

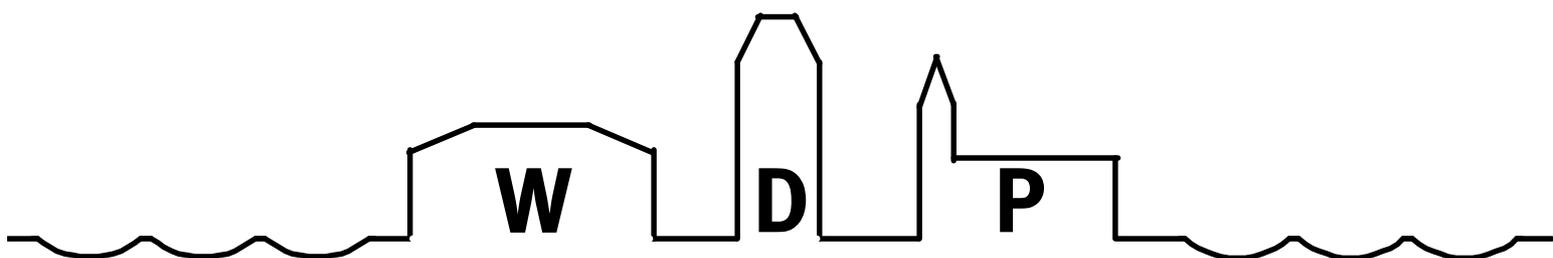


Fakultät für Wirtschaftswissenschaften  
Wismar Business School

Herbert Müller

Die Hauptsätze der Thermodynamik  
Eine Neubetrachtung aus systemwissenschaftli-  
cher Sicht mit Konsequenzen

Heft 06 / 2010



**Wismarer Diskussionspapiere / Wismar Discussion Papers**

Die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Wismar, University of Applied Sciences – Technology, Business and Design bietet die Präsenzstudiengänge Betriebswirtschaft, Wirtschaftsinformatik und Wirtschaftsrecht sowie die Fernstudiengänge Betriebswirtschaft, Business Consulting, Business Systems, Facility Management, Quality Management, Sales and Marketing und Wirtschaftsinformatik an. Gegenstand der Ausbildung sind die verschiedenen Aspekte des Wirtschaftens in der Unternehmung, der modernen Verwaltungstätigkeit, der Verbindung von angewandter Informatik und Wirtschaftswissenschaften sowie des Rechts im Bereich der Wirtschaft.

Nähere Informationen zu Studienangebot, Forschung und Ansprechpartnern finden Sie auf unserer Homepage im World Wide Web (WWW): <http://www.wi.hs-wismar.de/>.

Die Wismarer Diskussionspapiere/Wismar Discussion Papers sind urheberrechtlich geschützt. Eine Vervielfältigung ganz oder in Teilen, ihre Speicherung sowie jede Form der Weiterverbreitung bedürfen der vorherigen Genehmigung durch den Herausgeber.

Herausgeber: Prof. Dr. Jost W. Kramer  
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften  
Hochschule Wismar  
University of Applied Sciences – Technology, Business  
and Design  
Philipp-Müller-Straße  
Postfach 12 10  
D – 23966 Wismar  
Telefon: ++49/(0)3841/753 441  
Fax: ++49/(0)3841/753 131  
E-Mail: [jost.kramer@hs-wismar.de](mailto:jost.kramer@hs-wismar.de)

Vertrieb: HWS-Hochschule Wismar Service GmbH  
Phillipp-Müller-Straße  
Postfach 12 10  
23952 Wismar  
Telefon:++49/(0)3841/753-574  
Fax: ++49/(0) 3841/753-575  
E-Mail: [info@hws-wismar.de](mailto:info@hws-wismar.de)  
Homepage: <http://cms.hws-wismar.de/service/wismarer-diskussions-brpapiere.html>

ISSN 1612-0884

ISBN 978-3-939159-88-9

JEL-Klassifikation C00, Z00

Alle Rechte vorbehalten.

© Hochschule Wismar, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, 2010.

Printed in Germany

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Abstract</b>	<b>4</b>
<b>1. Einführung – Betrachtungsstufen aus systemtheoretischer Sicht</b>	<b>4</b>
<b>2. Betrachtung der Stufe I – 1. Hauptsatz</b>	<b>6</b>
<b>3. Betrachtung der Stufe II – 2. Hauptsatz</b>	<b>7</b>
<b>4. Betrachtung der Stufe III – der 3. Hauptsatz</b>	<b>10</b>
<b>5. Vervollständigung der Aussagen zur Stufe III bzw. zum 3. Hauptsatz – das Prinzip der Maximierung der Entropieproduktion (PdMdE)</b>	<b>12</b>
<b>6. Diskussion und Konsequenzen</b>	<b>17</b>
<b>7. Zusammenfassung</b>	<b>22</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>22</b>
<b>Autorenangaben</b>	<b>24</b>

Wir wissen nichts, das ist das Erste. Deshalb sollten wir sehr bescheiden sein, das ist das Zweite. Dass wir nicht behaupten zu wissen, wenn wir nichts wissen, das ist das Dritte. Das ist die Einstellung, die ich gern populär machen würde. Es besteht wenig Hoffnung auf Erfolg.

KARL POPPER

## Abstract\*

Seit ihrer Erkenntnis und Formulierung im Rahmen der Ausarbeitung der Thermodynamik zeigte sich, dass der Geltungsbereich der sog. Hauptsätze weit über die Grenzen der Thermodynamik im engeren Sinne hinausreicht – sie sind offenbar *das* Fundament aller materiellen Prozesse. Unverständlich bleibt aber, dass der 3. Hauptsatz gegenüber den ersten beiden untergewichtet ist, ein „Schattendasein führt“. Aus systemtheoretischer Sicht muss es für eine allgemeine Beurteilung beliebiger Prozesse 3 Betrachtungsstufen geben, denen die 3 Hauptsätze in der bisherigen Fassung aber nicht hinreichend eindeutig zuordenbar sind. Der Versuch einer Korrektur dieser Disproportion zeigt, dass bisher dem 2. Hauptsatz zugeordnete Aussagen zu irreversiblen Prozessen die Unterbewertung des dritten Hauptsatzes beseitigen können, dabei aber auch neue Fragen aufwerfen. Deren Beantwortung führt zu einem neuen Prinzip, dem Prinzip der Maximierung der Entropieproduktion, dessen Aussagen insbesondere Strukturwandlungs- und Evolutionsprozesse besser verständlich werden lassen und im Bereich der menschgeführten Technik- und Wirtschaftsprozesse zu Handlungskonsequenzen auffordern.

### 1. Einführung – Betrachtungsstufen aus systemtheoretischer Sicht

Auch wenn das o.g. Zitat von POPPER (zitiert nach /Un, S. 260/) vielleicht etwa schwarz-weiß malt, es drückt aus, dass Zweifel und Skepsis auch an bisher als unveränderlich richtig Geglaubtem immer angebracht sind.

Die Thermodynamik – allgemeine Energielehre und allgemeine Gleichgewichtslehre physikalischer Systeme (nach BAEHR /Ba, S.7, 8/) – gründet auf ihre Hauptsätze. Sie sind Erfahrungssätze, die sich bei der Beschreibung natürlicher Vorgänge sowie bei der Entwicklung technischer Systeme und der darin ablaufenden technischen Prozesse hervorragend bewährt haben. Nun ist festzustellen:

---

\* Der Autor dankt den Herren Prof. Dr. Jost W. Kramer und Dr. sc. techn. Dieter Herzig für ihre Gesprächsbereitschaft und wertvollen Hinweise sowie Prof. Kramer für das Zustandekommen des Heftes.

