen (nomischen Hypothesen) erklärt, ebenso einzusetzen, um mithilfe solcher Verhaltensannahmen Empfehlungen für die „zielführende“ Gestaltung von Arbeitsverträgen abzuleiten.

Andererseits kann in einer ersten, nur groben Annäherung differenziert werden, ob seitens der Prinzipal-Agent-Theorie Probleme der Interaktion zwischen Prinzipal und Agent und deren Verursa-

1) Vgl. zu dieser Unterscheidung JENSEN (1983), S. 319 ff.; ARROW (1985), S. 38; WILLLIAMSON (1985), S. 27 f.; WENGER/TERBERGER (1988), S. 506 f.; EISENHARDT (1989), S. 59 ff.; NEUS (1989a), S. 474 f.; NEUS (1989b), S. 11 ff.; FISCHER (1993), S. 65 ff.; MENSCH (1999a), S. 687; KALUZA/DULLNIG/MALLE (2003), S. 19; ALPARSLAN (2006), S. 38 ff.; EBERS/GOTSCH (2006), S. 259; PETERS (2008), S. 310 ff.

2) Vgl. zur Problematisierung dieser nur scheinbar „dichotomen“ Unterscheidung ALPARSLAN (2006), S. 40 ff.; PETERS (2008), S. 311 f.

chung durch Informationsasymmetrien[1)] entweder *vor* oder aber *nach* dem Abschluss von Arbeitsverträgen („Kontrakten") analysiert werden.[2)] Bei den präkontraktuellen Problemen, die im Rahmen der Prinzipal-Agent-Theorie analysiert werden, besteht bereits zum Zeitpunkt des Vertragsabschlusses eine asymmetrische Informationsverteilung. Sie wird durch Eigenschaften des Agenten, die vom Prinzipal nicht beobachtet werden können („hidden characteristics" einschließlich „hidden intentions")[3)], verursacht. Dazu gehören vor allem die Probleme des „cheating"[4)] und der „adverse selection"[5)]. Die postkontraktuellen Probleme der Prinzipal-Agent-Theorie zeichnen sich hingegen dadurch aus, dass zum Zeitpunkt des Vertragsabschlusses noch eine symmetrische Informationsverteilung zwischen Prinzipal und Agent vorliegt. Die Informationsasymmetrie stellt sich erst nach Vertragsabschluss ein und bezieht sich entweder auf Handlungen des Agenten („hidden action" oder „hidden effort")[6)] oder auf zusätzliche Informationen („hidden information")[7)], die der Prinzipal nicht beobachten bzw. nicht erlangen kann. Zu den bekanntesten dieser postkontraktuellen Probleme gehört das Phänomen des „moral hazard"[8)]. Es beruht auf Handlungen des Agenten, die dem Prinzipal nach Vertragsabschluss verborgen bleiben und im Zweifelsfall die Interessen des Prinzipals schädigen. Ein weiteres postkontraktuelles Problem stellt das Phänomen des „hold up"[9)] dar. Es entsteht immer dann, wenn ein Vertragspartner eine spezifische Investition[10)] in die Vertragsbeziehung getätigt hat, die er außerhalb der Vertragsbeziehung nicht oder nur zum geringen Teil weiternutzen kann, und der jeweils andere Vertragspartner diese Situation ausnutzt, um die vereinbarte

---

1) Die Unterscheidung zwischen *Problemen* der Interaktion zwischen Prinzipal und Agent einerseits und deren *Verursachung* durch Informationsasymmetrien andererseits findet sich besonders deutlich bei ALPARSLAN (2006), S. 21 ff. (Typen von Informationsasymmetrien im Sinne von Ursachen) versus S. 24 ff. (Interaktionsprobleme); PETERS (2008), S. 317 ff. (Informationsasymmetrien als Ursachen) versus S. 319 f. (typische Interaktionsprobleme, ohne jedoch explizit von Problemen zu sprechen). Dabei werden als Interaktionsprobleme vor allem „adverse selection", „moral hazard" (mit den Spezialfällen des „consumption on the job" und „shirking") sowie „hold up" thematisiert. Dagegen gelten als Hauptursachen dieser Probleme „hidden characteristics" (einschließlich „hidden intention"), „hidden action" (oder „hidden effort") sowie „hidden information".

2) Vgl. zur Unterscheidung zwischen prä- und postkontraktuellen Problemen der Prinzipal-Agent-Theorie VOGT (1997), S. 26 ff.; RICHTER/FURBOTN (1999), S. 144 ff.; KALUZA/DULLNIG/MALLE (2003), S. 44; ALPARSLAN (2006), S. 21 ff.; PETERS (2008), S. 319 f. Vgl. auch ähnlich zu Ex-ante- und Ex-post-Opportunismus WILLIAMSON (1984), S. 198.

3) Vgl. AKERLOF (1970), S. 489 ff.; SPREMANN (1987a), S. 11; PICOT (1991), S. 151 f.; WIGAND/PICOT/REICHWALD (1997), S. 44; ROEDER (2000), S. 121; JOST (2001a), S. 27 ff.; DEMOUGIN/JOST (2001), S. 68 ff., insbesondere S. 71 ff.; KALUZA/DULLNIG/MALLE (2003), S. 21 ff., 29 f. u. 40; ALPARSLAN (2006), S. 4 u. 21 f.; PETERS (2008), S. 317 ff. u. 343 f.

4) Vgl. VOGT (1997), S. 26 ff.; KALUZA/DULLNIG/MALLE (2003), S. 31; PETERS (2008), S. 319.

5) Vgl. AKERLOF (1970), S. 493; ARROW (1985), S. 40; PICOT (1991), S. 152; VOGT (1997), S. 28; JOST (2001a), S. 28; KALUZA/DULLNIG/MALLE (2003), S. 21, 29 f. u. 40; ALPARSLAN (2006), S. 26; PETERS (2008), S. 319.

6) Vgl. ARROW (1985), S. 38 f. u. 43 ff.; SPREMANN (1987a), S. 10 f.; PICOT (1991), S. 151 f.; WIGAND/PICOT/REICHWALD (1997), S. 44; JOST (2001a), S. 25 ff.; DEMOUGIN/JOST (2001), S. 46 ff.; KALUZA/DULLNIG/MALLE (2003), S. 21 ff. u. 30; ALPARSLAN (2006), S. 4 u. 21 ff.; PETERS (2008), S. 317 u. 343.

7) Vgl. ARROW (1985), S. 39 ff.; PICOT (1991), S. 151 f.; JOST (2001a), S. 30 f.; DEMOUGIN/JOST (2001), S. 77 ff.; ALPARSLAN (2006), S. 4, 21 u. 23 f.; PETERS (2008), S. 317 f. u. 344.

8) Vgl. ARROW (1985), S. 39; ELSCHEN (1991a), S. 210; JOST (2001a), S. 26 u. 31; KALUZA/DULLNIG/MALLE (2003), S. 21 f. u. 30; ALPARSLAN (2006), S. 27 f.; PETERS (2008), S. 319 f.

9) Vgl. WIGAND/PICOT/REICHWALD (1997), S. 44; RIPPERGER (1998), S. 67; ROEDER (2000), S. 121; KALUZA/DULLNIG/MALLE (2003), S. 22 f. u. 30 f.; PETERS (2008), S. 320.

10) Vgl. WILLIAMSON (1984), S. 202 f.; WILLIAMSON (1985), S. 52 ff.; PICOT/DIETL (1990), S. 179 ff.; PICOT (1991), S. 148 f.; PETERS (2008), S. 201 ff.

Leistung gegenüber dem Vertragspartner mit der spezifischen Investition nicht oder nur teilweise zu erbringen.

Im vorliegenden Beitrag wird nur auf das zuletzt genannte Phänomen des „moral hazard“ näher eingegangen. Es erfolgt also eine Fokussierung auf postkontraktuelle Probleme der Prinzipal-Agent-Theorie vom Hidden-Action-Typ[1)]. Darüber hinaus wird vorwiegend in normativer Hinsicht argumentiert, wie Arbeitsverträge aus der Prinzipalperspektive ausgestaltet werden sollten, um den Nutzen eines Prinzipals unter den Randbedingungen von Informationsunsicherheit, Informationsasymmetrie und nutzenmaximierenden Eigeninteressen der Agenten zu maximieren. Allerdings wird „en passant“ auch auf die explanative Variante der Prinzipal-Agent-Theorie eingegangen, weil die spezielle, hier näher analysierte Theorievariante mit einem expliziten Erklärungsanspruch auftritt.

1.2 Fokussierung auf die Theorievariante von ALLES, DATAR und LAMBERT

Die Prinzipal-Agent-Theorie wurde schon auf vielfältige betriebswirtschaftliche Probleme angewendet, in denen es gilt, sowohl Koordinierungs- als auch Motivierungsaspekte unter neoklassischen Rationalitätsaspekten zu analysieren. Im hier vorgelegten Beitrag interessieren jedoch nur produktionswirtschaftliche Anwendungen der Prinzipal-Agent-Theorie. Sie besitzen Seltenheitswert.[2)]

---

1) Eine sehr allgemein („generisch“) angelegte Rekonstruktion der Prinzipal-Agent-Theorie vom Hidden-Action-Typ findet sich bei ALPARSLAN (2006), S. 49 ff.

2) Vgl. DATAR/RAJAN (1995), S. 34 (“... prior managerial accounting / agency analyses have not explicitly modeled manufacturing detail and hence provide fewer insights into the organization of manufacturing operations.”); FANDEL/LORTH (2001), S. 277 u. 323 („ … wurden bisher nur einige wenige originäre Fragestellungen aus dem Bereich der unternehmensinternen Leistungserstellung in das Zentrum Prinzipal-Agenten-theoretischer Überlegungen gerückt … “).
Vgl. zu den wenigen dezidiert produktionswirtschaftlichen Anwendungen der Prinzipal-Agent-Theorie vor allem PORTEUS/WHANG (1991), S. 1166 ff.; ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 179 ff.; CRÉMER (1995), S. 434 ff.; DATAR/RAJAN (1995), S. 33 ff.; ALLES/AMERSHI/DATAR/SARKAR (2000), S. 1530 ff.; FANDEL/LORTH (2001), S. 273 ff.; INDERFURTH/MINNER (2001), S. 344 f. (nur ein grober Überblick über Arbeiten Dritter); ALLES/DATAR (2002), S. 175 ff.; PLAMBECK/ZENIOS (2003), S. 371 ff., insbesondere S. 374 ff.; ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004a), S. 21 ff.; ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004b), S. 1 ff.; LU/VAN MIEGHEM/SAVASKAN (2006), S. 2 ff., insbesondere S. 7 ff.; BAIMAN/NETESSINE/SAOUMA (2007), S. 3 ff., insbesondere S. 6 ff. Vgl. darüber hinaus auch den ausführlichen Überblick über inhaltlich sehr weit gefasste, insbesondere auch den Bereich der Logistik umfassende, produktionswirtschaftliche Anwendungen der Prinzipal-Agent-Theorie bei FANDEL/LORTH (2001), S. 274 ff. (grundlegende Übereinstimmungen zwischen Problemkonzeptualisierungen der Produktionstheorie und der Prinzipal-Agent-Theorie) und S. 279 ff. (eine umfassende und zum Teil sehr detaillierte Darstellung von Modellen der Prinzipal-Agent-Theorie mit Produktions- und Logistikbezug).
Es fällt auf, dass sich die Mehrzahl der vorgenannten Publikationen auf Anwendungen der Prinzipal-Agent-Theorie im Kontext der Just-in-Time-Produktionssteuerung bezieht: ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), CRÉMER (1995), ALLES/AMERSHI/DATAR/SARKAR (2000), FANDEL/LORTH (2001), S. 279 u. 280 ff.; ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004a); ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004b) und BAIMAN/NETESSINE/SAOUMA (2007). Dies deutet darauf hin, dass sich die Just-in-Time-Produktionssteuerung im Gegensatz zu anderen Produktionsplanungs- und -steuerungskonzepten als Erkenntnisobjekt der Prinzipal-Agent-Theorie besonders empfiehlt. Hierfür spricht, dass einerseits innerhalb der Prinzipal-Agent-Theorie die Motivierung von Akteuren (Agenten) eine zentrale Rolle spielt und andererseits – hiermit übereinstimmend – seitens der Just-in-Time-Produktionssteuerung bei der Koordinierung von Produktionsprozessen Motivierungsaspekten große Aufmerksamkeit zuteil wird. Auf die Bedeutung von Motivierungsaspekten für die Just-in-Time-Produktionssteuerung wird in Kürze zurückgekommen.
Am Rande sei angemerkt, dass es sehr schwer fällt ab- und einzugrenzen, ob ein Beitrag zur Prinzipal-Agent-Theorie als eine „dezidiert produktionswirtschaftliche“ Anwendung der Prinzipal-Agent-Theorie klassifiziert wird.

➥

Dieser Befund lässt sich u.a. dadurch erklären, dass im Produktionsbereich „technische“ Entscheidungen über Material- und Informationsflüsse bis hin zu weitgehender Automatisierung von Produktions- und Informationsverarbeitungsprozessen – im Vergleich mit anderen Unternehmensbereichen – eine relativ große Rolle spielen.[1)] Unter diesen Voraussetzungen können sich Informationsasymmetrien zwischen einem Prinzipal und einem Agenten sowie opportunistische Verhaltensweisen eines Agenten, auf denen die Prinzipal-Agent-Theorie maßgeblich aufbaut, nicht gravierend auswirken. Folglich liegt es nahe, dass die Prinzipal-Agent-Theorie im Produktionsbereich bislang keine größere Beachtung gefunden hat. Dennoch erweist sich diese geringe Beachtung der Prinzipal-Agent-Theorie keineswegs als zwangsläufig. Denn die o.a. Voraussetzungen mögen zwar häufig erfüllt sein, treffen aber bei weitem nicht auf alle real existierende Produktionssysteme zu. Dies gilt vor allem für Produktionssysteme, die bewusst auf eine weitreichende Automatisierung von Produktions- und Informationsverarbeitungsprozessen verzichten und stattdessen die „produktive“ Nutzung von „Humankapital“ in den Vordergrund rücken.[2)] Dazu gehören vor allem Produktionssysteme, die nach Prinzipien des Lean-Production-Konzepts oder nach Just-in-Time-Prinzipien organisiert sind. Daher wird es nicht überraschen, dass diejenige Variante der Prinzipal-Agent-Theorie, die in diesem Beitrag ausführlicher rekonstruiert wird, auf Produktionssysteme zugeschnitten ist, deren Produktionsprozesse mithilfe der Just-in-Time-Produktionssteuerung koordiniert werden.

Strenggenommen müssten präzise Kriterien definiert werden, die erfüllt sein müssen, um von einer „dezidiert produktionswirtschaftlichen“ Anwendung der Prinzipal-Agent-Theorie zu sprechen. Auf die Definition solcher Kriterien wird hier jedoch verzichtet, weil eine präzise, trennscharfe Klassifizierung von Anwendungen der Prinzipal-Agent-Theorie nicht im Erkenntnisfokus des hier vorgelegten Beitrags liegt. Stattdessen wird von einem intuitiven Vorverständnis „dezidiert produktionswirtschaftlicher“ Anwendungen der Prinzipal-Agent-Theorie ausgegangen, das von hoffentlich zahlreichen Rezipienten geteilt wird. Es erstreckt sich beispielsweise darauf, dass nicht nur Worte wie „Produktion“, „produktiv“ und „Produktionsergebnis“ verwendet werden, sondern auch konkrete produktionswirtschaftliche Details in die Formulierung einer Theorievariante explizit eingehen. Dazu gehören z.B. Produktionsfunktionen, Produktionsstellen innerhalb eines Produktionssystems und auch Lager(stellen). Zur Verdeutlichung dieses intuitiven Vorverständnisses wird auf den Beitrag MELUMAD/MOOKHERJEE/REICHELSTEIN (1995), S. 656 ff., verwiesen. Dort werden zwar „produktionsaffine“ Formulierungen wie „productive action“ (S. 656) und „production assignments“ (S. 658) verwendet, jedoch wird auf kein einziges produktionstechnisches Detail der zuvor angesprochenen Art eingegangen. Im Beitrag SIVIRAMAKRISHNAN (1994) wird auf S. 1231 zwar ausdrücklich von „production functions“ gesprochen. Aber diese Konstrukte werden derart abstrakt definiert, dass sie für die Erkenntniszwecke der Prinzipal-Agent-Theorie noch ausreichen, jedoch keinerlei inhaltlichen Bezug zu Produktionsfunktionen der Art erkennen lassen, wie sie im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie thematisiert werden. Daher werden die beiden zuvor erwähnten Beiträge vom Verfasser nicht zu den dezidiert produktionswirtschaftlichen Anwendungen der Prinzipal-Agent-Theorie gerechnet.

Nicht zum Bereich der dezidiert produktionswirtschaftlichen Anwendungen der Prinzipal-Agent-Theorie werden in diesem Beitrag dagegen Modelle gerechnet, die zur Analyse des Supply Chain Managements entwickelt wurden. Denn bei diesen Modellen stehen nicht primär produktionswirtschaftliche Entscheidungen von Prinzipalen und Agenten im Vordergrund, sondern die Verknüpfungen von produktionswirtschaftlichen mit absatz- und vor allem beschaffungswirtschaftlichen Entscheidungen aus jeweils unterschiedlichen Unternehmen eines Supply Webs (einer „Supply Chain“) sowie die Ausgestaltung von Informationsflüssen zwischen den involvierten Unternehmen. Vgl. FANDEL/LORTH (2001), S. 300 ff., zu einem instruktiven Überblick über solche Anwendungen der Prinzipal-Agent-Theorie im Bereich des Supply Chain Managements sowie als exemplarische Beiträge zu dieser Forschungsrichtung CORBETT/DE GROOTE (2000), S. 444 ff.; KALUZA/DULLNIG/MALLE (2003), S. 27 ff. (allerdings nur in qualitativ-verbaler Hinsicht ohne Anwendung der quantitativ-symbolischen Modelle der Prinzipal-Agent-Theorie).

1) Vgl. zu diesem Erklärungsansatz FANDEL/LORTH (2001), S. 323 f.

2) Weitere, aber inhaltlich anders ausgerichtete Argumente, die sich ebenso zugunsten einer verstärkten Anwendung der Prinzipal-Agent-Theorie auf den Produktionsbereich anführen lassen, finden sich bei FANDEL/LORTH (2001), S. 324 f.

Zu den wenigen Ausnahmen, bei denen die Prinzipal-Agent-Theorie im Produktionsbereich Anwendung findet, zählt vor allem der Beitrag von ALLES, DATAR und LAMBERT über „Moral Hazard and Management Control in Just-in-Time Settings“ aus dem Jahr 1995. Für die Variante der Prinzipal-Agent-Theorie, die in diesem Beitrag vorgestellt wurde, wird im Folgenden – in Anlehnung an die Anfangsbuchstaben der drei Autorennamen – die Bezeichnung „ADL-Modell“ verwendet.[1)] In Übereinstimmung mit den meisten Beiträgen zur Prinzipal-Agent-Theorie wird auch hier von einem „Modell“ gesprochen[2)], obwohl es sich streng genommen nicht „nur“ um ein Modell für die Repräsentation eines wohlbestimmten Realproblems handelt, sondern um eine Theorie (als spezielle Variante der Prinzipal-Agent-Theorie), die sich auf alle Realitätsausschnitte aus ihrem intendierten Anwendungsbereich erstreckt.[3)]

Das ADL-Modell hat in der betriebswirtschaftlichen, insbesondere produktionswirtschaftlichen Fachliteratur bislang noch nicht die Beachtung gefunden,[4)] die ihm nach Einschätzung des Verfassers gebührt. Daher besteht ein (Neben-) Anliegen des hier vorgelegten Beitrags auch darin, die von ALLES, DATAR und LAMBERT ausgearbeitete Variante der Prinzipal-Agent-Theorie für ein breiteres, insbesondere produktionstheoretisch interessiertes Auditorium zu erschließen[5)] und zur Diskussion zu stellen. Für die Fokussierung auf das ADL-Modell sprechen mehrere Gründe.

Erstens handelt es sich nach Einschätzung des Verfassers beim ADL-Modell um eine der inhaltlich anspruchsvollsten[6)] und interessantesten[7)] Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie, die sich dezidiert

---

1) Vgl. HEMMER (1995), S. 205 („ADL’s model“).

2) Vgl. dazu auch ALPARSLAN (2006), S. 42. Er verwendet den Modellbegriff in der Prinzipal-Agent-Theorie ebenso in Bezug auf spezielle Theorievarianten.

3) Modelle werden zuweilen auch als „Miniaturtheorien“ bezeichnet; vgl. z.B. RAPPAPORT (1998), S. 112 ff.; RAPPAPORT (2001); ALPARSLAN (2006), S. 4. Aus wissenschaftstheoretischer Perspektive fällt es sehr schwer, zwischen Modellen einerseits und Theorien andererseits trennscharf zu unterscheiden. Auch aus dieser Perspektive erscheint es dem Verfasser statthaft, die Variante der Prinzipal-Agent-Theorie, die von ALLES, DATAR und LAMBERT präsentiert wurde, als ADL-Modell zu bezeichnen.

4) Vgl. zu den seltenen – und oftmals auch nur sehr knappen – Erwähnungen, die das ADL-Modell in der Fachliteratur bis heute erfahren hat, HEMMER (1995), S. 205 ff.; ATKINSON/BALAKRISHNAN/BOOTH et al. (1997), S. 97; SIM/KILLOUGH (1998), S. 327 u. 330; YOUNG (1999), S. 81; FANDEL/LORTH (2001), S. 279 u. 280 ff. (mit einer – im Vergleich zu den meisten anderen hier angeführten Quellen – relativ ausführlichen Darstellung des ADL-Modells); ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004a), S. 21 ff.; ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004b), S. 1 ff.; EKANAYAKE (2004), S. 52; BAIMAN/NETESSINE/SAOUMA (2007), S. 5 f.

5) Aufgrund dieser Erschließungsabsicht wird das ADL-Modell „von Grund auf“ entfaltet, damit es auch für Rezipienten verständlich wird, die über keine oder nur rudimentäre Vorkenntnisse im Bereich der Prinzipal-Agent-Theorie verfügen. Andere Rezipienten, die mit den Grundlagen und vor allem mit dem formalsprachlichen Apparat der Prinzipal-Agent-Theorie bereits vertraut sind, mögen die grundlegenden Ausführungen zur Prinzipal-Agent-Theorie verzeihen oder schlicht ignorieren; sie werden ihnen nichts Neues bieten.

6) Der inhaltliche Anspruch des ADL-Modells resultiert insbesondere daraus, dass ALLES, DATAR und LAMBERT selbst hohe Ansprüche an ihre Modellierung mithilfe der Prinzipal-Agent-Theorie stellen. Darauf wird in Kürze in Kapitel 1.3 hinsichtlich eines Implementierungs- und eines Erklärungspostulats zurückgekommen.

7) Die Interessantheit des ADL-Modells beruht nicht – um Missverständnissen vorzubeugen – auf einer besonders komplizierten („sophisticated“) formalsprachlichen Modellstruktur. Denn das ADL-Modell gehört zur relativ einfach strukturierten Klasse der LEN-Modelle, auf die noch ausführlicher zurückgekommen wird. So stellen auch FANDEL/LORTH (2001) im Hinblick auf das ADL-Modell fest: „Ausgangspunkt der Betrachtung ist ein einfaches lineares Prinzipal-Agenten-Modell“ (S. 281). Ebenso zurückhaltend urteilt HEMMER (1995), S. 207: „In summary, the model and the results … are quite standard and … contain no surprising or counterintuitive new insights.“ Seine zurückhaltendere Beurteilung mag darauf zurückzuführen zu sein, dass HEMMER (mutmaßlich) nur aus der Perspektive der „formalen“ Komplexität von Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie argumentiert, jedoch nicht an der

➥

mit produktionswirtschaftlichen Koordinierungs- und Motivierungsproblemen auseinandersetzt. Daher kann der Kritik am ADL-Modell, die in diesem Beitrag erfolgt, nicht der Vorwurf entgegengehalten werden, es wäre anhand eines „schmalbrüstigen" Modell- oder Theorieexemplars ein „Popanz" aufgebaut worden, der sich umso leichter mit Kritik überziehen ließe. Ganz im Gegenteil stellt das ADL-Modell ein „Schwergewicht" dar,[1)] das im Bereich von PPS-Konzepten hinsichtlich seiner theoretischen Fundierung seinesgleichen sucht.

Zweitens erscheint der explizite Bezug auf das PPS-Konzept vom Just-in-Time-Typ als vielversprechend. Denn die Produktionsplanung und – vor allem – die Produktionssteuerung nach Just-in-Time-Prinzipien gehört zu den „moderneren" PPS-Konzepten[2)], die sich sowohl in der betrieblichen Praxis als auch in der produktionswirtschaftlichen Forschung einer großen Resonanz erfreuen.

Drittens erweist sich die Kombination des PPS-Konzepts vom Just-in-Time-Typ mit der Prinzipal-Agent-Theorie als besonders interessant hinsichtlich des Motivierungsaspekts. Denn PPS-Konzepte werden vornehmlich aus dem Blickwinkel der Koordinierung – oder synonym: Planung und Steuerung – von Produktionsprozessen entwickelt und auch analysiert. Zwar erfüllt das PPS-Konzept vom Just-in-Time-Typ diese Koordinierungsfunktion ebenfalls. Aber insbesondere die Just-in-Time-Produktionssteuerung verfolgt daneben auch mit Nachdruck das Ziel, die Realisierung von Produktionsprozessen durch eine verstärkte Motivierung der Arbeitskräfte im Produktionsbereich nachhaltig zu verbessern. Aus dieser Motivierungsperspektive spielen insbesondere der dezentrale Steuerungsansatz des PPS-Konzepts vom Just-in-Time-Typ und die damit einhergehende Einräumung weitreichender Dispositionsspielräume für die Arbeitskräfte während der Ausführung der geplanten Produktionsprozesse eine wichtige Rolle („job enrichment"). Daher stellt die Just-in-Time-Produktionssteuerung ein fruchtbares Anwendungsfeld für die Prinzipal-Agent-Theorie dar, in der es ebenso darum geht, Koordinierungs- mit Motivierungsaspekte miteinander zu verknüpfen.

„materiellen" Relevanz von Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie für produktionswirtschaftliche Problemstellungen interessiert zu sein scheint.

Das ADL-Modell erweist sich vielmehr aus der subjektiven Perspektive des Verfassers als besonders *interessant*, weil es auf bemerkenswerte Weise eine relativ einfache und infolgedessen *transparente* Modellstruktur mit einer Fülle von *produktionswirtschaftlichen* Folgerungen und Problemen kombiniert, die in der Fachliteratur zur Prinzipal-Agent-Theorie ihresgleichen sucht. Die dezidiert produktionswirtschaftlichen Folgerungen werden sowohl im Beitrag von ALLES, DATAR und LAMBERT ausführlich diskutiert als auch im hier vorgelegten Beitrag angesprochen. Die produktionswirtschaftlichen Probleme des ADL-Modells werden im hier vorgelegten Beitrag – neben den zugrunde liegenden Ausführungen in ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004a) und ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004b) – erstmals ausführlich entfaltet. Aus dieser Problemperspektive erweist es sich als besonders vorteilhaft, dass das ADL-Modell eine relativ einfache formalsprachliche Struktur aufweist. Denn die materiellen, d.h. hier produktionswirtschaftlichen Probleme des ADL-Modells können aufgrund seiner einfachen Modellstruktur mit „elementaren" Argumenten aufgezeigt werden, die sich (hoffentlich) auch von Rezipienten nachvollziehen lassen, die nicht zu Experten auf dem Gebiet hochgradig komplexer Modelle der Prinzipal-Agent-Theorie zählen.

1) Zwar könnte wegen der relativ einfachen Struktur des ADL-Modells bestritten werden, es stelle hinsichtlich der formalsprachlichen Modellstruktur ein „Schwergewicht" dar (vgl. dazu die voranstehende Fußnote). Aber der Verfasser argumentiert nicht, wie schon deutlich geworden sein sollte, aus dieser rein formalsprachlichen Perspektive. Ihm geht es vielmehr um die „materiellen" Folgerungen und Probleme, die sich aus der Analyse eines Modells gewinnen lassen bzw. mit der Anwendung eines Modells in produktionswirtschaftlicher Hinsicht verknüpft sind. Selbst dann, wenn diese materielle Betrachtungsweise nicht geteilt wird, sollte das ADL-Modell zumindest hinsichtlich seiner Eigenschaft, für eine Vielzahl anderer Modelle der Prinzipal-Agent-Theorie einen „paradigmatischen" Charakter aufzuweisen, als ein „Schwergewicht" Anerkennung finden. Dieser „paradigmatische" Charakter resultiert vor allem aus der Verwurzelung in der Klasse der sogenannten LEN-Modelle, die des Öfteren als „das Grundmodell" der Prinzipal-Agent-Theorie bezeichnet werden. Darauf wird noch zurückgekommen. Auf diesen „paradigmatischen" Charakter spielt auch HEMMER (1995), S. 207, an, wenn er das ADL-Modell zu den Standard-Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie rechnet („In summary, the model and the results … are quite standard").

2) Vgl. dazu den Überblick über PPS-Konzepte in ZELEWSKI/HOHMANN/HÜGENS (2008), S. 211 ff.

Viertens besitzt das ADL-Modell einen „paradigmatischen“ Charakter für konventionelle Theorieformulierungen der Prinzipal-Agent-Theorie. Denn das ADL-Modell besitzt einerseits die drei wesentlichen Eigenschaften, die alle Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie auszeichnen und schon kurz zuvor als „Randbedingungen“ der Prinzipal-Agent-Theorie skizziert wurden. Es handelt sich um die Informationsunsicherheit, die Informationsasymmetrie – hier vom Hidden-Action-Typ – und den Interessenskonflikt zwischen Prinzipal und Agent. Andererseits weist das ADL-Modell den Aufbau einer Theorie auf, wie er für das konventionelle Theorienkonzept typisch ist. Dieser zweifache „paradigmatische“ Charakter des ADL-Modells ist von großer Bedeutung für den hier vorgelegten Beitrag, weil er sich nicht nur speziell mit Eigenarten des ADL-Modells auseinandersetzen möchte. Vielmehr geht es dem Verfasser in der Hauptsache darum, anhand des ADL-Modells in *exemplarischer* Weise zu verdeutlichen, mit welchen grundsätzlichen Problemen der Theoriekonstruktion die Prinzipal-Agent-Theorie im Allgemeinen – und das „dahinter“ liegende konventionelle Theorienkonzept – ringen muss.

1.3 Problemstellung

Mit dem hier vorgelegten Beitrag wird ein zweifaches Ziel verfolgt. Einerseits soll verdeutlicht werden, dass das ADL-Modell in der Form, in der es bislang vorliegt, noch nicht die produktionswirtschaftlichen Erwartungen zu erfüllen vermag, die seine Autoren geweckt haben (Erwartungsproblem). Andererseits soll anhand des ADL-Modells ein grundsätzlicher Strukturierungsdefekt aufgezeigt werden, der nicht nur für die Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie, sondern darüber hinaus für alle konventionell formulierten Theorien typisch ist (Strukturierungsproblem). Beide Problemfacetten werden im Folgenden kurz erläutert.

Das *Erwartungsproblem* resultiert daraus, dass ALLES, DATAR und LAMBERT hohe Ansprüche an ihre Modellierung einer Just-in-Time-Produktionssteuerung mithilfe der Prinzipal-Agent-Theorie stellen. So führen sie aus: „*Our model yields* the following empirically testable *management control implications*: (1) JIT systems will lead to higher worker productivity and efficiency, and process redesign and improvement. (2) JIT systems result in better information about worker performance and hence improve coordination between management and workers. (3) Plants that successfully adopt JIT reward greater effort and process improvements by paying workers higher average compensation.”[1)] Und wenig später heißt es: „The *traditional arguments* for holding less WIP inventories *do not explain why (or when) JIT can lead to improvements* in worker productivity […]. By explicitly placing WIP inventory problem in a production process characterized by information and incentive problems, our paper examines how JIT can increase workers’ productivity. […] The link between JIT and the way workers are managed and motivated *provides the essential augmentation to the traditional* inventory *model as an explanation for the success of JIT*.“[2)] ALLES, DATAR und LAMBERT proklamieren also, in ihrem ADL-Modell *spezifisch* auf die Just-in-Time-Produktionssteuerung („JIT“) einzugehen (Spezifitätspostulat). Hierbei beanspruchen sie, im Wesentlichen zwei Einsichten vermitteln zu können. Erstens geben sie vor, *Implikationen* aufzuzeigen, die aus der Anwendung von Just-in-Time-Prinzipien im Hinblick auf die Steuerung von Produktionsprozessen re-

1) ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 197 (kursive Hervorhebungen hier anders als im Original). Vgl. zur Hervorhebung dieser hohen Ansprüche auch FANDEL/LORTH (2001), S. 284.

2) ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 197 f. (kursive Hervorhebungen hier anders als im Original; Auslassungen […] durch den Verfasser). Mit dem Akronym „WIP“ sind Lagerbestände („work in progress“) an angearbeiteten, aber noch nicht fertiggestellten Zwischenprodukten gemeint.

sultieren (Implikationspostulat). Zweitens behaupten sie, den – angeblichen oder empirisch belegbaren – betriebswirtschaftlichen Erfolg[1)] der Just-in-Time-Produktionssteuerung theoretisch fundiert *erklären* zu können (Erklärungspostulat).[2)] Eine Publikation, die solche Äußerungen enthält, muss sich an den hierdurch geweckten Erwartungen messen lassen.

Das *Strukturierungsproblem* des ADL-Modells beruht vordergründig darauf, dass dieses Modell in der Form, in der es publiziert wurde, überhaupt keine klare Struktur aufweist. Vielmehr handelt es sich um eine unstrukturierte Ansammlung von Formeln. Die Formeln werden zwar hinsichtlich ihrer Einordnung in die Prinzipal-Agent-Theorie und – teilweise – im Hinblick auf ihre Relevanz für die Just-in-Time-Produktionssteuerung kommentiert. Aber es fehlt an einer Einbettung der Formeln in eine klare Theoriestruktur, die vor allem die epistemische Qualität der einzelnen Formeln kennzeichnen würde (Näheres dazu in Kürze). Stattdessen lassen sich bei einer wohlwollenden Interpretation des Formelapparats des ADL-Modells allenfalls seine Axiome und seine Theoreme voneinander unterscheiden. Über diese „Minimalstruktur“ hinaus besitzt das ADL-Modell jedoch keine weitere *formale* Strukturierung. Es fehlt an den formalsprachlichen Ausdrucksmitteln, die es gestatten, zumindest den *nomischen Kern* des Modells (der „Miniaturtheorie“) eindeutig zu identifizieren. Dieser Strukturierungsdefekt betrifft auch weitere wichtige Theoriebestandteile, wie z.B. den Bereich der *intendierten Theorieanwendungen*, der im Kontext des konventionellen Theorienkonzepts oftmals vernachlässigt und kaum jemals formalsprachlich erfasst wird. Daher lässt das ADL-Modell vor allem im Dunkeln, welche seiner Formeln die epistemische Qualität einer gesetzesartigen Aussage aus dem nomischen Modellkern (Theoriekern) und welche die epistemische Qualität eines Beitrags zur Spezifizierung des intendierten Anwendungsbereichs aufweisen.

Der zuvor skizzierte Strukturierungsdefekt resultiert aus der Formulierung des ADL-Modells entsprechend dem konventionellen Theorienkonzept des sogenannten Received View oder Statement View[3)]. Er ist also weder dem ADL-Modell im Speziellen noch der Prinzipal-Agent-Theorie im Allgemeinen anzulasten. Vielmehr leiden *alle* ökonomischen Theorien, die aus der Perspektive des konventionellen Theorienkonzepts formuliert sind, unter diesem Strukturierungsdefekt. Insofern ist die hier durchgeführte Analyse der Struktur des ADL-Modells von *allgemeiner* wissenschaftlicher Relevanz. Sie führt zu Erkenntnissen darüber, wie Theorien mit einer „sauberen“, epistemisch aussagekräftigen Struktur formuliert sein sollten.

---

1) Streng genommen handelt es sich um den relativen betriebswirtschaftlichen Erfolg der Just-in-Time-Produktionssteuerung, der im Vergleich mit anderen Produktionsplanungs- und -steuerungskonzepten in der betrieblichen Realität beobachtet werden kann. Der Kürze halber wird dieser Erfolg im Folgenden auch als praktischer Erfolg der Just-in-Time-Produktionssteuerung angesprochen.

2) Die Argumentation von ALLES, DATAR und LAMBERT beruht auf der zentralen Präsupposition (impliziten Prämisse), dass sich die Just-in-Time-Produktionssteuerung im Vergleich mit anderen Produktionsplanungs- und -steuerungskonzepten als betriebswirtschaftlich besonders erfolgreich erweist. Diese Präsupposition wird im hier vorgelegten Beitrag weder naiv übernommen noch grundsätzlich in Zweifel gezogen. Vielmehr wird der relative betriebswirtschaftliche Erfolg der Just-in-Time-Produktionssteuerung in der betrieblichen Realität als implizite Argumentationsprämisse akzeptiert, um der Argumentation von ALLES, DATAR und LAMBERT nicht von vornherein das „empirische Fundament zu rauben“. Denn nur unter dieser impliziten Prämisse erscheint es als „sinnvoll“, den relativen betriebswirtschaftlichen Erfolg der Just-in-Time-Produktionssteuerung *erklären* zu wollen und den Beitrag von ALLES, DATAR und LAMBERT (u.a.) hinsichtlich dieses Erklärungsanspruchs zu *analysieren*. Später, in Kapitel 3.1, wird diese implizite Prämisse kritisch hinterfragt. Dabei wird sich zeigen, dass sich zumindest gute Gründe anführen lassen, diese Präsupposition als erfüllt zu betrachten.

3) Vgl. zum Received View oder Statement View BUNGE (1967a), S. 51 ff.; BUNGE (1967b), S. 406 ff.; HÄNDLER (1980), S. 14 ff.; KAMPS/MASUCH (1997), S. 1232; PÉLI/MASUCH (1997), S. 312 f.; ZELEWSKI (1999), S. 32; ALPARSLAN (2006), S. 4 f. u. 91 f.; HAASE (2008), S. 915, 921 u. 922.

2 Das ADL-Modell in seiner konventionellen Formulierung

2.1 Einführung

ALLES, DATAR und LAMBERT haben in ihrem Beitrag über „Moral Hazard and Management Control in Just-in-Time Settings“[1)] drei Modelle im Sinne von Miniaturtheorien präsentiert.

Das erste Modell stellt streng genommen keine Variante der Prinzipal-Agent-Theorie dar, weil es eine symmetrische Informationsverteilung zwischen Prinzipal und Agent vorsieht. Seine Optimallösung dient vielmehr als Benchmark oder sogenannte First-best-Lösung, mit der die Optimallösungen von echten Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie als sogenannte Second-best-Lösungen verglichen werden.[2)] Die Nutzeneinbußen, die der Prinzipal in den Second-best-Lösungen von echten Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie gegenüber der First-best-Lösung in einer entsprechenden Theorievariante mit symmetrischer Informationsverteilung erleidet, stellen – aus der Perspektive des Prinzipals – die Kosten der Informationsasymmetrie dar. Sie werden oftmals auch als Agenturkosten[3)] bezeichnet und stellen eine der zentralen Erkenntnisobjekte der Prinzipal-Agent-Theorie dar.

Erst das zweite und das dritte Modell aus dem Beitrag von ALLES, DATAR und LAMBERT stellen echte Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie mit einer asymmetrischen Informationsverteilung zwischen Prinzipal und Agent dar. Diese beiden Modelle unterscheiden sich lediglich dadurch, dass der Prinzipal im zweiten Modell nur ein Kriterium zur Leistungsbeurteilung des Agenten anwendet, während dem Prinzipal im dritten Modell zwei Beurteilungskriterien für die Agentenleistung zur Verfügung stehen. Im Folgenden wird ausschließlich das zweite Modell[4)] mit nur einem Kriterium zur Leistungsbeurteilung des Agenten betrachtet und kurz als ADL-Modell bezeichnet.

Das ADL-Modell befasst sich, wie eingangs schon angedeutet, mit postkontraktuellen Prinzipal-Agenten-Problemen vom Hidden-Action-Typ und fokussiert sich dabei auf das Phänomen des „moral hazard“. Es gehört zur Klasse der sogenannten Linear-Exponential-Normal-Modelle oder kurz LEN-Modelle[5)].

---

1) Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995).

2) Vgl. zur Unterscheidung zwischen First- und Second-best-Lösungen SPREMANN (1987a), S. 7 f.; GRAßHOFF/SCHWALBACH (1999), S. 439 ff.; KRAPP (2000), S. 37 ff. versus 40 ff.; FANDEL/LORTH (2001), S. 282 f.; LAMBERT (2001), S. 11 f. u. 15 ff.; ALLES/DATAR (2002), S. 177 ff. u. 185 ff.; MAYER/PFEIFFER (2004), S. 1052 ff.; ALPARSLAN (2006), S. 63, 81 u. 84 f.; LU/VAN MIEGHEM/SAVASKAN (2006), S. 9 f. u. 17 f. (allerdings ohne explizite Verwendung der Bezeichnung „second best“); PETERS (2008), S. 316 f. u. 332 ff.

3) Vgl. JENSEN/MECKLING (1976), S. 308; SPREMANN (1987a), S. 8 u. 22 ff.; SPREMANN (1987b), S. 346 ff.; NEUS (1989a), S. 473 ff., insbesondere S. 485 ff.; BARNEY/HESTERLEY (1996), S. 125; KRAPP (2000), S. 7, 43 u. 81 ff.; ROEDER (2000), S. 119; KALUZA/DULLNIG/MALLE (2003), S. 24 ff.; ALPARSLAN (2006), S. 63 u. 85; EBERS/GOTSCH (2006), S. 262; PETERS (2008), S. 316 f.

4) Auf die dritte Modellvariante von ALLES, DATAR und LAMBERT, in dem als zweites Beurteilungskriterium für die Agentenleistung in der Gestalt eines „verrauschten Informationssignals“ hinzukommt, wird nur am Rande eingegangen; vgl. dazu die Fußnote 1 auf S. 70 und die Fußnote 2 auf S. 71.

5) Vgl. SPREMANN (1987a), S. 3, 17 ff. u. 27 ff.; NEUS (1989b), S. 82 ff.; WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 375 ff. (mit einer Kritik an der Linearität der Zahlungsfunktion und entsprechenden Modifizierungsvorschlägen); MÜLLER (1995), S. 62; KLEINE (1996), S. 58 ff. u. 97 ff.; WAGENHOFER (1996), S. 158; GRAßHOFF/SCHWALBACH (1999), S. 438 ff.; MENSCH (1999b), S. 938 f.; KRAPP (2000), S. 30 ff. sowie – mit Erweiterungen auf eine beliebige Anzahl von Agenten – S. 47 ff. u. 63 ff.; CANSIER (2001), S. 620 ff.; LAMBERT (2001), S. 29 ff.; GÖX/BUDDE/SCHÖNDUBE (2002), S. 66 ff., insbesondere S. 68 ff.; ZHOU (2002), S. 266 ff.; DIEDRICH (2003), S. 452 ff.; HOFMANN (2003), S. ➥

Die LEN-Modelle zeichnen sich – im Vergleich zu anderen Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie – durch eine relativ einfache Modellstruktur[1)] mit drei charakteristischen Merkmalen aus. Erstens wird die Menge der zulässigen Zahlungsregeln auf lineare Zahlungsfunktionen beschränkt, die mit der erbrachten Leistung des Agenten[2)] linear ansteigen.[3)] Nach ihrer Maßgabe setzt sich das Entgelt eines Agenten aus einem fixen und einem leistungsproportionalen Entgeltbestandteil zusammen. Zweitens werden als (Risiko-) Nutzenfunktionen für Prinzipale und für Agenten, sofern sie sich risikoavers verhalten, nur Exponentialfunktionen verwendet. Drittens wird vorausgesetzt, dass externe Störgrößen, die zur Modellierung von Informationsunsicherheit über Umweltzustände dienen, stets einer Normalverteilung folgen.

Im Rahmen der Prinzipal-Agent-Theorie erfreuen sich die LEN-Modelle großer Beliebtheit, weil sie eine relativ „einfache" Herleitung von Optimallösungen als Second-best-Lösungen gestatten.[4)] Wegen dieser großen Beliebtheit werden LEN-Modelle zuweilen, vor allem in deutschsprachigen Publikationen, in generischer Redeweise auch als „das Grundmodell" der Prinzipal-Agent-Theorie be-

---

29 ff.; BREUER/KLEEFISCH (2004), S. 6 ff.; DIEDRICH (2004), S. 697 ff.; MAYER/PFEIFFER (2004), S. 1049 ff.; SCHÖNDUBE (2005), S. 220 ff.; ALPARSLAN (2006), S. 63, 156 u. 173 ff.; PETERS (2008), S. 326 ff.
Vgl. darüber hinaus auch das ähnlich konzipierte „Linear Principal-Agent Model" bei HOLMSTRÖM/MILGROM (1991), S. 29 ff.

1) Vgl. zur relativen Einfachheit der Modellstruktur von LEN-Modellen im Vergleich zu anderen Modellen der Prinzipal-Agent-Theorie insbesondere WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 373 u. 377 in Verbindung mit S. 374; MENSCH (1999b), S. 938; KRAPP (2000), S. 23 u. 30.

2) Die Leistung des Agenten wird im Folgenden als dessen Anstrengungsniveau konkretisiert werden.

3) Die Linearität der Zahlungsfunktionen stellt aus *theoretischer* Hinsicht die größte Schwäche der LEN-Modelle dar. Die Problematik linearer Zahlungsfunktionen in LEN-Modellen wird besonders prägnant von WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 377 ff., herausgearbeitet. Sie besteht in zweifacher Hinsicht. Erstens lässt sich zeigen, dass unter sehr schwachen Annahmen in allgemeinen Modellen der Prinzipal-Agent-Theorie, in denen die speziellen Prämissen der LEN-Modelle noch nicht vorausgesetzt werden, optimale Zahlungsfunktionen in der Regel keine lineare Gestalt aufweisen; vgl. WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 378. Zweitens kann sogar nachgewiesen werden, dass sich unter den speziellen Prämissen der LEN-Modelle – mit Ausnahme der Linearitätsprämisse für die Zahlungsfunktionen – nicht-lineare Zahlungsfunktionen als optimal herausstellen; vgl. WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 379 u. 381. Vgl. darüber hinaus zur Kritik an den linearen Zahlungsfunktionen in LEN-Modellen KRAPP (2000), S. 32.
Von der voranstehend skizzierten Problematik linearer Zahlungsfunktionen wird im hier vorgelegten Beitrag jedoch abgesehen. Dies lässt sich durch zwei voneinander unabhängige Argumentationsstränge rechtfertigen. Erstens steigen in der *betrieblichen Praxis* zahlreiche Entgeltregeln, die den Zahlungsfunktionen der Prinzipal-Agent-Theorie entsprechen, in Abhängigkeit von der beobachteten Leistung der Arbeitnehmer (Agenten) genau so linear an, wie es in den linearen Zahlungsfunktionen der LEN-Modelle vorausgesetzt wird. Dies räumen auch WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 381 u. 387, ein. Insofern kann die Linearität der Zahlungsfunktionen in LEN-Modellen als empirisch gerechtfertigt betrachtet werden. Zweitens haben WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 382 ff., mit bemerkenswerten Analysen aufgezeigt, wie sich die Prämissen von LEN-Modellen so modifizieren lassen, dass die Linearität der Zahlungsfunktionen *auch* in *theoretischer* Hinsicht mit den übrigen Prämissen der LEN-Modelle konsistent vereinbart werden kann. Dies führt zu dem begrüßenswerten „Nebeneffekt", dass sich die derart modifizierten LEN-Modelle gegenüber den ursprünglichen Modellformulierungen als realitätsnäher erweisen; vgl. WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 381 u. 387.
Aus den vorgenannten Gründen wird im hier vorgelegten Beitrag weiterhin von linearen Zahlungsfunktionen ausgegangen. Sie werden allerdings nicht – wie in den ursprünglich formulierten LEN-Modellen – naiv vorausgesetzt oder ad hoc eingeführt; vgl. zu einer entsprechenden Kritik WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 387. Vielmehr werden lineare Zahlungsfunktionen vorausgesetzt, weil sie sich empirisch rechtfertigen und theoretisch begründen lassen. Vgl. des Weiteren zu Beiträgen, die „gute Gründe" zugunsten von linearen Zahlungsfunktionen anführen, GRAßHOFF/SCHWALBACH (1999), S. 437 f. (empirische Belege) und S. 440 ff. (theoretische Argumente); KRAPP (2000), S. 32 f.

4) Vgl. WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 373; KRAPP (2000), S. 23; GÖX/BUDDE/SCHÖNDUBE (2002), S. 67.

zeichnet.[1)] Das ADL-Modell stellt lediglich einen produktionswirtschaftlich ausgerichteten Spezialfall der LEN-Modelle dar. Daher liegt es nahe, zwar nicht mit wissenschaftlicher Strenge, aber immerhin mit reichlich Plausibilität davon zu sprechen, dass sich das ADL-Modell als eine Art produktionswirtschaftliches Grundmodell der Prinzipal-Agent-Theorie auffassen lässt. Dies belegt den paradigmatischen Charakter des ADL-Modells, der an früherer Stelle kurz angesprochen wurde.

2.2 Die problemorientierte Basisstruktur des ADL-Modells

2.2.1 Realwirtschaftliche Modellkomponenten

Das ADL-Modell geht von einem Produktionssystem „maximaler Einfachheit" aus. Es umfasst nur eine einzige Produktionsstelle und somit nur eine Produktionsstufe[2)]. An der Produktionsstelle arbeitet nur eine Arbeitskraft, der Agent. Er führt Produktionsprozesse aus, die einen nicht näher spezifizierten Input (Produktionsfaktoren) in einen ebenso wenig spezifizierten Output (Produkte) transformieren. Da nicht zwischen unterschiedlichen Produktarten unterschieden wird, liegt implizit die Vorstellung eines Produktionssystems zugrunde, in dem nur genau eine Produktart hergestellt

---

1) Vgl. ALPARSLAN (2006), S. 156. Zwar beruft sich ALPARSLAN auf SPREMANN (1987b), S. 341, jedoch bezieht sich SPREMANN an dieser Stelle nicht ausdrücklich auf LEN-Modelle.

2) Abweichender Ansicht sind FANDEL/LORTH (2001), S. 281. Sie gehen von einem mehrstufigen Produktionssystem mit mehreren Produktionsstellen („Arbeitsstationen") für das ADL-Modell aus. Daraus folgt aber kein substanzieller Unterschied zu der hier bevorzugten Interpretation eines einstufigen Produktionssystems mit nur einer Produktionsstelle, weil FANDEL und LORTH sofort anschließend einräumen, dass im ADL-Modell keine Koordinationsprobleme zwischen den Agenten bestehen, die in unterschiedlichen Produktionsstellen auf nacheinander folgenden Produktionsstufen arbeiten. Solche Koordinationsprobleme kann es prinzipiell nicht geben, weil im ADL-Modell von nur *einem* repräsentativen Agenten ausgegangen wird (und Koordinationsprobleme eines einzelnen Agenten „mit sich selbst" in der Prinzipal-Agent-Theorie grundsätzlich nicht berücksichtigt werden, sondern nur Koordinationsprobleme zwischen unterschiedlichen Agenten). Für die Sichtweise von FANDEL und LORTH spricht, dass sich die nachfolgend eingeführte Einflussgröße „Lagerhaltungsniveau" besonders anschaulich – und für die hier relevante Just-in-Time-Produktionssteuerung durchaus typisch – auf Pufferlager bezogen werden kann, die sich zwischen zwei jeweils unmittelbar aufeinander folgenden Produktionsstufen befinden. Insofern ist es konsequent, dass FANDEL und LORTH ausdrücklich von einer (Um-) Interpretation des ADL-Modells ausgehen (auf den Aspekt der „Uninterpretation" wird später zurückgekommen), in der die Lagerbestände in Pufferlagern betrachtet werden. Zugunsten der Sichtweise eines lediglich einstufigen Produktionssystems, die im hier vorgelegten Beitrag bevorzugt wird, lässt sich hingegen anführen, dass bei der Analyse von Produktionssystemen mit nur *einem* Agenten ein *einstufiges* Produktionssystem mit nur *einer* Produktionsstelle nahe liegt. Dies gilt zumindest dann, wenn der einfache Fall vorausgesetzt wird, dass zur Ausführung von Produktionsprozessen an jeder Produktionsstelle mindestens eine Arbeitskraft – der Agent – erforderlich ist und eine Arbeitskraft während des Analysezeitraums einer Produktionsstelle fest zugeordnet ist. Es wird also von „Springern" im Produktionsprozess ebenso wie von einer Produktionsstellen übergreifenden „Multi-Tasking-Fähigkeit" der Arbeitskräfte abstrahiert. Diese vereinfachenden Annahmen sind zwar keineswegs notwendig, treffen aber auf reale Produktionssysteme oftmals zu, insbesondere auf solche, die nach Maßgabe von Just-in-Time-Prinzipien gestaltet sind. Außerdem wird in Kürze gezeigt, dass sich die Einflussgröße „Lagerhaltungsniveau" im ADL-Modell produktionswirtschaftlich gehaltvoll definieren lässt, ohne auf Zwischenprodukte in Pufferlagern Bezug nehmen zu müssen. Schließlich kann auch eine Perspektive eingenommen werden, die zwischen der Sichtweise von FANDEL und LORTH sowie der Sichtweise im hier vorgelegten Beitrag vermittelt: Sie besteht darin, dass im ADL-Modell zwar „an sich" von einem mehrstufigen Produktionssystem mit mehreren Produktionsstellen als *Erfahrungsobjekt* aus der betrieblichen Realität ausgegangen wird, jedoch das *Erkenntnisobjekt* der Modellanalyse „nur" eine *repräsentative* Produktionsstelle auf einer ebenso *repräsentativen* Produktionsstufe ist, in bzw. auf der ein wiederum *repräsentativer* Agent seine Arbeit verrichtet. Mit dieser zuletzt angeführten, vermittelnden Position lassen sich die Überlegungen im hier vorgelegten Beitrag ohne Schwierigkeiten vereinbaren, wenn diese Überlegungen stets im Sinne des vorgenannten *Erkenntnisobjekts* der Modellanalyse ausgelegt werden. Davon wird im Folgenden ausgegangen.

wird. Dies entspricht dem „minimalistischen“ mikroökonomischen Konzept eines Einproduktunternehmens. Darüber hinaus wird auch von nur einer Produktionsfaktorart ausgegangen.

Schließlich beruht das ADL-Modell auf einer simplen statischen oder einperiodigen Modellierung des jeweils betrachteten Produktionssystems. Denn sämtliche Modellkomponenten werden ohne Zeitbezug konzeptualisiert. Daher wird erstens implizit unterstellt, dass alle für den Prinzipal und für den Agenten relevanten Aspekte des modellierten Produktionssystems in derselben Produktionsperiode vorliegen (Zustände) oder geschehen (Ereignisse). Zweitens wird implizit davon ausgegangen, dass diese eine Produktionsperiode so kurz bemessen ist, dass sowohl der Prinzipal als auch der Agent es als irrelevant erachten, zu welchen konkreten Zeitpunkten innerhalb dieser einen Produktionsperiode die vorgenannten Zustände vorliegen bzw. Ereignisse geschehen. Zeitpräferenzen im entscheidungstheoretischen Sinne spielen für das ADL-Modell also keine Rolle.

Das erste Prozessmerkmal, das im ADL-Modell explizit berücksichtigt wird, ist das Anstrengungsniveau *eff*[1)] des Agenten. Es wird – ohne nähere Diskussion eventuell vorhandener Messprobleme – unterstellt, dass sich dieses Anstrengungsniveau auf einer nicht-negativen reellzahligen Kardinalskala messen lässt und dass der Agent sein Anstrengungsniveau aus einer vorgegebenen Menge EFF potenzieller Anstrengungsniveaus nach eigenem Gutdünken frei auszuwählen vermag.

$$\mathrm{eff} \in \mathrm{EFF} \quad \mathrm{mit} \quad \mathrm{EFF} \subseteq \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{1}$$

Aus produktionswirtschaftlicher Sicht lässt sich das Anstrengungsniveau als durchschnittliche Arbeitsintensität des Agenten interpretieren. Sie wird mit ME als Mengeneinheiten und ZE als Zeiteinheiten in der Dimension [ME/ZE][2)] gemessen. Beispielsweise kann die durchschnittliche Arbeitsintensität in [Stück Output / Stunde Arbeitseinsatz] angegeben werden.

Der Agent verfügt nur über den einen Freiheitsgrad, bei seiner Ausführung von Produktionsprozessen über sein eigenes Anstrengungsniveau frei zu disponieren. Der Prinzipal kann das ausgewählte Anstrengungsniveau des Agenten nicht direkt beobachten; es bleibt daher für den Prinzipal im Dunkeln. Daher gehört das ADL-Modell zum Hidden-Action-Typ der Prinzipal-Agent-Theorie. Die Informationsasymmetrie, die für alle Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie charakteristisch ist, resultiert im ADL-Modell daraus, dass der Agent sein selbst gewähltes Anstrengungsniveau *eff* unmittelbar kennt, während dem Prinzipal keine Informationen hinsichtlich des Anstrengungsniveaus des Agenten zur Verfügung stehen.

Der Prinzipal besitzt im ADL-Modell genau zwei Freiheitsgrade. Er kann erstens die Zahlungsregel festlegen, nach deren Maßgabe das Entgelt des Agenten bestimmt wird. Darauf wird in Kürze näher eingegangen. Zweitens kann der Prinzipal über das Lagerhaltungsniveau *inv* entscheiden. Analog zum Anstrengungsniveau des Agenten wird angenommen, dass sich das Lagerhaltungsniveau auf einer nicht-negativen reellzahligen Kardinalskala messen lässt und dass der Prinzipal sein Lagerhal-

---

1) Atomare formal-symbolische Ausdrücke werden in diesem Beitrag im laufenden Text kursiv dargestellt, um sie vom umgebenden natürlichsprachlichen Text leichter unterscheiden zukönnen. Dagegen werden zusammengesetzte formal-symbolische Ausdrücke im laufenden Text nicht kursiv dargestellt, weil sie sich aufgrund ihrer Zusammensetzung mithilfe von z.B. Klammernotationen und mathematischen Operationen unmittelbar als formal-symbolische Ausdrücke erkennen lassen. Darüber hinaus wird in sämtlichen explizit angeführten Formeln auf eine kursive Formatierung vollständig verzichtet, weil die – sonst des Öfteren praktizierte – Kombination von kursiv formatierten Buchstaben einerseits sowie nicht-kursiv formatierten Ziffern und mathematischen-logischen Symbolen andererseits in einer Formel aus der Sicht des Verfassers eher verwirrt als zur Klarheit der Formeldarstellung beiträgt.

2) Dimensionsangaben erfolgen in diesem Beitrag mithilfe der Notation […].

tungsniveau aus einer vorgegebenen Menge INV potenzieller Lagerhaltungsniveaus nach eigenem Gutdünken frei auszuwählen vermag.

$$\text{inv} \in \text{INV} \quad \text{mit} \quad \text{INV} \subseteq \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{2}$$

Das Lagerhaltungsniveau stellt aus produktionswirtschaftlicher Perspektive den durchschnittlichen Lagerbestand[1)] dar, der sich während einer Produktionsperiode – wie z.B. einer Woche – in den Lagern eines Produktionssystems in der Gestalt von Vor-, Zwischen- oder Endprodukten befindet. Dieser durchschnittliche Lagerbestand kann in der Dimension [ME] gemessen werden. Dieser Ansatz führt jedoch zu Schwierigkeiten, weil bei einer Produktionsfaktorart (Vorproduktart) und einer (End-) Produktart die Mengeneinheiten der unterschiedlichen Vor- und Endproduktarten nicht unmittelbar zu einem gemeinsamen Lagerhaltungsniveau aggregiert werden können.[2)] Daher ist es vorzuziehen, den durchschnittlichen Lagerbestand und somit das Lagerhaltungsniveau in Geldeinheiten (GE) durch dasjenige Kapital zu messen, das im durchschnittlichen Lagerbestand aufgrund der Bewertung der eingelagerten Vor- und Endprodukte mit z.B. ihren Beschaffungs- bzw. Herstellkosten gebunden ist. Davon wird im Folgenden ausgegangen, so dass das Lagerhaltungsniveau in der Dimension [GE] zu messen ist.

Mit dem Lagerhaltungsniveau *inv* hebt sich das ADL-Modell zum ersten Mal inhaltlich markant von sonst üblichen Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie ab.[3)] Denn das Lagerhaltungsniveau ist in jenen Theorievarianten weithin unbekannt, stellt aber aus produktionswirtschaftlicher Perspektive einen zentralen Aspekt zur Beschreibung von Produktionssystemen dar. Insbesondere handelt es sich beim Lagerhaltungsniveau um eine wichtige Stellgröße für die Just-in-Time-Produktionssteuerung, weil Just-in-Time-Prinzipien darauf abzielen, Lagerbestände an Vor-, Zwischen- und Endprodukten im Produktionsbereich möglichst weitgehend abzubauen. In etwas übertriebener, realitätsferner Diktion wird mitunter auch vom Ziel einer „lagerlosen" Produktion gesprochen, die für die Erfüllung von Just-in-Time-Prinzipien charakteristisch sei. Auf die wesentliche Bedeutung, die dem Lagerhaltungsniveau aus der Perspektive der Just-in-Time-Produktionssteuerung zukommt, wird noch ausführlicher zurückgekommen.

---

1) Vgl. FANDEL/LORTH (2001), S. 281.

2) Von Zwischenproduktarten kann im ADL-Modell abgesehen werden, weil es nur einstufige Produktionssysteme berücksichtigt, in denen lediglich Vor- und Endprodukte als Produktionsfaktoren bzw. Produkte definiert, aber keine Zwischenprodukte vorgesehen sind.

3) Vgl. dazu auch HEMMER (1995), S. 205 f. Er empfindet es als herausragende Eigenschaft des ADL-Modells, dass dort – im Gegensatz zu sonst üblichen Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie – neben dem Anstrengungsniveau des Agenten ein zweiter „Input", das Lagerhaltungsniveau, in die Analysen einbezogen wird. Allerdings geht es HEMMER in erster Linie *nicht* um die *produktionswirtschaftliche* Bedeutung des Lagerhaltungsniveaus, sondern um den eher formalen Aspekt, dass im ADL-Modell zwei voneinander unabhängige „Inputs" betrachtet werden. Beim Lagerhaltungsniveau handelt es sich aber *nicht* um einen *Input* im *produktionswirtschaftlichen* Verständnis von Produktionsfaktoren (daher wurden in den voranstehenden Formulierungen distanzierende Anführungszeichen verwendet). Denn das Lagerhaltungsniveau stellt keinen Produktionsfaktor dar, der als „Stromgröße" in Produktionsprozessen zu Produkten weiterverarbeitet („transformiert") wird. Vielmehr handelt es sich um den durchschnittlichen Bestand an Produktionsfaktoren (Vorprodukten) oder (End-) Produkten, der in einem Produktionssystem innerhalb eines Betrachtungszeitraums vorgehalten wird, also um eine „Bestandsgröße", die aus der Vorrätigkeit von Produktionsfaktoren oder Produkten abgeleitet ist. Dagegen scheint HEMMER jede Einflussgröße, die in der Produktionsfunktion *pro* eines Modells der Prinzipal-Agent-Theorie als eine *unabhängige Variable* enthalten ist, als einen „Input" zu betrachten. In diesem formalsprachlichen, aber nicht materiell-produktionswirtschaftlichen Verständnis stellen sowohl das Anstrengungsniveau *eff* des Agenten als auch das Lagerhaltungsniveau *inv*, das vom Prinzipal festgelegt wird, „Inputs" des ADL-Modells dar.

Darüber hinaus erweist sich das Lagerhaltungsniveau in einer zweiten Hinsicht als bemerkenswert. Denn in der Prinzipal-Agent-Theorie wird zumeist davon ausgegangen, dass die Einflussgrößen[1] von Arbeits- oder Produktionsprozessen seitens der Agenten „kontrolliert“ werden, d.h., die Agenten können selbst das Ausmaß festlegen, indem die Einflussgrößen in diesen Prozessen tatsächlich ausgeprägt sind. Dies ist insbesondere für die Einflussgröße „Anstrengungsniveau“ eines Agenten unmittelbar einsichtig. Im Gegensatz hierzu wird die Einflussgröße „Lagerhaltungsniveau“ im ADL-Modell jedoch nicht vom Agenten, sondern vom Prinzipal kontrolliert, der selbst darüber bestimmt, welches Lagerhaltungsniveau in einem Produktionssystem realisiert wird. Das Problem des „moral hazard“, das für Hidden-Action-Modelle der Prinzipal-Agent-Theorie typisch ist und ausschließlich opportunistische Entscheidungs- oder Verhaltensspielräume eines Agenten betrifft, kann daher für die Einflussgröße „Lagerhaltungsniveau“ im ADL-Modell nicht auftreten.[2]

Als zweite produktionswirtschaftliche Besonderheit des ADL-Modells wird auf eine Produktionsfunktion *pro* zurückgegriffen. Sie erweist sich in mehrfacher Hinsicht als bemerkenswert.

Erstens handelt es sich nicht in produktionswirtschaftlich „vertrauter“ Weise um eine Transformationsfunktion, die Inputmengen auf Outputmengen abbildet. Vielmehr stellt die Produktionsfunktion im ADL-Modell „nur“ eine Vorstufe einer solchen Transformationsfunktion, also eine Art „Proto-Produktionsfunktion“ dar. Denn sie erfasst zwar die Inputmenge des einen Produktionsfaktors Arbeitskraft, der durch das Anstrengungsniveau *eff* des Agenten erfasst und in einem Produktionsprozess eingesetzt wird. Jedoch bildet sie diese Inputmenge nicht unmittelbar auf die Outputmenge der einen hergestellten (End-) Produktart ab. Das Abbildungsergebnis der Produktionsfunktion im ADL-Modell wird noch nicht einmal durch ein eigenständiges Symbol als Entität sui generis erfasst, sondern unmittelbar mit einer Störgröße überlagert. Darauf wird in Kürze zurückgekommen. Um das Abbildungsergebnis der Produktionsfunktion *pro* dennoch referenzieren zu können, wird es im Folgenden der Einfachheit halber als fiktives Produktionsergebnis pro(•) bezeichnet. Solange sich der Hintergrund des Attributs „fiktiv“ einer präzisen Erläuterung noch entzieht, wird auch nur kurz von dem Produktionsergebnis pro(•) gesprochen.

Zweitens werden durch die Produktionsfunktion des ADL-Modells zwei Einflussgrößen als unabhängige Variablen erfasst: einerseits das Anstrengungsniveau *eff*, zu dem sich der Agent entschieden hat, und andererseits das Lagerhaltungsniveau *inv*, das vom Prinzipal festgelegt wurde. In der Produktionsfunktion spiegeln sich also autonome Entscheidungen des Agenten und des Prinzipals in „symmetrischer“ Weise wider.[3] Das 2-Tupel (eff,inv), in dem die Ergebnisse dieser beiden Entscheidungen formalsprachlich repräsentiert sind, wird auch als ein Produktionsverhältnis bezeichnet. Für die Produktionsfunktion *pro*, die jedes Produktionsverhältnis (eff,inv) auf ein Produktionsergebnis pro(eff,inv) abbildet, gilt in allgemeiner Weise:

---

1) Die Einflussgrößen, von denen hier die Rede ist, stellen aus der formalsprachlichen Perspektive der Prinzipal-Agent-Theorie „Inputs“ dar. Sie dürfen aber nicht mit Inputs im material-produktionswirtschaftlichen Verständnis von Produktionsfaktoren verwechselt werden. Darauf wurde in einer früheren Fußnote bereits ausdrücklich hingewiesen.

2) Vgl. HEMMER (1995), S. 206 f.

3) Allerdings ist zu beachten, dass das Anstrengungsniveau *eff* und das Lagerhaltungsniveau *inv* aus produktionswirtschaftlicher Perspektive keineswegs gleichartig sind. Vielmehr handelt es sich beim Anstrengungsniveau um einen „echten“ Produktionsfaktor. Dagegen stellt das Lagerhaltungsniveau nur eine „sonstige“ Einflussgröße dar, die das Ergebnis eines Produktionsprozesses zwar beeinflussen („moderieren“) kann, aber nicht selbst wie ein Produktionsfaktor in den Produktionsprozess eingeht und hierbei zwecks Produktherstellung ge- oder verbraucht wird. Dieser materielle Unterschied zwischen Anstrengungsniveau *eff* und Lagerhaltungsniveau *inv* wird im formalsprachlichen Konstrukt der Produktionsfunktion *pro* nicht deutlich.

$$\begin{aligned} \text{pro}: \ \text{EFF} \times \text{INV} &\mapsto \mathbb{R}_{\geq 0} \\ (\text{eff}, \text{inv}) &\mapsto \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) \end{aligned} \tag{3}$$

Das Produktionsergebnis pro(eff,inv) wird in der Dimension [ME] gemessen, wie z.B. als [Stück Output]. Bei der Spezifizierung einer konkreten Funktionsvorschrift für die Produktionsfunktion *pro* muss beachtet werden, dass die zwei Einflussgrößen *eff* und *inv* sowohl untereinander als auch in Bezug auf den Output – die eine hergestellte (End-) Produktart – in unterschiedlichen Dimensionen [ME/ZE] für das Anstrengungsniveau *eff* bzw. [GE] für das Lagerhaltungsniveau *inv* gemessen werden. Daher müssen das Anstrengungsniveau mit einem Faktor der Dimension [ZE] für die Zeitdauer der betrachteten Produktionsperiode und das Lagerhaltungsniveau mit einem Faktor der Dimension [ME/GE] für die – in Endprodukteinheiten gemessene – Produktivität des eingesetzten Kapitals gewichtet werden, um die korrekte Output-Dimension [ME] zu erhalten. Auf diesen messtechnischen Aspekt wird hier aber nicht weiter eingegangen, weil – wie anschließend gezeigt wird – im ADL-Modell auf eine Konkretisierung der Funktionsvorschrift für die Produktionsfunktion *pro* ohnehin verzichtet wird.

Drittens wird in der Produktionsfunktion *pro* – neben dem Lagerhaltungsniveau *inv* als zweite Einflussgröße – nur das Anstrengungsniveau *eff* des Agenten als einziger „echter“ Produktionsfaktor im produktionswirtschaftlichen Verständnis erfasst. Das Anstrengungsniveau *eff* des Agenten stellt eine Konkretisierung des produktionswirtschaftlichen Produktionsfaktors „Arbeitskraft“ dar, die für die Prinzipal-Agent-Theorie typisch ist. Es wird also nur der „klassische“ Produktionsfaktor der menschlichen Arbeitskraft im ADL-Modell explizit repräsentiert. Weitere – aus produktionswirtschaftlicher Perspektive – „klassische“ Produktionsfaktoren, wie z.B. Maschinen und Material, werden hingegen in der Produktionsfunktion *pro* des ADL-Modells nicht berücksichtigt. Zwar mag die Abstrahierung von der Nutzung des Produktionsfaktors „Maschinen“ noch nachvollziehbar sein, weil es sich um eine weitreichend vereinfachte Modellierungsweise realer Produktionssysteme handelt, in der von begrenzten Maschinenkapazitäten vollständig abgesehen wird. Jedoch erweist es sich als merkwürdig, dass in der Produktionsfunktion *pro* des ADL-Modells die Einsatzmengen des Produktionsfaktors „Material“ nicht als Inputmengen berücksichtigt werden, obwohl die Relevanz dieses Produktionsfaktors durch die Einflussgröße „Lagerhaltungsniveau“ indirekt anerkannt wird.[1)]

---

1) Um Missverständnissen vorzubeugen, sei nochmals darauf hingewiesen, dass das Lagerhaltungsniveau *inv* aus produktionswirtschaftlicher Perspektive zwar eine „moderierende“ Einflussgröße darstellt, die sich auf das Ergebnis eines Produktionsprozesses auszuwirken vermag, selbst aber keinen Produktionsfaktor darstellt. (Vgl. dazu die Erläuterungen in der unmittelbar vorangehenden Fußnote.) Zur Verdeutlichung sei ein Produktionsprozess betrachtet, in dem aus derselben Inputmenge des Produktionsfaktors „Material“ stets dieselbe Outputmenge einer (End-) Produktart hergestellt wird. Wenn es aufgrund einer Erhöhung des Lagerhaltungsniveaus gelingt, Produktionsstörungen mit Maschinenstillständen tendenziell zu verringern, während derer kein Material zu Produkten weiterverarbeitet werden kann, so bedeutet die Erhöhung des Lagerhaltungsniveaus keineswegs, dass pro hergestellter Outputeinheit (Produkteinheit) mehr Inputeinheiten (Materialeinheiten) eingesetzt würden. Die Produktionsfunktion bleibt daher hinsichtlich ihrer *Input/Output-Relation unverändert*. Aber durch die Erhöhung der Einflussgröße „Lagerhaltungsniveau“ wird es möglich, in einem konstant gehaltenen Zeitraum wegen der Reduzierung von Produktionsstörungen mit Maschinenstillständen mit *mehr* Inputeinheiten entsprechend *mehr* Outputeinheiten herzustellen.

In der „klassischen“ Produktionstheorie spielen derart „verkürzte“, ausschließlich auf den Produktionsfaktor „Arbeitskraft“ fokussierte Produktionsfunktionen keine Rolle.[1)]

Viertens werden im ADL-Modell keine speziellen Produktionsfunktionen vorausgesetzt, wie es in „normalen“ Modellen der Produktionstheorie üblich ist.[2)] Dies rechtfertigt noch einmal das ADL-Modell als eine Miniaturtheorie zu bezeichnen, die – im Gegensatz zu einem Modell im konventionellen Sinne – keineswegs auf die Repräsentation eines bestimmten, eng eingegrenzten Realitätsausschnitts beschränkt ist. Stattdessen erstreckt sich das ADL-Modell entsprechend einer „umfassenderen“ Theorie auf einen intendierten Anwendungsbereich, der sich auf alle Realitätsausschnitte erstreckt, in denen die theoriespezifischen Anwendungsbedingungen – wie etwa allgemein gehaltene Anforderungen an die Gestalt einer Produktionsfunktion – erfüllt werden. Auf den Aspekt des intendierten Anwendungsbereichs des ADL-Modells und seiner Spezifikation wird weiter unten eingegangen.

Im ADL-Modell werden nur fünf sehr allgemein gehaltene Anforderungen oder „Regularitätsbedingungen“[3)] an die Gestalt einer Produktionsfunktion erhoben. Die ersten vier Anforderungen erstrecken sich darauf, dass das Produktionsergebnis pro(eff,inv) in Abhängigkeit sowohl vom Anstrengungsniveau *eff* des Agenten als auch vom Lagerhaltungsniveau *inv* unterproportional ansteigt. Beide Einflussgrößen Anstrengungsniveau *eff* und Lagerhaltungsniveau *inv* erfüllen also die konventionelle Anforderung abnehmender Grenzerträge, die aus der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie und aus der mikroökonomischen Theorie der Unternehmung wohlvertraut sind: Diese Sachverhalte lassen sich formalsprachlich[4)] mit Bezug auf die ersten und zweiten partiellen Ableitungen der Produktionsfunktion *pro* mittels folgender Formeln spezifizieren:[5)]

$$\forall \mathrm{eff} \in \mathrm{EFF}\ \forall \mathrm{inv} \in \mathrm{INV}: \quad \mathrm{pro}_{\partial \mathrm{eff}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) = \frac{\partial \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})}{\partial \mathrm{eff}} > 0 \tag{4}$$

1) Diese Fokussierung auf den nur einen Produktionsfaktor „Arbeitskraft“ – in pointierter Formulierung könnte man auch von einer *Reduzierung* der Modellierung auf den Produktionsfaktor „Arbeitskraft“ sprechen – erweist sich für Modelle als charakteristisch, die im Rahmen der Prinzipal-Agent-Theorie konstruiert werden. Denn in der Prinzipal-Agent-Theorie interessieren vornehmlich nur die Interaktionen zwischen Arbeitskräften, die als Agenten Produktionsprozesse ausführen, und Prinzipalen, in deren Auftrag die Produktionsprozesse ausgeführt werden. Andere, aus produktionswirtschaftlicher Perspektive „gleichberechtigte“ Produktionsfaktoren, wie z.B. Maschinen und Material, werden dagegen seitens der Prinzipal-Agent-Theorie weitgehend ignoriert, zumindest in ihrer Rolle als „echte“ Produktionsfaktoren im produktionswirtschaftlichen Begriffsverständnis.

2) Nur an wenigen Stellen werden in ALLES/DATAR/LAMBERT (1995) konkrete Produktionsfunktionsklassen thematisiert; vgl. dazu vor allem die Ausführungen auf S. 186. Dort wird einerseits eine „idiosynkratische“, in der Produktionstheorie weitgehend unbekannte Produktionsfunktionsklasse vorgestellt. Andererseits werden auf derselben Seite in der Fußnote 12 Produktionsfunktionen angesprochen, die zum COBB-DOUGLAS-Typ gehören. Auf die vorgenannten Produktionsfunktionen wird später im Kapitel 3.1 ausführlicher zurückgekommen.

3) Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 180 („regularity assumptions“); FANDEL/LORTH (2001), S. 282 („Regularitätsbedingungen“).

4) Zwecks vereinfachter Notation partieller Ableitungen werden die Schreibweisen $\mathrm{fun}_{\partial x}(\bullet)$, $\mathrm{fun}_{\partial y}(\bullet)$, $\mathrm{fun}_{\partial x.\partial x}(\bullet)$, $\mathrm{fun}_{\partial y.\partial y}(\bullet)$, $\mathrm{fun}_{\partial x.\partial y}(\bullet)$ und $\mathrm{fun}_{\partial y.\partial x}(\bullet)$ verwendet. Sie drücken aus, dass für eine zweistellige Funktion fun(x,y) die ersten partiellen Ableitungen nach einer ihrer unabhängigen Variablen x oder y [$\mathrm{fun}_{\partial x}(\bullet)$ bzw. $\mathrm{fun}_{\partial y}(\bullet)$], die ersten partiellen Ableitungen nach einer ihrer unabhängigen Variablen x oder y [$\mathrm{fun}_{\partial x.\partial x}(\bullet)$ bzw. $\mathrm{fun}_{\partial y.\partial y}(\bullet)$] oder aber die Kreuzableitung nach ihren beiden unabhängigen Variablen x und y [$\mathrm{fun}_{\partial x.\partial y}(\bullet)$ oder $\mathrm{fun}_{\partial y.\partial x}(\bullet)$] betrachtet werden.

5) Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 180; FANDEL/LORTH (2001), S. 282 (allerdings nur in Bezug auf die zweiten partiellen Ableitungen der Produktionsfunktion *pro*).

$$\forall \mathrm{eff} \in \mathrm{EFF}\ \forall \mathrm{inv} \in \mathrm{INV}: \quad \mathrm{pro}_{\partial \mathrm{eff}.\partial \mathrm{eff}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) \ = \ \frac{\partial^2 \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})}{\partial \mathrm{eff}^2} \ < \ 0 \tag{5}$$

$$\forall \mathrm{eff} \in \mathrm{EFF}\ \forall \mathrm{inv} \in \mathrm{INV}: \quad \mathrm{pro}_{\partial \mathrm{inv}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) \ = \ \frac{\partial \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})}{\partial \mathrm{inv}} \ > \ 0 \tag{6}$$

$$\forall \mathrm{eff} \in \mathrm{EFF}\ \forall \mathrm{inv} \in \mathrm{INV}: \quad \mathrm{pro}_{\partial \mathrm{inv}.\partial \mathrm{inv}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) \ = \ \frac{\partial^2 \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})}{\partial \mathrm{inv}^2} \ < \ 0 \tag{7}$$

Die erste Anforderung $\mathrm{pro}_{\partial \mathrm{eff}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) > 0$ bedeutet, dass der Grenzertrag des Anstrengungsniveaus *eff* des Agenten – also die Grenzproduktivität seiner Arbeitskraft – stets positiv ist. Daher wächst das Produktionsergebnis pro(eff,inv) mit steigendem Anstrengungsniveau *eff* des Agenten kontinuierlich an. Die zweite Anforderung $\mathrm{pro}_{\partial \mathrm{eff}.\partial \mathrm{eff}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) < 0$ drückt hingegen aus, dass der Grenzertrag des Anstrengungsniveaus *eff* des Agenten und somit die Grenzproduktivität seiner Arbeitskraft sinken, wenn dieses Anstrengungsniveau vergrößert wird. Diese beiden Anforderungen bergen aus produktionswirtschaftlicher Perspektive keine Überraschungen.

Als produktionswirtschaftlich interessanter erweisen sich die dritte und die vierte Anforderung, die beide das Produktionsergebnis pro(eff,inv) mit dem realisierten Lagerhaltungsniveau *inv* verknüpfen. Die dritte Anforderung $\mathrm{pro}_{\partial \mathrm{inv}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) > 0$ drückt aus, dass der Grenzertrag des Lagerhaltungsniveaus *inv* stets positiv ist. Daher muss das Produktionsergebnis pro(eff,inv) mit steigendem Lagerhaltungsniveau *inv* kontinuierlich anwachsen. Diese Anforderung wirkt auf den ersten Blick überraschend. Denn es ist nicht unmittelbar ersichtlich, warum die Einflussgröße „Lagerhaltungsniveau" dazu beitragen sollte, dass das Produktionsergebnis anwächst, sobald das Lagerhaltungsniveau erhöht wird. Die Güter, die zusätzlich auf Lager genommen werden und dadurch den durchschnittlichen Lagerbestand in einer Produktionsperiode erhöhen, stellen als Lagerbestand keinen Output des Produktionssystems dar und können daher auch nicht unmittelbar das Produktionsergebnis erhöhen.[1)]

Die produktionswirtschaftliche Bedeutung der dritten Anforderung $\mathrm{pro}_{\partial \mathrm{inv}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) > 0$ erschließt sich nur mittelbar, wenn von einem genuin stochastischen Charakter der Produktionsprozesse im jeweils betrachteten Produktionssystem ausgegangen wird. In diesem Fall muss stets mit Produktionsstörungen gerechnet werden. Sie führen dazu, dass die Durchführung eines Produktionsprozesses nicht zum geplanten Produktionsergebnis führt, weil z.B. Ausschuss produziert wird, oder dass ein geplanter Produktionsprozess gar nicht ausgeführt werden kann, weil beispielsweise die hierfür benötigten Vorprodukte nicht bereitstehen oder die hierfür benötigten Potenzialfaktoren – also vor allem Arbeitskräfte und Betriebsmittel – nicht einsatzfähig sind. Zumindest hinsichtlich derjenigen Produktionsstörungen, die durch einen Mangel an Vorprodukten „zur richtigen Zeit am richtigen Ort in der richtigen Qualität" verursacht werden, wirkt eine Vergrößerung des Lagerhaltungsni-

---

1) Dies trifft zumindest auf Vor- und Zwischenprodukte zu, während eingelagerte Endprodukte – je nach Betrachtungsperspektive – dem Produktionsergebnis zugerechnet werden können. Da im ADL-Modell nicht zwischen Vor-, Zwischen- und Endprodukten differenziert wird, lässt sich nicht eindeutig entscheiden, auf welche dieser drei Produktkategorien ein Anwachsen des Lagerhaltungsniveaus zurückzuführen ist. Allerdings folgt aus der simplen, lediglich einstufigen Struktur der Produktionssysteme, auf die sich das ADL-Modell erstreckt, dass Zwischenprodukte nicht gemeint sein können. Des Weiteren wird im Folgenden zur Vereinfachung davon ausgegangen, dass eine Erhöhung des durchschnittlichen Lagerbestands und somit des Lagerhaltungsniveaus ausschließlich auf den Lagerzugang von Vorprodukten zurückzuführen ist. Unter dieser zusätzlichen Prämisse kann eine Erhöhung des Lagerhaltungsniveaus (durch Einlagerung von Vorprodukten) niemals unmittelbar zu einer Zunahme des Produktionsergebnisses (in der Gestalt von Endprodukten) führen.

veaus (an Vorprodukten)[1)] tendenziell so, dass sich eine größere Anzahl an Produktionsstörungen durch Rückgriff auf die eingelagerten Vorprodukte kompensieren lässt.[2)] Dadurch werden störungsbedingte Verminderungen des Produktionsergebnisses tendenziell reduziert. Also steigt das Produktionsergebnis mittelbar und tendenziell an, wenn das Lagerhaltungsniveau erhöht wird. Genau dies drückt die o.a. dritte Anforderung $pro_{\partial inv}(eff,inv) > 0$ aus.