Die Thermodynamik hat seit ihren Anfängen eine stürmische Entwicklung durchgemacht, die z.B. MUSCHIK zu der Frage veranlasste: „Why so many >schools< of thermodynamics?“ /Mu/.

Außerdem zeigte sich, dass die beiden ersten Hauptsätze offenbar weit über die Grenzen der Thermodynamik im engeren Sinne hinaus in andere Wissenschaftsbereiche hinein wirkten. So wurde der 1. Hauptsatz zum generell gültigen „Energieerhaltungssatz“ und bezüglich der Wirkung des 2. Hauptsatzes auf andere Wissensgebiete sei hier beispielhaft auf folgende Forscher bei den jeweiligen Disziplinen verwiesen, auf

- den Informationstheoretiker CLAUDE SHANNON /Sh/
- den Bio-Ökonomen NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN /Ro/
- den Sozio-Ökonomen JEREMY RIFKIN /Ri/
- den Ökologen MATTHIAS BINSWANGER /Bi/
- den Elektrotechniker und Evolutionsforscher JACQUES NEYRINCK /Ne/
- den Energietechniker, Kreativitätsforscher und früheren VDI-Vorsitzenden KLAUS KNIZIA /Kn/.

Demgegenüber führt der 3. Hauptsatz – es sei diese laxe Formulierung gestattet – geradezu ein Schattendasein. Jedes Thermodynamik-Lehrbuch widmet den beiden ersten Hauptsätzen umfangreiche Kapitel, dagegen wird die Existenz eines dritten Hauptsatzes in zahlreichen Lehrbüchern nicht mal erwähnt, so z.B. im technischen Bereich bei CERBE/HOFFMANN /CH/ oder /MEYER/SCHIFFNER /MS/. Manchmal wurde das diesem Hauptsatz entsprechende NERNSTsche Wärmethorem nur als „sogenannter“ dritter Hauptsatz bezeichnet, siehe z.B. in /Ba, S.85/ und auch für die von MUSCHIK untersuchten „schools of thermodynamics“ spielt der 3. Hauptsatz keine Rolle.

Die Ausweitung des Gegenstandsbereichs beim 2. Hauptsatz einerseits und die Untergewichtung des 3. Hauptsatzes lassen eine gewisse Skepsis an der Endgültigkeit und damit gewissermaßen rückblickend eine neuerliche Betrachtung der Hauptsätze sinnvoll erscheinen.

Retrospektive Analysen dieser Art sind deshalb effizient, weil sie, anders als bei der erstmaligen Entdeckung, die inzwischen bekannten Folgerungen schon beim Start der Neubetrachtung voraussetzen können (natürlich, ohne Zirkelschlüsse zu erzeugen). Auch eine Neubetrachtung wird nicht an der Tatsache vorbeikommen, dass die Hauptsätze zwar erklärbare, aber eben doch Erfahrungssätze sind. Nur wird die „Art der Erfahrung“ eine andere sein dürfen, als bei der erstmaligen Entdeckung. Im vorliegenden Fall ist ganz sicher die erste Erfahrung die, dass alles Seiende Veränderungen unterliegt. Bereits HERAKLIT fasste das vor rund 2500 Jahren in den Satz „alles fließt“. Es muss also insbesondere gefragt werden, ob das Prozesshafte schon hinreichend beschrieben ist.

Aufgabe des vorliegenden Beitrages ist deshalb eine Betrachtung der drei Hauptsätze von der systemtheoretischen Position aus, die zeigen wird, dass die Reduzierung eines 3. Hauptsatzes auf das NERNSTsche Wärmethorem of-

fenbar zu kurz greift; eine erweiternde Präzisierung ist nötig und möglich und ist damit geeignet, die vorgenannte Ungleichheit in der Gewichtung der Hauptsätze zu überwinden.

Aus systemtheoretischer Sicht kann die Erklärung eines final interessierenden Prozesses von zwei Seiten aus erfolgen, aus der Sicht der sich verändernden Systeme, indem man deren Zustandsänderungen markiert, oder aus der Sicht des Prozesses selbst, indem solche Prozess-Eigenschaften erkannt werden, die nicht als Eigenschaft der agierenden Systeme bezeichnet werden können. Nun kommt eine wichtige Grunderfahrung hinzu: natürliche wie technische Prozesse sind ähnlich wiederholbar (im Grenzfall vollständig). Es muss folglich einen „Gesetzesrahmen“ geben, der „reine Anarchie“ verhindert. Zusammengefasst sind ganz allgemein für eine analysierende (Naturwissenschaftler), aber auch synthetisierende (Konstrukteur) Erkenntnistätigkeit drei Stufen unabdingbar:

Stufe I: Rahmenbedingungen erkennen/festlegen,

Stufe II: Systemverhalten durch Zustandsverhalten der Elemente erkennen/festlegen,

Stufe III: Prozesscharakteristik summarisch erkennen/kontrollieren.

Dabei ist zu beachten: Stufe II und III beschreiben im Prinzip das gleiche Geschehen, aber von zwei verschiedenen Positionen aus. Bei Stufe II wird man durch Angabe der Folge der Zustände die für Prozesse typische Zeitabhängigkeit ausblenden können, für Stufe III geht das dann aber nicht.

Hierin liegt die Notwendigkeit einer selbständigen Stufe III begründet. Diese Stufeneinteilung gilt auch für offenbar „triviale“ Fälle, wie z.B. ein Fußballspiel:

Zur ersten Stufe gehören die Spielregeln, das Reglement. Das System und seine Elemente sind die 2 Mannschaften (mit den je 11 Spielern) und dem zugehörigen Tor. Die Aussage: „Mannschaft A musste 2 mal den Ball aus ihrem Tor entnehmen, Mannschaft B dagegen nur 1 mal“ beschreibt offenbar den Prozess der 90 Spielminuten aus der Sicht der Systemelemente, also aus Sicht der Stufe II. Dagegen ist die Aussage eines Zuschauers: „Das war ein langsames (Zeitaspekt!), zu wenig offensiv geführtes Spiel“ nicht auf Stufe I oder II zurückführbar, also offenbar eine zu Stufe III gehörige Erkenntnis.

Für die „im ständigen Fluss“ (HERAKLIT!) befindliche Welt müssen nun diese drei Stufen auch gelten und es drängt sich bei der Grundsätzlichkeit der Hauptsätze die Frage auf, inwieweit die drei Hauptsätze eben diesen drei Stufen zuzuordnen sind, insbesondere: welche Schlussfolgerungen aus solcher Zuordnung für den unterrepräsentierten 3. Hauptsatz gewonnen werden können.

## **2. Betrachtung der Stufe I – 1. Hauptsatz**

Es ist für das Erkennen dessen, was den „Rahmen“ gemäß Stufe I ausmacht,

zunächst die o.g. Grunderfahrung genauer zu betrachten. Die Aussage: „sich unter identisch gleichen Bedingungen im Grenzfall identisch wiederholende Prozesse“ setzt voraus, dass genau definiert ist, was alles als Prozessakteur gilt, also das zu betrachtende (Gesamt)system ist. Das ist die bekannte Forderung nach exakter Festlegung der Systemgrenzen – und zwar so, dass alle Wirkungen **im** System stattfinden, also das System im üblichen Sprachgebrauch abgeschlossen ist. Außerdem schließt die genannte Aussage eine Unabhängigkeit vom Startzeitpunkt ein, denn „Wiederholung“ heißt: zu einem späteren Zeitpunkt. Sind nun die Veränderungen identisch, heißt das: kein Einfluss des Zeitpunktes auf der Zeitskala auf den Prozess. Die Mathematik subsumiert dieses Zeitverhalten unter dem Begriff der „kontinuierlichen Symmetrie“, für die nach dem NOETHER-Theorem gilt:

„Zu jeder kontinuierlichen Symmetrie eines physikalischen Systems gehört eine Erhaltungsgröße und umgekehrt“ /W1/.

Damit ist die Existenz einer solchen Erhaltungsgröße festgelegt, nicht aber, wer oder was diese Größe ist. Etwas Existierendes kann aber bereits benannt werden, auch wenn man Details noch gar nicht kennt, also z.B. mit „Energie“  $E$ , so dass

$$dE = 0 \quad \text{gilt.}$$

Da voraussetzungsgemäß alle materiellen Prozesse erfasst werden sollen, dürfen Richtungen im Raum keine Rolle spielen, da sonst eine unzulässige Beschränkung der Allgemeinheit vorläge. Die Energie  $E$  muss also skalarer Natur sein. Wegen der genannten Allgemeinheit in der Voraussetzung ist dann diese Größe  $E$ , die Energie, die „einzige Eigenschaft, die alle materiellen Dinge gemeinsam haben“ (nach /BM, S. 34/). Zusammengefasst:

**Für abgeschlossene Systeme ist die Energie eine skalare Erhaltungsgröße, Energie kann nicht vergehen oder entstehen, d.h.:  $dE = 0 \rightarrow$  Energiesatz oder 1. Hauptsatz**

Das ist ganz offenbar der Rahmen, außerhalb dessen energiewandelnde Prozesse unmöglich sind.

$\rightarrow$  Der 1. Hauptsatz erfüllt damit die Anforderung gemäß Stufe I.

### 3. Betrachtung der Stufe II – 2. Hauptsatz

Systeme bestehen aus mehr oder weniger stark gekoppelten Elementen. Die Systemtheorie unterscheidet unter dem Begriff der Determiniertheit zwischen *deterministischen* Systemen, bei denen wegen der Determiniertheit der Übergang von einem Zustand  $Z_1$  in einen anderen Zustand  $Z_2$  zwingend, also eindeutig bestimmt ist und somit alle Systemzustände gleich wahrscheinlich sind und *stochastischen* Systemen, bei denen dieser Übergang nur wahrscheinlich ist, was bedeutet, dass verschiedene Systemzustände auch verschieden wahrscheinlich sein können.

Determiniertheit setzt **keinerlei** Freiheit in der Verkopplung der Elemente untereinander voraus. In stochastischen Systemen bestehen solche Freiheiten mehr oder weniger stark.

Definiert man einen dementsprechenden Freiheitsgrad  $F$  im Wertebereich zwischen 0 und 1, so ist

- bei deterministischen Systemen  $F = 0$  und
- bei stochastischen Systemen  $F > 0$ .

Ideale mechanische System (beachte z.B. Begriff „ideal starrer Körper“) gehören zur Gruppe der deterministischen Systeme mit  $F=0$ , für sie sind die Newtonschen Axiome hinreichende Grundlage zur Beschreibung des detaillierteren Verhaltens. Betrachtet man für bewegte „ideal starre Körper“ der Masse  $m$  und Geschwindigkeit  $v$  den skalaren (!) Ausdruck  $(mv^2/2)$ , so erweist sich dieser als konstant. Beispielsweise ist beim ideal elastischen Stoß zweier Kugeln die Summe dieser beiden Ausdrücke für beide Kugeln vor und nach dem Stoß gleich. Damit ist dieser Ausdruck offenbar die Konstante, die nach der Rahmenbedingung „Energieerhaltungssatz“ gefordert wird, womit man nun *für diese Systemart* auch weiß, „was die Energie  $E$  ist“, nämlich kinetische Energie  $E_{\text{kin}} = mv^2/2$ .

Außerdem liefert die logische Überlegung übereinstimmend mit der Erfahrung die Erkenntnis, dass unter den gleichberechtigten, weil gleich wahrscheinlichen Zuständen auch ein Zustand sein muss, wo das System in Ruhe ist. In diesem Fall herrscht (mechanisches) „Gleichgewicht“.

Gleiches Vorgehen würde bei stochastischen Systemen  $F > 0$  zu Widersprüchen führen. Denkt man sich beispielsweise einen in Ruhe schwebenden Luftballon mit einem Gas gefüllt, so hat das Gesamtsystem die kinetische Energie  $E_{\text{kin,ges}} = 0$ . Die Gasmoleküle befinden sich aber nicht in Ruhe (Brownsche Bewegung), jedes hat also kinetische Energie  $E_{\text{kin,Molek}} > 0$ . Weil die Energie ein Skalar ist, ist die Summe aller dieser Molekülenergien ebenfalls größer als Null, was einen Widerspruch zu  $E_{\text{kin,ges}} = 0$  bedeutet.

Außerdem zeigt die Erfahrung, dass zwischen völlig ruhenden Teilsystemen eines physikalischen Gesamtsystems Veränderung stattfinden kann (Wärmeübertragung), was dem eben definierten Gleichgewichtsmerkmal widerspricht.

Es ist also eine diesen Systemen gerecht werdende (im vorliegenden Falle die Mechanik ergänzende) Beschreibung erforderlich.

Dazu fand die Thermodynamik zwei Größen, mit denen das gelingt: die Temperatur  $T$  und die Entropie  $S$ .

**Mit der Temperatur  $T$**  wird es möglich, thermische Vorgänge an das oben skizzierte Vorgehen der (ideal) mechanischen Systeme anzupassen, indem *die thermische Energie* berechenbar und damit in die Energiebilanzgleichung des Energieerhaltungssatzes einordenbar wird (man denke z.B. an  $Q = m c \Delta T!$ ) und indem mit ihr *ein Kriterium für ein thermisches Gleichgewicht* gefunden wurde, so dass der zweite o.g. Widerspruch beseitigt werden kann (das ist der Inhalt des manchmal so genannten „Nullten Hauptsatzes“).

In Bezug auf den stochastischen Charakter der Systeme mit  $F > 0$  ist die wichtigere Größe **die Entropie S**. Da stochastische Systeme von allein nur zu wahrscheinlicheren Zuständen wechseln können (was ja der Sinn des Wortes „wahrscheinlich“ ist) und die Entropie nach der BOLTZMANNschen Gleichung dieser Wahrscheinlichkeit proportional ist, kann die Entropie bei Veränderung nur zunehmen, also  $dS > 0$ . Da der Gleichgewichtszustand durch „Ruhe“ gekennzeichnet ist, andererseits die relative Wahrscheinlichkeit  $w$  nicht über 1 steigen kann, ist ein Anstieg von  $S$  über den zu  $w = 1$  gehörigen Wert nicht möglich, der Prozess ist zu Ende, der Gleichgewichtszustand ist erreicht. Das alles ist die Aussage des 2. Hauptsatzes.

Für die deterministischen Systeme folgt daraus, da dort alle Zustände gleich wahrscheinlich sind, sofort

$$S = \text{const.}, \text{ also } dS = 0.$$

Gleiche Wahrscheinlichkeit aller Zustände bedeutet Umkehrbarkeit von Veränderungen (Reversibilität), zunehmende Wahrscheinlichkeit dementsprechend Nichtumkehrbarkeit.