Hinzu kommt die vierte Anforderung $pro_{\partial inv.\partial inv}(eff,inv) < 0$. Sie bedeutet, dass der Grenzertrag des Lagerhaltungsniveaus *inv* sinkt, wenn das Lagerhaltungsniveau im Produktionssystem vergrößert wird. Dies stellt ein Analogon zur konventionellen Anforderung dar, dass der Grenzertrag des Anstrengungsniveaus eines Agenten mit zunehmendem Anstrengungsniveau sinkt. Dieses Analogon drückt aus, dass der unmittelbar störungskompensierende und mittelbar das Produktionsergebnis erhöhende Effekt des Lagerhaltungsniveaus mit zunehmendem Lagerhaltungsniveau nur unterproportional ansteigt. Mit anderen Worten lassen sich bei stochastischen Produktionsstörungen die negativen Folgen der Produktionsstörungen auf das intendierte Produktionsergebnis durch eine Vergrößerung des Lagerhaltungsniveaus nicht beliebig verringern. Stattdessen nimmt die „Effektivität" der Störungskompensation umso mehr ab, je größer das bereits realisierte Lagerhaltungsniveau ist. Hierbei handelt es sich um keine „logisch zwingende" Einsicht, sondern um eine kontingente Anforderung des ADL-Modells, die einer empirischen Überprüfung bedarf. Nach Wissen des Verfassers ist eine solche empirische Überprüfung dieser Anforderung bislang noch nicht erfolgt.[3)] Aber es erscheint aus produktionswirtschaftlicher Sicht zumindest prima facie plausibel, die Anforderung $pro_{\partial inv.\partial inv}(eff,inv) < 0$ in den meisten realen Produktionssystemen als erfüllt vorauszusetzen (Prämisse sinkender Grenzerträge des Lagerhaltungsniveaus).

Wie die voranstehenden Erläuterungen skizziert haben, beruhen die dritte und die vierte Anforderung aus Formel (6) bzw. (7), die das Produktionsergebnis pro(eff,inv) mit dem realisierten Lagerhaltungsniveau *inv* verknüpfen, auf einem genuin stochastischen Charakter der Produktionsprozesse des ADL-Modells. Er führt zu einem ersten Aspekt der (Informations-) Unsicherheit, der für alle Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie eine konstitutive Bedeutung besitzt. Im hier betrachteten Kontext von Produktionsprozessen schlägt sich die Unsicherheit darin nieder, dass weder der Agent noch der Prinzipal genau wissen, welcher Output durch ein Anstrengungsniveau *eff* und ein Lagerhaltungsniveau *inv* tatsächlich bewirkt wird. In diesem Sinne liegt also eine outputbezogene Infor-

---

1) Auf den präzisierenden Zusatz „an Vorprodukten" wird im Folgenden verzichtet, weil das Lagerhaltungsniveau nur in Bezug auf die Einlagerung von Vorprodukten betrachtet wird. Vgl. dazu die Erläuterungen in der voranstehenden Fußnote.

2) Vgl. ansatzweise SCHULTZ/JURAN/BOUDREAU (1999), S. 1665 f. (distanziert); FANDEL/LORTH (2001), S. 281; BAIMAN/NETESSINE/SAOUMA (2007), S. 4 u. 9.

3) Nur am Rande sei erwähnt, dass die Prinzipal-Agent-Theorie generell unter einem Überprüfungsdefekt leidet. Er manifestiert sich darin, dass maßgebliche Proponenten dieser Theorie entweder empirische Überprüfungen zentraler Prämissen der Prinzipal-Agent-Theorie nicht für notwendig erachten oder aber empirische Befunde, die jenen Prämissen zuwiderlaufen, schlicht ignorieren. Vgl. zu einer gelungenen Kritik dieses Überprüfungsdefekts der Prinzipal-Agent-Theorie in ihrer Variante der Hidden-Action-Modelle, der mitunter auch als Widerlegungsresistenz o.ä. bezeichnet wird, insbesondere ALPARSLAN (2006), S. 5, 7 u. 97 ff. Einige seiner Kernaussagen seien hier wörtlich zitiert, weil sie dem Verfasser ebenso zutreffend wie brillant erscheinen (Auslassungen […] durch den Verfasser, kursive Hervorhebungen im Original hier unterlassen): „Es ist bemerkenswert, dass weder … Feldstudien noch … Experimente dazu geführt haben, die Hidden-Action-Modelle als widerlegt zu betrachten und damit zu verwerfen (Überprüfungsdefizit) … Diese Feststellung ist deswegen bemerkenswert, weil die Hidden-Action-Modelle … von einem ‚Ozean' … empirischer Widersprüche umgeben sind …" (S. 98 f.). „Die Hidden-Action-Modelle zeichnen sich … durch eine weitgehende Widerlegungsresistenz aus. Aufgrund dieser Feststellung lässt sich mutmaßen, dass sich die Forschungsmethodik des Falsifikationismus … innerhalb der Hidden-Action-Modelle nicht durchzusetzen vermochte" (S. 106).

mationsunsicherheit vor. Daher wurde oben von einem nur *fiktiven* Produktionsergebnis pro(eff,inv) gesprochen, das in der Gleichung (4) mittels der deterministisch formulierten (Proto-) Produktionsfunktion *pro* ermittelt wird. Es blendet – vorläufig – die reale Existenz von Produktionsstörungen aus, die oftmals dazu führen, dass der tatsächlich realisierte Output eines Produktionsprozesses vom fiktiven, d.h. von jeglichen Produktionsstörungen abstrahierenden Produktionsergebnis pro(eff,inv) abweicht. Um diesen Einfluss von potenziellen Produktionsstörungen auf den tatsächlichen Output von Produktionsprozessen innerhalb des ADL-Modells berücksichtigen zu können, muss das fiktive Produktionsergebnis pro(eff,inv) um eine zusätzliche, zufällige Störgröße ε korrigiert werden. Darauf wird in Kürze näher eingegangen.

Die vier voranstehend erläuterten Anforderungen werden im ADL-Modell durch eine fünfte Anforderung ergänzt, die mehr (optimierungs-) technischen Charakter besitzt. Sie stellt in Verbindung mit den beiden Anforderungen (5) und (7) an die zweiten partiellen Ableitungen der Produktionsfunktion *pro* sicher, dass diese Produktionsfunktion bei einem Anstrengungsniveau *eff** und einem Lagerhaltungsniveau *inv**, bei denen ihre erste partielle Ableitung nach jeweils einer dieser beiden Variablen den Wert Null annimmt ($\text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff,inv}) = 0$ bzw. $\text{pro}_{\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) = 0$),[1] weder ein lokales Minimum noch einen Sattelpunkt aufweist, sondern in „regulärer“ Weise ein lokales Maximum besitzt. Im ADL-Modell ist diese Regularitätsbedingung als fünfte Anforderung wie folgt definiert:[2)]

$$\forall\, \text{eff*} \in \text{EFF}\ \forall\, \text{inv*} \in \text{INV}:$$

$$\left(\frac{\partial^2 \text{pro}(\text{eff*},\text{inv*})}{\partial \text{eff}\ \partial \text{inv}}\right)^2 - \left(\frac{\partial^2 \text{pro}(\text{eff*},\text{inv*})}{\partial \text{eff}^2} \bullet \frac{\partial^2 \text{pro}(\text{eff*},\text{inv*})}{\partial \text{inv}^2}\right) < 0 \qquad (8)$$

Die Formel (8) erweist sich allerdings insofern als „merkwürdig“, als es in der konventionellen Analysis üblich ist, die hinreichende Bedingung[3)] für das Vorliegen eines lokalen Maximums einer Funktion (hier der Produktionsfunktion *pro*), die von zwei Variablen (hier vom Anstrengungsniveau *eff* und vom Lagerhaltungsniveau *inv*) abhängt, neben den o.a. Anforderungen an die ersten und zweiten partiellen Ableitungen dieser Definition mithilfe der Determinante der sogenannten HESSE-Matrix[4)] für die betrachtete Funktion zu definieren. Im Hinblick auf diese HESSE-Matrix sind der Minuend und der Subtrahend in der o.a. Formel (8) vertauscht. Daher wird in der hier vorgestellten Rekonstruktion des ADL-Modells die ursprüngliche Formel (8) für die Regularitätsbedingung durch die äquivalente[5)] Formel (9) ersetzt:[6)]

---

1) Die Bedingungen $\text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff,inv}) = 0$ und $\text{pro}_{\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) = 0$ hinsichtlich der ersten partiellen Ableitungen der Produktionsfunktion *pro*, die Anforderungen (5) und (7) an die zweiten partiellen Ableitungen der Produktionsfunktion *pro* und die nachfolgend angeführte Anforderung gemäß Formel (8) oder (9) stellen in ihrer Gesamtheit eine *hinreichende Bedingung* dafür dar, dass die Produktionsfunktion beim Anstrengungsniveau *eff** und beim Lagerhaltungsniveau *inv** ein lokales Maximum aufweist. Vgl. z.B. PAPULA (2006), S. 244.

2) Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 180; FANDEL/LORTH (2001), S. 282.

3) Vgl. dazu die Erläuterung in der Fußnote 1 auf dieser Seite.

4) Vgl. LUDERER/NOLLAU/VETTERS (2005), S. 83.

5) Die Äquivalenz der Formeln (8) oder (9) ergibt sich unmittelbar, wenn die Ungleichung aus Formel (8) auf beiden Seiten mit „-1“ multipliziert und alsdann lediglich die Reihenfolge der beiden „(…)“-Terme unter Berücksichtigung ihrer Vorzeichen auf der linken Ungleichungsseite vertauscht wird.

6) Vgl. zu dieser üblichen Definitionsweise im Rahmen der hinreichenden Bedingung für das Vorliegen eines lokalen Maximums LUDERER/NOLLAU/VETTERS (2005), S. 85; PAPULA (2006), S. 244.

$$\forall \, \text{eff}^* \in \text{EFF} \; \forall \, \text{inv}^* \in \text{INV}:$$

$$\left(\frac{\partial^2 \text{pro}(\text{eff}^*, \text{inv}^*)}{\partial \text{eff}^2} \bullet \frac{\partial^2 \text{pro}(\text{eff}^*, \text{inv}^*)}{\partial \text{inv}^2} \right) - \left(\frac{\partial^2 \text{pro}(\text{eff}^*, \text{inv}^*)}{\partial \text{eff} \; \partial \text{inv}} \right)^2 > 0 \qquad (9)$$

Eine vierte Auffälligkeit der Produktionsfunktion *pro* im ADL-Modell besteht darin, dass es keine Anforderung hinsichtlich der Kreuzableitung[1)] der Produktionsfunktion *pro* umfasst. Dies wird hier als charakteristische *Kreuzableitungsirrelevanz* des ADL-Modells bezeichnet. Stattdessen lassen ALLES, DATAR und LAMBERT alle denkmöglichen Fälle zu: sowohl $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) = 0$ als auch $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) \neq 0$ mit den beiden Unterfällen $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) > 0$ und $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) < 0$.[2)] Im Fall $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) = 0$ führt eine Veränderung des Lagerhaltungsniveaus *inv* zu keiner Veränderung des Grenzertrags $\text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff,inv})$ des Anstrengungsniveaus *eff* des Agenten.[3)] Folglich können im Fall $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) = 0$ das Lagerhaltungs- und das Anstrengungsniveau vom Prinzipal bzw. vom Agenten unabhängig voneinander variiert werden, ohne dass es zu Wechselwirkungen („Interferenzen“) in Bezug auf das jeweils bewirkte Produktionsergebnis pro(eff,inv) kommt. Im Fall $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) \neq 0$ beeinflussen sich dagegen das Lagerhaltungs- und das Anstrengungsniveau gegenseitig in Bezug auf das Produktionsergebnis. Für den Unterfall $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) > 0$ führt eine Vergrößerung (Verringerung) des Lagerhaltungsniveaus *inv* zu einer gleich gerichteten Vergrößerung (Verringerung) des Grenzertrags $\text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff,inv})$ des Anstrengungsniveaus *eff* des Agenten. Dagegen ist im Unterfall $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) < 0$ eine Vergrößerung (Verringerung) des Lagerhaltungsniveaus *inv* mit einer entgegengesetzt gerichteten Verringerung (Vergrößerung) des Grenzertrags $\text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff,inv})$ des Anstrengungsniveaus *eff* des Agenten gekoppelt.

Wie schon angedeutet, beruht das ADL-Modell auf einem genuin stochastischen Charakter der Produktionsprozesse des Produktionssystems. Diesem Sachverhalt wird die bislang verwendete, deterministische Produktionsfunktion *pro* jedoch noch nicht gerecht, weil sie nur das fiktive Produktionsergebnis pro(eff,inv) angibt, das aus einem gegebenen Anstrengungsniveau *eff* und einem ebenso gegebenen Lagerhaltungsniveau *inv* resultieren würde, wenn es – kontrafaktisch – keine Produktionsstörungen gäbe (deterministische Konzeptualisierungsstufe). Das ADL-Modell erweckt also zunächst den Anschein eines bewussten Konzeptualisierungsfehlers, weil mithilfe der deterministi-

---

1) Streng genommen sind jeweils die beiden Kreuzableitungen $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) = \partial^2\text{pro}(\text{eff,inv})/\partial\text{eff}\cdot\partial\text{inv}$ einerseits sowie $\text{pro}_{\partial\text{inv}.\partial\text{eff}}(\text{eff,inv}) = \partial^2\text{pro}(\text{eff,inv})/\partial\text{inv}\cdot\partial\text{eff}$ andererseits zu berücksichtigen. Bei allen Produktionsfunktionen, die hier betrachtet werden, fallen jedoch die beiden vorgenannten Kreuzableitungen identisch aus. Diese Identität der Kreuzableitungen gilt gemäß dem Theorem von SCHWARZ, falls die beiden Kreuzableitungen einer Funktion in Abhängigkeit von zwei Variablen in einer ε-Umgebung um jeden Punkt (eff,inv) jeweils stetig sind. Vgl. zu diesem Theorem LUDERER/NOLLAU/VETTERS (2005), S. 83; PAPULA (2006), S. 240 f. Von dieser Stetigkeit der beiden Kreuzableitungen $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv})$ und $\text{pro}_{\partial\text{inv}.\partial\text{eff}}(\text{eff,inv})$ der Produktionsfunktion *pro* wird im ADL-Modell offensichtlich implizit ausgegangen. Eine explizite Diskussion dieser Präsupposition in der einschlägigen Fachliteratur ist dem Verfasser bislang nicht bekannt geworden. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die Stetigkeit der beiden Kreuzableitungen der Produktionsfunktion als „sechste“ Anforderung an die Produktionsfunktion *pro* stets erfüllt ist. Daher reicht es bei allen Analysen des ADL-Modells aus, sich auf eine dieser beiden Kreuzableitungen zu fokussieren. Ohne Beschränkung der Allgemeingültigkeit wird hier – in Übereinstimmung mit ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 185 ff. – stets nur die erstgenannte Kreuzableitung $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv})$ verwendet. Die Berechtigung dieser Fokussierung wird im Folgenden erläutert, indem herausgearbeitet wird, dass Auswirkungen von Variationen des Lagerhaltungsniveaus auf den Grenzertrag des Anstrengungsniveaus im Rahmen der Just-in-Time-Produktionssteuerung von besonderem Interesse sind.

2) Darauf wird im Kapitel 3.2 mit konkreten Belegen noch detaillierter eingegangen. Vgl. auch FANDEL/LORTH (2001), S. 283.

3) In analoger Weise gilt, dass im Fall $\text{pro}_{\partial\text{inv}.\partial\text{eff}}(\text{eff,inv}) = 0$ eine Veränderung des Anstrengungsniveaus *eff* des Agenten keine Veränderung des Grenzertrags $\text{pro}_{\partial\text{inv}}(\text{eff,inv})$ des Lagerhaltungsniveaus *inv* hervorruft.

schen Produktionsfunktion *pro* der genuin stochastische Charakter der Produktionsprozesse des modellierten Produktionssystems nicht korrekt erfasst wird. Um diesen Konzeptualisierungsfehler nachträglich zu heilen, wird die deterministische Produktionsfunktion *pro* durch Ergänzung einer zufallsverteilten Störgröße ε in eine stochastische Outputfunktion *out* überführt (stochastische Konzeptualisierungsstufe).[1)] Diese Outputfunktion gibt an, welcher Output out(eff,inv,ε) an Endprodukten bei einem Input des Anstrengungsniveaus *eff* unter dem Einfluss des Lagerhaltungsniveaus *inv* tatsächlich zu erwarten ist, wenn mit Produktionsstörungen gerechnet wird, die durch eine Störgröße ε erfasst werden.

Für die Störgröße ε wird unterstellt, dass sie mit ihrer Dichtefunktion f(ε) einer Normalverteilung unterliegt, ihr Erwartungswert Null beträgt und ihre Standardabweichung – abweichend von einer standardisierten Normalverteilung – einen beliebig großen, vom jeweils modellierten Produktionssystem abhängigen Wert σ_ε mit $\sigma_\varepsilon \in \mathbb{R}_+$ anzunehmen vermag. Unter diesen Voraussetzungen gilt für den Erwartungswert E(ε) und die Varianz V(ε) der Störgröße ε mit $\varepsilon \in \mathbb{R}$:

$$E(\varepsilon) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon = 0 \tag{10}$$

$$\begin{aligned} V(\varepsilon) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\varepsilon - \underbrace{E(\varepsilon)}_{=0 \text{ gemäß Formel (10)}} \right]^2 \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} [\varepsilon - 0]^2 \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon = \int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon^2 \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon = \sigma_\varepsilon^{\,2} \end{aligned} \tag{11}$$

Hinzu kommt, dass für jede Dichtefunktion f(x) einer „Zufallsvariable" *x*, d.h. einer kontinuierlich ausgeprägten Beobachtungsgröße *x*, deren Ausprägungen von Zufallsereignissen abhängen, das Integral der Dichtefunktion über dem Definitionsbereich aller denkmöglichen Ausprägungen der Beobachtungsgröße auf den Wert Eins normiert ist.[2)] Daher gilt für die Störgröße ε als Zufallsvariable:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(\varepsilon)\, d\varepsilon = 1 \tag{12}$$

Ein unscheinbar wirkendes, aber hochproblematisches Detail des ADL-Modells besteht darin, dass die stochastische Outputfunktion *out* mittels einer *additiven Verknüpfung* zwischen dem fiktiven Produktionsergebnis pro(eff,inv) aufgrund der deterministischen Produktionsfunktion *pro* und der normalverteilten Störgröße ε definiert wird:[3)]

---

1) Die stochastische Outputfunktion *out* stellt ebenso wie die deterministische Produktionsfunktion *pro* eine Produktionsfunktion des ADL-Modells dar. Lediglich im Interesse einer leichteren Unterscheidbarkeit – sowohl auf der Ebene der verwendeten Symbole als auch hinsichtlich der benutzten Bezeichnungen – wird im Fall der Produktionsfunktion *out* von einer stochastischen Outputfunktion gesprochen. Wenn im Folgenden der Kürze halber auch nur von der Outputfunktion *out* die Rede ist, so ist damit stets die stochastische Outputfunktion *out* gemeint.

2) Vgl. PAPULA (2006), S. 402 und – speziell für die Gaußsche Normalverteilung – S. 410.

3) Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 183, Fußnote 6. Diese additive Verknüpfung zwischen einer Output- oder Ergebnisgröße einerseits und einer Störgröße andererseits stellt aber keine seltene Eigenart des ADL-Modells dar, sondern wird in der Prinzipal-Agent-Theorie häufig verwendet. Vgl. beispielsweise zur gleichartigen Verknüpfungsweise SPREMANN (1987a), S. 17, 27 u. 29; HOLMSTRÖM/MILGROM (1991), S. 29; PORTEUS/WHANG (1991), S. 1167; GIBBONS (1992), S. 79; WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 376; HOLMSTRÖM/MILGROM (1994), S. 976 u. 982; ITOH (1994), S. 693; GRAßHOFF/SCHWALBACH (1999), S. 438 u. 440; MENSCH (1999b), S. 937; KRAPP (2000), S. 31; GÖX/BUDDE/SCHÖNDUBE (2002), S. 68; MAYER/PFEIFFER (2004), S. 1051.

$$\begin{aligned} \text{out}: \ & \text{EFF} \times \text{INV} \times \mathbb{R} \ \mapsto \ \mathbb{R}_{\geq 0} \\ & (\text{eff}, \text{inv}, \varepsilon) \ \mapsto \ \text{out}(\text{eff}, \text{inv}, \varepsilon) = \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) + \varepsilon \end{aligned} \tag{13}$$

Auf die Probleme, die aus dieser additiven Einbeziehung der Störgröße *ε* resultieren können, wird später zurückgekommen. An dieser Stelle werden zunächst „nur" kurz die Konsequenzen dargestellt, die aus den Formeln (10) bis (13) für den Erwartungswert E(out) der stochastischen Outputfunktion *out* bei gegebenem Anstrengungsniveau *eff* und ebenso gegebenem Lagerhaltungsniveau *inv* sowie für die Varianz V(out) der stochastischen Outputfunktion *out* resultieren:[1)]

$$\begin{aligned} \text{E}(\text{out}) &= \text{E}(\text{out}(\text{eff}, \text{inv}, \varepsilon)) \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} (\text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) + \varepsilon) \bullet \text{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} (\text{pro}(\text{eff}, \text{inv})) \bullet \text{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon \ + \ \int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon \bullet \text{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon \\ &= \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) \bullet \underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} \text{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon}_{=1 \text{ gemäß Formel (12)}} \ + \ \underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon \bullet \text{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon}_{=0 \text{ gemäß Formel (10)}} \\ &= \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) \bullet 1 + 0 = \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned} \text{V}(\text{out}) &= \text{V}(\text{out}(\text{eff}, \text{inv}, \varepsilon)) \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\left(\underbrace{\text{out}(\text{eff}, \text{inv}, \varepsilon)}_{\text{Formel (13)}} - \underbrace{\text{E}(\text{out}(\text{eff}, \text{inv}, \varepsilon))}_{\text{Formel (14)}} \right) \right]^2 \bullet \text{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \left[(\text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) + \varepsilon) - \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) \right]^2 \bullet \text{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon \\ &= \underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon^2 \bullet \text{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon}_{\text{Formel (11)}} = \text{V}(\varepsilon) = \sigma_\varepsilon^{\ 2} \end{aligned} \tag{15}$$

(15)[2)]

---

1) Die zugrunde liegenden Ableitungszusammenhänge sind im Grunde genommen „trivialer" Natur, weil sie nur in der Anwendung bekannter stochastischer Formeltransformationen bestehen. Sie werden hier nur einmal etwas ausführlicher unter Angabe entsprechender Referenzliteratur für solche Leser angeführt, welche die Ableitungszusammenhänge im Detail nachvollziehen möchten, ohne mit dem vielfach üblichen, aber wenig hilfreichen Hinweis „abgespiesen" zu werden, dass die Formelableitungen „obvious", „trivial", „unmittelbar einsichtig" o.ä. seien. In späteren Fällen wird dagegen auf die Formelableitungen weniger ausführlich eingegangen, um sich nicht dem Vorwurf auszusetzen, mit „Trivialitäten" das Volumen des hier vorgelegten Beitrags „aufzublähen".

2) Die Formel (15) lässt sich in alternativer Weise auch dadurch ableiten, dass auf allgemeine Transformationsbeziehungen für lineare Funktionen einer Zufallsvariable zurückgegriffen wird; vgl. z.B. BLEYMÜLLER/GEHLERT/GÜLICHER (2000), S. 43. Demnach gilt für jede lineare Funktion g(x) einer Zufallsvariable *x* mit einem absoluten Glied *c* – also für g(x) = x+c – für die Varianz V(g(x)) der Funktion g(x) bei vorgegebener Varianz V(x) der Zufallsvariable *x*: V(g(x)) = V(x). Mit x = ε, c = pro(eff,inv), V(ε) = σ_ε^2 und g(ε) = ε + pro(eff,inv) folgt daraus: V(g(ε)) = V(ε + pro(eff,inv)) = V(ε) = σ_ε^2; q.e.d.

Die Formel (14) stellt einen „guten Grund“ dafür dar, dass es im ADL-Modell auf der o.a. deterministischen Konzeptualisierungsstufe durchaus gerechtfertigt ist, mit dem fiktiven Produktionsergebnis pro(eff,inv) zu argumentieren. Denn das Produktionsergebnis pro(eff,inv) stellt den Erwartungswert der stochastischen Outputfunktion *out* für jedes Anstrengungsniveau *eff* und jedes Lagerhaltungsniveau *inv* dar. Dieser Erwartungswert besitzt die Qualität eines deterministischen „Ersatzwerts“ für die „an sich“ stochastische Outputfunktion *out*, der immer dann angemessen ist, wenn es nicht um ein einzelnes, zufallabhängiges Ereignis im Produktionssystem geht, sondern um den Erwartungswert einer „großen Anzahl“ solcher zufallabhängiger Ereignisse.

Die Formel (15) zeigt, dass es zulässig ist, die Varianz V(out) der stochastischen Outputfunktion *out* mit der Varianz V(ε) der Störgröße *ε* gleichzusetzen. Dies erleichtert die nachfolgenden Formeltransformationen im ADL-Modell erheblich. Nur am Rande sei angemerkt, dass diese Transformationserleichterungen ein Grund dafür gewesen sein mögen, dass ALLES, DATAR und LAMBERT in ihrem Modell die Störgröße *ε* gemäß Formel (13) auf additive Weise einbezogen haben (obwohl dies zu hochproblematischen Folgen führen kann). Da ALLES, DATAR und LAMBERT ihre Auswahlentscheidung zugunsten der additiven Verknüpfung der Störgröße *ε* nicht erläutert haben, kann über ihre „wahren“ Motive jedoch nur spekuliert werden. Daher wird der voranstehend geäußerte Gedanke nicht weiter vertieft.

2.2.2 Finanzwirtschaftliche Modellkomponenten

2.2.2.1 Überblick

Zuvor wurde die „realwirtschaftliche“ oder rein mengenmäßige Seite des Entscheidungskalküls des Prinzipals erläutert. Sie stützte sich auf die deterministische Produktionsfunktion *pro*, die Störgröße *ε* und die aus beiden vorgenannten Einflussgrößen aufgebaute stochastische Outputfunktion *out*. Die folgenden Ausführungen wenden sich der „finanzwirtschaftlichen“ oder monetären Seite des Entscheidungskalküls des Prinzipals zu.

In Übereinstimmung mit den impliziten Prämissen (Präsuppositionen) des ADL-Modells wird davon ausgegangen, dass sämtliche erfassten Kosten unmittelbar auszahlungswirksam sind. Daher braucht zwischen Kosten und Auszahlungen[1)] nicht weiter unterschieden zu werden, sondern sie lassen sich als Synonyme behandeln. Dem ADL-Modell liegt also aus betriebswirtschaftlicher Perspektive ein rein pagatorischer Kostenbegriff zugrunde. „Wertmäßige“ Kosten, die zwar einen bewerteten Güterverzehr darstellen, aber nicht unmittelbar mit gleich großen Kosten verknüpft sind (wie z.B. der kalkulatorische Unternehmerlohn), finden dagegen keine Berücksichtigung.

Darüber hinaus wird vorausgesetzt, dass sich sowohl der Nutzen des Prinzipals als auch der Nutzen des Agenten unmittelbar in Geldeinheiten ausdrücken lassen und somit monetär erfasst werden können. Hierin liegt eine wesentliche Vereinfachung nicht nur des ADL-Modells im Besonderen, sondern der Prinzipal-Agent-Theorie im Allgemeinen,[2)] weil von allen nicht-monetären Nutzenvor-

1) Auszahlungen werden im Folgenden der Kürze halber und in Übereinstimmung mit Usancen der Fachliteratur zur Prinzipal-Agent-Theorie auch nur als „Zahlungen“ bezeichnet.

2) Allerdings räumte ARROW (1985), S. 50, schon frühzeitig ein, dass die Prinzipal-Agent-Theorie wegen ihrer Fokussierung auf rein monetäre Belohnungs- und Bestrafungsinstrumente zu weit von der ökonomischen Realität entfernt sei. Seiner Ansicht nach solle die Prinzipal-Agent-Theorie so erweitert werden, dass sie auch in der Lage ist, ethisch-soziale Aspekte von Belohnungs- und Bestrafungshandlungen zu berücksichtigen.

stellungen abstrahiert wird.[1)] Solche Nutzenvorstellungen können z.B. von intrinsischen Motiven[2)] gespeist oder auch von sozialen Neid- oder Fairnessempfindungen[3)] geprägt sein. Allerdings werden – im Gegensatz zu den synonym behandelten Kosten und Auszahlungen – Nutzenbeiträge nicht mit Einzahlungen gleichgesetzt. Vielmehr wirken sich zwar Einzahlungen auf den Nutzen von Prinzipal und Agent aus, aber ihr Nutzen wird auch von anderen Größen bestimmt, die nicht unmittelbar Einzahlungen darstellen. Aber diese zusätzlichen Größen ändern nichts daran, dass der insgesamt resultierende Nutzen stets monetär erfasst wird.

2.2.2.2 Kosten- und Zahlungsaspekte

Die Kosten des Prinzipals setzen sich im ADL-Modell aus zwei Komponenten zusammen. Es handelt sich einerseits um die Arbeitskosten, die dem Prinzipal für die Beschäftigung des Agenten aufgrund eines Arbeitsvertrags entstehen, und andererseits um die Lagerhaltungskosten einschließlich Kapitalbindungskosten, die der Prinzipal aufgrund seiner Festlegung für ein Lagerhaltungsniveau *inv* zu tragen hat. Während die vertragsbedingten Arbeitskosten zu jeder Variante der Prinzipal-Agent-Theorie als Standard-Komponente gehören, stellen die Lagerhaltungskosten ein Spezifikum des ADL-Modells dar. Denn die Lagerhaltungskosten beziehen sich auf das besondere Anliegen des Konzepts der Just-in-Time-Produktionssteuerung, Produktionsprozesse mit einer möglichst geringen Lagerhaltung – bis hin zur idealtypischen Vorstellung einer „lagerlosen" Produktion – zu realisieren.

Hinsichtlich der Arbeitskosten wird im ADL-Modell in Anlehnung an die Analysen von HOLMSTRÖM[4)] und MILGROM – wie in allen Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie vom Typ der LEN-Modelle – davon ausgegangen, dass die zulässigen Zahlungsregeln stets *lineare* Zahlungsfunktionen darstellen.[5)] Eine solche Zahlungsregel wird in einem Arbeitsvertrag („Kontrakt") zwischen dem Prinzipal und dem Agenten vereinbart, um den Agenten für das Arbeitsleid zu kompensieren

---

1) Vgl. FREY/OSTERLOH/BENZ (2001), S. 563 ff. u. 577 (zur Verdrängung – „crowding-out" – intrinsischer Motivation durch extrinsische Anreize, wie z.B. ein leistungsabhängiges Arbeitsentgelt); MAYER/PFEIFFER (2004), S. 1049 (zur Abstrahierung von Sozialpräferenzen). Einen sehr interessanten Ansatz, Sozialpräferenzen in ein LEN-Modell der Prinzipal-Agent-Theorie zu integrieren, haben MAYER/PFEIFFER (2004), S. 1051 ff., vorgestellt.

2) Vgl. zur realen betriebswirtschaftlichen Bedeutung von intrinsischer Arbeitsmotivation FREY/OSTERLOH/BENZ (2001), S. 563 f. u. 567 f.

3) Vgl. zur realen betriebswirtschaftlichen Bedeutung von Sozialpräferenzen, die sich oftmals in Neid- oder Fairnessempfindungen manifestieren, MAYER/PFEIFFER (2004), S. 1048 ff. u. 1069 (mit unmittelbarem Bezug zur Prinzipal-Agent-Theorie), daneben auch GINTIS (2000), S. 251 f., 258 ff. u. 261 ff. (vor allem mit Bezug auf die Konzepte des Homo egualis und des Homo reciprocans als sozial-orientierte Gegenentwürfe zum Konzept des rein selbstinteressierten Homo oeconomicus), insbesondere S. 259 mit einem konkreten Beispiel für eine Nutzenfunktion mit sozialen Präferenzkomponenten, sowie WRIGHT/MUKHERJI/KROLL (2001), S. 419 f.

4) Die Schreibweise des Namens des Autors variiert in der einschlägigen Fachliteratur zwischen den Alternativen „HOLMSTRÖM" und „HOLMSTROM". In diesem Beitrag wird der Schreibweise „HOLMSTRÖM" gefolgt, die sich z.B. auch findet in: ITOH (1991), S. 619 u. 635; HEMMER (1995), S. 205, 207, 211 u. 213; HOLMSTRÖM (1999), S. 101; JOST (2001a), S. 623.

5) Vgl. HOLMSTRÖM/MILGROM (1987), insbesondere S. 315 f., 320 ff., 323 f. u. 325 f.; HOLMSTRÖM/MILGROM (1991), insbesondere S. 29 u. 34; HOLMSTRÖM/MILGROM (1994), insbesondere S. 974 f. Die enge Anlehnung des ADL-Modells an das „lineare" HOLMSTRÖM/MILGROM-Modell wird von ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 184, Fußnote 8, selbst sowie auch von HEMMER (1995), S. 205 u. 211, betont. Vgl. auch die subtile Rechtfertigung der Linearität von Zahlungsfunktionen in LEN-Modellen durch WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 382 ff., bei der sich die beiden Autoren im Abschnitt II explizit auf die Analysen von HOLMSTRÖM und MILGROM als Rechtfertigungsbasis berufen.

(zu „entschädigen"), das ihm angesichts seiner oben vorausgesetzten Arbeitsscheu durch seine Tätigkeit zugunsten des Prinzipals entsteht. Im ADL-Modell wird in Übereinstimmung mit den meisten Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie davon ausgegangen, dass sich diese kompensatorische Zahlungsregel durch eine Zahlungsfunktion $ak_{fix.sha}$ für die Arbeitskosten ausdrücken lässt, die den nachfolgend skizzierten Voraussetzungen gerecht wird.

Die Zahlungsfunktion $ak_{fix.sha}$ legt fest, welche Zahlung („Entgelt") der Prinzipal an seinen Agenten leistet. Da es sich im ADL-Modell um eine lineare Zahlungsfunktion handelt, kann sie nicht ausschließlich aus einem fixen Zahlungsbetrag bestehen, sondern muss auch eine variable Komponente umfassen, die sich proportional zu einer Bemessungsgröße verändert. Diese Bemessungsgröße muss zwei Voraussetzungen erfüllen. Einerseits soll sie „irgendwie" mit dem Arbeitseinsatz des Agenten zusammenhängen, weil in den meisten Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie die Zahlungsregel des Arbeitsvertrags – hier konkretisiert durch die Zahlungsfunktion $ak_{fix.sha}$ – ein zentrales Anreizinstrument darstellt. Es soll den Agenten mithilfe eines monetären und somit extrinsischen Anreizes dazu motivieren, so zu arbeiten, dass die wirtschaftlichen Ziele des Prinzipals bestmöglich erfüllt werden. Andererseits ist es erforderlich, dass sich die realisierten Ausprägungen der Bemessungsgröße für die variable Komponente der Zahlungsfunktion vom Prinzipal unmittelbar beobachten lassen. Denn der Prinzipal wird es in der betrieblichen Praxis gewöhnlich ablehnen, die variable Komponente seiner Zahlungen an den Agenten nach einer Bemessungsgröße zu richten, die er – der Prinzipal – nicht zu beobachten und somit in Zweifels- oder Streitfällen auch zu überprüfen vermag.

Das Anstrengungsniveau *eff* des Agenten erfüllt zwar die erste der beiden vorgenannten Voraussetzungen, weil es sich unmittelbar auf den Arbeitseinsatz des Agenten bezieht. Aber das Anstrengungsniveau verletzt die zweite Voraussetzung. Denn im ADL-Modell werden postkontraktuelle Prinzipal-Agenten-Probleme vom Hidden-Action-Typ analysiert, die sich dadurch auszeichnen, dass sich das tatsächliche Verhalten des Agenten („action") vom Prinzipal nicht unmittelbar beobachten lässt („hidden"). Folglich bleibt dem Prinzipal das Anstrengungsniveau *eff* des Agenten im Dunkeln. Daher eignet sich dieses Anstrengungsniveau nicht als Bemessungsgröße für die variable Komponente der Zahlungsfunktion.

Die einzige Einflussgröße des ADL-Modells, die den o.a. zwei Voraussetzungen an eine Bemessungsgröße für die variable Komponente der Zahlungsfunktion gerecht wird, stellt der Output out(eff,inv,ε) dar, der aus einem Anstrengungsniveau *eff* des Agenten und einem Lagerhaltungsniveau *inv* im Produktionssystem unter Einfluss einer Störgröße ε resultiert. Dieser Output hängt über das Anstrengungsniveau *eff* des Agenten mit dessen Arbeitseinsatz zusammen und lässt sich zugleich vom Prinzipal direkt beobachten. Dabei wird berücksichtigt, dass der Prinzipal, der das Lagerhaltungsniveau *inv* selbst festgelegt hat, vom beobachteten Output out(eff,inv,ε) aufgrund der Störgröße ε nicht auf das tatsächliche Anstrengungsniveau *eff* seines Agenten zurückschließen kann. Daher bezieht sich die Zahlungsfunktion $ak_{fix.sha}$ nicht unmittelbar auf das Anstrengungsniveau *eff* des Agenten, das vom Prinzipal nicht unmittelbar beobachtet werden kann, sondern nur auf den unmittelbar beobachtbaren Output out(eff,inv,ε), der aus dem Arbeitseinsatz des Agenten resultiert. Auf diese Weise wird die Möglichkeit von „hidden actions" des Agenten und daraus folgender postkontraktueller Probleme des „moral hazard" von vornherein in die Zahlungsfunktion $ak_{fix.sha}$ des ADL-Modells integriert.

Der Output out(eff,inv,ε), der mittels der stochastischen Produktionsfunktion *out* ermittelt wird, spielt in dreifacher Hinsicht eine wichtige Rolle innerhalb des ADL-Modells. Erstens handelt es sich beim Output out(eff,inv,ε) um die einzige Einflussgröße, die über Produktionsprozesse im Produktionssystem informiert und sich vom Prinzipal unmittelbar beobachten lässt. Daher übt der Output out(eff,inv,ε) eine zentrale Informationsfunktion aus. Zweitens stellt der Output out(eff,inv,ε) eine Nahtstelle zwischen dem Agenten und dem Prinzipal dar, da er zwischen dem Anstrengungsniveau des Agenten auf der einen Seite und den Zahlungen des Prinzipals an den Agenten auf der anderen Seite vermittelt. Drittens vermittelt der Output out(eff,inv,ε) als Bemessungsgröße für die Zahlungsfunktion $ak_{fix.sha}$ zwischen der „realwirtschaftlichen“ Betrachtungsweise eines Produktionssystems, die nur auf reine Mengengrößen Bezug nimmt, und den „finanzwirtschaftlichen“ Perspektiven von Prinzipal und Agent, die beide daran interessiert sind, einen möglichst großen, jeweils monetär bemessenen Nutzen aus ihrer Beteiligung an der Nutzung eines Produktionssystems zu ziehen.

Unter den vorgenannten Voraussetzungen ergibt sich für jede zulässige Zahlungsregel zur Erfassung der Arbeitskosten des Prinzipals eine Zahlungsfunktion[1)] $ak_{fix.sha}$ mit folgenden charakteristischen Eigenschaften. Die Zahlungsfunktion besteht einerseits aus einer konstanten, nicht-negativen Entgeltkomponente *fix* mit fix ≥ 0 und andererseits aus einer variablen Entgeltkomponente. Beide Entgeltkomponenten werden auf additive Weise miteinander verknüpft (*additive* Zahlungsfunktion)[2)] und jeweils in der Dimension [GE] erfasst. Die variable Entgeltkomponente setzt sich aus zwei Subkomponenten zusammen. Erstens handelt es sich um den konstanten und positiven Propor-

---

1) Im Folgenden wird der Kürze halber eine Zahlungsfunktion für eine zulässige Zahlungsregel auch als zulässige Zahlungsfunktion bezeichnet.

2) ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 184, verwenden dagegen – in die Notation des hier vorgelegten Beitrags übersetzt (d.h. out(eff,inv,ε) = x, $ak_{fix.sha}$(out(eff,inv,ε)) = s(x), sha = γ und fix = β) – eine abweichende *subtraktive* Zahlungsfunktion: $ak'_{fix.sha}$(out(eff,inv,ε)) = sha•out(eff,inv,ε) - fix . Im hier vorgelegten Beitrag wird diese abweichende Zahlungsfunktion $ak'_{fix.sha}$(out(eff,inv,ε)) jedoch nicht verwendet, weil sie sich wegen der *Subtraktion* der fixen Entgeltkomponente *fix* aus ökonomischer Perspektive als problematisch erweist. Sofern ALLES, DATAR und LAMBERT der Konvention $fix \in \mathbb{R}_{\geq 0}$ folgen (sie äußern sich nicht explizit dazu), bedeutet die Subtraktion der fixen Entgeltkomponente *fix*, dass bei „hinreichend“ kleinen Werten für den Proportionalitätsfaktor *sha* oder für den Output out(eff,inv,ε) das Arbeitsentgelt des Agenten negativ werden kann: $ak'_{fix.sha}$(out(eff,inv,ε)) < 0. Ein solches negatives Arbeitsentgelt ist jedoch in der betrieblichen Realität – wenn vom Sonderfall von „Strafzahlungen“ für Verletzungen von Arbeitspflichten o.ä. abgesehen wird – nicht anzutreffen. Auch die Prinzipal-Agent-Theorie befasst sich nach Kenntnis des Verfassers nicht mit Arbeitsverträgen, die für einen Agenten das Risiko eines negativen Arbeitsentgelts, also einer Bestrafung anstatt eines Anreizes für seinen Arbeitseinsatz in sich bergen. Daher wird die abweichende Zahlungsfunktion $ak'_{fix.sha}$(out(eff,inv,ε)) von ALLES, DATAR und LAMBERT nicht weiter berücksichtigt.
Vermutlich beruht die „subtraktive“ Zahlungsfunktion $ak'_{fix.sha}$(out(eff,inv,ε)) = sha•out(eff,inv,ε) - fix bei ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 197, auf einem Konzeptualisierungsfehler. Zahlungsfunktionen der voranstehenden Art mit einer Subtraktion der fixen Entgeltkomponente *fix* existieren in der Prinzipal-Agent-Theorie durchaus. Vgl. SPREMANN (1987a), S. 18; KRAPP (2000), S. 32. Sie beziehen sich dort aber in er Regel auf den Fall, dass sich der *Agent risikoneutral* verhält. Vgl. z.B. DEMOUGIN/JOST (2001), S. 53 (bei asymmetrischer Information und einem risikoneutralen Prinzipal) sowie S. 64; ALPARSLAN (2006), S. 68 (bei symmetrischer Information und einem risikoaversen Prinzipal). Dagegen wird im hier betrachteten ADL-Modell vom „entgegengesetzten“ Fall (Risikofreude wird in der Prinzipal-Agent-Theorie nach Wissen des Verfassers nicht ernsthaft thematisiert) ausgegangen, dass sich der Agent risikoavers verhält (bei Informationsasymmetrie und einem risikoneutralen Prinzipal). Für den Fall eines risikoneutralen Prinzipals und eines risikoaversen Agenten erweist sich die „subtraktive“ Zahlungsfunktion $ak'_{fix.sha}$(out(eff,inv,ε)) = sha•out(eff,inv,ε) - fix nicht mehr als Bestandteil einer optimalen Zahlungsregel. Vielmehr sind für diesen Fall, sofern zusätzlich eine Informationsasymmetrie zwischen Prinzipal und Agent herrscht, in LEN-Modellen solche Zahlungsfunktionen optimal, die sowohl aus einer nicht-negativen fixen Entgeltkomponente *fix* mit fix ≥ 0 als auch aus einer variablen Entgeltkomponente bestehen, die mit dem Anstrengungsniveau *eff* des Agenten streng monoton ansteigt (sha > 0). Diese Anforderungen – nicht-negative fixe Entgeltkomponente *fix* und variable Entgeltkomponente, die mit dem Anstrengungsniveau *eff* des Agenten streng monoton ansteigt, – erfüllt die o.a. „additive“ Zahlungsfunktion gemäß Formel (16) mit $ak_{fix.sha}$(out(eff,inv,ε)) = fix + sha•out(eff,inv,ε), fix ≥ 0 und sha > 0.
Darüber hinaus kann über die Zulässigkeit des Werts 0 für die fixe und die variable Entgeltkomponente *fix* bzw. *sha* gestritten werden. In diesem Beitrag wird davon ausgegangen, dass die fixe Entgeltkomponente im Grenzfall auch den Wert 0 annehmen, also entfallen darf (fix ≥ 0), während die variable Entgeltkomponente immer existiert (sha > 0). Vgl. zur gleichen Festlegung z.B. PETERS (2008), S. 328. Dagegen lässt ALPARSLAN (2006), S. 178 (in Verbindung mit S. 174), als Grenzfall auch zu, dass die variable Entgeltkomponente entfällt (sha ≥ 0).

tionalitätsfaktor *sha* mit $0 < \text{sha} \leq 1$ in der Dimension [GE/ME], der den zahlungswirksamen Anteil des Outputs out(eff,inv,ε) festlegt. Folglich verläuft die Zahlungsfunktion im Hinblick auf den Output out(eff,inv,ε) linear (*lineare* Zahlungsfunktion). Zweitens fließt der Output out(eff,inv,ε) in der Dimension [ME] ein, der beim vom Prinzipal festgelegten Lagerhaltungsniveau *inv* aus dem vom Prinzipal nicht unmittelbar beobachtbaren Anstrengungsniveau *eff* des Agenten unter Einfluss der Störgröße *ε* resultiert. Es gilt also für jede zulässige Zahlungsfunktion $ak_{fix.sha}$:[1)]

$$\forall\, \text{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall\, \text{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]}:\quad \text{ak}_{\text{fix.sha}}\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon)\big) \;=\; \text{fix} + \text{sha} \bullet \text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon) \qquad (16)$$

Das Entgelt $\text{ak}_{\text{fix.sha}}$(out(eff,inv,ε)) des Agenten wächst streng monoton mit seinem Anstrengungsniveau *eff* an.[2)] Denn es gilt:

$$\begin{aligned}
&\forall\, \text{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall\, \text{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]}:\quad \frac{\partial\, \text{ak}_{\text{fix.sha}}\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon)\big)}{\partial\, \text{eff}} \\
&= \frac{\partial(\text{fix} + \text{sha} \bullet \text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon))}{\partial\, \text{eff}} \\
&= \frac{\partial\, \text{fix}}{\partial\, \text{eff}} + \text{sha} \bullet \frac{\partial\, \text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon)}{\partial\, \text{eff}} && // \quad \text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon) = \text{pro}(\text{eff},\text{inv}) + \varepsilon \\
&= \frac{\partial\, \text{fix}}{\partial\, \text{eff}} + \text{sha} \bullet \frac{\partial\, \text{pro}(\text{eff},\text{inv})}{\partial\, \text{eff}} + \frac{\partial\, \varepsilon}{\partial\, \text{eff}} && 17) \\
&= 0 + \text{sha} \bullet \frac{\partial\, \text{pro}(\text{eff},\text{inv})}{\partial\, \text{eff}} + 0 \\
&= \text{sha} \bullet \frac{\partial\, \text{pro}(\text{eff},\text{inv})}{\partial\, \text{eff}} && // \quad \text{sha} > 0 \text{ und } \frac{\partial\, \text{pro}(\text{eff},\text{inv})}{\partial\, \text{eff}} > 0 \\
&> 0
\end{aligned}$$

1) Vgl. zu einer gleichartigen „additiven" Zahlungsfunktion z.B. HOLMSTRÖM/MILGROM (1987), S. 232 f., sowie – speziell für LEN-Modelle – SPREMANN (1987a), S. 17 f.; WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 375 (allerdings mit einer Kritik an der Linearität der Zahlungsfunktion auf S. 377 ff. und entsprechenden Modifizierungsvorschlägen auf S. 382 ff.); GRAßHOFF/SCHWALBACH (1999), S. 438 f.; HOLMSTRÖM (1999), S. 91 f.; MENSCH (1999b), S. 937 f.; KRAPP (2000), S. 32; GÖX/BUDDE/SCHÖNDUBE (2002), S. 68; MAYER/PFEIFFER (2004), S. 1055; ALPARSLAN (2006), S. 173 ff. u. 177 f.; PETERS (2008), S. 328 f.

2) Vgl. zum Aspekt des streng monotonen Ansteigens ALPARSLAN (2006), S. 83 f., allerdings nicht speziell in Bezug auf LEN-Modelle, sondern unter wesentlich allgemeineren Voraussetzungen.

Der Erwartungswert der Arbeitskosten, die dem Prinzipal durch seine Entgeltzahlungen an den Agenten entstehen, beträgt:

$$\begin{aligned}
&\forall\, \mathrm{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall\, \mathrm{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]}:\quad E\Big(\mathrm{ak}_{\mathrm{fix.sha}}\big(\mathrm{out}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon)\big)\Big)\\
&= \int_{-\infty}^{+\infty} \big(\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon)\big) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \qquad // \ \mathrm{out}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon) = \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) + \varepsilon\\
&= \int_{-\infty}^{+\infty} \Big(\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \big(\mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) + \varepsilon\big)\Big) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon\\
&= \int_{-\infty}^{+\infty} \mathrm{fix} \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon + \int_{-\infty}^{+\infty} \big(\mathrm{sha} \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})\big) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon + \int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \qquad (18)\\
&= \mathrm{fix} \bullet \underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} f(\varepsilon)\, d\varepsilon}_{=1 \text{ gemäß Formel (12)}} + \big(\mathrm{sha} \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})\big) \bullet \underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} f(\varepsilon)\, d\varepsilon}_{=1 \text{ gemäß Formel (12)}} + \underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon}_{=0 \text{ gemäß Formel (10)}}\\
&= \mathrm{fix} \bullet 1 + \big(\mathrm{sha} \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})\big) \bullet 1 + 0\\
&= \mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})
\end{aligned}$$

Die Lagerhaltungskosten, die dem Prinzipal bei einer Just-in-Time-Produktionssteuerung für die Festlegung eines Lagerhaltungsniveaus *inv* entstehen, werden im ADL-Modell als eine abermals lineare Funktion lk(inv) erfasst. Für diese Funktion gilt mithilfe eines konstanten Lagerhaltungskostensatzes *lks* je eingelagerter Gütereinheit mit $\mathrm{lks} \in \mathbb{R}_+$:

$$\begin{aligned}
\mathrm{lk}:\ & \mathrm{INV} \mapsto \mathbb{R}_{\geq 0}\\
& \mathrm{inv} \mapsto \mathrm{lk}(\mathrm{inv}) = \mathrm{lks} \bullet \mathrm{inv}
\end{aligned} \qquad (19)$$

2.2.2.3 Nutzenaspekte

Der Nutzen $\mathrm{ut}_{\mathrm{pr}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon)$, den der Prinzipal aus seinem Arbeitsvertrag mit dem Agenten zieht, besteht als Nettonutzen aus zwei Komponenten. Es handelt sich einerseits um den nutzenmehrenden Output out(eff,inv,ε), der aus dem Arbeitseinsatz des Agenten resultiert, vom Prinzipal unmittelbar beobachtet werden kann und sich vom Prinzipal am Absatzmarkt in der Gestalt von Absatzerlösen ökonomisch verwerten lässt. Andererseits hängt der Nettonutzen auch von den nutzenmindernden Arbeitskosten $\mathrm{ak}_{\mathrm{fix.sha}}(\mathrm{out}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon))$ und den ebenso nutzenmindernden Lagerhaltungskosten lk(inv) ab, die dem Prinzipal für die Entgeltzahlungen an den Agenten bzw. für die Lagerung von Gütern entstehen.

Ein Problem des ADL-Modells besteht darin, dass der nutzenmehrende Output out(eff,inv,ε) zunächst in der Dimension [ME] zu messen ist, während die nutzenmindernden Arbeits- und Lagerhaltungskosten $\mathrm{ak}_{\mathrm{fix.sha}}(\mathrm{out}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon))$ bzw. lk(inv) in der Dimension [GE] erfasst werden. Daher lassen sich der Output und die Kosten nicht unmittelbar zu einem Nettonutzen aggregieren. Stattdessen wird im ADL-Modell die zusätzliche Prämisse gesetzt, dass der Preis (Absatzerlös) je Outputeinheit genau 1 GE beträgt.[1)] Dies stellt eine erhebliche Vereinfachung gegenüber der Realität

1) Vgl. FANDEL/LORTH (2001), S. 326 (dort als Vermutung artikuliert).

dar. Sie lässt sich so lange tolerieren, wie – in Übereinstimmung mit dem ADL-Modell – nur Produktionssysteme betrachtet werden, in denen genau eine Güterart als Output hergestellt wird. Dies entspricht dem o.a. „minimalistischen" mikroökonomischen Konzept eines Einproduktunternehmens. In solchen simplen Produktionssystemen werden die später vorgestellten Ergebnisse der Modellanalyse nicht dadurch beeinflusst, wie hoch der Preis (Absatzerlös) je Outputeinheit tatsächlich ausfällt. Sobald jedoch auf Produktionssysteme übergegangen wird, in denen mehrere Güterarten als Outputs hergestellt werden, lässt sich an der o.a. Prämisse, dass der Preis je Outputeinheit genau 1 GE beträgt, im Allgemeinen nicht mehr festhalten (sofern nicht alle hergestellten Güterarten zufällig denselben Absatzpreis pro Stück besitzen).

Wenn von der vereinfachenden Prämisse ausgegangen wird, dass für den Fall der Ein-Güter-Produktion der Preis (Absatzerlös) je Outputeinheit genau 1 GE beträgt, lassen sich der Output out(eff,inv,ε) ebenso wie die Arbeits- und Lagerhaltungskosten in der Dimension [GE] messen. Dann gilt für den (Netto-) Nutzen ut_{pr}(eff,inv,fix,sha,ε), den der Prinzipal aus seinem Arbeitsvertrag mit dem Agenten zieht:

$$\mathrm{ut}_{\mathrm{pr}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon) = \mathrm{out}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon) - \Big(\mathrm{ak}_{\mathrm{fix.sha}}\big(\mathrm{out}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon)\big) + \mathrm{lk}(\mathrm{inv})\Big) \qquad (20)$$

Unter Berücksichtigung der Formeln (13), (16) und (19) folgt daraus für die Nutzenfunktion ut_{pr} des Prinzipals:

$$\begin{aligned} & \mathrm{ut}_{\mathrm{pr}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon) \\ = \; & \big(\mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) + \varepsilon\big) - \Big(\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \big(\mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) + \varepsilon\big)\Big) - \mathrm{lks} \bullet \mathrm{inv} \end{aligned} \qquad (21)$$

Zusätzlich wird im ADL-Modell unterstellt, dass sich der Prinzipal *risikoneutral* verhält. Die Risikoneutralität eines Entscheidungsträgers wird im Konzept der BERNOULLI-Nutzenfunktionen durch *lineare* Risikonutzenfunktionen ausgedrückt, die proportional zu einer „gewöhnlichen" Nutzenfunktion ohne Berücksichtigung des Risikoaspekts verlaufen. Im einfachsten Fall fällt die Risikonutzenfunktion mit der „gewöhnlichen" Nutzenfunktion unmittelbar zusammen. Dieser einfachste Fall scheint dem ADL-Modell zugrunde zu liegen, weil dort zwischen der Nutzenfunktion ut_{pr} des Prinzipals gemäß Formel (21) und seiner Risikonutzenfunktion rut_{pr} nicht explizit unterschieden wird. Daher wird im Folgenden der Einfachheit halber von der Identität beider Funktionen ausgegangen, sodass für die Risikonutzenfunktion rut_{pr} des Prinzipals gilt:

$$\begin{aligned} & \mathrm{rut}_{\mathrm{pr}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon) = \mathrm{ut}_{\mathrm{pr}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon) \\ \Rightarrow \; & \mathrm{rut}_{\mathrm{pr}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon) = \big(\mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) + \varepsilon\big) - \Big(\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \big(\mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) + \varepsilon\big)\Big) - \mathrm{lks} \bullet \mathrm{inv} \end{aligned} \qquad (22)$$

Unter diesen Voraussetzungen lässt sich der Erwartungsnutzen Eut_{pr}(eff,inv,fix,sha) des Prinzipals für ein Anstrengungsniveau *eff* des Agenten und ein vom Prinzipal selbst bestimmtes Lagerhaltungsniveau *inv* durch eine Erwartungsnutzenfunktion Eut_{pr} repräsentieren, für die gilt:

$$\begin{aligned}
\mathrm{Eut_{pr}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha}) &= \mathrm{E}\big(\mathrm{rut_{pr}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\varepsilon)\big)\\
&= \int_{-\infty}^{+\infty} \mathrm{rut_{pr}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\varepsilon) \bullet \mathrm{f}(\varepsilon)\,\mathrm{d}\varepsilon\\
&= \int_{-\infty}^{+\infty} \begin{pmatrix} \big(\mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})+\varepsilon\big) \\ -\big(\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\big(\mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})+\varepsilon\big)\big)-\mathrm{lks}\bullet\mathrm{inv} \end{pmatrix} \bullet \mathrm{f}(\varepsilon)\,\mathrm{d}\varepsilon\\
&= \int_{-\infty}^{+\infty} \Big(\Big(\mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})-\big(\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})\big)-\mathrm{lks}\bullet\mathrm{inv}\Big)+\big(\varepsilon-\mathrm{sha}\bullet\varepsilon\big)\Big)\bullet \mathrm{f}(\varepsilon)\,\mathrm{d}\varepsilon\\
&= \int_{-\infty}^{+\infty} \Big(\Big(\mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})-\big(\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})\big)-\mathrm{lks}\bullet\mathrm{inv}\Big)\Big)\bullet \mathrm{f}(\varepsilon)\,\mathrm{d}\varepsilon\\
&\quad + \int_{-\infty}^{+\infty} \big(\varepsilon-\mathrm{sha}\bullet\varepsilon\big)\bullet \mathrm{f}(\varepsilon)\,\mathrm{d}\varepsilon\\
&= \Big(\mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})-\big(\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})\big)-\mathrm{lks}\bullet\mathrm{inv}\Big)\bullet \underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} \mathrm{f}(\varepsilon)\,\mathrm{d}\varepsilon}_{=1 \text{ gemäß Formel (12)}}\\
&\quad + \int_{-\infty}^{+\infty} \big(1-\mathrm{sha}\big)\bullet\varepsilon\bullet \mathrm{f}(\varepsilon)\,\mathrm{d}\varepsilon\\
&= \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})-\big(\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})\big)-\mathrm{lks}\bullet\mathrm{inv}+\left(\big(1-\mathrm{sha}\big)\bullet\underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon\bullet\mathrm{f}(\varepsilon)\,\mathrm{d}\varepsilon}_{=0 \text{ gemäß Formel (10)}}\right)\\
&= \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})-\big(\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})\big)-\mathrm{lks}\bullet\mathrm{inv}
\end{aligned} \qquad (23)$$

Im Erwartungsnutzen $\mathrm{Eut_{pr}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha})$ des Prinzipals gemäß Formel (23) werden der positive Nutzenbeitrag durch den monetär bewerteten Output $\mathrm{out}(\mathrm{eff,inv},\varepsilon) = \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv}) + \varepsilon$ sowie die negativen Nutzenbeiträge durch die Arbeits- und Lagerhaltungskosten $\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet (\mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv}) + \varepsilon)$ bzw. $\mathrm{lks} \bullet \mathrm{inv}$ jeweils mit dem Wert der Dichtefunktion $\mathrm{f}(\varepsilon)$ für die Störgröße ε – also vereinfacht gesprochen mit der „Eintrittswahrscheinlichkeit“ dieser Störgröße – gewichtet. Dies entspricht dem allgemeinen Konzept der Ermittlung des risikoabhängigen Nutzens eines Entscheidungsträgers unter Verwendung von BERNOULLI-Nutzenfunktionen.

In komplementärer Weise wird der Nutzen $\mathrm{ut_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\varepsilon)$ ermittelt, den der Agent aufgrund seines Arbeitsvertrags mit dem Prinzipal realisiert. Es handelt sich abermals um einen Nettonutzen, der aus zwei Komponenten zusammengesetzt ist.

Einerseits wird der Nutzen des Agenten durch das monetäre, d.h. auf Zahlungen an den Agenten beruhende Arbeitseinkommen $\mathrm{ae_{fix.sha}}(\mathrm{out}(\mathrm{eff,inv},\varepsilon))$ gemehrt, das er aus seinem Arbeitsvertrag („Kontrakt“) mit dem Prinzipal erzielt. Dieses Arbeits- oder Kontrakteinkommen wird unmittelbar in Geldeinheiten gemessen. Es hängt von dem Output $\mathrm{out}(\mathrm{eff,inv},\varepsilon)$ ab, der beim – vom Prinzipal festgelegten – Lagerhaltungsniveau *inv* aus dem – vom Prinzipal nicht unmittelbar beobachtbaren – Anstrengungsniveau *eff* des Agenten unter Einfluss der Störgröße ε resultiert. Darüber hinaus wird das Arbeitseinkommen des Agenten durch die Zahlungsfunktion bestimmt, die im Arbeitsvertrag mit dem Prinzipal als Zahlungsregel vereinbart wird. Im ADL-Modell wird davon ausgegangen, dass die Zahlungsfunktion zur Ermittlung des Arbeitseinkommens des Agenten identisch mit der Zahlungsfunktion zur Bestimmung der Arbeitskosten des Prinzipals ist, sodass gilt:

$$\begin{aligned}&\forall\, \text{eff} \in \text{EFF}\ \forall\, \text{inv} \in \text{INV}\ \forall\, \text{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall\, \text{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]} \forall\, \varepsilon \in \mathbb{R}: \\ &\qquad \text{ae}_{\text{fix.sha}}\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon)\big) \;=\; \text{ak}_{\text{fix.sha}}\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon)\big) \;=\; \text{fix} + \text{sha} \bullet \text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon)\end{aligned} \tag{24}$$

Wegen der Prämisse, dass das Arbeitseinkommen des Agenten stets gleich groß wie die Arbeitskosten des Prinzipals ausfällt, wird von Lohnzusatzkosten auf Seiten des Prinzipals vollständig abstrahiert. Darüber hinaus ist der Erwartungswert des monetären Arbeitseinkommens des Agenten aufgrund dieser Prämisse genau so groß wie der Erwartungswert der Arbeitskosten des Prinzipals gemäß Formel (18). Es muss also gelten:

$$\begin{aligned}&\forall\, \text{eff} \in \text{EFF}\ \forall\, \text{inv} \in \text{INV}\ \forall\, \text{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall\, \text{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]} \forall\, \varepsilon \in \mathbb{R}: \\ &\qquad \text{E}\Big(\text{ae}_{\text{fix.sha}}\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon)\big)\Big) \;=\; \text{E}\Big(\text{ak}_{\text{fix.sha}}\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon)\big)\Big) \;=\; \text{fix} + \text{sha} \bullet \text{pro}(\text{eff},\text{inv})\end{aligned} \tag{25}$$

Andererseits wird der Nutzen des Agenten durch den Disnutzen *dut* gemindert, den der Agent dadurch erleidet, dass er seine Arbeitszeit für den Prinzipal aufwendet. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass der Agent arbeitsscheu ist, weil ihm jedes Anstrengungsniveau ein negativ empfundenes Arbeitsleid zufügt. Dieses Arbeitsleid lässt sich z.B. anhand des Verzichts auf Freizeit oder auch anhand des Verzichts auf Einkommen aus einem (bestmöglichen) Alternativeinsatz der eigenen Arbeitskraft bestimmen. In stark vereinfachter Weise wird vorausgesetzt, dass das Arbeitsleid des Agenten je Mengeneinheit (ME) des Anstrengungsniveaus monetär, d.h. in Geldeinheiten (GE) bewertet werden kann. Das spezifische Arbeitsleid *sdu* wird also in der Dimension [GE/ME] gemessen. Da das Anstrengungsniveau *eff* selbst in der Dimension [ME] erfasst wird, lässt sich der Disnutzen dut(eff) für jedes Anstrengungsniveau *eff* in Geldeinheiten messen.

Darüber hinaus gilt die Prämisse, dass die Größe des spezifischen Arbeitsleids *sdu* nicht nur dem Agenten selbst, sondern auch dem Prinzipal bekannt ist. Schließlich wird als weitere Linearitätsprämisse unterstellt, dass der „negative“ Nutzen, der dem Agenten aufgrund seiner Arbeitsscheu als sogenannter Disnutzen *dut* widerfährt, proportional zu seinem Anstrengungsniveau *eff* ansteigt:

$$\begin{aligned}\text{dut}:\ &\text{EFF} \;\mapsto\; \mathbb{R}_{\geq 0} \\ &\text{eff} \quad \mapsto\; \text{dut}(\text{eff}) = \text{sdu} \bullet \text{eff}\end{aligned} \tag{26}$$

Aus den voranstehenden Festlegungen folgt für die Nutzenfunktion ut_{ag} des Agenten, die den Nettonutzen des Agenten aus Arbeitseinkommen und arbeitsleidbedingtem Disnutzen in der Dimension [GE] erfasst, unter Einbeziehung der Formeln (24) und (26):

$$\begin{aligned}&\text{ut}_{\text{ag}}(\text{eff},\text{inv},\text{fix},\text{sha},\varepsilon) \;=\; \text{ae}_{\text{fix.sha}}\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon)\big) - \text{dut}(\text{eff}) \\ &= \;\text{fix} + \text{sha} \bullet \text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon) - \text{sdu} \bullet \text{eff}\end{aligned} \tag{27}$$

Im ADL-Modell wird so, wie es auch in zahlreichen anderen Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie üblich ist, davon ausgegangen, dass sich der Agent *risikoavers* verhält. Im Konzept der BERNOULLI-Nutzenfunktionen wird eine solche Risikoaversion durch *nicht-lineare* Risikonutzenfunktionen ausgedrückt, die *unterproportional* zu einer „gewöhnlichen“ Nutzenfunktion ohne Berücksichtigung des Risikoaspekts verlaufen. Aus der großen Vielfalt von Risikonutzenfunktionen, die der Anforderung eines unterproportionalen Verlaufs gerecht werden, haben sich ALLES, DATAR und LAMBERT für den Agenten auf eine negativ-exponentielle Risikonutzenfunktion[1] $rut_{ag.ADL}$ festgelegt. Hierfür gilt mit e als EULER-Konstante ($e \approx 2{,}718282$):

$$\mathrm{rut}_{\mathrm{ag.ADL}}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon,\alpha\right) = -\mathrm{e}^{-\alpha \cdot \mathrm{ut}_{\mathrm{ag}}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon\right)} \qquad (28)$$

In diese negativ-exponentielle Risikonutzenfunktion $rut_{ag.ADL}$ fließt neben der „gewöhnlichen" Nutzenfunktion ut_{ag} des Agenten, in welcher der Risikoaspekt noch nicht berücksichtigt ist, auch der Parameter α für die Risikoaversion des Agenten ein. Als Parameter α für die Risikoaversion des Agenten wird in der Regel das ARROW/PRATT-Maß[2] verwendet. Je größer dieser Parameter α ausfällt, desto höher ist die Risikoaversion des Agenten. Da der Agent als risikoavers vorausgesetzt wird, gilt im ADL-Modell grundsätzlich:

$$\alpha > 0 \qquad (29)$$

Die negativ-exponentielle Risikonutzenfunktion $rut_{ag.ADL}$ erweist sich in zumindest zweifacher Hinsicht als bemerkenswert. Zunächst stellt sie – neben anderen Eigenschaften des ADL-Modells – dessen Anschlussfähigkeit an die Klasse der LEN-Modelle der Prinzipal-Agent-Theorie her. Denn für den risikoaversen Agenten wird als (Risiko-) Nutzenfunktion eine typische Exponentialfunktion verwendet. Darüber hinaus stimmt das ADL-Modell hinsichtlich seiner Verwendung des speziellen Typs einer negativ-exponentiellen Risikonutzenfunktion mit zahlreichen anderen Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie überein.

Bei genauerem Hinsehen überrascht jedoch die Verwendung des speziellen Typs einer negativ-exponentiellen Risikonutzenfunktion in der Art, wie sie oben in Formel (28) festgehalten ist und sich für zahlreiche Beiträge zur Prinzipal-Agent-Theorie als symptomatisch erweist. Gemäß Formel (28) erfährt der Agent bei jedem Anstrengungsniveau *eff* und jedem Lagerhaltungsniveau *inv* unabhängig von der Ausprägung der Störgröße ε einen *negativen* Risikonutzen. Denn der Term $\mathrm{e}^{-\alpha \cdot \mathrm{ut}_{\mathrm{ag}}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon\right)}$ ist unabhängig vom Wert des Parameters α für die Risikoaversion des Agenten und unabhängig von seinem „gewöhnlichen" Nutzen $\mathrm{ut}_{\mathrm{ag}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon)$ immer positiv, sodass der Risikonutzen $\mathrm{rut}_{\mathrm{ag.ADL}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon)$ des Agenten gemäß Formel (28) stets negativ sein muss. Ein negativer Risikonutzen erscheint jedoch aus ökonomischer Perspektive schlicht als „Unfug". Dafür lassen sich zwei Gründe anführen.

Erstens sind negative Nutzengrößen weder in der allgemeinen ökonomischen Entscheidungstheorie noch in der speziellen ökonomischen Nutzentheorie auf der Basis von BERNOULLI-Nutzenfunktionen inhaltlich verständlich definiert. In beiden vorgenannten Theorien, die eng miteinander zusammenhängen, werden Nutzengrößen stets mittels nicht-negativer reellzahliger Werte ausgedrückt. Die gilt zumindest dann, wenn kardinale Nutzenfunktionen zugrundegelegt werden, die seitens der Prinzipal-Agent-Theorie im Allgemeinen präsupponiert werden.

---

1) Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 184. Vgl. des Weiteren zu solchen negativ-exponentiellen Risikonutzenfunktionen HOLMSTRÖM/MILGROM (1987), S. 307, 314 u. 320; SPREMANN (1987a), S. 17; HOLMSTRÖM/MILGROM (1991), S. 29; WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 375; HOLMSTRÖM/MILGROM (1994), S. 977; ITOH (1994), S. 694; GRAßHOFF/SCHWALBACH (1999), S. 439; MENSCH (1999b), S. 938; KRAPP (2000), S. 30 f. u. 33; FANDEL/LORTH (2001), S. 282 u. 286; GÖX/BUDDE/SCHÖNDUBE (2002), S. 68; HOFMANN (2003), S. 29; MAYER/PFEIFFER (2004), S. 1052.

2) Vgl. PRATT (1964), S. 122 ff., insbesondere S. 125; ARROW (1974), S. 90 ff., insbesondere S. 94; NEUS (1989b), S. 36; KIENER (1990), S. 44; KLEINE (1996), S. 11 f.; BAMBERG/COENENBERG (2002), S. 97; ALPARSLAN (2006), S. 67; PETERS (2008), S. 94 f. u. 328.

Zweitens wird in der ökonomischen Entscheidungs- oder Nutzentheorie oftmals davon ausgegangen, den Nutzen der sogenannten Unterlassungsalternative auf den Wert Null zu normieren. Sofern dieser Usance gefolgt wird, würde ein negativer Risikonutzen $rut_{ag.ADL}(eff,inv,\varepsilon)$ dazu führen, dass *jeder* Arbeitsvertrag zwischen Prinzipal und Agent aus der Sicht des Agenten gegenüber der Unterlassungsalternative, überhaupt keinen Arbeitsvertrag mit dem Prinzipal abzuschließen, nachteilhaft wäre. Folglich würde der Agent von vornherein darauf verzichten, einen Arbeitsvertrag mit dem Prinzipal abzuschließen und für den Prinzipal zu arbeiten, sodass überhaupt kein Arbeitsverhältnis zwischen Prinzipal und Agent mit asymmetrischer Informationsverteilung zustande käme. Folglich gäbe es überhaupt kein Prinzipal-Agenten-Problem, mit dem sich die Prinzipal-Agent-Theorie auseinandersetzen könnte. Eine negativ-exponentielle Risikonutzenfunktion gemäß Formel (28) würde also dazu führen, dass sich die Prinzipal-Agent-Theorie auf Koordinierungs- und Motivierungsprobleme in dem Arbeitsverhältnis zwischen Prinzipal und Agent nicht mehr anwenden ließe und daher obsolet wäre.

Angesichts der beiden zuvor angeführten Einwände gegen negativ-exponentielle Risikonutzenfunktionen der Art, wie sie in Formel (28) exemplarisch vorgestellt wurden, wirkt es befremdlich, dass solche negativ-exponentiellen Risikonutzenfunktionen dennoch weit verbreitet sind. Von Proponenten dieser negativ-exponentiellen Risikonutzenfunktionen werden – sofern sie sich überhaupt ihrer Problematik äußern – zumeist zwei Verteidigungsargumente angeführt. Erstens wird darauf hingewiesen, dass diese negativ-exponentiellen Risikonutzenfunktionen „üblich“ oder „State-of-the-art“ seien. Zweitens wird argumentiert, dass es auf die Werte $rut_{ag.ADL}(eff,inv,fix,sha,\varepsilon)$ einer Risikonutzenfunktion $rut_{ag.ADL}$ in Kalkülen der Prinzipal-Agent-Theorie gar nicht ankomme, weil die optimalen Lösungen der typischen Optimierungsprobleme der Prinzipal-Agent-Theorie – darauf wird weiter unten zurückgekommen – ausschließlich von den partiellen Ableitungen der verwendeten Risikonutzenfunktionen abhängen. Denn die optimalen Problemlösungen werden mittels Marginalanalyse, d.h. mithilfe der Differenzialrechnung ermittelt. In den notwendigen und hinreichenden Bedingungen der Differenzialrechnung für die Existenz bzw. das konkrete Vorliegen eines Optimums spielen nicht unmittelbar die Risikonutzenfunktionen, sondern nur ihre partiellen Ableitungen eine Rolle. Folglich sei es – so argumentieren Verteidiger von negativ-exponentiellen Risikonutzenfunktionen in der Regel – letztlich „belanglos“, welche Werte $rut_{ag.ADL}(eff,inv,fix,sha,\varepsilon)$ eine Risikonutzenfunktion $rut_{ag.ADL}$ in Kalkülen der Prinzipal-Agent-Theorie annimmt.

Das erste Verteidigungsargument vermag grundsätzlich nicht zu überzeugen. Denn die ökonomisch unsinnige Verwendung negativer Nutzenwerte $rut_{ag.ADL}(eff,inv,fix,sha,\varepsilon)$ wird nicht dadurch „geheilt“, dass sie von zahlreichen Autoren übereinstimmend praktiziert wird. Das zweite Verteidigungsargument kann dagegen zumindest Plausibilität für sich in Anspruch nehmen. Denn die Werte $rut_{ag.ADL}(eff,inv,fix,sha,\varepsilon)$ einer Risikonutzenfunktion $rut_{ag.ADL}$ lassen sich als „belanglos“ qualifizieren, *sofern* ein Anwender *nur* an den optimalen *Lösungen* für typische Optimierungsprobleme der Prinzipal-Agent-Theorie interessiert ist. Für ein solches „lösungsgetriebenes“ Interesse an der Prinzipal-Agent-Theorie werfen negativ-exponentielle Risikonutzenfunktionen gemäß Formel (28) keine Schwierigkeiten auf. Der Verfasser dieses Beitrags vertritt jedoch die Ansicht, dass aus ökonomischer Perspektive nicht nur die „Verwertbarkeit“ einer Theorie zur Ermittlung optimaler Problemlösungen von Interesse sein sollte. Vielmehr sollte es seiner Ansicht nach auch zu den Gütemerkmalen einer Theorie gehören, ob sie in der Lage ist, Realprobleme aus ihrem intendierten Anwendungsbereich so zu repräsentieren, dass sich mit den Ausdrucksmitteln der Theorie „angemessene“, „vernünftig“ interpretierbare Modelle für diese Realprobleme konstruieren lassen. Der Verfasser verkennt keineswegs, dass es sehr schwer fällt, operationale und weithin akzeptierte Maßstäbe für die Angemessenheit und vernünftige Interpretierbarkeit von Modellen aufzustellen (darauf verweisen die distanzierenden Anführungszeichen im voranstehenden Satz). Aber der Verfasser ist optimistisch, dass sich unter den meisten Ökonomen rasch ein Konsens herbeiführen lässt, dass negative Nutzenwerte $\mathrm{rut}_{ag.ADL}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\varepsilon)$ weit außerhalb des Bereichs dessen liegen, was sich als „angemessene“, „vernünftig“ interpretierbare Modellierung eines Realproblems aus dem intendierten Anwendungsbereich der Prinzipal-Agent-Theorie auffassen lässt.

Aus den vorgenannten Gründen wird hier eine Risikonutzenfunktion rut_{ag} verwendet, die vom Original des ADL-Modells bewusst abweicht. Sie stellt im Gegensatz zu Formel (28) sicher, dass die Nutzenwerte $\mathrm{rut}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\varepsilon)$ des Agenten niemals negativ werden können:[1)]

$$\mathrm{rut}_{ag}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon,\alpha\right) = 1-e^{-\alpha \bullet \mathrm{ut}_{ag}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon)} \tag{30}$$

Aufgrund der linearen Transformation der Risikonutzenfunktion $rut_{ag.ADL}$ gemäß Formel (28) um den Summanden 1 unterscheiden sich die partiellen Ableitungen der beiden Risikonutzenfunktionen rut_{ag} und $rut_{ag.ADL}$ in keiner Weise. Daher liefert die Risikonutzenfunktion rut_{ag} gemäß Formel (28) dieselben optimalen Lösungen für typische Optimierungsprobleme der Prinzipal-Agent-Theorie, die sich im ursprünglichen ADL-Modell anhand der Risikonutzenfunktion $rut_{ag.ADL}$ ermitteln lassen. In dieser Hinsicht führt die Risikonutzenfunktion rut_{ag} also zu keiner „Verfälschung“ des ADL-Modells. Allerdings lässt die Risikonutzenfunktion rut_{ag} nur Nutzenwerte $\mathrm{rut}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\varepsilon)$ im reellzahligen Intervall [0;1[zu.[2)] Dadurch gewährleistet sie nicht nur den Ausschluss ökonomisch „unsinniger“ negativer Nutzenwerte. Vielmehr bietet die Risikonutzenfunktion rut_{ag} auch den Vorteil, dass die Nutzenwerte $\mathrm{rut}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\varepsilon)$ auf das Standard-Intervall [0;1] normiert sind, wenn von der Besonderheit abgesehen wird, dass sich der Grenzwert der oberen Intervallgrenze 1 niemals erreichen lässt.

Wird die Formel (27) für die „gewöhnliche“ Nutzenfunktion ut_{ag} des Agenten, die keine Risikoaspekte berücksichtigt, in die o.a. Formel (30) für die Risikonutzenfunktion rut_{ag} des Agenten eingesetzt, so resultiert eine Darstellungsweise der Risikonutzenfunktion rut_{ag}, die den Risikonutzen des Agenten unmittelbar auf seinen Nettonutzen aus dem Arbeitseinkommen und dem arbeitsleidbedingten Disnutzen bezieht:

$$\begin{aligned} & \mathrm{rut}_{ag}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon,\alpha\right) = 1-e^{-\alpha \bullet \mathrm{ut}_{ag}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon)} \\ & \wedge \quad \mathrm{ut}_{ag}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon\right) = \mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon)-\mathrm{sdu}\bullet \mathrm{eff} \\ \Rightarrow \quad & \mathrm{rut}_{ag}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon,\alpha\right) = 1-e^{-\alpha \bullet (\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon)-\mathrm{sdu}\bullet \mathrm{eff})} \end{aligned} \tag{31}$$

1) Der gleiche Typ von exponentiellen Risikonutzenfunktionen findet sich beispielsweise – ohne Bezug zum ADL-Modell – auch bei SHUBIK (1984), S. 273; GAN/SETHI/YAN (2004), S. 144, sowie mit Bezug zum ADL-Modell bei ALPARSLAN (2006), S. 176 u. 178; PETERS (2008), S. 328.

2) Unabhängig vom Wert des Parameters α für die Risikoaversion des Agenten mit $\alpha > 0$ und unabhängig von seinem „gewöhnlichen“ Nutzen $\mathrm{ut}_{ag}(\mathrm{eff,inv},\varepsilon)$ mit $\mathrm{ut}_{ag}(\mathrm{eff,inv},\varepsilon) \geq 0$ kann der Term $e^{-\alpha \bullet \mathrm{ut}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\varepsilon)}$ nur Werte im Intervall]0;1] annehmen. Deshalb stammen alle zulässigen Werte des Terms $1-e^{-\alpha \bullet \mathrm{ut}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\varepsilon)}$ aus dem Intervall]1-0;1-1] und somit aus dem Intervall [0;1[.

Der Erwartungsnutzen $Eut_{ag}(eff,inv,fix,sha)$ des Agenten ergibt sich in Abhängigkeit von seinem Anstrengungsniveau *eff* und vom Lagerhaltungsniveau *inv*, das vom Prinzipal festgelegt wird, mithilfe der Erwartungsnutzenfunktion Eut_{ag} des Agenten. Für diese Erwartungsnutzenfunktion Eut_{ag} gilt:

$$\begin{aligned} &\mathrm{Eut}_{ag}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\alpha\right) = \mathrm{E}\left(\mathrm{rut}_{ag}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon,\alpha\right)\right) \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \mathrm{rut}_{ag}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\varepsilon,\alpha\right) \bullet \mathrm{f}\left(\varepsilon\right) d\varepsilon = \int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - e^{-\alpha \bullet \left(\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff}\right)}\right) \bullet \mathrm{f}\left(\varepsilon\right) d\varepsilon \end{aligned} \tag{32}$$

2.2.3 Das generische Prinzipal-Agent-Problem

Mithilfe der voranstehend entfalteten Konstrukte, die anhand der Formeln (1) bis (32) spezifiziert wurden, lässt sich im ADL-Modell ein typisches Optimierungsproblem der Prinzipal-Agent-Theorie formulieren. Es wird im Folgenden auch als *generisches* Prinzipal-Agent-Problem bezeichnet, weil die Struktur dieses Optimierungsproblems nahezu allen Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie zugrunde liegt. Konkretisierungen dieses generischen Prinzipal-Agent-Problems unterscheiden sich in verschiedenen Theorievarianten allenfalls dadurch, dass die Problemstruktur durch zusätzliche Freiheitsgrade von Prinzipal oder Agent oder durch zusätzliche Interaktionsmöglichkeiten zwischen Prinzipal und Agent erweitert wird.

Das generische Prinzipal-Agent-Problem besteht im hier betrachteten ADL-Modell aus zwei Optimierungsproblemen, die es unter Einhaltung einer charakteristischen Nebenbedingung simultan zu lösen gilt. Die Besonderheit dieses Prinzipal-Agent-Problems besteht darin, dass die beiden Optimierungsprobleme auf komplizierte Weise miteinander verwoben sind. Es wird auch von zwei wechselseitig miteinander verschränkten oder kurz interdependenten Optimierungsproblemen gesprochen. Eine ähnliche komplexe Problemstruktur lässt sich nur in wenigen anderen Teilbereichen der ökonomischen Entscheidungstheorie identifizieren. Dazu gehört vor allem die nicht-kooperative Spieltheorie. Bei ihr geht es in strukturell ähnlicher Art darum, wechselseitig voneinander abhängige Optimierungsprobleme mehrerer Entscheidungsträger simultan zu lösen, wie es etwa beim NASH-Gleichgewicht wechselseitig optimaler Antworten strategischer Akteure der Fall ist.

Bei der Formulierung des generischen Prinzipal-Agent-Problems wird grundsätzlich von der Problemperspektive – man könnte auch sagen: von der Interessenslage – des Prinzipals ausgegangen.[1] Für den Prinzipal wird vollständige Rationalität im Sinne eines nutzenmaximierenden Verhaltens unterstellt. Darüber hinaus wird vorausgesetzt, dass jeder Prinzipal ausschließlich an seinen eigenen Nutzen denkt. Sozialpräferenzen, die auch die Interessen Dritter – wie etwa des Agenten – in die eigene Nutzenbeurteilung einbeziehen, sind der Prinzipal-Agent-Theorie fremd. Zentrales Gestaltungsinstrument des Prinzipals ist die Festlegung eines Arbeitsvertrags mit dem Agenten, den der Agent nur anzunehmen oder abzulehnen, aber nicht inhaltlich zu beeinflussen vermag. Aus diesem Blickwinkel lässt sich das generische Prinzipal-Agent-Problem dem Bereich des Kontraktmanagements zurechnen. Der Prinzipal zielt primär darauf ab, mit dem Agenten einen „optimalen“ Arbeitsvertrag abzuschließen. Ein solcher Arbeitsvertrag ist aus der Perspektive des Prinzipals optimal, wenn durch die Vertragsgestaltung der Erwartungsnutzen des Prinzipals maximiert wird.

1) Vgl. beispielsweise die Problementfaltung bei JOST (2001a), S. 18 ff.

Als Objekt der Vertragsgestaltung kommt im ADL-Modell nur die Zahlungsregel in Betracht, mit der die Zahlungen des Prinzipals an den Agenten für die jeweils geleistete Arbeit geregelt wird. Da im ADL-Modell lineare Zahlungsfunktionen gemäß Formel (16) vorausgesetzt werden, besitzt der Prinzipal nur zwei Freiheitsgrade der Vertragsgestaltung: Er kann die beiden Parameter *fix* und *sha* für die fixe bzw. die variable Komponente des Arbeitsentgelts des Agenten frei festlegen. In dieser Hinsicht stimmt das ADL-Modell mit der wesentlich größeren Klasse der LEN-Modelle für die Prinzipal-Agent-Theorie überein. Als Spezifikum des ADL-Modells erweist sich ein dritter Freiheitsgrad. Er knüpft nicht – wie sonst in der Prinzipal-Agent-Theorie üblich – an der Vertragsgestaltung an, sondern bezieht sich auf einen genuin produktionswirtschaftlichen Gestaltungsaspekt. Dieser dritte Freiheitsgrad betrifft das Lagerhaltungsniveau *inv*, das nach Willen des Prinzipals im zugrunde liegenden Produktionssystem realisiert werden soll.

Unter den voranstehend skizzierten Voraussetzungen besteht im ADL-Modell das Optimierungsproblem des Prinzipals darin, die drei Freiheitsgrade *fix*, *sha* und *inv* so festzulegen, dass der Erwartungsnutzen $\mathrm{Eut}_{\mathrm{pr}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha})$ des Prinzipals, der sich gemäß Formel (23) ergibt, maximiert wird. Daher ergibt sich als erstes Optimierungsproblem im Rahmen des generischen Prinzipal-Agent-Problems:

$$\begin{aligned} & \max_{\mathrm{inv}\in\mathrm{INV},\ \mathrm{fix}\in\mathbb{R}_{\geq 0},\ \mathrm{sha}\in\mathbb{R}_{]0;1]}} \left[\underbrace{\mathrm{Eut}_{\mathrm{pr}}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha}\right)}_{\text{Formel (23)}} \right] \\ \Leftrightarrow\ & \max_{\mathrm{inv}\in\mathrm{INV},\ \mathrm{fix}\in\mathbb{R}_{\geq 0},\ \mathrm{sha}\in\mathbb{R}_{]0;1]}} \left[\mathrm{pro}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv}\right) - \left(\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{pro}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv}\right)\right) - \mathrm{lks} \bullet \mathrm{inv} \right] \end{aligned} \tag{33}$$

Aus Formel (33) wird unmittelbar ersichtlich, dass das Optimierungsproblem des Prinzipals zunächst noch unterbestimmt ist. Dies gilt selbst dann, wenn für die deterministische Produktionsfunktion *pro* eine konkrete Funktionsvorschrift bekannt ist und für den Lagerhaltungskostensatz *lks* ein konkreter Wert feststeht.[1)] Denn das Produktionsergebnis pro(eff,inv) hängt in Formel (33) nicht nur vom Lagerhaltungsniveau *inv* ab, das der Prinzipal eigenständig festzulegen vermag. Vielmehr wird das Produktionsergebnis pro(eff,inv) auch vom Anstrengungsniveau *eff* des Agenten beeinflusst. Über sein Anstrengungsniveau kann der Agent unabhängig vom Prinzipal disponieren; es entzieht sich also dem optimierenden Zugriff des Prinzipals. Erschwerend kommt hinzu, dass der Prinzipal in der hier betrachteten Variante der Prinzipal-Agent-Theorie vom Hidden-Action-Typ noch nicht einmal „ex post“ weiß, welches Anstrengungsniveau *eff* der Agent in einer konkreten Produktionssituation realisiert hat. Denn im ADL-Modell wird davon ausgegangen, dass sich dieses Anstrengungsniveau vom Prinzipal grundsätzlich nicht beobachten lässt.

Folglich kann der Prinzipal sein eigenes Optimierungsproblem gemäß Formel (33) nur dann lösen, wenn er „gute Gründe“ dafür hat anzunehmen, dass der Agent genau ein wohlbestimmtes Anstrengungsniveau *eff** verwirklicht. Diese „guten Gründe“ müssen dem Prinzipal die Sicherheit geben, in seinem eigenen Optimierungsproblem gemäß Formel (33) von dem Anstrengungsniveau *eff** des Agenten ausgehen zu können, und zwar unabhängig davon, ob sich dieses Anstrengungsniveau beobachten und somit überprüfen lässt – oder nicht. Aus der Perspektive der Prinzipal-Agent-Theorie existieren tatsächlich solche „guten Gründe“, weil für jeden Agenten – analog zum Prinzipal – ein „berechenbares“ Verhalten unterstellt wird. Denn auch für jeden Agenten gilt die Annahme vollständiger Rationalität mit ausschließlicher Orientierung am eigenen Nutzen. Daher kann der Prinzipal mit Sicherheit davon ausgehen, dass der Agent seinen Erwartungsnutzen maximieren wird, ohne

1) Von diesen beiden Voraussetzungen wird im Folgenden stets ausgegangen, sofern keine ausdrücklich abweichenden Festlegungen erfolgen.

dabei die Interessen des Prinzipals – sei es in positiver oder negativer Weise – in seine eigenen Nutzenerwägungen einfließen zu lassen.

Aufgrund dieser ausschließlichen Selbstinteressiertheit wird der Agent dasjenige Anstrengungsniveau *eff** wählen, das seinen Erwartungsnutzen Eut_{ag}(eff,inv,fix,sha), der sich gemäß Formel (32) ergibt, maximiert. Daher ergibt sich im Rahmen des generischen Prinzipal-Agent-Problems folgendes *Optimierungsproblem des Agenten*:

$$\begin{aligned} & \max_{\text{eff} \in \text{EFF}} \left[\underbrace{\text{Eut}_{\text{ag}}\left(\text{eff},\text{inv},\text{fix},\text{sha},\alpha\right)}_{\text{Formel (32)}} \right] \\ \Leftrightarrow \quad & \max_{\text{eff} \in \text{EFF}} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - e^{-\alpha \bullet \left(\text{fix} + \text{sha} \bullet \text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon) - \text{sdu} \bullet \text{eff}\right)}\right) \bullet f\left(\varepsilon\right) d\varepsilon \right] \end{aligned} \tag{34}$$

Auch das Optimierungsproblem des Agenten erscheint gemäß Formel (34) prima facie als unterbestimmt. Denn der Erwartungsnutzen Eut_{ag}(eff,inv,fix,sha) des Agenten hängt u.a. von den beiden Parametern *fix* und *sha* für die fixe bzw. die variable Komponente seines Arbeitsentgelts sowie vom Lagerhaltungsniveau *inv* ab. Diese drei Einflussgrößen vermag der Agent nicht zu beeinflussen, weil sie in der Dispositionsfreiheit des Prinzipals stehen.

Allerdings zeigt sich bei genauerer Analyse, dass das Optimierungsproblem des Agenten gemäß Formel (34) wider den ersten Anschein keineswegs unterbestimmt ist. Denn dem generischen Prinzipal-Agent-Problem liegt als Präsupposition eine klare zeitliche Reihenfolge zugrunde, in der vom Prinzipal und vom Agenten deren Optimierungsprobleme jeweils gelöst werden.[1)] Diese Präzedenzbeziehung zwischen den Optimierungsproblemen des Prinzipals und des Agenten lässt sich aus dem reinen Formelapparat der Prinzipal-Agent-Theorie im Allgemeinen sowie der hier speziell betrachteten Variante in der Gestalt des ADL-Modells nicht erkennen, sondern bedarf eines ergänzenden, „prozeduralen“ Hintergrundwissens: *Zunächst* löst der Prinzipal sein Optimierungsproblem gemäß Formel (33), indem er ein bestimmtes, im Folgenden noch konkretisiertes Anstrengungsniveau *eff** des Agenten voraussetzt. Dadurch ermittelt der Prinzipal die – aus seiner Sicht – optimalen Werte *fix** und *sha** für die fixe bzw. die variable Komponente des Arbeitsentgelts des Agenten und das – abermals aus der Perspektive des Prinzipals – optimale Lagerhaltungsniveau *inv**. Mit *fix** und *sha** sind die arbeitsvertraglichen, mit *inv** die produktionswirtschaftlichen Rahmenbedingungen festgelegt, die der Prinzipal dem Agenten vorgibt. *Alsdann* entscheidet der Agent, ob er das Vertragsangebot des Prinzipals mit den vorgegebenen Rahmenbedingungen annimmt oder ablehnt.[2)] Falls der Agent das Vertragsangebot annimmt, maximiert er schließlich „postkontraktuell“, d.h. innerhalb der vorgegebenen Rahmenbedingungen, seinen eigenen Erwartungsnutzen Eut_{ag}(eff,inv,fix,sha), indem er ein entsprechendes, für ihn selbst optimales Anstrengungsniveau *eff** realisiert.

---

1) Vgl. zu dieser zeitlichen Reihenfolge die sehr präzisen und übersichtlichen Ausführungen von ALPARSLAN (2006), S. 13 f., sowie – darauf aufbauend – S. 22 ff.; vgl. ebenso WOLFF (1995), S. 51 u. 61; JOST (2001a), S. 17 f. u. 24; LAMBERT (2001), S. 6; FANDEL/LORTH (2001), S. 282 (nur ansatzweise).

2) Das Ablehnen des Vertragsangebots wird mitunter auch als Exit-Option oder Outside-Option des Agenten bezeichnet. Vgl. z.B. JOST (2001a), S. 19; LU/VAN MIEGHEM/SAVASKAN (2006), S. 9 („the agents’ outside option“). Der Sachverhalt, dass der Agent nur zwischen den beiden Alternativen wählen kann, den angebotenen Arbeitsvertrag mit den vorgegebenen Rahmenbedingungen entweder anzunehmen oder aber abzulehnen, lässt sich auch prononciert als „take it or leave it“ umschreiben. Vgl. JOST (2001a), S. 18.

Aus der o.a. Formel (34) wird unmittelbar deutlich, dass das Optimierungsproblem für den Agenten bei vorgegebenen Werten *fix**, *sha** und *inv** wohlbestimmt ist. Aus der Lösung dieses Optimierungsproblems resultiert ein maximaler Erwartungsnutzen $Eut_{ag}(eff^*,inv^*,fix^*,sha^*)$ des Agenten. Dadurch ist – wenn von einer Komplikation abgesehen wird, auf die in Kürze zurückgekommen wird, – mittelbar auch das optimale Anstrengungsniveau *eff** des Agenten determiniert, bei dem der Agent seinen Erwartungsnutzen maximiert und das der Prinzipal in sein eigenes Optimierungsproblem gemäß Formel (33) mit „guten Gründen" übernimmt.

Das gesuchte optimale Anstrengungsniveau *eff** des Agenten lässt sich mithilfe der „arg max"-Relation ausdrücken. Diese Relation ordnet jedem Maximierungsproblem („max") die Menge aller Argumente („arg") zu, die – in die Funktionsausdrücke des jeweils betrachteten Maximierungsproblems eingesetzt – jeweils zu einer maximalen Problemlösung führen.[1)] Diese Menge muss nicht einelementig sein, sondern kann auch kein Element (Inkonsistenz des Maximierungsproblems) oder mehrere Elemente (Mehrdeutigkeit des Maximierungsproblems) umfassen.[2)]

Durch Anwendung der „arg max"-Relation auf die Formel (34) für das *Optimierungsproblem des Agenten* erhält man folgenden Ausdruck, wenn zugleich berücksichtigt wird, dass der Prinzipal – aus seiner Sicht – optimale Werte *fix**, *sha** und *inv** bereits vorgegeben hat:

$$\mathrm{eff}^* \in \arg\max_{\mathrm{eff}\in\mathrm{EFF}} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - e^{-\alpha \bullet (\mathrm{fix}^* + \mathrm{sha}^* \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}^*,\varepsilon) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff})}\right) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \right] \qquad (35)$$

Diese Restriktion wird im Rahmen der Prinzipal-Agent-Theorie zumeist als *Anreizkompatibilitätsrestriktion*[3)] bezeichnet. Sie drückt aus, dass der Prinzipal seinen Erwartungsnutzen $Eut_{pr}(eff,inv)$ nur unter einer „einschränkenden" Annahme für rationales und ausschließlich eigeninteressiertes Verhalten des Agenten optimiert: Der Prinzipal rechnet damit, dass sich der Agent „kompatibel" zu den „Anreizen" verhalten wird, die er – der Prinzipal – durch die Festlegung von arbeitsvertraglichen (*fix** und *sha**) sowie produktionswirtschaftlichen (*inv**) Rahmenbedingungen selbst setzt.

Unter Rückgriff auf diese „guten Gründe", die den Prinzipal dazu veranlassen anzunehmen, dass der Agent das optimale Anstrengungsniveau *eff** „anreizkompatibel" gemäß Formel (35) realisieren wird, lässt sich die o.a. Formel (33) für das *Optimierungsproblem des Prinzipals* wie folgt präzisieren und somit in ein wohlbestimmtes Optimierungsproblem überführen:

$$\begin{aligned} & \max_{\mathrm{inv}\in\mathrm{INV},\ \mathrm{fix}\in\mathbb{R}_{\geq 0},\ \mathrm{sha}\in\mathbb{R}_{]0;1]}} \left[\mathrm{Eut}_{\mathrm{pr}}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha}) \right] \\ \Leftrightarrow\ & \max_{\mathrm{inv}\in\mathrm{INV},\ \mathrm{fix}\in\mathbb{R}_{\geq 0},\ \mathrm{sha}\in\mathbb{R}_{]0;1]}} \left[\mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}) - \left(\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv})\right) - \mathrm{lks} \bullet \mathrm{inv} \right] \end{aligned} \qquad (36)$$

---

1) Formalsprachlich lässt sich die „arg max"-Relation für eine beliebige Funktion *h* definieren durch:
$\forall x:\ \arg\max h(x) = \{ x^* \mid h(x^*) \geq h(x) \}$

2) Da der Ausdruck arg $\max_{eff\in EFF}[\ldots]$ nicht notwendig genau einen Wert *eff** determiniert, sondern eine *Menge* solcher Werte *eff**, wäre es falsch, die nachfolgende Formel (35) als eine Gleichung eff* = arg $\max_{eff\in EFF}[\ldots]$ darzustellen. Die korrekte Verwendung der „ist-Element-von"-Relation ($\in$) in der Formel (35) findet sich beispielsweise auch bei ROGERSON (1985), S. 1359 f.; MELUMAD/MOOKHERJEE/REICHELSTEIN (1995), S. 657; DEMOUGIN/JOST (2001), S. 48; LU/VAN MIEGHEM/SAVASKAN (2006), S. 9 u. 10; BAIMAN/NETESSINE/SAOUMA (2007), S. 8.
Vgl. dagegen zur problematischen Verwendung der Gleichungsrelation in Verbindung mit dem Ausdruck arg max[…] z.B. GRAßHOFF/SCHWALBACH (1999), S. 439; MENSCH (1999b), S. 938; DEMOUGIN/JOST (2001), S. 51 f., GÖX/BUDDE/SCHÖNDUBE (2002), S. 69; HOFMANN (2003), S. 31; GAN/SETHI/YAN (2004), S. 142.

3) Vgl. JOST (2001a), S. 19.

Das (erste) Optimierungsproblem des Prinzipals und das (zweite) Optimierungsproblem des Agenten sind, wie aus den beiden Formeln (36) bzw. (35) unmittelbar ersichtlich wird, wechselseitig miteinander verschränkt: Einerseits integriert das Optimierungsproblem des Prinzipals gemäß Formel (36) das nutzenmaximierende und ausschließlich selbstinteressierte Verhalten des Agenten in der Gestalt des – aus der Perspektive des Agenten – optimalen Anstrengungsniveaus *eff**, das erst aus einer Lösung des Optimierungsproblems des Agenten gemäß Formel (35) resultiert. Andererseits reflektiert das Optimierungsproblem des Agenten gemäß Formel (35) die Festlegung von arbeitsvertraglichen (*fix** und *sha**) sowie produktionswirtschaftlichen (*inv**) Rahmenbedingungen, die sich als Komponenten der optimalen Lösung des Optimierungsproblems des Prinzipals gemäß Formel (36) erweisen. Da beide Optimierungsprobleme die Lösung des jeweils anderen Optimierungsproblems als bekannt voraussetzen, können sie nur *simultan* gelöst werden. Dies entspricht einem *Gleichgewicht* zwischen den jeweils nutzenmaximierenden und ausschließlich selbstinteressierten Verhaltensweisen von Prinzipal und Agent. Auf beide Aspekte der Simultanoptimierung und der Gleichgewichtslösung wird zurückgekommen.

Zunächst sei auf drei Besonderheiten hingewiesen, die für das Prinzipal-Agent-Problem der Prinzipal-Agent-Theorie typisch sind, aber zumeist nicht explizit thematisiert werden.

Erstens setzt sich das Prinzipal-Agent-Problem zwar „inhaltlich" aus zwei Optimierungsproblemen zusammen, die wechselseitig miteinander verschränkt sind. Es handelt sich einerseits um das Optimierungsproblem des Prinzipals gemäß Formel (36) und andererseits um das Optimierungsproblem des Agenten gemäß Formel (34). Aber in der „abschließenden" Formalisierung des Prinzipal-Agent-Problems kommt das Optimierungsproblem des Agenten nicht mehr in seiner ursprünglichen Form gemäß Formel (34) vor. Stattdessen hat das Optimierungsproblem des Agenten die formale Gestalt einer Restriktion angenommen, die sich in der Anreizkompatibilitätsrestriktion gemäß Formel (35) manifestiert. Trotzdem wird auch in Bezug auf Formel (35) vom Optimierungsproblem des Agenten gesprochen, weil der „inhaltliche" Kern des Optimierungsproblems des Agenten im „max"-Teil der „arg max"-Relation aus Formel (35) weiterhin präsent ist.

Zweitens geht das „prozedurale" Hintergrundwissen, dass der Prinzipal zunächst die arbeitsvertraglichen und produktionswirtschaftlichen Rahmenbedingungen festlegt, bevor der Agent darauf mit der Festlegung seines nutzenmaximierenden Anstrengungsniveaus reagiert, im Formelapparat des ADL-Modells unter. Dies wird insbesondere anhand der beiden zentralen Formeln (35) und (36) deutlich. Denn in diesen beiden Formeln manifestiert sich keine zeitliche Präzedenzbeziehung zwischen den Optimierungsentscheidungen des Prinzipals gemäß Formel (36) und des Agenten gemäß Formel (35). Stattdessen findet aus der Perspektive formalsprachlicher Optimierungskalküle eine simultane Lösung der beiden Optimierungsprobleme von Prinzipal und Agent statt, weil für die Formeln (35) *und* (36) als *ein* Formelsystem eine optimale Gesamtlösung für das generische Prinzipal-Agent-Problem ermittelt wird. Diese optimale Gesamtlösung umfasst sowohl die arbeitsvertraglichen (*fix** und *sha**) sowie produktionswirtschaftlichen (*inv**) Rahmenbedingungen, die sich als Komponenten der optimalen Lösung des Optimierungsproblems des Prinzipals gemäß Formel (36) ergeben, als auch das optimale Anstrengungsniveau *eff**, das aus der optimalen Lösung des Optimierungsproblems des Agenten gemäß Formel (35) resultiert. Es ist erstaunlich, dass der Formelapparat des ADL-Modells trotz seiner Ignoranz des oben angesprochenen „prozeduralen" Hintergrundwissens zu korrekten Lösungen des generischen Prinzipal-Agent-Problems führt.

Drittens gehen die meisten Beiträge zur Prinzipal-Agent-Theorie davon aus, dass für das Optimierungsproblem des Agenten gemäß Formel (35) genau eine optimale Lösung existiert, die Anreizkompatibilitätsrestriktion also durch genau ein optimales Anstrengungsniveau *eff** erfüllt wird. Diese Präsupposition lässt sich u.a. daran erkennen, dass abweichend von Formel (35) nicht die mengenbezogene Restriktionsformulierung „eff* $\in$ arg $\max_{eff \in EFF}$ […]“, sondern die gleichungsbezogene Restriktionsformulierung „eff* = arg $\max_{eff \in EFF}$ […]“ verwendet wird. Wenn im Folgenden vom Inkonsistenzfall abgesehen wird, der oben als Inkonsistenz des Maximierungsproblems des Agenten angesprochen wurde, aber für ein „wohlformuliertes“ Prinzipal-Agent-Problem nicht eintreten sollte, erweist sich die Unterscheidung zwischen ein- und mehrdeutigen Lösungen für das Optimierungsproblem des Agenten gemäß Formel (35) als kritisch.

Nur dann, wenn für das Optimierungsproblem des Agenten gemäß Formel (35) genau eine optimale Lösung existiert (Eindeutigkeitsfall), lassen sich die wechselseitig miteinander verschränkten Optimierungsprobleme von Prinzipal und Agent gemäß den Formeln (36) bzw. (35) ohne Komplikationen in einem simultanen Optimierungskalkül lösen. Eine solche Gleichgewichtslösung muss sich jedoch nicht einstellen, wenn für das Optimierungsproblem des Agenten gemäß Formel (35) mehrere optimale Lösungen in der Gestalt unterschiedlicher optimaler Anstrengungsniveaus eff_n* existieren mit n = 1,…,N und N ≥ 2 (Mehrdeutigkeitsfall). Die Existenz mehrerer optimaler Lösungen für das in Formel (35) enthaltene Optimierungsproblem des Agenten kann nicht von vornherein ausgeschlossen werden, weil die zu maximierende Integralfunktion in Formel (35) nicht notwendig unimodal ist. Für die Existenzmöglichkeit mehrerer optimaler Lösungen in der Gestalt unterschiedlicher optimaler Anstrengungsniveaus eff_n* spricht, dass das Argument der Optimierung – das Anstrengungsniveau *eff* – innerhalb der zu maximierenden Integralfunktion im Exponenten der Exponentialfunktion sowohl mit positivem Vorzeichen im Rahmen des Outputterms out(eff,inv,ε) als auch mit negativem Vorzeichen im Rahmen des Terms sdu · eff für den Disnutzen des Agenten vorkommt.

Falls mehrere optimale Lösungen für das Optimierungsproblem des Agenten in der Gestalt unterschiedlicher optimaler Anstrengungsniveaus eff_n* existieren, kann folgende Komplikation eintreten: Der Prinzipal muss bei der Lösung seines Optimierungsproblems gemäß Formel (36) davon ausgehen, dass der Agent ein bestimmtes optimales Anstrengungsniveau auswählt, wenn er – der Prinzipal – die arbeitsvertraglichen (*fix** und *sha**) sowie produktionswirtschaftlichen (*inv**) Rahmenbedingungen vorgegeben hat. Ohne Beschränkung der Allgemeingültigkeit sei angenommen, dass der Prinzipal vom optimalen Anstrengungsniveau eff_{n_1}* des Agenten ausgeht und daraus durch Lösung seines Optimierungsproblems gemäß Formel (36) die für ihn – den Prinzipal – optimalen Werte fix*(eff_{n_1}*), sha*(eff_{n_1}*) sowie inv*(eff_{n_1}*) ableitet. Der Agent übernimmt diese Rahmenbedingungen in die Lösung seines eigenen Optimierungsproblems gemäß Formel (35). Im Mehrdeutigkeitsfall kann neben dem optimalen Anstrengungsniveau eff_{n_1}* des Agenten mindestens eine weitere Lösung eff_{n_2}* mit eff_{n_2}* ≠ eff_{n_1}* für das Optimierungsproblem des Agenten existieren. Wählt der Agent nun dieses alternative – für ihn ebenso optimale – Anstrengungsniveau eff_{n_2}*, so kann der Fall eintreten, dass der Prinzipal für dieses Anstrengungsniveau mindestens einen anderen optimalen Wert fix*(eff_{n_2}*) ≠ fix*(eff_{n_1}*), sha*(eff_{n_2}*) ≠ sha*(eff_{n_1}*) oder inv*(eff_{n_2}*) ≠ inv*(eff_{n_1}*) bei der Lösung seines Optimierungsproblems gemäß Formel (36) ermittelt hätte. Dies würde zu anderen Rahmenbedingungen für das Optimierungsproblem des Agenten gemäß Formel (35) führen, der daraus widrigenfalls ein wiederum anderes optimales Anstrengungsniveau eff_{n_3}* ermitteln würde.

Der voranstehend skizzierte Gedankengang lässt sich beliebig fortsetzen. Er verdeutlicht, dass dann, wenn mehrere optimale Lösungen für das Optimierungsproblem des Agenten gemäß Formel (35) in der Gestalt unterschiedlicher optimaler Anstrengungsniveaus eff_n* existieren, nicht mehr gewährleistet werden kann, eine Gleichgewichtslösung zu erreichen, für die gilt: Die Lösungen der beiden wechselseitig miteinander verschränkten Optimierungsprobleme des Prinzipals und des Agenten lösen simultan das gesamte Prinzipal-Agent-Problem. Im Mehrdeutigkeitsfall lässt sich also eine „gleichgewichtige“ Lösung des hier betrachteten Prinzipal-Agent-Problems nicht mehr sicherstellen.

Von dieser Komplikation des Mehrdeutigkeitsfalls wird im Folgenden abgesehen. Stattdessen wird – vereinfachend – unterstellt, dass für das Optimierungsproblem des Agenten gemäß Formel (35) nur genau eine optimale Lösung existiert, also nur genau ein optimales Anstrengungsniveau *eff** die Anreizkompatibilitätsrestriktion erfüllt. Der Deutlichkeit halber sei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass diese Unterstellung streng genommen nur dann zutrifft, wenn sich die Unimodalität der zu maximierenden Integralfunktion in Formel (35) nachweisen lässt. Ein solcher Nachweis ist für das hier betrachtete ADL-Modell ohne Einschränkung auf Sonderfälle nicht bekannt. Auch ALLES, DATAR und LAMBERT haben keinen solchen Nachweis geführt, noch nicht einmal seine Erwünschtheit thematisiert.

Die bislang erfolgte Spezifizierung des generischen Prinzipal-Agent-Problems als eine Kombination aus einem Optimierungsproblem des Prinzipals und einem Optimierungsproblem des Agenten, die wechselseitig miteinander verschränkt sind, erweist sich als noch unvollständig. Denn in der wechselseitigen Verschränkung beider Optimierungsprobleme wird implizit davon ausgegangen, dass auf jeden Fall ein Arbeitsvertrag zwischen dem Prinzipal und dem Agenten zustande kommt. Dies muss jedoch keineswegs der Fall sein. Stattdessen verfügt der Agent, nachdem der Prinzipal durch die Lösung seines Optimierungsproblems die arbeitsvertraglichen (*fix** und *sha**) sowie produktionswirtschaftlichen (*inv**) Rahmenbedingungen für die Aktivitäten des Agenten im Produktionssystem gesetzt hat, über den zusätzlichen, zweiten Freiheitsgrad, das Angebot eines Arbeitsvertrags durch den Prinzipal entweder anzunehmen oder aber abzulehnen. Der zuvor thematisierte (erste) Freiheitsgrad des Agenten, sein optimales Anstrengungsniveau *eff** bei vorgegebenen arbeitsvertraglichen sowie produktionswirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu wählen, beruhte dagegen auf der bislang impliziten Unterstellung, dass der Agent das Angebot eines Arbeitsvertrags durch den Prinzipal zu den vom Prinzipal „diktierten" Rahmenbedingungen annimmt.

Der Freiheitsgrad des Agenten, das Angebot eines Arbeitsvertrags durch den Prinzipal entweder anzunehmen oder aber abzulehnen, wird in der (vollständigen) Spezifizierung des generischen Prinzipal-Agent-Problems mithilfe einer „echten" Restriktion, der sogenannten *Partizipationsrestriktion*[1)], berücksichtigt. Es handelt sich um eine „echte" Restriktion, weil sie im Gegensatz zur Anreizkompatibilitätsrestriktion nicht mehr ein „verkapptes" Optimierungsproblem umschließt, sondern nur eine Nebenbedingung ausdrückt, die aus der Sicht des Agenten für einen „akzeptablen" Vertragsabschluss mit dem Prinzipal erfüllt sein muss.

Grundlage der Partizipationsrestriktion ist der sogenannte Reservationsnutzen res_{ag} des Agenten. Dieser Reservationsnutzen gibt den größtmöglichen (Netto-) Nutzen an, den der Agent durch einen *alternativen* Einsatz seiner Arbeitskraft – also außerhalb eines Arbeitsverhältnisses mit dem Prinzipal – realisieren könnte.[2)] Der Reservationsnutzen entspricht daher dem betriebswirtschaftlichen Konzept der Opportunitätskosten. Es wird weiterhin von der vollständigen Rationalität und der ausschließlichen Selbstinteressiertheit des Agenten ausgegangen, die bereits der Spezifizierung seines Optimierungsproblems zugrunde lag. Unter dieser Voraussetzung wird der Agent einen Arbeitsvertrag mit dem Prinzipal nur dann abschließen und somit auf einen alternativen Einsatz seiner Arbeitskraft in anderen Verwendungskontexten verzichten, wenn der Agent bei seiner Arbeit für den Prinzipal den Erwartungsnutzen $Eut_{ag}(eff,inv,fix,sha)$ realisiert und dieser Erwartungsnutzen min-

1) Vgl. JOST (2001a), S. 19 (dort als „Teilnahmebedingung" bezeichnet).

2) Vgl. JOST (2001a), S. 19.

destens den Reservationsnutzen res_{ag} des Agenten erreicht.[1)] Diese Anforderung wird unter Rückgriff auf Formel (32) durch die folgende *Partizipationsrestriktion* erfüllt:

$$\begin{aligned}
&\forall \text{eff} \in \text{EFF}\ \forall \text{inv} \in \text{INV}\ \forall \text{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall \text{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]}\ \forall \alpha \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall \text{res}_{ag} \in \mathbb{R}_{\geq 0}:\\
&\qquad \underbrace{\text{Eut}_{ag}\left(\text{eff},\text{inv},\text{fix},\text{sha},\alpha\right)}_{\text{Formel (32)}} \ \geq\ \text{res}_{ag}\\
\Leftrightarrow\ &\forall \text{eff} \in \text{EFF}\ \forall \text{inv} \in \text{INV}\ \forall \text{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall \text{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]}\ \forall \alpha \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall \text{res}_{ag} \in \mathbb{R}_{\geq 0}:\\
&\qquad \int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - e^{-\alpha \bullet \left(\text{fix} + \text{sha} \bullet \text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon) - \text{sdu} \bullet \text{eff}\right)}\right) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \ \geq\ \text{res}_{ag}
\end{aligned} \tag{37}$$

Die Partizipationsrestriktion muss – wie in Formel (37) ausgedrückt – für alle Anstrengungsniveaus *eff*, Lagerhaltungsniveaus *inv* sowie Parameter *fix* und *sha* für die fixe bzw. die variable Komponente des Arbeitsentgelts für den Agenten gelten, wenn der Agent einen Arbeitsvertrag mit dem Prinzipal abschließt und somit an dem Arbeitsverhältnis zwischen Prinzipal und Agent „partizipiert". Damit gilt sie im Besonderen auch für die optimalen Werte *eff**, *inv**, *fix** und *sha**, die aus der simultanen Lösung für das Optimierungsproblem des Prinzipals und für das Optimierungsproblem des Agenten resultiert.

Im Allgemeinen wird für den Reservationsnutzen des Agenten angenommen, dass der Agent in der (oder den) bestmöglichen alternativen Verwendung(en) seiner Arbeitskraft den Nutzen Null realisiert:

$$\text{res}_{ag} = 0 \tag{38}$$

Diese Annahme beeinflusst nicht die grundsätzliche Struktur der optimalen Lösung des generischen Prinzipal-Agent-Problems und erweist sich daher als „unbedenklich". Hinzu kommt, dass sie sich einer weiten Verbreitung in der Fachliteratur zur Prinzipal-Agent-Theorie erfreut, weil die Annahme $res_{ag} = 0$ in „lösungstechnischer" Hinsicht einige Formeltransformationen bei der Ermittlung optimaler Lösungen erleichtert. Daher wird auch hier für das ADL-Modell von der Restriktion (38) für den Reservationsnutzen des Agenten ausgegangen. Sie bedeutet, dass die Unterlassungsalternative des Agenten, auf einen Vertragsabschluss mit dem Prinzipal zu verzichten, stets mit dem (Netto-) Nutzen Null bewertet wird. Dies ist insofern beachtlich, als an früherer Stelle darauf hingewiesen wurde, dass eine negativ-exponentielle Nutzenfunktion für den Agenten u.a. dann zu erheblichen Schwierigkeiten führt, wenn seiner Unterlassungsalternative der Nutzen Null zukommt.

---

1) Mit dieser Formulierung wird der üblichen Vorgehensweise der Prinzipal-Agent-Theorie gefolgt. Sie stellt sicher, dass die Partizipationsrestriktion als eine „unechte" Ungleichung formuliert werden kann. Sie lässt als Grenzfall zu, dass der Nutzen des Agenten aus seinem Arbeitsvertrag mit dem Prinzipal exakt mit dem Reservationsnutzen des Agenten übereinstimmt. Dieser Gleichheitsfall ist im Rahmen der Prinzipal-Agent-Theorie in „lösungstechnischer" Hinsicht erforderlich, weil sich formale Optimierungsprobleme mit konventionellen mathematischen Lösungstechniken nur dann bewältigen lassen, wenn alle Restriktionen als „unechte" Ungleichungen spezifiziert sind. Aus der Perspektive des Realproblems, dass ein Agent zwischen einem Arbeitsvertrag mit dem Prinzipal und einem alternativen Einsatz seiner Arbeitskraft wählen kann, verhält sich der Agent jedoch indifferent, wenn sein Reservationsnutzen mit seinem Nutzen aus einem Arbeitsvertrag mit dem Prinzipal exakt übereinstimmt. In diesem Indifferenzfall kommen daher sowohl ein zufälliger oder willkürlicher Abschluss als auch eine ebenso zufällige oder willkürliche Ablehnung des Arbeitsvertrags mit dem Prinzipal in Betracht. Um diese Ambiguität aufzulösen, wird aufgrund des oben skizzierten „lösungstechnischen" Arguments davon ausgegangen, dass sich der Agent im „Indifferenzfall" nicht tatsächlich indifferent verhält, sondern zugunsten eines Arbeitsvertrags mit dem Prinzipal entschließt.

Wenn der Reservationsnutzen des Agenten gemäß Formel (38) festgelegt wird, resultiert als Standard-Variante der Partizipationsrestriktion:

$$\forall \mathrm{eff} \in \mathrm{EFF}\ \forall \mathrm{inv} \in \mathrm{INV}\ \forall \mathrm{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall \mathrm{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]}\ \forall \alpha \in \mathbb{R}_{>0}:$$
$$\int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - e^{-\alpha \bullet (\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff}, \mathrm{inv}, \varepsilon) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff})}\right) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \geq 0 \tag{39}$$

Von dieser Standard-Variante der Partizipationsrestriktion wird im Folgenden ausgegangen.

Aufgrund der voranstehenden Erläuterungen lässt sich das *generische Prinzipal-Agent-Problem* des ADL-Modells unter Rückgriff auf die Formeln (36), (35) und (39) und unter Betonung der Optimierungsperspektive des Prinzipals wie folgt zusammenfassen:[1)]

a) *Optimierungsproblem* des Prinzipals:

$$\max_{\mathrm{inv} \in \mathrm{INV},\ \mathrm{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0},\ \mathrm{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]}} \left[\mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*, \mathrm{inv}) - (\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*, \mathrm{inv})) - \mathrm{lks} \bullet \mathrm{inv}\right] \tag{40}$$

b) *Anreizkompatibilitätsrestriktion* des Agenten:

$$\mathrm{eff}^* \in \arg\max_{\mathrm{eff} \in \mathrm{EFF}} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - e^{-\alpha \bullet (\mathrm{fix}^* + \mathrm{sha}^* \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff}, \mathrm{inv}^*, \varepsilon) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff})}\right) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon\right] \tag{41}$$

c) *Partizipationsrestriktion* des Agenten:

$$\forall \mathrm{eff} \in \mathrm{EFF}\ \forall \mathrm{inv} \in \mathrm{INV}\ \forall \mathrm{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall \mathrm{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]}\ \forall \alpha \in \mathbb{R}_{>0}:$$
$$\int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - e^{-\alpha \bullet (\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff}, \mathrm{inv}, \varepsilon) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff})}\right) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \geq 0 \tag{42}$$

In den Formeln (40) bis (42), mit deren Hilfe das generische Prinzipal-Agent-Problem des ADL-Modells (vorläufig) spezifiziert wurde, lässt sich die bereits angesprochene zeitliche Reihenfolge wiedererkennen, in der vom Prinzipal und vom Agenten deren Optimierungsprobleme jeweils gelöst werden.[2)] Zunächst löst der Prinzipal sein *Optimierungsproblem* gemäß Formel (40), indem er ein bestimmtes, in Formel (41) konkretisiertes Anstrengungsniveau *eff** des Agenten voraussetzt. Dadurch ermittelt der Prinzipal die für ihn selbst optimalen Werte *fix**, *sha** und *inv**. Mit *fix** und *sha** sind die arbeitsvertraglichen, mit *inv** die produktionswirtschaftlichen Rahmenbedingungen festgelegt, die der Prinzipal dem Agenten vorgibt. Alsdann entscheidet der Agent anhand seiner *Partizipationsrestriktion* gemäß Formel (42), ob er das Vertragsangebot des Prinzipals mit den vorgegebenen Rahmenbedingungen annimmt oder ablehnt. Falls der Agent das Vertragsangebot an-

---

1) Vgl. zu dieser Darstellung des generischen Prinzipal-Agent-Problems ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 183, allerdings in stark abweichender Notation und mit noch nicht explizierter Zahlungsregel. Vgl. zu strukturell ähnlichen Darstellungen des generischen Prinzipal-Agent-Problems z.B. MELUMAD/MOOKHERJEE/REICHELSTEIN (1995), S. 657; LU/VAN MIEGHEM/SAVASKAN (2006), S. 10.

2) Um dieser zeitlichen Reihenfolge unmittelbar zu entsprechen, müssten die Formeln (40) bis (42) in der Reihenfolge Formeln (40) – (42) – (41) angeordnet werden. Darauf wird hier jedoch aus drei Gründen verzichtet. Erstens wird die inhaltliche Verklammerung der optimalen Werte *fix**, *sha**, *inv** und *eff** durch die unmittelbare Aufeinanderfolge der beiden Formeln (40) und (41) besonders deutlich. Zweitens findet sich die oben angewählte Anordnung der Formeln (40) bis (42) ebenso in der einschlägigen Fachliteratur zur Prinzipal-Agent-Theorie; vgl. z.B. – jeweils mit abweichender Notation – ITOH (1991), S. 616, MELUMAD/MOOKHERJEE/REICHELSTEIN (1995), S. 657. Drittens wird mit dem Ensemble der Formeln (40) bis (42) keine zeitliche Formelanordnung beansprucht, sondern es wird lediglich aufgezeigt, dass sich in diesem Formelensemble die o.a. zeitliche Reihenfolge bei entsprechender Erläuterung des Formelzusammenhangs wiedererkennen lässt.

nimmt, maximiert er schließlich „postkontraktuell", d.h. innerhalb der vorgegebenen Rahmenbedingungen, seinen eigenen Erwartungsnutzen, indem er nach Maßgabe der *Anreizkompatibilitätsrestriktion* in Formel (41) ein entsprechendes, für ihn selbst optimales Anstrengungsniveau *eff** realisiert.

Das generische Prinzipal-Agent-Problem des ADL-Modells, das in den Formeln (40) bis (42) zusammengefasst ist, kann als eine *problemorientierte* Variante dieses Prinzipal-Agent-Problems charakterisiert werden. Sie stellt eine vollständige Spezifizierung des generischen Prinzipal-Agent-Problems des ADL-Modells dar, die ausschließlich auf diejenigen Problemkonstituenten Bezug nimmt, die zuvor schrittweise entfaltet wurden. Die Bedeutung dieser Problemorientierung lässt sich erst später verdeutlichen, indem kontrastierend eine lösungsorientierte Variante des generischen Prinzipal-Agent-Problems für das ADL-Modell vorgestellt wird.

Bevor auf Aspekte der Modelllösung näher eingegangen wird, sei anhand der problemorientierten Variante des generischen Prinzipal-Agent-Problems (für das ADL-Modell[1)]) auf einige Besonderheiten der Problemstruktur eingegangen.

Aus formal-analytischer Perspektive handelt es sich um ein „vertracktes" Optimierungsproblem, das sich mit konventionellen Methoden der mathematischen Optimierungsrechnung (Operations Research) nicht unmittelbar bewältigen lässt. Für diese methodischen Schwierigkeiten können mehrere Ursachen identifiziert werden. Zunächst sind in „dem" Prinzipal-Agent-Problem zwei Optimierungsprobleme miteinander kombiniert, weil sowohl der Prinzipal als auch der Agent danach streben, jeweils ihren eigenen Erwartungsnutzen zu maximieren. Wegen des „natürlichen" Interessenkonflikts zwischen Prinzipal und Agent, die arbeitsvertragsbedingten Zahlungen möglichst gering bzw. möglichst hoch ausfallen zu lassen, können diese beiden Nutzenmaximierungsziele nicht zu einem gemeinsamen „Oberziel" zusammengefasst werden. Konventionelle Methoden des Operations Research gestatten es leider nicht, zwei voneinander unabhängige, „antagonistische" Zielfunktionen simultan zu maximieren. Hinzu kommt, dass die Optimierungsprobleme des Prinzipals und des Agenten auf komplexe Weise miteinander verschränkt sind. Dies wurde an früherer Stelle schon ausführlicher erläutert. Die Problemverschränkung betrifft einerseits den Sachverhalt, dass die optimalen Lösungen *fix**, *sha** und *inv** des Optimierungsproblems des Prinzipals als Rahmenbedingungen in das Optimierungskalkül des Agenten einfließen. Andererseits wird die optimale Lösung *eff** des Optimierungsproblems des Agenten als rationale Annahme in das Optimierungskalkül des Prinzipals aufgenommen. Darüber hinaus wird das Optimierungsproblem des Agenten noch nicht einmal explizit als Optimierungsproblem formalsprachlich spezifiziert. Stattdessen ist es in der Anreizkompatibilitätsrestriktion des Agenten nur implizit enthalten. Des Weiteren ist die „stabile" Lösbarkeit des generischen Prinzipal-Agent-Problems im Sinne einer Gleichgewichtslösung gefährdet, wenn für das Optimierungsproblem des Agenten mehrere optimale Anstrengungsniveaus eff_n* existieren. Auch darauf wurde oben bereits ausführlicher eingegangen. Schließlich lassen sich die „ist-Element-von"-Relation und die „arg max"-Relation, die in der Anreizkompatibilitätsrestriktion (41) des Agenten vorkommen, mit konventionellen Methoden des Operations Research nicht verarbeiten.[2)]

1) Auf diesen präzisierenden Zusatz wird im Folgenden der Kürze halber verzichtet, da ausschließlich im Rahmen des ADL-Modells argumentiert wird.

2) Vgl. ROGERSON (1985), S. 1360.

Aus den vorgenannten Gründen kann das generische Prinzipal-Agent-Problem in der Form, wie es in den Formeln (40) bis (42) aus problemorientierter Perspektive zusammengefasst wurde, mit konventionellen Methoden des Operations Research nicht unmittelbar bewältigt werden. Stattdessen bedarf es mehrerer lösungsorientierter Transformationen der Problemdarstellung, bis das generische Prinzipal-Agent-Problem eine Form annimmt, die sich für konventionelle Methoden des Operations Research als zugänglich erweist. Darauf wird in Kürze zurückgekommen.

An dieser Stelle sei nur hervorgehoben, dass die beachtliche formal-analytische Komplexität – oder deutlicher: „Vertracktheit" – eines Prinzipal-Agent-Problems in Beiträgen zur Prinzipal-Agent-Theorie kaum explizit thematisiert wird. Stattdessen wird von Protagonisten dieses Theoriebereichs in der Regel ohne Reflexion der originären Problemstruktur direkt zu lösungsorientierten Problemtransformationen übergegangen. Dies ist zu bedauern, weil nach Ansicht des Verfassers stets zwischen der originären Problemstruktur, die aus der Konzeptualisierung des jeweils zugrunde liegenden Realproblems resultiert, und einer transformierten Problemstruktur, die aus pragmatischen Gründen einer „einfacheren" Problemlösbarkeit bevorzugt wird, deutlich unterschieden werden sollte.

Eine Lösung des generischen Prinzipal-Agent-Problems, das in den Formeln (40) bis (42) zusammengefasst ist, besteht in der eindeutigen Festlegung der optimalen Werte *eff**, *inv**, *fix** und *sha**. Diese Problemlösung weist aus ökonomischer Perspektive zwei besondere, inhaltlich miteinander verwobene Eigenschaften auf. Einerseits erweist sich jede Lösung des generischen Prinzipal-Agent-Problems als PARETO-effizient. Daher wird das Ensemble aus den Formeln (40) bis (42) zuweilen als „PARETO-Programm" der Prinzipal-Agent-Theorie bezeichnet.[1)] Andererseits lässt sich jede dieser Problemlösungen als ein NASH-Gleichgewicht aus dem Bereich der non-kooperativen Spieltheorie interpretieren.[2)] Diese beiden Lösungseigenschaften treffen unabhängig davon zu, wie die Problemlösungen ermittelt werden. Sie werden daher hier der Problemstruktur und nicht den Lösungsmethoden zugerechnet.

Aus der Perspektive der PARETO-Effizienz besitzt jede Lösung des generischen Prinzipal-Agent-Problems die Eigenschaft, dass sich weder der Prinzipal noch der Agent gegenüber der jeweils betrachteten Problemlösung hinsichtlich seines eigenen Erwartungsnutzens verbessern könnte, ohne dass der Erwartungsnutzen des jeweils anderen Akteurs verringert würde. Folglich besitzt keiner der beiden Akteure „Prinzipal" und „Agent" einen Anlass, einem Abweichen von der gefundenen Problemlösung zuzustimmen, das zwar den jeweils anderen Akteur besser stellen, den eigenen Erwartungsnutzen jedoch reduzieren würde. Dies sorgt für die Stabilität der Problemlösung, da in der Prinzipal-Agent-Theorie von Akteuren ausgegangen wird, die ausschließlich an der Maximierung ihres eigenen (Erwartungs-) Nutzens interessiert sind.

---

1) Vgl. ROGERSON (1985), S. 1359 f.; TERBERGER (1994), S. 96; ALPARSLAN (2006), S. 61. Vgl. ähnlich ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004a), S. 28; ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004b), S. 18; ALPARSLAN (2006), S. 163; LU/VAN MIEGHEM/SAVASKAN (2006), S. 10 (dort allerdings nur in Bezug auf die First-best-Lösung). Vgl. auch STEVEN/OTTERPOHL (2000), S. 183, zu einer ebenso präzisen wie anschaulichen Definition der PARETO-Effizienz im allgemeinen Kontext der non-kooperativen Spieltheorie, also ohne speziellen Bezug auf die Prinzipal-Agent-Theorie.

2) Vgl. ITOH (1991), S. 617; SCHWEIZER (1999), S. 24 ff.; ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004b), S. 18; ALPARSLAN (2006), S. 163. Vgl. am Rande auch PORTEUS/WHANG (1991), S. 1169; MELUMAD/MOOKHERJEE/REICHELSTEIN (1995), S. 658, dort jedoch speziell in Bezug auf die Anreizkompatibilitätsrestriktion. Vgl. auch STEVEN/OTTERPOHL (2000), S. 184, im allgemeinen Kontext der non-kooperativen Spieltheorie, also ohne speziellen Bezug auf die Prinzipal-Agent-Theorie.

Die PARETO-Effizienz jeder Lösung des generischen Prinzipal-Agent-Problems lässt sich nicht unmittelbar formal-analytisch beweisen, sondern erfordert eine materielle Argumentation. Ausgangspunkt dieser Argumentation ist das Bestreben sowohl des Prinzipals als auch des Agenten, jeweils seinen eigenen Erwartungsnutzen zu maximieren. Eine Lösung des generischen Prinzipal-Agent-Problems, das in den Formeln (40) bis (42) zusammengefasst ist, besitzt per constructionem die Eigenschaft, durch simultane Lösung der Optimierungsprobleme des Prinzipals und des Agenten eine Problemlösung zu generieren, die – unter Berücksichtigung der wechselseitigen Verschränkung der beiden Optimierungsprobleme – sowohl den Erwartungsnutzen des Prinzipals als auch den Erwartungsnutzen des Agenten maximiert. Folglich könnte jedes Abweichen von dieser Problemlösung nur darin bestehen, entweder vom maximalen Erwartungsnutzen des Prinzipals oder vom maximalen Erwartungsnutzen des Agenten (oder von beiden) abzuweichen.[1)] Daher könnte der Agent oder der Prinzipal seinen eigenen Erwartungsnutzen nur dadurch erhöhen, dass der Erwartungsnutzen des Prinzipals bzw. des Agenten gegenüber dessen maximalem Erwartungsnutzen reduziert würde. Genau dies ist der Gehalt der o.a. PARETO-Effizienz (q.e.d.).

Aus der Perspektive eines NASH-Gleichgewichts stellt jede Lösung des generischen Prinzipal-Agent-Problems, das in den Formeln (40) bis (42) zusammengefasst ist, ein System wechselseitig bester Antworten von Prinzipal und Agent auf die Aktivitäten oder „Spielzüge" des jeweils anderen Akteurs dar. Dies ergibt sich – vielleicht nicht unmittelbar offensichtlich, aber dennoch stringent – aus den voranstehenden Ausführungen zur PARETO-Effizienz. Daher stellen PARETO-Effizienz und NASH-Gleichgewicht nur zwei unterschiedliche Facetten der Lösung des generischen Prinzipal-Agent-Problems dar.[2)] Wie schon im Zusammenhang mit der PARETO-Effizienz erläutert, bedeutet jede Lösung des generischen Prinzipal-Agent-Problems gemäß den Formeln (40) bis (42), dass sowohl der Prinzipal als auch der Agent jeweils ihren Erwartungsnutzen maximieren. Daher könnte der Agent (Prinzipal) dann, wenn der Prinzipal (Agent) an seiner Erwartungsnutzen maximierenden Verhaltensweise festhält, nicht besser reagieren, als genau so seinen Erwartungsnutzen zu maximieren, wie es in den Formeln (40) bis (42) bei vorgegebener Verhaltensweise des jeweils anderen Akteurs spezifiziert ist. Jede Abweichung von dieser optimalen Reaktionsweise würde bedeuten, dass sich der abweichende Prinzipal oder Agent auf keinen Fall besser, in zahlreichen Fällen aber sogar schlechter stellen würde als in einer optimalen Lösung des generischen Prinzipal-Agent-Problems gemäß den Formeln (40) bis (42). Folglich stellt jede Lösung des generischen Prinzipal-Agent-Problems, das in den Formeln (40) bis (42) zusammengefasst ist, ein System wechselseitig bester Antworten von Prinzipal und Agent auf die Aktivitäten oder „Spielzüge" des jeweils anderen Akteurs und somit ein NASH-Gleichgewicht dar (q.e.d.).

---

1) Streng genommen kommt noch eine weitere Option in Betracht. Ein Abweichen von der Problemlösung, in der sowohl der Erwartungsnutzen des Prinzipals als auch der Erwartungsnutzen des Agenten maximiert wird, könnte auch zu einer anderen Problemlösung führen, in der wiederum sowohl der Erwartungsnutzen des Prinzipals als auch der Erwartungsnutzen des Agenten maximiert wird. Diese Option besteht immer dann, wenn sich das Prinzipal-Agent-Problem als multimodal erweist, weil es mehrere optimale Problemlösungen sowohl aus der Prinzipal- als auch aus der Agentenperspektive besitzt. Aber diese besondere Option stellt keine Verletzung der PARETO-Effizienz dar. Denn aus dem Blickwinkel der PARETO-Effizienz wird lediglich verneint, dass irgendeine Problemlösung existiert, die mindestens einen Akteur besser stellt, ohne alle übrigen Akteure schlechter zu stellen. Eine solche Besserstellung von mindestens einem Akteur liegt jedoch im zuvor skizzierten Fall nicht vor, weil dort lediglich zwischen Problemlösungen gewechselt wird, in denen beide Akteure jeweils ihre Erwartungsnutzenmaxima realisieren, also keine Besserstellung erfahren.

2) Vgl. zur unmittelbaren Verknüpfung zwischen PARETO-Effizienz und NASH-Gleichgewicht im allgemeinen spieltheoretischen Argumentationskontext STEVEN/OTTERPOHL (2000), S. 183 f.

2.3 Lösungsorientierte Transformationen der Basisstruktur des ADL-Modells

2.3.1 Sicherheitsäquivalente für das operationale Prinzipal-Agent-Problem

Der Integralterm, der in den Formeln (41) und (42) des generischen Prinzipal-Agent-Problems für den Erwartungsnutzen $\mathrm{Eut}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha})$ des Agenten gemäß Formel (32) in identischer Weise enthalten ist, erweist sich aus lösungstechnischer Perspektive als sehr schwer zu handhaben. Daher wird im Standard-Kalkül der Prinzipal-Agent-Theorie das generische Prinzipal-Agent-Problem so, wie es in den Formeln (40) bis (42) dargestellt ist, im Allgemeinen nicht direkt gelöst. Stattdessen wird es zunächst in ein äquivalentes Ersatzproblem transformiert, dessen Menge optimaler Lösungen mit der Menge optimaler Lösungen des ursprünglichen Prinzipal-Agent-Problems gemäß den Formeln (40) bis (42) übereinstimmt. Es erfolgt also im Hinblick auf die invariante Lösungsmenge eine Äquivalenztransformation des generischen Prinzipal-Agent-Problems.[1)] Das Ersatzproblem, das aus der Äquivalenztransformation hervorgeht, wird im Folgenden als *operationales* Prinzipal-Agent-Problem bezeichnet, weil es sich rechentechnisch leichter bewältigen lässt als das zugrunde liegende generische Prinzipal-Agent-Problem.

Im Zentrum der Äquivalenztransformation des generischen Prinzipal-Agent-Problems steht das sogenannte Sicherheitsäquivalent $\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)$ für unsichere Zahlungen. Das Sicherheitsäquivalent des Agenten ist als derjenige sichere Geldbetrag definiert, dessen Nutzen für den Agenten nach Maßgabe seiner Risikonutzenfunktion rut_{ag} genau so hoch ist wie derjenige Erwartungsnutzen $\mathrm{Eut}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)$, mit dem der Agent aus seinem Arbeitsvertrag mit dem Prinzipal aufgrund derselben Risikonutzenfunktion rechnet. Es muss also per definitionem gelten:

$$\begin{aligned} & \mathrm{rut}_{ag}\big(\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)\big) = \mathrm{Eut}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha) \\ \Leftrightarrow\ & \mathrm{rut}_{ag}\big(\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)\big) = \int_{-\infty}^{+\infty} \mathrm{rut}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\varepsilon,\alpha) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \end{aligned} \tag{43}$$

Aus Formel (32) ergibt sich dann für den Risikonutzen $\mathrm{rut}_{ag}(\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha))$ des Agenten in Bezug auf das Sicherheitsäquivalent $\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)$ unmittelbar:

$$\mathrm{rut}_{ag}\big(\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)\big) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Big(1 - e^{-\alpha \bullet (\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff,inv},\varepsilon) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff})}\Big) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \tag{44}$$

Die Nutzenfunktion ut_{ag} des Agenten gemäß Formel (27) ordnet dem Sicherheitsäquivalent als einem sicheren Geldbetrag analog zu einem fixen Arbeitsentgelt einen „monetären“ Nutzen zu, der gleich diesem Geldbetrag ist abzüglich des monetär bewerteten Disnutzens aus dem Arbeitsleid des Agenten. Für diesen Nutzen des Sicherheitsäquivalents gilt also:

$$\mathrm{ut}_{ag}\big(\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)\big) = \mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff} \tag{45}$$

Der Nutzen des Sicherheitsäquivalents ist in die Risikonutzenfunktion rut_{ag} des Agenten gemäß Formel (30) einzusetzen. Daraus folgt für den Risikonutzen des Agenten in Bezug auf sein Sicherheitsäquivalent $\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)$:

1) Eine Äquivalenztransformation ist jedoch nur für die Verwendung von Sicherheitsäquivalenten sichergestellt, die in diesem Kapitel 2.3.1 behandelt werden. Dagegen stellt der „first order approach“, der im Kapitel 2.3.2 vorgestellt wird, nicht mehr notwendig eine Äquivalenztransformation dar. Darauf wird im letztgenannten Kapitel näher eingegangen.

$$\begin{aligned}\mathrm{rut_{ag}}\big(\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)\big) &= 1-e^{\frac{-\alpha \bullet \mathrm{ut_{ag}}(\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha}))}{\mathrm{CE_{ag}(eff,inv,fix,sha)} - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff}}} \\ &= 1-e^{-\alpha \bullet (\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha}) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff})}\end{aligned} \tag{46}$$

Durch Gegenüberstellung der beiden alternativen Bestimmungsgleichungen für den Risikonutzen des Sicherheitsäquivalents gemäß Formel (46) einerseits sowie Formel (44) andererseits ergibt sich:

$$\begin{aligned}&\mathrm{rut_{ag}}\big(\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)\big) = 1-e^{-\alpha \bullet (\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha}) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff})} \\ \wedge\ &\mathrm{rut_{ag}}\big(\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)\big) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Big(1-e^{-\alpha \bullet (\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff,inv},\varepsilon) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff})}\Big) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \\ \Rightarrow\ &\underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} \Big(1-e^{-\alpha \bullet (\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff,inv},\varepsilon) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff})}\Big) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon}_{= \mathrm{Eut_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha) \text{ gemäß Formel (32)}} = \underbrace{1-e^{-\alpha \bullet (\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha}) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff})}}_{\substack{= \mathrm{rut_{ag}}(\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)) \\ \text{gemäß Formel (46)}}} \\ \Rightarrow\ &\mathrm{Eut_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha) = \mathrm{rut_{ag}}\big(\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)\big)\end{aligned} \tag{47}$$

Aufgrund dieser Beziehung, die am Ende der Formel (47) zwischen dem Integralterm für den Erwartungsnutzen $\mathrm{Eut_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)$ des Agenten auf der einen Seite sowie dem Risikonutzen $\mathrm{rut_{ag}}(\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha))$ des Sicherheitsäquivalents $\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)$ auf der anderen Seite besteht, lässt sich die Formel (41) für die Anreizkompatibilitätsrestriktion auf äquivalente Weise wie folgt darstellen:

$$\begin{aligned}&\mathrm{eff}^* \in \arg\max_{\mathrm{eff} \in \mathrm{EFF}} \left[\underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} \Big(1-e^{-\alpha \bullet (\mathrm{fix}^* + \mathrm{sha}^* \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff,inv}^*,\varepsilon) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff})}\Big) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon}_{= 1-e^{-\alpha \bullet (\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha}) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff})} \text{ gemäß Formel (47)}} \right] \\ \Leftrightarrow\ &\mathrm{eff}^* \in \arg\max_{\mathrm{eff} \in \mathrm{EFF}} \left[\underbrace{1-e^{-\alpha \bullet (\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff})}}_{\substack{= \mathrm{rut_{ag}}(\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)) \\ \text{gemäß Formel (46)}}} \right] \\ \Leftrightarrow\ &\mathrm{eff}^* \in \arg\max_{\mathrm{eff} \in \mathrm{EFF}} \Big[\mathrm{rut_{ag}}\big(\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)\big) \Big]\end{aligned} \tag{48}$$

Die Risikonutzenfunktion rut_{ag} des Agenten gemäß Formel (30) steigt hinsichtlich beliebiger Nutzengrößen $\mathrm{ut_{ag}}(\bullet)$ streng monoton an, weil ihre erste partielle Ableitung nach dieser Nutzengröße $\mathrm{ut_{ag}}(\bullet)$ positiv ist:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \mathrm{rut_{ag}}(\mathrm{ut_{ag}}(\bullet))}{\partial \mathrm{ut_{ag}}(\bullet)} &= \frac{\partial \big(1-e^{-\alpha \bullet \mathrm{ut_{ag}}(\bullet)}\big)}{\partial \mathrm{ut_{ag}}(\bullet)} \\ &= 0 - e^{-\alpha \bullet \mathrm{ut_{ag}}(\bullet)} \bullet \frac{\partial(-\alpha \bullet \mathrm{ut_{ag}}(\bullet))}{\partial \mathrm{ut_{ag}}(\bullet)} = -e^{-\alpha \bullet \mathrm{ut_{ag}}(\bullet)} \bullet (-\alpha) = \underbrace{\alpha}_{>0} \bullet \underbrace{e^{\overbrace{-\underbrace{\alpha}_{>0} \bullet \underbrace{\mathrm{ut_{ag}}(\bullet)}_{\geq 0}}^{\leq 0}}}_{>0} > 0\end{aligned} \tag{49}$$

A fortiori steigt die Risikonutzenfunktion rut_{ag} des Agenten auch für den speziellen Fall streng monoton an, dass als Nutzengröße $\mathrm{ut_{ag}}(\bullet)$ der Nutzen des Sicherheitsäquivalents verwendet wird, der gemäß Formel (45) $\mathrm{CE_{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)$ - $\mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff}$ beträgt. Die Risikonutzenfunktion rut_{ag} des

Agenten steigt also auch in Bezug auf die Nutzengröße $ut_{ag}(\bullet) = CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha) - sdu \bullet eff$ streng monoton an. Aufgrund dieser Monotoniebeziehung[1)] ändert sich die nutzeninduzierte Präferenzordnung des Agenten für unterschiedliche Anstrengungsniveaus *eff* nicht, wenn in Formel (48) anstelle des Terms $1 - e^{-\alpha \bullet (CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha) - sdu \bullet eff)}$, der den *Risikonutzen* $rut_{ag}(CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha))$ des Sicherheitsäquivalents ausdrückt, der *Nutzen* $ut_{ag}(CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha))$ des Sicherheitsäquivalents mit $ut_{ag}(CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha)) = CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha) - sdu \bullet eff$ eingesetzt wird. Wegen dieser Invarianz der Präferenzordnung gilt für das optimale Anstrengungsniveau *eff** des Agenten, das in Formel (41) in Verbindung mit Formel (32) aus der Maximierung seines Erwartungsnutzens $Eut_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha)$ und in Formel (48) aus der äquivalenten Maximierung seines Risikonutzens für das Sicherheitsäquivalent $CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha)$ resultiert: Das optimale Anstrengungsniveau *eff** ergibt sich ebenso, wenn in Formel (48) zunächst der Risikonutzen $rut_{ag}(CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha)) = 1 - e^{-\alpha \bullet (CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha) - sdu \bullet eff)}$ des Agenten durch seinen Nutzen $CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha) - sdu \bullet eff$ für das Sicherheitsäquivalent ersetzt wird und anschließend dasjenige Anstrengungsniveau ermittelt wird, das den Nutzen $CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha) - sdu \bullet eff$ des Agenten aus dem Sicherheitsäquivalent $CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha)$ maximiert. Daher lässt sich die Anreizkompatibilitätsrestriktion gemäß Formel (41) so transformieren, dass man eine modifizierte, aber hinsichtlich der Menge optimaler Problemlösungen (Anstrengungsniveaus *eff**) äquivalente Anreizkompatibilitätsrestriktion erhält:

$$eff^* \in \arg\max_{eff \in EFF} \left[CE_{ag}\left(eff,inv,fix,sha,\alpha\right) - sdu \bullet eff \right] \qquad (50)$$

Auf analoge Weise wird die Partizipationsrestriktion gemäß Formel (42) modifiziert, weil auch sie den schwer handhabbaren Integralterm für den Erwartungsnutzen $Eut_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha)$ des Agenten umfasst. Auch hierbei wird auf die Beziehung zurückgegriffen, die gemäß Formel (47) zwischen dem Integralterm für den Erwartungsnutzen $Eut_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha)$ und dem Risikonutzen $rut_{ag}(CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha))$ des Sicherheitsäquivalents $CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha)$ besteht:

$$\underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - e^{-\alpha \bullet (fix^* + sha^* \bullet out(eff,inv^*,\varepsilon) - sdu \bullet eff)}\right) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon}_{= 1 - e^{-\alpha \bullet \left(CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha) - sdu \bullet eff\right)} \text{ gemäß Formel (45)}} \geq 0$$

$$\Leftrightarrow \quad 1 - e^{-\alpha \bullet \left(CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha) - sdu \bullet eff\right)} \geq 0$$

$$\Leftrightarrow \quad e^{-\alpha \bullet \left(CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha) - sdu \bullet eff\right)} \leq 1 \qquad // \; e^0 = 1$$

$$\Leftrightarrow \quad \ln\left(e^{-\alpha \bullet \left(CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha) - sdu \bullet eff\right)}\right) \leq \ln\left(e^0\right) \qquad (51)$$

$$\Leftrightarrow \quad -\alpha \bullet \left(CE_{ag}\left(eff,inv,fix,sha,\alpha\right) - sdu \bullet eff\right) \leq 0 \qquad // \bullet(-1)$$

$$\Leftrightarrow \quad \alpha \bullet \left(CE_{ag}\left(eff,inv,fix,sha,\alpha\right) - sdu \bullet eff\right) \geq 0 \qquad // \bullet \tfrac{1}{\alpha} > 0$$

$$\Leftrightarrow \quad CE_{ag}\left(eff,inv,fix,sha,\alpha\right) - sdu \bullet eff \geq 0$$

---

1) In der anschließenden Argumentation wird folgender elementarer Zusammenhang ausgenutzt, der für beliebige Funktionen f(x) gilt:

$$df(x)/dx > 0 \;\rightarrow\; \forall x_1 \forall x_2 :\; x_2 > x_1 \;\leftrightarrow\; f(x_2) > f(x_1)$$

Aus diesem Zusammenhang ergibt sich mit $x = CE_{ag}(eff,inv,fix,sha,\alpha) - sdu \bullet eff$ und $f(x) = 1 - e^{-\alpha \bullet x}$ die nachstehende Argumentation.

Mit Hilfe der Äquivalenzbeziehung in Formel (51) lässt sich der Integralterm aus Formel (42) für die Partizipationsrestriktion eliminieren, ohne dass hierdurch die zulässigen, d.h. restriktionserfüllenden Werte *eff*, *inv*, *fix* und *sha* verändert würden. Daraus ergibt sich als modifizierte, aber zu Formel (42) äquivalente Partizipationsrestriktion:

$$\begin{aligned}&\forall\, \mathrm{eff} \in \mathrm{EFF}\; \forall\, \mathrm{inv} \in \mathrm{INV}\; \forall\, \mathrm{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0}\; \forall\, \mathrm{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]}\; \forall\, \alpha \in \mathbb{R}_{>0}: \\ &\qquad \mathrm{CE}_{\mathrm{ag}}\left(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha\right) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff} \;\geq\; 0\end{aligned} \tag{52}$$

In den modifizierten Anreizkompatibilitäts- und Partizipationsrestriktionen der Formeln (50) bzw. (52) wurde der schwer handhabbare Integralterm für den Erwartungsnutzen $\mathrm{Eut}_{\mathrm{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)$ des Agenten durch den leichter zu bewältigenden Nutzen $\mathrm{CE}_{\mathrm{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff}$ für das Sicherheitsäquivalent ersetzt. Aber es bedarf noch einer konkreten Bestimmung des Sicherheitsäquivalents $\mathrm{CE}_{\mathrm{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)$, um mithilfe der modifizierten Anreizkompatibilitäts- und Partizipationsrestriktionen die optimalen Lösungen des operationalen Prinzipal-Agent-Problems ermitteln zu können.

Das Sicherheitsäquivalent $\mathrm{CE}_{\mathrm{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)$ kann aus den bereits eingeführten Voraussetzungen des ADL-Modells berechnet werden, dass die stochastische Outputfunktion *out* auf einer normalverteilten Störgröße ε mit dem Mittelwert $E(\varepsilon) = 0$ und der Varianz $V(\varepsilon) = \sigma_\varepsilon^2$ beruht, dass diese Störgröße ε mit der deterministischen Produktionsfunktion pro(eff,inv) auf additive Weise verknüpft ist, dass das Arbeitsentgelt des Agenten mittels einer linearen Zahlungsfunktion vom Typ $\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff,inv},\varepsilon)$ festgelegt ist und dass für den risikoscheuen Agenten eine exponentielle Risikonutzenfunktion $\mathrm{rut}_{\mathrm{ag}}$ gemäß Formel (30) gilt. Aus diesen Voraussetzungen folgt zunächst gemäß Formel (44) für den Risikonutzen $\mathrm{rut}_{\mathrm{ag}}(\mathrm{CE}_{\mathrm{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha))$ des Agenten in Bezug auf das Sicherheitsäquivalent $\mathrm{CE}_{\mathrm{ag}}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha)$:[1)]

$$\begin{aligned}&\mathrm{rut}_{\mathrm{ag}}\left(\mathrm{CE}_{\mathrm{ag}}\left(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\alpha\right)\right) \;=\; \int_{-\infty}^{+\infty}\left(1 - e^{-\alpha \bullet \left(\mathrm{fix}+\mathrm{sha} \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff,inv},\varepsilon) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff}\right)}\right) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} 1 \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \;-\; \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha \bullet \left(\mathrm{fix}+\mathrm{sha} \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff,inv},\varepsilon) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff}\right)} \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} f(\varepsilon)\, d\varepsilon \;-\; \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha \bullet \left(\mathrm{fix}+\mathrm{sha} \bullet (\mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})+\varepsilon) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff}\right)} \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \qquad // \int_{-\infty}^{+\infty} f(\varepsilon)\, d\varepsilon = 1 \\ &= 1 \;-\; \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha \bullet \left(\mathrm{fix}+\mathrm{sha} \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv}) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff}\right)} \bullet e^{-\alpha \bullet \mathrm{sha} \bullet \varepsilon} \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \\ &= 1 \;-\; e^{-\alpha \bullet \left(\mathrm{fix}+\mathrm{sha} \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv}) - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff}\right)} \bullet \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha \bullet \mathrm{sha} \bullet \varepsilon} \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon\end{aligned} \tag{53}$$

Der Term Integralterm am Ende der Formel (53) lässt sich weiter umformen, wenn berücksichtigt wird, dass die Funktion $f(\varepsilon)$ die Dichtefunktion der Normalverteilung darstellt und für die Störgröße ε der Mittelwert $E(\varepsilon) = 0$ und die Varianz $V(\varepsilon) = \sigma_\varepsilon^2$ gelten:[2)]

1) Bei den nachfolgenden Transformationen wird das Wissen genutzt, dass die Funktion $f(\varepsilon)$ als die Dichtefunktion der Normalverteilung definiert ist und dass die Fläche unter dieser Dichtefunktion auf den Wert Eins normiert ist. Folglich muss $\int_{-\infty}^{+\infty} f(\varepsilon)\, d\varepsilon \;=\; 1$ gelten; vgl. beispielsweise PAPULA (2006), S. 410.

2) Vgl. PAPULA (2006), S. 410, zur allgemeinen Definition der Dichtefunktion der Normalverteilung mit beliebigem Mittelwert $E(\varepsilon) = \mu$ und beliebiger Varianz $V(\varepsilon) = \sigma^2$.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha \bullet sha \bullet \varepsilon} \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon$$

$$\wedge \quad f(\varepsilon) = \frac{1}{\sigma \bullet \sqrt{2\pi}} \bullet e^{-0{,}5 \bullet \left(\frac{\varepsilon - \mu}{\sigma}\right)^2} \quad \wedge \quad \mu = E(\varepsilon) = 0 \quad \wedge \quad \sigma = \sqrt{V(\varepsilon)} = \sigma_\varepsilon$$

$$\Rightarrow \quad \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha \bullet sha \bullet \varepsilon} \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha \bullet sha \bullet \varepsilon} \bullet \frac{1}{\sigma_\varepsilon \bullet \sqrt{2\pi}} \bullet e^{-0{,}5 \bullet \left(\frac{\varepsilon}{\sigma_\varepsilon}\right)^2} d\varepsilon \tag{54}$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma_\varepsilon \bullet \sqrt{2\pi}} \bullet e^{-\alpha \bullet sha \bullet \varepsilon} \bullet e^{-0{,}5 \bullet (\varepsilon / \sigma_\varepsilon)^2} d\varepsilon = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma_\varepsilon \bullet \sqrt{2\pi}} \bullet e^{-\alpha \bullet sha \bullet \varepsilon - 0{,}5 \bullet (\varepsilon / \sigma_\varepsilon)^2} d\varepsilon$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma_\varepsilon \bullet \sqrt{2\pi}} \bullet e^{-\left(0{,}5 \bullet \sigma_\varepsilon^{-2}\right) \bullet \left(\varepsilon^2 + 2 \bullet \alpha \bullet sha \bullet \varepsilon \bullet \sigma_\varepsilon^2\right)} d\varepsilon$$

Der zweite Faktor im Exponenten der Exponentialfunktion in Formel (54) lässt sich wie folgt umformen:

$$\varepsilon^2 + 2 \bullet \alpha \bullet sha \bullet \varepsilon \bullet \sigma_\varepsilon^2$$

$$= \left(\varepsilon^2 - 2 \bullet \varepsilon \bullet \left(-\alpha \bullet sha \bullet \sigma_\varepsilon^2\right) + \left(-\alpha \bullet sha \bullet \sigma_\varepsilon^2\right)^2\right) - \left(-\alpha \bullet sha \bullet \sigma_\varepsilon^2\right)^2 \tag{55}$$

$$= \left(\varepsilon - \left(-\alpha \bullet sha \bullet \sigma_\varepsilon^2\right)\right)^2 - \alpha^2 \bullet sha^2 \bullet \sigma_\varepsilon^4$$

Durch Einsetzen von (55) in die letzte Zeile von (54) resultiert:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha \bullet sha \bullet \varepsilon} \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma_\varepsilon \bullet \sqrt{2\pi}} \bullet e^{-\left(0{,}5 \bullet \sigma_\varepsilon^{-2}\right) \bullet \left(\left(\varepsilon - \left(-\alpha \bullet sha \bullet \sigma_\varepsilon^2\right)\right)^2 - \alpha^2 \bullet sha^2 \bullet \sigma_\varepsilon^4\right)} d\varepsilon$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma_\varepsilon \bullet \sqrt{2\pi}} \bullet e^{-\left(0{,}5 \bullet \sigma_\varepsilon^{-2}\right) \bullet \left(\varepsilon - \left(-\alpha \bullet sha \bullet \sigma_\varepsilon^2\right)\right)^2} \bullet e^{-\left(0{,}5 \bullet \sigma_\varepsilon^{-2}\right) \bullet \left(-\alpha^2 \bullet sha^2 \bullet \sigma_\varepsilon^4\right)} d\varepsilon$$

$$= e^{0{,}5 \bullet \alpha^2 \bullet sha^2 \bullet \sigma_\varepsilon^2} \bullet \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma_\varepsilon \bullet \sqrt{2\pi}} \bullet e^{-0{,}5 \bullet \left(\frac{\varepsilon - \left(-\alpha \bullet sha \bullet \sigma_\varepsilon^2\right)}{\sigma_\varepsilon}\right)^2} d\varepsilon \qquad // \ \mu' = -\alpha \bullet sha \bullet \sigma_\varepsilon^2$$

$$= e^{0{,}5 \bullet \alpha^2 \bullet sha^2 \bullet \sigma_\varepsilon^2} \bullet \int_{-\infty}^{+\infty} \underbrace{\frac{1}{\sigma_\varepsilon \bullet \sqrt{2\pi}} \bullet e^{-0{,}5 \bullet \left(\frac{\varepsilon - \mu'}{\sigma_\varepsilon}\right)^2}}_{\substack{\text{Dichtefunktion } f'(\varepsilon) \text{ einer Normal-} \\ \text{verteilung mit dem Mittelwert} \\ \mu' = -\alpha \bullet sha \bullet \sigma_\varepsilon^2}} d\varepsilon \qquad // \ f'(\varepsilon) = \frac{1}{\sigma_\varepsilon \bullet \sqrt{2\pi}} \bullet e^{-0{,}5 \bullet \left(\frac{\varepsilon - \mu'}{\sigma_\varepsilon}\right)^2}$$

$$= e^{0{,}5 \bullet \alpha^2 \bullet sha^2 \bullet \sigma_\varepsilon^2} \bullet \int_{-\infty}^{+\infty} f'(\varepsilon)\, d\varepsilon \qquad // \ \int_{-\infty}^{+\infty} f'(\varepsilon)\, d\varepsilon = 1 \tag{56}$$

$$= e^{0{,}5 \bullet \alpha^2 \bullet sha^2 \bullet \sigma_\varepsilon^2}$$

Durch Einsetzen von (56) in die letzte Zeile von (53) erhält man:

$$\mathrm{rut}_{ag}\left(\mathrm{CE}_{ag}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\alpha\right)\right)$$

$$= 1 - e^{-\alpha\bullet(\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff})}\bullet\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha\bullet\mathrm{sha}\bullet\varepsilon}\bullet f(\varepsilon)\,d\varepsilon$$

$$// \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\alpha\bullet\mathrm{sha}\bullet\varepsilon}\bullet f(\varepsilon)\,d\varepsilon = e^{0,5\bullet\alpha^2\bullet\mathrm{sha}^2\bullet\sigma_\varepsilon^{\;2}} \qquad (57)$$

$$= 1 - e^{-\alpha\bullet(\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff})}\bullet e^{0,5\bullet\alpha^2\bullet\mathrm{sha}^2\bullet\sigma_\varepsilon^{\;2}}$$

$$= 1 - e^{-\alpha\bullet(\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff})+\left(0,5\bullet\alpha^2\bullet\mathrm{sha}^2\bullet\sigma_\varepsilon^{\;2}\right)}$$

Hinzu kommt, dass für den Risikonutzen $\mathrm{rut}_{ag}(\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\alpha))$ des Agenten in Bezug auf das Sicherheitsäquivalent $\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\alpha)$ gemäß Formel (46) gilt:

$$\mathrm{rut}_{ag}\left(\mathrm{CE}_{ag}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\alpha\right)\right) = 1 - e^{-\alpha\bullet\left(\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\alpha)-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff}\right)} \qquad (58)$$

Aus der transitiven Verkettung der beiden Formeln (57) und (58) ergibt sich:

$$1 - e^{-\alpha\bullet(\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff})+\left(0,5\bullet\alpha^2\bullet\mathrm{sha}^2\bullet\sigma_\varepsilon^{\;2}\right)} = 1 - e^{-\alpha\bullet\left(\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\alpha)-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff}\right)}$$

$$\Leftrightarrow\ e^{-\alpha\bullet\left(\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\alpha)-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff}\right)} = e^{-\alpha\bullet(\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff})+\left(0,5\bullet\alpha^2\bullet\mathrm{sha}^2\bullet\sigma_\varepsilon^{\;2}\right)}$$

$$\Leftrightarrow\ \ln\left(e^{-\alpha\bullet\left(\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\alpha)-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff}\right)}\right) = \ln\left(e^{-\alpha\bullet(\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff})+\left(0,5\bullet\alpha^2\bullet\mathrm{sha}^2\bullet\sigma_\varepsilon^{\;2}\right)}\right)$$

$$\Leftrightarrow\ -\alpha\bullet\left(\mathrm{CE}_{ag}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\alpha\right)-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff}\right) = \ldots \qquad (59)$$

$$-\alpha\bullet\left(\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff}\right)+\left(0,5\bullet\alpha^2\bullet\mathrm{sha}^2\bullet\sigma_\varepsilon^{\;2}\right)$$

$$\Leftrightarrow\ \mathrm{CE}_{ag}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\alpha\right)-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff} = \ldots$$

$$\left(\mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff}\right)-\alpha^{-1}\bullet\left(0,5\bullet\alpha^2\bullet\mathrm{sha}^2\bullet\sigma_\varepsilon^{\;2}\right)$$

$$\Leftrightarrow\ \mathrm{CE}_{ag}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\alpha\right) = \mathrm{fix}+\mathrm{sha}\bullet\mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})-0,5\bullet\alpha\bullet\mathrm{sha}^2\bullet\sigma_\varepsilon^{\;2}$$

Die letzte Zeile von Formel (59) liefert das intendierte Ergebnis für das Sicherheitsäquivalent $\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha},\alpha)$.[1)] Wird dieses Ergebnis in die Formeln (50) und (52) für die modifizierte Anreizkompatibilitätsrestriktion bzw. für die modifizierte Partizipationsrestriktion des Agenten eingesetzt, so resultieren als modifizierte Anreizkompatibilitäts- und Partizipationsrestriktionen des operationalen Prinzipal-Agent-Problems in ihrer finalen Version:

1) Am Rande sei darauf hingewiesen, dass in ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 184, ein fehlerhafter Wert für das Sicherheitsäquivalent $\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha})$ ausgewiesen wird. Er umfasst – über die letzte Zeile von Formel (59) hinausgehend – auch noch den arbeitsleidbedingten Disnutzen des Agenten als Subtrahenden. Da ALLES, DATAR und LAMBERT nicht darlegen, wie sie ihren Wert für das Sicherheitsäquivalent $\mathrm{CE}_{ag}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\mathrm{fix},\mathrm{sha})$ hergeleitet haben, lässt sich nicht untersuchen, aufgrund welcher Operationen sie den fehlerhaften Subtrahenden für den arbeitsleidbedingten Disnutzen des Agenten eingeführt haben. Allerdings wirkt sich dieser Fehler von ALLES, DATAR und LAMBERT auf die optimalen Lösungen des Prinzipal-Agent-Problems in ihrem ADL-Modell nicht aus, weil die Anreizkompatibilitäts- und die Partizipationsrestriktion des Agenten aufgrund eines weiteren Fehlers („Doppelfehlers") im Ergebnis richtig formuliert werden.

$$\text{eff}^* \in \arg\max_{\text{eff} \in \text{EFF}} \left[\text{fix} + \text{sha} \bullet \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) - 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^2 \bullet \sigma_\varepsilon^{\;2} - \text{sdu} \bullet \text{eff} \right] \tag{60}$$

$$\begin{aligned} &\forall \text{eff} \in \text{EFF}\ \forall \text{inv} \in \text{INV}\ \forall \text{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall \text{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]}\ \forall \alpha \in \mathbb{R}_{>0} : \\ &\qquad \text{fix} + \text{sha} \bullet \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) - 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^2 \bullet \sigma_\varepsilon^{\;2} - \text{sdu} \bullet \text{eff} \;\geq\; 0 \end{aligned} \tag{61}$$

Die voranstehenden Formeltransformationen stellen sicher, dass die Menge optimaler Lösungen des operationalen Prinzipal-Agent-Problems mit der Menge optimaler Lösungen des generischen Prinzipal-Agent-Problems übereinstimmt. Daher kann die Spezifizierung des generischen Prinzipal-Agent-Problems, die anhand der Formeln (40) bis (42) erfolgte, in äquivalenter Weise durch folgendes Formelsystem für das *operationale Prinzipal-Agent-Problem* substituiert werden:

a) Optimierungsproblem des Prinzipals:

$$\max_{\text{inv} \in \text{INV},\ \text{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0},\ \text{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]}} \left[\text{pro}\left(\text{eff}^*, \text{inv}\right) - \left(\text{fix} + \text{sha} \bullet \text{pro}\left(\text{eff}^*, \text{inv}\right)\right) - \text{lks} \bullet \text{inv} \right] \tag{62}$$

b) Anreizkompatibilitätsrestriktion des Agenten:

$$\text{eff}^* \in \arg\max_{\text{eff} \in \text{EFF}} \left[\text{fix}^* + \text{sha}^* \bullet \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}^*) - 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon^{\;2} - \text{sdu} \bullet \text{eff} \right] \tag{63}$$

c) Partizipationsrestriktion des Agenten:

$$\begin{aligned} &\forall \text{eff} \in \text{EFF}\ \forall \text{inv} \in \text{INV}\ \forall \text{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall \text{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]}\ \forall \alpha \in \mathbb{R}_{>0} : \\ &\qquad \text{fix} + \text{sha} \bullet \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) - 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^2 \bullet \sigma_\varepsilon^{\;2} - \text{sdu} \bullet \text{eff} \;\geq\; 0 \end{aligned} \tag{64}$$

Mit den Formeln (62) bis (64) liegt das Prinzipal-Agent-Problem des ADL-Modells in operationaler Form vor. Es lässt sich mit Instrumenten der konventionellen Marginalanalyse, also mit Instrumenten der Differenzialrechnung „im Prinzip" lösen. Daher wird im Folgenden auf die lösungstechnischen Details der Ermittlung optimaler Problemlösungen nicht mehr in der gleichen Ausführlichkeit eingegangen, wie es zuvor für die Rekonstruktion des operationalen Prinzipal-Agent-Problems geschah. Allerdings sei darauf hingewiesen, dass die prinzipielle Lösbarkeit des Prinzipal-Agent-Problems in seiner operationalen Form keineswegs eine triviale Aufgabe darstellt, sondern einige Kunstgriffe erfordert, die für die Bearbeitung von Modellen der Prinzipal-Agent-Theorie typisch sind. Auf die wichtigsten dieser Kunstgriffe oder „Tricks" der Modellbearbeitung wird anschließend kurz eingegangen.