#### *Wichtige Anmerkungen:*

1. Der vorgenannte Wechsel „von allein“ besagt, dass es im betrachteten Gesamtsystem treibende Potentialunterschiede geben muss (z.B. Temperaturunterschiede) als Veränderungsursache, die im Laufe des Prozesses, also mit Zunahme der Wahrscheinlichkeit, abgebaut werden. Beim Prozessende existieren dann keine Potentialunterschiede mehr.

Die Aussage, dass für das Gesamtsystem  $dS > 0$  ist, bedeutet nicht, dass ein Entropiezuwachs für alle Teile des Systems gelten muss. Es ist damit zulässig, dass sich Teilsysteme „auf Kosten“ des Rests des Gesamtsystems höher strukturieren, was abnehmender Entropie entspricht, wenn dadurch in Wechselwirkung mit dem Rest die Entropie des Gesamtsystems steigt.

Das ist die Randbedingung für die Bildung sog. „dissipativer Strukturen“ bis hin zu den Lebewesen. Weil Stufe II und III das gleiche Geschehen von zwei verschiedenen Positionen aus beschreiben, wird auf diese Problematik auch bei der Betrachtung der Stufe III einzugehen sein.

2. Aus der Sicht der Stufe II, also der Systemsicht, ist das WIE des Entstehens „höher strukturierter Teilsysteme“ anschaulich darstellbar: Das Entstehen eines solchen Teilsystems ist offenbar nur denkbar, wenn überhaupt noch „Antriebe“ bestehen, das Gesamtsystem noch nicht den Endzustand (= „Tod“) erreicht hat. Wenn ein solcher „Antrieb“ einen Auswahlmechanismus für Teile des Systems in Gang setzen kann, der geeignete Systemkomponenten „erkennt“ und zusammenbringt, sind die genannten Strukturbildungsprozesse möglich. Und dieses Auswählen kann durchaus rein zufällig vor sich gehen, wie folgendes Beispiel zeigen soll:

Ein Gasmischungsbestehen aus vielen, sich wahllos bewegenden Molekülen der Art A und B in einem gläsernen Kasten. Zum Gesamtsystem gehöre außer-

dem eine ungerichtet pendelnde Laserstrahlungsquelle, die normalerweise am Kasten vorbei strahlt.

Die Molekeln verhalten sich im Normalfall, also ohne Bestrahlung, inert (und seien außerdem auch sonst nicht voneinander trennbar).

Nun werde eine Ecke des Glaskastens, in die maximal 2 Molekel passen, durch die zufällig vorbeipendelnde Laserquelle soweit durchstrahlt, dass ungleichartige Molekel miteinander reagieren und einen neuen Stoff bilden können. Für die Anwesenheit der Molekel in der Ecke sind offenbar vier Fälle möglich: A-A, A-B, B-A, B-B, wovon zwei die Voraussetzung zum Reagieren erfüllen, was einer vergleichsweise hohen Bildungswahrscheinlichkeit von 50 % eines neuen Stoffes entspricht.

Das Beispiel zeigt, **wie** im (noch nicht den Endzustand erreicht habenden) System aus Unordnung **partiell** Ordnung entstehen kann.

Zusammengefasst gilt:

**Das Systemverhalten wird durch die Zustandsgröße Entropie S gekennzeichnet, für die bei abgeschlossenen Systemen gilt, dass sie nicht abnehmen kann, wobei bei  $F=0$  dann  $S=\text{const.}$  bzw.  $dS=0$  ist (Reversibilität), während bei  $F > 0$  dann S nur ansteigt bzw.  $dS > 0$  (Irreversibilität) vorliegt.**

Stufe II betrachtet Systemänderungen aus der Sicht des Systems bzw. der Systemelemente.

Für eine solche Betrachtung ist nur der andere Zustand an sich das Wesentliche, nicht die Zeit, in der das passiert. Deshalb wird in der klassischen Thermodynamik die Zeitvariable dadurch ausgeblendet, dass man die Vorgänge gedanklich unendlich langsam ablaufen lässt, sie „quasistatisch“ macht. Das hat zur Folge, dass alle Zustände untereinander gleich unwahrscheinlich oder aber eben dann auch gleich wahrscheinlich sind. Das „quasistatische“ System entspricht dann dem deterministischen System mit  $dS=0$ . Resultat:

→ Der 2. Hauptsatz erfüllt die Charakteristik gemäß Stufe II.

#### 4. Betrachtung der Stufe III – der 3. Hauptsatz

Nach dem Vorherigen drängt sich die Vermutung auf: Stufe III müsste der 3. Hauptsatz zuzuordnen sein.

Stufe III betrachtet das gleiche Geschehen, aber aus der Sicht des Prozesses. Für „Prozess“ ist die Abhängigkeit von der Zeit  $t$  wesentlich, die Zeitvariable kann nicht mehr ausgeblendet werden. Somit scheint es plausibel, die Zeitveränderlichkeit über die Entropieproduktion  $P_S$  zu untersuchen, also

$$P_S = dS/dt.$$

Die erste Frage lautet: Wie fügt sich in dieses Konzept das NERNSTsche Wärmetheorem, also der 3. Hauptsatz in der bisherigen Fassung, ein?

BAEHR/KABELAC formulieren den dritten Hauptsatz so /BK, S. 346,347/: „Die Entropie eines jeden reinen kondensierten Stoffes, der sich im inneren Gleichgewicht befindet, nimmt bei  $T=0$  ihren kleinsten Wert an, der von den übrigen intensiven Zustandsgrößen unabhängig ist und gleich Null gesetzt werden kann ... Aus dem dritten Hauptsatz folgt der Satz von der Unerreichbarkeit des (absoluten) Nullpunkts der thermodynamischen Temperatur.“

Bei WIKIPEDIA (Wi) wird das so in Formeln gefasst:

$$\lim_{T \rightarrow 0} S(T, p, V \dots) = S(T=0) = S_0 = \text{constant},$$

wobei für ideal kristalline Festkörper  $S_0 = 0$  wird.

Nunmehr gilt

1. Für  $S=\text{const}$  ist sofort  $P_S = dS/dt = 0$  gegeben.
2. Bei der Formulierung der Unerreichbarkeit des absoluten Nullpunktes ist der Bezug zur Entropieproduktion  $P_S$  noch nicht erkennbar, was nachgeholt werden soll:

Die Nichterreichbarkeit des absoluten Nullpunktes kann in einer für Energietechniker geläufigen Sicht z.B. so begründet werden, dass versucht wird, mit einer Kältemaschine  $T = 0$  zu erreichen. Nach der Theorie der linksläufigen Kreisprozesse ist für die bei  $T_{\text{unt}}$  „wegzukühlende“ Wärme  $Q$  und einer Temperatur  $T_{\text{ob}}$  für die Abwärme-Abfuhr z.B. an die Umgebung ein Arbeitsaufwand  $W$  erforderlich, für den sich im Falle konstanter Temperaturen bekanntermaßen berechnen lässt:

$$W = Q (T_{\text{ob}} / T_{\text{unt}} - 1).$$

Für  $T \rightarrow 0$  lassen sich aus dieser Beziehung zwei Schlussfolgerungen ziehen.