2.3.2 Der „first order approach" der Prinzipal-Agent-Theorie

Der erste Kunstgriff[1)] erstreckt sich auf die Eliminierung der „arg max"-Relation in der Anreizkompatibilitätsrestriktion des Agenten gemäß Formel (63). Er beseitigt die „arg max"-Relation, weil sich dieser Relationstyp mit den Instrumenten der Marginalanalyse nicht unmittelbar auswerten lässt. Stattdessen wird das Wissen genutzt, dass ein optimales Anstrengungsniveau *eff**, das den Funktionsterm im […]-Ausdruck der Formel (63) für den Nutzen des Agenten aus dem Sicherheitsäquivalent maximiert, zumindest die *notwendige* Bedingung für die Existenz eines lokalen Funktionsmaximums erfüllen muss. Diese notwendige Bedingung besteht darin, dass die erste partielle Ableitung des Funktionsterms im […]-Ausdruck der Formel (63) für jede optimale Problemlösung mit dem Anstrengungsniveau *eff** und dem Lagerhaltungsniveau *inv** den Wert Null annehmen muss:

$$\begin{aligned} &\mathrm{eff}^* \in \arg\max_{\mathrm{eff}\in\mathrm{EFF}} \begin{bmatrix} \mathrm{fix}^* + \mathrm{sha}^* \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}^*) \\ -\,0{,}5 \bullet \alpha \bullet \mathrm{sha}^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon^{\,2} - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff} \end{bmatrix} \\ \Rightarrow\; &\frac{\partial\left(\mathrm{fix}^* + \mathrm{sha}^* \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}^*) - 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \mathrm{sha}^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon^{\,2} - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff}^*\right)}{\partial\,\mathrm{eff}} = 0 \end{aligned} \tag{65}$$

Diese notwendige Bedingung lässt sich äquivalent transformieren in:

$$\frac{\partial\left(\mathrm{fix}^* + \mathrm{sha}^* \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}^*) - 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \mathrm{sha}^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon^{\,2} - \mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff}^*\right)}{\partial\,\mathrm{eff}} = 0$$

$$\Leftrightarrow\; \frac{\partial\,\mathrm{fix}^*}{\partial\,\mathrm{eff}} + \mathrm{sha}^* \bullet \frac{\partial\,\mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}^*)}{\partial\,\mathrm{eff}} - \frac{\partial\left(0{,}5 \bullet \alpha \bullet \mathrm{sha}^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon^{\,2}\right)}{\partial\,\mathrm{eff}} - \frac{\partial\left(\mathrm{sdu} \bullet \mathrm{eff}^*\right)}{\partial\,\mathrm{eff}} = 0$$

$$\Leftrightarrow\; 0 + \mathrm{sha}^* \bullet \frac{\partial\,\mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}^*)}{\partial\,\mathrm{eff}} - 0 - \mathrm{sdu} \bullet 1 = 0 \tag{66}$$

$$//\;\; \mathrm{pro}_{\partial\mathrm{eff}}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}^*) = \frac{\partial\,\mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}^*)}{\partial\,\mathrm{eff}}$$

$$\Leftrightarrow\; \mathrm{sha}^* \bullet \mathrm{pro}_{\partial\mathrm{eff}}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}^*) - \mathrm{sdu} = 0$$

Wegen des Bezugs der Formeln (65) und (66) auf die erste partielle Ableitung eines Funktionsterms wird sie auch als „first order condition" bezeichnet. Im Rahmen der Prinzipal-Agent-Theorie wird, wenn auf diesen Kunstgriff zur Vermeidung der „arg max"-Relation zurückgegriffen wird, oftmals von einem „first order approach" gesprochen.

Der „first order approach" der Prinzipal-Agent-Theorie reicht aus, um für eine optimale Lösung des operationalen Prinzipal-Agent-Problems einen *Kandidaten* für ein optimales Anstrengungsniveau *eff** des Agenten zu ermitteln. Denn wenn die *notwendige* Bedingung für die Existenz eines lokalen Funktionsmaximums gemäß den Formeln (65) und (66) nicht erfüllt wäre, könnte das zugehörige

---

1) Vgl. zu diesem Kunstgriff, der zumeist als „first order condition" oder „first order approach" der Prinzipal-Agent-Theorie thematisiert wird, HOLMSTRÖM (1979), S. 77 f.; REES (1985a), S. 18 ff.; ROGERSON (1985), S. 1357 u. 1360 ff.; JEWITT (1988), S. 1178 ff.; KIENER (1990), S. 67 u. 168 f.; HARTMANN-WENDELS (1991), S. 153 ff.; ITOH (1991), S. 613, 620 ff. u. 632 ff.; HOLMSTRÖM/MILGROM (1994), S. 977; SIVIRAMAKRISHNAN (1994), S. 1240 ff.; DATAR/RAJAN (1995), S. 36 f. u. 42; DEMOUGIN/JOST (2001), S. 61; LICALCI/SPAETER (2003), S. 168 ff.; ALPARSLAN (2006), S. 79 ff. u. 85 ff.; BAIMAN/NETESSINE/SAOUMA (2007), S. 8 f.

Anstrengungsniveau *eff* nicht den Funktionsterm aus Formel (63) maximieren. Allerdings reicht die Erfüllung dieser notwendigen Bedingung nicht dafür aus, dass der Kandidat für ein optimales Anstrengungsniveau *eff** des Agenten tatsächlich ein optimales Anstrengungsniveau darstellt. Denn die notwendige Bedingung für die Existenz eines lokalen Funktionsmaximums gemäß den Formeln (65) und (66) wird auch von lokalen Minima sowie von Sattelpunkten des Funktionsterms aus Formel (63) erfüllt.[1)] Damit tatsächlich ein optimales Anstrengungsniveau vorliegt, das den Funktionsterm aus Formel (63) maximiert, müssten neben der o.a. notwendigen Bedingung zusätzliche hinreichende Bedingungen erfüllt sein.[2)] Diese zusätzlichen hinreichenden Bedingungen erweisen sich aber in der Prinzipal-Agent-Theorie als sehr komplex.[3)] Daher wird hierauf im Folgenden nicht näher eingegangen. Stattdessen wird *vereinfachend* davon ausgegangen, dass sich beim Anstrengungsniveau *eff** des Agenten, das die notwendige Bedingung für die Existenz eines lokalen Funktionsmaximums gemäß den Formeln (65) und (66) erfüllt, tatsächlich ein lokales Maximum des Funktionsterms in Formel (63) befindet.

2.3.3 Das LAGRANGE-Kalkül

Der zweite Kunstgriff betrifft die Partizipationsrestriktion des Agenten gemäß Formel (64). Die konventionelle Marginalanalyse kann – im Gegensatz etwa zu Techniken des Operations Research – nicht unmittelbar mit *Ungleichungen* umgehen. Vielmehr ist sie mithilfe der Differenzialrechnung nur in der Lage, lokale Extrema von Funktionen unter Nebenbedingungen zu bestimmen, sofern diese Nebenbedingungen als *Gleichungen* erfüllt sind. Das LAGRANGE-Kalkül stellt das zentrale In-

---

1) Darüber hinaus beruht der „first order approach“ auf der *Präsupposition*, dass zur Lösung des operationalen Prinzipal-Agent-Problems ein *lokales* Funktionsmaximum gemäß den Formeln (65) und (66) gesucht wird. Dies muss jedoch keineswegs der Fall sein. Denn aus der Perspektive realer Prinzipal-Agent-Probleme interessieren zunächst *globale* Maxima für die Erwartungsnutzenfunktionen von Prinzipal und Agent. Diese globalen Maxima werden in den formalsprachlichen Kalkülen der Prinzipal-Agent-Theorie jedoch nicht explizit adressiert. Stattdessen wird präsupponiert, dass die tatsächlich formalsprachlich analysierten lokalen Maxima mit den „eigentlich“ intendierten globalen Maxima zusammenfallen. Aus der elementaren Funktionenanalyse ist jedoch hinreichend bekannt, dass diese Präsupposition keineswegs erfüllt zu sein braucht. Von dieser Komplikation wird im Folgenden abstrahiert, da sie nahezu in der gesamten Prinzipal-Agent-Theorie „ausgeblendet“ wird. Einige der seltenen Hinweise darauf, dass „eigentlich“ globale Maxima der Erwartungsnutzenfunktionen interessieren, finden sich bei GROSSMAN/HART (1983), S. 8, und ROGERSON (1985), S. 1360 u. 1367.

2) Da diese zusätzlichen hinreichenden Bedingungen im „first order approach“ der Prinzipal-Agent-Theorie nicht betrachtet werden, stellen die Formeln (65) und (66) eine *schwächere* Anforderung an Lösungen des operationalen Prinzipal-Agent-Problems dar als die o.a. Formel (63) im Hinblick auf das operationale Prinzipal-Agent-Problem und Formel (41) im Hinblick auf das generische Prinzipal-Agent-Problem. Aufgrund dieser Abschwächung wird auch von einem „relaxierten“ (PARETO-) Programm der Prinzipal-Agent-Theorie gesprochen; vgl. ROGERSON (1985), S. 1360; ALPARSLAN (2006), S. 79.

3) Eine ausführliche Diskussion unterschiedlicher Ansätze der Prinzipal-Agent-Theorie, die Erfüllung hinreichender Bedingungen für ein Maximum des Funktionsterms in Formel (63) – oder analoger Funktionsterme – zu untersuchen, bietet ALPARSLAN (2006), S. 67, 80 u. 85 ff. (mit weiterführenden Literaturhinweisen). Vgl. zu den zusätzlichen hinreichenden Bedingungen, die zur Anwendbarkeit des „first order approach“ erfüllt sein müssen, insbesondere ROGERSON (1985), S. 1357 f. u. 1361 f. in Verbindung mit S. 1364 ff., daneben z.B. auch DEMOUGIN/JOST (2001), S. 61 in Verbindung mit S. 59.
Vgl. auch die präzise Kritik am „first order approach“ bei GROSSMAN/HART (1983), S. 7 ff. Sie hat dazu geführt, dass seitens der Prinzipal-Agent-Theorie ein alternativer „two step approach“ entwickelt wurde, der ohne die komplexen hinreichenden Bedingungen für ein Maximum des Funktionsterms in Formel (63) auskommt, dafür aber andere, hier nicht näher behandelte Schwächen aufweist. Vgl. zu diesem „two step approach“ GROSSMAN/HART (1983), S. 9 ff. (als „Kreatoren“ dieses Ansatzes); KREPS (1994), S. 529 ff.; KLEINE (1996), S. 63 ff.; MEINHÖVEL (1999), S. 84 ff.; DEMOUGIN/JOST (2001), S. 51 f. u. 55 ff.; PLAMBECK/ZENIOS (2003), S. 375 f.; ALPARSLAN (2006), S. 86 f. (mit einem expliziten Hinweis auf Schwächen auf S. 87).

strument der Marginalanalyse zur Ermittlung von Funktionsextrema unter Nebenbedingungen in Gleichungsform dar. Darauf wird in Kürze zurückgekommen.

Zunächst ist zu zeigen, wie sich die Partizipationsrestriktion des Agenten gemäß Formel (64) in eine Gleichung transformieren lässt, ohne hierdurch die Existenz oder die Lage optimaler Lösungen für das operationale Prinzipal-Agent-Problem zu verfälschen. Der Kerngedanke dieser Transformation ist ebenso einfach wie stringent: Falls in einer Lösung des operationalen Prinzipal-Agent-Problems die Partizipationsrestriktion des Agenten gemäß Formel (64) als echte Ungleichung erfüllt ist, kann der Prinzipal die fixe Entgeltkomponente *fix*, die er gemäß der Zahlungsfunktion dem Agenten gewährt, so weit senken, bis die Partizipationsrestriktion als Gleichung erfüllt ist, ohne dass der Agent seine Mitwirkung (Partizipation) im Produktionsprozess aufkündigen wird, weil sein Reservationsnutzen $\text{res}_{ag} = 0$ gemäß Formel (38) gerade noch erfüllt wird. Durch diese Senkung der fixen Entgeltkomponente *fix* wird der Prinzipal seinen Nutzen nach Maßgabe der Nutzenfunktionen ut_{pr}, rut_{pr} und Eut_{pr} erhöhen, ohne dass der Agent dies durch eine glaubhafte Drohung mit der Kündigung des Arbeitsvertrags zu verhindern vermag.[1)] Folglich wird der Prinzipal in jeder *optimalen* Problemlösung die fixe Entgeltkomponente *fix* der Zahlungsfunktion immer so tief ansetzen, dass die Partizipationsrestriktion des Agenten exakt als *Gleichung* erfüllt ist. Folglich lässt sich die Partizipationsrestriktion des Agenten speziell im Hinblick auf optimale Problemlösungen *eff**, *inv**, *fix** und *sha** des Prinzipal-Agent-Problems verschärfen zu:

$$\begin{aligned} & \text{fix}^* + \text{sha}^* \bullet \text{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) - 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon^{\ 2} - \text{sdu} \bullet \text{eff}^* \ = \ 0 \\ \Leftrightarrow \quad & \text{fix}^* + \text{sha}^* \bullet \text{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) = 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon^{\ 2} + \text{sdu} \bullet \text{eff}^* \\ \Leftrightarrow \quad & \text{fix}^* \ = \ 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon^{\ 2} + \text{sdu} \bullet \text{eff}^* - \text{sha}^* \bullet \text{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) \end{aligned} \tag{67}$$

Wird die 2. Zeile der Formel (67) für die „verschärfte" Partizipationsrestriktion des Agenten in den Erwartungswert der Arbeitskosten für den Prinzipal gemäß Formel (18) eingesetzt, so ergibt sich:

$$\begin{aligned} & E\Big(ak_{\text{fix.sha}}\big(\text{out}(\text{eff}^*,\text{inv}^*,\varepsilon)\big)\Big) \\ = \ & \text{fix}^* + \text{sha}^* \bullet \text{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) \\ = \ & \Big(0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon^{\ 2} + \text{sdu} \bullet \text{eff}^* - \text{sha}^* \bullet \text{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*)\Big) + \text{sha}^* \bullet \text{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) \\ = \ & 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon^{\ 2} + \text{sdu} \bullet \text{eff}^* \end{aligned} \tag{68}$$

Durch Einsetzen der Beziehung $\text{fix}^* + \text{sha}^* \bullet \text{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) \ = \ 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon^{\ 2} + \text{sdu} \bullet \text{eff}^*$ aus Formel (68) in Formel (62) für das Optimierungsproblem des Prinzipals resultiert im Hinblick auf optimale Problemlösungen:

---

1) Der Deutlichkeit halber wird darauf hingewiesen, dass der Agent durch die Senkung der fixen Entgeltkomponente *fix* eine Nutzeneinbuße gemäß seinen Nutzenfunktionen ut_{ag}, rut_{ag} und Eut_{ag} erfährt. Die Betrachtung der rationalen Verhaltensweise des Prinzipals, die fixe Entgeltkomponente *fix* zu seinem eignen Vorteil, aber zum Nachteil des Agenten zu senken, verletzt daher das Konzept der PARETO-Optimalität. Denn es wird nur der Nutzen des Prinzipals gemehrt, gleichzeitig jedoch der Nutzen des Agenten reduziert. Diese Verletzung des Konzepts der PARETO-Optimalität widerspricht allerdings nicht der früheren Erläuterung, dass sich die optimalen Lösungen des Prinzipal-Agent-Problems im ADL-Modell als PARETO-optimale Lösungen erweisen. Denn die voranstehend skizzierte Argumentation startet nicht bei optimalen, sondern bei suboptimalen Lösungen des Prinzipal-Agent-Problems. Sie gilt nur so lange, bis eine optimale Problemlösung erreicht ist. Daher ist die Verletzung des Konzepts der PARETO-Optimalität auf dem Weg bis zum Erreichen einer optimalen Problemlösung unbeachtlich hinsichtlich der Feststellung, dass optimale Problemlösungen das Konzept der PARETO-Optimalität erfüllen.

$$\max_{\text{fix} \in \mathbb{R}_{\geq 0},\ \text{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]},\ \text{inv} \in \text{INV}} \left[\text{pro}(\text{eff*},\text{inv}) - \left(\underbrace{\text{fix} + \text{sha} \bullet \text{pro}(\text{eff*},\text{inv})}_{= \ 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^2 \bullet \sigma_\varepsilon^2 + \text{sdu} \bullet \text{eff*}} \right) - \text{lks} \bullet \text{inv} \right] \tag{69}$$

$$\Leftrightarrow \quad \max_{\text{eff} \in \text{EFF},\ \text{inv} \in \text{INV},\ \text{sha} \in \mathbb{R}_{]0;1]}} \left[\text{pro}(\text{eff},\text{inv}) - 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^2 \bullet \sigma_\varepsilon^2 - \text{sdu} \bullet \text{eff} - \text{lks} \bullet \text{inv} \right]$$

Die Formel (69) besitzt einen komplexen Charakter. Denn sie drückt nicht mehr nur das Optimierungsproblem des Prinzipals gemäß Formel (62) aus, sondern umfasst jetzt auch die „verschärfte“, nur auf optimale Problemlösungen zugeschnittene Partizipationsrestriktion des Agenten gemäß Formel (67). Auf diese Weise sind von den drei Formeln (62) bis (64), die das operationale Prinzipal-Agent-Problem im ADL-Modell konstituieren, nur noch zwei Formeln übrig geblieben: auf der einen Seite die Formel (69), die sowohl für das Optimierungsproblem des Prinzipals als auch für die „verschärfte“ Partizipationsrestriktion des Agenten steht, und auf der anderen Seite die Formeln (65) und (66) für die Anreizkompatibilitätsrestriktion des Agenten, die aus der Perspektive des „first order approach“ der Prinzipal-Agent-Theorie als notwendige Bedingung für die Existenz eines lokalen Maximums der Nutzenfunktion des Agenten für das Sicherheitsäquivalent formuliert wurde.

Darüber hinaus manifestiert sich in Formel (69) in Verbindung mit Formel (67) eine bemerkenswerte Verschiebung des Optimierungsfokus zu Lasten des Agenten und zu Gunsten des Prinzipals. Denn in der generischen Formulierung des Prinzipal-Agent-Problems gemäß den Formeln (40) bis (42) wurden der Prinzipal und der Agent insofern gleichwertig konzeptualisiert, als jeder dieser beiden Akteure ein eigenes Optimierungsproblem zu lösen hatte. Dazu gehörte, dass der Agent gemäß Formel (41) sein optimales Anstrengungsniveau *eff** autonom festlegen konnte. Diese Dispositionsautonomie des Agenten ist in seiner „verschärften“ Partizipationsrestriktion gemäß Formel (67) verloren gegangen. Denn die „verschärfte“ Partizipationsrestriktion bezieht sich nur auf optimale Lösungen des operationalen Prinzipal-Agent-Problems, in denen der Prinzipal die fixe Entgeltkomponente *fix* so weit gesenkt hat, dass der Agent gerade noch seinen Reservationsnutzen $\text{res}_{\text{ag}} = 0$ gemäß Formel (38) zu realisieren vermag. Dadurch hat der Agent seinen Freiheitsgrad, ein aus seiner Sicht optimales Anstrengungsniveau *eff** autonom festzulegen, eingebüßt. Dies zeigt sich in Formel (67) dadurch, dass bei optimalen Werten *fix**, *sha** und *inv**, die vom Prinzipal aus der Lösung seines Optimierungsproblems vorgegeben werden, der optimale Wert *eff** durch Formel (67) eindeutig determiniert ist. Daher führt die „verschärfte“ Partizipationsrestriktion gemäß Formel (67) dazu, dass der Prinzipal das optimale Anstrengungsniveau *eff** des Agenten mitbestimmt, indem er – der Prinzipal – durch die Lösung seines Optimierungsproblems die optimalen Werte *fix**, *sha** und *inv** festlegt. Dies führt in Formel (69) für das Optimierungsproblem des Prinzipals dazu, dass das Anstrengungsniveau *eff* des Agenten als Optimierungsparameter des Prinzipals im Subskript zum Maximierungsoperator „max“ enthalten ist. Ein eigenständiges Optimierungsproblem des Agenten ist auf diese Weise untergegangen. Der tiefere Grund hierfür liegt in der – aus Sicht des Prinzipals – rationalen, aber aus der Agentenperspektive „ausbeuterisch“ anmutenden Verhaltensweise des Prinzipals, die fixe Entgeltkomponente *fix* so weit zu senken, bis der Agent nur noch exakt seinen Reservationsnutzen $\text{res}_{\text{ag}} = 0$ erhält.

Eine Nebenwirkung dieser Verhaltensweise des Prinzipals ist es, dass die fixe Entgeltkomponente *fix* für den Prinzipal keinen Freiheitsgrad der Optimierung mehr darstellt. Denn der Prinzipal hat sich gemäß der 3. Zeile von Formel (67) insofern selbst „gebunden“, als dass er die fixe Entgeltkomponente *fix* bis zum Erreichen des Reservationsnutzens des Agenten absenkt. Daher ist der optimale Wert *fix** der fixen Entgeltkomponente bereits durch Formel (67) festgelegt. Folglich kommt die fixe Entgeltkomponente *fix* im 2. Teil der in Formel (69) nicht mehr als Optimierungsparameter des Prinzipals im Subskript zum Maximierungsoperator „max“ vor.

Durch den Übergang zur Formel (69) in Verbindung mit Formel (67) findet in der Formulierung des operationalen Prinzipal-Agent-Problems eine gravierende Verschiebung des Optimierungsfokus statt: Das eigenständige Optimierungsproblem des Agenten existiert nicht mehr. Stattdessen wird der Agent hinsichtlich der fixen Entgeltkomponente bis zur „Schmerzgrenze“, seinem Reservationsnutzen, vom Prinzipal „ausgebeutet“. Hinzu kommt, dass sich die drei Freiheitsgrade des Prinzipals bei der Lösung seines Optimierungsproblems verlagern. Er disponiert nicht mehr über die optimalen Werte *fix** und *sha** sowie *inv** für die Zahlungsfunktion bzw. für das Lagerhaltungsniveau, sondern über die optimalen Werte *eff**, *sha** und *inv**. Der neu hinzu gekommene Optimierungsparameter *eff** für das optimale Anstrengungsniveau des Agenten lässt sich zwar vom Prinzipal weder direkt beeinflussen noch beobachten. Aber der Prinzipal beeinflusst über sein Absenken der fixen Entgeltkomponente *fix** gemäß Formel (67) auf indirekte Weise das Anstrengungsniveau *eff** des Agenten so, dass der Agent ein im Sinne des Prinzipals optimales Anstrengungsniveau *eff** realisiert.

Die Formeln (69) sowie (65) und (66) spezifizieren ein Maximierungsproblem [Formel (69)], das unter Einhaltung einer Nebenbedingung, die als Gleichung erfüllt sein muss [Formeln (65) und (66)], zu lösen ist (restringiertes Maximierungsproblem):

$$\begin{aligned}&\max_{\mathrm{eff}\in\mathrm{EFF},\ \mathrm{inv}\in\mathrm{INV},\ \mathrm{sha}\in\mathbb{R}_{]0;1]}}\left[\mathrm{pro}\left(\mathrm{eff},\mathrm{inv}\right)-0{,}5\bullet\alpha\bullet\mathrm{sha}^2\bullet\sigma_\varepsilon^{\;2}-\mathrm{sdu}\bullet\mathrm{eff}-\mathrm{lks}\bullet\mathrm{inv}\right]\\&\text{unter der Nebenbedingung:}\quad \mathrm{sha}^*\bullet\mathrm{pro}_{\partial\mathrm{eff}}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}^*)-\mathrm{sdu}\;=\;0\end{aligned}\tag{70}$$

Dieses restringierte Maximierungsproblem lässt sich mithilfe des LAGRANGE-Kalküls der Marginalanalyse konventionell lösen. Die grundsätzlichen Eigenschaften des LAGRANGE-Kalküls werden hier als bekannt vorausgesetzt, weil es sich um eine Basistechnik zur Lösung ökonomischer Optimierungsprobleme unter Nebenbedingungen in Gleichungsform handelt.

Das restringierte Maximierungsproblem gemäß Formel (70) lässt sich in ein äquivalentes, jedoch unrestringiertes Maximierungsproblem überführen, indem folgende Standard-Transformationen durchgeführt werden:

① Die ursprüngliche, zu maximierende Zielfunktion aus Formel (70) und die zugrunde liegenden drei Optimierungsparameter *eff*, *inv* und *sha* werden in eine neue Zielfunktion L(•) – die sogenannte LAGRANGE-Funktion – unverändert übernommen.

② Die Nebenbedingung aus Formel (70) wird nach Null aufgelöst (dies ist bereits der Fall) und der von Null verschiedene Term der Gleichung wird in die neue Zielfunktion L(•) als sogenannter LAGRANGE-Term sha • $\mathrm{pro}_{\partial\mathrm{eff}}$(eff,inv) - sdu aufgenommen.

③ Der LAGRANGE-Term sha • $\mathrm{pro}_{\partial\mathrm{eff}}$(eff,inv) - sdu wird mit einem weiteren Optimierungsparameter, der LAGRANGE-Variable λ, multipliziert und das Produkt wird mit der ursprünglichen Zielfunktion additiv verknüpft.

Aus der Anwendung der zuvor angeführten Standard-Transformationen resultiert als unrestringiertes Maximierungsproblem:

$$\begin{aligned} L(\text{eff},\text{inv},\text{sha},\lambda) &= \text{pro}(\text{eff},\text{inv}) - 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^2 \bullet \sigma_\varepsilon^{\ 2} - \text{sdu} \bullet \text{eff} - \text{lks} \bullet \text{inv} \\ &\quad + \lambda \bullet \left(\text{sha} \bullet \text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff},\text{inv}) - \text{sdu}\right) \end{aligned}$$

$$\text{und:} \qquad (71)$$

$$\max_{\text{eff}\in\text{EFF},\ \text{inv}\in\text{INV},\ \text{sha}\in\mathbb{R}_{]0;1]},\lambda\in\mathbb{R}} L(\text{eff},\text{inv},\text{sha},\lambda)$$

$$= \max_{\text{eff}\in\text{EFF},\ \text{inv}\in\text{INV},\ \text{sha}\in\mathbb{R}_{]0;1]},\lambda\in\mathbb{R}} \begin{bmatrix} \text{pro}(\text{eff},\text{inv}) - 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^2 \bullet \sigma_\varepsilon^{\ 2} - \text{sdu} \bullet \text{eff} \\ - \text{lks} \bullet \text{inv} + \lambda \bullet \left(\text{sha} \bullet \text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff},\text{inv}) - \text{sdu}\right) \end{bmatrix}$$

Der „Clou“ des LAGRANGE-Kalküls liegt darin, dass gemäß dem LAGRANGE-Theorem gilt: Eine Lösung (eff*,inv*,sha*,λ*) stellt genau dann eine optimale Lösung für das unrestringierte Maximierungsproblem der LAGRANGE-Funktion gemäß Formel (71) dar, wenn sie ebenso eine optimale Lösung des restringierten Maximierungsproblems gemäß Formel (70) ist. Wegen dieser Identität der optimalen Problemlösungen handelt es sich beim unrestringierten Maximierungsproblem der LAGRANGE-Funktion gemäß Formel (71) um eine äquivalente Darstellungsweise des restringierten Maximierungsproblems gemäß Formel (70). Folglich reicht es aus, die lokalen Maxima der LAGRANGE-Funktion als optimale Lösungen für das unrestringierte Maximierungsproblem gemäß Formel (71) zu bestimmen. Die „eigentlich“ gesuchten optimalen Lösungen des restringierten Maximierungsproblems gemäß Formel (70) werden auf diese Weise „nebenbei“ ermittelt.

Für die LAGRANGE-Funktion L(eff,inv,sha,λ) einschließlich des Produkts aus LAGRANGE-Term und LAGRANGE-Variable λ für die Nebenbedingung aus Formel (70) wird in konventioneller Weise ein lokales Maximum mit den optimalen Werten *eff**, *inv**, *sha** und λ* für die vier Optimierungsparameter *eff*, *inv*, *sha* bzw. λ bestimmt. Wie schon an früherer Stelle hervorgehoben, begnügt man sich in der Prinzipal-Agent-Theorie zumeist mit der Anwendung der *notwendigen* Bedingungen für die Existenz eines lokalen Maximums der LAGRANGE-Funktion L(eff,inv,sha,λ). Diese notwendigen Bedingungen bestehen darin, dass die ersten partiellen Ableitungen der LAGRANGE-Funktion nach jeder ihrer vier unabhängigen Variablen jeweils Null betragen müssen.[1)] Die Überprüfung der (zusätzlichen) hinreichenden Bedingungen für ein lokales Maximum der LAGRANGE-Funktion ist grundsätzlich möglich, wäre aber sehr kompliziert. Denn die LAGRANGE-Funktion hängt hier von vier unabhängigen Variablen – den Optimierungsparametern *eff*, *inv*, *sha* und λ – ab, sodass zur Überprüfung der (zusätzlichen) hinreichenden Bedingungen für ein lokales Maximum auf anspruchsvollere Instrumente der Marginalanalyse, wie z.B. die HESSE-Matrix mit allen zweiten partiellen Ableitungen der LAGRANGE-Funktion, zurückgegriffen werden müsste. Hierauf wird in diesem Beitrag verzichtet, weil es sich um Details der Lösungstechnik für Optimierungsprobleme handelt, die keine tieferen Einblicke in Struktur und Schwierigkeiten der zugrunde liegenden Optimierungsprobleme vermitteln würden.

Aus den notwendigen Bedingungen für die Existenz eines lokalen Maximums der LAGRANGE-Funktion L(eff,inv,sha,λ) erhält man die nachfolgenden Anforderungen, die in einem Produktionssystem mit Just-in-Time-Produktionssteuerung erfüllt sein müssen, wenn den Vorgaben des ADL-Modells gefolgt wird.

---

1) Da jeweils auf die ersten partiellen Ableitungen der LAGRANGE-Funktion Bezug genommen wird, ist oftmals von „first order conditions“ für die Existenz eines lokalen Maximums der LAGRANGE-Funktion die Rede.

Aus der Definition der LAGRANGE-Funktion gemäß Formel (71):

$$\begin{aligned} L(\text{eff},\text{inv},\text{sha},\lambda) \;=\; & \text{pro}(\text{eff},\text{inv}) - 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^2 \bullet \sigma_\varepsilon^{\,2} - \text{sdu} \bullet \text{eff} - \text{lks} \bullet \text{inv} \\ & + \lambda \bullet \left(\text{sha} \bullet \text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff},\text{inv}) - \text{sdu}\right) \end{aligned} \tag{72}$$

folgen als „first order conditions“ für ihre ersten partiellen Ableitungen:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial L(\text{eff}^*,\text{inv}^*,\text{sha}^*,\lambda^*)}{\partial \text{eff}} = 0 \\ \Leftrightarrow\quad & \frac{\partial \text{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*)}{\partial \text{eff}} - \frac{\partial\left(0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon^{\,2}\right)}{\partial \text{eff}} - \frac{\partial(\text{sdu} \bullet \text{eff}^*)}{\partial \text{eff}} \\ & - \frac{\partial(\text{lks} \bullet \text{inv}^*)}{\partial \text{eff}} + \frac{\partial \lambda \bullet \left(\text{sha}^* \bullet \text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) - \text{sdu}\right)}{\partial \text{eff}} = 0 \\ \Leftrightarrow\quad & \text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) - 0 - \text{sdu} - 0 + \lambda^* \bullet \text{sha}^* \bullet \text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{eff}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) = 0 \\ \Leftrightarrow\quad & \text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) = \text{sdu} - \lambda^* \bullet \text{sha}^* \bullet \text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{eff}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) \end{aligned} \tag{73}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial L(\text{eff}^*,\text{inv}^*,\text{sha}^*,\lambda^*)}{\partial \text{inv}} = 0 \\ \Leftrightarrow\quad & \frac{\partial \text{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*)}{\partial \text{inv}} - \frac{\partial\left(0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon^{\,2}\right)}{\partial \text{inv}} - \frac{\partial(\text{sdu} \bullet \text{eff}^*)}{\partial \text{inv}} \\ & - \frac{\partial(\text{lks} \bullet \text{inv}^*)}{\partial \text{inv}} + \frac{\partial \lambda^* \bullet \left(\text{sha}^* \bullet \text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) - \text{sdu}\right)}{\partial \text{inv}} = 0 \\ \Leftrightarrow\quad & \text{pro}_{\partial\text{inv}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) - 0 - 0 - \text{lks} + \lambda^* \bullet \text{sha}^* \bullet \text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) = 0 \\ \Leftrightarrow\quad & \text{pro}_{\partial\text{inv}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) = \text{lks} - \lambda^* \bullet \text{sha}^* \bullet \text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) \end{aligned} \tag{74}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial L(\text{eff}^*,\text{inv}^*,\text{sha}^*,\lambda^*)}{\partial \text{sha}} = 0 \\ \Leftrightarrow\quad & \frac{\partial \text{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*)}{\partial \text{sha}} - \frac{\partial\left(0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon^{\,2}\right)}{\partial \text{sha}} - \frac{\partial(\text{sdu} \bullet \text{eff}^*)}{\partial \text{sha}} \\ & - \frac{\partial(\text{lks} \bullet \text{inv}^*)}{\partial \text{sha}} + \frac{\partial \lambda \bullet \left(\text{sha}^* \bullet \text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) - \text{sdu}\right)}{\partial \text{sha}} = 0 \\ \Leftrightarrow\quad & 0 - 2 \bullet 0{,}5 \bullet \alpha \bullet \text{sha}^* \bullet \sigma_\varepsilon^{\,2} - 0 - 0 + \lambda^* \bullet \text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) = 0 \\ \Leftrightarrow\quad & -\alpha \bullet \text{sha}^* \bullet \sigma_\varepsilon^{\,2} + \lambda^* \bullet \text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) = 0 \\ \Leftrightarrow\quad & \alpha \bullet \text{sha}^* \bullet \sigma_\varepsilon^{\,2} = \lambda^* \bullet \text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*) \\ \Leftrightarrow\quad & \text{sha}^* = \frac{\lambda^* \bullet \text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff}^*,\text{inv}^*)}{\alpha \bullet \sigma_\varepsilon^{\,2}} \end{aligned} \tag{75}$$

$$\frac{\partial L\left(eff^*,inv^*,sha^*,\lambda^*\right)}{\partial\lambda} = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{\partial pro\left(eff^*,inv^*\right)}{\partial\lambda} - \frac{\partial\left(0{,}5\bullet\alpha\bullet sha^{*2}\bullet\sigma_\varepsilon^{\ 2}\right)}{\partial\lambda} - \frac{\partial\left(sdu\bullet eff^*\right)}{\partial\lambda}$$

$$-\frac{\partial\left(lks\bullet inv^*\right)}{\partial\lambda} + \frac{\partial\lambda\bullet\left(sha^*\bullet pro_{\partial eff}(eff^*,inv^*) - sdu\right)}{\partial\lambda} = 0 \tag{76}$$

$$\Leftrightarrow 0-0-0-0+\left(sha^*\bullet pro_{\partial eff}(eff^*,inv^*) - sdu\right) = 0$$

$$\Leftrightarrow sha^* = \frac{sdu}{pro_{\partial eff}(eff^*,inv^*)}$$

Durch die transitive Verkettung der Formeln (75) und (76) erhält man darüber hinaus:

$$sha^* = \frac{\lambda^*\bullet pro_{\partial eff}(eff^*,inv^*)}{\alpha\bullet\sigma_\varepsilon^{\ 2}} \quad\wedge\quad sha^* = \frac{sdu}{pro_{\partial eff}(eff^*,inv^*)}$$

$$\Rightarrow \frac{\lambda^*\bullet pro_{\partial eff}(eff^*,inv^*)}{\alpha\bullet\sigma_\varepsilon^{\ 2}} = \frac{sdu}{pro_{\partial eff}(eff^*,inv^*)} \tag{77}$$

$$\Leftrightarrow \lambda^* = \frac{\alpha\bullet\sigma_\varepsilon^{\ 2}\bullet sdu}{\left(pro_{\partial eff}(eff^*,inv^*)\right)^2}$$

Das optimale Anstrengungsniveau *eff** und das optimale Lagerhaltungsniveau *inv** lassen sich für das ADL-Modell aus den o.a. notwendigen Bedingungen für die Existenz eines lokalen Maximums der LAGRANGE-Funktion L(eff,sha,inv,λ) nicht unmittelbar ermitteln. Sie sind durch die vier Formeln (73) bis (76) der „first order conditions" implizit bestimmt und lassen sich explizit berechnen, sobald die konkrete Funktionsvorschrift der deterministischen Produktionsfunktion pro(eff,inv) spezifiziert ist und daraus ihre ersten und zweiten partiellen Ableitungen ermittelt werden können.

Für die Ermittlung des optimalen Anstrengungsniveaus *eff** und des optimalen Lagerhaltungsniveaus *inv** bieten sich insbesondere die Formeln (73) und (74) an. Setzt man dort die Resultate der Formeln (76) und (77) für die optimalen Werte *sha** bzw. λ* ein, so erhält man zwei Gleichungen, aus denen sich die zwei unbekannten Werte *eff** und *inv** für das optimale Anstrengungsniveau bzw. das optimale Lagerhaltungsniveau eindeutig bestimmen lassen:[1)]

1) Dies gilt allerdings nur, sofern die konkrete Funktionsvorschrift der deterministischen Produktionsfunktion pro(eff,inv) bekannt ist und das Gleichungssystem weder inkonsistent noch unterbestimmt ist.

$$\mathrm{pro}_{\partial eff}\left(eff^*,inv^*\right) \;=\; sdu - \lambda^* \bullet sha^* \bullet \mathrm{pro}_{\partial eff.\partial eff}(eff^*,inv^*)$$

$$\wedge \quad \lambda^* \;=\; \frac{\alpha \bullet \sigma_\varepsilon{}^2 \bullet sdu}{\left(\mathrm{pro}_{\partial eff}(eff^*,inv^*)\right)^2} \quad \wedge \quad sha^* \;=\; \frac{sdu}{\mathrm{pro}_{\partial eff}(eff^*,inv^*)}$$

$$\Rightarrow \quad \mathrm{pro}_{\partial eff}\left(eff^*,inv^*\right)$$

$$= \; sdu - \frac{\alpha \bullet \sigma_\varepsilon{}^2 \bullet sdu}{\left(\mathrm{pro}_{\partial eff}(eff^*,inv^*)\right)^2} \bullet \frac{sdu}{\mathrm{pro}_{\partial eff}(eff^*,inv^*)} \bullet \mathrm{pro}_{\partial eff.\partial eff}(eff^*,inv^*) \tag{78}$$

$$= \; sdu - \alpha \bullet \sigma_\varepsilon{}^2 \bullet sdu^2 \bullet \frac{\mathrm{pro}_{\partial eff.\partial eff}(eff^*,inv^*)}{\left(\mathrm{pro}_{\partial eff}(eff^*,inv^*)\right)^3}$$

$$\Leftrightarrow \quad sdu - \mathrm{pro}_{\partial eff}\left(eff^*,inv^*\right) - \alpha \bullet \sigma_\varepsilon{}^2 \bullet sdu^2 \bullet \frac{\mathrm{pro}_{\partial eff.\partial eff}(eff^*,inv^*)}{\left(\mathrm{pro}_{\partial eff}(eff^*,inv^*)\right)^3} \;=\; 0$$

sowie:

$$\mathrm{pro}_{\partial inv}\left(eff^*,inv^*\right) \;=\; lks - \lambda^* \bullet sha^* \bullet \mathrm{pro}_{\partial eff.\partial inv}(eff^*,inv^*)$$

$$\wedge \quad \lambda^* \;=\; \frac{\alpha \bullet \sigma_\varepsilon{}^2 \bullet sdu}{\left(\mathrm{pro}_{\partial eff}(eff^*,inv^*)\right)^2} \quad \wedge \quad sha^* \;=\; \frac{sdu}{\mathrm{pro}_{\partial eff}(eff^*,inv^*)}$$

$$\Rightarrow \quad \mathrm{pro}_{\partial inv}\left(eff^*,inv^*\right)$$

$$= \; lks - \frac{\alpha \bullet \sigma_\varepsilon{}^2 \bullet sdu}{\left(\mathrm{pro}_{\partial eff}(eff^*,inv^*)\right)^2} \bullet \frac{sdu}{\mathrm{pro}_{\partial eff}(eff^*,inv^*)} \bullet \mathrm{pro}_{\partial eff.\partial inv}(eff^*,inv^*) \tag{79}$$

$$= \; lks - \alpha \bullet \sigma_\varepsilon{}^2 \bullet sdu^2 \bullet \frac{\mathrm{pro}_{\partial eff.\partial inv}(eff^*,inv^*)}{\left(\mathrm{pro}_{\partial eff}(eff^*,inv^*)\right)^3}$$

$$\Leftrightarrow \quad lks - \mathrm{pro}_{\partial inv}\left(eff^*,inv^*\right) - \alpha \bullet \sigma_\varepsilon{}^2 \bullet sdu^2 \bullet \frac{\mathrm{pro}_{\partial eff.\partial inv}(eff^*,inv^*)}{\left(\mathrm{pro}_{\partial eff}(eff^*,inv^*)\right)^3} \;=\; 0$$

Die optimale fixe Entgeltkomponente *fix** ergibt sich aus der „verschärften“ Partizipationsrestriktion gemäß Formel (67), wenn die optimalen Werte *eff**, *inv**, *sha** und λ* mithilfe der voranstehenden Formeln (73) bis (76) der „first order conditions“ ermittelt worden sind:

$$\begin{aligned} & fix^* + sha^* \bullet \mathrm{pro}(eff^*,inv^*) - 0{,}5 \bullet \alpha \bullet sha^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon{}^2 - sdu \bullet eff^* \;=\; 0 \\ \Leftrightarrow \quad & fix^* \;=\; 0{,}5 \bullet \alpha \bullet sha^{*2} \bullet \sigma_\varepsilon{}^2 + sdu \bullet eff^* - sha^* \bullet \mathrm{pro}(eff^*,inv^*) \end{aligned} \tag{80}$$

Die optimalen Werte *eff**, *inv**, *sha**, λ* und *fix** der Optimierungsparameter *eff*, *inv*, *sha* und λ sowie des davon abhängigen Parameters *fix*, die mithilfe der Formeln (73) bis (76) und (80) ermittelt werden können, lassen sich zu weiteren Analysen des ADL-Modells heranziehen. Insbesondere können sie im Rahmen komparativ-statischer Analysen verwendet werden, um zu untersuchen, wie sich alternative optimale Lösungen des Prinzipal-Agent-Problems im ADL-Modell voneinander unterscheiden, wenn z.B. einer der drei maßgeblichen Optimierungsparameter *eff*, *inv* und *sha* hinsichtlich seiner optimalen Werte *eff**, *inv** bzw. *sha** variiert wird. Beispielsweise lässt sich untersuchen, wie sich das optimale Anstrengungsniveau *eff** des Agenten verändert, wenn in der Zahlungsregel der Wert *sha** für den Proportionalitätsfaktor der variablen, outputabhängigen Entgeltkomponente erhöht oder erniedrigt wird.

Auf solche Analysemöglichkeiten des ADL-Modells wird im Folgenden nicht näher eingegangen, weil sie nicht die Struktur, sondern „nur“ die formal-analytische Auswertung des ADL-Modells betreffen. Es wird nicht bestritten, dass solche Modellauswertungen sowohl von großem theoretischen als auch von beachtlichem praktischen Interesse sein können. Aber sie interessieren im hier vorgelegten Beitrag nicht näher, weil er sich nur mit der Rekonstruktion des ADL-Modells aus struktureller Perspektive auseinandersetzt.

3. Kritische Analyse des ADL-Modells

3.1 Analyse aus produktionswirtschaftlicher Perspektive

3.1.1 Unspezifität des ADL-Modells für die Just-in-Time-Produktionssteuerung

ALLES, DATAR und LAMBERT beanspruchen, wie einleitend aufgezeigt wurde, mithilfe der Prinzipal-Agent-Theorie interessante Einsichten in die Just-in-Time-Produktionssteuerung vermitteln zu können.

Einerseits wollen ALLES, DATAR und LAMBERT Implikationen aufzeigen, die aus der Anwendung von Just-in-Time-Prinzipien für die Steuerung von Produktionsprozessen in der betrieblichen Realität resultieren. Wird dieses *Implikationspostulat* eingelöst, so müsste es möglich sein, mithilfe dieses anwendungsorientierten Steuerungswissens praktische *Gestaltungsempfehlungen* abzuleiten. Diese Empfehlungen erstrecken sich auf die zielführende Gestaltung von Produktionssteuerungssystemen, die auf Just-in-Time-Prinzipien beruhen, und auf die Produktionssysteme, in denen diese Just-in-Time-Produktionssteuerungssysteme angewendet werden, sowie auf die Produktionsprozesse, deren Ausführung mithilfe der Just-in-Time-Produktionssteuerungssysteme koordiniert wird.

Andererseits erheben ALLES, DATAR und LAMBERT den Anspruch, den Erfolg der Just-in-Time-Produktionssteuerung theoretisch fundiert erklären zu können. Dieses *Erklärungspostulat* ist in zweifacher Hinsicht bemerkenswert.

Erstens beruht das Erklärungspostulat auf einer wesentlichen Präsupposition. Denn es unterstellt, dass sich die Just-in-Time-Produktionssteuerung in der Unternehmenspraxis tatsächlich als betriebswirtschaftlich erfolgreich herausstellt. Dies ist aber aus zumindest zwei Gründen keineswegs selbstverständlich. Einerseits legen ALLES, DATAR und LAMBERT in keiner Weise offen, welchen betriebswirtschaftlichen Erfolgsbegriff sie ihrer Präsupposition zugrunde legen. A fortiori lässt sich auf dieser Grundlage kein seriöses Urteil über „den“ Erfolg der Just-in-Time-Produktionssteuerung treffen. Andererseits bleiben ALLES, DATAR und LAMBERT selbst dann, wenn der zugrunde liegende Erfolgsbegriff als „geklärt“ oder „unproblematisch“ angenommen wird, empirische Hinweise für den betriebswirtschaftlichen Erfolg der Just-in-Time-Produktionssteuerung schuldig. Zwar existiert eine Vielzahl von Erfolgsberichten („success stories“) einzelner Unternehmen, in denen die Just-in-Time-Produktionssteuerung angewendet wurde. Aber solche Veröffentlichungen berichten nur über Einzelfälle, die sich zu keinen allgemeinen Urteilen über die Erfolgsträchtigkeit der Just-in-Time-Produktionssteuerung generalisieren lassen.[1)] Darüber hinaus gilt es, den prinzipiellen „reporting bias“ zu berücksichtigen. Er resultiert daraus, dass aus verständlichen Gründen über Misserfolge beim Einsatz eines Produktionssteuerungskonzepts kaum jemals publiziert wird, während die o.a. Erfolgsberichte von einschlägigen, insbesondere praxisorientierten Publikationsorganen in der Regel mit „offenen Armen“ und ohne kritische Überprüfung aufgenommen werden. Aufgrund der voranstehenden Argumente erscheint es dem Verfasser als mutig und unreflektiert, den Erfolg der Just-in-Time-Produktionssteuerung in der betrieblichen Realität schlicht zu präsupponieren. Immerhin lassen sich zugunsten dieser Präsupposition aber etliche seriöse empirische Studien anführen, in denen die Erfolgsträchtigkeit der Just-in-Time-Produktionssteuerung tendenziell belegt wur-

---

1) Hinzu kommt, dass auch in diesen „Erfolgsberichten“ der zugrunde liegende Erfolgsmaßstab zumeist im Dunkeln bleibt.

de.[1] Daher wird zugunsten des Erklärungspostulats im Folgenden davon ausgegangen, dass sich die Just-in-Time-Produktionssteuerung in der Unternehmenspraxis tatsächlich als betriebswirtschaftlich erfolgreich herausgestellt hat und damit die o.a. Präsupposition in der Argumentation von ALLES, DATAR und LAMBERT erfüllt ist.

Zweitens wäre es in der Tat ein hochbeachtlicher wissenschaftlicher Erfolg, wenn es ALLES, DATAR und LAMBERT gelingen würde, ihr Erklärungspostulat für den praktischen Erfolg der Just-in-Time-Produktionssteuerung einzulösen. Denn die einschlägige Fachliteratur zu Produktionsplanungs- und -steuerungssystemen (PPS-Systemen) leidet unter einem eklatanten Theoriedefizit. Dem Verfasser ist kein anderer Beitrag bekannt, in dem versucht würde, den – angeblichen oder empirisch belegten – Erfolg eines PPS-Systems mithilfe einer „echten“ betriebswirtschaftlichen Theorie zu erklären. Unter einer „echten“ Theorie wird in diesem Zusammenhang ein systematischer Aussagenzusammenhang verstanden, der mindestens eine nicht-triviale nomische Hypothese umfasst und dessen intendierter Anwendungsbereich nicht zur kasuistischen Betrachtungsweise von Einzelfällen degeneriert ist. Diesen konventionellen Anforderungen an eine Theorie aus der Perspektive des Received View oder Statement View (darauf wird noch zurückgekommen) werden die Prinzipal-Agent-Theorie im Allgemeinen sowie das ADL-Modell im Besonderen gerecht, sofern von der Frage abgesehen wird, wo die mindestens eine nicht-triviale nomische Hypothese in Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie jeweils „versteckt“ ist. Daher stellt das ADL-Modell nach Auffassung des Verfassers den ersten ernsthaften Ansatz dar, PPS-Systeme theoretisch fundiert zu analysieren, und zwar in der speziellen Absicht, den praktischen Erfolg der Just-in-Time-Produktionssteuerung mithilfe der Prinzipal-Agent-Theorie zu erklären. Aus diesem Grund gehört das ADL-Modell zu den produktionswirtschaftlich interessantesten „Produkten“, die von Vertretern der Prinzipal-Agent-Theorie hervorgebracht wurden, und sollte in der produktionswirtschaftlichen Auseinandersetzung mit PPS-Systemen weitaus größere Beachtung erfahren. Der hier vorgelegte Beitrag versteht sich als ein erster, noch grober, später zu vertiefender Ansatz, um diesem Desiderat zu entsprechen.

ALLES, DATAR und LAMBERT diskutieren im 5. Kapitel ihres Aufsatzes eine Vielzahl von Erkenntnissen über Implikationen und Erklärungen, die sich aus der Analyse ihres ADL-Modells für die Anwendung der Just-in-Time-Produktionssteuerung gewinnen lassen.[2] Sie untersuchen im Rahmen einer komparativ-statischen Analyse zwei Aspekte. Einerseits gehen sie der Frage nach, wie sich Veränderungen einzelner Einflussgrößen des ADL-Modells auf diejenigen monetären Nutzengrößen („profits“) von Prinzipal und Agent auswirken, die anlässlich der konventionellen Formulierung des ADL-Modells im Kapitel 2 ausführlich erläutert wurden. Andererseits wird auch analysiert, wie sich diese monetären Nutzengrößen in den drei Varianten „des“ ADL-Modells verhalten, die im hier vorgelegten Beitrag zu Beginn des Kapitels 2 kurz angesprochen wurden. Dazu gehört vor al-

---

1) Vgl. z.B. MIYAKE/ENKAWA/FLEURY (1995), S. 351 ff. (allerdings nicht für die Just-in-Time-Produktionssteuerung allein, sondern hinsichtlich ihrer Kombination mit Konzepten des Total Quality Control und Total Productive Maintenance); BALAKRISHNAN/LINSMEIER/VENKATACHALAM (1996), S. 185 ff. (mit differenzierten Erkenntnissen, welche die Erfolgsträchtigkeit der Just-in-Time-Produktionssteuerung keineswegs generell belegen, sondern „nur“ unter bestimmten Voraussetzungen); SCHULTZ/JURAN/BOUDREAU (1999), S. 1664 ff.; ALLES/AMERSHI/DATAR/SARKAR (2000), S. 1535 ff., insbesondere S. 1540 f.
Vgl. aber auch die Ausführungen von HAYES/PISANO (1996), S. 34, die es aus der Perspektive des strategischen Produktionsmanagements grundsätzlich offenlassen, ob sich Produktionssteuerungen entweder vom JIT- oder aber vom ERP-Typ als erfolgreicher erweisen. Sie weisen vollkommen zu Recht darauf hin, dass im Hinblick auf solche vergleichenden Erfolgsanalysen im Bereich der Produktionsplanungs- und -steuerungskonzepte bislang nur unzureichend geforscht wurde.

2) Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 187 ff.; vgl. auch die kompakte Zusammenfassung wesentlicher Erkenntnisse bei FANDEL/LORTH (2001), S. 283 f.

lem die Frage, wie sich diese monetären Nutzengrößen voneinander unterscheiden, wenn einerseits ein unechtes Prinzipal-Agent-Problem ohne Informationsasymmetrie gelöst wird („first best solutions“ der ersten Modellvariante) und andererseits ein echtes Prinzipal-Agent-Problem mit Informationsasymmetrie zwischen Prinzipal und Agent gelöst wird („second best solutions“ der zweiten und dritten Modellvariante).

Diese umfangreichen Analysen von ALLES, DATAR und LAMBERT scheinen auf den ersten Blick die Erwartungen zu erfüllen, die von ihnen im Hinblick auf ihre Implementierungs- und Erklärungspostulate geweckt wurden. Dieser oberflächliche Eindruck täuscht jedoch, weil die gesamten Analysen von ALLES, DATAR und LAMBERT unter einer *fundamentalen Schwäche* des ADL-Modells leiden. Diese Schwäche beruht darauf, dass sich die Analysen weitgehend als *unspezifisch* für die Just-in-Time-Produktionssteuerung erweisen.[1)] Gleiches trifft auch auf die Analyseergebnisse, also die angeblichen Erkenntnisse über Implikationen und Erklärungen der Just-in-Time-Produktionssteuerung zu. Daher wurde in diesem Beitrag darauf verzichtet, diese Erkenntnisse im Einzelnen wiederzugeben.

Die weitgehende Unspezifität des ADL-Modells für die Just-in-Time-Produktionssteuerung beruht auf der *Kreuzableitungsirrelevanz* der Produktionsfunktion *pro*. Denn ALLES, DATAR und LAMBERT lassen in ihrem ADL-Modell beliebige Kreuzableitungen $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv)$ der Produktionsfunktion *pro* zu. Diese Beliebigkeit im Hinblick auf die Kreuzableitung der Produktionsfunktion *pro* über-

---

1) Vgl. dazu auch die Kritik von HEMMER (1995), S. 208 ff., die dort aus der Perspektive der „externen Validität“ des ADL-Modells vorgetragen wird. Zwar wird von HEMMER nicht auf die Kreuzableitungsirrelevanz der Produktionsfunktion *pro* eingegangen, die im Vordergrund der hier vorgetragenen Argumentation steht. Aber die zusätzlichen Argumente von HEMMER stützen das Urteil, dass sich die Analysen von ALLES, DATAR und LAMBERT als weitgehend unspezifisch für die Just-in-Time-Produktionssteuerung erweisen. Davon ausgenommen sind die Ausführungen von HEMMER (1995), S. 212, in denen eine Beziehung zwischen dem Lagerhaltungsniveau im ADL-Modell und der Anzahl von Kanban-Karten in einer Just-in-Time-Produktionssteuerung hergestellt wird.
FANDEL/LORTH (2001), S. 280 f., beziehen sich explizit auf die Kritik von HEMMER (1995), indem auch sie die Spezifität des ADL-Modells für die Just-in-Time-Produktionssteuerung zunächst in Zweifel ziehen (S. 280: „ … ein Prinzipal-Agenten-Modell, das allerdings in bezug auf die darin unterstellten Charakteristika typischer Just-in-Time-Systeme stark kritisiert wird“). Anschließend empfehlen FANDEL und LORTH – weiterhin unter Berufung auf HEMMER (1995) – jedoch, das ursprüngliche ADL-Modell „umzuinterpretieren“ (S. 280). Anstatt der ursprünglichen Intention des ADL-Modells, u.a. den Zusammenhang zwischen der „Arbeitsmotivation von Arbeitnehmern“ (S. 280) und der „Wahl optimaler Lagerbestände“ (S. 280) zu analysieren, gehe es aus der Sicht der neuartigen Modellinterpretation darum, „wie sich moralisches Risiko seitens der Arbeitsnehmer auf die Wahl der durchschnittlichen Größe eines Pufferlagers in Just-in-Time-Produktionssystemen, wie z.B. dem Kanban-System, auswirkt.“ (S. 280 f.). Dem Verfasser ist nicht unmittelbar einsichtig, worin die Uminterpretation des ADL-Modells tatsächlich bestehen soll. Der einzige offensichtliche Aspekt könnte im Wechsel der Lagerattribute von „optimal“ zu „durchschnittlich“ bestehen. Dieser Eindruck täuscht jedoch, weil das „uminterpretierte“ ADL-Modell weiterhin – sowohl aus der Prinzipal- als auch aus der Agentenperspektive – ein „doppeltes“ Optimierungsmodell darstellt. Daher geht es auch im „uminterpretierten“ ADL-Modell um die (im Sinne des modellierten Prinzipal-Agent-Problems) optimale Pufferlagergröße. Allenfalls kann davon gesprochen werden, dass die durchschnittliche Pufferlagergröße als „Lagerhaltungsniveau“ aus Prinzipal- und Agentenperspektive optimiert wird. Aber das ist ebenso schon im ursprünglichen ADL-Modell der Fall, sodass auch in dieser Hinsicht kein klarer Unterschied zwischen dem ursprünglichen und dem „uminterpretierten“ ADL-Modell zu erkennen ist. Daher wird im Folgenden – abweichend von FANDEL und LORTH – nicht von einem „uminterpretierten“ ADL-Modell gesprochen.
Zwar stellt die dritte Modellvariante von ALLES, DATAR und LAMBERT mit ihrem zusätzlichen „verrauschten Informationssignal“ einen bemerkenswerten Schritt in Richtung auf die Einbettung von Just-in-Time-Prinzipien in „das“ ADL-Modell dar; vgl. die Fußnote 2 auf S. 71. Aber die Autoren sind diesen Weg nicht konsequent zu Ende gegangen, weil sie den Fall $pro_{\partial inv.\partial eff}(eff,inv) < 0$, der sich für die Just-in-Time-Produktionssteuerung als typisch erweist, weiterhin nur am Rande behandeln. Daher wird auf diese dritte Modellvariante und ihre Annäherung an Just-in-Time-Prinzipien hier nicht näher eingegangen, zumal zu Beginn des hier vorgelegten Arbeitsberichts eine Fokussierung auf die zweite Modellvariante von ALLES, DATAR und LAMBERT erfolgte.

rascht, weil das ADL-Modell mit dem Anspruch auftritt, speziell auf Produktionsverhältnisse zugeschnitten zu sein, die für die Just-in-Time-Produktionssteuerung typisch sind.

Bei der Befolgung von Just-in-Time-Prinzipien ist zu erwarten, dass für die Kreuzableitung der Produktionsfunktion *pro* gilt: $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) < 0$ (negative Kreuzableitung).[1)] Diese Bedingung drückt aus, dass der Grenzertrag $\text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff,inv})$ des Anstrengungsniveaus *eff* des Agenten sinkt, wenn das Lagerhaltungsniveau *inv* im betrachteten Produktionssystem steigt. Oder mit anderen Worten: Bei sinkendem Lagerhaltungsniveau *inv* steigen der Grenzertrag $\text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff,inv})$ des Anstrengungsniveaus *eff* des Agenten und somit die Grenzproduktivität seiner Arbeitskraft an.

Diese Gegenläufigkeit von Lagerhaltungsniveau einerseits und Grenzproduktivität der Arbeitskraft andererseits stellt eines der zentralen „Dogmen" der Just-in-Time-Produktionssteuerung dar. Es beruht auf folgendem Argumentationsstrang:[2)] Lagerhaltung dient nur vordergründig der Kompensati-

---

1) ALLES/DATAR/LAMBERT (1995) räumen dies übrigens explizit ein; vgl. S. 182. Dennoch lassen sie es an der Konsequenz mangeln, die Bedingung $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) < 0$ als eine Anforderung aufzustellen, die alle Produktionsfunktionen erfüllen müssen, welche im ADL-Modell zulässig sind. Stattdessen lassen sie ebenso $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) > 0$ und auch $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) = 0$ zu.

2) Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 187 f.; FANDEL/LORTH (2001), S. 283 f. Bemerkenswert ist, das ALLES, DATAR und LAMBERT den Argumentationsstrang, der hier nur in qualitativer, natürlichsprachlicher Weise vorgetragen wird, in ihrer dritten Modellvariante mit formalsprachlichen Ausdrucksmitteln der Prinzipal-Agent-Theorie rekonstruieren. Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 188 ff. Ansatzpunkt dieser Rekonstruktion ist ein „verrauschtes Informationssignal", das der Prinzipal über die Arbeitsweise seines Agenten im Produktionssystem erhält und das durch die Höhe des Lagerhaltungsniveaus *inv* so beeinflusst wird, wie es im hier angeführten Argumentationsstrang natürlichsprachlich beschrieben wird: Eine Senkung des Lagerhaltungsniveaus verringert das „Rauschen" (die Varianz) des Informationssignals und verschafft dem Prinzipal hierdurch präzisere Informationen über die Produktionsprozesse, die im Produktionssystem vom Agenten ausgeführt werden. Hinsichtlich dieser dritten Modellvariante gelingt es ALLES, DATAR und LAMBERT also durchaus, einen Argumentationsstrang in ihre formalsprachliche Modellierung einzubeziehen, der sich für die Just-in-Time-Produktionssteuerung als typisch erweist. Allerdings ist es symptomatisch für das „gebrochene" Verhältnis von ALLES, DATAR und LAMBERT zur Just-in-Time-Produktionssteuerung, dass sie auch in ihrer dritten Modellvariante wiederum vom Fall $\text{pro}_{\partial\text{inv}.\partial\text{eff}}(\text{eff,inv}) = 0$ ausgehen (vgl. S. 189), der für die Just-in-Time-Produktionssteuerung *atypisch* ist. Erst später und in einem nur sehr knappen Exkurs wenden sie sich – gleichsam „en passant" – dem für die Just-in-Time-Produktionssteuerung typischen Fall $\text{pro}_{\partial\text{inv}.\partial\text{eff}}(\text{eff,inv}) < 0$ zu (vgl. S. 191). Daher lässt sich festhalten, dass die dritte Modellvariante von ALLES, DATAR und LAMBERT zwar einen bemerkenswerten Schritt in Richtung auf die Einbettung von Just-in-Time-Prinzipien in „das" ADL-Modell darstellt, aber die Autoren diesen Weg nicht konsequent zu Ende gegangen sind, weil sie den typischen Fall $\text{pro}_{\partial\text{inv}.\partial\text{eff}}(\text{eff,inv}) < 0$ weiterhin nur am Rande behandeln. Wegen der eingangs erfolgten Fokussierung auf die zweite Modellvariante von ALLES, DATAR und LAMBERT wird auf die hier nur kurz angesprochene dritte Modellvariante im Folgenden nicht näher eingegangen.
Eine vertiefende Analyse der Wirkungsweise eines relativ niedrigen Lagerhaltungsniveaus im Rahmen der Just-in-Time-Produktionssteuerung präsentieren SCHULTZ/JURAN/BOUDREAU (1999), S. 1664 ff., insbesondere S. 1666 f. u. 1675 f. Die Analyse, die sich auf eine bemerkenswerte Kombination von Operations Research und Organisationspsychologie stützt, fundiert den o.a. Argumentationsstrang, indem sie aus verhaltenswissenschaftlicher Perspektive insbesondere auf die Motivationswirkungen eines relativ niedrigen Lagerhaltungsniveaus eingeht. Vgl. auch die ähnlich angelegte Analyse in SCHULTZ/JURAN/BOUDREAU et al. (1998), S. 1595 ff., sowie ähnliche Argumente zugunsten der positiven Auswirkungen eines relativ niedrigen Lagerhaltungsniveaus bei MACDUFFIE (1995), S. 198 ff., insbesondere S. 200 f. u. 202 (allerdings zumeist nicht auf die Just-in-Time-Produktionssteuerung, sondern auf das eng verwandte Lean-Production-Konzept bezogen). MACDUFFIE (1995), S. 204 ff., präsentiert auch eine empirische Untersuchung im Bereich der Automobilmontage, die eng an die wegweisende MIT-Studie von WOMACK, JONES und ROOS zum Lean-Production-Konzept angelehnt ist. In dieser Untersuchung wird nachgewiesen, dass ein relativ niedriges Lagerhaltungsniveau mit hoher Arbeitsproduktivität einhergeht (vgl. S. 211, allerdings bedarf der dort angeführte negative Korrelationswert von -0,49 einiger „Interpretationskünste", weil Lagerhaltungsniveau und Arbeitsproduktivität gemäß S. 207 bzw. 205 f. auf „kontraintuitiven" Skalen gemessen werden). Dies bestätigt den o.a. Argumentationsstrang auf empirische Weise. Vgl. des Weiteren zu den tendenziell positiven Auswirkungen eines relativ niedrigen Lagerhaltungsniveaus ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 187 f.; HEMMER (1995), S. 208 f.

➥

on von Produktionsstörungen. Hintergründig ist Lagerhaltung mit einem nicht intendierten, aber gravierenden „Neben“-Effekt verknüpft. Da Lagerhaltung die Auswirkungen von Produktionsstörungen – zumindest in Grenzen – zu kompensieren vermag, „verführt“ sie auf der phänomenalen Ebene der Produktionsstörungen dazu, nur die Auswirkungen von Produktionsstörungen abzufangen, ohne jedoch die Ursachen der Produktionsstörungen zu bekämpfen. Just-in-Time-Prinzipien regen hingegen dazu an, auf der „tiefer“ liegenden, kausalen Ebene die Ursachen von Produktionsstörungen nachhaltig zu bekämpfen. Hinzu kommt die – psychologisch durchaus plausible – Annahme, dass Aktivitäten zur Bekämpfung von Störungsursachen tendenziell erst dann ergriffen werden, wenn sich Produktionsstörungen nicht mehr durch „üppige“ Lagerhaltung kompensieren und somit „kaschieren“ lassen. Erst dann, wenn bewusst niedrig gehaltene Lagerhaltung die Gelegenheit zur Störungskompensation unterminiert, wird der „Leidensdruck“ von Arbeitskräften im Produktionssystem so groß, dass sie die Mühsal auf sich nehmen, die Ursachen von Produktionsstörungen „an der Wurzel“ zu bekämpfen. Folglich werden das Produktionsergebnis – ceteris paribus – bei unverändertem Arbeitseinsatz und somit der Grenzertrag $pro_{\partial eff}(eff,inv)$ des Anstrengungsniveaus *eff* des Agenten tendenziell steigen, wenn das Lagerhaltungsniveau *inv* im Produktionssystem sinkt. Genau dies ist die „zentrale Botschaft“ der Bedingung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ für Produktionssysteme, deren Produktionsprozesse mithilfe der Just-in-Time-Produktionssteuerung koordiniert werden.

Da im ADL-Modell Offenheit für beliebige Kreuzableitungen der Produktionsfunktion *pro* herrscht, wird die voranstehende Argumentation zugunsten der konkreten Bedingung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ im ADL-Modell offensichtlich ignoriert. Diese Beliebigkeit wirkt sich hinsichtlich des angeblichen Untersuchungsobjekts, der Erfolgswirksamkeit der Just-in-Time-Produktionssteuerung, „dramatisch“ aus. Denn Produktionssysteme, deren Produktionsprozesse mithilfe der Just-in-Time-Produktionssteuerung koordiniert werden, müssen gemäß dem o.a. „Dogma“ die Bedingung einer negativen Kreuzableitung erfüllen. Diese Bedingung wird von ALLES, DATAR und LAMBERT in ihren Analysen aber nicht vorausgesetzt. Folglich besitzen ihre Analysen und die daraus folgenden Erkenntnisse *keine spezifische* Geltung *für die Just-in-Time-Produktionssteuerung*. Dies ist hoch befremdlich für einen Aufsatz, der in seinem Titel die Formulierung „ … in Just-in-Time Settings“ trägt. Noch erstaunlicher empfindet es der Verfasser, dass die Gutachter einer angesehenen ökonomischen Fachzeitschrift – dem Journal of Accounting Research – diese mangelhafte Spezifität im Hinblick auf die Just-in-Time-Produktionssteuerung offensichtlich nicht moniert, sondern den Aufsatz einschließlich seines irreführenden Titels akzeptiert haben.

Immerhin könnte eingewendet werden, die Analysen von ALLES, DATAR und LAMBERT besäßen zwar wegen der Kreuzableitungsirrelevanz der Produktionsfunktion *pro* nicht die wünschenswerte Spezifität für die Just-in-Time-Produktionssteuerung. Aber wegen der Beliebigkeit der Kreuzableitung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv)$ würde die Relevanz der Analysen für die Just-in-Time-Produktionssteuerung auch nicht grundsätzlich ausgeschlossen. Denn eine beliebige Kreuzableitung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv)$ umschließt immerhin auch den Sonderfall $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$, der sich für die Just-in-Time-

Vgl. darüber hinaus ALLES/AMERSHI/DATAR/SARKAR (2000), S. 1528 ff., 1534, 1538 u. 1540 f. Dort findet sich unter anderem eine empirische Überprüfung des o.a. Argumentationsstrangs, welche die positiven Auswirkungen eines vergleichsweise niedrigen Lagerhaltungsniveaus auf das Produktionsergebnis grundsätzlich bestätigt, allerdings das Produktionsergebnis in spezieller Weise als Produktionsqualität betrachtet. Vgl. ansatzweise ebenso BAIMAN/NETESSINE/SAOUMA (2007), S. 4, 9 ff. u. 15. Die Autoren differenzieren allerdings zwischen zwei gegenläufigen Effekten: Der eine Effekt („stock-out effect“) lässt den Grenzertrag des Anstrengungsniveaus des Agenten mit steigendem Lagerhaltungsniveau gemäß $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) > 0$ anwachsen, während der andere Effekt („incentive effect“) ab Überschreiten eines bestimmten Lagerhaltungsniveaus den Grenzertrag des Anstrengungsniveaus des Agenten mit steigendem Lagerhaltungsniveau gemäß $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ sinken lässt.

Produktionssteuerung als charakteristisch erweist. Jedoch auch dieser „Rettungsversuch“ scheitert nahezu vollständig. Denn ALLES, DATAR und LAMBERT setzen in ihrem einschlägigen 5. Kapitel fast immer voraus, dass für die Kreuzableitung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) = 0$ gilt.[1] Durch diese Prämisse wird die Just-in-Time-Produktionssteuerung aus den Analysen des 5. Kapitels weitgehend ausgeschlossen. Nur mit zwei knappen Sätzen und in einer Fußnote gehen ALLES, DATAR und LAMBERT auf die Bedingung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ und somit auch auf die Just-in-Time-Produktionssteuerung konkret ein.[2] In diesen kurzen Passagen werden aber keine Aufsehen erregenden Erkenntnisse für die Implementierung der Just-in-Time-Produktionssteuerung oder die Erklärung ihres Anwendungserfolgs ausgesprochen.

Folglich haben ALLES, DATAR und LAMBERT ihr „eigentliches“ *Erkenntnisziel*, das eingangs als Implementierungs- und als *Erklärungspostulat* in Bezug auf die *Just-in-Time-Produktionssteuerung* beschrieben wurde, *verfehlt*. Daher kann das ADL-Modell in der Form, in der es bislang vorliegt, noch nicht die produktionswirtschaftlichen Erwartungen erfüllen, die seine Autoren geweckt haben.

3.1.2 Fokussierung des ADL-Modells auf die Just-in-Time-Produktionssteuerung

Trotz seiner weitgehenden Unspezifität für die Just-in-Time-Produktionssteuerung sollte das ADL-Modell nicht grundsätzlich verworfen werden. Dafür sprechen mindestens zwei Gründe. Erstens vermittelt seine Analyse eine Vielzahl produktionswirtschaftlich interessanter Erkenntnisse, wenn von dem Anspruch abgesehen wird, es müsse sich um Erkenntnisse mit Relevanz für die Just-in-Time-Produktionssteuerung handeln. Zweitens bietet das ADL-Modell durchaus vielversprechende Entwicklungsperspektiven. Denn es kann sich durchaus auch für die Just-in-Time-Produktionssteuerung als fruchtbar erweisen. Dies ist zu erwarten, wenn es gelingt, in das ADL-Modell Produktionsfunktionen *pro* aufzunehmen, welche die charakteristische Bedingung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ für die Just-in-Time-Produktionssteuerung erfüllen. Dies stellt ein Desiderat für eine zukünftige Weiterentwicklung des ADL-Modells dar. Die Einlösung dieses Desiderats stellt keineswegs eine triviale Aufgabe dar. Dies liegt im Wesentlichen an zwei Gründen.

Erstens ist von denjenigen Produktionsfunktionen, die wegen ihrer einfachen analytischen Handhabbarkeit in konventionellen ökonomischen Analysen bevorzugt werden, nicht bekannt, dass sie die charakteristische Bedingung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ für die Just-in-Time-Produktionssteuerung erfüllen. Zu den prima facie interessantesten Exemplaren gehören insbesondere Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ.[3] Für diese Produktionsfunktionen gilt:

$$\forall eff \in EFF\ \forall inv \in INV\ \forall a \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall b \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall c \in \mathbb{R}_{>0}:\quad pro(eff,inv) = c \bullet eff^a \bullet inv^b \qquad (81)$$

Oftmals wird für die beiden Exponenten einer Produktionsfunktion vom COBB/DOUGLAS-Typ unterstellt, dass sie die spezielle Beziehung $a+b = 1$ erfüllen.[4] Dies muss jedoch für allgemeine Pro-

---

1) Vgl. vor allem ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 187, in der Überleitung vom 4. zum 5. Kapitel, daneben aber auch S. 189 u. 191 im 5. Kapitel; HEMMER (1995), S. 207.

2) Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 191 (mit Fußnote 19) und S. 196. Vgl. am Rande auch S. 186, dort aber nicht im Rahmen des 5. Kapitels, in dem ALLES, DATAR und LAMBERT ihre wesentlichen Analysen vorstellen.

3) Vgl. KERN (1990), S. 39; ELLINGER/HAUPT (1996), S. 84; STEVEN (1998), S. 37 ff., 42, 44, 47 f., 49, 60 f. u. 237 f.; WIESE (2002), S. 53, 55 u. 190.

4) Vgl. KERN (1990), S. 39 („Feld 13“); ELLINGER/HAUPT (1996), S. 84; ; STEVEN (1998), S. 60; WIESE (2002), S. 53 u. 55 (mittelbar durch die Festlegung b = 1-a).

duktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ nicht zu gelten. Vielmehr sind auch die Beziehungen $0 < a+b < 1$ und $a+b > 1$ zulässig.[1)]

Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ besitzen den Vorzug, mit den Instrumenten der konventionellen Marginalanalyse im Vergleich zu anderen Produktionsfunktionen relativ leicht untersucht werden zu können. Darüber hinaus erweist es sich als vorteilhaft, dass Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ in mikro- und makro-ökonomisch ausgerichteten Analysen mit volkswirtschaftlichem Einschlag weit verbreitet sind.[2)] Daher stellen sie eine bemerkenswerte Nahtstelle dar, die zwischen produktionswirtschaftlichen Analysen einerseits der Volks- und andererseits der Betriebswirtschaftslehre zu vermitteln vermag. Sogar ALLES, DATAR und LAMBERT haben sich an einer Stelle ihrer Ausführungen explizit auf Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ bezogen.[3)]

Damit sich Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ in den produktionstheoretischen Analyserahmen einfügen lassen, der vom ADL-Modell aufgespannt wird, müssen zunächst zwei einschränkende Voraussetzungen akzeptiert werden. Erstens dürfen keine degenerierten Produktionsverhältnissen mit $eff = 0$ oder $inv = 0$ vorliegen.[4)] Diese erste Einschränkung spielt keine wesentliche Rolle, weil sowohl aus theoretischer als auch aus praktischer Perspektive nur nicht-degenerierte Produktionsverhältnisse mit $eff \neq 0$ und $inv \neq 0$ von Interesse sind. Zweitens muss vorausgesetzt werden, dass die beiden Exponenten *a* und *b* der Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ die Beziehung $0 < a+b < 1$ erfüllen.[5)] Hieraus folgt wegen $a \in \mathbb{R}_{>0}$ und $b \in \mathbb{R}_{>0}$ für die Definitionsbereiche der beiden Exponenten: $a \in \mathbb{R}_{]0;1[}$ bzw. $b \in \mathbb{R}_{]0;1[}$. Diese zweite Einschränkung besitzt erhebliches Gewicht, weil sie eine Vielzahl denkmöglicher Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ von vornherein ausschließt.

Darüber hinaus wird auf die Definitionsbereiche $EFF \subseteq \mathbb{R}_{\geq 0}$ für das Anstrengungsniveau *eff* und $INV \subseteq \mathbb{R}_{\geq 0}$ für das Lagerhaltungsniveau *inv* zurückgegriffen, die früher in den Formeln (1) bzw. (2) eingeführt wurden. Sie werden aufgrund der o.a. ersten Einschränkung auf die Definitionsbereiche $EFF \subseteq \mathbb{R}_{>0}$ für das Anstrengungsniveau *eff* und $INV \subseteq \mathbb{R}_{>0}$ für das Lagerhaltungsniveau *inv* fokussiert.

---

1) Vgl. KERN (1990), S. 39 („Feld 23" und „Feld 33"); STEVEN (1998), S. 38, 42, 47, 60 u. 237 (allerdings nur im Hinblick auf den Fall $a+b < 1$, der bei STEVEN in der allgemeinen Bedingung $\sum_{i=1}^{n} a_i \leq 1$ eingeschlossen ist); WIESE (2002), S. 190 (indirekt durch das Verbot von $a+b = 1$).

2) Für betriebswirtschaftliche Analysen besitzen die Produktionsfunktionen vom COBB-DOUGLAS-Typ dagegen eine weitaus geringere Bedeutung, da sie zur strukturell einfachsten Gruppe der Produktionsfunktionen vom Typ A gehören. Die strukturell komplexeren Produktionsfunktionen, die in betriebswirtschaftlichen, insbesondere produktionstheoretischen Diskussion als Produktionsfunktionen der Typen B bis G thematisiert werden, finden dagegen im ADL-Modell überhaupt keine Berücksichtigung.

3) Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 186, Fußnote 12.

4) Andernfalls wäre jeder Produkt-Term aus den nachfolgenden Formeln (82) bis (87) gleich Null, in dem das Anstrengungsniveau *eff* oder das Lagerhaltungsniveau *inv* als ein Faktor enthalten ist. In einem solchen Fall würden die partiellen Ableitungen der Produktionsfunktion pro(eff,inv) nicht mehr die Bedingungen erfüllen, die in den nachfolgenden Formeln (82) bis (87) ausgedrückt sind.

5) Diese zweite Einschränkung findet sich – im Gegensatz zur ersten Einschränkung – auch explizit bei ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 186, Fußnote 12, allerdings ohne die „linke Seite", also ohne die Beziehung $0 < a+b$.
Die zweite Einschränkung ist erforderlich, damit Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ die Regularitätsbedingung gemäß Formel (9) für ein lokales Maximum der Produktionsfunktion pro(eff,inv) erfüllen. Siehe hierzu die nachfolgende Formel (87).

Unter den voranstehend eingeführten Voraussetzungen gilt für Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ:

$\forall \mathrm{eff} \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall \mathrm{inv} \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall a \in \mathbb{R}_{]0;1[}\ \forall b \in \mathbb{R}_{]0;1[}\ \forall c \in \mathbb{R}_{>0}$:

$$\text{a)}\quad \frac{\partial\, \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})}{\partial\, \mathrm{eff}} = \frac{\partial\left(c \bullet \mathrm{eff}^{a} \bullet \mathrm{inv}^{b}\right)}{\partial\, \mathrm{eff}} = \underbrace{c \bullet a}_{>0} \bullet \underbrace{\mathrm{eff}^{a-1} \bullet \mathrm{inv}^{b}}_{>0} > 0 \tag{82}$$

$$\text{b)}\quad \frac{\partial^2 \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})}{\partial\, \mathrm{eff}^2} = \frac{\partial\left(c \bullet a \bullet \mathrm{eff}^{a-1} \bullet \mathrm{inv}^{b}\right)}{\partial\, \mathrm{eff}} = \underbrace{c \bullet a}_{>0} \bullet \underbrace{(a-1)}_{\substack{<0 \\ \text{wegen } 0<a<1}} \bullet \underbrace{\mathrm{eff}^{a-2} \bullet \mathrm{inv}^{b}}_{>0} < 0 \tag{83}$$

$$\text{c)}\quad \frac{\partial\, \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})}{\partial\, \mathrm{inv}} = \frac{\partial\left(c \bullet \mathrm{eff}^{a} \bullet \mathrm{inv}^{b}\right)}{\partial\, \mathrm{inv}} = \underbrace{c \bullet b}_{>0} \bullet \underbrace{\mathrm{eff}^{a} \bullet \mathrm{inv}^{b-1}}_{>0} > 0 \tag{84}$$

$$\text{d)}\quad \frac{\partial^2 \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})}{\partial\, \mathrm{inv}^2} = \frac{\partial\left(c \bullet b \bullet \mathrm{eff}^{a} \bullet \mathrm{inv}^{b-1}\right)}{\partial\, \mathrm{inv}} = \underbrace{c \bullet b}_{>0} \bullet \underbrace{(b-1)}_{\substack{<0 \\ \text{wegen } 0<b<1}} \bullet \underbrace{\mathrm{eff}^{a} \bullet \mathrm{inv}^{b-2}}_{>0} < 0 \tag{85}$$

$$\text{e)}\quad \frac{\partial^2 \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})}{\partial\, \mathrm{eff}\ \partial\, \mathrm{inv}} = \frac{\partial\left(c \bullet a \bullet \mathrm{eff}^{a-1} \bullet \mathrm{inv}^{b}\right)}{\partial\, \mathrm{inv}} = \underbrace{c \bullet a \bullet b}_{>0} \bullet \underbrace{\mathrm{eff}^{a-1} \bullet \mathrm{inv}^{b-1}}_{>0} > 0 \tag{86}$$

$$\begin{aligned}
\text{f)}\quad & \left(\frac{\partial^2 \mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}^*)}{\partial\, \mathrm{eff}^2} \bullet \frac{\partial^2 \mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}^*)}{\partial\, \mathrm{inv}^2}\right) - \left(\frac{\partial^2 \mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}^*)}{\partial\, \mathrm{eff}\ \partial\, \mathrm{inv}}\right)^2 \\
&= \underbrace{\left(\left(\underbrace{c \bullet a \bullet (a-1) \bullet \mathrm{eff}^{a-2} \bullet \mathrm{inv}^{b}}_{<0 \text{ wegen } 0<a<1, \text{ sodass } a-1<0}\right) \bullet \left(\underbrace{c \bullet b \bullet (b-1) \bullet \mathrm{eff}^{a} \bullet \mathrm{inv}^{b-2}}_{<0 \text{ wegen } 0<b<1, \text{ sodass } b-1<0}\right)\right)}_{>0} - \underbrace{\left(\underbrace{c \bullet a \bullet b \bullet \mathrm{eff}^{a-1} \bullet \mathrm{inv}^{b-1}}_{>0}\right)^2}_{>0} \\
&= c^2 \bullet a \bullet (a-1) \bullet b \bullet (b-1) \bullet \mathrm{eff}^{2a-2} \bullet \mathrm{inv}^{2b-2} - c^2 \bullet a^2 \bullet b^2 \bullet \mathrm{eff}^{2a-2} \bullet \mathrm{inv}^{2b-2} \\
&= c^2 \bullet \left(\left(a^2 - a\right) \bullet \left(b^2 - b\right) - a^2 \bullet b^2\right) \bullet \mathrm{eff}^{2a-2} \bullet \mathrm{inv}^{2b-2} \\
&= c^2 \bullet \left(\left(a^2 b^2 - ab^2 - a^2 b + ab\right) - a^2 b^2\right) \bullet \mathrm{eff}^{2\bullet(a-1)} \bullet \mathrm{inv}^{2\bullet(b-1)} \\
&= \left(ab - ab^2 - a^2 b\right) \bullet c^2 \bullet \mathrm{eff}^{2\bullet(a-1)} \bullet \mathrm{inv}^{2\bullet(b-1)} \\
&= ab \bullet (1 - b - a) \bullet c^2 \bullet \mathrm{eff}^{2\bullet(a-1)} \bullet \mathrm{inv}^{2\bullet(b-1)} \\
&= \underbrace{ab}_{>0} \bullet \left(\underbrace{1 - \left(\underbrace{a+b}_{<1}\right)}_{>0}\right) \bullet \underbrace{c^2}_{>0} \bullet \underbrace{\mathrm{eff}^{2\bullet(a-1)}}_{>0} \bullet \underbrace{\mathrm{inv}^{2\bullet(b-1)}}_{>0} \\
&> 0
\end{aligned} \tag{87}$$

Aufgrund der Formeln (82) bis (85) und (87) erfüllen Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ die fünf Anforderungen an Produktionsfunktionen, die im ADL-Modell mittels der Formeln (4) bis (7) bzw. (9) festgelegt wurden. Insofern stellen diese Produktionsfunktionen einen „idealen" Kandidaten für Produktionsfunktionen dar, die dem ADL-Modell zugrunde gelegt werden können.

Allerdings sind diese Produktionsfunktionen grundsätzlich nicht dazu geeignet, die charakteristische Bedingung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ für die Just-in-Time-Produktionssteuerung zu erfüllen. Denn für Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ gilt aufgrund der Formel (86), dass die Kreuzableitung stets positiv ist: $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) > 0$.[1)] Daher können diese Produktionsfunktionen die Bedingung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$, die sich für die Just-in-Time-Produktionssteuerung als charakteristisch erweist, *grundsätzlich niemals* erfüllen.

Zweitens erweisen sich diejenigen Typen von Produktionsfunktionen, für die bekannt ist, dass sie die charakteristische Bedingung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ für die Just-in-Time-Produktionssteuerung erfüllen, als höchst „ungewöhnlich". Dem Verfasser ist nur ein solcher Produktionsfunktionstyp bekannt. Er wurde von ALLES, DATAR und LAMBERT in ihrem ADL-Modell erstmals vorgestellt[2)] und wird daher hier als *ADL-Produktionsfunktionstyp* bezeichnet:[3)]

$$\begin{aligned}&\forall eff \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall inv \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall a \in \mathbb{R}_{]0;1[}\ \forall b \in \mathbb{R}_{]0;1[}\ \forall c_a \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall c_b \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall d \in \mathbb{R}:\\ &\qquad pro(eff,inv) \;=\; c_a \bullet eff^a + c_b \bullet inv^b + d \bullet eff \bullet inv\end{aligned} \tag{88}$$

Im Gegensatz zu Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ werden das Anstrengungsniveau *eff* des Agenten und das Lagerhaltungsniveau *inv*, das vom Prinzipal festgelegt wird, in den beiden ersten Termen des ADL-Produktionsfunktionstyps nicht multiplikativ, sondern additiv verknüpft. Dies bedeutet, dass in diesen beiden ersten Funktionstermen – anders als bei Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ – keine Interaktionen zwischen dem Anstrengungsniveau *eff* und dem Lagerhaltungsniveau *inv* zugelassen werden. Stattdessen können Anstrengungsniveau *eff* und Lagerhaltungsniveau *inv* in diesen beiden ersten Funktionstermen unabhängig voneinander verändert werden, ohne dass davon das Produktionsergebnis in Bezug auf die jeweils andere Einflussgröße verändert würde. Mögliche Interaktionen zwischen dem Anstrengungsniveau *eff* und dem Lagerhaltungsniveau *inv* werden erst durch den dritten Term in der Formel (88) für den ADL-Produktionsfunktionstyp berücksichtigt. In diesem dritten Funktionsterm werden das Anstrengungsniveau *eff* und das Lagerhaltungsniveau *inv* miteinander multiplikativ verknüpft, sodass sich jede Veränderung einer der beiden Einflussgrößen auf das Produktionsergebnis, das durch beide Einflussgrößen gemeinsam hervorgebracht wird, auswirkt.

---

1) Darauf haben ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 186, in Fußnote 12 selbst hingewiesen. Zwar beziehen sich ALLES, DATAR und LAMBERT hierbei auf die zusätzliche, für COBB/DOUGLAS-Produktionsfunktionen keineswegs notwendige Einschränkung, dass die Summe der Exponenten *a* und *b* für die beiden berücksichtigten Einflussgrößen (Produktionsfaktoren) *eff* bzw. *inv* kleiner als Eins sein muss (a+b < 1). Aus der o.a. Formel (86) lässt sich jedoch unmittelbar erkennen, dass $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) > 0$ auch für den Fall allgemeiner COBB/DOUGLAS-Produktionsfunktionen gilt, bei denen für die Exponenten *a* und *b* der beiden berücksichtigten Einflussgrößen *eff* bzw. *inv* lediglich $a \in \mathbb{R}_{>0}$ bzw. $b \in \mathbb{R}_{>0}$ gefordert wird.

2) Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 186.

3) Der ADL-Produktionsfunktionstyp ähnelt dem Typ der „translog production function", die von HUMPHREY/MORONEY (1975), S. 61, vorgestellt wird, wenn im ersten Fall von den Exponenten *a* und *b* und im zweiten Fall von der logarithmischen Notationsweise abgesehen wird. Bei beiden Produktionsfunktionstypen werden die Einflussgrößen (Produktionsfaktoren) zunächst auf additive Weise miteinander verknüpft und schließlich zur Berücksichtigung von „Interaktionseffekten" miteinander multipliziert.

Der ADL-Produktionsfunktionstyp zeichnet sich durch die folgenden marginalanalytischen Eigenschaften aus, wenn – analog zu den oben betrachteten Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ – abermals von degenerierten Produktionsverhältnissen mit $eff = 0$ oder $inv = 0$ abgesehen wird:

$\forall eff \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall inv \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall a \in \mathbb{R}_{]0;1[}\ \forall b \in \mathbb{R}_{]0;1[}\ \forall c_a \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall c_b \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall d \in \mathbb{R}:$

a)
$$\frac{\partial pro(eff,inv)}{\partial eff} = \frac{\partial\left(c_a \bullet eff^a + c_b \bullet inv^b + d \bullet eff \bullet inv\right)}{\partial eff}$$
$$= c_a \bullet a \bullet eff^{a-1} + 0 + d \bullet inv = \underbrace{c_a \bullet a \bullet eff^{a-1}}_{>0} + d \bullet \underbrace{inv}_{>0} \tag{89}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial pro(eff,inv)}{\partial eff} > 0\ ;\ \text{falls} \begin{cases} \text{entweder} & d \geq 0 \\ \text{oder} & d < 0 \wedge c_a \bullet a \bullet eff^{a-1} > (-d) \bullet inv \end{cases}$$

b)
$$\frac{\partial^2 pro(eff,inv)}{\partial eff^2} = \frac{\partial\left(c_a \bullet a \bullet eff^{a-1} + d \bullet inv\right)}{\partial eff} = c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet eff^{a-2} + 0$$
$$= \underbrace{c_a \bullet a}_{>0} \bullet \underbrace{(a-1)}_{\substack{<0 \\ \text{wegen } 0<a<1}} \bullet \underbrace{eff^{a-2}}_{>0} < 0 \tag{90}$$

c)
$$\frac{\partial pro(eff,inv)}{\partial inv} = \frac{\partial\left(c_a \bullet eff^a + c_b \bullet inv^b + d \bullet eff \bullet inv\right)}{\partial inv}$$
$$= 0 + c_b \bullet b \bullet inv^{b-1} + d \bullet eff = \underbrace{c_b \bullet b \bullet inv^{b-1}}_{>0} + d \bullet \underbrace{eff}_{>0} \tag{91}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial pro(eff,inv)}{\partial inv} > 0\ ;\ \text{falls} \begin{cases} \text{entweder} & d \geq 0 \\ \text{oder} & d < 0 \wedge c_b \bullet b \bullet inv^{b-1} > (-d) \bullet eff \end{cases}$$

d)
$$\frac{\partial^2 pro(eff,inv)}{\partial inv^2} = \frac{\partial\left(c_b \bullet b \bullet inv^{b-1} + d \bullet eff\right)}{\partial inv} = c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet inv^{b-2} + 0$$
$$= \underbrace{c_b \bullet b}_{>0} \bullet \underbrace{(b-1)}_{\substack{<0 \\ \text{wegen } 0<b<1}} \bullet \underbrace{inv^{a-2}}_{>0} < 0 \tag{92}$$

e)
$$\frac{\partial^2 pro(eff,inv)}{\partial eff\ \partial inv} = \frac{\partial\left(c_a \bullet a \bullet eff^{a-1} + d \bullet inv\right)}{\partial inv} = 0 + d = d \tag{93}$$

$$\text{f)}\quad \left(\frac{\partial^2 \operatorname{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*)}{\partial \text{eff}^2} \bullet \frac{\partial^2 \operatorname{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*)}{\partial \text{inv}^2}\right) - \left(\frac{\partial^2 \operatorname{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*)}{\partial \text{eff}\ \partial \text{inv}}\right)^2$$

$$= \underbrace{\left(\left(\underbrace{c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet \text{eff}^{a-2}}_{<0 \text{ wegen } 0<a<1, \text{ sodass } a-1<0}\right) \bullet \left(\underbrace{c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet \text{inv}^{b-2}}_{<0 \text{ wegen } 0<b<1, \text{ sodass } b-1<0}\right)\right)}_{>0} - \underbrace{d^2}_{\geq 0}$$

$$= c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet \text{eff}^{a-2} \bullet \text{inv}^{b-2} - d^2 \tag{94}$$

$$> 0; \quad \text{falls } c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet \text{eff}^{a-2} \bullet \text{inv}^{b-2} > d^2$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \text{entweder } 0 \leq d < \sqrt{c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet \text{eff}^{a-2} \bullet \text{inv}^{b-2}} \\ \text{oder } \quad -\sqrt{c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet \text{eff}^{a-2} \bullet \text{inv}^{b-2}} < d < 0 \end{cases}$$

Aufgrund der Formeln (89) bis (92) und (94) erfüllt der ADL-Produktionsfunktionstyp die fünf Anforderungen an Produktionsfunktionen, die im ADL-Modell mittels der Formeln (4) bis (7) bzw. (9) festgelegt wurden, nicht unmittelbar. Dies liegt an den beiden Formeln (89) und (91) für die beiden ersten partiellen Ableitungen von Produktionsfunktionen des ADL-Typs sowie an der Formel (94) für die Regularitätsbedingung. Denn die beiden ersten partiellen Ableitungen des ADL-Produktionsfunktionstyps werden den Anforderungen $\text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff},\text{inv}) > 0$ und $\text{pro}_{\partial\text{inv}}(\text{eff},\text{inv}) > 0$ gemäß den Formeln (4) bzw. (6) aufgrund der Beziehungen in den beiden Formeln (89) bzw. (91) nur dann gerecht und die Regularitätsbedingung gemäß der Formel (9) wird aufgrund der Beziehung in der Formel (94) nur dann erfüllt, wenn einer der zwei nachfolgend angeführten Fälle zutrifft:

$$\text{Fall 1:}\quad d \geq 0 \ \wedge\ d < \sqrt{c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet \text{eff}^{a-2} \bullet \text{inv}^{b-2}} \tag{95}$$

$$\Leftrightarrow \quad 0 \leq d < \frac{\sqrt{c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet \text{eff}^{a} \bullet \text{inv}^{b}}}{\text{eff} \bullet \text{inv}} \tag{96}$$

$$\begin{aligned} \text{Fall 2:}\quad & d < 0 \ \wedge\ c_a \bullet a \bullet \text{eff}^{a-1} > (-d) \bullet \text{inv} \ \wedge\ c_b \bullet b \bullet \text{inv}^{b-1} > (-d) \bullet \text{eff} \\ & \wedge\ -\sqrt{c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet \text{eff}^{a-2} \bullet \text{inv}^{b-2}} < d \\ \Leftrightarrow\quad & d < 0 \ \wedge\ (-d) < c_a \bullet a \bullet \text{eff}^{a-1} \bullet \text{inv}^{-1} \ \wedge\ (-d) < c_b \bullet b \bullet \text{inv}^{b-1} \bullet \text{eff}^{-1} \\ & \wedge\ (-d) < \sqrt{c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet \text{eff}^{a-2} \bullet \text{inv}^{b-2}} \\ \Leftrightarrow\quad & d < 0 \ \wedge\ d > -\frac{c_a \bullet a \bullet \text{eff}^{a}}{\text{eff} \bullet \text{inv}} \ \wedge\ d > -\frac{c_b \bullet b \bullet \text{inv}^{b}}{\text{eff} \bullet \text{inv}} \\ & \wedge\ d > -\frac{\sqrt{c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet \text{eff}^{a} \bullet \text{inv}^{b}}}{\text{eff} \bullet \text{inv}} \end{aligned} \tag{97}$$

$$\Leftrightarrow \quad \max\left\{-\frac{c_a \bullet a \bullet eff^a}{eff \bullet inv};-\frac{c_b \bullet b \bullet inv^b}{eff \bullet inv};-\frac{\sqrt{c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet eff^a \bullet inv^b}}{eff \bullet inv}\right\} < d < 0 \quad (98)$$

Damit sich Produktionsfunktionen vom ADL-Typ als spezifisch für die Just-in-Time-Produktionssteuerung erweisen, müssen sie die charakteristische Bedingung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ erfüllen. Als „Clou“ des ADL-Produktionsfunktionstyps stellt sich heraus, dass für ihre Kreuzableitung gemäß Formel (93) gilt: $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) = d$. Der Funktionsparameter *d* gestattet es, dass die Kreuzableitung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv)$ jedes beliebige Vorzeichen annimmt. Folglich kann die Erfüllung der charakteristischen Bedingung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ prima facie schlicht dadurch herbeigeführt werden, dass für den Funktionsparameter *d* ein beliebiger Wert $d < 0$ gewählt wird.[1)]

Dieser erste Anschein trügt jedoch. Denn die übrigen fünf Anforderungen des ADL-Modells an Produktionsfunktionen werden, wie oben gezeigt wurde, für den Fall 2 mit $d < 0$ nur dann erfüllt, wenn gemäß Formel (98) zusätzlich gilt:[2)]

$$d > \max\left\{-\frac{c_a \bullet a \bullet eff^a}{eff \bullet inv};-\frac{c_b \bullet b \bullet inv^b}{eff \bullet inv};-\frac{\sqrt{c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet eff^a \bullet inv^b}}{eff \bullet inv}\right\} \qquad (99)$$

Daher lässt sich festhalten: Produktionsfunktionen werden den generellen Anforderungen des ADL-Modells gemäß den Formeln (4) bis (7) und (9) gerecht und erweisen sich darüber hinaus als spezifisch für die Just-in-Time-Produktionssteuerung, wenn sie erstens zum ADL-Produktionsfunktionstyp gemäß Formel (88) gehören, wenn zweitens $d < 0$ für ihren Funktionsparameter *d* gilt und wenn dieser Funktionsparameter *d* drittens die Restriktion gemäß Formel (99) erfüllt. Produktionsfunktionen, die den drei vorgenannten Anforderungen entsprechen, werden hier als *Produktionsfunktionen vom ADL-JiT-Typ* bezeichnet.

Ein konkretes Beispiel für Produktionsfunktionen vom ADL-JiT-Typ liefert folgende Festlegung der Funktionsparameter: $a = 0{,}50$, $b = 0{,}25$, $c_a = 40$, $c_b = 50$, $d = -{}^{46}/_{2025}$ mit $a+b = 0{,}75 < 1$. Daraus resultiert als exemplarische Produktionsfunktion vom ADL-JiT-Typ:

$$\begin{aligned} pro(eff,inv) &= 40 \bullet eff^{0,50} + 50 \bullet inv^{0,25} - {}^{46}\!/_{2025} \bullet eff \bullet inv \\ &= 40 \bullet \sqrt[2]{eff} + 50 \bullet \sqrt[4]{inv} - {}^{46}\!/_{2025} \bullet eff \bullet inv \end{aligned} \qquad (100)$$

Die ADL-JiT-Produktionsfunktion aus Formel (100) weist wegen $d = -{}^{46}/_{2025} < 0$ gemäß Formel (93) eine negative Kreuzableitung auf. Die charakteristische Bedingung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ für die Just-in-Time-Produktionssteuerung wird also erfüllt. Der Funktionsverlauf wird in der Abb. 1 auf der nächsten Seite als Hyperebene der Produktionsergebnisse pro(eff,inv) in Abhängigkeit vom Anstrengungsniveau *eff* und vom Lagerhaltungsniveau *inv* verdeutlicht. Dabei werden die *zulässigen* Anstrengungsniveaus *eff* auf das reellzahlige Intervall $[0;625]$ und die zulässigen Lagerhaltungsniveaus *inv* auf das reellzahlige Intervall $[0;81]$ beschränkt. Auf den Hintergrund dieser Einschränkungen wird in Kürze zurückgekommen.

1) Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 186, Teil (i) der „Proposition 5“ (auf Kapitälchen im Original wird hier verzichtet).

2) Diese zusätzliche Anforderung wird von ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 186, offensichtlich übersehen.

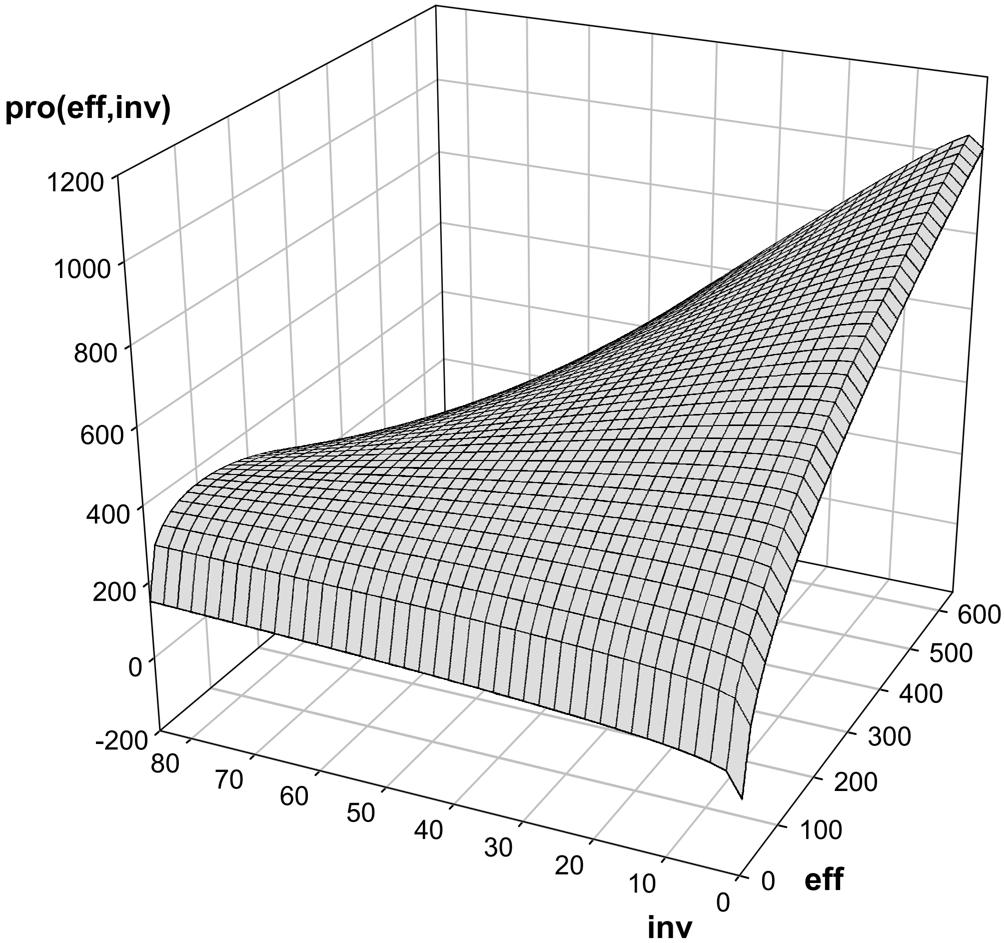

Abb. 1: Produktionsfunktion vom ADL-JiT-Typ
mit realistischen Produktionsergebnissen

Bereits ein oberflächlicher Blick auf Abb. 1 lässt zwei erhebliche Probleme erkennen, denen sich die ADL-JiT-Produktionsfunktion gemäß Formel (100) ausgesetzt sieht.

Problem negativer Produktionsergebnisse: Die Produktionsergebnisse pro(eff,inv) drohen in der „hinteren Ecke“ des dreidimensionalen Koordinatensystems *negativ* zu werden. Negative Produktionsergebnisse sind jedoch unrealistisch. Denn die Produktionsergebnisse werden in der Dimension [ME] gemessen, wie z.B. als [Stück Output], und negative Stückanzahlen sind physikalisch unmöglich.

Problem negativer Grenzerträge: Die ADL-JiT-Produktionsfunktion zeigt zwar an ihren „Rändern“ mit entweder eff = 0 oder aber inv = 0 den Verlauf konventioneller Produktionsfunktionen mit positiven, aber abnehmenden Grenzerträgen. Dieser Grenzertragsverlauf wird durch die o.a. Formeln (89) bis (92) festgelegt; jetzt allerdings unter Einschluss der degenerierten Produktionsverhältnisse mit entweder eff = 0 oder aber inv = 0. Sobald in das „Innere“ der Hyperebene für die Produktionsergebnisse pro(eff,inv) vorangeschritten wird, zeigen Schnitte durch das „Produktionsgebirge“, das durch die Hyperebene der Produktionsergebnisse aufgespannt wird, bei relativen großen Werten für das Anstrengungsniveau *eff* (z.B. bei eff = 500) und für das Lagerhaltungsniveau *inv* (z.B. bei inv = 70), dass der konventionelle Funktionsverlauf mit positiven und abnehmenden Grenzerträgen nicht überall zutrifft. Vielmehr existieren im „Produktionsgebirge“ Regionen, in denen die Grenzerträge *negativ* sind, also die Produktionsergebnisse pro(eff,inv) mit Vergrößerung des Anstrengungsniveaus *eff* (bei konstantem Lagerhaltungsniveau *inv*) oder mit Vergrößerung des Lagerhaltungsniveaus *inv* (bei konstantem Anstrengungsniveau *eff*) abfallen. Weil die Produktionsergebnisse trotz eines vergrößerten Anstrengungs- bzw. Lagerhaltungsniveaus *sinken*, werden die beiden Anforderungen $pro_{\partial eff}(eff,inv) > 0$ und $pro_{\partial inv}(eff,inv) > 0$ in diesen Regionen verletzt.

Das *Problem negativer Produktionsergebnisse* resultiert aus zwei miteinander verwobenen Sachverhalten. Sie betreffen beide die „hintere Ecke" des dreidimensionalen Koordinatensystems, die in der (eff,inv)-Ebene durch die Grenzen $eff_{max} = 625$ und $inv_{max} = 81$ für das höchstzulässige Anstrengungsniveau *eff* bzw. für das höchstzulässige Lagerhaltungsniveau *inv* definiert ist. Erstens besitzt die ADL-JiT-Produktionsfunktion gemäß Formel (100) eine Nullstelle im Produktionspunkt (eff,inv) = (625,81):

$$\begin{aligned} pro(625,81) &= 8 \bullet 625^{0,75} + 50 \bullet 81^{0,25} - {}^{46}\!/_{2025} \bullet 625 \bullet 81 \\ &= 8 \bullet 125 + 50 \bullet 3 - 46 \bullet 25 = 1000 + 150 - 1150 = 0 \end{aligned} \tag{101}$$

Zweitens sind die beiden ersten partiellen Ableitungen der ADL-JiT-Produktionsfunktion nach dem Anstrengungsniveau *eff* und nach dem Lagerhaltungsniveau *inv* im Produktionspunkt (625,81) jeweils negativ. Denn aus den beiden Formeln (89) bzw. (91) für die vorgenannten ersten partiellen Ableitungen und der Funktionsvorschrift für die ADL-JiT-Produktionsfunktion gemäß Formel (100) ergibt sich:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial pro(eff,inv)}{\partial eff} = c_a \bullet a \bullet eff^{a-1} + d \bullet inv = 40 \bullet 0,50 \bullet eff^{-0,50} + \left(-{}^{46}\!/_{2025}\right) \bullet inv \\ \Rightarrow \quad & \frac{\partial pro(625,81)}{\partial eff} = 40 \bullet 0,50 \bullet 625^{-0,50} - {}^{46}\!/_{2025} \bullet 81 \\ & \qquad = {}^{4}\!/_{5} - {}^{46}\!/_{25} = {}^{20}\!/_{25} - {}^{46}\!/_{25} \\ & \qquad = -{}^{26}\!/_{25} < 0 \end{aligned} \tag{102}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial pro(eff,inv)}{\partial inv} = c_b \bullet b \bullet inv^{b-1} + d \bullet eff = 50 \bullet 0,25 \bullet inv^{-0,75} + \left(-{}^{46}\!/_{2025}\right) \bullet eff \\ \Rightarrow \quad & \frac{\partial pro(625,81)}{\partial inv} = 50 \bullet 0,25 \bullet 81^{-0,75} - {}^{46}\!/_{2025} \bullet 625 \\ & \qquad = {}^{25}\!/_{2 \bullet 27} - {}^{46 \bullet 25}\!/_{81} = {}^{75}\!/_{162} - {}^{2300}\!/_{162} \\ & \qquad = -{}^{2225}\!/_{162} < 0 \end{aligned} \tag{103}$$

Wegen $pro_{\partial eff}(eff,inv) < 0$ und $pro_{\partial inv}(eff,inv) < 0$ gemäß Formel (102) bzw. (103) werden die Produktionsergebnisse pro(eff,inv) *geringer*, wenn die Nullstelle der ADL-JiT-Produktionsfunktion gemäß Formel (100) im Produktionspunkt (625,81) in Richtung auf höhere Anstrengungsniveaus *eff* (also eff > 625) oder höhere Lagerhaltungsniveaus *inv* (also inv > 81) überschritten wird. Folglich müssen „jenseits" des Produktionspunkts (625,81) bei Anstrengungsniveaus *eff* mit eff > 625 und bei Lagerhaltungsniveaus *inv* mit inv > 81 *negative* Produktionsergebnisse pro(eff,inv) resultieren; d.h., es gilt dort pro(eff,inv) < 0 (q.e.d.)-

Die Abb. 2 auf der nächsten Seite veranschaulicht die Existenz negativer Produktionsergebnisse pro(eff,inv) mit pro(eff,inv) < 0. Sie treten auf, wenn Anstrengungsniveaus *eff* mit eff > 625 und Lagerhaltungsniveaus *inv* mit inv > 81 „jenseits" des Produktionspunkts (625,81), der sich in der hinteren „Ecke" des dreidimensionalen Koordinatensystems der Abb. 1 befand, gewählt werden. In

Abb. 2 wird deutlich, wie die Hyperebene der Produktionsergebnisse pro(eff,inv) „jenseits“ des Produktionspunkts (625,81) in den Bereich negativer Werte „abstürzt“. Dies ist zwar physikalisch unmöglich, wird aber von der ADL-JiT-Produktionsfunktion *pro* gemäß Formel (100) nicht verhindert.

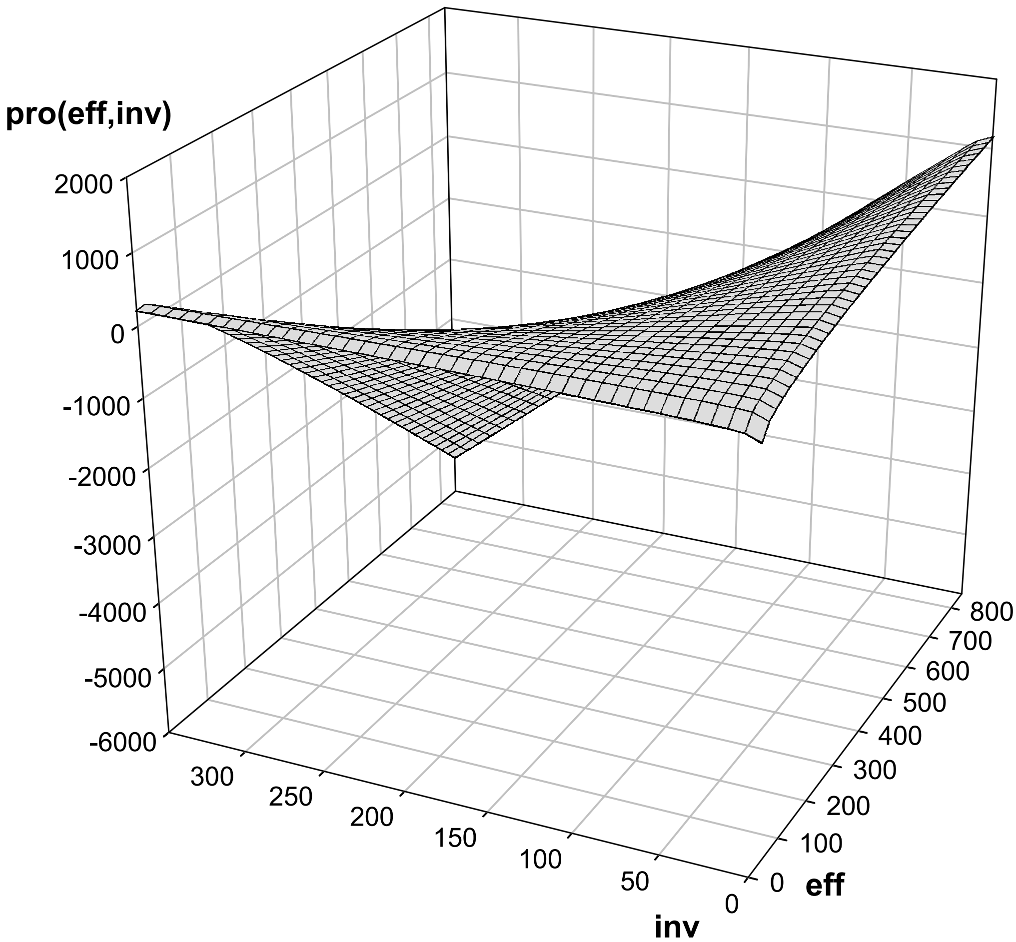

Abb. 2: Produktionsfunktion vom ADL-JiT-Typ
mit teilweise unrealistischen Produktionsergebnissen

Um das Problem negativer Produktionsergebnisse von vornherein auszuschließen, wurden oben im Zusammenhang mit der Abb. 1die *zulässigen* Anstrengungsniveaus *eff* auf das reellzahlige Intervall $[0;625]$ und die *zulässigen* Lagerhaltungsniveaus *inv* auf das reellzahlige Intervall $[0;81]$ eingeschränkt.

Die Definition der ADL-JiT-Produktionsfunktion *pro* gemäß Formel (100) stellt aber nicht sicher, dass nur Anstrengungsniveaus *eff* mit $\text{eff} \in [0;625]$ und Lagerhaltungsniveaus *inv* mit $\text{inv} \in [0;81]$ realisiert werden können. Daher bedarf es einer zusätzlichen Anforderung, um unrealistische, negative Produktionsergebnisse pro(eff,inv) im ADL-Modell von vornherein auszuschließen. Dies ist auf mindestens zwei Weisen möglich. Entweder werden in der Definition der ADL-JiT-Produktionsfunktion *pro* gemäß Formel (100) die Definitionsbereiche EFF für das Anstrengungsniveau *eff* und INV für das Lagerhaltungsniveau *inv* explizit eingeschränkt: $\text{EFF} = \mathbb{R}_{[0;625]}$ und $\text{INV} = \mathbb{R}_{[0;81]}$. Oder es wird eine zusätzliche Bedingung eingeführt, dass nur solche Produktionsverhältnisse zulässig sind, bei denen die Produktionsergebnisse pro(eff,inv) in Abhängigkeit von beliebigen Anstrengungsniveaus *eff* und beliebigen Lagerhaltungsniveaus *inv* niemals negativ werden dürfen:

$$\forall \text{eff} \in \text{EFF}\ \forall \text{inv} \in \text{INV}: \quad \text{pro(eff,inv)} \ \geq\ 0 \tag{104}$$

Die zweite Vorgehensweise hat den Vorzug, dass die Einschränkungen der Definitionsbereiche EFF und INV für das Anstrengungsniveau *eff* bzw. für das Lagerhaltungsniveau *inv*, die zur Verhinderung negativer Produktionsergebnisse pro(eff,inv) erforderlich sind, nicht für jede konkrete Produktionsfunktion *pro* berechnet und explizit aufgeführt zu werden brauchen. Stattdessen werden diese Einschränkungen der Definitionsbereiche EFF und INV mittels der Formel (104) implizit festgelegt. Hinzu kommt als weiterer Vorteil der generische Charakter der Formel (104), weil sie für jede Produktionsfunktion *pro* gilt, die innerhalb des ADL-Modells betrachtet wird. Aufgrund dieser beiden Aspekte wird hier die zweite Vorgehensweise bevorzugt und den späteren Ausführungen zur strukturalistischen Rekonstruktion des ADL-Modells zugrunde gelegt.[1)]

Das *Problem negativer Grenzerträge* schafft zusätzliche Komplikationen. Zwar trifft es auch im Bereich negativer Produktionsergebnisse pro(eff,inv) bei unzulässigen Anstrengungsniveaus *eff* mit eff > 625 und unzulässigen Lagerhaltungsniveaus *inv* mit inv > 81 zu. Aber dieser Bereich interessiert im Folgenden nicht mehr, weil er durch die Einschränkungen auf zulässige Anstrengungsniveaus *eff* mit eff∈[0;625] und auf zulässige Lagerhaltungsniveaus *inv* mit inv∈[0;81] oder durch die zusätzliche Bedingung nicht-negativer Produktionsergebnisse gemäß Formel (104) von allen weiteren Betrachtungen ausgeschlossen ist. Dennoch kann es dazu kommen, dass bei einem zulässigen Anstrengungsniveau *eff* mit eff∈[0;625] und einem zulässigen Lagerhaltungsniveau *inv* mit inv∈[0;81] die ADL-JiT-Produktionsfunktion *pro* gemäß Formel (100) negative Grenzerträge aufweist. In diesem Fall werden die Anforderungen $\text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff,inv}) > 0$ und $\text{pro}_{\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) > 0$ gemäß Formel (4) bzw. (6) verletzt. Dies lässt sich anhand eines einfachen Beispiels mit eff = 600 und inv = 60 verdeutlichen:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial\,\text{pro(eff,inv)}}{\partial\,\text{eff}} = c_a \bullet a \bullet \text{eff}^{a-1} + d \bullet \text{inv} = 40 \bullet 0{,}50 \bullet \text{eff}^{-0{,}50} + \left(-{}^{46}\!\big/_{2025}\right) \bullet \text{inv} \\ \Rightarrow\quad &\frac{\partial\,\text{pro}(600{,}60)}{\partial\,\text{eff}} \approx 40 \bullet 0{,}25 \bullet 600^{-0{,}50} - 0{,}0227 \bullet 60 \approx 0{,}4082 - 1{,}3620 \\ &\approx -0{,}9538 < 0 \end{aligned} \tag{105}$$

$$\begin{aligned} &\frac{\partial\,\text{pro(eff,inv)}}{\partial\,\text{inv}} = c_b \bullet b \bullet \text{inv}^{b-1} + d \bullet \text{eff} = 50 \bullet 0{,}25 \bullet \text{inv}^{-0{,}75} + \left(-{}^{46}\!\big/_{2025}\right) \bullet \text{eff} \\ \Rightarrow\quad &\frac{\partial\,\text{pro}(600{,}60)}{\partial\,\text{inv}} \approx 50 \bullet 0{,}25 \bullet 60^{-0{,}75} - 0{,}0227 \bullet 600 \approx 0{,}5798 - 13{,}6200 \\ &\approx -13{,}0402 < 0 \end{aligned} \tag{106}$$

Dieses Beispiel mit eff = 600 und inv = 60 muss daher auch die Restriktion gemäß Formel (99) verletzen, die u.a. sicherstellen soll, dass die ADL-JiT-Produktionsfunktion *pro* gemäß Formel (100) die Anforderungen $\text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff,inv}) > 0$ und $\text{pro}_{\partial\text{inv}}(\text{eff,inv}) > 0$ gemäß den Formeln (4) bzw. (6) erfüllt und somit überall positive Grenzerträge aufweist. Die Verletzung von Formel (99) ergibt sich

1) Auf den ersten Blick mag es trivial erscheinen, Formel (104) als zusätzliche Anforderung an Produktionsfunktionen im ADL-Modell festzulegen. Aber die voranstehenden Ausführungen haben gezeigt, dass Produktionsfunktionen eines Typs, der von ALLES, DATAR und LAMBERT selbst vorgeschlagen wurde, um eine charakteristische Eigenschaft der Just-in-Time-Produktionssteuerung – die Bedingung negativer Kreuzableitungen für Produktionsfunktionen – erfüllen zu können, gegen diese Anforderung verstößt und zu unrealistischen, d.h. negativen Produktionsergebnissen führt. Folglich ist die Anforderung gemäß Formel (104) wider den ersten Anschein keineswegs trivial, sondern für realistische Konkretisierungen des ADL-Modells erforderlich.

unmittelbar durch Einsetzen der hier relevanten Werte für die Funktionsparameter sowie für das Anstrengungsniveau und das Lagerhaltungsniveau:

$$d \; > \; \max\left\{-\frac{c_a \bullet a \bullet \mathrm{eff}^a}{\mathrm{eff} \bullet \mathrm{inv}};-\frac{c_b \bullet b \bullet \mathrm{inv}^b}{\mathrm{eff} \bullet \mathrm{inv}};-\frac{\sqrt{c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet \mathrm{eff}^a \bullet \mathrm{inv}^b}}{\mathrm{eff} \bullet \mathrm{inv}}\right\}$$

$$// \quad a = 0{,}50;\, b = 0{,}25;\, c_a = 40;\, c_b = 50;\, d = -{}^{46}\!/_{2025} \approx -0{,}0227;\, \mathrm{eff} = 600;\, \mathrm{inv} = 60$$

$$\Rightarrow \quad -0{,}0227 \; > \; \max\left\{\begin{array}{l} -\dfrac{40 \bullet 0{,}50 \bullet 600^{0{,}50}}{600 \bullet 60};-\dfrac{50 \bullet 0{,}25 \bullet 60^{0{,}25}}{600 \bullet 60}; \\ -\dfrac{\sqrt{40 \bullet 0{,}50 \bullet (-0{,}50) \bullet 50 \bullet 0{,}25 \bullet (-0{,}75) \bullet 600^{0{,}50} \bullet 60^{0{,}25}}}{600 \bullet 60} \end{array}\right\}$$

$$\Rightarrow \quad -0{,}0227 \; > \; \max\left\{-\frac{489{,}90}{36000};-\frac{34{,}79}{36000};-\frac{79{,}95}{36000}\right\} \tag{107}$$

$$\Rightarrow \quad -0{,}0227 \; > \; \max\{-0{,}0136;-0{,}0010;-0{,}0022\}$$

$$\Rightarrow \quad -0{,}0227 \; > \; -0{,}0010 \qquad // \quad \bullet(-100)$$

$$\Rightarrow \quad 2{,}27 \; < \; 0{,}10 \qquad \textbf{Widerspruch!}$$

Allerdings existieren durchaus auch zulässige Anstrengungsniveaus *eff* mit $\mathrm{eff} \in [0;625]$ und zulässige Lagerhaltungsniveaus *inv* mit $\mathrm{inv} \in [0;81]$, von denen die Formel (99) im Hinblick auf die ADL-JiT-Produktionsfunktion *pro* gemäß Formel (100) erfüllt wird. Beispielsweise gilt für eff = 60 und inv = 6:

$$d \; > \; \max\left\{-\frac{c_a \bullet a \bullet \mathrm{eff}^a}{\mathrm{eff} \bullet \mathrm{inv}};-\frac{c_b \bullet b \bullet \mathrm{inv}^b}{\mathrm{eff} \bullet \mathrm{inv}};-\frac{\sqrt{c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet \mathrm{eff}^a \bullet \mathrm{inv}^b}}{\mathrm{eff} \bullet \mathrm{inv}}\right\}$$

$$// \quad a = 0{,}50;\, b = 0{,}25;\, c_a = 40;\, c_b = 50;\, d = -{}^{46}\!/_{2025} \approx -0{,}0227;\, \mathrm{eff} = 60;\, \mathrm{inv} = 6$$

$$\Rightarrow \quad -0{,}0227 \; > \; \max\left\{\begin{array}{l} -\dfrac{40 \bullet 0{,}50 \bullet 60^{0{,}50}}{60 \bullet 6};-\dfrac{50 \bullet 0{,}25 \bullet 6^{0{,}25}}{60 \bullet 6}; \\ -\dfrac{\sqrt{40 \bullet 0{,}50 \bullet (-0{,}50) \bullet 50 \bullet 0{,}25 \bullet (-0{,}75) \bullet 60^{0{,}50} \bullet 6^{0{,}25}}}{60 \bullet 6} \end{array}\right\}$$

$$\Rightarrow \quad -0{,}0227 \; > \; \max\left\{-\frac{154{,}92}{360};-\frac{19{,}56}{360};-\frac{33{,}71}{360}\right\} \tag{108}$$

$$\Rightarrow \quad -0{,}0227 \; > \; \max\{-0{,}4303;-0{,}0543;-0{,}0936\}$$

$$\Rightarrow \quad -0{,}0227 \; > \; -0{,}0543 \qquad // \quad \bullet(-100)$$

$$\Rightarrow \quad 2{,}27 \; < \; 5{,}43 \qquad \textbf{o.k.!}$$

Wegen Erfüllung der Formel (99) muss die ADL-JiT-Produktionsfunktion *pro* gemäß Formel (100) den Anforderungen $\mathrm{pro}_{\partial\mathrm{eff}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) > 0$ und $\mathrm{pro}_{\partial\mathrm{inv}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) > 0$ gemäß den Formeln (4) bzw. (6) für ein Produktionsverhältnis mit eff = 60 und inv = 6 gerecht werden, sodass die ADL-JiT-Produktionsfunktion zumindest für dieses Produktionsverhältnis positive Grenzerträge aufweist. Das Zutreffen dieser Schlussfolgerung lässt sich anhand der ersten partiellen Ableitungen der ADL-JiT-Produktionsfunktion *pro* leicht bestätigen:

$$\frac{\partial \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})}{\partial \mathrm{eff}} = c_a \bullet a \bullet \mathrm{eff}^{a-1} + d \bullet \mathrm{inv}$$

$$// \quad a = 0{,}50;\ c_a = 40;\ d = -{}^{46}\!/_{2025} \approx -0{,}0227;\ \mathrm{eff} = 60;\ \mathrm{inv} = 6$$

$$\Rightarrow \quad \frac{\partial \mathrm{pro}(60,6)}{\partial \mathrm{eff}} = 40 \bullet 0{,}50 \bullet 60^{-0{,}50} + \left(-{}^{46}\!/_{2025}\right) \bullet 6 \tag{109}$$

$$\approx 40 \bullet 0{,}50 \bullet 0{,}1291 - 0{,}0227 \bullet 6 \approx 2{,}5820 - 0{,}1362$$

$$\approx 2{,}4458 > 0$$

$$\frac{\partial \mathrm{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})}{\partial \mathrm{inv}} = c_b \bullet b \bullet \mathrm{inv}^{b-1} + d \bullet \mathrm{eff}$$

$$// \quad b = 0{,}25;\ c_b = 50;\ d = -{}^{46}\!/_{2025} \approx -0{,}0227;\ \mathrm{eff} = 60;\ \mathrm{inv} = 6$$

$$\Rightarrow \quad \frac{\partial \mathrm{pro}(60,6)}{\partial \mathrm{inv}} = 50 \bullet 0{,}25 \bullet 6^{-0{,}75} + \left(-{}^{46}\!/_{2025}\right) \bullet 60 \tag{110}$$

$$\approx 50 \bullet 0{,}25 \bullet 0{,}2608 - 0{,}0227 \bullet 60 \approx 3{,}2600 - 1{,}3620$$

$$\approx 1{,}8980 > 0$$

Darüber hinaus wird die ADL-JiT-Produktionsfunktion *pro* gemäß Formel (100) aufgrund ihrer Erfüllung der Formel (99) auch der Regularitätsbedingung gemäß Formel (9) gerecht. Denn es gilt:

$$\left(\frac{\partial^2 \mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}^*)}{\partial \mathrm{eff}^2} \bullet \frac{\partial^2 \mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}^*)}{\partial \mathrm{inv}^2}\right) - \left(\frac{\partial^2 \mathrm{pro}(\mathrm{eff}^*,\mathrm{inv}^*)}{\partial \mathrm{eff}\ \partial \mathrm{inv}}\right)^2$$

$$= \left(\left(c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet \mathrm{eff}^{a-2}\right) \bullet \left(c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet \mathrm{inv}^{b-2}\right)\right) - d^2$$

$$// \quad a = 0{,}50;\ b = 0{,}25;\ c_a = 40;\ c_b = 50;\ d = -{}^{46}\!/_{2025} \approx -0{,}0227;\ \mathrm{eff} = 60;\ \mathrm{inv} = 6$$

$$= \left(\left(40 \bullet 0{,}50 \bullet (-0{,}50) \bullet 60^{-1{,}50}\right) \bullet \left(50 \bullet 0{,}25 \bullet (-0{,}75) \bullet 6^{-1{,}75}\right)\right) - (-0{,}0227)^2 \tag{111}$$

$$= (-0{,}0215) \bullet (-0{,}4076) - 0{,}0005$$

$$= 0{,}0088 - 0{,}0005$$

$$= 0{,}0083 > 0$$

Aus den voranstehenden Erläuterungen folgt, dass es innerhalb des Bereichs zulässiger Anstrengungsniveaus *eff* mit $\mathrm{eff} \in [0;625]$ und zulässiger Lagerhaltungsniveaus *inv* mit $\mathrm{inv} \in [0;81]$ sowohl Produktionsverhältnisse (eff,inv) mit $\mathrm{pro}_{\partial \mathrm{eff}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) > 0$ und $\mathrm{pro}_{\partial \mathrm{inv}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) > 0$ existieren als auch Produktionsverhältnisse (eff,inv) mit $\mathrm{pro}_{\partial \mathrm{eff}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) < 0$ und $\mathrm{pro}_{\partial \mathrm{inv}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) < 0$. Im erstgenannten Fall mit $\mathrm{pro}_{\partial \mathrm{eff}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) > 0$ und $\mathrm{pro}_{\partial \mathrm{inv}}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) > 0$ erfüllt eine ADL-JiT-Produktionsfunktion *pro* gemäß Formel (100) alle generellen Anforderungen des ADL-Modells, die in den Formeln (4) bis (7) und (9) festgelegt wurden, und erweist sich darüber hinaus auch als spezifisch für die Just-in-Time-Produktionssteuerung, weil sie zum ADL-Produktionsfunktionstyp gemäß Formel (88) gehört sowie wegen $d < 0$ eine negative Kreuzableitung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ besitzt. Im letztgenannten Fall mit $pro_{\partial eff}(eff,inv) < 0$ und $pro_{\partial inv}(eff,inv) < 0$ verletzt die ADL-JiT-Produktionsfunktion *pro* gemäß Formel (100) dagegen die Anforderungen positiver Grenzerträge gemäß den Formeln (4) und (6).

Es stellt ein „vertracktes“ Problem dar, die Menge $M_{\partial+.\partial+}$ aller Kombinationen (eff,inv) aus nicht-degenerierten Anstrengungsniveaus *eff* mit $eff \in]0;625]$ und nicht-degenerierten Lagerhaltungsniveaus *inv* mit $inv \in]0;81]$ zu ermitteln, welche die Anforderung der Formel (99) an eine ADL-JiT-Produktionsfunktion *pro* gemäß Formel (100) erfüllen.[1] Bislang ist es noch nicht gelungen, die Menge $M_{\partial+.\partial+}$ von Produktionsverhältnissen (eff,inv) mit $pro_{\partial eff}(eff,inv) > 0$ und $pro_{\partial inv}(eff,inv) > 0$ durch genau eine Formel für zulässige Anstrengungsniveaus *eff* und zulässige Lagerhaltungsniveaus *inv* in analytisch „geschlossener“ Weise darzustellen. Stattdessen lässt sich die Menge $M_{\partial+.\partial+}$ unter Rückgriff auf Formel (99) für den o.a. Fall 2 mit $d < 0$ zurzeit nur auf folgende Weise spezifizieren:

$$M_{\partial+.\partial+} = \left\{ \begin{array}{l} (eff,inv) \mid 0 < eff \leq 625 \;\wedge\; 0 < inv \leq 81 \;\wedge\; \ldots \\ \max\left\{ \begin{array}{l} -\dfrac{c_a \bullet a \bullet eff^a}{eff \bullet inv}; -\dfrac{c_b \bullet b \bullet inv^b}{eff \bullet inv}; \\ -\dfrac{\sqrt{c_a \bullet a \bullet (a-1) \bullet c_b \bullet b \bullet (b-1) \bullet eff^a \bullet inv^b}}{eff \bullet inv} \end{array} \right\} < d < 0 \end{array} \right\}$$

$$// \quad a = 0{,}50;\, b = 0{,}25;\, c_a = 40;\, c_b = 50;\, d = -{}^{46}\!/_{2025}$$

$$\Rightarrow\; M_{\partial+.\partial+} = \left\{ \begin{array}{l} (eff,inv) \mid 0 < eff \leq 625 \;\wedge\; 0 < inv \leq 81 \;\wedge\; \ldots \\ \max\left\{ \begin{array}{l} -\dfrac{40 \bullet 0{,}50 \bullet eff^{0,50}}{eff \bullet inv}; -\dfrac{50 \bullet 0{,}25 \bullet inv^{0,25}}{eff \bullet inv}; \\ -\dfrac{\sqrt{40 \bullet 0{,}50 \bullet (-0{,}50) \bullet 50 \bullet 0{,}25 \bullet (-0{,}75) \bullet eff^{0,50} \bullet inv^{0,25}}}{eff \bullet inv} \end{array} \right\} < -{}^{46}\!/_{2025} \end{array} \right\}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} (eff,inv) \mid 0 < eff \leq 625 \;\wedge\; 0 < inv \leq 81 \;\wedge\; \ldots \\ \max\left\{ -\dfrac{20 \bullet eff^{0,50}}{eff \bullet inv}; -\dfrac{12{,}5 \bullet inv^{0,25}}{eff \bullet inv}; -\dfrac{\sqrt{93{,}75 \bullet eff^{0,50} \bullet inv^{0,25}}}{eff \bullet inv} \right\} < -{}^{46}\!/_{2025} \end{array} \right\}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} (eff,inv) \mid 0 < eff \leq 625 \;\wedge\; 0 < inv \leq 81 \;\wedge\; \ldots \\ \min\left\{ \dfrac{20 \bullet eff^{0,50}}{eff \bullet inv}; \dfrac{12{,}5 \bullet inv^{0,25}}{eff \bullet inv}; \dfrac{\sqrt{93{,}75 \bullet eff^{0,50} \bullet inv^{0,25}}}{eff \bullet inv} \right\} > {}^{46}\!/_{2025} \end{array} \right\} \qquad (112)$$

Folglich kann für jedes einzelne Produktionsverhältnis (eff,inv) mit $eff \in]0;625]$ und $inv \in]0;81]$ lediglich durch Einsetzen in die „max“-Formel aus der ersten oder zweiten Zeile oder in die „min“-Formel aus der dritten Zeile von Formel (112) aus der Spezifizierung der Menge $M_{\partial+.\partial+}$ überprüft

1) Die Produktionsverhältnisse (eff,inv) besitzen aufgrund der Herleitung von Formel (99) positive Grenzerträge $pro_{\partial eff}(eff,inv) > 0$ und $pro_{\partial inv}(eff,inv) > 0$. Daher besteht für diese Produktionsverhältnisse kein Problem negativer Grenzerträge.

werden, ob das Produktionsverhältnis (eff,inv) diese Formeln erfüllt und somit zur Menge $M_{\partial+.\partial+}$ gehört. Da wegen der reellzahligen Intervalle]0;625] und]0;81] überabzählbar unendlich viele Produktionsverhältnisse (eff,inv) existieren, erweist sich dieses „Einsetzungsverfahren" zur Ermittlung der Elemente der Menge $M_{\partial+.\partial+}$ als nicht praktikabel. Deshalb besteht weiterer Forschungsbedarf, eine analytisch „geschlossene" Formel zur Spezifizierung der Menge $M_{\partial+.\partial+}$ zu ermitteln.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es ALLES, DATAR und LAMBERT durchaus gelungen ist, mithilfe der Formel (88) und der zusätzlichen Parameterfestlegung $d < 0$ einen Produktionsfunktionstyp zu spezifizieren, der sich für die Just-in-Time-Produktionssteuerung als spezifisch erweist (ADL-JiT-Produktionsfunktionstyp). Aber diese Feststellung steht unter drei gravierenden Vorbehalten.

- Erstens beziehen sich ALLES, DATAR und LAMBERT keineswegs durchgängig auf diesen ADL-JiT-Produktionsfunktionstyp, sondern erwähnen ihn nur einmalig „en passant".[1)]
- Zweitens haben ALLES, DATAR und LAMBERT in ihren Ausführungen die spezielle Restriktion gemäß Formel (99) an keiner Stelle thematisiert, sondern offensichtlich übersehen.
- Drittens handelt es sich bei dem speziellen Produktionsfunktionstyp, den ALLES, DATAR und LAMBERT eingeführt haben, um ein „theoriegeleitetes Artefakt", also um einen artifiziellen Produktionsfunktionstyp.[2)] Dem Verfasser sind keine realen Produktionsverhältnisse bekannt, die sich durch Produktionsfunktionen von diesem speziellen ADL-JiT-Typ adäquat beschreiben lassen.[3)] Insbesondere die beiden Probleme negativer Produktionsergebnisse und negativer Grenzerträge, die zuvor für den ADL-JiT-Produktionsfunktionstyp ausführlich erläutert wurden, stellen gewichtige Indizien dafür dar, dass sich Produktionsfunktionen vom ADL-JiT-Typ im Allgemeinen nicht dazu eignen, um reale Produktionsverhältnisse adäquat zu beschreiben.

Insbesondere aufgrund des letztgenannten, dritten Vorbehalts bleibt es ein *Desiderat* für zukünftige Weiterentwicklungen des ADL-Modells, Produktionsfunktionen zu spezifizieren, die einerseits die charakteristische Bedingung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ für die Just-in-Time-Produktionssteuerung erfüllen und sich andererseits auch als realitätsadäquat erweisen. Dieses Desiderat lässt sich zurzeit noch nicht in zufriedenstellender Weise einlösen. Darauf wird zum Schluss dieses Kapitels kurz eingegangen.

---

1) Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 186.

2) BAIMAN/NETESSINE/SAOUMA (2007), S. 3, stellen in allgemeiner Weise und ohne speziellen Bezug auf das ADL-Modell kritisch fest, dass in den meisten Beiträgen zur Prinzipal-Agent-Theorie (sofern sie überhaupt Produktionsfunktionen verwenden) Produktionsfunktionen vorausgesetzt werden, die entweder zu abstrakt oder zu einfach ausfallen.

3) In dieser Hinsicht kann von einer Tendenz zur *Selbstimmunisierung* des ADL-Modells gegenüber *empirischen* Widerlegungen gesprochen werden. Denn im ADL-Modell werden zumindest dann, wenn es um seine Spezifität für die Just-in-Time-Produktionssteuerung geht, Produktionsfunktionen *vorausgesetzt*, welche die Formel (88), die Bedingung $d < 0$ für den Funktionsparameter *d* sowie die Formel (99) erfüllen. Produktionsverhältnisse, die diesen drei Voraussetzungen gerecht werden, konnten in der betrieblichen Praxis jedoch bislang noch *nicht* identifiziert werden. Folglich ist es zumindest bis heute unmöglich, die nomische Hypothese des ADL-Modells, die im nachfolgenden Kapitel herausgearbeitet wird, mittels empirischer Überprüfungen des ADL-Modells zu überprüfen, also auch nicht zu widerlegen (Selbstimmunisierung).

Eine erste Option, das Desiderat realitätsadäquater Produktionsfunktionen für die Just-in-Time-Produktionssteuerung einzulösen, erstreckt sich darauf, einen möglichst „breit" definierten, an unterschiedlichste Produktionssituationen flexibel anpassbaren Produktionsfunktionstyp auszuwählen. Er müsste so „zugeschnitten" werden, dass er sowohl die allgemeinen Anforderungen des ADL-Modells an die Gestalt einer Produktionsfunktion, die in den Formeln (4) bis (7) und (9) festgelegt wurden, als auch die spezielle Anforderung einer negativen Kreuzableitung, also $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$, für die Just-in-Time-Produktionssteuerung erfüllt. Als ein solcher Produktionsfunktionstyp kommt vor allem die Klasse der MUKERJI-Produktionsfunktionen[1)] in Betracht. Sie gehören zum Typ A betriebswirtschaftlich etablierter Produktionsfunktionen, der sich speziell auf substitutionale Produktionsfaktoreinsatzverhältnisse bezieht,[2)] und stellen innerhalb dieses Produktionsfunktionstyps eine Klasse von Produktionsfunktionen dar, die sich durch eine maximale Anwendungsbreite und Flexibilität auszeichnet.[3)]

Produktionsfunktionen vom MUKERJI-Typ lassen sich für den Fall, dass zwei unabhängige Einflussgrößen in der Gestalt von Anstrengungsniveau *eff* und Lagerhaltungsniveau *inv* zu berücksichtigen sind, durch folgende Festlegungen charakterisieren:[4)]

---

1) Vgl. MUKERJI (1963), S. 233 ff.; MIZON (1977), S. 1223; KERN (1990), S. 39. Zwar enthält die Produktionsfunktion bei MUKERJI (1963), S. 233, noch einen zusätzlichen konstanten Faktor γ. Dieser Faktor erweist sich jedoch als überflüssig, weil er durch geeignete Wahl der Funktionsparameter c_a und c_b ersetzt werden kann. Auch MUKERJI selbst berücksichtigt den Faktor γ im weiteren Verlauf seiner Ausführungen nicht mehr explizit, indem er vereinfachend von $\gamma = 1$ ausgeht; vgl. MUKERJI (1963), S. 234.

2) Für das hier betrachtete ADL-Modell reichen Produktionsfunktionen für substitutionale Produktionsfaktoreinsatzverhältnisse vom Typ A vollkommen aus. Denn für die beiden unabhängigen Einflussgrößen, das Anstrengungsniveau *eff* und das Lagerhaltungsniveau *inv*, wird vorausgesetzt, dass sie sich im Prinzip beliebig gegeneinander substituieren lassen. Daher braucht in diesem Beitrag auf betriebswirtschaftliche Produktionsfunktionen der Typen B bis G, die über solche substitutionalen Produktionsfaktoreinsatzverhältnisse in verschiedenen Hinsichten hinausgehen, nicht näher eingegangen zu werden.

3) Die Klasse der MUKERJI-Produktionsfunktionen umfasst als Spezialfälle u.a. sowohl die bereits behandelten Produktionsfunktionen vom COBB/DOUGLAS-Typ als auch die Verallgemeinerung dieses Produktionsfunktionstyps zu Produktionsfunktionen vom sogenannten CES-Typ (constant elasticity of substitution), der vor allem in manchen mikroökonomischen Studien Anwendung findet.
Vgl. zu den zuvor kurz angesprochenen Zusammenhängen zwischen MUKERJI-, COBB/DOUGLAS- und CES-Produktionsfunktionen die knappen, aber prägnanten Ausführungen von KERN (1990), S. 39. Vgl. darüber hinaus speziell zum Typ der CES-Produktionsfunktionen, die den MUKERJI-Produktionsfunktionen bereits sehr nahe kommen, MUKERJI (1963), S. 233; STEVEN (1998), S. 49 ff. u. 238 ff. MUKERJI-Produktionsfunktionen sind hingegen in der ökonomischen, insbesondere auch in der produktionstheoretischen Fachliteratur weitgehend unbekannt. Zu den seltenen Ausnahmen ihrer expliziten Erwähnung zählen MIZON (1977), S. 1222 ff. u. 1234, sowie KERN (1990), S. 39.

4) Vgl. KERN (1990), S. 39, allerdings mit einem kleinen Fehler hinsichtlich des Exponenten für die Einsatzmenge der *zweiten* Produktionsfaktorart, der in der Quelle nicht „$-\alpha 1$" lauten darf, sondern „$-\alpha 2$" heißen muss. Außerdem wird dort noch die zusätzliche Forderung erhoben, dass die Summe der Vorfaktoren für die Produktionsfaktorarten genau Eins betragen müsse, sodass im o.a. Beispiel mit zwei Produktionsfaktorarten $c_a+c_b = 1$ gelten müsste. Davon wird hier jedoch abgesehen, weil für diese Summenforderung keine inhaltliche Begründung erfolgt und sich auch aus dem formalen Apparat der MUKERJI-Produktionsfunktionen kein Hinweis ergibt, der dieser Summenforderung Plausibilität verleihen würde. Stattdessen ist muss diese Summenforderung (d.h. hier $c_a+c_b = 1$) nur dann erfüllt sein, wenn COBB/DOUGLAS-Produktionsfunktionen als Spezialfall von MUKERJI-Produktionsfunktionen resultieren sollen; vgl. MUKERJI (1963), S. 235.
In der nachfolgenden Spezifizierung von MUKERJI-Produktionsfunktionen wird von vornherein auf die Formeln (1) und (2) zurückgegriffen, in denen die Menge der nicht-negativen reellen Zahlen für die Definitionsbereiche der zulässigen Anstrengungsniveaus *eff* und Lagerhaltungsniveaus *inv* festgelegt wurde.
Vgl. darüber hinaus STEVEN (1998), S. 50, deren präzise Darstellung von Produktionsfunktionen des CES-Typs hier auf Produktionsfunktionen vom MUKERJI-Typ übertragen wird.

$$\forall \text{eff} \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall \text{inv} \in \mathbb{R}_{\geq 0}\ \forall a \in \mathbb{R}\ \forall b \in \mathbb{R}\ \forall c_0 \in \mathbb{R}\ \forall c_a \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall c_b \in \mathbb{R}_{>0}:$$

$$\text{pro}(\text{eff},\text{inv}) = \left(c_a \bullet \text{eff}^{-a} + c_b \bullet \text{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1}{c_0}} \tag{113}$$

mit: entweder $a, b, c_0 > 0$ oder $-1 < a, b, c_0 < 0$

Analog zu den Formeln (82) bis (86) und (89) bis (93)[1], die an früherer Stelle zur Charakterisierung des COBB/DOUGLAS-Produktionsfunktionstyps bzw. des ADL-Produktionsfunktionstyps dienten, gelten für Produktionsfunktionen vom MUKERJI-Typ die nachfolgenden Beziehungen:[2]

$$\forall \text{eff} \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall \text{inv} \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall a \in \mathbb{R}\ \forall b \in \mathbb{R}\ \forall c_0 \in \mathbb{R}\ \forall c_a \in \mathbb{R}_{>0}\ \forall c_b \in \mathbb{R}_{>0}:$$

a)
$$\frac{\partial\, \text{pro}(\text{eff},\text{inv})}{\partial\, \text{eff}} = \frac{\partial\left(\left(c_a \bullet \text{eff}^{-a} + c_b \bullet \text{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1}{c_0}}\right)}{\partial\, \text{eff}}$$

$$= \left(-\frac{1}{c_0}\right) \bullet \left(\left(c_a \bullet \text{eff}^{-a} + c_b \bullet \text{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1}{c_0}-1}\right) \bullet \left((-a) \bullet c_a \bullet \text{eff}^{-a-1} + 0\right) \tag{114[3]}$$

$$= \underbrace{a \bullet \frac{1}{c_0}}_{\substack{>0 \text{ wegen} \\ \text{entweder } a, c_0 > 0 \\ \text{oder } a, c_0 < 0}} \bullet \underbrace{c_a \bullet \text{eff}^{-a-1}}_{>0 \text{ wegen } c_a > 0} \bullet \underbrace{\left(c_a \bullet \text{eff}^{-a} + c_b \bullet \text{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}}}_{>0 \text{ wegen } c_a > 0 \text{ und } c_b > 0} > 0$$

---

1) Auf die Überprüfung der Regularitätsbedingung gemäß Formel (9) – entsprechend den Formeln (87) bzw. (94) – wird im Folgenden verzichtet, weil über die Vorzeichen der zweiten partiellen Ableitungen für Produktionsfunktionen vom MUKERJI-Typ aufgrund der beiden nachfolgenden Formeln (115) und (117) keine generellen Aussagen möglich sind, solange keine speziellen Annahmen für die Funktionsparameter a, b, c_a, c_b, c_0 vorausgesetzt werden. Die Kenntnis dieser Vorzeichen der zweiten partiellen Ableitungen wäre aber u.a. notwendig, um ein generelles Urteil über die Erfüllung der Regularitätsbedingung gemäß Formel (9) treffen zu können.

2) Wiederum wird von degenerierten Produktionsverhältnissen mit eff = 0 oder inv = 0 abgesehen.

3) Darüber hinaus gilt wegen $\text{pro}(\text{eff},\text{inv}) = \left(c_a \bullet \text{eff}^{-a} + c_b \bullet \text{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1}{c_0}}$:

$$\frac{\partial\, \text{pro}(\text{eff},\text{inv})}{\partial\, \text{eff}} = a \bullet \frac{1}{c_0} \bullet c_a \bullet \text{eff}^{-a-1} \bullet \left(c_a \bullet \text{eff}^{-a} + c_b \bullet \text{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}}$$

$$= a \bullet \frac{c_a}{c_0} \bullet \text{eff}^{-(1+a)} \bullet \left(\left(c_a \bullet \text{eff}^{-a} + c_b \bullet \text{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1}{c_0}}\right)^{1+c_0} \quad // \quad \text{pro}(\text{eff},\text{inv}) = \left(c_a \bullet \text{eff}^{-a} + c_b \bullet \text{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1}{c_0}}$$

$$= a \bullet \frac{c_a}{c_0} \bullet \text{eff}^{-(1+a)} \bullet \text{pro}(\text{eff},\text{inv})^{1+c_0} = a \bullet \frac{c_a}{c_0} \bullet \frac{\text{pro}(\text{eff},\text{inv})^{1+c_0}}{\text{eff}^{1+a}}$$

Vgl. MUKERJI (1963), S. 234.

b) $$\frac{\partial^2 pro(eff,inv)}{\partial eff^2} = \frac{\partial\left(a \bullet \frac{1}{c_0} \bullet c_a \bullet eff^{-a-1} \bullet \left(c_a \bullet eff^{-a} + c_b \bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}}\right)}{\partial eff}$$

$$\begin{aligned}
= \quad & a^2 \bullet \frac{1}{c_0^{\,2}} \bullet c_a^{\,2} \bullet eff^{-2a-2} \bullet \left(c_a \bullet eff^{-a} + c_b \bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+2c_0}{c_0}} \\
& + a^2 \bullet \frac{1}{c_0} \bullet c_a^{\,2} \bullet eff^{-2a-2} \bullet \left(c_a \bullet eff^{-a} + c_b \bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+2c_0}{c_0}} \\
& - a^2 \bullet \frac{1}{c_0} \bullet c_a \bullet eff^{-a-2} \bullet \left(c_a \bullet eff^{-a} + c_b \bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}} \\
& - a \bullet \frac{1}{c_0} \bullet c_a \bullet eff^{-a-2} \bullet \left(c_a \bullet eff^{-a} + c_b \bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}} \\
= \quad & a^2 \bullet \frac{1}{c_0^{\,2}} \bullet c_a^{\,2} \bullet eff^{-2a-2} \bullet \left(c_a \bullet eff^{-a} + c_b \bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+2c_0}{c_0}} \bullet \left(1 + c_0\right) \\
& - a^2 \bullet \frac{1}{c_0} \bullet c_a \bullet eff^{-a-2} \bullet \left(c_a \bullet eff^{-a} + c_b \bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}} \bullet \left(1 + \frac{1}{a}\right) \\
= \quad & a^2 \bullet \frac{1+c_0}{c_0^{\,2}} \bullet c_a^{\,2} \bullet eff^{-2a-2} \bullet \left(c_a \bullet eff^{-a} + c_b \bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+2c_0}{c_0}} \\
& - \left(1+a\right) \bullet a \bullet \frac{1}{c_0} \bullet c_a \bullet eff^{-a-2} \bullet \left(c_a \bullet eff^{-a} + c_b \bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}}
\end{aligned} \qquad (115)$$

Aus Formel (115) ist ersichtlich, dass die Anforderung $pro_{\partial eff.\partial eff}(eff,inv) < 0$ gemäß Formel (5) unter speziellen Annahmen für die Funktionsparameter a, b, c_a, c_b, c_0 erfüllt werden kann. Der Minuend von Formel (115) ist immer positiv. Der einzige Term, der den Minuenden negativ werden lassen könnte, ist der Term $1+c_0$. Aber in den beiden zulässigen Fällen mit entweder $c_0 > 0$ oder aber $-1 < c_0 < 0$ ist dieser Term stets positiv. Also muss der Minuend von Formel (115) immer positiv sein. Der Subtrahend von Formel (115) ist immer positiv. Der einzige Term, der den Minuenden negativ werden lassen könnte, ist der Term $(1+a) \bullet a \bullet c_0^{-1}$. Aber in den beiden zulässigen Fällen, in denen entweder $a,c_0 > 0$ oder aber $-1 < a,c_0 < 0$ gilt, ist dieser Term stets positiv. Also muss der Subtrahend von Formel (115) immer positiv sein. Da sowohl der Minuend als auch der Subtrahend von Formel (115) stets positiv sind, kann die Differenz aus dem Minuenden und dem Subtrahenden unter speziellen Annahmen für die Funktionsparameter a, b, c_a, c_b, c_0 im Prinzip negativ werden (q.e.d.).

c) $$\frac{\partial \operatorname{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})}{\partial \mathrm{inv}} = \frac{\partial\left(\left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1}{c_0}}\right)}{\partial \mathrm{inv}}$$

$$= \left(-\frac{1}{c_0}\right) \bullet \left(\left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1}{c_0}-1}\right) \bullet \left(0 + (-b) \bullet c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b-1}\right) \qquad (116)^{1)}$$

$$= \underbrace{b \bullet \frac{1}{c_0}}_{\substack{>0 \text{ wegen} \\ \text{entweder } b,c_0>0 \\ \text{oder } b,c_0<0}} \bullet \underbrace{c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b-1}}_{>0 \text{ wegen } c_b>0} \bullet \underbrace{\left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}}}_{>0 \text{ wegen } c_a>0 \text{ und } c_b>0} > 0$$

d) $$\frac{\partial^2 \operatorname{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})}{\partial \mathrm{inv}^2} = \frac{\partial\left(b \bullet \frac{1}{c_0} \bullet c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b-1} \bullet \left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}}\right)}{\partial \mathrm{inv}}$$

$$\begin{aligned}
= \; & b^2 \bullet \frac{1}{c_0^{\,2}} \bullet c_b^{\,2} \bullet \mathrm{inv}^{-2b-2} \bullet \left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1+2c_0}{c_0}} \\
& + b^2 \bullet \frac{1}{c_0} \bullet c_b^{\,2} \bullet \mathrm{inv}^{-2b-2} \bullet \left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1+2c_0}{c_0}} \\
& - b^2 \bullet \frac{1}{c_0} \bullet c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b-2} \bullet \left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}} \\
& - b \bullet \frac{1}{c_0} \bullet c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b-2} \bullet \left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
= \; & b^2 \bullet \frac{1}{c_0^{\,2}} \bullet c_b^{\,2} \bullet \mathrm{inv}^{-2b-2} \bullet \left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1+2c_0}{c_0}} \bullet \left(1 + c_0\right) \\
& - b^2 \bullet \frac{1}{c_0} \bullet c_b \bullet \mathrm{inc}^{-b-2} \bullet \left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}} \bullet \left(1 + \frac{1}{b}\right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
= \; & b^2 \bullet \frac{1+c_0}{c_0^{\,2}} \bullet c_b^{\,2} \bullet \mathrm{inv}^{-2b-2} \bullet \left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1+2c_0}{c_0}} \\
& - \left(1+b\right) \bullet b \bullet \frac{1}{c_0} \bullet c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b-2} \bullet \left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}}
\end{aligned} \qquad (117)$$

---

1) Darüber hinaus gilt wegen $\operatorname{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) = \left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1}{c_0}}$:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \operatorname{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})}{\partial \mathrm{inv}} &= b \bullet \frac{1}{c_0} \bullet c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b-1} \bullet \left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}} \\
&= b \bullet \frac{c_b}{c_0} \bullet \mathrm{inv}^{-(1+b)} \bullet \left(\left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1}{c_0}}\right)^{1+c_0} \quad // \quad \operatorname{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv}) = \left(c_a \bullet \mathrm{eff}^{-a} + c_b \bullet \mathrm{inv}^{-b}\right)^{-\frac{1}{c_0}} \\
&= b \bullet \frac{c_b}{c_0} \bullet \mathrm{inv}^{-(1+b)} \bullet \operatorname{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})^{1+c_0} = b \bullet \frac{c_b}{c_0} \bullet \frac{\operatorname{pro}(\mathrm{eff},\mathrm{inv})^{1+c_0}}{\mathrm{inv}^{1+b}}
\end{aligned}$$

Vgl. MUKERJI (1963), S. 234.

Aus Formel (117) ist – analog zur Argumentation zu Formel (115) – ersichtlich, dass die Anforderung $pro_{\partial inv.\partial inv}(eff,inv) < 0$ gemäß Formel (7) unter speziellen Annahmen für die Funktionsparameter a, b, c_a, c_b, c_0 erfüllt werden kann.

e)
$$\frac{\partial^2 pro(eff,inv)}{\partial eff\ \partial inv} = \frac{\partial\left(a\bullet\frac{1}{c_0}\bullet c_a\bullet eff^{-a-1}\bullet\left(c_a\bullet eff^{-a}+c_b\bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}}\right)}{\partial inv}$$
$$= a\bullet\frac{1}{c_0}\bullet c_a\bullet eff^{-a-1}\bullet\left(-\frac{1+c_0}{c_0}\right)\bullet\left(\left(c_a\bullet eff^{-a}+c_b\bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}-1}\right)$$
$$\bullet\left(0+(-b)\bullet c_b\bullet inv^{-b-1}\right) \qquad (118)^{1)}$$
$$= \underbrace{a\bullet b}_{\substack{>0\text{ wegen}\\\text{entweder } a,b>0\\\text{oder } a,b<0}}\bullet\underbrace{\frac{1+c_0}{c_0{}^2}}_{\substack{>0\text{ wegen}\\\text{entweder } c_0>0\\\text{oder } -1<c_0<0}}\bullet\underbrace{c_a\bullet eff^{-a-1}}_{>0\text{ wegen } c_a>0}\bullet\underbrace{c_b\bullet inv^{-b-1}}_{>0\text{ wegen } c_b>0}\bullet\underbrace{\left(c_a\bullet eff^{-a}+c_b\bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+2c_0}{c_0}}}_{>0\text{ wegen } c_a>0\text{ und } c_b>0} > 0$$

Aufgrund von Formel (118) ist es mit Produktionsfunktionen vom MUKERJI-Typ *unmöglich*, die spezielle Anforderung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ für eine Just-in-Time-Produktionssteuerung zu erfüllen. Dies ist insofern bemerkenswert, als die dieser Produktionsfunktionstyp zu den besonders „breit" aufgestellten, flexibel anpassbaren Produktionsfunktionen gehört. Daher dürfte es sehr

---

1) Darüber hinaus gilt übereinstimmend mit MUKERJI (1963), S. 234:

$$\frac{\partial^2 pro(eff,inv)}{\partial eff\ \partial inv} = a\bullet b\bullet\frac{1+c_0}{c_0{}^2}\bullet c_a\bullet eff^{-a-1}\bullet c_b\bullet inv^{-b-1}\bullet\left(c_a\bullet eff^{-a}+c_b\bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+2c_0}{c_0}}$$
$$= (1+c_0)\bullet\left(a\bullet\frac{1}{c_0}\bullet c_a\bullet eff^{-a-1}\right)\bullet\left(b\bullet\frac{1}{c_0}\bullet c_b\bullet inv^{-b-1}\right)\bullet\left(c_a\bullet eff^{-a}+c_b\bullet inv^{-b}\right)^{-\left(\frac{1+c_0}{c_0}+\frac{c_0}{c_0}\right)+\underbrace{\left(\frac{1+c_0}{c_0}-\frac{1+c_0}{c_0}\right)}_{=0}}$$
$$= (1+c_0)\bullet\left(c_a\bullet eff^{-a}+c_b\bullet inv^{-b}\right)^{\frac{1+c_0}{c_0}-\frac{c_0}{c_0}}$$
$$\bullet\underbrace{\left(a\bullet\frac{1}{c_0}\bullet c_a\bullet eff^{-a-1}\right)\bullet\left(c_a\bullet eff^{-a}+c_b\bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}}}_{=\frac{\partial pro(eff,inv)}{\partial eff}}$$
$$\bullet\underbrace{\left(b\bullet\frac{1}{c_0}\bullet c_b\bullet inv^{-b-1}\right)\bullet\left(c_a\bullet eff^{-a}+c_b\bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1+c_0}{c_0}}}_{=\frac{\partial pro(eff,inv)}{\partial inv}}$$
$$= (1+c_0)\bullet\left(c_a\bullet eff^{-a}+c_b\bullet inv^{-b}\right)^{-\left(-\frac{1+c_0-c_0}{c_0}\right)}\bullet\frac{\partial pro(eff,inv)}{\partial eff}\bullet\frac{\partial pro(eff,inv)}{\partial inv}$$
$$= \frac{1+c_0}{\underbrace{\left(c_a\bullet eff^{-a}+c_b\bullet inv^{-b}\right)^{-\frac{1}{c_0}}}_{=pro(eff,inv)}}\bullet\frac{\partial pro(eff,inv)}{\partial eff}\bullet\frac{\partial pro(eff,inv)}{\partial inv}$$
$$= \frac{1+c_0}{pro(eff,inv)}\bullet\frac{\partial pro(eff,inv)}{\partial eff}\bullet\frac{\partial pro(eff,inv)}{\partial inv}$$

schwer fallen, im Spektrum betriebswirtschaftlich etablierter Produktionsfunktionen einen Produktionsfunktionstyp identifizieren zu können, der sowohl die allgemeinen Anforderungen des ADL-Modells an die Gestalt einer Produktionsfunktion, die in den Formeln (4) bis (7) und (9) festgelegt wurden, als auch die spezielle Anforderung $pro_{\partial eff.\partial inv}(eff,inv) < 0$ für die Just-in-Time-Produktionssteuerung erfüllt.

Als weitere Option für zukünftige Forschungsarbeiten bietet es sich an, *keinen* bestimmten Produktionsfunktionstyp – wie etwa den ADL-JiT-Produktionsfunktionstyp, Produktionsfunktionen vom MUKERJI-Typ oder andere Produktionsfunktionen der betriebswirtschaftlich etablierten Typen A bis G – vorauszusetzen. Dafür bieten sich „non-parametrische“ Produktionsanalysen an. Ihre Bezeichnung ist jedoch irreführend. Denn es handelt sich nicht um Produktionsanalysen auf der Grundlage von wohlbestimmten Produktionsfunktionen, deren „Parameter“ nicht näher spezifiziert werden. Stattdessen geht es um Produktionsanalysen, die überhaupt keine Gestalt von Produktionsfunktionen voraussetzen.

Die bekannteste und mathematisch ausgereifteste Variante solcher „non-parametrischen“ Produktionsanalysen stellt die *Data Envelopment Analysis* (DEA) dar. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, Produktionsfunktionen aus Informationen über Inputs und Outputs von empirisch beobachteten Produktionsverhältnissen als Fronten effizienter Produktionsverhältnisse abzuleiten („frontier production functions“). Diese Fronten effizienter Produktionsverhältnisse können im Prinzip jede beliebige formale Gestalt annehmen, sind also nicht auf einen bestimmten Produktionsfunktionstyp eingeschränkt. Erste Beiträge zur Verknüpfung zwischen DEA-Analyse und Prinzipal-Agent-Theorie liegen bereits vor.[1)] Sie müssen in Zukunft noch ausgebaut werden, um zwei wesentlichen Aspekten des hier betrachteten ADL-Modells gerecht werden zu können. Erstens ist es erforderlich, in solchen DEA-Analysen auf jeden Fall das Anstrengungsniveau *eff* und das Lagerhaltungsniveau *inv* als maßgebliche Einflussgrößen („Inputs“) zu berücksichtigen. Zweitens erweisen sich solche DEA-Analysen nur dann für den hier interessierenden Anwendungskontext als fruchtbar, wenn sie auf Produktionssysteme bezogen werden, in denen Produktionsprozesse nach Prinzipien der Just-in-Time-Produktionssteuerung koordiniert werden.

3.1.3 Normalverteilte und additiv verknüpfte Störgröße

Zuvor wurde ausschließlich auf Probleme des ADL-Modells eingegangen, die im Zusammenhang mit seinem Anspruch stehen, eine Variante der Prinzipal-Agent-Theorie darzustellen, die speziell auf das Konzept der Just-in-Time-Produktionssteuerung zugeschnitten ist. Darüber hinaus leidet das ADL-Modell unter einigen weiteren Defekten, die sich jedoch aus produktionswirtschaftlicher Perspektive als weniger bedeutsam herausstellen. Daher werden sie im Folgenden nicht vollständig behandelt.[2)] Stattdessen wird als „pars pro toto“ nur auf die spezielle Art eingegangen, in der die Störgröße ε auf der stochastischen Konzeptualisierungsstufe der Produktionsfunktion einbezogen wird, um die deterministische Produktionsfunktion *out* in die stochastische Outputfunktion *out* zu überführen.

1) Vgl. BOGETOFT (2000), S. 7 ff., insbesondere S. 9 u. 12 ff.

2) Bereits in den voranstehenden Ausführungen wurde mehrfach auf Unzulänglichkeiten des ADL-Modells eingegangen, die aus produktionswirtschaftlicher Perspektive bestehen. Dazu gehört beispielsweise die Prämisse, dass sich sämtliche Nutzenvorstellungen von Prinzipal und Agent auf rein monetäre Weise erfassen lassen. Diese Unzulänglichkeiten werden hier nicht noch einmal angeführt, um Wiederholungen zu vermeiden.

In Formel (13) wurde als ein Charakteristikum des ADL-Modells aufgezeigt, dass die stochastische Outputfunktion *out* mittels einer *additiven* Verknüpfung zwischen dem fiktiven Produktionsergebnis pro(eff,inv) und der Störgröße ε definiert ist. Es muss also gelten:

$$\forall \text{ eff} \in \text{EFF} \; \forall \text{ inv} \in \text{INV} \; \forall \; \varepsilon \in \mathbb{R}: \quad \text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon) \; = \; \text{pro}(\text{eff},\text{inv}) + \varepsilon \qquad (119)$$

Diese *additive* Einbeziehung der Störgröße ε erweist sich in Extremfällen als hochproblematisch, in denen *negative* Werte für den Output out(eff,inv,ε) auftreten können. Negative Outputwerte mit out(eff,inv,ε) < 0 können grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden, weil für die Störgröße ε eine *Normalverteilung* angenommen wird. Für jede Normalverteilung ist es typisch, dass die Störgröße ε beliebig weit nach oben und ebenso beliebig weit nach unten von ihrem Mittelwert $\mu = E(\varepsilon)$ abweichen kann (im ADL-Modell gilt $\mu = 0$). Besonders große Abweichungen vom Mittelwert μ treten zwar mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit auf. Aber es ist stets möglich, dass die Störgröße ε bei einer einzelnen Realisierung dieser Zufallsvariable so stark vom Mittelwert $\mu = 0$ nach unten abweicht, also so große negative Werte annimmt, dass die Summe pro(eff,inv) + ε negativ wird und daher out(eff,inv,ε) < 0 gilt. Ein solcher negativer Outputwert kann jedoch in der betrieblichen Realität nicht auftreten. Deshalb stellt die stochastische Outputfunktion *out* zumindest in dem Ausmaß, wie sie negative Outputwerte out(eff,inv,ε) zulässt, ein theoretisches Artefakt dar, das sich als nicht realitätsadäquat erweist.

Zwar kann die additive Verknüpfung zwischen dem fiktiven Produktionsergebnis pro(eff,inv) und der Störgröße ε in der stochastischen Outputfunktion *out* aus lösungstechnischer Sicht als ein „Kunstgriff“ von ALLES, DATAR und LAMBERT aufgefasst werden, der sich aus der Perspektive des „Komplexitätsmanagements“ rechtfertigen lässt. Aus dieser Perspektive mag es vorteilhaft erscheinen, die Komplexität des ADL-Modells mithilfe der o.a. additiven Verknüpfung und normalverteilten Störgröße ε so gering zu halten, dass ein Prinzipal-Agent-Problem, das in diesem Modell formuliert wird, mit konventionellen Instrumenten der Marginalanalyse gelöst werden kann. Aber eine derart „lösungsfokussierte“ Modellkonstruktion überzeugt nicht, wenn das Primat der Realitätsadäquanz für „gute“ oder „angemessene“ Modelle anerkannt wird. Aus der Perspektive dieses Primats sollte ein Modell niemals so gestaltet werden, dass es für Größen, die reale Sachverhalte repräsentieren, Ausprägungen zulässt, die im modellierten Realitätsausschnitt niemals auftreten können. Dies bedeutet im Hinblick auf den hier betrachteten Output out(eff,inv,ε), dass im ADL-Modell negative Werte des Outputs mit out(eff,inv,ε) < 0 unmöglich sein sollten.

Dieses Ziel für eine „gute“, d.h. hier realitätsadäquate Modellierung von Produktionssystemen mit Just-in-Time-Produktionssteuerung lässt sich grundsätzlich auf drei unterschiedliche Weisen erfüllen. Erstens ist es möglich, an der Normalverteilungsannahme für die Störgröße ε festzuhalten, aber auf ihre additive Verknüpfung mit dem fiktiven Produktionsergebnis pro(eff,inv) zu verzichten. Zweitens lässt sich an dieser additiven Verknüpfung festhalten, wenn auf eine andere Verteilungsannahme für die Störgröße ε zurückgegriffen und dabei sichergestellt wird, dass negative Outputwerte im Modell niemals auftreten können. Drittens kann sowohl die Normalverteilungsannahme für die Störgröße ε aufgegeben werden als auch auf die additive Verknüpfung der Störgröße ε mit dem fiktiven Produktionsergebnis pro(eff,inv) verzichtet werden.

Im Folgenden wird in exemplarischer Weise nur auf die letztgenannte, dritte Option näher eingegangen. Sie erscheint dem Verfasser besonders Erfolg versprechend, um die zuvor erwähnten Probleme zu vermeiden, die aus einer normalverteilten und additiv verknüpften Störgröße ε resultieren.