- Für  $T_{\text{unt}} \rightarrow 0$  strebt  $Q \rightarrow 0$  und der Arbeitsaufwand  $W \rightarrow \infty$ . Damit wird die Unerreichbarkeit des absoluten Nullpunkts verständlich.
- Wird die genannte Gleichung auf die Zeit  $t$  bezogen und nach der Wärme umgestellt, erhält man mit  $Q' = dQ/dt$  und  $W' = dW/dt$

$$Q' = W' / (T_{\text{ob}} / T_{\text{unt}} - 1)$$

Für eine beliebige Leistungsquelle mit  $W' \neq 0$  und eine reale Temperatur  $T_{\text{ob}} > 0$  wird bei  $T_{\text{unt}} = 0$  auch  $Q' = 0$ .

Es findet somit am (gedachten) System mit  $T = T_{\text{unt}} = 0$  kein Prozess mehr statt, also folglich auch kein mit  $Q'$  verbundener Entropietransport. Damit gilt *auch in diesem Fall* für das (gedacht) auf  $T=0$  abgekühlte System:

$$S = \text{const. und } P_S = 0.$$

Eine den eingangs genannten Formulierungen des 3. Hauptsatzes in der bisherigen Form *gleichwertige* Formulierung lautet dann

Beim Temperaturnullpunkt gibt es keine Entropieproduktion, also  
**→ bei  $T=0$  ist auch  $P_S = 0$ .**

Vergleicht man diese Formulierung mit der zum 2. Hauptsatz, s.o., fällt die **formale** Ähnlichkeit zur dortigen Formulierung für die reversiblen Vorgänge auf. Eine zur Formulierung des 2. Hauptsatzes für die irreversiblen Vorgänge

analoge Formulierung müsste dann offenbar so lauten:

→ bei  $T > 0$  ist  $P_S > 0$ .

Die daraus folgende Frage liegt auf der Hand: Zeigt die reale Welt, für die  $T > 0$  gilt, dieses Verhalten? Offensichtlich wäre dieser fehlende Teil eines dann umfassenderen dritten Hauptsatzes der wichtigere! Zusammenfassend gilt:

→ Der 3. Hauptsatz in der bisherigen Fassung erfüllt die Charakteristik gemäß Stufe III, offenbar aber nicht vollständig.

Hinweis: diese über  $P_S$  geführte Einordenbarkeit des (bisherigen) 3. Hauptsatzes in das 3-Stufenschema ist im Umkehrschluss ein Indiz dafür, dass mit  $P_S$  die richtige Größe zur allgemeinsten *Prozessbeschreibung* gefunden wurde.

Wer nicht mit der Mode geht, steht bald außerhalb des Kreises derer, die ernst genommen werden.

KARL POPPER /Un, S. 308/

## 5. Vervollständigung der Aussagen zur Stufe III bzw. zum 3. Hauptsatz – das Prinzip der Maximierung der Entropieproduktion (PdMde)

Bei der eben aufgezeigten „Fehlstelle“ im Gebäude der Hauptsätze handelt es sich eigentlich nur um eine Fehlstelle bezüglich der Erkenntnis, dass bereits bekannte oder vermutete Sachverhalte eben gerade an diesen Ort des Hauptsatzgebäudes gehören müssten, wie im folgenden gezeigt werden soll:

So, wie für die klassische Thermodynamik die Entropie, so ist für die *Thermodynamik irreversibler Prozesse* oder auch *Nichtgleichgewichtsthermodynamik* (deren detaillierte Ausarbeitung vor etwa 70 Jahren begann und die insbesondere mit dem Namen des Nobelpreisträgers PRIGOGINE verbunden ist) die Entropieproduktion  $P_S$  **die** bestimmende Grundgröße, s. z.B. bei /Mu/, /E1/ und /E2/.

Ist damit die angesprochene Fehlstelle bereits **hinreichend** besetzt? Nein, wie nun zu zeigen ist!

In der Nichtgleichgewichtsthermodynamik wird u.a. die Geschwindigkeit der Entropieproduktion  $P_S$  betrachtet, also  $dP_S/dt = d^2S/dt^2$ . Das befindet sich in Übereinstimmung mit der für Stufe III signifikanten Zeitabhängigkeit.

Für eine solche Geschwindigkeit gibt es *aus Systematikgründen* 3 Fälle:

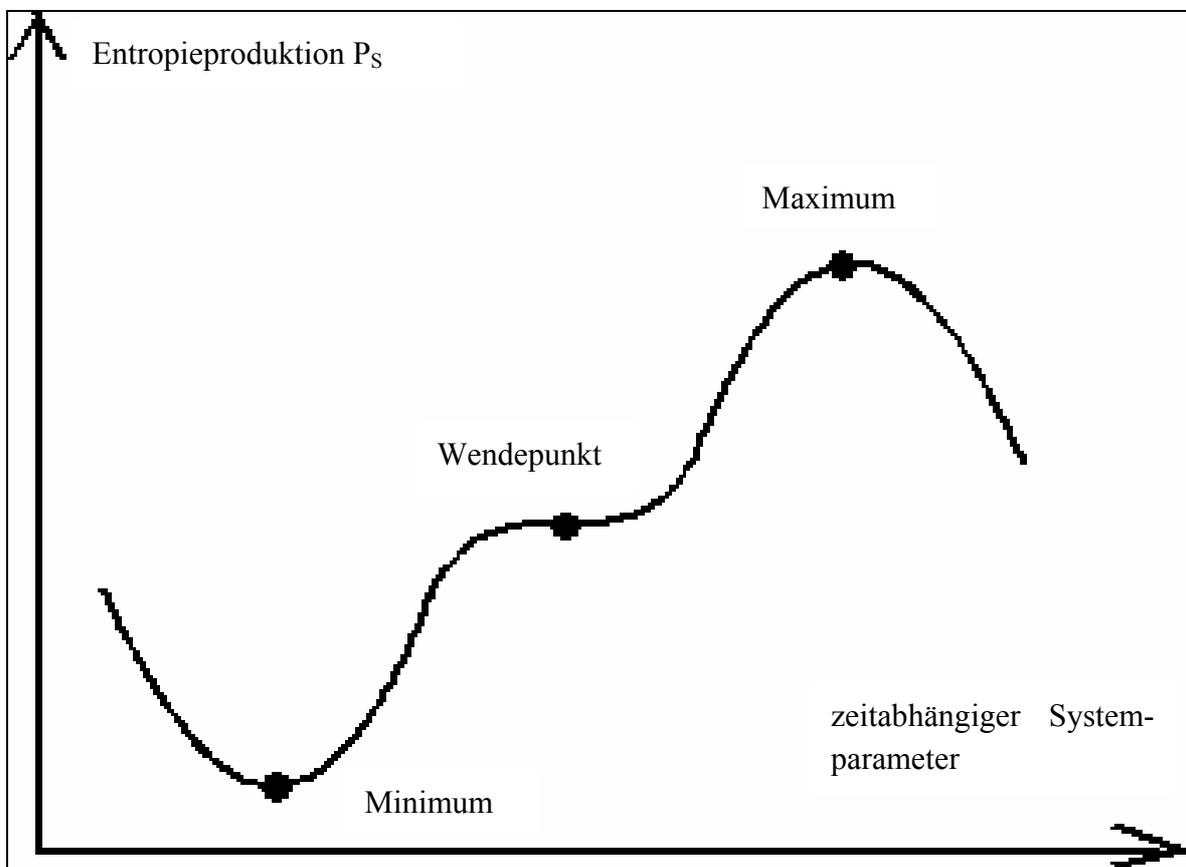
- degressive Entropieproduktion  $dP_S/dt < 0$ ,
- konstante Entropieproduktion  $dP_S/dt = 0$ ,
- progressive Entropieproduktion  $dP_S/dt > 0$ .