Ausgangspunkt der dritten Option ist die Überlegung, dass die Störgröße ε zwecks Vermeidung der o.a. Probleme folgende Eigenschaften aufweisen sollte:[1)]

1. Die Störgröße ε ist mit dem fiktiven Produktionsergebnis pro(eff,inv) *multiplikativ* verknüpft. Es muss also gelten:

$$\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon) = \varepsilon \bullet \text{pro}(\text{eff},\text{inv}) \tag{120}$$

2. Der *Mittelwert* $\mu = E(\varepsilon)$ der Störgröße ε beträgt *Eins*: $\mu = E(\varepsilon) = 1$. (121)
   Unter dieser Voraussetzung stimmt der Erwartungswert des Outputs out(eff,inv,ε) mit dem fiktiven Produktionsergebnis pro(eff,inv) überein. Denn es gilt:

$$\begin{aligned} E(\text{out}) &= E\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon)\big) = E\big(\varepsilon \bullet \text{pro}(\text{eff},\text{inv})\big) \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon \bullet f(\varepsilon) \bullet \text{pro}(\text{eff},\text{inv})\, d\varepsilon \\ &= \text{pro}(\text{eff},\text{inv}) \bullet \int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \qquad // \int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon = E(\varepsilon) = 1 \\ &= \text{pro}(\text{eff},\text{inv}) \bullet 1 = \text{pro}(\text{eff},\text{inv}) \end{aligned} \tag{122}$$

3. Die Störgröße ε ist *nach oben unbeschränkt*. Daher kann der Output out(eff,inv,ε) bei gleichem Anstrengungsniveau *eff* und gleichem Lagerhaltungsniveau *inv* beliebig größer als das fiktive Produktionsergebnis pro(eff,inv) ausfallen.

4. Die Störgröße ε ist *nach unten* derart *beschränkt*, dass niemals negative Outputs out(eff,inv,ε) mit out(eff,inv,ε) < 0 auftreten können. Dies ist infolge der multiplikativen Verknüpfung $\varepsilon \bullet \text{pro}(\text{eff},\text{inv})$ zwischen der Störgröße ε und dem Produktionsergebnis pro(eff,inv) gemäß Formel (120) genau dann der Fall, wenn die Störgröße ε niemals negative Werte $\varepsilon < 0$ anzunehmen vermag, wenn also für ihre Dichtefunktion *f* gilt:

$$\forall \varepsilon \in \mathbb{R}: \quad \varepsilon < 0 \rightarrow f(\varepsilon) = 0 \tag{123}$$

5. Da die Störgröße ε nach unten durch Null beschränkt wird (Outputs mit out(eff,inv,ε) < 0 sind wegen $f(\varepsilon) = 0$ ausgeschlossen), aber nach oben beliebig große Werte anzunehmen vermag, kann sich die Dichtefunktion *f* für die Störgröße ε – im Gegensatz zur Normalverteilung nach GAUß – nicht symmetrisch zu ihrem Mittelwert $\mu = E(\varepsilon) = 1$ verhalten. Vielmehr muss es sich um eine *„linkssteile"* Dichtefunktion *f* handeln, die zum Nullpunkt $\varepsilon = 0$ hin „gestaucht" ist, sich aber für Werte $\varepsilon > 1$ oberhalb ihres Mittelwerts $\mu = E(\varepsilon) = 1$ mit positiven Werten $f(\varepsilon) > 0$ beliebig weit erstrecken kann.

Unter den „gängigen" statistischen Verteilungsfunktionen ist die WEIBULL-Verteilung nach Einschätzung des Verfassers am besten geeignet, die voranstehend angeführten fünf Eigenschaften zu erfüllen.[1)] Für die WEIBULL-Verteilung der Störgröße ε gilt im allgemeinen Fall:[2)]

---

1) Die nachfolgend angeführten Eigenschaften sind zur Problemvermeidung keineswegs notwendig, sondern nur hinreichend. Daher lässt sich nicht ausschließen, dass auch andere Kombinationen von Eigenschaften für die Störgröße ε existieren, aufgrund derer sich die o.a. Probleme vermeiden lassen.

$$\forall \varepsilon \in \mathbb{R}\, \forall q \in \mathbb{R}_{>0}\, \forall r \in \mathbb{R}_{>0}\, \forall s \in \mathbb{R}:$$

$$f(\varepsilon) = \begin{cases} \frac{r}{q} \bullet \left(\frac{\varepsilon - s}{q}\right)^{r-1} \bullet e^{-\left(\frac{\varepsilon - s}{q}\right)^r} & ; \text{falls } \varepsilon > s \\ 0 & ; \text{falls } \varepsilon \leq s \end{cases} \tag{124}$$

Diese allgemeine WEIBULL-Verteilung besitzt als Erwartungswert E(ε) und Varianz V(ε):[3)]

$$E(\varepsilon) = s + q \bullet \Gamma\left(1 + \frac{1}{r}\right) \tag{125}$$

$$V(\varepsilon) = q^2 \bullet \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{r}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{r}\right)\right)^2\right] \tag{126}$$

Dabei wird als sogenannte Gamma-Funktion Γ vorausgesetzt:[4)]

$$\forall x \in \mathbb{R}: \quad x \notin \{0, -1, -2, ...\} \rightarrow \Gamma(x) = \lim_{n \to \infty} \frac{n! \bullet n^x}{x \bullet (x+1) \bullet ... \bullet (x+n)} \tag{127}$$

Für die Spezialfälle x > 0 und $x \in \mathbb{N}_0$ gilt:[5)]

$$\forall x \in \mathbb{R}_{>0}: \Gamma(x) = \int_0^\infty e^{-t} \bullet t^{x-1}\, dt \tag{128}$$

$$\begin{aligned} & \Gamma(1) = 1 \quad \wedge \quad \forall n \in \mathbb{N}_+: \Gamma(n+1) = n! \\ \Leftrightarrow \quad & \forall n \in \mathbb{N}_+: \Gamma(n) = (n-1)! \end{aligned} \tag{129}$$

$$\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = \sqrt{\pi} \quad \wedge \quad \forall n \in \mathbb{N}_+: \Gamma\left(n + \frac{1}{2}\right) = \frac{1 \bullet 3 \bullet 5 \bullet ... \bullet (2n-1)}{2^n} \bullet \sqrt{\pi} \tag{130}$$

---

1) Die vierte Eigenschaft wird von der WEIBULL-Verteilung nicht exakt erfüllt. Denn für die WEIBULL-Verteilung gilt, wie im Folgenden noch erläutert wird: $\varepsilon \leq 0 \Rightarrow f(\varepsilon) = 0$. Dies stimmt mit der o.a. Eigenschaft $\varepsilon < 0 \Rightarrow f(\varepsilon) = 0$ nicht exakt überein, weil für den Grenzfall $\varepsilon = 0$ gemäß der WEIBULL-Verteilung $f(\varepsilon) = 0$ gelten muss, während aus der o.a. Eigenschaft $\varepsilon < 0 \Rightarrow f(\varepsilon) = 0$ für den Grenzfall $\varepsilon = 0$ keineswegs $f(\varepsilon) = 0$ folgen muss. Vielmehr gestattet die Eigenschaft $\varepsilon < 0 \Rightarrow f(\varepsilon) = 0$ für den Grenzfall $\varepsilon = 0$ auch Werte der Dichtefunktion *f* mit $f(\varepsilon) > 0$. Diese geringfügige Diskrepanz für den Grenzfall $\varepsilon = 0$, die zwischen der WEIBULL-Verteilung mit $\varepsilon \leq 0 \Rightarrow f(\varepsilon) = 0$ und der o.a. Eigenschaft $\varepsilon < 0 \Rightarrow f(\varepsilon) = 0$ besteht, trifft jedoch auch auf andere „gängige" statistische Verteilungsfunktionen zu, die ebenso $\varepsilon \leq 0 \Rightarrow f(\varepsilon) = 0$ voraussetzen. Dazu gehören z.B. die logarithmische Normalverteilung, die Beta-Verteilung (die vor allem aus der PERT-Netzplantechnik bekannt ist), die F-Verteilung und die χ^2-Verteilung; vgl. zu den vorgenannten alternativen Verteilungsfunktionen LUDERER/NOLLAU/VETTERS (2005), S. 122. Daher reicht diese geringfügige Diskrepanz für den Grenzfall $\varepsilon = 0$ nicht aus, um die WEIBULL-Verteilung als ungeeignet zu verwerfen. Dies gilt zumindest so lange, wie keine alternative statistische Verteilungsfunktion präsentiert wird, welche die o.a. Eigenschaften mindestens genauso gut wie die WEIBULL-Verteilung erfüllt und darüber hinaus auch noch die Eigenschaft $\varepsilon < 0 \Rightarrow f(\varepsilon) = 0$ exakt erfüllt, ohne für den Grenzfall $\varepsilon = 0$ in nicht notwendiger Weise $f(\varepsilon) = 0$ vorzuschreiben.

2) Vgl. LUDERER/NOLLAU/VETTERS (2005), S. 122 f.

3) Vgl. LUDERER/NOLLAU/VETTERS (2005), S. 122.

4) Vgl. BRONSTEIN/SEMENDJAJEW/MUSIOL et al. (2008), S. 517.

5) Vgl. VETTERS (1996), S. 42; PAPULA (2006), S. 420; BRONSTEIN/SEMENDJAJEW/MUSIOL et al. (2008), S. 517 f.

Um der Anforderung gemäß Formel (123) möglichst nahe zu kommen, dass die Störgröße *ε* nach unten beschränkt ist und deswegen niemals negative Outputs out(eff,inv,ε) mit out(eff,inv,ε) < 0 auftreten dürfen, muss der Parameter *s* der allgemeinen WEIBULL-Verteilung in Formel (124) auf den Wert s = 0 gesetzt werden. Daraus resultiert als spezielle WEIBULL-Verteilung:[1]

$$\forall \varepsilon \in \mathbb{R}\, \forall q \in \mathbb{R}_{>0} \forall r \in \mathbb{R}_{>0}:$$

$$f(\varepsilon) = \begin{cases} \frac{r}{q} \bullet \left(\frac{\varepsilon - 0}{q}\right)^{r-1} \bullet e^{-\left(\frac{\varepsilon-0}{q}\right)^r} & ; \text{falls } \varepsilon > 0 \\ 0 & ; \text{falls } \varepsilon \le 0 \end{cases} \tag{131}$$

$$= \begin{cases} \frac{r}{q} \bullet \left(\frac{\varepsilon}{q}\right)^{r-1} \bullet e^{-\left(\frac{\varepsilon}{q}\right)^r} & ; \text{falls } \varepsilon > 0 \\ 0 & ; \text{falls } \varepsilon \le 0 \end{cases}$$

Diese spezielle WEIBULL-Verteilung besitzt mit s = 0 folgenden Erwartungswert E(ε) und folgende Varianz V(ε):[2]

$$E(\varepsilon) = 0 + q \bullet \Gamma\left(1 + \frac{1}{r}\right) = q \bullet \Gamma\left(1 + \frac{1}{r}\right) \tag{132}$$

$$V(\varepsilon) = q^2 \bullet \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{r}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{r}\right)\right)^2\right] \tag{133}$$

Um die Eigenschaft E(ε) = 1 für den Erwartungswert E(ε) der Störgröße *ε* gemäß Formel (121) zu erfüllen, lassen sich beispielsweise $q = 2 \bullet \pi^{-0,5} \approx 1{,}1284$ und r = 2 festlegen. Denn gemäß Formel (132) muss für diese Festlegungen gelten:

$$\begin{aligned} & E(\varepsilon) = q \bullet \Gamma\left(1 + \frac{1}{r}\right) && // \quad q = 2 \bullet \pi^{-0,5}\ ; r = 2 \\ \Rightarrow\ & E(\varepsilon) = \left(2 \bullet \pi^{-0,5}\right) \bullet \Gamma\left(1 + \frac{1}{2}\right) && // \quad \Gamma\left(1 + \frac{1}{2}\right) = \frac{1 \bullet (2 \bullet 1 - 1)}{2^1} \bullet \sqrt{\pi} = 0{,}5 \bullet \pi^{0,5} \\ \Rightarrow\ & E(\varepsilon) = 2 \bullet \pi^{-0,5} \bullet 0{,}5 \bullet \pi^{0,5} \\ \Rightarrow\ & E(\varepsilon) = 1 \bullet \pi^{-0,5+0,5} = \pi^0 = 1 \end{aligned} \tag{134}$$

Setzt man dieses Ergebnis E(ε) = 1 in die allgemeine Definition des Erwartungswerts als Integral über dem Produkt aus Störgröße *ε* und jeweils zugehörigem Wert f(ε) der Dichtefunktion *f* ein, so ergibt sich analog zur Formel (10), die sich auf den Erwartungswert einer Normalverteilung bezog, hier für den Erwartungswert E(ε) der WEIBULL-Verteilung:

$$E(\varepsilon) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon = 1 \tag{135}$$

1) Vgl. VETTERS (1996), S. 119; BRONSTEIN/SEMENDJAJEW/MUSIOL et al. (2008), S. 826.

2) Vgl. VETTERS (1996), S. 119; BRONSTEIN/SEMENDJAJEW/MUSIOL et al. (2008), S. 826.

Entsprechend gilt für die Varianz V(ε) der Störgröße *ε* gemäß Formel (133) angesichts der Festlegungen $q = 2 \bullet \pi^{-0,5}$ und $r = 2$:

$$V(\varepsilon) \;=\; q^2 \bullet \left[\Gamma\left(1+\frac{2}{r}\right) - \left(\Gamma\left(1+\frac{1}{r}\right)\right)^2 \right] \qquad // \quad q = 2\bullet\pi^{-0,5}\ ;\ r = 2$$

$$\Rightarrow \quad V(\varepsilon) \;=\; \left(2\bullet\pi^{-0,5}\right)^2 \bullet \left[\Gamma\left(1+\frac{2}{2}\right) - \left(\Gamma\left(1+\frac{1}{2}\right)\right)^2 \right]$$

$$\Rightarrow \quad V(\varepsilon) \;=\; 4\bullet\pi^{-1} \bullet \left[\Gamma(2) - \left(\Gamma\left(1+\frac{1}{2}\right)\right)^2 \right] \qquad // \quad \begin{cases} \Gamma(2) = (2-1)! = 1! = 1 \\ \Gamma\left(1+\frac{1}{2}\right) = \dfrac{1\bullet(2\bullet 1-1)}{2^1}\bullet\sqrt{\pi} = 0,5\bullet\pi^{0,5} \end{cases} \tag{136}$$

$$\Rightarrow \quad V(\varepsilon) \;=\; 4\bullet\pi^{-1} \bullet \left[1 - \left(0,5\bullet\pi^{0,5}\right)^2 \right]$$

$$\Rightarrow \quad V(\varepsilon) \;=\; 4\bullet\pi^{-1} \bullet \left[1 - 0,25\bullet\pi^{1} \right] \;=\; 4\bullet\pi^{-1} - 1\bullet\pi^{-0}$$

$$\Rightarrow \quad V(\varepsilon) \;=\; \frac{4}{\pi} - 1 \;\approx\; 0,2732$$

Die nachfolgende Abb. 3 verdeutlicht den Verlauf der Dichtefunktion *f* für die Störgröße *ε*, wenn eine WEIBULL-Verteilung mit den Parametern $q = 2 \bullet \pi^{-0,5}$, $r = 2$ und $s = 0$ zugrunde gelegt wird.

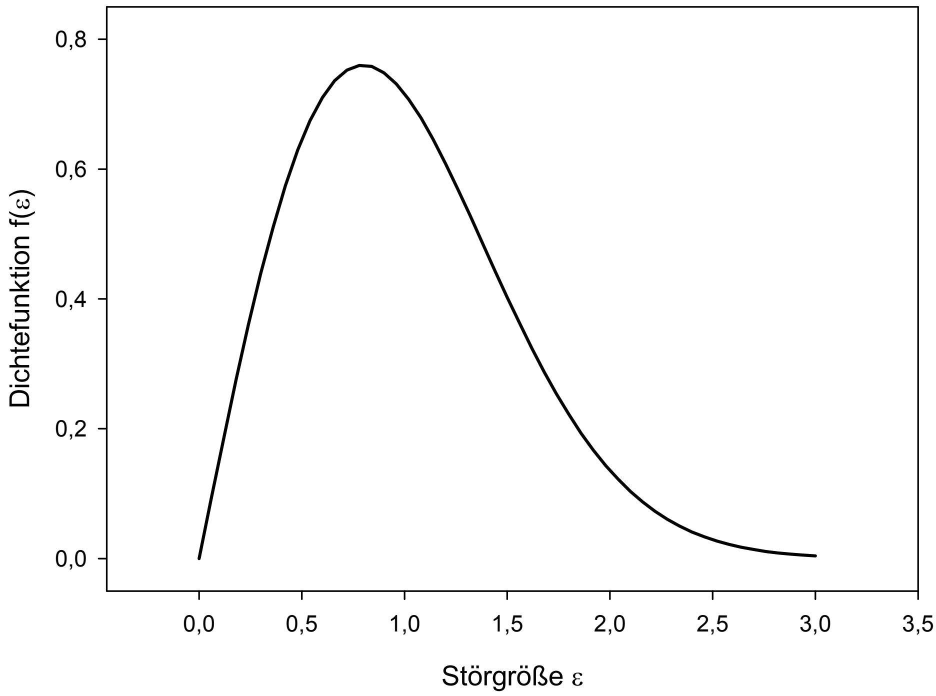

Abb. 3: WEIBULL-Verteilung mit den Parametern $q = 2 \bullet \pi^{-0,5}$, $r = 2$ und $s = 0$

Das ADL-Modell lässt sich ohne grundsätzliche Schwierigkeiten rekonstruieren, indem mit einer multiplikativ verknüpften Störgröße ε gearbeitet wird, die einer WEIBULL-Verteilung mit dem Parameter s = 0 und dem Erwartungswert E(ε) = 1[1)] unterliegt. Diese multiplikativ verknüpfte und WEIBULL-verteilte Störgröße ε ist an allen Stellen des ursprünglichen ADL-Modells für die dort verwendete additiv verknüpfte und normalverteilte Störgröße ε zu ersetzen. An der Formulierung des ADL-Modells ändert sich hierdurch nichts Wesentliches.[2)]

Um dies nachzuweisen, müssten streng genommen alle Formeln des ADL-Modells, in denen die Störgröße ε vorkommt, im Hinblick auf die multiplikativ verknüpfte und WEIBULL-verteilte Störgröße ε reformuliert werden. Diese Mühsal möge einer anderen Ausarbeitung überlassen bleiben. Stattdessen wird hier nur in exemplarischer Weise aufgezeigt, wie die stochastische Outputfunktion *out* gemäß Formel (13) modifiziert werden muss und wie sich dies auf die Erwartungsnutzenfunktion Eut_{pr} des Prinzipals gemäß Formel (23) auswirkt.

Für die stochastische Outputfunktion *out* gilt, wenn das fiktive Produktionsergebnis pro(eff,inv) aufgrund der deterministischen Produktionsfunktion *pro* mit der WEIBULL-verteilten Störgröße ε auf multiplikative Weise verknüpft wird:[3)]

$$\begin{aligned} \text{out}:\ & \text{EFF} \times \text{INV} \times \mathbb{R} && \mapsto \mathbb{R}_{\geq 0} \\ & (\text{eff}, \text{inv}, \varepsilon) && \mapsto \text{out}(\text{eff}, \text{inv}, \varepsilon) = \varepsilon \bullet \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) \end{aligned} \tag{137}$$

Daraus folgt für den Erwartungswert E(out) der stochastischen Outputfunktion *out* bei gegebenem Anstrengungsniveau *eff* und ebenso gegebenem Lagerhaltungsniveau *inv* analog zur Formel (14):

$$\begin{aligned} \text{E}(\text{out}) &= \text{E}(\text{out}(\text{eff}, \text{inv}, \varepsilon)) \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} (\varepsilon \bullet \text{pro}(\text{eff}, \text{inv})) \bullet \text{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon = \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) \bullet \underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon \bullet \text{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon}_{=1 \text{ gemäß Formel (135)}} \\ &= \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) \bullet 1 = \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) \end{aligned} \tag{138}$$

Es zeigt sich, dass der Erwartungswert E(out) der stochastischen Outputfunktion *out* unverändert bleibt, wenn anstatt der multiplikativ verknüpften und normalverteilten Störgröße ε aus dem ursprünglichen ADL-Modell eine additiv verknüpfte und WEIBULL-verteilte Störgröße ε benutzt wird.

---

1) Der Erwartungswert E(ε) = 1 lässt sich, wie hier demonstriert, durch die Festlegung der übrigen Funktionsparameter *q* und *r* beispielsweise zu $q = 2 \bullet \pi^{-0,5}$ und r = 2 realisieren. Es kommen aber auch andere Parameterwerte in betracht. Ratsam ist aber, auf jeden Fall r > 1 zu wählen, um den typischen Verteilungsverlauf gemäß Abb. 3 zu erzielen.

2) Allerdings gehört das derart modifizierte ADL-Modell nicht mehr zur Klasse der LEN-Modelle, weil die Normalverteilung der Störgröße ε nicht mehr zutrifft.

3) Vgl. ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 183, Fußnote 6. Diese additive Verknüpfung zwischen einer Output- oder Ergebnisgröße einerseits und einer Störgröße andererseits stellt aber keine seltene Eigenart des ADL-Modells dar, sondern wird in der Prinzipal-Agent-Theorie häufig verwendet. Vgl. beispielsweise zur gleichartigen Verknüpfungsweise HOLMSTRÖM/MILGROM (1991), S. 29; PORTEUS/WHANG (1991), S. 1167; WAGENHOFER/EWERT (1993), S. 376; HOLMSTRÖM/MILGROM (1994), S. 976 u. 982; ITOH (1994), S. 693; MAYER/PFEIFFER (2004), S. 1051.

Für die Erwartungsnutzenfunktion Eut_{pr} des Prinzipals ergibt sich auf Grundlage der additiv verknüpften und WEIBULL-verteilten Störgröße ε:

$$\begin{aligned}
\mathrm{Eut}_{pr}(\mathrm{eff,inv,fix,sha}) &= \mathrm{E}\big(\mathrm{rut}_{pr}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\varepsilon)\big) \\
&= \int_{-\infty}^{+\infty} \mathrm{rut}_{pr}(\mathrm{eff,inv,fix,sha},\varepsilon) \bullet \mathrm{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon \\
&= \int_{-\infty}^{+\infty} \Big(\big(\mathrm{out}(\mathrm{eff,inv},\varepsilon)\big) - \big(\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \big(\mathrm{out}(\mathrm{eff,inv},\varepsilon)\big)\big) - \mathrm{lks} \bullet \mathrm{inv}\Big) \bullet \mathrm{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon \\
&= \int_{-\infty}^{+\infty} \Big(\big(\varepsilon \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})\big) - \big(\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \big(\varepsilon \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})\big)\big) - \mathrm{lks} \bullet \mathrm{inv}\Big) \bullet \mathrm{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon \\
&= \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv}) \bullet \underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon \bullet \mathrm{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon}_{=1 \text{ gemäß Formel (135)}} - \mathrm{sha} \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv}) \bullet \underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon \bullet \mathrm{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon}_{=1 \text{ gemäß Formel (135)}} \\
&\quad - (\mathrm{fix} + \mathrm{lks} \bullet \mathrm{inv}) \bullet \underbrace{\int_{-\infty}^{+\infty} \mathrm{f}(\varepsilon)\, d\varepsilon}_{=1 \text{ gemäß Formel (12)}} \\
&= \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv}) \bullet 1 - \mathrm{sha} \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv}) \bullet 1 - (\mathrm{fix} + \mathrm{lks} \bullet \mathrm{inv}) \bullet 1 \\
&= \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv}) - \mathrm{fix} - \mathrm{sha} \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv}) - \mathrm{lks} \bullet \mathrm{inv} \\
&= \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv}) - \big(\mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{pro}(\mathrm{eff,inv})\big) - \mathrm{lks} \bullet \mathrm{inv}
\end{aligned} \tag{139}$$

Ein Vergleich mit Formel (23) zeigt, dass sich auch der Erwartungsnutzen $\mathrm{Eut}_{pr}(\mathrm{eff,inv,fix,sha})$ des Prinzipals in keiner Weise verändert, wenn anstatt der multiplikativ verknüpften und normalverteilten Störgröße ε aus dem ursprünglichen ADL-Modell eine additiv verknüpfte und WEIBULL-verteilte Störgröße ε benutzt wird.

3.2 Analyse aus wissenschaftstheoretischer Perspektive

3.2.1 Der Strukturierungsdefekt aus der Perspektive konventionell formulierter Theorien

Das ADL-Modell weist einen grundsätzlichen Strukturierungsdefekt[1)] auf. Dieser Strukturierungsdefekt erweist sich nicht nur für die meisten[2)] Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie, sondern darüber hinaus für nahezu alle konventionell formulierten Theorien als typisch. Dieser Mangel wird im Folgenden vornehmlich in Bezug auf den „nomischen Kern“ einer Theorie, daneben aber auch in Bezug auf ihren intendierten Anwendungsbereich aufgezeigt.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass sich das ADL-Modell als eine Theorie auffassen lässt. Dies wurde schon an früherer Stelle gerechtfertigt. Um Missverständnissen vorzubeugen, wird das ADL-Modell jedoch im Folgenden als eine Miniaturtheorie angesprochen.[3)] Durch diese Bezeichnungsweise wird das ADL-Modell grundsätzlich als eine Theorie qualifiziert. Zugleich wird aber auch einschränkend anerkannt, dass aufgrund der speziellen Prämissen des ADL-Modells[4)] keine Theorie „großer Reichweite“, sondern „nur“ eine Modellierung eines erheblich eingeschränkten Realitätsausschnitts – also eine Miniaturtheorie – vorliegt.

Die Miniaturtheorie „ADL-Modell“ wurde im 2. Kapitel entsprechend dem konventionellen Theorienkonzept des sogenannten Received View oder Statement View[5)] formuliert. Aus der Perspektive des konventionellen Theorienkonzepts ist eine realwissenschaftliche Theorie ein systematischer Aussagenzusammenhang oder axiomatisch-deduktives Formelsystem, der bzw. das sich auf einen bestimmten Gegenstandsbereich („Realitätsausschnitt“) als intendierten Anwendungsbereich bezieht und mindestens eine nicht-triviale nomische Hypothese umfasst.

---

1) Der Strukturierungsdefekt des ADL-Modells wurde erstmals in ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004a), S. 24 f., und ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004b), S. 10, thematisiert. Die dort zum ersten Mal vorgetragenen Argumente werden in dem hier vorgelegten Beitrag aufgegriffen und inhaltlich weiterentwickelt. Darüber hinaus findet sich bei ALPARSLAN (2006), S. 5 ff. u. 91 ff., eine ebenso ausführliche wie tiefgründige Analyse des Strukturierungsdefekts, allerdings ohne speziellen Bezug zum ADL-Modell, sondern allgemein für die Prinzipal-Agent-Theorie in der Variante der Hidden-Action-Modelle.

2) Eine Ausnahme stellt vor allem die sorgfältige Rekonstruktion mehrerer wichtiger Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie aus der Perspektive des Non Statement View dar, die sich bei ALPARSLAN (2006), S. 157 ff., findet.

3) Mit der Bezeichnung „Miniaturtheorie“ ist keine Abwertung oder Geringschätzung des ADL-Modells verbunden. Vielmehr wird dadurch lediglich zum Ausdruck gebracht, dass seitens des Verfassers eine *spezielle* Modellvariante der Prinzipal-Agent-Theorie berücksichtigt wird und dabei die vielfältigen Beziehungen zwischen dieser Variante und den anderen Modellen der Prinzipal-Agent-Theorie unberücksichtigt bleiben. Außerdem soll bewusst ein Streit darüber vermieden werden, ob ökonomische „Modelle“ bereits als „ausgereifte“ Theorien betrachtet werden dürfen oder nicht. Da jedes Erklärungs- oder Gestaltungsmodell „im Prinzip“ alle wissenschaftstheoretischen Anforderungen an eine realwissenschaftliche Theorie erfüllt, werden hier die Modelle der Prinzipal-Agent-Theorie von vornherein als Theorien thematisiert. Nur im Hinblick auf mögliche Vorbehalte, „ausgereifte“ Theorien seien doch umfangreicher als gewöhnliche ökonomische Modelle, wird die vorsichtige Formulierung der „Miniaturtheorie“ gewählt, um unnötige Diskussionen über den „angemessenen“ Umfang einer Theorie zu vermeiden. Denn das Strukturierungsdefizit des konventionellen Theorienkonzepts gilt unabhängig davon, ob im Einzelfall entweder Modelle (im Sinne von Miniaturtheorien) oder aber „ausgereifte“ Theorien analysiert werden.

4) Solche Prämissen liegen beispielsweise in Bezug auf die Risikoeinstellungen von Prinzipal und Agent, hinsichtlich der Verteilungsfunktion für die Störgröße ε und im Hinblick auf die lineare Gestalt der Zahlungsfunktion vor.

5) Vgl. zum konventionellen Theorienkonzept die Hinweise zum Received View oder Statement View am Ende von Kapitel 1.3.

Die Komponenten einer Theorie T lassen sich entsprechend ihrer epistemischen Qualitäten zweifach differenzieren. Einerseits handelt es sich um Komponenten, die in der Theorie unhinterfragt als gültig vorausgesetzt werden und somit axiomatischen Charakter besitzen. Sie werden als Axiome A_i mit $i \in \{1, ..., I\}$ der Theorie T bezeichnet. Andererseits kommen Komponenten hinzu, die aus den Axiomen entweder unmittelbar oder aber mittelbar, d.h. unter Rückgriff auf bereits erfolgte Ableitungen, mittels Inferenzregeln der deduktiven Logik abgeleitet werden können. Sie stellen Theoreme Th_j mit $j \in \{1, ..., J\}$ der Theorie T dar. Eine konventionell formulierte Theorie ist somit ein Tupel T mit:

$$T = \langle A_1, ..., A_I, Th_1, ..., Th_J \rangle \qquad (140)$$

Die Axiomatisierung einer Theorie hat mehrere Vorteile. Erstens werden auf diese Weise die grundlegenden Annahmen einer Theorie als Axiome explizit hervorgehoben. Zweitens wird die Menge der Theoreme, die sich aus diesen grundlegenden Annahmen ableiten lassen, durch die jeweils (implizit) vorausgesetzten Inferenzregeln klar bestimmt.

Beispielsweise stellen im ADL-Modell der ersten hier vorgestellten Form, die im Kapitel 2.2 als Modellierung des generischen Prinzipal-Agent-Problems eingeführt wurde, die Formeln (1) bis (13), (16), (19), (20), (22, 1. Zeile), (24), (26), (27, 1. Zeile), (28) bis (30), (33, 1. Zeile), (34, 1. Zeile), (37, 1. Zeile) und (38) jeweils Axiome dar, während es sich bei den übrigen Formeln des Kapitels 2.2, d.h. bei den Formeln (14), (15), (17), (18), (21), (22, 2. Zeile), (23), (25), (27, 2. Zeile), (31), (32), (33, 2. Zeile), (34, 2. Zeile), (35), (36), (37, 2. Zeile) sowie (39) bis (42), jeweils um Theoreme handelt.

Die Aufteilung der Aussagen oder Formeln einer Theorie in einerseits Axiome und andererseits Theoreme konstituiert nur eine *Minimalstruktur* für konventionell formulierte Theorien. Sie reicht zwar aus, um Theorien vollständig zu formulieren, hinsichtlich ihrer Geltungsansprüche empirisch zu überprüfen und auch für Erklärungs- oder Gestaltungszwecke praktisch anzuwenden. Allerdings bietet diese Minimalstruktur keinerlei Anhaltspunkte, um wesentliche inhaltliche („semantische") Komponenten einer Theorie zu identifizieren. Dabei handelt es sich vor allem um die mindestens eine nomische Hypothese einer Theorie. Daneben spielt aber auch der intendierte Anwendungsbereich einer Theorie eine bedeutsame Rolle, der in formalsprachlichen Theorieformulierungen zumeist vernachlässigt wird.

Nomische Hypothesen (gesetzesartige Aussagen) bilden *die zentrale* Komponente einer jeden realwissenschaftlichen Theorie.[1)] Es handelt sich – innerhalb einer Theorie als sprachlichem Artefakt – zunächst nur um hypothetische Aussagen, da sie erst dann die epistemische Qualität von Gesetzen erlangen, wenn sie – je nach erkenntnistheoretischer Ausrichtung – entweder hinreichend oft empirisch bestätigt wurden (verifikationistische Einstellung der „vorherrschenden" empirischen „Normalwissenschaft") oder hinreichend oft empirische Widerlegungsversuche überstanden haben (Falsifikationismus des kritischen Rationalismus oder Realismus). Hinsichtlich der Frage, welche notwendigen und hinreichenden Bedingungen erfüllt sein müssen, damit eine Aussage als nomische Hypothese klassifiziert werden kann, hat sich innerhalb der wissenschaftstheoretischen Debatte bislang keine dominante Auffassung herausgebildet.[2)] Innerhalb der Wissenschaftstheorie gehört das

---

1) Vgl. ALBERT (1998), S. 112 u. 172 ff.; ZELEWSKI (1999), S. 53 ff.

2) Vgl. zu nomischen Hypothesen HEMPEL (1977), S. 7 ff.; POPPER (1984), S. 199 ff., 223 und 364; SCHANZ (1990), 36 ff.; ZELEWSKI (1993), S. 20 f.; BARTELBORTH (1996), S. 303 ff.; ALBERT (1998), S. 172 ff.; RAPPAPORT (1998), S. 108 ff.; ZELEWSKI (1999), S. 53 f.; HANDS (2001), S. 83 ff.; OPP (2002), S. 138 f.; POPPER (2005), S. 36 ff., 39 ff., 199 u. 233 ff.; ALPARSLAN (2006), S. 5 u. 93 f.; PETERS (2008), S. 125 f.

Auffinden solcher Kriterien zu den schwierigsten und bislang noch nicht gelösten Problemen. Daher wäre vermessen, in diesem Beitrag eine abschließende Antwort auf diese zentrale Frage geben zu wollen. Stattdessen wird eine Arbeitsdefinition gewählt, die das intuitive, prä-theoretische Verständnis für eine gesetzesartige Aussage widerspiegelt: Eine nomische Hypothese (NH) wird demnach als ein nicht-tautologisches allquantifiziertes Subjugat verstanden und formalsprachlich repräsentiert als:

$$NH :\Leftrightarrow \forall(x): ANT(x) \rightarrow KON(x) \tag{141}$$

Eine nomische Hypothese setzt sich also aus einer Antezedenzkomponente ANT(x) und einer Konklusionskomponente KON(x) zusammen und wird natürlichsprachlich mit „Wenn ..., dann ...“ umschrieben. Durch den Ausschluss tautologischer Subjugate wird der Geltungsbereich auf realwissenschaftliche Phänomene eingeschränkt, hinsichtlich derer mindestens eine empirisch überprüfbare und nicht bereits logisch oder mathematisch gültige gesetzesartige Aussage (Tautologie) behauptet wird. Außerdem wird durch die Allquantifizierung ein allgemeingültiger Zusammenhang zwischen der Antezedenz- und der Konklusionskomponente behauptet.

Prima facie lassen sich in der konventionell formulierten Miniaturtheorie „ADL-Modell“ keine nomischen Hypothesen identifizieren. Denn keine ihrer Formeln weist die charakteristische Form eines nicht-tautologischen allquantifizierten Subjugats auf. Selbst dann, wenn von dieser „formalen“ Charakterisierung gesetzesartiger Aussagen abgesehen wird, bietet die Miniaturtheorie „ADL-Modell“ keinen Anhaltspunkt, um zu entscheiden, welche ihrer Aussagen (Formeln) die Qualität einer nomischen Hypothese besitzen könnte. Darüber hinaus ist es symptomatisch, dass sich ALLES, DATAR und LAMBERT in ihrem gesamten Aufsatz an keiner Stelle dazu äußern, welche Komponente ihrer Theorieformulierung die epistemische Qualität einer nomischen Hypothese besitzt.

Die fehlende Identifikation mindestens einer nomischen Hypothese der Miniaturtheorie ist bemerkenswert, wenn – wie es im ADL-Modell der Fall ist – die Erklärung von tatsächlich beobachtbaren Produktions- und Vertragsverhältnissen intendiert wird.[1)] Denn eine solche Erklärung erfordert – z.B. nach Maßgabe des deduktiv-nomologischen HEMPEL/OPPENHEIM-Schemas[2)] und seiner Erweiterungen – mindestens eine nomische Hypothese. Da die Miniaturtheorie „ADL-Modell“ zumindest prima facie keine nomische Hypothese enthält, ist es im strengen, wissenschaftstheoretisch „legitimierten“ Verständnis nicht möglich, „saubere“ Erklärungen für beobachtbare Produktions- und Vertragsverhältnisse im Rahmen des ADL-Modells abzugeben. Damit kann die Miniaturtheorie „ADL-Modell“ dem Erklärungspostulat, das von ALLES, DATAR und LAMBERT prononciert vorgetragen wird, gar nicht gerecht werden. Dies gilt zumindest so weit, wie wissenschaftstheoretisch „saubere“ Erklärungen vorausgesetzt werden und es nicht gelingt, mindestens eine nomische Hypothese in der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ nachträglich zu identifizieren.

Der fehlende Ausweis mindestens einer nomischen Hypothese innerhalb der formalsprachlichen Theorieformulierung stellt keine zufällige Besonderheit der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ im Speziellen oder der Prinzipal-Agent-Theorie im Allgemeinen dar. Er ist noch nicht einmal auf öko-

---

1) Es ist nicht unumstritten, ob mit den Modellen der Prinzipal-Agent-Theorie ein Erklärungsziel verknüpft wird. Allerdings wird von zahlreichen Protagonisten der Prinzipal-Agent-Theorie die Ansicht vertreten, dass mit den Modellen der Prinzipal-Agent-Theorie – insbesondere im Rahmen der sogenannten „normativen“ Prinzipal-Agent-Theorie – tatsächlich eine Erklärung beobachtbarer Vertragsverhältnisse intendiert wird; vgl. z.B. ARROW (1985), S. 38; REES (1985a), S. 3; TERBERGER (1994), S. 100 f. Einen solchen Anspruch haben ALLES, DATAR und LAMBERT in ihrem Erklärungspostulat explizit vertreten. Vgl. dazu die einleitenden Erläuterungen in diesem Beitrag sowie insbesondere ALLES/DATAR/LAMBERT (1995), S. 194 f. u. 197.

2) Vgl. HEMPEL (1977), S. 8 ff.

nomische Theorien beschränkt. Vielmehr erweist er sich für alle Theorien als symptomatisch, die im Rahmen des konventionellen Theorienkonzepts des Received View oder Statement View formuliert sind. Denn diese Theorien weisen nur die o.a. Minimalstruktur auf, die es allenfalls gestattet, zwischen den Axiomen und den Theoremen einer Theorie zu unterscheiden. Die Axiome, die für die Identifizierung nomischer Hypothesen primär in Betracht kommen, werden hierbei unterschiedslos aneinandergereiht und implizit auf konjunktive Weise miteinander verknüpft. Es fehlt aber an jeglicher zusätzlicher Theoriestruktur (Strukturierungsdefekt), die es gestatten würde zu erkennen, ob ein Axiom die epistemische Qualität einer nomischen Hypothese besitzt – oder ob es z.B. „nur" zur Konstitution des terminologischen Apparats der Theorie oder zur Eingrenzung ihres intendierten Anwendungsbereichs dient. Aufgrund dieses grundsätzlichen Strukturierungsdefekts ist es im Rahmen des konventionellen Theorienkonzepts unmöglich, anhand der formalsprachlichen Theorieformulierung die epistemische Qualität der Axiome festzustellen, sofern nur theorieendogen argumentiert wird und keine zusätzlichen, vor allem natürlichsprachlichen Interpretationen von außen „ergänzt" werden.

Aus wissenschaftstheoretischer Perspektive erscheint es bemerkenswert, dass eine offensichtliche Diskrepanz zwischen zwei Phänomenen besteht. Auf der einen Seite wird weithin die Überzeugung geteilt, dass Theorien u.a. eine wichtige Erklärungsaufgabe erfüllen und dass die Struktur wissenschaftlich „sauberer" Erklärungen zumindest im Prinzip dem deduktiv-nomologischen Erklärungsschema nach HEMPEL/OPPENHEIM entsprechen sollte. Auch ALLES, DATAR und LAMBERT bekennen sich ausdrücklich zur Erklärungsfunktion ihrer Miniaturtheorie und ziehen auch an keiner Stelle die prinzipielle Angemessenheit des deduktiv-nomologischen Erklärungsschemas in Zweifel. Auf der anderen Seite erfüllen nahezu alle Theorien, die im Rahmen des konventionellen Theorienkonzepts des Received View oder Statement View formuliert sind, noch nicht einmal eine elementare Anforderung, die eine „Bedingung der Möglichkeit" von deduktiv-nomologischen Erklärungen darstellt. Es handelt sich um die Anforderung, dass eine Theorie mindestens eine nomische Hypothese umfassen und auch als solche explizit ausweisen muss, um theoriegestützte Erklärungen auf der Basis des deduktiv-nomologischen Erklärungsschemas zu ermöglichen. Es herrscht also eine tiefgreifende Diskrepanz zwischen „theoretischen" Grundüberzeugungen hinsichtlich der Aufgabe von Theorien und der Art von anzustrebenden Erklärungen auf der einen Seite sowie der „praktischen" Formulierung und Anwendung von Theorien auf der anderen Seite.

Diese Diskrepanzfeststellung könnte das Urteil nahe legen, dass Theorien – zumindest im hier betrachteten betriebswirtschaftlichen, insbesondere produktionswirtschaftlichen Bereich – in „oberflächlicher" Weise formuliert werden, ohne elementare Anforderungen der Wissenschaftstheorie an „wohlstrukturierte" Theorien und darauf aufbauende „saubere" Erklärungen zu reflektieren. Konstruktiv gewendet, verdeutlicht diese Diskrepanzfeststellung aber auch, dass es dringend erforderlich ist, Theorien mit einer reichhaltigeren Struktur zu versehen (Strukturierungsdesiderat), die es gestattet, die epistemische Qualität ihrer Komponenten – vor allem ihrer Axiome – bereits anhand der Theoriestruktur zu identifizieren.

Am Rande sei erwähnt, dass die voranstehende Argumentation, die sich vordergründig nur auf die nomische(n) Hypothese(n) einer Theorie bezogen hat, auf andere Theoriekomponenten ausgeweitet werden kann. Dazu gehört vor allem der intendierte Anwendungsbereich einer Theorie. Er wird in konventionell formulierten Theorien nahezu immer vernachlässigt. Insbesondere fehlt es wiederum an Strukturmerkmalen einer Theorie, die es gestatten würden, Formeln – primär sind wiederum die Axiome einer Theorie gemeint – zu identifizieren, die zur Einschränkung des intendierten Anwendungsbereichs einer Theorie dienen.

Dies trifft auch auf die Miniaturtheorie „ADL-Modell" zu. Es bleibt auf der Ebene der formalsprachlichen Theoriestruktur vollkommen im Dunkeln, welche der Formeln der Miniaturtheorie den

Zweck erfüllen, ihren intendierten Anwendungsbereich zu spezifizieren. Dies kann erst durch „verständige“ natürlichsprachliche Interpretationen der Theoriestruktur geschehen, z.B. im Hinblick auf die Gestalt von Zahlungs- und Produktionsfunktionen sowie im Hinblick auf Charakteristika der Störgröße ε sowie auf die Höhe des Reservationsnutzens des Agenten. Die formalsprachliche Struktur der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ bietet keine Anhaltspunkte, um die vorgenannten Aspekte als Einschränkungen des intendierten Anwendungsbereichs dieser Miniaturtheorie zu erkennen.

3.2.2 Heilung des Strukturierungsdefekts aus der Perspektive des strukturalistischen Theorienkonzepts

3.2.2.1 Einführung in das strukturalistische Theorienkonzept

Das *strukturalistische Theorienkonzept* – oder synonym: der *„non statement view“* – geht auf Arbeiten von SNEED zur Struktur physikalischer Theorien zurück.[1)] Es wurde vor allem von STEGMÜLLER, BALZER und MOULINES inhaltlich fortentwickelt.[2)] Darüber hinaus hat das strukturalistische Theorienkonzept aber auch eine intensive Rezeption in der wissenschaftstheoretisch ausgerichteten Fachliteratur erfahren.[3)]

In der hier gebotenen Kürze kann die inhaltliche Fülle des strukturalistischen Theorienkonzepts noch nicht einmal ansatzweise entfaltet werden. Stattdessen beschränken sich die anschließenden Erläuterungen auf eine grobe Skizze der typischen Struktur einer Theorie, welche die Gestaltungsvorgaben des strukturalistischen Theorienkonzepts befolgt.[4)] Auf Eigentümlichkeiten dieses Theorienkonzepts wird nur in dem Ausmaß eingegangen, wie es zur späteren Rekonstruktion des ADL-Modells aus strukturalistischer Perspektive zweckdienlich erscheint.

---

1) Die Basisarbeit SNEED (1979) erschien in ihrer ersten Auflage im Jahr 1971. Sie bildet das historisch prägende Fundament des strukturalistischen Theorienkonzepts. Die wesentlichen Theorieformulierungen finden sich dort auf S. 165 ff. u. 259 ff., insbesondere S. 171 u. 183 f. Vgl. des Weiteren SNEED (1976), S. 121 ff.; SNEED (1983), S. 345 (ff.) u. 350 ff.

2) Vgl. STEGMÜLLER (1973), S. 12 ff. u. 120 ff., insbesondere S. 135 ff.; STEGMÜLLER (1975), S. 75 ff.; MOULINES (1979), S. 417 ff.; STEGMÜLLER (1980), insbesondere S. 32 ff., 56 ff. u. 137 ff.; BALZER/SNEED (1983), S. 117 ff.; STEGMÜLLER (1986), S. 2 ff., 46 ff., 98 ff. u. 320 ff.; BALZER (1986), S. 72 ff.; BALZER/MOULINES/SNEED (1987), S. XX ff. u. 15 ff., insbesondere S. 36 ff. u. 79 ff.; BALZER/SNEED (1995), S. 195 ff.; BALZER/MOULINES (2000), S. 5 ff.; MOULINES (2002), S. 2 ff.; BALZER (2002), S. 53 ff.

3) Vgl. beispielsweise KUHN (1976), S. 179 ff.; FEYERABEND (1977), S. 351 ff.; DIEDERICH (1981), S. 12 ff., insbesondere S. 51 ff.; SCHURZ (1983), S. 48 ff. u. 356 ff.; KIRSCH (1984), S. 1072 ff.; PEARCE (1987), S. 19 ff.; STACHOWIAK (1987), S. 93 ff.; DIEDERICH (1989), S. 363 ff.; BREINLINGER-O´REILLY (1991), S. 90 f. u. 147 ff.; ZOGLAUER (1993), S. 29 ff., insbesondere S. 46 ff. u. 80 ff.; TROITZSCH (1994), S. 161 ff.; BARTELBORTH (1996), S. 43 f., 270 ff. u. 371 ff.; HAASE (1996), S. 221 ff.; NIEBERGALL (2002), S. 135 ff.; ALPARSLAN (2006), S. 8 u. 109 ff.; HAASE (2008), S. 922 f.
Vgl. auch die Darstellungen des strukturalistischen Theorienkonzepts durch den Verfasser aus vornehmlich betriebswirtschaftlicher Perspektive z.B. in ZELEWSKI (1992), S. 75 ff.; ZELEWSKI (1993), S. 94 ff., 225 ff. u. 360 ff.; ZELEWSKI (1994), S. 899 ff.; ZELEWSKI (1996), Sp. 1595 ff.; ZELEWSKI (1997), S. 344 ff.; ZELEWSKI (1999), S. 44 ff.; ZELEWSKI (2003), S. 1 ff.; ZELEWSKI (2004), S. 4, 10 ff. u. 16 ff.; ZELEWSKI (2006), S. 221 ff. u. 228 ff.; ZELEWSKI (2007), S. 452 ff. (an diese letztgenannte Publikation lehnt sich die Darstellung des strukturalistischen Theorienkonzepts im hier vorgelegten Beitrag an). Vgl. darüber hinaus zu Rekonstruktionen ökonomischer Theorien aus der Perspektive des Non Statement View beispielsweise HAMMINGA/BALZER (1986); DE LA SIENRA/REYES (2000); HANDS (2001), S. 345 ff.; ZELEWSKI (2004); ALPARSLAN (2006), S. 157 ff.

4) Die Darstellung des strukturalistischen Theorienkonzepts, die in diesem Beitrag entfaltet wird, orientiert sich vornehmlich an den Ausführungen von STEGMÜLLER (1980), S. 32 ff., 56 ff. u. 137 ff. Vgl. ebenso die Rezeption dieser Standardvariante des strukturalistischen Theorienkonzepts bei BREINLINGER-O´REILLY (1991), S. 220 ff.

Das strukturalistische Theorienkonzept hebt sich vom konventionellen Theorienkonzept – dem bereits angeführten Received View oder Statement View – dadurch ab, dass es realwissenschaftliche Theorien nicht mehr als deduktiv geschlossene Aussagensysteme mit mindestens einer nicht-trivialen nomischen Hypothese auffasst. Stattdessen schreibt der „non statement view" eine weitaus *reichhaltigere Strukturierung* für „wohlgeformte" Theorien vor. Daher rührt die Bezeichnung *strukturalistisches* Theorienkonzept. Darüber hinaus betrachtet das strukturalistische Theorienkonzept eine Theorie grundsätzlich *nicht* als ein System aus *Aussagen* als kleinsten wahrheitsfähigen und somit überprüf- und kritisierbaren Theoriekonstituenten. Im Vordergrund der strukturalistischen Theorieformulierung steht vielmehr eine formale *Struktur*, die den inneren Theoriezusammenhang prägt. Je nachdem, welche Formalisierungspräferenzen gehegt werden, wird diese Struktur in der Regel entweder primär mit Ausdrucksmitteln der informellen Mengentheorie oder aber vorrangig mit Ausdrucksmitteln der formalen Logik, insbesondere der Prädikatenlogik ausgefüllt. Im vorgelegten Beitrag wird von einer Variante der Prädikatenlogik, der sogenannten sortierten Prädikatenlogik 1. Stufe, ausgegangen. Die allgemeine Struktur für wohlgeformte Theorien gilt aber unabhängig von den Formalisierungspräferenzen auf der Ebene der formalsprachlichen Ausdrucksweise.

Eine wohlgeformte Theorie T wird zunächst auf der obersten Ebene durch das Tupel $\mathrm{T} = <\mathrm{K_T},\mathrm{I_T}>$ in ihren Theoriekern K_T und ihren intendierten Anwendungsbereich I_T horizontal gegliedert. Auf der zweiten Ebene, die der ersten Ebene hierarchisch untergeordnet ist, wird der Theoriekern K_T in das Tupel $\mathrm{K_T} = <\mathrm{M_{p(T)}},\mathrm{M_{pp(T)}},\mathrm{M_{S(T)}},\mathrm{C_{S(T)}}>$ ausdifferenziert.

Der Theoriekern K_T umfasst vier charakteristische Mengen, die auf dem sogenannten semantischen Modellbegriff aufbauen:

- die Menge $M_{p(T)}$ der potenziellen Modelle der Theorie T,
- die Menge $M_{pp(T)}$ der partiellen potenziellen Modelle der Theorie T,
- die Menge $M_{S(T)}$ der Modelle der Theorie T und
- die Menge $C_{S(T)}$ der Restriktionen der Theorie T.

Ein potenzielles Modell $m_{p(T)}$ der Theorie T ist ein Terminus technicus der formalen Semantik, der in *keiner* Verwandtschaft mit dem betriebswirtschaftlichen Modellbegriff steht. Vielmehr handelt es sich um ein formalsprachliches Konstrukt, das mithilfe des terminologischen Apparats dieser Theorie formuliert worden ist. Die Menge $M_{p(T)}$ der potenziellen Modelle umfasst alle Formelsysteme, die ausschließlich mittels der formalen Sprache der Theorie T formuliert werden können. Daher lässt sich die potenzielle Modellmenge $M_{p(T)}$ als eine formalsprachliche Spezifikation des terminologischen Apparats der Theorie T – oder kurz als terminologische Basis dieser Theorie – auffassen. Diese Spezifikation umfasst zumindest die Festlegung aller Ausdrücke (wie etwa Terme, Funktionen und Prädikate), aus denen zulässige Formeln gebildet werden können. Darüber hinaus kann die Spezifikation auch noch zusätzliche Festlegungen umfassen, mittels derer sich die kombinatorisch möglichen Formeln auf sprachlich „sinnvolle" Formeln einschränken lassen. Im Rahmen des strukturalistischen Theorienkonzepts werden solche Einschränkungen der potenziellen Modellmenge $M_{p(T)}$ als Rahmenbedingungen („framework conditions") thematisiert. Sie ähneln den Integritätsregeln, die in anderen Wissenschaftsbereichen – wie etwa bei der Konstruktion von „Ontologien" – aufgestellt werden, um Formelsysteme auf sprachlich „sinnvolle" Formeln zu begrenzen und hierdurch die „Integrität" der Formelsysteme zu wahren.

Die Menge $M_{pp(T)}$ der partiellen potenziellen Modelle $m_{pp(T)}$ der Theorie T rückt die T-theoretischen Konstrukte als einen zentralen epistemischen Aspekt des strukturalistischen Theorienkonzepts in den Vordergrund. In der hier gebotenen Kürze kann auf die herausragende Bedeutung, aber auch die inhärente Problematik dieser T-theoretischen Konstrukte nicht näher eingegangen werden.[1] Daher müssen einige kurze Anmerkungen ausreichen. Ein formalsprachliches Konstrukt verhält sich T-theoretisch in Bezug auf eine realwissenschaftliche Theorie *T*, falls sich seine konkreten Ausprägungen *nur* dann *messen* lassen, wenn vorausgesetzt wird, dass mindestens eine intendierte Anwendung dieser Theorie *T* existiert, in der alle gesetzesartigen Aussagen dieser Theorie erfüllt sind. Etwas vereinfacht ausgedrückt, zeichnen sich die T-theoretischen Konstrukte einer Theorie *T* dadurch aus, die empirische Geltung aller gesetzesartigen Aussagen dieser Theorie implizit vorauszusetzen. Sofern eine Theorie *T* mindestens ein solches T-theoretisches Konstrukt enthält, unterliegt sie einem gravierenden Überprüfungsdefekt: Der empirische Geltungsanspruch der Theorie *T* lässt sich nicht überprüfen, ohne sich entweder in einem „circulus vitiosus“ oder aber in einem infiniten Regress zu verfangen, weil jeder Überprüfungsversuch implizit die empirische Geltung mindestens einer Anwendung der Theorie voraussetzt. Dieser Überprüfungsdefekt bedeutet eine „Bankrotterklärung“ des konventionellen Theorienverständnisses, *sofern* es den Anspruch auf empirische Überprüfbarkeit – *und Falsifizierbarkeit* – der Geltungsansprüche realwissenschaftlicher Theorien erhebt. Dieser empirische Überprüfbarkeits- und Falsifizierbarkeitsanspruch wird zumindest für alle realwissenschaftlichen Theorien vertreten, die sich dem derzeit dominierenden Empirischen Paradigma zuordnen lassen, das wesentlich vom Kritischen Rationalismus (Realismus) POPPERS geprägt wurde. Das trifft insbesondere auch auf betriebswirtschaftliche Theorien zu, für die in der Regel proklamiert wird, empirisch überprüfbare realwissenschaftliche Theorien darzustellen und die methodologischen Maximen des Kritischen Rationalismus zu befolgen. Daher bedroht das strukturalistische Theorienkonzept mit seiner gravierenden Vorhaltung eines *prinzipiellen* Überprüfungsdefekts massiv das Selbstverständnis konventioneller betriebswirtschaftlicher Theoriebildung.

Die T-theoretischen Konstrukte einer Theorie *T* lassen sich mithilfe der sogenannten RAMSEY-Technik[2] aus den potenziellen Modellen $m_{p(T)}$ einer Theorie *T* eliminieren, ohne den empirischen Gehalt dieser Modelle zu verändern. Danach liegen empirisch äquivalente, jedoch *partielle* potenzielle Modelle $m_{pp(T)}$ der Theorie *T* vor, die keine T-theoretischen Konstrukte umfassen. Für die Menge $M_{pp(T)}$ aller partiellen potenziellen Modelle der Theorie *T* gilt $\mathrm{M}_{\mathrm{pp(T)}} = \mathrm{ram}(\mathrm{M}_{\mathrm{p(T)}})$ mit *ram* als Operator für die Anwendung der RAMSEY-Eliminierung T-theoretischer Konstrukte. Allerdings ist es bislang noch nicht gelungen, mit überzeugenden Argumenten T-theoretische Konstrukte in den strukturalistischen Rekonstruktionen betriebswirtschaftlicher Theorien zu identifizieren.[3] Für typische Kandidaten, wie etwa „Nutzen“ und „Nutzenfunktionen“ in ökonomischen Optimierungskalkülen, wird deren T-Theoretizität zwar mehrfach behauptet,[4] aber nicht strikt bewiesen. Daher wird auf die Besonderheit von T-theoretischen Konstrukten im Folgenden nicht näher eingegangen.

Ein formalsprachliches Konstrukt, d.h. hier ein Formelsystem, wird als ein Modell $m_{S(T)}$ der Theorie *T* bezeichnet, wenn es dieselbe formale Struktur *S(T)* wie diese Theorie besitzt. Ein Modell der Theorie *T* läst sich daher als eine „Instanziierung“ dieser Theorie auffassen, die exakt die formale

---

1) Vgl. stattdessen zur ausführlichen Diskussion der Problematik T-theoretischer Konstrukte GÄHDE (1990), S. 215 ff.; ZOGLAUER (1993), S. 29 ff., 40 ff., 156 ff. u. 163 ff.; ZELEWSKI (1993), S. 96 f., 112 ff., 118 ff., 215 ff., 262 ff., 310 ff. u. 368; BALZER (1996), S. 140 ff.

2) Vgl. z.B. RAMSEY (1965), S. 212 ff.; HEMPEL (1966), S. 215 ff. u. 220 ff.; STEGMÜLLER (1973), S. 66 ff., insbesondere S. 96 ff.; WATKINS (1992), S. 41 ff.; ZELEWSKI (1993), S. 118 ff. u. 136 ff.; ALPARSLAN (2006), S. 202 ff.

3) Vgl. ZELEWSKI (1993), S. 115 f. u. 269 ff. in Verbindung mit den zugehörigen Endnoten auf S. 283 ff.; ALPARSLAN (2006), S. 205 f.

4) Vgl. z.B. HÄNDLER (1982), S. 51 u. 53; KÖTTER (1982), S. 109; KÖTTER (1983), S. 337; SCHURZ (1990), S. 192.

Struktur *S(T)* dieser Theorie aufweist. Die formale Struktur *S(T)* einer Theorie *T* wird ihrerseits durch zwei Komponenten definiert: einerseits ihren terminologischen Apparat und andererseits ihre nomischen Hypothesen (gesetzesartigen Aussagen). Folglich liegt ein Modell der Theorie *T* genau dann vor, wenn es ausschließlich den terminologischen Apparat dieser Theorie benutzt *und* zugleich alle ihre gesetzesartigen Aussagen erfüllt. Ein Modell der Theorie *T* geht daher aus einem ihrer potenziellen Modelle durch Erfüllung aller ihrer nomischen Hypothesen hervor. Folglich muss die Menge $M_{S(T)}$ aller Modelle der Theorie *T* stets eine Teilmenge der Menge $M_{p(T)}$ aller potenziellen Modelle derselben Theorie darstellen: $\mathrm{M}_{\mathrm{S(T)}} \subseteq \mathrm{M}_{\mathrm{p(T)}}$.

Schließlich stellt die Restriktionenmenge $C_{S(T)}$ eine Besonderheit des strukturalistischen Theorienkonzepts dar, die erst bei komplexen Theorieanwendungen Bedeutung erlangt. Sie ist in konventionellen Theorieformulierungen des Received View oder Statement View unbekannt und besitzt keinen Bezug zu den äquivoken „Restriktionen" aus entscheidungstheoretischen Modellierungen. Stattdessen handelt es sich bei den strukturalistischen Restriktionen um Anforderungen sui generis, die von *mehreren* potenziellen Modellen derselben Theorie *gemeinsam* erfüllt werden müssen. Daher gilt für die Restriktionenmenge mithilfe des Potenzmengenoperators pot_{+} (der die leere Menge ausschließt) stets: $\mathrm{C}_{\mathrm{S(T)}} \subseteq \mathrm{pot}_{+}(\mathrm{M}_{\mathrm{p(T)}})$. Die strukturalistischen Restriktionen besitzen die Qualität von Kohärenzbedingungen, die *zwischen mehreren* Anwendungen derselben Theorie *T* gelten. Damit gehen diese Restriktionen in epistemologischer Hinsicht über die „normalen" nomischen Hypothesen hinaus, die nur *innerhalb eines* Modells der Theorie T erfüllt sein müssen. Beispielsweise[1)] spielen strukturalistische Restriktionen eine Rolle, wenn dieselbe produktionswirtschaftliche Theorie auf unterschiedliche Stufen eines mehrstufigen Produktionssystems angewendet wird. Es liegen dann mehrere Theorieanwendungen vor, die durch Mengenkontinuitätsbedingungen als Restriktionen strukturalistischer Art miteinander verknüpft werden. Ebenso kommen mehrere Anwendungen derselben Theorie ins Spiel, wenn ein dynamisches Produktionssystem durch diese Theorie erklärt oder gestaltet wird und jede Periode des betroffenen Produktionssystems eine eigenständige Theorieanwendung darstellt. In diesem Fall muss der intertemporale Periodenzusammenhang durch Lagerbedingungen gewährleistet werden, die in der Form von strukturalistischen Restriktionen auszudrücken sind.

Nach der Ausdifferenzierung des Theoriekerns K_T ist der intendierte Anwendungsbereich I_T der Theorie *T* festzulegen. Die explizite, weitgehend formalsprachliche Spezifikation des intendierten Anwendungsbereichs einer Theorie stellt ein Charakteristikum des strukturalistischen Theorienkonzepts dar. Dagegen wird dieser Aspekt bei konventionell formulierten Theorien oftmals vernachlässigt, allenfalls am Rande mit einigen natürlichsprachlichen Umschreibungen abgehandelt. Im strukturalistischen Theorienkonzept lässt sich der intendierte Anwendungsbereich einer Theorie auf zwei Weisen spezifizieren. Einerseits kann dies durch spezielle Interpretations- und Randbedingungen geschehen, die von den intendierten Theorieanwendungen erfüllt werden müssen. Andererseits kommt auch die Verwendung sogenannter „paradigmatischer" Anwendungsbeispiele in Betracht. Sie wirken als eine Art Kristallisationskeim, als dessen – zunächst offene und bei Bedarf erweiterte – Obermenge der intendierte Anwendungsbereich „festgelegt" wird.

Interpretationsbedingungen spielen für die strukturalistische Rekonstruktion betriebswirtschaftlicher Theorien vor allem dann eine bedeutsame Rolle, wenn sich der intendierte Anwendungsbereich einer Theorie durch die Zuordnung konkreter Funktionsvorschriften zu Funktionssymbolen als de-

---

1) Vgl. zu weiteren Beispielen für strukturalistische Restriktionen KUOKKANEN (1993), S. 20 f., 29 ff., 41 ff. u. 48 ff.; ZELEWSKI (1993), S. 320 f. u. 322 ff.; ALPARSLAN (2006), S. 206 ff. (speziell im Kontext der Prinzipal-Agent-Theorie).

ren „formale Semantik“ einschränken lässt. Dies ist z.B. bei der Prinzipal-Agenten-Theorie der Fall, in der sich die intendierten Anwendungsbereiche verschiedener Theorievarianten durch Variation der Funktionsvorschriften für die Risikonutzenfunktionen von Prinzipal und Agent sowie für die Entgeltung des Agenten durch den Prinzipal unterscheiden lassen. Des Weiteren sind Interpretationsbedingungen wichtig, um Termen aus dem terminologischen Apparat einer Theorie mittels Korrespondenzregeln diejenigen Objekte als „denotationale Semantik“ zuzuordnen, auf die sich die Aussagen einer Theorie im adressierten Realitätsausschnitt beziehen. Mittels solcher Terminterpretationen lässt sich die „Ontologie“ einer Theorie spezifizieren. Beispielsweise kann auf diese Weise festgelegt werden, dass Terme im Fall der Prinzipal-Agenten-Theorie durch Entscheidungen eines Prinzipals oder eines Agenten über Bestandteile der Zahlungsfunktionen bzw. über das Anstrengungsniveau zu interpretieren sind, während im Fall der Aktivitätstheorie Terme für die Einsatz- oder Ausbringungsmengen von Gütern stehen können.

Randbedingungen unterscheiden sich von Interpretationsbedingungen dadurch, dass sie nicht formalsprachliche Konstrukte einer Theorie in Bezug auf den adressierten Realitätsausschnitt interpretieren, sondern mithilfe von beliebig komplexen Formeln zusätzliche Bedingungen auszudrücken gestatten, die von den intendierten Anwendungen einer Theorie erfüllt sein müssen. Dies können z.B. bei einer Produktionstheorie vom GUTENBERG-Typ Randbedingungen sein, die formalsprachlich präzise festlegen, dass sich die Theorie ausschließlich auf Produktionen mit limitationalen Faktoreinsatzverhältnissen erstreckt.

Schließlich lassen sich paradigmatische Anwendungsbeispiele verwenden, um komplexere Sachverhalte zu spezifizieren, die für eine Theorie „typisch“ sein sollen, aber nicht oder nur sehr schwerfällig durch einzelne Interpretations- oder Randbedingungen ausgedrückt werden können. Dazu gehört z.B. die formalsprachliche Spezifikation eines mehrstufigen Mehrgüter-Produktionssystems, das den intendierten Anwendungsbereich einer Produktionstheorie auf exemplarische, aber „paradigmatische“ Weise verdeutlicht.

Auf die besonderen Vorgehensweisen, die sich im strukturalistischen Theorienkonzept zur Spezifizierung des intendierten Anwendungsbereichs einer Theorie nutzen lassen, braucht hier nicht näher eingegangen zu werden, weil die formalsprachlichen Details von Theorie zu Theorie variieren können. Für die allgemeine strukturalistische Theorieformulierung reicht es aus zu bestimmen, in welchem charakteristischen Zusammenhang der intendierte Anwendungsbereich I_T einer Theorie *T* mit ihrem Theoriekern K_T steht. Die Brücke zum Theoriekern K_T bilden die denkmöglichen Anwendungen der Theorie *T*. Eine denkmögliche Anwendung d_T der Theorie *T* ist stets mithilfe des terminologischen Apparats der Theorie *T,* also mit formalsprachlichen Konstrukten aus ihrer potenziellen Modellmenge $M_{p(T)}$ formuliert. Zwecks komplikationsfreier empirischer Überprüfung der Theorie *T* müssen jedoch noch die T-theoretischen Konstrukte eliminiert werden (sofern sie überhaupt existieren). Daher darf eine denkmögliche Anwendung der Theorie *T* nur mithilfe ihrer partiellen potenziellen Modelle aus der Menge $M_{pp(T)}$ formuliert sein. Darüber hinaus stellt eine denkmögliche Theorieanwendung im Allgemeinen eine nicht-leere *Menge* von partiellen potenziellen Modellen $m_{pp(T)}$ dar, d.h., sie kann sich über mehrere partielle potenzielle Modelle der Theorie *T* erstrecken. Dies ist z.B. in einem mehrstufigen Produktionssystem der Fall, in dem jede einzelne Produktionsstufe durch ein partielles potenzielles Modell der Theorie T beschrieben wird. Die Menge D_T aller denkmöglichen Theorieanwendungen ist somit die Potenzklasse der Menge $M_{pp(T)}$ aller partiellen potenziellen Theoriemodelle (ohne die leere Menge): $\mathrm{D_T} = \mathrm{pot_+(M_{pp(T)})}$.

Da die intendierten Anwendungen i_T der Theorie *T* aus der Menge D_T aller denkmöglichen Theorieanwendungen stammen müssen, gelten $\mathrm{I_T} \subseteq \mathrm{D_T}$ und $\mathrm{I_T} \subseteq \mathrm{pot_+(M_{pp(T)})}$ für jede Menge I_T von intendierten Anwendungen der Theorie *T*. Die Anforderung $\mathrm{I_T} \subseteq \mathrm{pot_+(M_{pp(T)})}$ an jeden intendierten Anwendungsbereich I_T, der sich mit dem Kern K_T einer strukturalistisch wohlgeformten Theorie *T* konsistent vereinbaren lässt, drückt – kurz gefasst – aus, dass jede intendierte Theorieanwendung eine nicht-leere Menge aus partiellen potenziellen Modellen der Theorie *T* darstellen muss. Dies bedeutet, dass eine intendierte Theorieanwendung einerseits mithilfe des terminologischen Apparats der Theorie *T* formuliert sein muss und andererseits keine T-theoretischen Konstrukte enthalten darf.

Durch die Anforderung $I_T \subseteq pot_+(M_{pp(T)})$ an jeden intendierten Anwendungsbereich I_T, der sich mit dem Kern K_T einer strukturalistisch wohlgeformten Theorie *T* konsistent vereinbaren lässt, wird der intendierte Anwendungsbereich im strukturalistischen Theorienkonzept „nach oben" beschränkt. Eine zusätzliche „untere" Beschränkung des intendierten Anwendungsbereichs kann durch die Bezugnahme auf paradigmatische Beispiele erfolgen, die bereits kurz erwähnt wurden. Wenn $I_{T.p}$ die nicht-leere Menge der paradigmatischen Beispielanwendungen einer Theorie *T* ist, gilt für den intendierten Anwendungsbereich I_T der Theorie *T*: $I_T \supseteq I_{T.p} \supset \emptyset$.

Charakteristisch für das strukturalistische Theorienkonzept ist, dass die meisten seiner Vertreter auf eine formalsprachlich präzise Spezifizierung des intendierten Anwendungsbereichs I_T bewusst verzichten. Stattdessen lassen sie mit der Obermengenformulierung $I_T \supseteq I_{T.p}$ offen, wie weit der intendierte Anwendungsbereich I_T der Theorie *T* tatsächlich reicht. Der tiefere Grund für diesen – prima facie erstaunlichen – Formalisierungsverzicht liegt in der strukturalistischen These, es sei grundsätzlich unmöglich, die intendierten Anwendungen einer Theorie auf rein formalsprachliche Weise vollständig zu spezifizieren.1) Anhand dieser Unmöglichkeitsthese wird deutlich, dass das strukturalistische Theorienkonzept keine Formalisierung „um ihrer selbst willen" betreibt. Zwar werden Theorien aus der Perspektive des „non statement view" so weit wie möglich formalsprachlich rekonstruiert; aber es werden auch (meta-) theoretische Grenzen der Formalisierbarkeit von Theorien anerkannt. Die Einsicht in diese Formalisierbarkeitsgrenzen resultiert allerdings nicht aus einer diffusen Formalisierungsphobie, sondern aus strikten Argumentationen der analytischen Philosophie, insbesondere aus dem komplexen LÖWENHEIM/SKOLEM-Theorem2).

Mit der Menge I_T von intendierten Anwendungen einer Theorie *T* korrespondiert auf der Seite des Theoriekerns K_T die Menge aller zulässigen Anwendungen der Theorie *T*. Die Menge $Z_{S(T)}$ aller zulässigen Anwendungen z_T einer Theorie *T* mit der Struktur *S(T)* umfasst alle denkmöglichen Theorieanwendungen, die sowohl alle gesetzesartigen Aussagen dieser Theorie als auch alle ihre Restriktionen erfüllen. Einerseits besteht die Menge D_T der denkmöglichen Theorieanwendungen aus allen nicht-leeren Mengen *partieller potenzieller* Modelle der Theorie *T*. Dies wurde bereits oben durch die Bedingung $D_T = pot_+(M_{pp(T)})$ ausgedrückt. Andererseits beziehen sich die Modelle einer Theorie, in denen per definitionem alle gesetzesartigen Aussagen dieser Theorie erfüllt werden, und ihre Restriktionenmenge auf *potenzielle* Modelle der Theorie *T*. Darüber hinaus unterscheiden sich die Modelle einer Theorie und ihre Restriktionenmenge noch dadurch, dass jedes Modell der Theorie *T* ein *einzelnes* potenzielles Modell dieser Theorie darstellt (in dem alle gesetzesartigen Aussagen erfüllt werden), während es sich bei den strukturalistischen Restriktionen um Anforderungen handelt, die von *mehreren* potenziellen Modellen derselben Theorie *gemeinsam* erfüllt werden müssen. Dieser unterschiedliche Bezug von Modellen auf jeweils einzelne und von Restriktionen auf jeweils mehrere potenzielle Modelle wird im strukturalistischen Theorienkonzept durch die bereits eingeführten Bedingungen $M_{S(T)} \subseteq M_{p(T)}$ bzw. $C_{S(T)} \subseteq pot_+(M_{p(T)})$ ausgedrückt.

---

1) Vgl. BALZER (1982), S. 29; BALZER/MOULINES/SNEED (1987), S. 38 u. 87 f.

2) Vgl. QUINE (1969), S. 58 ff.; PUTNAM (1980), S. 464 ff.; STEGMÜLLER/VON KIBÉD (1984), S. 222 ff., 264 f., 267 f. u. 440 f.; QUINE (2003), S. 75 ff.

Zur Definition der zulässigen Anwendungen einer Theorie *T* verbleibt also die Aufgabe, eine zweifache formalsprachliche Diskrepanz zu überwinden. Erstens muss die Diskrepanz zwischen dem Bezug auf einzelne potenzielle Modelle bzw. nicht-leere Mengen aus mehreren potenziellen Modellen überbrückt werden. Dies geschieht im strukturalistischen Theorienkonzept dadurch, dass zulässige Theorieanwendungen von vornherein auf nicht-leere Mengen potenzieller Modelle bezogen werden, in denen zugleich alle gesetzesartigen Aussagen der Theorie als auch alle Elemente aus ihrer Restriktionenmenge erfüllt werden. Es werden also nur Elemente aus der charakteristischen Menge $\mathrm{pot}_{+}(\mathrm{M}_{\mathrm{S(T)}}) \cap \mathrm{C}_{\mathrm{S(T)}}$ als Kandidaten für zulässige Theorieanwendungen in Betracht gezogen. Zweitens gilt es die Lücke zu schließen, die noch zwischen den vorgenannten nicht-leeren Mengen potenzieller Modelle einerseits und den nicht-leeren Mengen partieller potenzieller Modelle für denkmögliche Theorieanwendungen andererseits besteht. Diese zweite Diskrepanz wird durch Anwendung der RAMSEY-Eliminierung auf alle T-theoretischen Konstrukte in den potenziellen Modellen der Theorie *T* überwunden. Daraus resultiert schließlich als Definition für die Menge $Z_{S(T)}$ aller zulässigen Anwendungen z_T einer Theorie *T*: $\mathrm{Z}_{\mathrm{S(T)}} = \mathrm{ram}(\mathrm{pot}_{+}(\mathrm{M}_{\mathrm{S(T)}}) \cap \mathrm{C}_{\mathrm{S(T)}})$.

Bislang wurde eine wohlgeformte strukturalistische Theorie auf zwei Ebenen spezifiziert: einerseits auf der ersten Ebene ihres Theoriekerns K_T durch die charakteristischen Komponenten $M_{p(T)}$, $M_{pp(T)}$, $M_{S(T)}$ und $C_{S(T)}$ sowie andererseits auf der zweiten Ebene ihres intendierten Anwendungsbereichs I_T. Auf der dritten und letzten Ebene, die den beiden vorgenannten Ebenen hierarchisch untergeordnet ist, werden der Theoriekern K_T und der intendierte Anwendungsbereich I_T in einer Weise zusammengeführt, die für das strukturalistische Theorienkonzept charakteristisch ist. Sie findet sich in keinem anderen Theorienkonzept in dieser besonderen Form. Die Zusammenführung von Theoriekern K_T und intendiertem Anwendungsbereich I_T geschieht mithilfe der Menge $Z_{S(T)}$ aller zulässigen Theorieanwendungen, die einerseits aus den Komponenten $M_{p(T)}$ und $C_{S(T)}$ des Theoriekerns abgeleitet wurde und andererseits – wie der intendierte Anwendungsbereich I_T – auf der RAMSEY-Eliminierung aller T-theoretischen Konstrukte beruht. Konkret erfolgt diese Zusammenführung durch die eine *empirische Gesamthypothese* der Theorie *T*. Die empirische Gesamthypothese jeder strukturalistisch formulierten Theorie *T* besteht aus der „schlichten" Behauptung: $\mathrm{I}_{\mathrm{T}} \subseteq \mathrm{Z}_{\mathrm{S(T)}}$. Sie drückt aus, dass jede intendierte Anwendung der Theorie *T* zugleich eine zulässige Anwendung dieser Theorie ist. Unter Rückgriff auf die oben eingeführte Definition $\mathrm{Z}_{\mathrm{S(T)}} = \mathrm{ram}(\mathrm{pot}_{+}(\mathrm{M}_{\mathrm{S(T)}}) \cap \mathrm{C}_{\mathrm{S(T)}})$ lässt sich die empirische Gesamthypothese auch in der folgenden, äquivalenten Weise darstellen, die aufgrund ihrer größeren Transparenz allgemein üblich ist:

$$\mathrm{I}_{\mathrm{T}} \subseteq \mathrm{ram}(\mathrm{pot}_{+}(\mathrm{M}_{\mathrm{S(T)}}) \cap \mathrm{C}_{\mathrm{S(T)}}) \qquad (142)$$

Anhand dieser äquivalenten Darstellungsweise lässt sich unmittelbar die „Essenz" der empirischen Gesamthypothese jeder strukturalistisch formulierten Theorie *T* erkennen: Jede intendierte Anwendung der Theorie *T* soll sowohl alle gesetzesartigen Aussagen als auch alle Restriktionen der Theorie erfüllen, nachdem alle T-theoretischen Konstrukte aus der (nicht-leeren Potenzmenge der) Modellmenge $M_{S(T)}$ und der Restriktionenmenge $C_{S(T)}$ eliminiert worden sind. Diese empirische Gesamthypothese gilt es dann durch Betrachtung von Elementen aus dem Bereich I_T intendierter Theorieanwendungen empirisch zu überprüfen.

Die empirische Gesamthypothese einer wohlgeformten, strukturalistisch formulierten Theorie erweist sich in mindestens dreifacher Hinsicht als einzigartig, und zwar im Vergleich zu alternativen Theorienkonzepten, insbesondere zum konventionellen Theorienkonzept des Received View oder Statement View. Die beiden ersten Aspekte besitzen eher „technischen", d.h. auf die „Technik" der Theoriekonstruktion bezogenen Charakter. Der dritte Aspekte spielt dagegen insbesondere für die empirische Überprüfung der Geltungsansprüche von Theorien eine bedeutsame Rolle.

Erstens nimmt nur diese empirische Gesamthypothese Bezug auf typische Konstrukte des strukturalistischen Theorienkonzepts. Dazu zählen insbesondere die Restriktionenmenge $C_{S(T)}$ und der Operator *ram* für die RAMSEY-Eliminierung T-theoretischer Konstrukte. Diese Einzigartigkeitsfacette erweist sich jedoch als trivial, weil es nicht überraschen wird, dass andere Theorienkonzepte auf diese Spezifika des strukturalistischen Theorienkonzepts nicht zurückgreifen.

Zweitens besitzt die empirische Gesamthypothese für jede Theorie *T* dieselbe formale Gestalt: Unabhängig davon, wie der terminologische Apparat, die gesetzesartigen Aussagen und die Restriktionen einer Theorie *T* im Einzelnen ausfallen, nimmt die empirische Gesamthypothese immer dieselbe Form $\mathrm{I_T} \subseteq \mathrm{ram}(\mathrm{pot}_+(\mathrm{M_{S(T)}}) \cap \mathrm{C_{S(T)}})$ an.

Drittens weist die empirische Gesamthypothese einen eigentümlichen *holistischen* Charakter auf. Denn für jede Theorie *T* existiert aus strukturalistischer Perspektive nur *genau eine* empirische Gesamthypothese, die sich auf die *gesamte* Theorie *T* erstreckt. Die empirische Bestätigung oder Widerlegung dieser empirischen Gesamthypothese schlägt somit sofort auf die betroffene Theorie *T* als *Ganzes* durch. Ihr Geltungsanspruch lässt sich daher grundsätzlich nicht in Teilen empirisch überprüfen. Dies kontrastiert auffällig mit alternativen Theorienkonzepten, die im Allgemeinen zulassen, für eine Theorie beliebig viele empirische Hypothesen aufzustellen, die jeweils isoliert voneinander empirisch überprüft werden können.

Beispielsweise lassen sich aktivitätsanalytische Theorien der Güterproduktion mit Berücksichtigung unterschiedlicher Präferenzen für „gewöhnliche" Güter (Sachgüter und Dienstleistungen, für die „je mehr, desto besser" zutrifft), für vermeidenswerte Güter (z.B. Schadstoffemissionen) und für neutrale Güter (z.B. Katalysatoren oder das irdische Gravitationsfeld) auf strukturalistische Weise so rekonstruieren, dass sie drei nomische Hypothesen umfassen: eine erste für die Annahme, dass allen empirisch beobachteten Produktionsverhältnissen rationale Entscheidungen von Produzenten zugrunde liegen (Rationalitätshypothese), eine zweite für die Verknüpfung zwischen Produzentenpräferenzen und Gütermengen (Präferenzhypothese) sowie eine dritte für die Annahme, dass rational entscheidende Produzenten immer nur effiziente Produktionsverhältnisse realisieren (Effizienzhypothese). Sollte nun bei einer empirischen Überprüfung des Geltungsanspruchs einer solchen aktivitätsanalytischen Theorie *T* eine „widersprechende" intendierte Theorieanwendung i_T beobachtet werden, so lässt sich aus strukturalistischer Sicht nur feststellen, dass sie kein Element aus der Modellmenge $M_{S(T)}$ dieser Theorie *T* ist (wenn vereinfachend von strukturalistischen Restriktionen in $C_{S(T)}$ abgesehen wird). Demzufolge kann nur eine Verletzung der empirischen Gesamthypothese wegen $\mathrm{I_T} \subsetneq \mathrm{ram}(\mathrm{pot}_+(\mathrm{M_{S(T)}}) \cap \mathrm{C_{S(T)}})$ konstatiert werden. Daraus lässt sich aber keine Folgerung ziehen, dass die beobachtete intendierte Theorieanwendung i_T die Rationalitäts- oder die Präferenz- oder die Effizienzhypothese „widerlegt" habe. Vielmehr sind *alle* nomischen Hypothesen (und strukturalistischen Restriktionen) in der *einen* empirischen Gesamthypothese des strukturalistischen Theorienkonzepts über die Modellmenge $M_{S(T)}$ so miteinander verflochten, dass sie durch intendierte Theorieanwendungen nur als *Ganzes* bestätigt oder widerlegt werden können. Dies entspricht der holistischen Theorieauffassung gemäß der DUHEM-QUINE-These.

Für die gängige Praxis der empirischen Überprüfung der Geltungsansprüche von betriebswirtschaftlichen Theorien besitzt dieser strukturalistische Holismus eine bedeutsame Konsequenz: Wenn eine Theorie mehrere nomische Hypothesen umfasst, so ist es – entgegen der „üblichen" Vorgehensweise – sinnlos, einzelne Hypothesen mittels empirischer Testmethoden zu überprüfen. Denn der empirische „Sinn" einer Theorie – formalsprachlich expliziert durch ihre empirische Gesamthypothese – erstreckt sich nur auf die Gesamtheit ihrer empirischen Hypothesen (und strukturalistischen Restriktionen).

Durch empirische Überprüfungen der Theorie *T* gewinnt man schließlich Auskunft darüber, ob eine jeweils überprüfte intendierte Anwendung i_T aus dem intendierten Anwendungsbereich I_T entweder durch Erfüllung aller gesetzesartigen Aussagen und aller Restriktionen die Theorie *T* (vorläufig) bestätigt oder aber infolge Verstoßes gegen mindestens eine gesetzesartige Aussage oder gegen mindestens eine Restriktion die Theorie *T* widerlegt. Entsprechend wachsen die Extensionen der Menge B_T aller bestätigenden bzw. der Menge W_T aller widerlegenden Theorieanwendungen im Zeitablauf an, wenn die Anzahl der empirischen Theorieüberprüfungen zunimmt. Für die Mengen aller bestätigenden bzw. widerlegenden Theorieanwendungen gelten einerseits die Beziehungen $B_T \subseteq I_T$ bzw. $W_T \subseteq I_T$, weil nur die intendierten Theorieanwendungen i_T mit $i_T \in I_T$ auf ihre empirische Geltung hinsichtlich der Erfüllung aller gesetzesartigen Aussagen und aller Restriktionen untersucht werden. Andererseits unterscheiden sich die intendierten Theorieanwendungen i_T im Falle entweder der Bestätigung oder aber der Widerlegung des Geltungsanspruchs der Theorie *T* genau dadurch, dass sie die empirische Gesamthypothese $\mathrm{I_T} \subseteq \mathrm{ram}(\mathrm{pot}_+(\mathrm{M_{S(T)}}) \cap \mathrm{C_{S(T)}})$ dieser Theorie erfüllen bzw. verletzen. Daher gilt mit $\mathrm{Z_{S(T)}} = \mathrm{ram}(\mathrm{pot}_+(\mathrm{M_{S(T)}}) \cap \mathrm{C_{S(T)}})$ für die Menge $Z_{S(T)}$ aller zulässigen Theorieanwendungen: $\mathrm{B_T} \subseteq \mathrm{I_T}$ und $\mathrm{B_T} \subseteq \mathrm{Z_T}$ – also $\mathrm{B_T} \subseteq (\mathrm{I_T} \cap \mathrm{Z_T})$ – für die Menge aller bestätigenden Theorieanwendungen sowie $\mathrm{W_T} \subseteq \mathrm{I_T}$ und $\mathrm{W_T} \cap \mathrm{Z_T} = \emptyset$ – also $\mathrm{W_T} \subseteq (\mathrm{I_T} / \mathrm{Z_T})$ – für die Menge aller widerlegenden Theorieanwendungen.

Damit stehen alle formalsprachlichen Konstrukte zur Verfügung, mit deren Hilfe sich sowohl eine wohlgeformte strukturalistische Theorie darstellen lässt als auch ein Konzept für theoretischen Fortschritt[1)] entfaltet werden kann.

3.2.2.2 Schemata zur strukturalistischen Rekonstruktion objektwissenschaftlicher Theorien

Um die typische Struktur einer Theorie *T* übersichtlich darzustellen, wie sie aus den Vorgaben des strukturalistischen Theorienkonzepts für wohlgeformte Theorien resultiert, wird das nachfolgende *generische Strukturschema* für die Formulierung, insbesondere für die Rekonstruktion von Theorien eingeführt:[2)]

Theorie	$\mathrm{T} = \langle \mathrm{K_T}, \mathrm{I_T} \rangle$
Theoriekern $\mathrm{K_T}$	$\mathrm{K_T} = \langle \mathrm{M_{p(T)}}, \mathrm{M_{pp(T)}}, \mathrm{M_{S(T)}}, \mathrm{C_{S(T)}} \rangle$
intendierter Anwendungsbereich $\mathrm{I_T}$	$\mathrm{pot}_+(\mathrm{M_{pp(T)}}) \supseteq \mathrm{I_T} \supseteq \mathrm{I_{T.p}} \supset \emptyset$
empirische Gesamthypothese	$\mathrm{I_T} \subseteq \mathrm{ram}(\mathrm{pot}_+(\mathrm{M_{S(T)}}) \cap \mathrm{C_{S(T)}})$

Abb. 4: generisches Strukturschema des strukturalistischen Theorienkonzepts

1) Auf das strukturalistische Konzept für theoretischen Fortschritt wird hier nicht näher eingegangen. Vgl. stattdessen ZELEWSKI (2006), S. 245 ff.; ZELEWSKI (2007), S. 458 ff.

2) Vgl. zu ähnlichen Strukturschemata für strukturalistisch formulierte oder rekonstruierte Theorien ZELEWSKI (1993), S. 141 f.; ZELEWSKI (2004), S. 14; ALPARSLAN (2006), S. 151 ff., insbesondere S. 153.

Das generische Strukturschema aus Abb. 4 ist für jede konkrete Theorie *T* durch formalsprachliche Konkretisierungen der Theoriekomponenten $M_{p(T)}$, $M_{pp(T)}$, $M_{S(T)}$, $C_{S(T)}$ und I_T zu instanziieren. Alle übrigen Beziehungen innerhalb dieses Strukturschemas, insbesondere die formale Gestalt der empirischen Gesamthypothese, liegen im strukturalistischen Theorienkonzept für jede Theorie *T* von vornherein fest.

Um das ADL-Modell als eine Miniaturtheorie *T* aus der Perspektive des strukturalistischen Theorienkonzepts zu rekonstruieren, empfiehlt es sich, das generische Strukturschema aus Abb. 4 noch geringfügig zu modifizieren. Die Modifizierungen erstrecken sich im Wesentlichen auf fünf Aspekte.

Erstens ist ein konkretes formalsprachliches Kalkül für die Theorierekonstruktion auszuwählen. Hierfür bieten sich insbesondere die informelle Mengentheorie und die Prädikatenlogik an. Die Ausdrucksmittel der informellen Mengentheorie werden von den meisten Vertretern des strukturalistischen Theorienkonzepts bevorzugt. Die Prädikatenlogik hat sich dagegen im Bereich der Wissenschaftstheorie als eine Art Lingua franca entwickelt. Sie kann in nahezu allen Fach- oder Objektwissenschaften Verwendung finden, um zentrale objektwissenschaftliche Sachverhalte formalsprachlich so auszudrücken, dass sie sowohl innerhalb der betroffenen Objektwissenschaft als auch darüber hinaus für Anhänger unterschiedlicher Wissenschaftsschulen („Paradigmen") verständlich sind. Wegen dieser hochgradigen „Anschlussfähigkeit" an wissenschaftstheoretische Usancen und ihrer weiten Verbreitung in den meisten Objektwissenschaften wird in diesem Beitrag die Prädikatenlogik für formalsprachliche Theorierekonstruktionen bevorzugt. Es wird auf eine spezielle Variante der Prädikatenlogik, die sogenannte sortierte Prädikatenlogik 1. Stufe, zurückgegriffen. Die Prädikatenlogik 1. Stufe („first order logic") stellt die Standardvariante der Prädikatenlogik dar, die in Wissenschaftstheorie und Objektwissenschaften am weitesten verbreitet ist und – im Gegensatz zu Prädikatenlogiken höherer Stufen – in der Regel ausreicht, um objektwissenschaftliche Sachverhalte formalsprachlich auszudrücken. Zusätzlich werden sogenannte „Sorten" verwendet. Sie stellen zwar keine grundsätzliche Erweiterung der Ausdrucksmächtigkeit der Prädikatenlogik 1. Stufe dar, erlauben es aber, auf besonders einfache, anschauliche und intuitiv nachvollziehbare Weise diejenigen Klassen von Erkenntnisobjekten als „Sorten" zu identifizieren, auf die sich eine Theorie im Wesentlichen bezieht.[1)]

Zweitens zeigt sich bei einer tiefer gehenden Analyse der Miniaturtheorie „ADL-Modell", dass sie keine T-theoretischen Konstrukte umfasst.[2)] Zwar könnte insbesondere daran gedacht werden, die Nutzen- und die darauf aufbauenden Erwartungsnutzenfunktionen der Miniaturtheorie „ADL-Modell" als T-theoretische Konstrukte aufzufassen. Für diesen ersten Anschein spricht, dass in der – noch konkret aufzuzeigenden – nomischen Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell" solche Erwartungsnutzenfunktionen enthalten sind und zugleich davon ausgegangen wird, dass der Prinzipal und der Agent jeweils ihre Erwartungsnutzenfunktion zu maximieren versuchen. Eine gängige Argumentation lautet (grob vereinfacht), dass man den Nutzen und somit auch den Erwartungsnutzen eines Akteurs nicht messen könne, ohne sein nutzenmaximierendes Verhalten und somit die empirische Gültigkeit der vorgenannten nomischen Hypothese vorauszusetzen. Wie schon oben an-

---

1) In diesem Beitrag wird eine rudimentäre Vertrautheit mit den Ausdrucksmitteln einer sortierten Prädikatenlogik 1. Stufe vorausgesetzt. Dies sollte ausreichen, um die nachfolgenden formalsprachlichen Darstellungen grundsätzlich nachvollziehen zu können. Im Übrigen wird auf eine ausführliche Erläuterung von Eigenarten einer sortierten Prädikatenlogik 1. Stufe verwiesen, die der Verfasser an anderer Stelle – mit zahlreichen vertiefenden Literaturhinweisen – vorgelegt hat; vgl. ZELEWSKI (1993), S. 213 ff.

2) Vgl. ALPARSLAN (2006), S. 200 ff., insbesondere S. 205 f.

gedeutet wurde, ist die T-Theoretizität von „Nutzen“ und „Nutzenfunktionen“ in ökonomischen Optimierungskalkülen zwar schon mehrfach behauptet, aber niemals strikt bewiesen worden. Stattdessen lassen sich gewichtige Gegenargumente der Art ins Feld führen, dass sich Nutzenvorstellungen von Akteuren auch vollkommen unabhängig von der Prämisse nutzenmaximierender Akteure messen lassen. Dazu kommen z.B. einschlägige Studien der experimentellen Wirtschaftsforschung, insbesondere aus dem Bereich der Spieltheorie, daneben aber auch im Rahmen der Prinzipal-Agent-Theorie und der angewandten Auktionstheorie, in Betracht. Außerdem kann auf etablierte ökonomische Messtechniken, wie z.B. das Conjoint Measurement und das Konzept der Revealed Preference Analysis, zur Nutzenmessung zurückgegriffen werden. Auf solche Gegenargumente gehen Anhänger der These, bei „Nutzen“ und „Nutzenfunktionen“ handele es sich in ökonomischen Optimierungskalkülen um typische T-theoretische Konstrukte, erstaunlicherweise nicht ein.

Im hier vorgelegten Beitrag wird – bis zum Beweis des Gegenteils – davon ausgegangen, dass die Miniaturtheorie T „ADL-Modell“ keine T-theoretischen Konstrukte enthält. Folglich fällt die Menge $M_{pp(T)}$ von partiellen potenziellen Modellen der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ mit seiner potenziellen Modellmenge $M_{p(T)}$ zusammen: $\mathrm{M}_{\mathrm{pp(T)}} = \mathrm{M}_{\mathrm{p(T)}}$. Daher reicht es aus, die potenzielle Modellmenge $M_{p(T)}$ explizit zu spezifizieren. Sie wurde schon oben als terminologischer Apparat einer Theorie eingeführt. Auf die RAMSEY-Eliminierung T-theoretischer Konstrukte muss nicht näher eingegangen werden, weil es keine zu eliminierenden T-theoretischen Konstrukte gibt.

Drittens besitzt die Miniaturtheorie „ADL-Modell“ eine so einfache Struktur, dass sie keine Restriktionen im Sinne des strukturalistischen Theorienkonzepts umfasst. Sie würden z.B. erst dann eine Rolle spielen, wenn sich ein Modell der Prinzipal-Agent-Theorie über mehrere Perioden erstreckt. Wegen des Fehlens von Restriktionen kann auch auf die explizite Spezifizierung der Restriktionenmenge $C_{S(T)}$ verzichtet werden. Stattdessen gilt bei Abwesenheit jeglicher Restriktionen im strukturalistischen Sinne: $\mathrm{C}_{\mathrm{S(T)}} = \mathrm{pot}_{+}(\mathrm{M}_{\mathrm{p(T)}})$.

Viertens werden unter den Interpretationsbedingungen keine Korrespondenzregeln angeführt, um Termen aus dem terminologischen Apparat der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ diejenigen Objekte als „denotationale Semantik“ zuzuordnen, auf die sich die Aussagen der Miniaturtheorie im adressierten Realitätsausschnitt beziehen. Diese Korrespondenzregeln wurden bereits in den textuellen Erläuterungen des Kapitels 2.2 angeführt, ohne dabei explizit von „Korrespondenzregeln“ zu sprechen. Da sie aufgrund ihrer natürlichsprachlichen Formulierung nichts zur *formalsprachlichen* Rekonstruktion der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ beitragen, werden sie im Folgenden nicht in das spezielle Schema zur Darstellung der Theoriestruktur einbezogen.

Fünftens kann darauf verzichtet werden, die empirische Gesamthypothese der Miniaturtheorie T „ADL-Modell“ explizit anzuführen. Denn sie wird nach der Konkretisierung der Theoriekomponenten $M_{p(T)}$, $M_{pp(T)}$, $M_{S(T)}$, $C_{S(T)}$ und I_T durch das generische Strukturschema aus Abb. 4 bereits als $\mathrm{I}_{\mathrm{T}} \subseteq \mathrm{ram}(\mathrm{pot}_{+}(\mathrm{M}_{\mathrm{S(T)}}) \cap \mathrm{C}_{\mathrm{S(T)}})$ vorgegeben. Wegen $\mathrm{M}_{\mathrm{pp(T)}} = \mathrm{M}_{\mathrm{p(T)}}$, $\mathrm{C}_{\mathrm{S(T)}} = \mathrm{pot}_{+}(\mathrm{M}_{\mathrm{p(T)}})$ und Entbehrlichkeit der RAMSEY-Eliminierung T-theoretischer Konstrukte vereinfacht sich die empirische Gesamthypothese der Miniaturtheorie T mit $\mathrm{M}_{\mathrm{S(T)}} \subseteq \mathrm{M}_{\mathrm{p(T)}}$ sogar zu $\mathrm{I}_{\mathrm{T}} \subseteq \mathrm{pot}_{+}(\mathrm{M}_{\mathrm{S(T)}})$.

Aus den voranstehend erläuterten vier Modifizierungen ergibt sich das nachfolgende spezielle Strukturschema für die Formulierung, insbesondere für die Rekonstruktion von Theorien aus der Perspektive des strukturalistischen Theorienkonzepts:

Theorie T
(a) terminologischer Apparat: Menge $M_{p(T)}$ aller potenziellen Modelle
(aa) Sorten
(ab) Funktionssymbole
(ac) Prädikatssymbole
(ad) Definitionsgleichungen
(b) nomische Hypothesen: Menge $M_{S(T)}$ aller Modelle
(c) intendierter Anwendungsbereich I_T
(ca) Interpretationsbedingungen
(caa) Definitionsbereiche der Sorten
(cab) Funktionsvorschriften für Funktionen
(cac) Extensionen für Prädikate
(cb) Randbedingungen

Abb. 5: spezielles Strukturschema des strukturalistischen Theorienkonzepts

Das spezielle Strukturschema aus Abb. 5 wird der anschließenden Rekonstruktion des ADL-Modells aus der Perspektive des strukturalistischen Theorienkonzepts zugrunde gelegt. Es besitzt den Vorzug, für Theorien, die aus strukturalistischem Blickwinkel so einfach[1)] strukturiert sind wie die Miniaturtheorie „ADL-Modell“, eine Darstellung der Theoriestruktur zu ermöglichen, die sich im hohen Ausmaß als anschlussfähig an wissenschaftstheoretische Diskurse allgemeiner Art erweist. Denn das spezielle Strukturschema lenkt den Blick des Betrachters sofort auf den terminologischen Apparat, die nomischen Hypothesen und den intendierten Anwendungsbereich einer Theorie.

Der terminologische Apparat einer Theorie wird vor allem im Zusammenhang mit sogenannten Ontologien näher untersucht. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die formalsprachliche, u.a. computergestützte Rekonstruktion von Theorien. Die nomischen Hypothesen stehen im Fokus nahezu jeder Diskussion über die „Substanz“ oder den „Kern“ einer realwissenschaftlichen Theorie. Dies trifft auch auf den hier vorgelegten Beitrag zu. Der intendierte Anwendungsbereich einer Theorie wird zwar weitaus seltener explizit thematisiert, spielt aber aus wissenschaftstheoretischer Perspektive – ebenso wie die nomischen Hypothesen – eine herausragende Rolle für die Beurteilung der Güte einer Theorie. Denn vom intendierten Anwendungsbereich einer Theorie hängt deren Anwendungsbreite oder „Allgemeinheit“ ab. Auch in diesem Beitrag wird auf den intendierten Anwendungsbereich der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ ausdrücklich eingegangen.

1) Zu Vereinfachungen der Theoriestruktur führen insbesondere die Nichtexistenz T-theoretischer Konstrukte (einschließlich der deswegen entfallenden RAMSEY-Eliminierung T-theoretischer Konstrukte) sowie das Fehlen von Restriktionen im strukturalistischen Sinne. Hinzu kommt „nebenbei“ der Verzicht, die empirische Gesamthypothese im speziellen Strukturschema explizit anzuführen.

3.2.2.3 Rekonstruktion des ADL-Modells mithilfe des strukturalistischen Theorienkonzepts

Mithilfe des strukturalistischen Theorienkonzepts, das im voranstehenden Kapitel in seinen Grundzügen skizziert wurde, lässt sich der grundsätzliche Strukturierungsdefekt heilen, der im Kapitel 3.2.1 für das ADL-Modell als Miniaturtheorie herausgearbeitet wurde.[1)] Die Anwendung des speziellen Strukturschemas aus Abb. 5 übt einen „heilsamen Zwang" aus zu versuchen, in seiner Rubrik (b) die nomischen Hypothesen einer rekonstruierten Theorie explizit anzuführen sowie in seiner Rubrik (c) den intendierten Anwendungsbereich der Theorie so weit wie möglich formalsprachlich zu spezifizieren. Sofern dieser Versuch gelingt, sind die nomischen Hypothesen und der intendierte Anwendungsbereich aus der Struktur der rekonstruierten Theorie unmittelbar ersichtlich. Folglich wäre der Strukturierungsdefekt des ADL-Modells beseitigt. Dies ist im Folgenden durch Anwendung des speziellen Strukturschemas aus Abb. 5 auf das ADL-Modell konkret aufzuzeigen.

Die nachfolgende Rekonstruktion des ADL-Modells aus strukturalistischer Perspektive bezieht sich nur auf die Formeln (1) bis (42), mit denen im Kapitel 2.2 das ADL-Modell für das *generische* Prinzipal-Agent-Problem spezifiziert wurde. Auf eine Rekonstruktion der Modifizierungen des ADL-Modells für das operationale Prinzipal-Agent-Problem, die im Kapitel 2.2.4 eingeführt wurden, wird im Folgenden nicht näher eingegangen, weil sie zu keinen neuen Einsichten in die *Struktur* des ADL-Modells als Miniaturtheorie führen würde.

(a) terminologischer Apparat: Menge $M_{p(T)}$ aller potenziellen Modelle

Der terminologische Apparat der Miniaturtheorie *T* „ADL-Modell" dient dazu, diejenigen formalsprachlichen Konstrukte (Ausdrucksmittel) einzuführen, die für die Rekonstruktion dieser Miniaturtheorie *T* erforderlich sind. Jedes Phänomen aus einem Realitätsausschnitt, das sich mit den Ausdrucksmitteln des terminologischen Apparats beschreiben lässt, stellt ein potenzielles Modell der Miniaturtheorie „ADL-Modell" dar.

Die *Sorten* stellen atomare formalsprachliche Ausdrücke dar, die jeweils eine Klasse gleichartiger Erkenntnisobjekte repräsentieren, welche aus der Perspektive der Miniaturtheorie *T* von besonderem Interesse sind. Damit ist der gesamte terminologische Apparat auf der sogenannten Klassen- oder Typebene angesiedelt: Er ermöglicht nur, Erkenntnisse über Klassen („Typen") gleichartiger Erkenntnisobjekte auszudrücken, bezieht sich aber noch nicht auf einzelne Erkenntnisobjekte („Instanzen"). Dies entspricht der intuitiven Auffassung von Theorien, sich auf möglichst allgemeine Einsichten zu beschränken und hierbei von Besonderheiten des Einzelfalls zu abstrahieren. Die Spezifizierung konkreter Instanzen (genauer: Mengen von Instanzen), auf die sich die Miniaturtheorie *T* beziehen soll, erfolgt erst später bei der Festlegung ihres intendierten Anwendungsbereichs. Mithilfe der Sorten werden *Funktionssymbole* definiert. Im Gegensatz zu Funktionen legen Funktionssymbole ausschließlich die sortenbezogene *Struktur* zulässiger Funktionen fest, geben aber kei-

---

1) Die nachfolgenden Ausführungen beruhen auf ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004a), S. 27 ff., und ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004b), S. 15 ff. Die dort vorgetragenen Überlegungen werden hier im Hinblick auf die voranstehenden Kapitel überarbeitet und partiell fortentwickelt. Die Überarbeitungen erstrecken sich vor allem auf eine Ausweitung und eine begriffliche Harmonisierung der verwendeten Sorten sowie auf eine Korrektur einiger geringfügiger formalsprachlicher Unzulänglichkeiten in den beiden o.a. Publikationen. Die Fortentwicklungen betreffen insbesondere die umfassendere Spezifizierung des intendierten Anwendungsbereichs durch Randbedingungen.
Darüber hinaus findet sich eine überaus sorgfältige Rekonstruktion mehrerer Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie nach Maßgabe des strukturalistischen Theorienkonzepts bei ALPARSLAN (2006), S. 157 ff. Dort werden Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie vom Hidden-Action-Typ rekonstruiert und als Knoten in ein komplex strukturiertes Theorienetz eingeordnet.

ne konkreten Funktionsvorschriften an. Die Festlegung solcher Funktionsvorschriften erfolgt erst später bei der Spezifizierung des intendierten Anwendungsbereichs der Miniaturtheorie *T*. *Prädikatssymbole* werden benötigt, um – im Gegensatz zu Funktionssymbolen – wahrheitsfähige Formeln bilden zu können. Solche Prädikatssymbole werden insbesondere benötigt, um in einem prädikatenlogischen Kalkül nomische Hypothesen formulieren zu können. Denn jede nomische Hypothese stellt eine Formel dar, deren empirische Geltung („Wahrheit") innerhalb der Miniaturtheorie *T* postuliert wird und der empirischen Überprüfung in der betrieblichen Realität bedarf. *Definitionsgleichungen* werden in manchen Theorien – und so auch in der hier betrachteten Miniaturtheorie *T* – benötigt, um auszudrücken, dass bestimmte formalsprachliche Konstrukte in Beziehungen zueinander stehen, die keiner empirischen Überprüfung zugänglich sind, sondern „per definitionem" gelten.

(aa) Sorten (143)

compensation	
disutility	
effort_level	
expected_utility_agent	expected_utility_principal
fixed	
inventory_costs	inventory_level
mean	
output_provisional	output
probability	
random_term	
reservation_utility	
risk_aversion	
risk_utility_agent	risk_utility_principal
share	
utility_agent	utility_principal
variance	

(ab) Funktionssymbole

Die Funktionssymbole stellen „strukturelle" Beziehungen zwischen den Sorten her, ohne konkrete Funktionsvorschriften festzulegen. Um die Funktionssymbole eindeutig auf jene Funktionen zu beziehen, die in der konventionell formulierten Miniaturtheorie „ADL-Modell" eingeführt wurden, werden hier für Funktionssymbole und zugehörige Funktionen jeweils die gleichen Bezeichnungen verwendet. Um dennoch zwischen den beiden – aus formalsprachlicher Sicht verschiedenartigen – Konstrukten unterscheiden zu können, werden Funktionen mit konkret spezifizierten Funktionsvorschriften im Folgenden stets „normal" formatiert, während Funktionssymbole durch eine kursive Formatierung hervorgehoben werden.

ae: output $\rightarrow$ compensation (144)

ak: output $\rightarrow$ compensation (145)

dut: effort_level $\rightarrow$ disutility (146)

E: random_term $\rightarrow$ mean (147)
output $\rightarrow$ mean
compensation $\rightarrow$ mean [1)]

Eut_{ag}: effort_level inventory_level fixed share risk_aversion $\rightarrow$ expected_utility_agent (148)

Eut_{pr}: effort_level inventory_level fixed share $\rightarrow$ expected_utility_principal (149)

f: random_term $\rightarrow$ probability (150)

lk: inventory_level $\rightarrow$ inventory_costs (151)

out: effort_level inventory_level random_term $\rightarrow$ output (152)

pro: effort_level inventory_level $\rightarrow$ output_provisional (153)

rut_{ag}: effort_level inventory_level fixed share random_term risk_aversion
$\rightarrow$ risk_utility_agent (154)

rut_{pr}: effort_level inventory_level fixed share random_term
$\rightarrow$ risk_utility_principal (155)

ut_{ag}: effort_level inventory_level fixed share random_term $\rightarrow$ utility_agent (156)

ut_{pr}: effort_level inventory_level fixed share random_term $\rightarrow$ utility_principal (157)

V: random_term $\rightarrow$ variance (158)
output $\rightarrow$ variance
compensation $\rightarrow$ variance [2)]

(ac) Prädikatssymbole

Prädikatssymbole kommen in der ursprünglichen Formulierung des ADL-Modells nicht vor. Sie stellen ein Charakteristikum prädikatenlogischer Kalküle dar. Prädikatssymbole dienen dazu, Urteile über reale Sachverhalte auszudrücken, die entweder wahr (gültig) oder falsch (ungültig) sein können. Damit tragen Prädikatssymbole wesentlich dazu bei, wahrheitsfähige Formeln, insbesondere

1) Der Erwartungswert E(•) wird in der Miniaturtheorie „ADL-Modell" – neben den separat behandelten Erwartungswerten $\mathrm{Eut}_{\mathrm{pr}}(\bullet)$ und $\mathrm{Eut}_{\mathrm{ag}}(\bullet)$ für die Nutzenerwartungswerte von Prinzipal bzw. Agent – auf die drei unterschiedlichen Funktionen f, out und ak angewendet. In einer sortierten Prädikatenlogik muss daher das Funktionssymbol *E* für den Erwartungswert auf die drei verschiedenen Zielsorten der Funktionssymbole *f*, *out* und *ak* bezogen werden. Dadurch erfolgt eine „multiple Sortendefinition" das Funktionssymbol *E* des Erwartungswerts. Wenn eine solche „multiple Sortendefinition" zu fremdartig erscheint, lässt sie sich vermeiden, indem drei verschiedene Funktionssymbole E_f, E_{out} und E_{ak} eingeführt werden, die jeweils spezifisch auf genau eines der drei Funktionssymbole *f*, *out* bzw. *ak* bezogen sind. Dann besitzt jedes der drei Funktionssymbole E_f, E_{out} und E_{ak} für den Erwartungswert zwar eine „reine" Sortendefinition. Aber die Theorieformulierung wird entsprechend schwerfälliger, weil mit drei verschiedenen Funktionssymbolen E_f, E_{out} und E_{ak} und daraus abgeleiteten drei ebenso verschiedenen Erwartungswertfunktionen gearbeitet werden muss. Darauf wird in der hier präsentierten Rekonstruktion der Miniaturtheorie „ADL-Modell" verzichtet.

2) Für die Varianz V(•) gelten die Ausführungen, die in der unmittelbar voranstehenden Fußnote zur „multiplen Sortendefinition" des Funktionssymbols *E* des Erwartungswerts erfolgten, analog.

nomische Hypothesen, aufzustellen. Für die Miniaturtheorie *T* „ADL-Modell“ werden nur zwei Prädikatssymbole benötigt, die als formalsprachliche „Innovation“ im Zentrum der strukturalistischen Theorierekonstruktion stehen. Mit ihrer Hilfe lässt sich ausdrücken, dass sich der Prinzipal für bestimmte Ausprägungen des Lagerhaltungsniveaus *inv* sowie der fixen und der variablen Komponenten *fix* bzw. *sha* des Arbeitsentgelts entscheidet und dass der Agent eine bestimmte Ausprägung seines Anstrengungsniveaus *eff* festlegt.

$$\begin{array}{ll} \textit{decision\_agent}: & \text{effort\_level} \\ \textit{decision\_principal}: & \text{inventory\_level fixed share} \end{array} \qquad (159)$$

(ad) Definitionsgleichungen

Mithilfe der Definitionsgleichungen werden Beziehungen zwischen Komponenten des terminologischen Apparats festgelegt, die rein begrifflicher („definitorischer“) Natur sind und daher keiner empirischen Überprüfung zugänglich sind. Für die Miniaturtheorie „ADL-Modell“ existiert nur eine solche rein begriffliche Beziehung. Sie legt fest, dass das Integral über der Dichtefunktion für die Störgröße ε „per definitionem“ den Wert 1 annimmt:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(\varepsilon)\, d\varepsilon = 1 \quad [1] \qquad (160)$$

Am Rande sei auf eine formalsprachliche Komplikation hingewiesen. Definitionsgleichungen sind wie jede Art von Gleichungen nur zwischen Termen definiert. Terme sind einerseits atomare Terme, die entweder Konstanten (als Grenzfall null-stelliger Funktionen) oder Variablen darstellen, sowie andererseits komplexe Terme, die mithilfe von Funktionen aus bereits eingeführten atomaren oder komplexen Termen sukzessiv aufgebaut sind. Definitionsgleichungen bestehen daher strenggenommen nicht aus Funktionssymbolen, Konstantensymbolen (als Grenzfällen null-stelliger Funktionssymbole) und Variablen (die jeweils einer Sorte zugeordnet sind), sondern aus Funktionen, Konstanten und Variablen. Daher wird in der o.a. Formel (160) auch nicht das Funktionssymbol *f* für die Dichtefunktion, sondern der Funktionsausdruck f(ε) für eine Dichtefunktion mit wohldefinierter Funktionsvorschrift verwendet. Diese Funktionsvorschrift – präziser: eine Menge zulässiger Funktionsvorschriften – wird aber erst später spezifiziert, wenn der intendierte Anwendungsbereich der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ festgelegt wird.[2] Ebenso wird in der o.a. Formel (160) kein Konstantensymbol, sondern von vornherein die Konstante „1“ verwendet. Die Störgröße ε stellt eine Variable dar, die in gleicher Weise im Kontext von Funktionssymbolen – als Variable zur Sorte „random_term“ im Vorbereich des Funktionssymbols *f* – ebenso wie im Kontext von Funktionen – als unabhängige Variable im Argument des Dichtefunktionsausdrucks f(ε) – verwendet wird.

---

1) Vgl. Formel (12).

2) Diese Bezugnahme auf den erst „später“ spezifizierten Bereich intendierter Theorieanwendungen stellt für das strukturalistische Theorienkonzept kein grundsätzliches Problem dar. Denn dieses Theorienkonzept zeichnet sich u.a. durch seinen *holistischen* Charakter aus. Ihm zufolge lässt sich der „Inhalt“ oder die „Bedeutung“ einer Theorie niemals aus einzelnen Komponenten der Theoriestruktur erschließen, sondern für das Theorieverständnis ist stets die Theorie als Ganzes erforderlich. Daher ist die Reihenfolge, in der einzelne Theoriekomponenten in einem sequenziell angelegten Text eingeführt werden, für das „holistische“ Theorieverständnis nicht maßgeblich.

(b) nomische Hypothesen: Menge $M_{S(T)}$ aller Modelle

Nomische Hypothesen stellen wahrheitsfähige prädikatenlogische Formeln dar. Solche Formeln sind aus Termen und aus Prädikaten aufgebaut. Die Terme, die mithilfe von Funktionen beliebig komplex aus Konstanten und Variablen als atomaren Termen zusammengesetzt sein können, stellen die „Individuen" oder „Subjekte" in den Argumenten von Prädikaten dar. Die Prädikate stellen wahrheitsfähige Urteile dar, die Sachverhalte über die „Individuen" oder „Subjekte" in ihren Argumenten ausdrücken. Da nomische Hypothesen als prädikatenlogische Formeln mithilfe von Konstanten (und Variablen), Funktionen sowie Prädikaten anstelle von Konstantensymbolen (und Variablen), Funktionssymbolen sowie Prädikatssymbolen ausgedrückt werden, gilt im Prinzip die gleiche formalsprachliche Komplikation, die schon im Zusammenhang mit Definitionsgleichungen kurz skizziert wurde. Auch die Formulierung von nomischen Hypothesen greift bereits auf Konstanten, Funktionen sowie Prädikate zurück, die strenggenommen erst später bei der Spezifizierung des intendierten Anwendungsbereichs der Miniaturtheorie „ADL-Modell" eingeführt werden.[1)] Gleiches gilt für die Definitionsbereiche „D" derjenigen Variablen, die von den Allquantoren in den Formeln für die nomischen Hypothesen gebunden werden. Denn diese Definitionsbereiche „D" werden ebenso erst festgelegt, wenn der intendierte Anwendungsbereich der Miniaturtheorie „ADL-Modell" spezifiziert wird.

Ein potenzielles Modell der Miniaturtheorie *T* stellt nur dann ein Modell dieser Theorie dar, wenn es alle ihre nomischen Hypothesen erfüllt. Aufgrund des Strukturierungsdefekts des ADL-Modells, das aus der Perspektive des konventionellen Theorienkonzepts mithilfe der Formeln (1) bis (42) formuliert wurde, konnten jedoch keine nomischen Hypothesen unmittelbar identifiziert werden. Es fehlt in diesen Formeln an allquantifizierten Subjugaten, die einen starken Indikator dafür darstellen, dass eine nomische Hypothese vorliegt. Mithilfe der beiden Prädikatssymbole *decision_principal* und *decision_agent*, die in der Rubrik (ac) der strukturalistischen Theorierekonstruktion eingeführt wurden, und den daraus abgeleiteten Prädikaten decision_principal(•) bzw. decision_agent(•) lässt sich dieser Mangel beseitigen. Es resultiert als einzige nomische Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell" in der typischen Darstellungsweise eines allquantifizierten Subjugats:[2)]

---

1) Dies stellt für das strukturalistische Theorienkonzept jedoch kein grundsätzliches Problem dar. Vgl. dazu die Ausführungen in der unmittelbar vorangehenden Fußnote.

2) Vgl. zu dieser Rekonstruktion der nomischen Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell" ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004a), S. 28, und ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004b), S. 18 f. Geringfügige Unzulänglichkeiten, die in den beiden vorgenannten Arbeiten hinsichtlich der Formulierung der nomischen Hypothese noch enthalten waren, sind im hier vorgelegten Beitrag beseitigt worden. Der konzeptionelle „Trick", die nomischen Hypothesen von Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie mithilfe von zusätzlichen Prädikatssymbolen auszudrücken, findet sich auch bei ALPARSLAN (2006), S. 158 ff., insbesondere S. 164 u. 166, sowie S. 175 f. (dort werden statt der hier verwendeten Prädikatssymbole „wahrheitsfähige" Funktionen benutzt, die im Prinzip die gleiche formalsprachliche Qualität wie Prädikatssymbole besitzen).

$$\forall\,\text{eff},\text{eff*}\in D_{\text{effort\_level}}\ \forall\,\text{inv},\text{inv*}\in D_{\text{inventory\_level}}\ \forall\,\text{fix},\text{fix*}\in D_{\text{fixed}}\ \forall\,\text{sha},\text{sha*}\in D_{\text{share}}$$
$$\forall\,\alpha\in D_{\text{risk\_aversion}}\ \forall\,\text{res}_{\text{ag}}\in D_{\text{reservatio\_utility}}:$$

$$\text{decision\_principal}(\text{inv*},\text{fix*},\text{sha*})\ \wedge\ \text{decision\_agent}(\text{eff*})$$
$$\rightarrow \left(\begin{array}{l} \underbrace{(\text{inv*},\text{fix*},\text{sha*})\ \in\ \arg\max_{\text{inv}\in D_{\text{inventory\_level}},\ \text{fix}\in D_{\text{fixed}},\ \text{sha}\in D_{\text{share}}} \text{Eut}_{\text{pr}}(\text{eff*},\text{inv},\text{fix},\text{sha})}_{\text{Optimierungsproblem des Prinzipals}} \\ \wedge \left\{ \begin{array}{l} \underbrace{\text{eff*}\ \in\ \arg\max_{\text{eff}\in D_{\text{effort\_level}}} \text{Eut}_{\text{ag}}(\text{eff},\text{inv*},\text{fix*},\text{sha*},\alpha);}_{\text{Anreizkompatibilitätsrestriktion des Agenten}} \\ \qquad\qquad\qquad \underbrace{\text{falls}\ \ \text{Eut}_{\text{ag}}(\text{eff},\text{inv*},\text{fix*},\text{sha*},\alpha)\geq \text{res}_{\text{ag}}}_{\text{Partizipationsrestriktion des Agenten}} \\ \underbrace{\text{eff*}\ =\ 0;\qquad \text{falls}\ \ \text{Eut}_{\text{ag}}(\text{eff},\text{inv*},\text{fix*},\text{sha*},\alpha)<\text{res}_{\text{ag}}}_{\text{Exit-Option des Agenten}} \end{array} \right\} \end{array} \right) \qquad (161)$$

Diese nomische Hypothese bedarf einiger Erläuterungen:

- Die typische formalsprachliche Form einer nomischen Hypothese, ein allquantifiziertes Subjugat, resultiert daraus, dass die drei charakteristischen Konstituenten des generischen Prinzipal-Agent-Problems im ADL-Modell – das Optimierungsproblem des Prinzipals, die Anreizkompatibilitätsrestriktion des Agenten und die Partizipationsrestriktion des Agenten – in die Konklusion des Subjugats aus Formel (161) aufgenommen werden. Das Antezedenz des Subjugats aus Formel (161) wird dagegen aus den neu eingeführten Prädikaten decision_principal(•) und decision_agent(•) gebildet. Aus der subjunktiven Verknüpfung von Antezedenz und Konklusion sowie aus der Allquantifizierung aller enthaltenen Variablen ergibt sich eine nomische Hypothese, die sich wie folgt natürlichsprachlich paraphrasieren lässt: *Wenn* sich der Prinzipal für ein Lagerhaltungsniveau *inv** sowie Werte *fix** und *sha** für die fixe bzw. variable Komponente des Arbeitsentgelts entscheidet und *wenn* sich der Agent für ein Anstrengungsniveau *eff** entscheidet, *dann* müssen die Entscheidungen über *inv*, fix*, sha** und *eff** simultan das Optimierungsproblem des Prinzipals lösen sowie die Anreizkompatibilitätsrestriktion und die Partizipationsrestriktion des Agenten erfüllen – oder der Agent entscheidet sich für die Ablehnung des angebotenen Vertrags, weil sein Reservationsnutzen unterschritten wird.
- Die nomische Hypothese spiegelt die wechselseitige Verschränkung der beiden interdependenten Optimierungsprobleme des Prinzipals und des Agenten unmittelbar wieder: Der Prinzipal entscheidet sich in einer optimalen Lösung (eff*,inv*,sha*,fix*) des generischen Prinzipal-Agent-Problems für ein optimales Lagerhaltungsniveau *inv** sowie optimale Werte *fix** und *sha** für die fixe bzw. variable Komponente des Arbeitsentgelts in Abhängigkeit von demjenigen optimalen Anstrengungsniveau *eff** des Agenten, das er mit guten Gründen als Entscheidung des Agenten antizipiert. Dagegen entscheidet sich der Agent in einer optimalen Lösung (eff*,inv*,sha*,fix*) des generischen Prinzipal-Agent-Problems für ein optimales Anstrengungsniveau *eff** in Abhängigkeit von den vertraglichen Rahmenbedingungen, die der Prinzipal als für ihn – den Prinzipal – optimales Lagerhaltungsniveau *inv** sowie für ihn optimale Werte *fix** und *sha** für die fixe bzw. variable Komponente des Arbeitsentgelts festgelegt hat.
- Die nomische Hypothese aus der Formel (161) gibt das *generische* Prinzipal-Agent-Problem des ADL-Modells wieder, indem auf noch nicht näher spezifizierte Erwartungsnutzenfunktionen für den Prinzipal und für den Agenten sowie auf einen ebenso wenig spezifizierten Reservationsnutzen für den Agenten zurückgegriffen wird. Dies entspricht im Wesentlichen den

Formeln (33, 1. Zeile), (34, 1. Zeile) und (37, 1. Zeile).[1)] Daher wird die nomische Hypothese aus Formel (161) als *allgemeine* nomische Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ bezeichnet.

- Im Gegensatz zur Formel (33, 1. Zeile) wird das Optimierungsproblem des Prinzipals in der Formel (161) nicht mehr in konventioneller Weise als Maximierung der Erwartungsnutzenfunktion Eut_{pr} des Prinzipals ausgedrückt, sondern mithilfe der „arg max“-Relation auf das 3-Tupel (inv*,fix*,sha*) der optimalen Werte für das Lagerhaltungsniveau sowie für die fixe bzw. variable Komponente des Arbeitsentgelts bezogen. Beide Darstellungsweisen des Optimierungsproblems für den Prinzipal sind äquivalent, weil sie zu denselben optimalen Problemlösungen führen. Der Wechsel der formalsprachlichen Darstellungsweise für das Optimierungsproblem des Prinzipals wurde jedoch erforderlich, weil in der prädikatenlogischen Notation eines Subjugats für die nomische Hypothese nur als Antezedenz- und Konklusionsformeln wahrheitsfähige Formeln verwendet werden dürfen. Die Maximierung der Erwartungsnutzenfunktion Eut_{pr} des Prinzipals stellt jedoch so, wie sie in der Formel (33, 1. Zeile) angeführt wurde, keine wahrheitsfähige Formel im Sinne der Prädikatenlogik dar, sondern eine mathematische Handlungsaufforderung („maximiere!“). Dagegen gestatten es die „arg max“-Relation und das 3-Tupel (inv*,fix*,sha*) in der Formel (161), die Antezedenzformel der nomischen Hypothese mithilfe der „ist-Element-von“-Relation ($\in$) als eine wahrheitsfähige Formel im Sinne der Prädikatenlogik zu formulieren, die entweder wahr („gültig“) oder falsch („ungültig“) sein kann. Hinzu kommt als begrüßenswerter Nebeneffekt, dass sowohl die Anreizkompatibilitätsrestriktion des Agenten – die inhaltlich ein Optimierungsproblem für den Agenten darstellt – als auch das Optimierungsproblem des Prinzipals mithilfe der „arg max“-Relation in formalsprachlich gleichartiger Weise erfasst werden. Dies entspricht in „formalästhetischer“ Hinsicht dem Postulat, dass gleichartige Aspekte eines Realproblems – hier: die Optimierungsprobleme des Prinzipals und des Agenten – durch formalsprachlich gleichartige Konstrukte modelliert werden sollen.

Es könnte erwogen werden, die nomische Hypothese der Formel (161) in zwei nomische (Teil-) Hypothesen[2)] zu zerlegen.[3)] Die erste nomische Hypothese drückt dann aus, dass sich sowohl der Prinzipal als auch der Agent streng[4)] rational verhalten, indem sie jeweils ihren Erwartungsnutzen maximieren (nomische Rationalitätshypothese)[5)]. Die zweite nomische Hypothese stellt im Falle dieser Hypothesenzerlegung fest, dass sich bei rationaler Verhaltensweise von Prinzipal und Agent ein Gleichgewicht wechselseitig bester, d.h. erwartungswertmaximaler Antworten auf das Verhalten

---

1) Lediglich die letzte Zeile der Formel (161) für die Exit-Option des Agenten musste gegenüber den – formalsprachlich voneinander unabhängig formulierten – Formeln (33, 1. Zeile), (34, 1. Zeile) und (37, 1. Zeile) ergänzt werden, um für das Anstrengungsniveau *eff* den Wert eff* = 0 zu spezifizieren, weil in der ersten Zeile der Konklusionskomponente der Formel (161) für das Optimierungsproblem des Prinzipals der Wert *eff** als bekannt vorausgesetzt wird.

2) Daher trifft die o.a. Formulierung, die Miniaturtheorie „ADL-Modell“ besitze eine einzige nomische Hypothese, streng genommen nicht zu. Sie lässt sich aber aufrechterhalten, wenn – wie im hier vorgelegten Beitrag – auf die Hypothesenzerlegung verzichtet wird.

3) Vgl. ALPARSLAN (2006), S. 164 ff. u. 175 f. (allerdings nicht speziell für das ADL-Modell, sondern allgemein für Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie vom Hidden-Action-Typ).

4) Mit strenger Rationalität ist hier ein nutzenmaximierendes Verhalten von Prinzipal und Agent gemeint (in der speziellen Ausprägung einer Maximierung des Erwartungsnutzens). Hiermit erfolgt eine Abgrenzung von z.B. eingeschränkter Rationalität, die vornehmlich auf die Satisfizierung von Zufriedenheitsniveaus abzielt.

5) Vgl. ALPARSLAN (2006), S. 164, 166 u. 175 f.

des jeweils anderen Akteurs herausbildet (nomische Gleichgewichtshypothese).[1] Dies entspricht dem bereits früher erwähnten Sachverhalt, dass sich jede Lösung des allgemeinen Prinzipal-Agent-Problems als PARETO-effizient erweist und ein NASH-Gleichgewicht darstellt.

Allerdings wirft diese Hypothesenzerlegung zwei erhebliche Probleme auf. Erstens ist fraglich, wie sich das streng rationale Verhalten von Prinzipal und Agent empirisch überprüfen lässt.[2] Zweitens erscheint es dem Verfasser verfehlt, das streng rationale Verhalten von Prinzipal und Agent als eine nomische Hypothese aufzustellen. Denn in der betrieblichen Realität werden sich vermutlich zahlreiche Akteure nicht streng rational, sondern nur eingeschränkt rational, manche Akteure sogar irrational verhalten. Daher sollte die Annahme des streng rationalen Verhaltens von Prinzipal und Agent – wenn überhaupt – nicht als eine nomische Hypothese formuliert werden, sondern als eine Randbedingung zur Spezifizierung des intendierten Anwendungsbereichs der Miniaturtheorie „ADL-Modell“. Im hier vorgelegten Beitrag wird von der Option der Hypothesenzerlegung aber noch kein Gebrauch gemacht. Dies erscheint als nicht angemessen, solange das erste Problem ungelöst bleibt, wie das streng rationale Verhalten von Prinzipal und Agent empirisch überprüft werden kann.

Wenn das *spezielle* Wissen ausgenutzt wird, das im ADL-Modell für die Funktionsvorschriften der Erwartungsnutzenfunktionen von Prinzipal und Agent – vgl. die Formeln (23) bzw. (32) – sowie für den Reservationsnutzen des Agenten – vgl. die Formel (38) – vorliegt und später bei der Spezifizierung des intendierten Anwendungsbereichs dieser Miniaturtheorie expliziert wird,[3] dann lässt sich die allgemeine nomische Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ gemäß Formel (161) durch folgende *spezielle* nomische Hypothese ersetzen:

---

1) Vgl. ALPARSLAN (2006), S. 165 f. u. 175 f.

2) Die Schwierigkeit, das streng rationale Verhalten von Prinzipal und Agent empirisch zu überprüfen, liegt darin begründet, dass sich kaum vorstellen lässt, wie ermittelt werden könnte, ob sich ein Akteur für sein subjektiv vorgestelltes (Erwartungs-) Nutzenmaximum entschieden hat. Zwar ist es – wie bereits oben ausgeführt wurde – grundsätzlich möglich, Nutzenvorstellungen von Akteuren empirisch zu ermitteln. Aber dies bedeutet noch nicht, auch feststellen zu können, wo das Maximum dieser Nutzenvorstellungen liegt und ob dieses Maximum mit der Entscheidung zugunsten einer Handlungsalternative auch erreicht wurde. In dieser Richtung könnte ein Grund dafür gemutmaßt werden, dass Nutzengrößen in einer Variante *T* der Prinzipal-Agent-Theorie doch die Qualität eines T-theoretischen Konstrukts besitzen. Ob diese Mutmaßung berechtigt ist, vermag der Verfasser zurzeit nicht zu überblicken. Eine Klärung dieses Aspekts begründet einen entsprechenden zukünftigen Forschungsbedarf.

3) Das vorgenannte spezielle Wissen ist ebenso schon in die Formeln (33, 2. Zeile), (34, 2. Zeile), (35), (36), (37, 2. Zeile) und (39) eingeflossen, die von der nachfolgend angeführten *speziellen* nomischen Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ ebenso umgriffen werden.

$$
\begin{aligned}
&\forall\, eff, eff^* \in D_{effort\_level}\ \forall\, inv, inv^* \in D_{inventory\_level}\ \forall\, fix, fix^* \in D_{fixed}\ \forall\, sha, sha^* \in D_{share}\\
&\forall\, \alpha \in D_{risk\_aversion}\ \forall\, res_{ag} \in D_{reservatio\_utility}:\\
&\qquad decision\_principal(inv^*, fix^*, sha^*) \ \wedge\ decision\_agent(eff^*)\\
&\rightarrow \left(
\begin{array}{l}
\underbrace{
\begin{array}{l}
(inv^*, fix^*, sha^*) \in \arg\max_{inv \in D_{inventory\_level},\ fix \in D_{fixed},\ sha \in D_{share}} \cdots\\
\qquad\qquad \left[pro(eff^*, inv) - (fix + sha \bullet pro(eff^*, inv)) - lks \bullet inv \right]
\end{array}
}_{\text{Optimierungsproblem des Prinzipals}}\\
\wedge \left\{
\begin{array}{l}
\underbrace{eff^* \in \arg\max_{eff \in D_{effort\_level}} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - e^{-\alpha \bullet (fix^* + sha^* \bullet out(eff, inv^*, \varepsilon) - sdu \bullet eff)}\right) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \right];}_{\text{Anreizkompatibilitätsrestriktion des Agenten}}\\
\qquad\qquad \underbrace{\text{falls} \int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - e^{-\alpha \bullet (fix^* + sha^* \bullet out(eff, inv^*, \varepsilon) - sdu \bullet eff)}\right) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \geq 0}_{\text{Partizipationsrestriktion des Agenten}}\\
\underbrace{eff^* = 0; \quad \text{falls} \int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - e^{-\alpha \bullet (fix^* + sha^* \bullet out(eff, inv^*, \varepsilon) - sdu \bullet eff)}\right) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon < 0}_{\text{Exit-Option des Agenten}}
\end{array}
\right\}
\end{array}
\right)
\end{aligned}
\qquad (162)
$$

Diese spezielle nomische Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ entspricht im Wesentlichen den Formeln (40) bis (42).[1)]

Exkurs: Die spezielle nomische Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“, die durch die Formel (162) repräsentiert wird, lässt sich hinsichtlich ihrer Notation vereinfachen, wenn statt der konventionell definierten „arg max“-Relation mit:

$$\forall x: \ \arg\max h(x) = \left\{ x^* \,\middle|\, h(x^*) \geq h(x) \right\} \qquad (163)$$

für eine beliebige Funktion *h* folgende geringfügig modifizierte „arg maxx“-Relation verwendet wird:

$$\forall x: \ \arg\mathrm{maxx}\,(g; h(x)) = \begin{cases} \arg\max h(x) = \left\{ x^* \,\middle|\, h(x^*) \geq h(x) \right\}; & \text{falls } h(x) \geq g \\ 0; & \text{falls } h(x) < g \end{cases} \qquad (164)$$

Mithilfe dieser modifizierten „arg maxx“-Relation gilt für die spezielle nomische Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ mit $g = res_{ag} = 0$:

1) Lediglich die letzte Zeile der Formel (162) für die Exit-Option des Agenten musste gegenüber den – formalsprachlich voneinander unabhängig formulierten – Formeln (40) bis (42) ergänzt werden, um für das Anstrengungsniveau *eff* den Wert eff* = 0 zu spezifizieren, weil in der ersten Zeile der Konklusionskomponente der Formel (162) für das Optimierungsproblem des Prinzipals der Wert *eff** als bekannt vorausgesetzt wird.

$$\forall\, \text{eff}, \text{eff}^* \in D_{\text{effort\_level}}\ \forall\, \text{inv}, \text{inv}^* \in D_{\text{inventory\_level}}\ \forall\, \text{fix}, \text{fix}^* \in D_{\text{fixed}}\ \forall\, \text{sha}, \text{sha}^* \in D_{\text{share}}$$

$$\forall\, \alpha \in D_{\text{risk\_aversion}}\ \forall\, \text{res}_{\text{ag}} \in D_{\text{reservatio\_utility}}:$$

$$\text{decision\_principal}(\text{inv}^*, \text{fix}^*, \text{sha}^*) \ \wedge\ \text{decision\_agent}(\text{eff}^*)$$

$$\rightarrow \left(\begin{array}{l} \underbrace{\begin{array}{l} (\text{inv}^*, \text{fix}^*, \text{sha}^*) \in \arg\max_{\text{inv} \in D_{\text{inventory\_level}},\ \text{fix} \in D_{\text{fixed}},\ \text{sha} \in D_{\text{share}}} \ldots \\ \qquad \left[\text{pro}(\text{eff}^*, \text{inv}) - \left(\text{fix} + \text{sha} \bullet \text{pro}(\text{eff}^*, \text{inv}) \right) - \text{lks} \bullet \text{inv} \right] \end{array}}_{\text{Optimierungsproblem des Prinzipals}} \\ \wedge\ \underbrace{\text{eff}^* \in \arg\text{maxx}_{\text{eff} \in D_{\text{effort\_level}}} \left[0\, ;\ \int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - e^{-\alpha \bullet (\text{fix}^* + \text{sha}^* \bullet \text{out}(\text{eff}, \text{inv}^*, \varepsilon) - \text{sdu} \bullet \text{eff})} \right) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \right]}_{\text{Anreizkompatibilitätsrestriktion und Partizipationsrestriktion des Agenten}} \end{array} \right) \tag{165}$$

Die Formel (165) stellt die kompakteste Darstellungsweise für die spezielle nomische Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ dar, die dem Verfasser bekannt ist. Sie besitzt sowohl Vor- als auch Nachteile.

Ein Vorteil der Formel (165) besteht in ihrer Flexibilität. Mithilfe der modifizierten „arg maxx“-Relation kann sie ohne Mühen an einen beliebigen nicht-negativen Reservationsnutzen res_{ag} angepasst werden, der die vereinfachende Annahme $\text{res}_{\text{ag}} = 0$ der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ nicht zu erfüllen braucht. Bei einem solchen „verallgemeinerten“ Reservationsnutzen res_{ag} mit $\text{res}_{\text{ag}} \geq 0$ reicht es aus, in Formel (164) für die Konstante *g* den „verallgemeinerten“ Reservationsnutzen res_{ag} des Agenten einzusetzen. In der letzten Zeile von Formel (165) wird dagegen die Konstante „0“ für das optimale Anstrengungsniveau *eff** nicht verändert, weil der Agent bei Unterschreiten des „verallgemeinerten“ Reservationsnutzens res_{ag} mit $\text{res}_{\text{ag}} \geq 0$ seine Exit-Option wählt, d.h. den vom Prinzipal vorgeschlagenen Vertrag ablehnt und für den Prinzipal nicht tätig wird. Dieser Fall der Vertragsablehnung durch den Agenten (Exit-Option) wird hier formal durch den Grenzfall eines optimalen „Anstrengungsniveaus“ eff* = 0 erfasst.[1)] In diesem Grenzfall unternimmt der Agent für den

1) Die Modellierungsweise mithilfe der „arg maxx“-Relation verdeutlicht an dieser Stelle eine besondere Schwierigkeit, die bei der Formulierung der nomischen Hypothese für die Miniaturtheorie „ADL-Modell“ auftritt: Es ist nicht von vornherein ausgeschlossen, dass der Agent auch dann, wenn er das Vertragsangebot des Prinzipals annimmt, im Rahmen seiner Arbeitstätigkeit für den Prinzipal zu der Entscheidung gelangt, dass für ihn – den Agenten – das Anstrengungsniveau eff* = 0 optimal ist. Dieser Extremfall der „optimalen Nichtanstrengung“ trotz Einbindung in einen Arbeitsvertrag mit dem Prinzipal ist zwar sehr unwahrscheinlich und wird unter realistischen Annahmen für die Werte der Modellparameter vermutlich niemals eintreten. Aber er ist im Modell des generischen Prinzipal-Agent-Problems nicht von vornherein aus logischen Gründen ausgeschlossen. Da dieser Extremfall zumindest „theoretisch“ möglich ist, sind für das optimale Anstrengungsniveau eff* = 0 zwei unterschiedliche Interpretationen zulässig: Entweder strengt sich der Agent für den Prinzipal überhaupt nicht an, weil er – der Agent – seine Exit-Option gewählt hat und deswegen das Vertragsangebot des Prinzipals abgelehnt hat. Oder der Agent hat zwar das Vertragsangebot des Prinzipals angenommen und wird daher für den Prinzipal tätig, nutzt aber die Informationsasymmetrie zu seinen Gunsten derart aus, dass er – der Agent – unter dem Schutz der mangelnden direkten Beobachtbarkeit seiner Handlungen („hidden action“) sein tatsächliches Anstrengungsniveau auf den optimalen Wert eff* = 0 reduziert. Diese doppelte, materiell völlig verschiedenartige Interpretationsmöglichkeit für denselben formalsprachlichen Ausdruck eff* = 0 ist äußerst unbefriedigend. Denn sie verstößt gegen ein Grundpostulat „sauberer“ Modellierung, demzufolge materiell verschiedenartige Sachverhalte in einem Modell auch durch unterschiedliche formalsprachliche Konstrukte repräsentiert werden sollen (sofern es sich um Sachverhalte handelt, die zur Erreichung des Modellierungszwecks relevant sind, von denen also nicht abstrahiert werden kann).
Dieser Mangel, gegen das vorgenannte Grundpostulat „sauberer“ Modellierung zu verstoßen, spricht aber nicht spezifisch gegen die Modellierungsweise mithilfe der „arg maxx“-Relation in Formel (165). Vielmehr trifft die zweifache Interpretationsmöglichkeit für denselben formalsprachlichen Ausdruck eff* = 0 ebenso zu für die allge- ➥

Prinzipal überhaupt keine Anstrengungen mehr, sondern investiert seine Arbeitskraft stattdessen in eine alternative Verwendung. Alle übrigen Bestandteile der Formel (165) bleiben ebenso unverändert.

Ein Nachteil der Formel (165) liegt darin, dass sich hinter ihrer relativ einfachen Notation – zumindest im Vergleich mit der Formel (162) – erhebliche Schwierigkeiten verbergen, das generische Prinzipal-Agent-Problem mit Hilfsmitteln der Marginalanalyse zu lösen. Auf die Schwierigkeiten, die von der „arg max"-Relation bei der Lösung mathematischer Optimierungsprobleme verursacht werden, wurde bereits an früherer Stelle eingegangen. Sie betreffen hier in Formel (165) das Optimierungsproblem des Prinzipals. Darüber hinaus bereitet die neu eingeführte „arg maxx"-Relation für die Kombination aus Anreizkompatibilitätsrestriktion und Partizipationsrestriktion des Agenten besondere Komplikationen. Denn sie besitzt eine „gespaltene" Funktionsvorschrift, die einerseits die ohnehin schwer handhabbare „arg max"-Relation umfasst und andererseits eine zusätzliche Fallunterscheidung erfordert. Funktionen mit solchen Fallunterscheidungen weisen im Allgemeinen unstetige Sprungstellen auf, in deren Umgebung sich die konventionellen mathematischen Instrumente der Marginalanalyse nicht mehr anwenden lassen, weil sie in der Regel (zumindest zweimal) stetig differenzierbare Funktionen voraussetzen.

Die zuvor angesprochenen „lösungstechnischen" Schwierigkeiten der Formel (165) werden hier nicht weiter vertieft, weil es bei der Rekonstruktion der Miniaturtheorie, die das ADL-Modell in seiner Form für das generische Prinzipal-Agent-Problem wiedergibt, „nur" um die *Struktur* dieser Miniaturtheorie geht. Dagegen spielt die Frage, wie sich das Prinzipal-Agent-Problem im Rahmen dieser Theoriestruktur möglichst einfach oder effizient *lösen* lässt, hier noch keine Rolle. Dieser lösungstechnische Aspekt gewinnt erst dann an Bedeutung, wenn nicht mehr das zunächst vorgestellte ADL-Modell für das generische Prinzipal-Agent-Problem, sondern das modifizierte ADL-Modell für das operationale Prinzipal-Agent-Problem rekonstruiert wird. Die Rekonstruktion des ADL-Modells für das operationale Prinzipal-Agent-Problem wird in diesem Beitrag jedoch noch nicht beleuchtet, sondern bleibt späteren Erörterungen vorbehalten.

Allerdings bleibt der Einwand, dass mithilfe der „arg maxx"-Relation die formalsprachliche Notation der nomischen Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell" nur scheinbar vereinfacht wurde. Zwar fällt die Formel (165) aufgrund der Verwendung der „arg maxx"-Relation zweifellos erheblich kompakter als die Formel (162) aus. Aber *Kompaktheit* stellt nicht den einzigen plausiblen Indikator für Einfachheit dar. Denn ein erheblicher Teil von nicht nur lösungstechnischer, sondern auch von modellierungstechnischer *Komplexität* wird in der Formel (165) mithilfe der „arg maxx"-Relation lediglich verborgen, aber nicht beseitigt. Die modellierungstechnische Komplexität – und daraus folgend auch die lösungstechnische Komplexität – wird in der Formel (165) nur deshalb nicht unmittelbar sichtbar, weil sie in die „Hilfsformel" (164) zur Definition der „arg maxx"-Relation ausgelagert wurde.

---

meine nomische Hypothese gemäß Formel (161), für die spezielle nomische Hypothese gemäß Formel (162) und sogar auch für die Formulierungsvariante der nomischen Hypothese in Formel (167), die in Kürze vorgestellt wird. Daher kann dieser Mangel zurzeit noch nicht beseitigt werden. Es gilt, in Zukunft alternative Modellierungsansätze zu entwickeln, die eine „saubere" Modellierung gemäß dem o.a. Grundpostulat gewährleisten. Ein Ansatz in dieser Richtung könnte darin bestehen, zwei zusätzliche Prädikate für die Repräsentation der beiden Sachverhalte einzuführen, dass der Agent den angebotenen Vertrag mit dem Prinzipal entweder annimmt oder ablehnt. Diese beiden Prädikate wären zur inhaltlichen Differenzierung des formalsprachlichen Ausdrucks eff* = 0 zu verwenden, indem z.B. dieser Ausdruck in den Formeln für die nomische Hypothese einmal mit dem Prädikat für die Vertragsannahme und ein anderes Mal mit dem Prädikat für die Vertragsablehnung jeweils durch ein logisches „und" ($\wedge$) verknüpft wird. Die Ausarbeitung dieser Anregung, die sich unmittelbar der Ausdrucksmächtigkeit prädikatenlogischer Formalisierung bedient, bleibt zukünftigen Forschungsarbeiten zur hier diskutierten Thematik vorbehalten.

Ein Ansatz, die Verwendung der komplexen „arg maxx“-Relation bei der Formulierung der nomischen Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ zu vermeiden, besteht darin, eine zweite Nutzenfunktion $ut_{\overline{ag}}$ für den Agenten einzuführen.[1] Sie spezifiziert den Nutzen des Agenten, wenn er das Vertragsangebot des Prinzipals nicht annimmt, sondern seine Exit-Option wahrnimmt und seine Arbeitskraft in eine alternative Verwendungsweise investiert. Zwar wird der höchste Nutzen, den der Agent aus einer bestmöglichen alternativen Verwendungsweise seiner Arbeitskraft zu erzielen vermag, im ADL-Modell bereits als Reservationsnutzen res_{ag} des Agenten berücksichtigt und auf den Wert „0“ normiert ($\mathrm{res}_{ag} = 0$). Aber dieser Reservationsnutzen res_{ag} lässt sich in der Formel (165) für die nomische Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ nicht unmittelbar verwenden, weil der Reservationsnutzen *als Konstante* nicht gestattet, in rein formalsprachlicher Weise auf das optimale *Anstrengungsniveau* eff* = 0 der Exit-Option des Agenten zurückzuschließen, das die Ablehnung des Vertragsangebots des Prinzipals formalsprachlich repräsentiert.[2] Dieser Rückschluss ist aber notwendig, um in der Formel (165) mithilfe der „arg maxx“-Relation das optimale Anstrengungsniveau *eff** des Agenten zu ermitteln, das der Prinzipal in seinem eigenen Optimierungsproblem als rationale Verhaltensweise des Agenten mit „guten Gründen“ antizipiert.

Um diesen formalsprachlich notwendigen Rückschluss vom Reservationsnutzen res_{ag} des Agenten auf sein optimales Anstrengungsniveau eff* = 0 der Exit-Option zu ermöglichen, wird die neue Nutzenfunktion $ut_{\overline{ag}}$ verwendet. Für sie gilt:

$$\begin{aligned} \mathrm{ut}_{\overline{ag}}:\ \{0\} &\mapsto \mathbb{R}_{\geq 0} \\ 0 &\mapsto \mathrm{ut}_{\overline{ag}}(0) = \mathrm{res}_{ag} = 0 \end{aligned} \tag{166}$$

Mithilfe dieser Nutzenfunktion $ut_{\overline{ag}}$ lässt sich die Formel (165) inhaltlich äquivalent so modifizieren, dass die komplizierte „arg maxx“-Relation nicht mehr benötigt wird:[3]

---

1) Die Notation mit dem „Oberstrich“ über dem Index „ag“ soll andeuten, dass es sich *nicht* mehr um einen *Agenten* handelt („Oberstriche“ werden mitunter für negierte Formeln verwendet), der im Rahmen eines Arbeitsvertrags für seinen Prinzipal agiert, sondern um denselben Akteur, der seine Arbeitskraft in eine alternative Verwendungsweise investiert.

2) Vgl. dazu die Erläuterungen, die zu dieser formalsprachlichen Behandlung der Exit-Option des Agenten bereits im Zusammenhang mit der Formel (165) erfolgten, insbesondere die vertiefenden und weiterführenden Erwägungen in der zugehörigen Fußnote.

3) Die nachstehende Formulierung der nomischen Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ mithilfe einer Nutzenfunktion $ut_{\overline{ag}}$ für den Reservationsnutzen des Agenten und mithilfe einer „arg max“-Relation, die auf einen […;…]-Term mit *zwei* Teiltermen bezogen wird, lag schon den beiden vorangehenden Beiträgen ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004a), S. 28, und ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004b), S. 19, zugrunde. Allerdings wurde dort nicht die hier in Formel (167) betrachtete spezielle nomische Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ adressiert, sondern deren allgemeine nomische Hypothese gemäß Formel (161).
In Formel (167) wird die „arg max“-Relation auf den […;…]-Term mit *zwei* Teiltermen bezogen, auf den sich die Definition der „arg max“-Relation gemäß Formel (163) nicht unmittelbar anwenden lässt. Daher muss die Definition der „arg max“-Relation im Hinblick auf Formel (163) wie folgt angepasst werden:

$$\forall x:\ \arg\max\big(g(x);h(x)\big) = \begin{cases} \arg\max h(x) = \left\{x^* \,\middle|\, h(x^*) \geq h(x)\right\}; & \text{falls } h(x) \geq g(x) \\ \arg\max g(x); & \text{falls } h(x) < g(x) \end{cases}$$

Diese Anpassung stellt sicher, dass dann, wenn der Erwartungsnutzen des Agenten bei der Annahme des angebotenen Vertrags exakt seinem Reservationsnutzen bei Ablehnung des angebotenen Vertrags entspricht, der Arbeitsvertrag mit dem Prinzipal zustande kommt und der Agent ein entsprechendes optimales Anstrengungsniveau *eff** gemäß seiner Erwartungsnutzenfunktion realisiert. Dies stimmt exakt mit der Formulierung der speziellen nomischen Hypothese in Formel (162) überein.

➥

$\forall\, \text{eff}, \text{eff}^* \in D_{\text{effort\_level}}\ \forall\, \text{inv}, \text{inv}^* \in D_{\text{inventory\_level}}\ \forall\, \text{fix}, \text{fix}^* \in D_{\text{fixed}}\ \forall\, \text{sha}, \text{sha}^* \in D_{\text{share}}$

$\forall\, \alpha \in D_{\text{risk\_aversion}}\ \forall\, \text{res}_{\text{ag}} \in D_{\text{reservation\_utility}}:$

$$\text{decision\_principal}(\text{inv}^*, \text{fix}^*, \text{sha}^*) \ \wedge\ \text{decision\_agent}(\text{eff}^*)$$

$$\rightarrow \left(\begin{array}{l} \underbrace{\begin{array}{l}(\text{inv}^*, \text{fix}^*, \text{sha}^*) \in \arg\max_{\text{inv} \in D_{\text{inventory\_level}},\ \text{fix} \in D_{\text{fixed}},\ \text{sha} \in D_{\text{share}}} \ldots \\ \qquad\qquad \left[\text{pro}(\text{eff}^*, \text{inv}) - \left(\text{fix} + \text{sha} \bullet \text{pro}(\text{eff}^*, \text{inv})\right) - \text{lks} \bullet \text{inv}\right]\end{array}}_{\text{Optimierungsproblem des Prinzipals}} \\ \wedge\ \underbrace{\text{eff}^* \in \arg\max_{\text{eff} \in D_{\text{effort\_level}}} \left[\text{ut}_{\overline{\text{ag}}}(0)\,;\ \int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - e^{-\alpha \bullet (\text{fix}^* + \text{sha}^* \bullet \text{out}(\text{eff}, \text{inv}^*, \varepsilon) - \text{sdu} \bullet \text{eff})}\right) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \right]}_{\text{Anreizkompatibilitätsrestriktion und Partizipationsrestriktion des Agenten}} \end{array} \right) \quad (167)$$

Für die spezielle nomische Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ stehen mit den Formeln (162), (165) und (167) drei alternative Formulierungsoptionen zur Verfügung. Zugunsten der Formeln (165) und (167) spricht jeweils ihre Kompaktheit. Dafür sind aber beide darauf angewiesen, neuartige formalsprachliche Konstrukte einzuführen: die „arg maxx“-Relation für die Formel (165) und die Nutzenfunktion $ut_{\overline{ag}}$ für die Formel (167). Dagegen erweist sich die Formel (162) als relativ aufwändig im Sinne von umfangreich. Sie besitzt jedoch zwei Vorzüge. Erstens kommt sie ohne Einführung neuartiger formalsprachlicher Konstrukte aus. Zweitens herrscht nur in der Formel (162) eine weitgehende Kongruenz zwischen formalsprachlichen Konstrukten einerseits und inhaltlichen Determinanten des zugrunde liegenden Realproblems andererseits. Diese Kongruenz betrifft zunächst die formalsprachlich klare Separierung von Anreizkompatibilitätsrestriktion und Partizipationsrestriktion des Agenten in der Formel (162), während diese beiden Restriktionen in den Formeln (165) und (167) in der „arg max“-Relation für den Agenten auf weniger transparente Weise miteinander kombiniert werden. Hinzu kommt, dass die Exit-Option des Agenten nur in der Formel (162) als eigenständiger Formelbestandteil modelliert wird, dagegen in den Formeln (165) und (167) nur noch in relativ intransparenter Weise als Komponente „0“ bzw. „$\text{ut}_{\overline{\text{ag}}}(0)$“ enthalten ist.

Wird zusätzlich das Wissen genutzt, dass in Formel (167) die Funktion *g* durch die Nutzenfunktion $ut_{\overline{ag}}$ des Agenten für seinen Reservationsnutzen bei Ausübung der Exit-Option ersetzt wird und diese Nutzenfunktion $ut_{\overline{ag}}$ gemäß Formel (166) nur für das eine Argument eff = 0 definiert ist, so kann die o.a. Anpassung der „arg max“-Relation im Hinblick auf Formel (167) auch auf folgende Weise geschehen:

$$\forall x:\ \arg\max\left(\text{ut}_{\overline{\text{ag}}}(0); h(x)\right) = \begin{cases} \arg\max h(x) = \left\{x^* \,\middle|\, h(x^*) \geq h(x)\right\}; & \text{falls } h(x) \ \geq\ \text{ut}_{\overline{\text{ag}}}(0) = \text{res}_{\text{ag}} = 0 \\ \arg\max \text{ut}_{\overline{\text{ag}}}(0) = 0\,; & \text{falls } h(x) \ <\ \text{ut}_{\overline{\text{ag}}}(0) = \text{res}_{\text{ag}} = 0 \end{cases}$$

Nur am Rande sei darauf hingewiesen, dass die explizite Definition der „arg max“-Relation für den […;…]-Term aus Formel (167) mit zwei Teiltermen die gleiche „gespaltene“ Struktur wie die „arg maxx“-Relation aufweist, die in Formel (164) eingeführt wurde, um die spezielle nomische Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ gemäß Formel (165) formulieren zu können. Die Schwierigkeiten, welche die „arg maxx“-Relation in lösungstechnischer Hinsicht bereitet, werden durch den Übergang zur Nutzenfunktion $ut_{\overline{ag}}$ daher letztlich nicht beseitigt, sondern treten lediglich an anderer Stelle – bei der Anwendung der „arg max“-Relation auf den […;…]-Term aus Formel (167) mit zwei Teiltermen – in ähnlicher Weise wieder auf.

Zu Recht könnte eingewendet werden, dass es „unsauber“ erscheint, innerhalb desselben formalsprachlichen Kalküls dasselbe formalsprachliche Konstrukt – hier die Relation *arg max* – auf zwei eng verwandte, aber dennoch unterschiedliche Weisen zu definieren. Dieser Einwand bleibt jedoch unerheblich, weil im Folgenden aufgezeigt wird, dass der Modellierungsansatz der Formel (167) zwar diskussionswürdig erscheint, aber im Interesse einer „sauberen“ Modellierung zugunsten der Formel (162) letztlich doch verworfen wird. Daher braucht hier nicht der zusätzliche formalsprachliche Aufwand investiert zu werden, für die Formel (167) eine neuartige Relation einzuführen, die an die Stelle der „arg max“-Relation tritt.

Unter Abwägung der voranstehenden Argumente präferiert der Verfasser die Formel (162) zur Formulierung der speziellen nomischen Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“. Ausschlaggebend für diese Präferenz ist das Argument, dass nur die Formel (162) eine weitgehende Kongruenz zwischen formalsprachlichen Konstrukten einerseits und inhaltlichen Determinanten des zugrunde liegenden Realproblems andererseits sicherzustellen vermag. Diese Kongruenz erweist sich aus der Perspektive des Desiderats, eine möglichst „saubere“ Modellierung von Realproblemen zu leisten,[1)] als besonders schwerwiegendes Argument zugunsten der Formel (162). Daher wird im hier vorgelegten Beitrag davon ausgegangen, dass in einer strukturalistischen Rekonstruktion des ADL-Modells die Formel (162) verwendet wird, um die spezielle nomische Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ zu repräsentieren. Folglich kann in diesem Beitrag für die strukturalistischen Theorierekonstruktion darauf verzichtet werden, die neuartigen formalsprachlichen Konstrukte zu spezifizieren, die als „arg maxx“-Relation für die Formel (165) und als Nutzenfunktion $ut_{\overline{ag}}$ für die Formel (167) erforderlich gewesen wären. ***Ende des Exkurses***

(c) intendierter Anwendungsbereich I_T

Der intendierte Anwendungsbereich einer Theorie *T* wird im Rahmen des konventionellen Theorienkonzepts zumeist vernachlässigt. Zumindest im Bereich der Wirtschaftswissenschaften finden sich kaum konventionell formulierte Theorien, deren intendierter Anwendungsbereich auch nur ansatzweise *formalsprachlich* präzisiert wird.[2)] Daher wird im Folgenden großer Wert darauf gelegt, den intendierten Anwendungsbereich der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ möglichst weitgehend[3)] mit formalsprachlichen Ausdrucksmitteln zu charakterisieren. Durch die – zumindest partielle – explizite formalsprachliche Spezifizierung des intendierten Anwendungsbereichs wird ein weiterer Beitrag dazu geleistet, den eingangs festgestellten Strukturierungsdefekt des ADL-Modells zu überwinden. Zugleich erfolgt auf diese Weise ein Beitrag zum wissenschaftlichen Fortschritt, da bislang keine Arbeiten Dritter[4)] bekannt geworden sind, die sich um eine formalsprachliche (Teil-) Explizierung des intendierten Anwendungsbereichs einer Variante der Prinzipal-Agent-Theorie bemüht hätten.

---

1) Vgl. dazu das bereits erwähnte Grundpostulat „sauberer“ Modellierung, dass materiell verschiedenartige Sachverhalte in einem Modell auch durch unterschiedliche formalsprachliche Konstrukte repräsentiert werden sollen.

2) Dagegen wird der intendierte Anwendungsbereich einer Theorie oftmals natürlich umschrieben. Vgl. dazu beispielsweise die sehr sorgfältige Auflistung intendierter Anwendungsbereiche für die Prinzipal-Agent-Theorie bei ALPARSLAN (2006), S. 3 u. 35 ff.

3) Es wurde schon an früherer Stelle darauf hingewiesen, dass im strukturalistischen Theorienkonzept keineswegs der naive Glauben propagiert wird, die intendierten Anwendungsbereiche von Theorien ließen sich vollständig formalisieren. Vielmehr wird mit „guten“, wissenschaftstheoretisch tiefschürfenden Gründen – insbesondere unter Berufung auf das LÖWENHEIM/SKOLEM-Theorem – die Ansicht vertreten, dass nur eine partielle Formalisierung des intendierten Anwendungsbereichs einer Theorie geleistet werden kann. Nicht mehr wird auch im hier vorgelegten Beitrag angestrebt. Allerdings wird der Grundsatz vertreten, dass in diesem Rahmen lediglich partieller Formalisierbarkeit der Versuch, den intendierten Anwendungsbereich einer Theorie formalsprachlich zu spezifizieren, möglichst weit vorangetrieben wird. Hinter diesem Grundsatz steht die allgemeine Erfahrung, dass die Präzision der Formulierung einer Theorie mit ihrer formalsprachlichen Explizierung tendenziell zunimmt.

4) In den beiden Publikationen von ALPARSLAN und ZELEWSKI, auf denen der hier vorgelegte Beitrag aufbaut, wurde der intendierte Anwendungsbereich der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ erstmals formalsprachlich (partiell) spezifiziert. Vgl. ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004a), S. 28 f., und ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004b), S. 19 ff. Die dort vorgetragenen Ansätze werden hier weiterentwickelt. Insbesondere werden formalsprachliche *Randbedingungen* des ADL-Modells erstmals ausformuliert, die in den vorgenannten Publikationen noch nicht berücksichtigt wurden. Darüber hinaus erfolgt eine formalsprachliche Überarbeitung der Formulierungen in diesen beiden Publikationen.

(ca) Interpretationsbedingungen

Die Interpretationsbedingungen dienen dazu, die formalsprachlichen Konstrukte der Sorten sowie der Funktions- und der Prädikatssymbole im Hinblick auf das zugrunde liegende Realproblem zu konkretisieren. Dazu dienen erstens Definitionsbereiche „D“, die jeder Sorte eine Menge zulässiger Terme zuordnen. Diese Terme können, wie bereits erläutert, atomare Konstanten oder Variablen darstellen oder mithilfe von Funktionen aus bereits eingeführten Termen beliebig komplex zusammengesetzt sein. Zweitens werden den Funktionssymbolen konkrete Funktionsvorschriften zugeordnet, die beschreiben, wie die Funktionssymbole im intendierten Anwendungsbereich der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ anzuwenden sind. Durch die „Interpretation“ mittels konkreter Funktionsvorschriften werden die Funktionssymbole in konventionelle Funktionen transformiert.[1)] Daher werden in der Rubrik (cab) des speziellen Strukturschemas aus Abb. 2 nicht mehr Funktionssymbole, sondern Funktionen spezifiziert.

Drittens sind Extensionen der Prädikatssymbole erforderlich, um in einem einzelnen konkreten Anwendungsfall der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ auszudrücken, welche Entscheidungen des Prinzipals für ein Lagerhaltungsniveau *inv** sowie für die fixe und die variable Komponente *fix** bzw. *sha** des Arbeitsentgelts und welche Entscheidungen des Agenten für ein Anstrengungsniveau *eff** tatsächlich beobachtet wurden. Jedes 3-Tupel (inv*,fix*,sha*) solcher Beobachtungen und jeder beobachtete Wert eff* wäre ein Element aus der Extension des Prädikatssymbols *decision_principal* bzw. aus der Extension des Prädikatssymbols *decision_agent* und würden zu „wahren“ oder „gültigen“ Prädikaten decision_principal(inv*,fix*,sha*) bzw. decision_agent(eff*) gehören. Die Miniaturtheorie „ADL-Modell“ erstreckt sich jedoch mit ihrem intendierten Anwendungsbereich *nicht* nur auf einen *einzelnen* konkreten Anwendungsfall der Miniaturtheorie, sondern auf die *Gesamtheit* aller intendierten Anwendungsfälle. Daher stellt es eine bemerkenswerte Besonderheit der prädikatenlogischen Rekonstruktion von Theorien aus der Perspektive des strukturalistischen Theorienkonzepts dar, dass für die Spezifizierung des intendierten Anwendungsbereichs der jeweils betroffenen Theorie *keine Prädikatsextensionen* festgelegt werden. Daher braucht im Folgenden die Rubrik (cac) „Extensionen der Prädikatssymbole“ aus der Abb. 2 nicht berücksichtigt zu werden.

(caa) Definitionsbereiche der Sorten

$$D_{\text{compensation}} = \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{168}$$

$$D_{\text{disutility}} = \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{169}$$

$$D_{\text{effort\_level}} = \text{EFF mit EFF} \subseteq \mathbb{R}_{\geq 0} \quad ^{2)} \tag{170}$$

$$D_{\text{expected\_utility\_agent}} = \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{171}$$

$$D_{\text{expected\_utility\_principal}} = \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{172}$$

1) In der Rubrik (cab) „Funktionsvorschriften für die Funktionssymbole“ werden daher nicht mehr Funktionssymbole, sondern Funktionen angeführt. Die Bezeichnungen dieser Funktionen werden nicht mehr wie Funktionssymbole kursiv notiert, sondern „normal“ formatiert dargestellt. An dieser Stelle tritt eine notationelle Unschärfe auf: Einerseits werden in diesem Beitrag Funktionssymbole bewusst kursiv notiert, um sie von Funktionen deutlich zu unterscheiden. Andererseits ist es allgemein üblich, in natürlichsprachlichen Texten die Bezeichnungen von Funktionen ebenso kursiv zu notieren, um sie gegenüber natürlichsprachlichen Formulierungen deutlich abzuheben. Auch auf diese Usance wurde im hier vorgelegten Beitrag zurückgegriffen. Daher kann es zu „notationellen Kollusionen“ derart kommen, dass in einer natürlichsprachlichen Textpassage eine kursiv notierte Bezeichnung sowohl für ein Funktionssymbol als auch für eine Funktion stehen kann. In späteren Publikationen ist zu erwägen, diese Unschärfe durch eine andersartige Notation von Funktionssymbolen zu beseitigen.

2) Vgl. Formel (1).

$$D_{fixed} = \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{173}$$

$$D_{inventory\_costs} = \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{174}$$

$$D_{inventory\_level} = \text{INV mit INV} \subseteq \mathbb{R}_{\geq 0} \quad ^{1)} \tag{175}$$

$$D_{mean} = \mathbb{R} \tag{176}$$

$$D_{output\_provisional} = \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{177}$$

$$D_{output} = \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{178}$$

$$D_{probability} = \mathbb{R}_{[0;1]} \tag{179}$$

$$D_{random\_term} = \mathbb{R} \tag{180}$$

$$D_{reservation\_utility} = \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{181}$$

$$D_{risk\_aversion} = \mathbb{R}_{>0} \quad ^{2)} \tag{182}$$

$$D_{risk\_utility\_agent} = \mathbb{R}_{>0} \tag{183}$$

$$D_{risk\_utility\_principal} = \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{184}$$

$$D_{share} = \mathbb{R}_{]0;1]} \tag{185}$$

$$D_{utility\_agent} = \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{186}$$

$$D_{utility\_principal} = \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{187}$$

$$D_{variance} = \mathbb{R}_{\geq 0} \tag{188}$$

(cab) Funktionsvorschriften für die Funktionssymbole[3)]

$$\text{ae:} \quad D_{output} \times D_{fixed} \times D_{share} \mapsto D_{compensation} \quad ^{4)} \tag{189}$$

---

1) Vgl. Formel (2).

2) Vgl. Formel (29).

3) Wegen $\text{out}(\text{eff}, \text{inv}, \varepsilon) = \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) + \varepsilon$ könnte in allen nachfolgenden Funktionsvorschriften, in denen die stochastische Outputfunktion *out* vorkommt, der Term $\text{out}(\text{eff}, \text{inv}, \varepsilon)$ durch den Term $\text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) + \varepsilon$ mithilfe der Produktionsfunktion *pro* und der Störgröße ε ersetzt werden. Dies würde zwar zu einer einheitlicheren Darstellungsweise der Funktionsvorschriften führen und auch die stochastische Outputfunktion *out* bräuchte in der strukturalistisch rekonstruierten Miniaturtheorie „ADL-Modell" überhaupt nicht mehr enthalten zu sein. Aber der unmittelbare Anschluss an die Formeln, die bei der Erläuterung des ADL-Modells im 2. Kapitel verwendet wurden, ginge hierdurch verloren. Daher wird im Folgenden auf eine solche Vereinheitlichung der Funktionsvorschriften verzichtet.

4) An dieser Stelle wird von der ursprünglichen Formulierung der Miniaturtheorie „ADL-Modell" in formalsprachlicher Hinsicht leicht abgewichen, ohne jedoch den materiellen Gehalt der Theorieformulierung zu ändern. Ursprünglich war für das Arbeitseinkommen des Agenten die Funktion $ae_{fix.sha}$ definiert worden, in der die Werte *fix* und *sha* für die fixe bzw. die variable Komponente des Arbeitseinkommens als Parameter der Funktion behandelt werden. Als solche Funktionsparameter gehören sie nicht zur Konstitution des Definitionsbereichs der Funktion und können somit auch nicht als unabhängige Variablen im Argument des Funktionsoperators vorkommen, sondern werden als exogen „vorgegeben" behandelt. Dies lässt sich in Bezug auf das Optimierungsproblem des Agenten durchaus vertreten, wenn sich der Agent bei der Maximierung seines eigenen Erwartungsnutzens nach den Rahmenbedingungen richten muss, die ihm vom Prinzipal im Rahmen des Vertragsangebots vorgegeben werden. Dazu gehören neben der funktionalen Gestalt der Entgeltfunktion vor allem auch die Werte *fix* und *sha* für die fixe bzw. die variable Komponente des Arbeitsentgelts, das aus der Sicht des Agenten sein Arbeitseinkommen darstellt. Allerdings sind aus dem Blickwinkel des generischen Prinzipal-Agent-Problems in der Miniaturtheorie „ADL-Modell" das Optimierungsproblem des Agenten und das Optimierungsproblem des Prinzipals wechselseitig miteinander verschränkt. Aus dieser Perspektive sind die Werte *fix* und *sha* für die fixe bzw. die variable Komponente ➥

$$\big(\mathrm{out}\big(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon\big),\mathrm{fix},\mathrm{sha}\big) \mapsto \mathrm{ae}\big(\mathrm{out}\big(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon\big),\mathrm{fix},\mathrm{sha}\big)$$ [1)]

ak: $$\mathrm{D}_{\mathrm{output}} \times \mathrm{D}_{\mathrm{fixed}} \times \mathrm{D}_{\mathrm{share}} \mapsto \mathrm{D}_{\mathrm{compensation}} \qquad (190)$$

$$\big(\mathrm{out}\big(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon\big),\mathrm{fix},\mathrm{sha}\big) \mapsto \mathrm{ak}\big(\mathrm{out}\big(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon\big),\mathrm{fix},\mathrm{sha}\big) = \mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon)$$ [2)]

---

des Arbeitsentgelts keineswegs exogen „vorgegeben“, sondern stellen unabhängige Variablen im Optimierungskalkül des Prinzipals dar. Als solche unabhängige Variablen lassen sie sich nicht als exogen „variable“ Funktionsparameter behandeln. In der nomischen Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ gemäß den Formeln (161), (162), (165) und (167) werden die beiden Optimierungsprobleme des Prinzipals und des Agenten erstmals in nur einer (prädikatenlogischen) Formel miteinander kombiniert. Daher wird es spätestens an dieser Stelle der strukturalistischen Rekonstruktion der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ erforderlich, die Werte *fix* und *sha* für die fixe bzw. die variable Komponente des Arbeitsentgelts nicht mehr als Funktionsparameter, sondern in formal gleichartiger Weise als unabhängige Variablen sowohl in der Funktion *ak* der Arbeitskosten des Prinzipals als auch in der Funktion *ae* für das Arbeitseinkommen des Agenten zu verwenden. Folglich entfällt in beiden vorgenanten Funktionen das Subskript „fix.sha“ für die beiden ehemaligen Funktionsparameter, die nun in der formalsprachlichen Rolle von unabhängigen Variablen der beiden Funktionen verwendet wurden.