**Der erste Fall**  $dP_S/dt < 0$  ist die hauptsächliche Aussage des Theorems von PRIGOGINE für das Verhalten *linearer* Systeme:  $dP_S/dt < 0$  beschreibt das *Prinzip minimaler Entropieproduktion* (vergl. z.B. bei EBELING /E1, S. 146 u. 147/).

**Der zweite Fall**  $dP_S/dt=0$  beschreibt – neben der für den 3. Hauptsatz in der bisherigen Fassung zutreffenden trivialen Lösung für  $P_S=0$  – das Verhalten offener Systeme im sog. Fließgleichgewicht mit  $P_S=\text{const.}$  Weil bei linearen Systemen im Gleichgewichtsfall das Entropieminimum herrscht, ist bei kleinen Schwankungen ( $\delta$ ) um das Minimum  $P_S$  größer Null, also  $\delta P_S > 0$ , was in diesen Fällen das (Fließ)gleichgewichtskriterium ist, vergl. Abb.1.

**Der dritte Fall**  $dP_S/dt > 0$  kann (muss aber nicht!) für *nichtlineare* Systeme zutreffend sein, weil bei diesen Systemen der Zustand mit der minimalen Entropieproduktion instabil werden kann, also sowohl  $dP_S/dt < 0$  als auch  $dP_S/dt > 0$  möglich ist /E1, S. 164 u. 165/, /Mu, S. 157/.

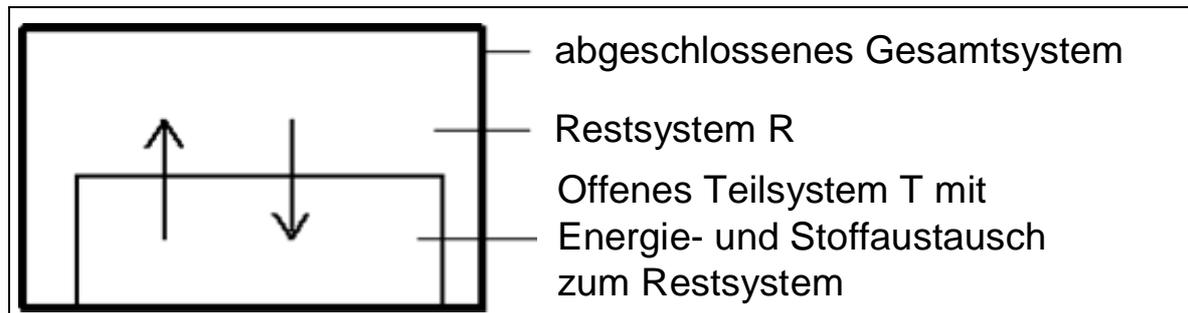
Abbildung 1: Entropieproduktionsverlauf mit Extrema und Wendepunkt



Quelle: Nach EBELING /E1, S. 147 u. 153/.

Fließgleichgewicht gemäß dem zweiten Fall bedeutet, dass der konstante Entropiezuwachse produzierende Energie- und Stoffaustausch zwischen dem interessierenden, offenen Teilsystem T und dem umgebenden Restsystem R stationär erfolgt, Abb. 2.

Abbildung 2: Geschlossenes Gesamtsystem mit offenen Subsystemen



Quelle: Eigene Darstellung.

Ergeben sich nun Veränderungen im Systemteil R, die auf Teilsystem T rückwirken, muss Teilsystem T reagieren. Sind die Abweichungen vom Fließgleichgewichtszustand nicht zu groß, so dass das Teilsystem T diese Abweichungen stets abfangen, sich also anpassen kann, wird es seine eigene Struktur eventuell zwar variieren, aber die Grundstruktur *nicht* verändern - das Teilsystem besitzt eine *etablierte* Struktur mit der Fähigkeit der Verhaltensorientierung. In diesen Fällen zeigt das System lineares oder dem vergleichbares Verhalten und es gilt das Prinzip minimaler Entropieproduktion  $dP_S/dt < 0$ .

Systemen *nichtlinearen* Verhaltens kommen, aus der Nichtlinearität heraus folgend, *mehrere* Lösungen zu. Werden die vorgenannten Abweichungen zu groß, d.h. die Anpassungsfähigkeit des Teilsystems T ist überschritten, so ist für die nichtlinearen Systeme der Übergang zu einer anderen Lösung – einer grundsätzlich anderen Struktur also – möglich. Das ursprüngliche Teilsystem hat sich nicht angepasst, es hat sich verwandelt. Da Anpassung und Verwandlung nicht identisch sind, kann die für Anpassung geltende Aussage  $dP_S/dt < 0$  nicht mehr gelten, es muss dann für die Verwandlung der o.g. dritte Fall  $dP_S/dt > 0$  gelten.

Dieser Sachverhalt wurde seit langem erahnt durch Vergleich mit der Erfahrung. Dazu drei Beispiele:

In /E2, S. 99/ wird JANTSCH so zitiert: „Einer der charakteristischen Züge der Evolution ist es offenbar, dass sie beim Aufbau neuer Strukturen keine Kosten für die Entropieproduktion scheut, während sie für etablierte Strukturen die geringste mögliche Entropieproduktion aufwendet.“

LUCAS formuliert das Ganze gewissermaßen invers /Lu/: „Das Energiesystem >Natur< organisiert sich somit insgesamt nach dem Gestaltungsprinzip >Dissipation< und keineswegs nach dem Prinzip >Minimale Entropieproduktion<.“

NEYRINCK schreibt /Ne, S.87 bis 89/: „Von allen Strukturen, die das Chaos auf zufällige Weise schafft, sind diejenigen am stabilsten, die einer maximalen Entropie für das gesamte zu betrachtende System entsprechen ... Je stärker die Entropie global zunimmt, umso mehr perfektionierte lokale Systeme schafft sie.“

Dieses Systemverhalten ist auch verständlich: Es ist keine Aussage findbar, die begründen könnte, dass **alle** (der mehreren, dem nichtlinearen System zukommenden) Lösungen die *gleiche* Entropieproduktion haben *müssen*.

D.h.: Wenn die verschiedenen Lösungen unterschiedliche  $P_S$ -Werte haben, muss es Fließgleichgewichte mit Wendepunkt- oder Maximumcharakter geben, bei denen dann vom Wendepunkt oder Maximum ausgehend Schwankungen mit  $\delta P < 0$  möglich sind, was der Stabilitätsbedingung für lineare Systeme widerspricht, s.o., vergl. Abb. 1! In solchem Falle würde bei einer Störung das bisherige Fließgleichgewicht verlassen werden und das System „wandert“ zu einem anderen Fließgleichgewicht entsprechend einer anderen Lösung des nichtlinearen Systems, einer verwandelten Systemstruktur. Die so entstandenen neuen Strukturen sind die sog. „dissipativen Strukturen“, die für die Evolution von zentraler Bedeutung sind.