Es wurde bewusst darauf verzichtet, im Nachhinein die ursprüngliche Formulierung der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ entsprechend zu revidieren, indem auch dort die Werte *fix* und *sha* für die fixe bzw. die variable Komponente des Arbeitsentgelts als unabhängige Variablen in den beiden Funktionen *ak* und *ae* für die Arbeitskosten des Prinzipals bzw. für das Arbeitseinkommen des Agenten verwendet werden. Auf diese Weise soll veranschaulicht werden, dass die *Rekonstruktion* einer Theorie in einem neuartigen konzeptionellen und formalsprachlichen Rahmen – wie hier im Rahmen des strukturalistischen Theorienkonzepts und einer sortierten Prädikatenlogik erster Stufe – eine aktive Gestaltungsleistung darstellt, die u.a. zu neuartigen, „ausgereifteren“ Theorieformulierungen als im zugrunde liegenden Original gelangt. Um Missverständnissen vorzubeugen, sei jedoch darauf hingewiesen, dass diese Ausreifung der Theorieformulierung keineswegs im kausalen Sinne dem strukturalistischen Theorienkonzept oder einer sortierten Prädikatenlogik erster Stufe zugerechnet werden kann. Vielmehr hätte eine solche Ausreifung auch anlässlich der Auseinandersetzung mit anderen formalsprachlichen Konzepten und Kalkülen stattfinden können. Die Theorierekonstruktion aus strukturalistischer und prädikatenlogischer Perspektive ist vielmehr als eine Art Impulsgeber aufzufassen, der zu einer besonders intensiven Auseinandersetzung mit der formalsprachlichen Struktur einer Theorie anregt. Was die Ergebnisse einer solchen Anregung sind, lässt sich dem Impulsgeber nicht mehr kausal zurechnen, sondern stellt das Produkt eines kreativen Rekonstruktionsprozesses dar.

1) An dieser Stelle hätte „eigentlich“ $\mathrm{ak}\big(\mathrm{out}\big(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon\big),\mathrm{fix},\mathrm{sha}\big) = \mathrm{fix} + \mathrm{sha} \bullet \mathrm{out}(\mathrm{eff},\mathrm{inv},\varepsilon)$ als explizite Funktionsvorschrift für die Funktion *ae* nahegelegen. Dies wäre auch durchaus möglich gewesen. Stattdessen wird aber hier der Ansatz bevorzugt, diese Funktionsvorschrift später mithilfe einer Randbedingung festzulegen, die ausdrückt, dass die Funktionsvorschrift für die Funktion *ae* des Arbeitseinkommens des Agenten stets mit der Funktionsvorschrift für die Funktion *ak* der Arbeitskosten des Prinzipals übereinstimmt. Diese Wahlmöglichkeit für die Spezifizierung der Funktionsvorschrift für die Funktion *ae* verdeutlicht den bereits in einer vorangehenden Fußnote angedeuteten Spielraum, Restriktionen für den intendierten Anwendungsbereich einer Theorie entweder in den Interpretations- oder aber in den Randbedingungen dieser Theorie einzuführen. Zugleich unterstreicht diese Wahlmöglichkeit die Feststellung in der unmittelbar vorangehenden Fußnote, dass es sich bei der Rekonstruktion um eine aktive Gestaltungsleistung handelt, die Gestaltungsspielräume kreativ ausfüllt. Zugunsten der hier bevorzugten Gestaltungsalternative, die Funktionsvorschrift der Funktion *ae* mithilfe einer Randbedingung festzulegen, spricht, dass mit dieser Randbedingung die Gleichheit der Funktionsvorschriften für die Funktionen *ae* und *ak* einmalig in „generischer“ Weise spezifiziert wird. Andernfalls müsste die Funktionsvorschrift der Funktion *ae* stets angepasst werden, sobald die Funktionsvorschrift der Funktion *ak* modifiziert wird – solange inhaltlich an der Prämisse festgehalten wird, dass die Funktionsvorschriften der beiden Funktionen nicht voneinander abweichen. Eine solches „stetes“ Anpassungserfordernis bereitet nicht nur erheblichen Aufwand (sofern die Funktionsvorschrift der Funktion *ak* tatsächlich modifiziert wird), sondern trägt auch die Gefahr in sich, dass die Theorieformulierung bezüglich der vorgenannten Prämisse gleicher Funktionsvorschriften inkonsistent wird, wenn die Anpassung der Funktionsvorschrift der Funktion *ae* bei einer Modifizierung der Funktionsvorschrift der Funktion *ak* einmal schlicht vergessen wurde. Daher weist die Gestaltungsalternative, die Funktionsvorschrift der Funktion *ae* mithilfe einer Randbedingung festzulegen, den Vorzug einer Kombination aus größerer Modifizierungsfreundlichkeit und Konsistenzwahrung für die Theorieformulierung auf.

2) Vgl. Formel (16).

$$\text{dut:}\quad D_{\text{effort\_level}} \mapsto D_{\text{disutility}} \quad ^{1)} \qquad (191)$$

$$\text{eff} \mapsto \text{dut(eff)} = \text{sdu} \bullet \text{eff} \quad ^{2)}$$

$$\text{E:}\quad D_{\text{random\_term}} \mapsto D_{\text{mean}} \qquad (192)$$

$$\varepsilon \mapsto E(\varepsilon) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon = 0 \quad ^{3)}$$

$$\text{Eut}_{\text{ag}}:\quad D_{\text{effort\_level}} \times D_{\text{inventory\_level}} \times D_{\text{fixed}} \times D_{\text{share}} \times D_{\text{risk\_aversion}} \mapsto D_{\text{expected\_utility\_agent}} \qquad (193)$$

$$(\text{eff}, \text{inv}, \text{fix}, \text{sha}, \alpha) \mapsto \text{Eut}_{\text{ag}}(\text{eff}, \text{inv}, \text{fix}, \text{sha}, \alpha)$$
$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - e^{-\alpha \bullet (\text{fix} + \text{sha} \bullet \text{out}(\text{eff}, \text{inv}, \varepsilon) - \text{sdu} \bullet \text{eff})}\right) \bullet f(\varepsilon)\, d\varepsilon \quad ^{4)}$$

$$\text{Eut}_{\text{pr}}:\quad D_{\text{effort\_level}} \times D_{\text{inventory\_level}} \times D_{\text{fixed}} \times D_{\text{share}} \mapsto D_{\text{expected\_utility\_principal}} \qquad (194)$$

$$(\text{eff}, \text{inv}, \text{fix}, \text{sha}) \mapsto \text{Eut}_{\text{pr}}(\text{eff}, \text{inv}, \text{fix}, \text{sha})$$
$$= \text{pro}(\text{eff}, \text{inv}) - (\text{fix} + \text{sha} \bullet \text{pro}(\text{eff}, \text{inv})) - \text{lks} \bullet \text{inv} \quad ^{5)}$$

---

1) Im Gegensatz zu den o.a. Funktionen *ak* und *ae* für die Arbeitskosten des Prinzipals bzw. für das Arbeitseinkommen des Agenten wird hier am exogen „vorgegebenen“ Parameter *sdu* für das spezifische Arbeitsleid des Agenten festgehalten. Denn es stellt weder für das Optimierungsproblem des Prinzipals noch für das Optimierungsproblem des Agenten eine unabhängige Variable dar, über die der Prinzipal bzw. der Agent frei disponieren könnte. Stattdessen wird davon ausgegangen, dass das spezifische Arbeitsleid *sdu* des Agenten tatsächlich eine exogene Größe darstellt, die innerhalb des ADL-Modells keiner Variation zugänglich ist.

2) Vgl. Formel (26).

3) Vgl. Formel (10).
Da der Erwartungswert E(•) im Folgenden nur benötigt wird, um eine Interpretationsbedingung für die Dichtefunktion f aufzustellen, brauchen alternative Definitionsbereiche und alternative Funktionsvorschriften der Erwartungswertfunktion E hier nicht explizit betrachtet zu werden. Vgl. dazu die Anmerkungen zur „multiplen Sortendefinition“ im Rahmen der Rubrik ab) „Funktionssymbole“ für das Funktionssymbol *E* des Erwartungswerts. Dort wurde das Funktionssymbol *E* des Erwartungswerts u.a. auch mithilfe der Sorten *output* und *compensation* definiert. Diese beiden alternativen („multiplen“) Definitionsweisen des Funktionssymbols *E* müssen hier in der Rubrik cab) „Funktionsvorschriften für die Funktionssymbole“ aber nicht angeführt werden, weil die zugehörigen Erwartungswerte für die Outputfunktion out bzw. für die Funktion ak der Arbeitskosten des Prinzipals nicht benötigt werden, wenn – wie es hier der Fall ist – nur diejenigen Randbedingungen der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ spezifiziert werden, welche die Qualität von Axiomen der Miniaturtheorie besitzen. Vgl. dazu die Erläuterungen in Fußnote 1 auf S. 133.

4) Vgl. Formel (32).

5) Vgl. Formel (23).

f: $D_{random\_term} \mapsto D_{probability}$ (195)

mit entweder:

$$\varepsilon \mapsto f(\varepsilon) = \frac{1}{\sigma_\varepsilon \bullet \sqrt{2\pi}} \bullet e^{-\frac{\varepsilon^2}{2 \bullet \sigma_\varepsilon^2}}$$ 1)

oder aber:

$$\varepsilon \mapsto f(\varepsilon) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{r}{q} \bullet \left(\frac{\varepsilon}{q}\right)^{r-1} \bullet e^{-\left(\frac{\varepsilon}{q}\right)^r} & ;\text{falls } \varepsilon > 0 \\ 0 & ;\text{falls } \varepsilon \le 0 \end{array} \right\} \text{ mit } q \in \mathbb{R}_{>0} \text{ und } r \in \mathbb{R}_{>0}$$ 2)

lk: $D_{inventory\_level} \mapsto D_{inventory\_costs}$ (196)

$$inv \mapsto lk(inv) = lks \bullet inv$$ 3)

out: $D_{effort\_level} \times D_{inventory\_level} \times D_{random\_term} \mapsto D_{output}$ (197)

$$(eff, inv, \varepsilon) \mapsto out(eff, inv, \varepsilon) = pro(eff, inv) + \varepsilon$$ 4)

pro: $D_{effort\_level} \times D_{inventory\_level} \mapsto D_{output\_provisional}$ (198)

$$(eff, inv) \mapsto pro(eff, inv)$$ 5)

---

1) Da das ADL-Modell zur Klasse der LEN-Modelle gehört, wird für seine Dichtefunktion *f* vorausgesetzt, dass sie eine Gaußsche Normalverteilung erfüllt. Folglich muss allgemein gelten:

$$f(\varepsilon) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \bullet V(\varepsilon)}} \bullet e^{-\frac{(\varepsilon - E(\varepsilon))^2}{2 \bullet V(\varepsilon)}}$$; vgl. z.B. LUDERER/NOLLAU/VETTERS (2005), S. 122 f.; PAPULA (2006), S. 410.

Speziell werden im ADL-Modell vorausgesetzt: $E(\varepsilon) = 0$ gemäß Formel (10) und $V(\varepsilon) = \sigma_\varepsilon^2$ gemäß Formel (11). Daraus ergibt sich speziell für die Dichtefunktion *f* des ADL-Modells:

$$f(\varepsilon) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \bullet \sigma_\varepsilon^2}} \bullet e^{-\frac{(\varepsilon - 0)^2}{2 \bullet \sigma_\varepsilon^2}} = \frac{1}{\sigma_\varepsilon \bullet \sqrt{2\pi}} \bullet e^{-\frac{\varepsilon^2}{2 \bullet \sigma_\varepsilon^2}}.$$

2) Die alternative Funktionsvorschrift für die Dichtefunktion *f* ist zu wählen, wenn die additiv verknüpfte und normalverteilte Störgröße *ε* des ADL-Modells durch eine multiplikativ verknüpfte und WEIBULL-verteilte Störgröße *ε* ersetzt wird. Vgl. Kapitel 3.1.3, insbesondere Formel (131) zur Dichtefunktion der speziellen WEIBULL-Verteilung.

3) Vgl. Formel (19).

4) Vgl. Formel (13).

5) Vgl. Formel (3). Analog zur Dichtefunktion *f* wird in der Miniaturtheorie „ADL-Modell" auch für die Produktionsfunktion *pro* keine konkrete Funktionsvorschrift festgelegt. Dies lässt abermals erkennen, dass es sich beim ADL-Modell um kein Modell für einen wohlbestimmten Realitätsausschnitt handelt, sondern um eine (Miniatur-) Theorie, die sich auf eine Vielzahl intendierter Anwendungen in unterschiedlichen Realitätsausschnitten erstreckt. Diese Realitätsausschnitte können sich u.a. durch die Funktionsvorschriften der Produktionsfunktion *pro* auf vielfältige Weise voneinander unterscheiden. Sie müssen lediglich in einigen wenigen „allgemeinen" Hinsichten übereinstimmen. Diese „allgemeinen" Hinsichten werden später unter der Rubrik (cb) „Randbedingungen" mithilfe von Anforderungen an die partiellen Ableitungen der Produktionsfunktion *pro* spezifiziert.

$$\text{rut}_{ag}\text{:}\quad D_{\text{effort\_level}} \times D_{\text{inventory\_level}} \times D_{\text{fixed}} \times D_{\text{share}} \times D_{\text{random\_term}} \times D_{\text{risk\_aversion}} \;\mapsto\; D_{\text{risk\_utility\_agent}} \tag{199}$$

$$\text{rut}_{ag}\left(\text{eff},\text{inv},\text{fix},\text{sha},\varepsilon,\alpha\right) \;=\; 1-e^{-\alpha\,\bullet\,(\text{fix}+\text{sha}\,\bullet\,\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon)\,-\,\text{sdu}\,\bullet\,\text{eff})}$$ 1)

$$\text{rut}_{pr}\text{:}\quad D_{\text{effort\_level}} \times D_{\text{inventory\_level}} \times D_{\text{fixed}} \times D_{\text{share}} \times D_{\text{random\_term}} \;\mapsto\; D_{\text{risk\_utility\_agent}} \tag{200}$$

$$\text{rut}_{pr}\left(\text{eff},\text{inv},\text{fix},\text{sha},\varepsilon\right) \;=\; \left(\text{pro}\left(\text{eff},\text{inv}\right)+\varepsilon\right)-\left(\text{fix}+\text{sha}\bullet\left(\text{pro}\left(\text{eff},\text{inv}\right)+\varepsilon\right)\right)-\text{lks}\bullet\text{inv}$$ 2)

$$\text{ut}_{ag}\text{:}\quad D_{\text{effort\_level}} \times D_{\text{inventory\_level}} \times D_{\text{fixed}} \times D_{\text{share}} \times D_{\text{random\_term}} \;\mapsto\; D_{\text{utility\_agent}} \tag{201}$$

$$\begin{aligned}\left(\text{eff},\text{inv},\text{fix},\text{sha},\varepsilon\right) \;\mapsto\; &\text{ut}_{ag}\left(\text{eff},\text{inv},\text{fix},\text{sha},\varepsilon\right)\\ &= \text{ae}\left(\text{out}\left(\text{eff},\text{inv},\varepsilon\right),\text{fix},\text{sha}\right)-\text{dut}(\text{eff})\\ &= \text{fix}+\text{sha}\bullet\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon)-\text{sdu}\bullet\text{eff}\end{aligned}$$ 3)

$$\text{ut}_{pr}\text{:}\quad D_{\text{effort\_level}} \times D_{\text{inventory\_level}} \times D_{\text{fixed}} \times D_{\text{share}} \times D_{\text{random\_term}} \;\mapsto\; D_{\text{utility\_principal}} \tag{202}$$

$$\begin{aligned}\left(\text{eff},\text{inv},\text{fix},\text{sha},\varepsilon\right) \;\mapsto\; &\text{ut}_{pr}\left(\text{eff},\text{inv},\text{fix},\text{sha},\varepsilon\right)\\ &= \text{out}\left(\text{eff},\text{inv},\varepsilon\right)-\left(\text{ak}\left(\text{out}\left(\text{eff},\text{inv},\varepsilon\right),\text{fix},\text{sha}\right)+\text{lk}\left(\text{inv}\right)\right)\\ &= \left(\text{pro}\left(\text{eff},\text{inv}\right)+\varepsilon\right)-\left(\text{fix}+\text{sha}\bullet\left(\text{pro}\left(\text{eff},\text{inv}\right)+\varepsilon\right)\right)-\text{lks}\bullet\text{inv}\end{aligned}$$ 4)

$$\text{V:}\quad D_{\text{random\_term}} \;\mapsto\; D_{\text{variance}} \tag{203}$$

$$\varepsilon \;\mapsto\; V\left(\varepsilon\right) \;=\; \int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon^2 \bullet f\left(\varepsilon\right) d\varepsilon \;=\; \sigma_\varepsilon^{\;2}$$ 5)

(cb) Randbedingungen

Die Randbedingungen umfassen als eine Art „Sammelbecken“ alle Restriktionen, die zwei Aspekten gerecht werden. Einerseits handelt es sich um Restriktionen, die erforderlich sind, um den formalsprachlichen „Kern“ der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ – gemäß dem speziellen Strukturschema aus Abb. 2 sind hiermit der terminologische Apparat ($M_{p(T)}$) und die nomische Hypothese ($M_{S(T)}$) dieser Miniaturtheorie *T* gemeint – auf diejenigen Realitätsausschnitte einzuschränken, auf welche die Miniaturtheorie „ADL-Modell“ mit ihrer zunächst rein formalsprachlich definierten Struktur S(T) tatsächlich angewendet werden *soll* (*intendierter* Anwendungsbereich). Andererseits kommen als Randbedingungen nur solche Restriktionen in Betracht, die nicht schon mithilfe der voranstehenden Interpretationsbedingungen ausgedrückt wurden.[6)]

---

1) Vgl. Formeln (30) und (31).

2) Vgl. Formel (22).

3) Vgl. Formel (27).

4) Vgl. Formeln (20) und (21).

5) Vgl. Formel (11).

6) Bei der strukturalistischen Rekonstruktion von Theorien liegt keineswegs eindeutig fest, welche Aspekte zur Einschränkung der formalsprachlichen Theoriestruktur auf die intendierten Theorieanwendungen entweder bei der Formulierung der Interpretationsbedingungen oder aber bei der Formulierung der Randbedingungen der jeweils betroffenen Theorie berücksichtigt werden. Denn es bestehen in der Regel formalsprachliche Spezifizierungsspielräume, den gleichen Aspekt als Interpretations- bzw. als Randbedingung auszudrücken. Die Spezifizierung von In-

➥

Im Einzelnen sind in der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ die nachfolgend angeführten Randbedingungen zu berücksichtigen:[1)]

$$\forall \text{eff} \in D_{\text{effort\_level}}\ \forall \text{inv} \in D_{\text{inventory\_level}}\ \forall \text{fix} \in D_{\text{fixed}}\ \forall \text{sha} \in D_{\text{share}}\ \forall \varepsilon \in D_{\text{random\_term}} : \quad \text{ae}\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon),\text{fix},\text{sha}\big) = \text{ak}\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon),\text{fix},\text{sha}\big) \quad ^{2)} \tag{204}$$

$$\forall \text{eff} \in D_{\text{effort\_level}}\ \forall \text{inv} \in D_{\text{inventory\_level}} : \quad \text{pro}_{\partial\text{eff}}(\text{eff},\text{inv}) = \frac{\partial\, \text{pro}(\text{eff},\text{inv})}{\partial\, \text{eff}} > 0 \quad ^{3)} \tag{205}$$

$$\forall \text{eff} \in D_{\text{effort\_level}}\ \forall \text{inv} \in D_{\text{inventory\_level}} : \quad \text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{eff}}(\text{eff},\text{inv}) = \frac{\partial^2 \text{pro}(\text{eff},\text{inv})}{\partial\, \text{eff}^2} < 0 \quad ^{4)} \tag{206}$$

$$\forall \text{eff} \in D_{\text{effort\_level}}\ \forall \text{inv} \in D_{\text{inventory\_level}} : \quad \text{pro}_{\partial\text{inv}}(\text{eff},\text{inv}) = \frac{\partial\, \text{pro}(\text{eff},\text{inv})}{\partial\, \text{inv}} > 0 \quad ^{5)} \tag{207}$$

$$\forall \text{eff} \in D_{\text{effort\_level}}\ \forall \text{inv} \in D_{\text{inventory\_level}} : \quad \text{pro}_{\partial\text{inv}.\partial\text{inv}}(\text{eff},\text{inv}) = \frac{\partial^2 \text{pro}(\text{eff},\text{inv})}{\partial\, \text{inv}^2} < 0 \quad ^{6)} \tag{208}$$

$$\forall \text{eff} \in D_{\text{effort\_level}}\ \forall \text{inv} \in D_{\text{inventory\_level}} : \quad \text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff},\text{inv}) = \frac{\partial^2 \text{pro}(\text{eff},\text{inv})}{\partial\, \text{eff}\ \partial\, \text{inv}} < 0 \tag{209}$$

$$\forall \text{eff}^* \in D_{\text{effort\_level}}\ \forall \text{inv}^* \in D_{\text{inventory\_level}} : \quad \left(\frac{\partial^2 \text{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*)}{\partial\, \text{eff}^2} \bullet \frac{\partial^2 \text{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*)}{\partial\, \text{inv}^2} \right) - \left(\frac{\partial^2 \text{pro}(\text{eff}^*,\text{inv}^*)}{\partial\, \text{eff}\ \partial\, \text{inv}} \right)^2 > 0 \quad ^{7)} \tag{210}$$

---

terpretations- und von Randbedingungen der Miniaturtheorie „ADL-Modell“, die im hier vorgelegten Beitrag präsentiert wird, stellt daher nur eine Option von mehreren Alternativen dar, die sich für die formalsprachliche Spezifizierung des intendierten Anwendungsbereichs dieser Miniaturtheorie grundsätzlich vorstellen lassen.

1) Im Folgenden werden nur diejenigen Randbedingungen der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ aufgeführt, die aus der Perspektive des konventionellen Theorienkonzepts die Qualität von Axiomen besitzen. Denn Randbedingungen, die sich aus der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ als deren Theoreme herleiten lassen, brauchen nicht expliziert zu werden, weil sie in den Axiomen der Miniaturtheorie sowie den jeweils vorausgesetzten Inferenzregeln der deduktiven (Prädikaten-) Logik implizit enthalten sind.
Zu den Randbedingungen, die in der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ die Qualität von Theoremen aufweisen, gehören z.B. die Formeln (14) und (15) für den Erwartungswert bzw. die Varianz der Produktionsfunktion *out* mit:
$E\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon)\big) = \text{pro}(\text{eff},\text{inv})$ bzw. $V\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon)\big) = V(\varepsilon) = \sigma_\varepsilon^{\,2}$,
die erste partielle Ableitung der Funktion *ak* für die Arbeitskosten des Prinzipals gemäß Formel (17):
$\partial\, \text{ak}\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon),\text{fix},\text{sha}\big) / \partial\, \text{eff} > 0$
sowie die Erwartungswerte der Funktionen *ae* für das Arbeitseinkommen des Agenten und *ak* für die Arbeitskosten des Prinzipals, für die in Anlehnung an die Formeln (18) sowie (25) gilt:
$E\Big(\text{ae}\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon),\text{fix},\text{sha}\big)\Big) = E\Big(\text{ak}\big(\text{out}(\text{eff},\text{inv},\varepsilon),\text{fix},\text{sha}\big)\Big) = \text{fix} + \text{sha} \bullet \text{pro}(\text{eff},\text{inv})$

2) Vgl. Formel (24).

3) Vgl. Formel (4).

4) Vgl. Formel (5).

5) Vgl. Formel (6).

6) Vgl. Formel (7).

7) Vgl. Formel (9).

$$\forall \text{eff} \in D_{\text{effort\_level}}\ \forall \text{inv} \in D_{\text{inventory\_level}} : \quad \text{pro}(\text{eff},\text{inv}) \ \geq \ 0 \qquad ^{1)} \quad (211)$$

$$\text{res}_{\text{ag}} = 0 \qquad ^{2)} \quad (212)$$

Sieben von den neun Randbedingungen betreffen die formale Gestalt der Produktionsfunktion *pro*. Von besonderer Wichtigkeit ist die Randbedingung gemäß Formel (209). Sie fordert, dass die Produktionsfunktion *pro* eine negative Kreuzableitung aufweist. Erst dadurch wird sichergestellt, dass die Miniaturtheorie „ADL-Modell" dem „Dogma" $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff},\text{inv}) < 0$ der Just-in-Time-Produktionssteuerung entspricht.

Allerdings ist zu beachten, dass die hier präsentierte Rekonstruktion des ADL-Modells unter Einschluss der Randbedingung gemäß Formel (209) über das ursprüngliche Modell, das von ALLES, DATAR und LAMBERT eingeführt wurde, „hinausschießt".[3)] Denn das ursprüngliche ADL-Modell zeichnet sich durch die charakteristische Kreuzableitungsirrelevanz aus, die bereits an früherer Stelle herausgearbeitet wurde. Aufgrund dieser Kreuzableitungsirrelevanz konnte das ADL-Modell dem Erklärungspostulat im Hinblick auf die Just-in-Time-Produktionssteuerung nicht gerecht werden.

Folglich besteht bei der Rekonstruktion der Miniaturtheorie „ADL-Modell" hinsichtlich der Randbedingungen eine Art „rekonstruktiver Trade-off": Entweder wird eine möglichst originalgetreue Rekonstruktion des ursprünglichen ADL-Modells angestrebt. Dann muss auf die Randbedingung einer negativen Kreuzableitung gemäß Formel (209) verzichtet werden. Als „epistemischer Preis" ist hierfür zu entrichten, dass die derart rekonstruierte Miniaturtheorie „ADL-Modell" weiterhin darunter leidet, keine spezifische Geltung im Hinblick auf die Just-in-Time-Produktionssteuerung aufzuweisen und daher das diesbezügliche Erklärungspostulat von ALLES, DATAR und LAMBERT weiterhin nicht erfüllen zu können. Oder es wird primär darauf abgestellt, die Miniaturtheorie „ADL-Modell" so zu rekonstruieren, dass sie sich für die Just-in-Time-Produktionssteuerung als spezifisch erweist. In diesem Fall muss die Randbedingung einer negativen Kreuzableitung gemäß Formel (209) in die Theorierekonstruktion aufgenommen werden. Wiederum ist ein „epistemischer Preis" für diese Rekonstruktionsentscheidung zu entrichten. Er besteht dieses mal darin, dass keine originalgetreue Rekonstruktion des ursprünglichen ADL-Modells mehr vorliegt, weil ALLES, DATAR und LAMBERT eine negative Kreuzableitung gemäß Formel (209) an keiner Stelle für ihre Modellierung generell vorausgesetzt haben.

---

1) Vgl. Formel (104).

2) Vgl. Formel (38). Die Randbedingung $\text{res}_{\text{ag}} = 0$ ist nur dann erforderlich, wenn die nomische Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell" mithilfe der Formel (161) ausgedrückt wird. Falls hingegen die nomische Hypothese der Miniaturtheorie „ADL-Modell" mithilfe der Formel (162) – oder einer der anschließenden Formelvarianten – ausgedrückt wird, erweist sich die Randbedingung $\text{res}_{\text{ag}} = 0$ als redundant, weil sie bereits in die Formulierung der nomischen Hypothese integriert ist.

3) Dies unterstreicht die bereits früher vorgetragene These, dass die Rekonstruktion einer Theorie – wie hier z.B. die strukturalistische Rekonstruktion der Miniaturtheorie „ADL-Modell" – eine aktive, zum Teil kreative Gestaltungsleistung darstellt. Es wird keineswegs in Anspruch genommen, die zugrunde liegende Theorie „äquivalent" wiederzugeben. Stattdessen wird die zugrunde liegende Theorie vom Rekonstrukteur – dem „Theoriedesigner" – subjektiv interpretiert und dabei unter Umständen auch modifiziert. Diese Modifizierungen schließen insbesondere Ergänzungen ein, wenn die zugrunde liegende Theorie dem Rekonstrukteur unvollständig erscheint (wie hier hinsichtlich der fehlenden Anforderung einer negativen Kreuzableitung für die Produktionsfunktion *pro*), sowie auch Auslassungen, wenn dem Rekonstrukteur eine Komponente der zugrunde liegenden Theorie fehlerhaft erscheint.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde aufgezeigt, dass die Miniaturtheorie „ADL-Modell“ Anlass zur inhaltlichen Fortentwicklung bietet. Dies betrifft sowohl ihre Defekte aus produktionswirtschaftlicher Perspektive, wie etwa die mangelhafte Spezifität für die Just-in-Time-Produktionssteuerung, als auch Defekte in wissenschaftstheoretischer Hinsicht, die vor allem den nomischen Kern dieser Miniaturtheorie betreffen.

Im hier vorgelegten Beitrag wurde skizziert, wie sich die wissenschaftstheoretischen Defekte mithilfe des strukturalistischen Theorienkonzepts grundsätzlich heilen lassen. Durch die systematische Rekonstruktion des ADL-Modells wurde *erstmals* nachgewiesen,[1)] dass die Miniaturtheorie „ADL-Modell“ tatsächlich eine „nomisch gehaltvolle“ Theorie darstellt, weil sie eine zentrale *nomische Hypothese* enthält. Diese nomische Hypothese erstreckt sich im Wesentlichen auf diejenigen Formeln des ADL-Modells, die das Optimierungsproblem des Prinzipals sowie die Anreizkompatibilitäts- und die Partizipationsrestriktion des Agenten ausdrücken. Allerdings konnten die diesbezüglichen Formeln des ADL-Modells nicht „naiv“ übernommen werden, sondern bedurften einer strukturalistischen Rekonstruktion, die darauf achtet, den Charakter einer nomischen Hypothese in der Form eines allquantifizierten Subjugats zu explizieren. Darüber hinaus bot die strukturalistische Rekonstruktion der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ die Gelegenheit, sich ebenso der formalsprachlichen Spezifizierung des *intendierten Anwendungsbereichs* dieser Theorie zuzuwenden. Eine solche Spezifizierung des Bereichs intendierter Theorieanwendungen ist bislang weder speziell für das ADL-Modell noch für die Prinzipal-Agent-Theorie im Allgemeinen erfolgt[2)] und besitzt daher *innovativen* Charakter. Vor allem wurde in die strukturalistische Theorierekonstruktion die Anforderung aufgenommen, dass sich die Miniaturtheorie „ADL-Modell“ nur auf solche Realitätsausschnitte aus dem intendierten Anwendungsbereich bezieht, in denen die Koordinierung von Produktionsprozessen nach Just-in-Time-Prinzipien erfolgt. Diese Anforderung wird durch die neuartige Randbedingung ausgedrückt, dass nur solche Produktionsfunktionen *pro* zulässig sind, deren Kreuzableitungen die charakteristische Bedingung $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff},\text{inv}) < 0$ erfüllen.

Für das Problem der produktionswirtschaftlichen Defekte des ADL-Modells konnten dagegen noch keine umfassend zufrieden stellenden Lösungsansätze aufgezeigt werden. Daher besteht ein wesentliches Desiderat für zukünftige Forschungsarbeiten vor allem darin, Produktionsfunktionen *pro* zu spezifizieren, die drei Anforderungen gerecht werden. Erstens müssen sie im Kontext des ADL-Modells eine negative Kreuzableitung mit $\text{pro}_{\partial\text{eff}.\partial\text{inv}}(\text{eff},\text{inv}) < 0$ aufweisen, um den Charakteristika einer Koordinierung von Produktionsprozessen nach Just-in-Time-Prinzipien zu entsprechen. Zwei-

---

1) Dies trifft streng genommen nur dann zu, wenn von den beiden Vorläuferarbeiten ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004a) und ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004b) abgesehen wird, die dem hier vorgelegten Beitrag inhaltlich zugrunde liegen. Denn auch dort wurde schon die zentrale nomische Hypothese des ADL-Modells herausgearbeitet; vgl. ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004a), S. 28, und ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004b), S. 19. Allerdings weisen die dort präsentierten Hypothesenformulierungen noch geringfügige Unzulänglichkeiten auf, die im hier vorgelegten Beitrag bereinigt wurden.

2) Von dieser Feststellung ausgenommen ist vor allem die strukturalistische Rekonstruktion der Prinzipal-Agent-Theorie in ALPARSLAN (2006), insbesondere S. 167 ff., 176 ff., 185 f., 189 f. u. 192 ff. zu intendierten Anwendungsbereichen der dort betrachteten Varianten der Prinzipal-Agent-Theorie. Daneben erfolgten formalsprachliche Spezifizierungen des intendierten Anwendungsbereichs der Miniaturtheorie „ADL-Modell“ auch schon in den beiden Arbeiten ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004a), S. 28 f., und ALPARSLAN/ZELEWSKI (2004b), S. 19 ff., die dem hier vorgelegten Beitrag inhaltlich zugrunde liegen. Die dort vorgestellten Spezifizierungen des intendierten Anwendungsbereichs sind jedoch unvollständig (vor allem in Bezug auf die Randbedingungen) und enthalten auch einige kleine Fehler. Beide Unzulänglichkeiten wurden im hier vorgelegten Beitrag durch eine gründliche Überarbeitung der früheren Spezifizierungen beseitigt.

tens sollen sich diese Produktionsfunktionen als realitätsadäquat erweisen. Drittens kann es als wünschenswert betrachtet werden, dass diese Produktionsfunktionen den Anschluss an Klassen von Produktionsfunktionen wahren, die sich in der produktionstheoretischen Fachliteratur etabliert haben. Produktionsfunktionen, von denen die drei voranstehenden Anforderungen erfüllt werden, sind dem Verfasser bislang nicht bekannt.

Darüber hinaus sollte der grundsätzlichen Frage nachgegangen werden, ob es tatsächlich Produktionsfunktionen gibt, die sich für spezielle Konzepte zur Koordinierung von Produktionsprozessen, wie etwa die Just-in-Time-Produktionssteuerung, als charakteristisch erweisen. Die Existenz solcher Produktionsfunktionen wurde im hier vorgelegten Beitrag ebenso wie im ADL-Modell im Hinblick auf die negative Kreuzableitung der Produktionsfunktion *pro* implizit vorausgesetzt. Aber dies muss keineswegs der Fall sein. Vielmehr könnte sich herausstellen, dass sich Produktionsfunktionen für Produktionsverhältnisse in der betrieblichen Praxis nicht signifikant voneinander unterscheiden in Abhängigkeit davon, welche Konzepte zur Koordinierung von Produktionsprozessen den beobachteten Produktionsverhältnissen jeweils zugrunde lagen. Empirische Studien, die den Einfluss von Konzepten zur Koordinierung von Produktionsprozessen auf die Gestalt von Produktionsfunktionen untersuchen, sind dem Verfasser bislang jedoch noch nicht bekannt geworden. Daher besteht auch ein Desiderat hinsichtlich der Durchführung solcher empirischer Studien.

Schließlich wäre zu untersuchen, ob sich die „konventionelle“ Prinzipal-Agent-Theorie mit ihrer Fokussierung auf rein monetäre Nutzenkalküle von Prinzipal und Agent prinzipiell als zu eng erweist, um rational handelnde Akteure auf realitätsadäquate Weise in die Modellierung der Koordinierung von Produktionsprozessen einzubeziehen. Insbesondere ist daran zu denken, dass die Handlungsweisen rationaler Akteure im Produktionsbereich u.a. auch von intrinsischer Motivation und sozialen Präferenzen abhängen kann. Die intrinsische Motivation von Akteuren wird seitens der Prinzipal-Agent-Theorie überhaupt nicht reflektiert, solange ihre Modellierung von Verträgen zwischen einem Prinzipal und einem Agenten auf die Ausgestaltung einer Zahlungsfunktion beschränkt bleibt, in der es ausschließlich um die extrinsische Motivation des Agenten mittels Entgeltzahlungen geht. Soziale Präferenzen, die vor allem an Neid- und Fairnessempfindungen des Agenten anknüpfen, werden seitens der Prinzipal-Agent-Theorie ebenso wenig berücksichtigt, solange sie dem Konzept des methodologischen Individualismus folgt und die Präferenzen eines Akteurs ausschließlich in Abhängigkeit von dessen eigenen Vor- sowie Nachteilen konzeptualisiert.

5 Literaturverzeichnis

AKERLOF, G.A.: The Market for “Lemons”: Qualitative Uncertainty and the Market Mechanism. In: Quarterly Journal of Economics, Vol. 84 (1970), No. 3, S. 488-500.

ALBERT, H.: Marktsoziologie und Entscheidungslogik – Zur Kritik der reinen Ökonomie. Tübingen 1998.

ALLES, M.; AMERSHI, A.; DATAR, S.; SARKAR, R.: Information and Incentive Effects of Inventory in JIT Production. In: Management Science, Vol. 46 (2000), No. 12, S. 1528-1544.

ALLES, M.; DATAR, S.M.: Control implications of worker identification with firm sales success. In: Management Accounting Research, Vol. 13 (2002), No. 2, S. 173-190.

ALLES, M.; DATAR, S.M.; LAMBERT, A.: Moral Hazard and Management Control in Just-in-Time Settings. In: Journal of Accounting Research, Vol. 33 (1995), Supplement, S. 177-204.

ALPARSLAN, A.: Strukturalistische Prinzipal-Agent-Theorie – Eine Reformulierung der Hidden-Action-Modelle aus der Perspektive des Strukturalismus. Dissertation, Universität Duisburg-Essen, Campus Essen, 2005. Wiesbaden 2006.

ALPARSLAN, A.; ZELEWSKI, S.: Structuralist Moral Hazard and JIT Production. In: o.V.: Thirteenth International Working Seminar on Production Economics, 16.-20.02.2004 in Igls/Innsbruck, Pre-Prints, Vol. 4. O.O. 2004, S. 21-31 (a).

ALPARSLAN, A.; ZELEWSKI, S.: Moral Hazard in JIT Production Settings – A Reconstruction from the Structuralist Point of View. Arbeitsbericht Nr. 21, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen). Essen 2004 (b).

ARROW, K.J.: Essays in the Theory of Risk-Bearing. 2. Druck, Amsterdam - London - New York 1974.

ARROW, K.J.: The Economics of Agency. In: Pratt, J.W.; Zeckhauser, R.J. (Hrsg.): Principals and Agents: The Structure of Business. Proceedings from one of a series of conferences held at the Harvard Business School in 1984. Boston 1985, S. 37-51. [Anmerkung des Verfassers: Auch erschienen in: Pratt, J.W.; Zeckhauser, R.J. (Hrsg.): Principals and Agents: The Structure of Business. Reprint, Boston 1991, S. 37-51.]

ATKINSON, A.A.; BALAKRISHNAN, R.; BOOTH, P.; COTE, J.M.; GROOT, T.; MALMI, T.; ROBERTS, H.; ENRICO, U.; WU, A.: New Directions in Management Accounting Research. In: Journal of Management Accounting Research, Vol. 9 (1997), S. 79-108.

AUSTIN, R.D.: The Effects of Time Pressure on Quality in Software Development: An Agency Model. In: Information Systems Research, Vol. 12 (2001), No. 2, S. 195-207.

BAIMAN, S.; NETESSINE, S.; SAOUMA, R.: Incentive Compensation and The Choice of Inventory Buffer. Paper, Department of Accounting, The Wharton School, The University of Pennsylvania (corresponding author), March 2007.

BALAKRISHNAN, R.; LINSMEIER, T.J.; VENKATACHALAM, M.: Financial Benefits from JIT Adoption: Effects of Customer Concentration and Cost Structure. In: The Accounting Review, Vol. 71 (1996), No. 2, S. 183-205.

BALZER, W.: Empirische Theorien: Modelle – Strukturen – Beispiele. Die Grundzüge der modernen Wissenschaftstheorie. Braunschweig - Wiesbaden 1982.

BALZER, W.: Theoretical Terms: A New Perspective. In: The Journal of Philosophy, Vol. 83 (1986), S. 71-90.

BALZER, W.: Theoretical Terms: Recent Developments. In: Balzer, W.; Moulines, C.U. (Hrsg.): Structuralist Theory of Science – Focal Issues, New Results. Berlin - New York 1996, S. 139-166.

BALZER, W.: Methodological Patterns in a Structuralist Setting. In: Synthese, Vol. 130 (2002), S. 49-68.

BALZER, W.; MOULINES, C.U.: Introduction. In: Balzer, W.; Sneed, J.D.; Moulines, C.U. (Hrsg.): Structuralist Knowledge Representation – Paradigmatic Examples. Amsterdam - Atlanta 2000, S. 5-18.

BALZER, W.; MOULINES, C.U.; SNEED, J.D.: An Architectonic for Science – The Structuralist Program. Dordrecht - Boston - Lancaster et al. 1987.

BALZER, W.; SNEED, J.D.: Verallgemeinerte Netz-Strukturen empirischer Theorien. In: Balzer, W.; Heidelberger, M. (Hrsg.): Zur Logik empirischer Theorien. Berlin - New York 1983, S. 117-168.

BALZER, W.; SNEED, J.D.: Der Neue Strukturalismus. In: Stachowiak, H. (Hrsg.): Pragmatik – Handbuch pragmatischen Denkens, Band V: Pragmatische Tendenzen in der Wissenschaftstheorie. Hamburg 1995, S. 195-226.

BAMBERG, G.; COENENBERG, A.G.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. 11. Aufl., München 2002.

BARNEY, J.B.; HESTERLY, W.: Organizational Economics: Understanding the Relationship between Organizations and Economic Analysis. In: Clegg, S.R.; Hardy, C.; Nord, W.R. (Hrsg.): Handbook of Organization Studies. London - Thousand Oaks -New Delhi 1996, S. 115-147.

BARTELBORTH, T.: Begründungsstrategien – Ein Weg durch die analytische Erkenntnistheorie. Überarbeitete Version der Habilitationsschrift 1993. Berlin 1996.

BERGEMANN, D.; VÄLIMÄKI, J.: Dynamic common agency. In: Journal of Economic Theory, Vol. 111 (2003), No. 1, S. 23-48.

BLEYMÜLLER, J.; GEHLERT, G.; GÜLICHER, H.: Statistik für Wirtschaftswissenschaftler. 12. Aufl., München 2000.

BOGETOFT, P.: DEA and Activity Planning under Asymmetric Information. In: Journal of Productivity Analysis, Vol. 13 (2000), S. 7-48.

BOND, E.W.; GRESIK, T.A.: Competition between asymmetrically informed principals. In: Economic Theory, Vol. 10 (1997), No. 2, S. 227-240.

BREINLINGER-O'REILLY, J.: Aufbau und Struktur wissenschaftlicher Theorien – eine Kritik am wissenschaftstheoretischen Entwurf von Dieter Schneider und die strukturalistische Alternative. Spardorf 1991.

BREUER, W.; KLEEFISCH, A.: Anreizsteuerung und Kollusionsgefahr. Arbeitspapiere der Betrieblichen Finanzwirtschaft, Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Betriebliche Finanzwirtschaft, Rheinisch-Westfälische technische Hochschule Aachen. Aachen 2004.

BRONSTEIN, I.N.; SEMENDJAJEW, K.A.; MUSIOL, G.; MÜHLIG, H.: Taschenbuch der Mathematik, 7. Aufl., Frankfurt 2008.

BUNGE, M.: Scientific Research I – The Search of Systems. Berlin - Heidelberg - New York 1967 (a).

BUNGE, M.: Scientific Research II – The Search of Systems. Berlin - Heidelberg - New York 1967 (b).

CANSIER, A.: Efficient Consumer Response als Principal-Agent-Problem: Herstellerabgabepreisbildung im LEN-Modell. In: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, 53. Jg. (2001), Heft 6, S. 614-628.

CORBETT, C.J.; DE GROOTE, X.: A Supplier's Optimal Quantity Discount Policy Under Asymmetric Information. In: Management Science, Vol. 46 (2000), S. 444-450.

CRÉMER, J.: Towards an economic theory of incentives in just-in-time manufacturing. In: European Economic Review, Vol. 39 (1995), S. 432-439.

DATAR, S.M.; RAJAN, M.V.: Optimal Incentive Schemes in Bottleneck-Constrained Production Environments. In: Journal of Accounting Research, Vol. 33 (1995), No. 1, S. 33-57.

DE LA SIENRA, A.G.; REYES, P.: The Theory of Finite Games in Extensive Forms. In: Balzer, W.; Sneed, J.; Moulines, C.U. (Hrsg.): Structuralist Knowledge Representation – Paradigmatic Examples. Amsterdam - Atlanta 2000, S. 51-67.

DEMOUGIN, D.; JOST, P.-J.: Theoretische Grundlagen der Prinzipal-Agenten-Theorie. In: Jost, P.-J. (Hrsg.): Die Prinzipal-Agenten-Theorie in der Betriebswirtschaftslehre. Stuttgart 2001, S. 45-81.

DEMSKI, J.S.; SAPPINGTON, D.E.M.: Optimal Incentive Contracts with Multiple Agents. In: Journal of Economic Theory, Vol. 33 (1984), No. 1, S. 152-171.

DIEDERICH, W.: Strukturalistische Rekonstruktionen – Untersuchungen zur Bedeutung, Weiterentwicklung und interdisziplinären Anwendung des strukturalistischen Konzepts wissenschaftlicher Theorien. Habilitationsschrift, Universität Bielefeld 1979. Braunschweig - Wiesbaden 1981.

DIEDERICH, W.: The Development of Structuralism. A Re-evaluation on the Occasion of W. Stegmüller's Theorie und Erfahrung, pt. 3 (1986). In: Erkenntnis, Vol. 30 (1989), S. 363-386.

DIEDRICH, R.: Das mehrperiodische LEN-Modell im Kapitalmarkt. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 32. Jg. (2003), S. 451-456.

DIEDRICH, R.: Periodenerfolgsmessung bei langfristigen Agency Beziehungen: Pre Decision Information versus Post Decision Information. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 74. Jg. (2004), Heft 7, S. 695-718.

DIXIT, A.; GROSSMAN, G.M.; HELPMAN, E.: Common Agency and Coordination: General Theory and Application to Government Policy making. In: Journal of Political Economy, Vol. 105 (1997), No. 4, S. 752-769.

EBERS, M.; GOTSCH, W.: Institutionenökonomische Theorien der Organisation. In: Kieser, A.; Ebers, M. (Hrsg.): Organisationstheorien. 6. Aufl., Stuttgart 2006, S. 247-308.

EILERS, C.: Principal-Agent Theory for Organizations – A Literature Outline. Diskussionsbeitrag Nr. 8, Institut für Agrarökonomie, Christian-Albrecht-Universität zu Kiel. Kiel 1998.

EISENHARDT, K.M.: Agency Theory: An Assessment and Review. In: Academy of Management Review, Vol. 14 (1989), No. 1, S. 57-74.

EKANAYAKE, S.: Agency Theory, National Culture and Management Control Systems. In: The Journal of American Academy of Business, Vol. 4 (2004), No. 1/2, S. 49-54.

ELLINGER, T.; HAUPT, R.: Produktions- und Kostentheorie. 3. Aufl., Stuttgart 1996.

ELSCHEN, R.: Shareholder Value und Agency-Theorie – Anreiz- und Kontrollsysteme für Zielsetzungen der Anteilseigner. In: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, 43. Jg. (1991), Heft 3, S. 209-219 (a).

ELSCHEN, R.: Gegenstand und Anwendungsmöglichkeiten der Agency-Theorie. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 43. Jg. (1991), Heft 11, S. 1002-1012 (b).

FANDEL, G.; LORTH, M.: Produktion und Logistik. In: Jost, P.-J. (Hrsg.): Die Prinzipal-Agenten-Theorie in der Betriebswirtschaftslehre. Stuttgart 2001, S. 273-329.

FEYERABEND, P.: Changing Patterns of Reconstruction. In: The British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 28 (1977), S. 351-369.

FISCHER, M.: Make-or-Buy-Entscheidungen im Marketing – Neue Institutionenlehre und Distributionspolitik. Dissertation, Universität Frankfurt am Main 1992. Wiesbaden 1993.

FREY, B.S.; OSTERLOH, M.; BENZ, M.: Grenzen variabler Leistungslöhne: Die Rolle intrinsischer Motivation. In: Jost, P.-J. (Hrsg.): Die Prinzipal-Agenten-Theorie in der Betriebswirtschaftslehre. Stuttgart 2001, S. 561-579.

GÄHDE, U.: On Innertheoretical Conditions for Theoretical Terms. In: Erkenntnis, Vol. 32 (1990), S. 215-233.

GAN, X.; SETHI, S.P.; YAN, H.: Coordination of Supply Chains with Risk-Averse Agents. In: Production and Operations Management, Vol. 13 (2004), No. 2, S. 135-149.

GIBBONS, R.: Game Theory for Applied Economists. Princeton (New Jersey) 1992.

GIBBONS, R.: Incentives in Organizations. In: Journal of Economic Perspectives, Vol. 12 (1998), S. 115-132.

GINTIS, H.: Game Theory Evolving: A Problem-Centered Introduction to Modeling Strategic Behavior. Princeton (New Jersey) 2000.

GÖX, R.F.; BUDDE, J.; SCHÖNDUBE, J.R.: Das lineare Agency Modell bei asymmetrischer Information über den Agentennutzen. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 72. Jg. (2002), Heft 1, S. 65-79.

GRAßHOFF, U.; SCHWALBACH, J.: Agency-Theorie, Informationskosten und Managervergütung. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 51. Jg. (1999), Heft 5, S. 437-453.

GROSSMAN, S.J.; HART, O.D.: An Analysis of the Principal-Agent Problem. In: Econometrica, Vol. 51 (1983), No. 1, S. 7-45.

GUPTA, S.; ROMANO, R.E.: Monitoring the Principal with Multiple Agents. In: The RAND Journal of Economics, Vol. 29 (1998), No. 2, S. 427-442.

HAASE, M.: Pragmatic Idealization and Structuralist Reconstructions of Theories. In: Journal for General Philosophy of Science, Vol. 27 (1996), S. 215-234.

HAASE, M.: Wissenschaftstheorie, Aufgaben der / Konfliktlinien in der / Schulen der. In: Corsten, H.; Gössinger, R. (Hrsg.): Lexikon der Betriebswirtschaftslehre. 5. Auflage, München 2008, S. 912-924.

HÄNDLER, E.W.: Logische Struktur und Referenz von mathematischen ökonomischen Theorien. Dissertation, Universität München. München 1980.

HÄNDLER, E.W.: Ramsey-Elimination of Utility in Utility Maximizing Regression Approaches. In: Stegmüller, W.; Balzer, W.; Spohn, W. (Hrsg.): Philosophy of Economics. Colloquium, im Juli 1981 in München. Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 41-62.

HAMMINGA, B.; BALZER, W.: The Basic Structure of Neoclassical General Equilibrium Theory. In: Erkenntnis, Vol. 25 (1986), S. 31-46.

HANDS, W.D.: Reflection without Rules – Economic Methodology and Contemporary Science Theory. Cambridge 2001.

HARRIS, M.; RAVIV A.: Some Results of Incentive Contracts with Applications to Education and Employment, Health Insurance and Law Enforcement. In: American Economic Review, Vol. 68 (1978), S. 20-30.

HART, O.; HOLMSTRÖM, B.: The Theory of Contracts. In: Bewley, T. (Hrsg.): Advances in Economic Theory. Cambridge 1987, S. 71-155.

HARTMANN-WENDELS, T.: Principal-Agent-Theorie und asymmetrische Informationsverteilung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 59. Jg. (1989), S. 714-734.

HARTMANN-WENDELS, T.: Rechnungslegung der Unternehmen und Kapitalmarkt aus informationsökonomischer Sicht. Habilitationsschrift, Universität zu Köln 1989. Heidelberg 1991.

HAYES, R.H.; PISANO, G.P.: Manufacturing Strategy: At the Intersection of Two Paradigm Shifts. In: Production and Operations Management, Vol. 5 (1996), No. 1, S. 25-41.

HEMMER, T.: Discussion of Moral Hazard and Management Control in Just-in-Time Settings. In: Journal of Accounting Research, Vol. 33 (1995), Supplement, S. 205-213.

HEMPEL, C.G.: Aspects of Scientific Explanation – And Other Essays in the Philosophy of Science. 2. Druck, New York - London 1966.

HEMPEL, C.G.: Aspekte wissenschaftlicher Erklärung. Berlin - New York 1977.

HOFMANN, C.: Using Different Budgeting Procedures to Coordinate Principal/Agent-Relationships. In: Schmalenbach Business Review, Vol. 55 (2003), No. 1, S. 22-45.

HOLMSTRÖM, B.: Moral Hazard and Observability. In: The Bell Journal of Economics, Vol. 10 (1979), No. 1, S. 74-91.

HOLMSTRÖM, B.: Moral Hazard in Teams. In: The Bell Journal of Economics, Vol. 13 (1982), No. 2, S. 324-340.

HOLMSTRÖM, B.: The Firm as a Subeconomy. In: The Journal of Law, Economics, and Organization, Vol. 15 (1999), No. 1, S. 74-102.

HOLMSTRÖM, B.; MILGROM, P.: Aggregation and Linearity in the Provision of Intertemporal Incentives. In: Econometrica, Vol. 55 (1987), No. 2, S. 303-328.

HOLMSTRÖM, B.; MILGROM, P.: Multitask Principal-Agent Analyses: Incentive Contracts, Asset Ownership, and Job Design. In: The Journal of Law, Economics, and Organization, Vol. 7 (1991), Supplement, S. 24-52.

HOLMSTRÖM, B.; MILGROM, P.: The Firm as an Incentive system. In: The American Economic Review, Vol. 84 (1994), No. 4, S. 972-991.

HUMPHREY, D.B.; MORONEY, J.R.: Substitution among Capital, Labor, and Natural Resource Products in American Manufacturing. In: The Journal of Political Economy, Vol. 83 (1975), No. 1, S. 57-82.

INDERFURTH, K.; MINNER, S.: Produktion und Logistik. In: Jost, P.-J. (Hrsg.): Die Spieltheorie in der Betriebswirtschaftslehre. Stuttgart 2001, S. 307-349.

ITOH, H.: Incentives to Help in Multi-Agent Situations. In: Econometrica, Vol. 59 (1991), No. 3, S. 611-636.

ITOH, H.: Job design, delegation and cooperation: A principal-agent analysis. In: European Economic Review, Vol. 38 (1994), S. 691-700.

JENSEN, M.C.: Organization Theory and Methodology. In: The Accounting Review, Vol. 58 (1983), No. 2, S. 319-337.

JENSEN, M.C.; MECKLING, W.H.: Theory of the Firm. Managerial Behaviour, Agency Costs and Ownership Structure. In: Journal of Financial Economics, Vol. 3 (1976), No. 4, S. 305-360.

JEWIIT, I.: Justifying the First-Order Approach to Principal-Gent Problems. In: Econometrica, Vol. 56 (1988), No. 5, S. 1177-1190.

JOST, P.-J.: Die Prinzipal-Agenten-Theorie im Unternehmenskontext. In: Jost, P.-J. (Hrsg.): Die Prinzipal-Agenten-Theorie in der Betriebswirtschaftslehre. Stuttgart 2001, S. 11-43 (a).

JOST, P.-J. (Hrsg.): Die Prinzipal-Agenten-Theorie in der Betriebswirtschaftslehre. Stuttgart 2001 (b).

JUNG, S.: Das Management von Geschäftsbeziehungen – Ein Ansatz auf transaktionskostentheoretischer, sozialpsychologischer und spieltheoretischer Basis. Dissertation, Universität Mannheim 1999. Wiesbaden 1999.

KALUZA, B.; DULLNIG, H.; MALLE, F.: Principal-Agent-Probleme in der Supply Chain – Problemanalyse und Diskussion von Lösungsvorschlägen. Diskussionsbeiträge des Instituts für Wirtschaftswissenschaften der Universität Klagenfurt Nr. 2003/03. Klagenfurt 2003.

KAMPS, J.; MASUCH, M.: Partial Deductive Closure: Logical Simulation and Management Science. In: Management Science, Vol. 43 (1997), No. 9, S. 1229-1245.

KERN, W.: Industrielle Produktionswirtschaft. 4. Aufl., Stuttgart 1990.

KIENER, S.: Die Principal-Agent-Theorie aus informationsökonomischer Sicht. Dissertation, Universität Regensburg 1989. Heidelberg 1990.

KIRSCH, W.: Wissenschaftliche Unternehmensführung oder Freiheit vor der Wissenschaft? – Studien zu den Grundlagen der Führungslehre, 1. und 2. Halbband. München 1984.

KLEINE, A.: Entscheidungstheoretische Aspekte der Principal-Agent-Theorie. Dissertation, Universität Saarbrücken 1995. Heidelberg 1996.

KÖTTER, R.: General Equilibrium Theory – An Empirical Theory? In: Stegmüller, W.; Balzer, W.; Spohn, W. (Hrsg.): Philosophy of Economics. Colloquium, im Juli 1981 in München. Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 103-117.

KÖTTER, R.: Was vermag das strukturalistische Theorienkonzept für die methodologischen Probleme der Ökonomie zu leisten? In: Fischer-Winkelmann, W.F. (Hrsg.): Paradigmawechsel in der Betriebswirtschaftslehre. Spardorf 1983, S. 324-347.

KRAPP, M.: Kooperation und Konkurrenz in Prinzipal-Agent-Beziehungen. Dissertation, Universität Augsburg 2000. Wiesbaden 2000.

KREPS, D.M.: Mikroökonomische Theorie. Landsberg/Lech 1994.

KUHN, T.S.: Theory-Change as Structure-Change: Comments on the Sneed Formalism. In: Erkenntnis, Vol. 10 (1976), S. 179-199.

KUOKKANEN, M.: On the Structuralist Constraints in Social Scientific Theorizing. In: Theory and Decision, Vol. 35 (1993), S. 19-54.

LAMBERT, R.A.: Contracting theory and accounting. In: Journal of Accounting and Economics, Vol. 32 (2001), No. 1-3, S. 3-87.

LICALCI, M.; SPAETER, S.: Distributions for the First-Order Approach to Principal-Agent Problems. In: Economic Theory, Vol. 21 (2003), S. 167-173.

LU, L.X.; VAN MIEGHEM, J.A.; SAVASKAN, R.C.: Incentives for Quality through Endogenous Routing. Working Paper Series No. COSM-06-002, Center for Operations and Supply Chain Management, Kellogg School of Management, Northwestern University. O.O. 2006.

LUDERER, B.; NOLLAU, V.; VETTRES, K.: Mathematische Formeln für Wirtschaftswissenschaftler. 5. Aufl., Stuttgart - Leipzig - Wiesbaden 2005.

MA, C.T.: Unique Implementation of Incentive Contracts with Many Agents. In: Review of Economic Studies, Vol. 55 (1988), No. 4, S. 555-572.

MACDUFFIE, J.P.: Human Resource Bundles and Manufacturing Performance: Organizational Logic and Flexible Production Systems in the World Auto Industry. In: Industrial and Labor Relations Review, Vol. 48 (1995), No. 2, S. 197-221.

MALCOMSON, J.M.: Rank-Order Contracts for a Principal with Many Agents. In: The Review of Economic Studies, Vol. 53 (1986), No. 5, S. 807-817.

MAYER, B.; PFEIFFER, T.: Prinzipien der Anreizgestaltung bei Risikoaversion und sozialen Präferenzen. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 74. Jg. (2004), Heft 10, S. 1047-1075.

MEINHÖVEL, H.: Defizite der Principal-Agent-Theorie. Dissertation, Universität Bochum 1998. Lohmar - Köln 1999.

MELUMAD, N.D.; MOOKHERJEE, D.; REICHELSTEIN, S.: Hierarchical decentralization of incentive contracts. In: The RAND Journal of Economics, Vol. 26 (1995), No. 4, S. 654-672.

MENSCH, G.: Grundlagen der Agency-Theorie. In: Das Wirtschaftsstudium, 28. Jg. (1999), Heft 5, S. 686-688 (a).

MENSCH, G.: Agency-Theorie – Modelle und Aussagen. In: Das Wirtschaftsstudium, 28. Jg. (1999), Heft 7, S. 937-940 (b).

MEZZETTI, C.: Common agency with horizontally differentiated principals. In: The RAND Journal of Economics, Vol. 28 (1997), No. 2, S. 323-345.

MIKUS, B.: ZP-Stichwort: Principal-Agent-Theorie. In: Zeitschrift für Planung, 9. Jg. (1998), Heft 9, S. 451-458.

MIYAKE, D.I.; ENKAWA, T.; FLEURY, A.C.C.: Improving manufacturing systems performance by complementary application of just-in-time, total quality control and total productive maintenance paradigms. In: Total Quality Management, Vol. 6 (1995), No. 4, S. 345-363.

MIZON, G.E.: Inferential Procedures in Nonlinear Models: An Application in a UK Industrial Cross Section Study of Factor Substitution and Returns to Scale. In: Econometrica, Vol. 45 (1977), No. 5, S. 1221-1242.

MOULINES, C.U.: Theory-Nets and the Evolution of Theories: The Example of Newtonian Mechanics. In: Synthese, Vol. 41 (1979), S. 417-439.

MOULINES, C.U.: Introduction – Structuralism as a Program for Modelling Theoretical Science. In: Synthese, Vol. 130 (2002), No. 1, S. 1-11.

MÜLLER, C.: Agency-Theorie und Informationsgehalt – Der Beitrag des normativen Prinzipal-Agenten-Ansatzes zum Erkenntnisfortschritt in der Betriebswirtschaftslehre. In: Die Betriebswirtschaft, 55. Jg. (1995), Heft 1, S. 61-76.

MUKERJI, V.: A Generalized S.M.A.C. Function with Constant Ratios of Elasticity of Substitution. In: The Review of Economic Studies, Vol. 30 (1963), No. 3, S. 233-236.

NEUS, W.: Die Aussagekraft von Agency Costs – Eine Untersuchung anhand von Finanzierungsbeziehungen im Kapitalmarktzusammenhang. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 41. Jg. (1989), Heft 6, S. 472-490 (a).

NEUS, W.: Ökonomische Agency-Theorie und Kapitalmarktgleichgewicht. Dissertation, Universität zu Köln 1988. Wiesbaden 1989 (b).

NIEBERGALL, K.-G.: Structuralism, Model Theory and Reduction. In: Synthese, Vol. 130 (2002), S. 135-162.

OPP, K.-D.: Methodologie der Sozialwissenschaften – Einführung in Probleme ihrer Theoriebildung und praktischen Anwendung. 5. Aufl., Wiesbaden 2002.

PAPULA, L.: Mathematische Formelsammlung für Ingenieure und Naturwissenschaftler. 9. Aufl., Wiesbaden 2006.

PEARCE, D.: Roads to Commensurability. Überarbeitete Habilitationsschrift, Freie Universität Berlin 1986. Dordrecht - Boston - Lancaster et al. 1987.

PÉLI, G.; MASUCH, M.: The Logic of Propagation Strategies: Axiomatizing a Fragment of Organizational Ecology in First-Order Logic. In: Organization Science, Vol. 8 (1997), No. 3, S. 310-331.

PETERS, M.L.: Vertrauen in Wertschöpfungspartnerschaften zum Transfer von retentitivem Wissen – Eine Analyse auf Basis realwissenschaftlicher Theorien und Operationalisierung mithilfe des Fuzzy Analytic Network Process sowie der Data Envelopment Analysis. Dissertation, Universität Duisburg-Essen, Campus Essen, 2008. Wiesbaden 2008.

PICOT, A.: Ökonomische Theorien der Organisation – Ein Überblick über neuere Ansätze und deren betriebswirtschaftliches Anwendungspotential. In: Ordelheide, D.; Rudolph, B.; Büsselmann, E. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre und ökonomische Theorie. Stuttgart 1991, S. 143-170.

PICOT, A.; DIETL, H.: Transaktionskostentheorie. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 19. Jg. (1990), Heft 4, S. 178-184.

PICOT, A.; DIETL, H.; FRANCK, E.: Organisation – Eine ökonomische Perspektive. 3. Aufl., Stuttgart 2002.

PLAMBECK, E.L.; ZENIOS, S.A.: Incentive Efficient Control of a Make-to-Stock Production System. In: Operations Research, Vol. 51 (2003), No. 3, S. 371-386.

POPPER, K.R.: Objektive Erkenntnis – Ein evolutionärer Entwurf. 4. Aufl., Hamburg 1984.

POPPER, K.R.: Logik der Forschung. 11. Aufl., Tübingen 2005.

PORTEUS, E.L.; WHANG, S.: On Manufacturing / Marketing Incentives. In: Management Science, Vol. 37 (1991), No. 9, S. 1166-1181.

PRATT, J.W.: Risk Aversion in the Small and in the Large. In: Econometrica, Vol. 32 (1964), No. 1/2, S. 122-136.

PUTNAM, H.: Models and Reality. In: The Journal of Symbolic Logic, Vol. 45 (1980), No. 3, S. 464-482.

QUINE, W.V.: Ontological Relativity and Other Essays. New York - London 1969.

QUINE, W.V.O.: Ontologische Relativität und andere Schriften. Frankfurt 2003.

RAMSEY, F.P.: The Foundations of Mathematics – and other Logical Essays. 4. Druck, London 1965.

RAPPAPORT, S.: Models and Reality in Economics. Cheltenham 1998.

RAPPAPORT, S.: Economic Models as Mini-Theories. In: Journal of Economic Methodology, Vol. 8 (2001), No. 2, S. 275-285.

RASMUSEN, E.: Moral Hazard in Risk-averse Teams. In: The RAND Journal of Economics, Vol. 18 (1987), No. 3, S. 428-435.

REES, R.: The Theory of Principal and Agent – Part I. In: Bulletin of Economic Research, Vol. 37 (1985), S. 3-26 (a).

REES, R.: The Theory of Principal and Agent – Part II. In: Bulletin of Economic Research, Vol. 37 (1985), S. 75-95 (b).

RICHTER, R.; FURUBOTN, E.: Neue Institutionenökonomik – Eine Einführung und kritische Würdigung. 2. Aufl., Tübingen 1999.

RIPPERGER, T.: Ökonomik des Vertrauens – Analyse eines Organisationsprinzips. Dissertation, Universität München 1998. Tübingen 1998.

ROEDER, K.: Management virtueller Unternehmungen unter besonderer Berücksichtigung des Vertrauensmanagements. Dissertation, Universität Sankt Gallen. Bamberg 2000.

ROGERSON, W.P.: The First-Order Approach to Principal-Agent Problems. In: Econometrica, Vol. 53 (1985), No. 6, S. 1357-1367.

ROSS, A.: The Economic Theory of Agency: The Principal’s Problem. In: American Economic Review, Vol. 63 (1973), No. 2, S. 134-139.

SCHANZ, G.: Die Betriebswirtschaftslehre als Gegenstand kritisch-konstruktivistischer Betrachtung. Stuttgart 1990.

SCHÖNDUBE, J.R.: Informationsgehalt und Performancemaß-Manipulation in einer Agency-Beziehung mit Nachverhandlungsmöglichkeit. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 75. Jg. (2005), Heft 3, S. 219-246.

SCHULTZ, K.L.; JURAN, D.C.; BOUDREAU, J.W.: The Effects of Low Inventory on the Development of Productivity Norms. In: Management Science, Vol. 45 (1999), No. 12, S. 1664-1678.

SCHULTZ, K.L.; JURAN, D.C.; BOUDREAU, J.W.; MCCLAIN, J.O.; THOMAS, L.J.: Modeling and Worker Motivation in JIT Production Systems. In: Management Science, Vol. 44 (1998), No. 12, S. 1595-1607.

SCHURZ, G.: Wissenschaftliche Erklärung – Ansätze zu einer logisch-pragmatischen Wissenschaftstheorie. Dissertation, Universität Graz. Graz 1983.

SCHURZ, G.: Paradoxical Consequences of Balzer's and Gähde's Criteria of Theoreticity. Results of an Application to Ten Scientific Theories. In: Erkenntnis, Vol. 31 (1990), S. 161-214.

SCHWEIZER, U.: Vertragstheorie. Tübingen 1999.

SHUBIK, M.: A Game-Theoretic Approach to Political Economy – Volume 2 of Game Theory in the Social Sciences. Cambridge (Massachusetts) - London (England) 1984.

SIM, K.L.; KILLOUGH, L.N.: The Performance Effects of Complementarities Between Manufacturing Practices and Management Accounting Systems. In: Journal of Management Accounting Research, Vol. 10 (1998), S. 325-346.

SIVARAMAKRISHNAN, K.: Information Asymmetry, Participation, and Long-term Contracts. In: Management Science, Vol. 40 (1994), No. 10, S. 1228-1244.

SNEED, J.D.: Philosophical Problems in the Empirical Science of Science: A Formal Approach. In: Erkenntnis, Vol. 10 (1976), S. 115-146.

SNEED, J.D.: The Logical Structure of Mathematical Physics. 2. Aufl., Dordrecht - Boston - London 1979.

SNEED, J.D.: Structuralism and Scientific Realism. In: Erkenntnis, Vol. 19 (1983), S. 345-370.

SPENCE, M.; ZECKHAUSER, R.: Insurance, Information, and Individual Action. In: American Economic Review, Vol. 61 (1971), S. 380-387.

SPREMANN, K.: Agent and Principal. In: Bamberg, G.; Spremann, K. (Hrsg.): Agency Theory, Information, and Incentives. Berlin - Heidelberg - New York et al. 1987, S. 3-37 (a).

SPREMANN, K.: Zur Reduktion von Agency-Kosten. In: Schneider, D. (Hrsg.): Kapitalmarkt und Finanzierung. Jahrestagung des Vereins für Socialpolitik – Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. 15.-17.09.1986 in München. Berlin 1987, S. 341-350 (b).

STACHOWIAK, H.: Gegenwärtige Theorieprobleme der Sozialwissenschaften aus pragmatologischer Sicht. In: Müller, N.; Stachowiak, H. (Hrsg.): Problemlösungsoperator Sozialwissenschaft – Anwendungsorientierte Modelle der Sozial- und Planungswissenschaften in ihrer Wirksamkeitsproblematik, Band I. Stuttgart 1987, S. 49-229.

STEGMÜLLER, W.: Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie, Band II: Theorie und Erfahrung, Zweiter Halbband: Theorienstrukturen und Theoriendynamik. Berlin - Heidelberg 1973.

STEGMÜLLER, W.: Structures and Dynamics of Theories – Some Reflections on J.D. Sneed and T.S. Kuhn. In: Erkenntnis, Vol. 9 (1975), S. 75-100.

STEGMÜLLER, W.: Neue Wege der Wissenschaftsphilosophie. Berlin - Heidelberg - New York 1980.

STEGMÜLLER, W.: Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie, Band II: Theorie und Erfahrung, Dritter Teilband: Die Entwicklung des neuen Strukturalismus seit 1973. Berlin - Heidelberg - New York et al. 1986.

STEGMÜLLER, W.; VON KIBÉD, M.V.: Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie, Band III: Strukturtypen der Logik. Berlin - Heidelberg - New York et al. 1984.

STEVEN, M.: Produktionstheorie. Wiesbaden 1998.

STEVEN, M.; OTTERPOHL, L.: Virtuelle Unternehmen aus spieltheoretischer Sicht. In: Albach, H.; Specht, D.; Wildemann, H. (Schriftleitung): Virtuelle Unternehmen, ZfB-Ergänzungsheft 2/2000, Wiesbaden 2000, S. 177-200.

TERBERGER, E.: Neo-institutionalistische Ansätze: Entstehung und Wandel – Anspruch und Wirklichkeit. Habilitationsschrift, Universität Frankfurt am Main 1993. Wiesbaden 1994.

TERBERGER, E.: Ageny-Theorie. In: Corsten, H.; Gössinger, R. (Hrsg.): Lexikon der Betriebswirtschaftslehre. 5. Auflage, München 2008, S. 21-26.

TROITZSCH, K.G.: Modelling, Simulation, and Structuralism. In: Kuokkanen, M. (Hrsg.): Idealization VII: Structuralism, Idealization and Approximation. Amsterdam - Atlanta 1994, S. 159-177.

VETTERS, K.: Formeln und Fakten. Stuttgart - Leipzig 1996.

VOGT, J.: Vertrauen und Kontrolle in Transaktionen – Eine institutionenökonomische Analyse. Dissertation, Freie Universität Berlin 1996. Wiesbaden 1997.

WAGENHOFER, A.: Anreizsysteme in Agency-Modellen mit mehreren Aktionen. In: Die Betriebswirtschaft, 56. Jg. (1996), Heft 2, S. 155-165.

WAGENHOFER, A.; EWERT, R.: Linearität und Optimalität in ökonomischen Agency Modellen – Zur Rechtfertigung des LEN-Modells. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 63. Jg. (1993), Heft 4, S. 373-391.

WATKINS, J.W.N.: Wissenschaft und Skeptizismus. Tübingen 1992.

WENGER, E.; TERBERGER, E.: Die Beziehung zwischen Agent und Prinzipal als Baustein einer ökonomischen Theorie der Organisation. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 17. Jg. (1988), Heft 10, S. 506-514.

WIESE, H.: Mikroökonomik. 3. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York 2002.

WIGAND, R.T.; PICOT, A.; REICHWALD, R.: Information, Organisation und Management: Expanding Markets and Corporate Boundaries. Chichester - New York - Weinheim et al. 1997.

WILLIAMSON, O.E.: The Economics of Governance: Framework and Implications. In: Journal of Institutional and Theoretical Economics / Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft, Vol. 140 (1984), No. 1, S. 195-223.

WILLIAMSON, O.E.: The Economic Institutions of Capitalism: Firms, Markets, Relational Contracting. New York - London 1985.

WOLFF, B.: Organisation durch Verträge – Koordination und Motivation in Unternehmen. Überarbeitete Version der Dissertation, Universität München 1994. Wiesbaden 1995.

WRIGHT, P.; MUKHERJI, A.; KROLL, M.J.: A reexamination of agency theory assumptions: extensions and extrapolations. In: The Journal of Socio-Economics, Vol. 30 (2001), No. 5, S. 413-429.

YOUNG, S.M.: Field Research Methods in Management Accounting. In: Accounting Horizons, Vol. 13 (1999), No. 1, S. 76-84.

ZELEWSKI, S.: Kapazitätsvergleich produktionswirtschaftlicher Theorien. Ein Ansatz auf der Basis des „non statement view“. In: Corsten, H.; Köhler, R.; Müller-Merbach, H.; Schröder, H.-H.

(Hrsg.): Kapazitätsmessung, Kapazitätsgestaltung, Kapazitätsoptimierung – eine betriebswirtschaftliche Kernfrage. Stuttgart 1992, S. 63-93.

ZELEWSKI, S.: Strukturalistische Produktionstheorie – Konstruktion und Analyse aus der Perspektive des „non statement view“. Geringfügig überarbeitete Fassung der Habilitationsschrift, Universität zu Köln 1992. Wiesbaden 1993.

ZELEWSKI, S.: Produktionstheorie aus der Perspektive des „non statement view“ – Ein Beitrag zur strukturalistischen Formulierung produktionswirtschaftlicher Theorien. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 64. Jg. (1994), Heft 7, S. 897-922.

ZELEWSKI, S.: Produktionstheorie, strukturalistische. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 1595-1603.

ZELEWSKI, S.: Evolution produktionswirtschaftlicher Theoriebildung unter dem Einfluss ökologischer Problemstellungen – Eine Rekonstruktion auf der Basis des „non statement view“. In: Weber, J. (Hrsg.): Umweltmanagement – Aspekte einer umweltbezogenen Unternehmensführung. Stuttgart 1997, S. 335-373.

ZELEWSKI, S.: Strukturalistische Rekonstruktion einer theoretischen Begründung des Produktivitätsparadoxons der Informationstechnik. In: Becker, J.; König, W.; Schütte, R.; Wendt, O.; Zelewski, S. (Hrsg.): Wirtschaftsinformatik und Wissenschaftstheorie – Bestandsaufnahmen und Perspektiven. Wiesbaden 1999, S. 25-68.

ZELEWSKI, S.: Konventionelle versus strukturalistische Produktionstheorie – ein Beitrag zum produktionstheoretischen „Paradigmenstreit“ –. Arbeitsbericht Nr. 20, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen, Campus Essen. Essen 2003.

ZELEWSKI, S.: Epistemische Unterbestimmtheit ökonomischer Theorien – eine Analyse des konventionellen Theorienkonzepts aus der Perspektive des „non statement view“. In: Frank, U. (Hrsg.): Wissenschaftstheorie in Ökonomie und Wirtschaftsinformatik – Theoriebildung und -bewertung, Ontologien, Wissensmanagement. Wiesbaden 2004, S. 1-30.

ZELEWSKI, S.: Relativer Fortschritt von Theorien – Ein strukturalistisches Rahmenkonzept zur Beurteilung der Fortschrittlichkeit wirtschaftswissenschaftlicher Theorien. In: Zelewski, S.; Akca, N. (Hrsg.): Fortschritt in den Wirtschaftswissenschaften – Wissenschaftstheoretische Grundlagen und exemplarische Anwendungen. Wiesbaden 2006, S. 217-336.

ZELEWSKI, S.: Beurteilung betriebswirtschaftlichen Fortschritts – Ein metatheoretischer Ansatz auf Basis des „non statement view“. In: Die Betriebswirtschaft, 67. Jg. (2007), Heft 4, S. 445-481.

ZELEWSKI, S.; HOHMANN, S.; HÜGENS, T.: Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme – Konzepte und exemplarische Implementierungen mithilfe von SAP® R/3®. München 2008.

ZHOU, X.: A Graphical Approach to the Standard Principal-Agent Model. In: Journal of Economic Education, Vol. 33 (2002), No. 3, S. 265-276.

ZOGLAUER, T.: Das Problem der theoretischen Terme. Eine Kritik an der strukturalistischen Wissenschaftstheorie. Braunschweig - Wiesbaden 1993.

Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement Universität Duisburg-Essen / Campus Essen

Verzeichnis der Arbeitsberichte (ISSN 1614-0842)

Nr. 1: Zelewski, S.: Stickels theoretische Begründung des Produktivitätsparadoxons der Informationstechnik. Universität Essen, Essen 1999.

Nr. 2: Zelewski, S.: Flexibilitätsorientierte Koordinierung von Produktionsprozessen. Universität Essen, Essen 1999.

Nr. 3: Zelewski, S.: Ontologien zur Strukturierung von Domänenwissen. Universität Essen, Essen 1999.

Nr. 4: Siedentopf, J.; Schütte, R.; Zelewski, S.: Wirtschaftsinformatik und Wissenschaftstheorie. Universität Essen, Essen 1999.

Nr. 5: Fischer, K.; Zelewski, S.: Ontologiebasierte Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken mit Multi-Agenten-Systemen. Universität Essen, Essen 1999.

Nr. 6: Weihermann, A.E.; Wöhlert, K.: Gentechnikakzeptanz und Kommunikationsmaßnahmen in der Lebensmittelindustrie. Universität Essen, Essen 1999.

Nr. 7: Schütte, R.: Zum Realitätsbezug von Informationsmodellen. Universität Essen, Essen 2000.

Nr. 8: Zelewski, S.: Erweiterungen eines Losgrößenmodells für betriebliche Entsorgungsprobleme. Universität Essen, Essen 2000.

Nr. 9: Schütte, R.: Wissen, Zeichen, Information, Daten. Universität Essen, Essen 2000.

Nr. 10: Hemmert, M.: The Impact of Internationalization and Externalization on the Technology Acquisition Performance of High-Tech Firms. Universität Essen, Essen 2001.

Nr. 11: Hemmert, M.: Erfolgswirkungen der internationalen Organisation von Technologiegewinnungsaktivitäten. Universität Essen, Essen 2001.

Nr. 12: Hemmert, M.: Erfolgsfaktoren der Technologiegewinnung von F&E-intensiven Großunternehmen. Universität Essen, Essen 2001.

Nr. 13: Schütte, R.; Zelewski, S.: Epistemological Problems in Working with Ontologies. Universität Essen, Essen 2001.

Nr. 14: Peters, M.L.; Zelewski, S.: Analytical Hierarchy Process (AHP). Universität Essen, Essen 2002.

Nr. 15: Zelewski, S.: Wissensmanagement mit Ontologien. Universität Essen, Essen 2002.

Nr. 16: Klumpp, M.; Krol, B.; Zug, S.: Management von Kompetenzprofilen im Gesundheitswesen. Universität Essen, Essen 2002.

Nr. 17: Zelewski, S.: Der „non statement view“ – eine Herausforderung für die (Re-) Konstruktion wirtschaftswissenschaftlicher Theorien. Universität Essen, Essen 2002.

Nr. 18: Peters, M.L.; Zelewski, S.: A heuristic algorithm to improve the consistency of judgments in the Analytical Hierarchy Process (AHP). Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.

Nr. 19: Peters, M.L.; Zelewski, S.: Fallstudie zur Lösung eines Standortplanungsproblems mit Hilfe des Analytical Hierarchy Process (AHP). Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.

Nr. 20: Zelewski, S.: Konventionelle versus strukturalistische Produktionstheorie. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.

Nr. 21: Alparslan, A.; Zelewski, S.: Moral Hazard in JIT Production Settings. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.

Nr. 22: Dittmann, L.: Ontology-based Skills Management. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.

Nr. 23: Peters, M.L.; Zelewski, S.: Ein Modell zur Auswahl von Produktionsaufträgen unter Berücksichtigung von Synergien. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.

Nr. 24: Peters, M.L.; Zelewski, S.: Ein Modell zur Zuordnung ähnlicher Kundenbetreuer zu Kunden. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.

Nr. 25: Zelewski, S.: Kooperatives Wissensmanagement in Engineering-Netzwerken – (vorläufiger) Abschlussbericht zum Verbundprojekt KOWIEN. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.

Nr. 26: Siemens, F.: Vorgehensmodell zur Auswahl einer Variante der Data Envelopment Analysis. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2005.

Nr. 27: Alan, Y.: Integrative Modellierung kooperativer Informationssysteme – Ein Konzept auf der Basis von Ontologien und Petri-Netzen. Dissertation, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2005.

Nr. 28: Akca, N.; Ilas, A.: Produktionsstrategien – Überblick und Systematisierung. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2005.

Nr. 29: Zelewski, S.: Relativer Fortschritt von Theorien – ein strukturalistisches Rahmenkonzept zur Beurteilung der Fortschrittlichkeit wirtschaftswissenschaftlicher Theorien (Langfassung). Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2005.

Nr. 30: Peters, M.L.; Schütte, R.; Zelewski, S.: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse mithilfe des Analytic Hierarchy Process (AHP) unter Berücksichtigung des Wissensmanagements zur Beurteilung von Filialen eines Handelsunternehmens. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2006.

Nr. 31: Zelewski, S.: Beurteilung betriebswirtschaftlichen Fortschritts – ein metatheoretischer Ansatz auf Basis des „non statement view“ (Langfassung). Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2006.

Nr. 32: Kijewski, F.; Moog, M.; Niehammer, M.; Schmidt, H.; Schröder, K.: Gestaltung eines Vorgehensmodells für die Durchführung eines Promotionsprojekts am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Universität Duisburg-Essen, Campus Essen, zum Erwerb des „Dr. rer. pol.“ mithilfe von PETRI-Netzen. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2006.

Nr. 33: Peters, M.L.; Zelewski, S.: Effizienzanalyse unter Berücksichtigung von Satisfizierungsgrenzen für Outputs – Die Effizienz-Analysetechnik EATWOS. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2006.

Nr. 34: Häselhoff, I.; Meves, Y.; Munsch, D.; Munsch, S.; Schulte-Euler, D.; Thorant, C.: Anforderung an eine verbesserte Lehrqualität – Qualitätsplanung mittels House of Quality. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2007.

Nr. 35: Zelewski, S.: Das ADL-Modell der Prinzipal-Agent-Theorie für die Just-in-Time-Produktionssteuerung – Darstellung, Analyse und Kritik. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2008.