Die Hauptsätze der Thermodynamik sind Erfahrungssätze. Wenn die in diesem Abschnitt dargestellten Überlegungen nicht einfach nur Interpretationen des 2. Hauptsatzes sein sollen, sondern ihnen eine eigenständige Hauptsatzfunktion auf der eingangs skizzierten „Fehlstelle“ des 3. Hauptsatzes zukommen sollte, dann fehlt noch ein diesen Umstand rechtfertigende Erfahrungstatsache. Und die kann gefunden werden:

Die potentielle Existenz verschiedener Lösungen nichtlinearer Systeme mit unterschiedlichen  $P_S$ -Werten erfordert eine Antwort auf die Frage, für **welche** Lösung sich die Natur entscheidet, es ist also noch eine Zusatzbedingung nötig. Und die hat am deutlichsten im Sinne *eines neuen Prinzips* POPPEI /Po/ formuliert:

„Wenn Größe und Komplexität des Systems entsprechende physikalisch-chemische Prozesse erlauben, dann werden von allen >denkbaren< Prozessen – das sind die nach dem ersten Hauptsatz möglichen - immer diejenigen bevorzugt realisiert, in deren Verlauf und als deren Folge die Rate der Entropieproduktion am schnellsten ... gesteigert werden kann.“

Analog zu dem zu  $dP_S/dt < 0$  gehörigen Prinzip minimaler Entropieproduktion scheint es sinnvoll, dieses Prinzip mit „**Prinzip der maximalen Entropieproduktion**“ (**PdMdE**) zu bezeichnen.

In /M1/ bis /M3/ werden Berechnungen für einige Beispiele realen oder fiktiven Strukturumschlags, die das PdMdE stützen, sowie Schlussfolgerungen für die Ingenieurarbeit vorgestellt und diskutiert, s.a. im folgenden Abschnitt.

Wenn es sich um das vermutete *allgemeine* Prinzip zur Besetzung der „Fehlstelle“ des 3. Hauptsatzes handelt, dann muss dieses Prinzip generell, also im Großen (z.B. Evolution) wie im Kleinen (z.B. elementare physikalische Vorgänge) gelten.

Zum „Kleinen“ ein Beispiel, nach /M1, S. II-69/: Allgemein bekannt ist das Umschlagen einer laminaren in eine turbulente Strömung – ein eben gewissermaßen schlagartiger Strukturwandel. Bei Rohrströmung erfolgt das übereinstimmend mit Messungen bei einer Reynoldszahl von  $Re = 2320$ .

Vereinfachend werde, was zulässig ist, ein in etwa inkompressibles Medium wie Wasser sowie adiabates Verhalten, also kein Wärmeaustausch mit der Umgebung, angenommen. Nun ist für beide Strömungsarten die Entropieproduktion zu bestimmen.

Betrachtet werde ein Rohrstück der Länge  $l$  zwischen den Punkten 1 und 2. Durch den Rohrquerschnitt  $A_q = \pi d^2/4$  fließe die Flüssigkeit mit der (konstanten) Geschwindigkeit  $c$ , der Dichte  $\rho$  und der spezifischen (auf die Masseinheit bezogenen) Entropie  $s$ . Während der Massenstrom  $\dot{m} = A_q c \rho$  konstant bleibt, also in Punkt 1 und 2 den gleichen Wert aufweist, nimmt infolge der durch Reibung irreversibel „erzeugten“ Wärme die Entropie von Punkt 1 bis zum Punkt 2 um  $\Delta s$  zu. Den Anstieg um  $\Delta s$  „erleidet“ die im Rohrstück der Länge  $l$  enthaltene Masse  $m_l = A_q l \rho$  in der Zeit  $t = l/c$ . Damit gilt für  $P_s$ , die Entropieproduktion:

$$P_s = (\Delta s \cdot m_l) / t = (\Delta s \cdot A_q l \rho) / (l / c) = \Delta s A_q \rho c = \Delta s \cdot \dot{m}$$

Die Reibungswärme  $q_R$  und damit dann auch die Entropiezunahme  $\Delta s$  berechnen sich aus dem Druckverlust  $\Delta p$  gemäß Strömungs- bzw. Wärmelehre zu

$$q_R = \Delta p / \rho \text{ bzw. } \Delta s = q_R / T = \Delta p / \rho T, \text{ wobei für gerade Rohre}$$

$$\Delta p = \frac{\lambda c^2}{2d} \rho \text{ gilt.}$$

Alles ineinander eingesetzt ergibt

$$P_s = \frac{\lambda c^2}{2dT} A_q c \rho = \frac{m_l}{2Td} \lambda c^3.$$

Für laminare Strömung gilt mit der kinematischen Zähigkeit  $\nu$

$$\lambda = 64 / \text{Re} \text{ mit der Reynoldszahl } \text{Re} = cd / \nu.$$

Für turbulente Strömung ist der Widerstandsbeiwert  $\lambda$  empirisch ermittelt worden, z. B. gilt nach der BLASIUSschen Beziehung  $\lambda = K / \text{Re}^{0,25}$ . Für voll ausgebildete turbulente Rohrströmung ist der dimensionslose Faktor  $K = 0,316$ . In der Nähe des Umschlagpunktes laminar  $\rightarrow$  turbulent ist, wie man aus den sog. Colebrook-Diagrammen schließen kann,  $K$  kleiner, schätzungsweise  $1/2 \dots 2/3 K$ .

Setzt man diese Beziehungen für  $\lambda$  in die Gleichung für  $P_s$  ein ergibt sich

$$P_{s,lam} = \frac{m_l}{2Td} \frac{64}{\text{Re}} c^3 \text{ bzw. } P_{s,turb} = \frac{m_l}{2Td} \frac{K}{\text{Re}^{0,25}} c^3$$

Daraus ergibt sich als Verhältnis  $\Pi = P_{s,turb} / P_{s,lam} = K \text{Re}^{0,75} / 64$ .

Für den Umschlagpunkt laminar  $\rightarrow$  turbulent, also den Grenzfall, ist  $\text{Re}_{\text{grenz}} = 2320$  bekannt. In diesem Fall muss  $\Pi=1$  sein. Damit wäre dann  $K$  berechenbar, nämlich  $K = 64/2320^{0,75} = 0,1914$ . Das liegt im oben genannten Bereich und bestätigt die Rechnung. Somit lässt sich nun schlußfolgern:

$$\text{Ist } \text{Re} < \text{Re}_{\text{grenz}} \rightarrow \Pi < 1 \rightarrow P_{s,lam} \text{ ist der größere Wert,}$$

ist  $Re > Re_{\text{grenz}} \rightarrow \Pi > 1 \rightarrow P_{S,\text{turb}}$  ist der größere Wert.

Das entspricht genau dem PdMdE, denn die Praxis zeigt:

Bei  $Re < Re_{\text{grenz}}$  ist die Strömung laminar,  
bei  $Re > Re_{\text{grenz}}$  ist die Strömung turbulent.

Die Strömungsform wird also von der Natur nach dem größeren Entropieproduktionswert ausgewählt.

Die bisherigen Überlegungen in diesem Abschnitt für  $T > 0$  betrafen nur irreversible Prozesse. Für reversible Prozesse in Systemen mit dem Freiheitsfaktor  $F=0$  ist wegen  $S=\text{const}$  dort  $P_S=0$ .

Damit lässt sich der 3. Hauptsatz in **formaler** Analogie zum 2. Hauptsatz so formulieren:

**Die in Systemen ablaufenden Prozesse werden durch die Entropieproduktion  $P_S = dS/dt$  gekennzeichnet, für die bei abgeschlossenen Systemen gilt,**

**dass bei  $T=0$  dann  $P_S=0$  ist,**

**während bei  $T > 0$  nur im reversiblen Fall  $P_S = 0$  ist und**

**in den realen, irreversiblen Fällen  $P_S > 0$  ist.**

**Für  $P_S > 0$  sind drei Fälle zu unterscheiden:**

- **Eine Minimierung von  $P_S$  gemäß  $dP_S/dt < 0$  gilt für Prozesse in etablierten Strukturen;**
- **Eine Maximierung von  $P_S$  gemäß  $dP_S/dt > 0$  gilt für evolutionäre Neustrukturierungsprozesse („Prinzip der Maximierung der Entropieproduktion“ – PdMdE);**
- **Unveränderliches, aber von Null verschiedenes  $P_S$  gemäß  $dP_S/dt = 0$  charakterisiert Fließgleichgewichte.**

**Diese Aussagen schließen die Unerreichbarkeit von  $T=0$  ein.**

Die meisten Leute spekulieren lieber über schwierige Dinge, als die Wahrheit in den einfachen zu sehen.

RENE DESCARTES /Un, S.294/

## 6. Diskussion und Konsequenzen

1. Es steht die Frage im Raum: ist eine dem PdMdE verwandte Dritte-Hauptsatz-Formulierung nicht schon früher getätigt worden?

HANSCHK und JUNG zitieren in der Erläuterung der (interessanten, aber nicht unumstrittenen) HASSschen „Energion“-Theorie die Autoren WIESER und LOTKA /HJ, S. 116/117/:

„Kurt Wieser, der sich in manchen seiner Gedanken der Energiontheorie annäherte, postulierte im Jahre 1914 ein solches drittes Energiegesetz, das er >Ektropiegesetz< nannte. Es besagt im wesentlichen, >dass es in der Natur ganz seltene, bevorzugte Energiequellen (Systeme) gibt, die nicht wie alle

anderen der sinkenden Ausnutzbarkeit der Energie (=Entropie) unterliegen, sondern an denen umgekehrt eine sinkende Entropie (=Ektropie), also eine steigende Ausnutzbarkeit nachweisbar ist.“

„Im Jahre 1922 unterstrich Alfred J. Lotka ebenfalls die Notwendigkeit eines dritten Energiegesetzes, welches sich nicht bloß auf unbelebte Naturerscheinungen bezieht, sondern auch auf die Evolution der Organismen anwendbar ist.“

Der Bezug zum PdMde ist unverkennbar:

Wenn sich das in Abb. 2 dargestellte Teilsystem T gemäß dem PdMde verwandelt, zu einer qualitativ neuen Struktur findet, so kann es selbst als offenes System eine Entropieabnahme verzeichnen, sofern nur im Restsystem R die Entropiezunahme entsprechend *stärker* ausfällt, damit die Bedingung  $dP_S/dt > 0$  für das Gesamtsystem gesichert wird. Für die Evolution der Lebewesen scheint das sogar der normale Weg zu sein. Diese Entropieabnahme des Teilsystems T ist dann „Negentropie“ oder eben – nach WIESER – die „Ektropie“. Dass sich diese Formulierung als „drittes Energiegesetz“ nicht durchgesetzt hat, könnte daran liegen, dass

- der explizite Zeitbezug, also der Bezug zur Entropieproduktion  $P_S$  (noch nicht dargestellt werden konnte und dass
- die Einbettung des Nernstschen Wärmetheorems in ein komplexes drittes Energiegesetz (noch) nicht betrachtet wurde.

2. Die Hauptsätze müssen im mathematischen Sinne voneinander unabhängig sein, dürfen sich nicht aufeinander zurückführen lassen. Für das Verhältnis 2. zu 1. Hauptsatz ist das offensichtlich gegeben. Im Falle 3. zu 2. Hauptsatz muss das genauer untersucht werden, da beide Hauptsätze sich ja an der Entropie orientieren. Die oben gegebenen Formulierungen der Hauptsätze gelten für natürliche Prozesse. Die Erfahrung zeigt, dass das für die beiden ersten Hauptsätze generell gilt, also in von selbst ablaufenden, unbewusst verlaufenden Vorgängen genauso wie in vom Menschen bewusst gestalteten Systemen (z.B. Technik). Anders aber beim wesentlichen Teil des 3. Hauptsatzes für  $T > 0$ :

Die Aussage des PdMde, nämlich  $dP_S/dt \rightarrow \text{Max}$ , ist offenbar dann **nicht** zwangsläufig, wenn Systemaufbau und Prozessführung im System vom Menschen bewusst gestaltet werden, da der bewusst handelnde Mensch die beim PdMde vorausgesetzten mehreren Lösungsmöglichkeiten im voraus erkennen und bewusst irgendeine davon auswählen kann - das *natürliche* Auswahlkriterium „ $\rightarrow \text{max}$ “ ist dann überflüssig. Bewusstes Handeln erlaubt demzufolge, alle 3 oben genannten Möglichkeiten für  $dP_S/dt$  realisieren zu können (nicht zu müssen!).

In /M3/ wurde am Beispiel des Heizens gezeigt, dass die energiesparende (also Entropieproduktion mindernde!) Wärmepumpe von der Natur nicht „erfunden“ werden konnte, da für sie nicht  $dP_S/dt \rightarrow \text{max}$ . gilt.

Aber, und das scheint sehr bedeutsam zu sein: Wenn dort, wo bewusstes

Handeln möglich wäre, dieses nicht erfolgt, reagiert das System wie im unbewussten Fall nach dem PdMdE.

Das ist eine für Techniker wie Wirtschaftler kolossal wichtige Konsequenz. NEYRINCK fasst das (nach Auffassung des Autors unübertroffen!) in folgende Worte /Ne, S. 92/:

„Der Fortschritt der Technik ist historisch nicht die Inkarnation eines vorsätzlichen Planes gewesen, durch den die Menschheit, im Bewußtsein ihres Schicksals, beschlossen hätte, dieses scharfsinnig zu modifizieren. Es gibt demnach nicht unbedingt eine vollständige Übereinstimmung zwischen dem Fortschritt *der* Technik und dem Fortschritt *durch* Technik. ... Wir sind uns inzwischen zweifellos besser im klaren über den Einsatz und die Regeln des Spiels. Wir brauchen nicht mehr auf den Zufall zu wetten. Vielleicht ist es das Ziel der technischen Evolution, uns auf ein Bewusstseinsniveau zu heben, auf dem die Anthropologie nicht mehr das deterministische Resultat der Entropologie darstellt.“

Menschgerecht-bewusstes Wirtschaften liegt offenbar dann vor, wenn eine Verringerung des Anstieg der Entropieproduktion Maßstab für den „Fortschritt *durch* Technik“ ist (und nicht irgendwelche anderen, z.B. finanziellen Wachstumsparameter!).

3. In /M4/ wird gezeigt, dass es mit dem zweiten wie mit dem vorstehend formulierten dritten Hauptsatz, speziell dem PdMdE für den Fall  $dP_S/dt > 0$ , aus *mathematischer Sicht vereinbar* ist, dass in einer zeitlich abgeschlossenen Folge aufeinander folgender, einander bedingender Prozessphasen solche Phasen enthalten sein können, für die die Gesamtentropie des Systems abnehmen könnte, sofern nur die Gesamtentropie über die Gesamt-Prozesszeit gegenüber dem Startzeitpunkt zugenommen hat. Das bedeutet, dass „Abgeschlossenheit“ auch in zeitlicher Hinsicht überprüft werden muss. Die Ursache dieses Phänomens liegt darin begründet, dass eine degressiv fallende Funktion  $S=f(t)$  in der 2. Ableitung, also

$$d^2S/dt^2 = dP_S/dt$$

zu einem positiven Ausdruck führt. Ist eine solche Prozessfolge gegenüber anderen bezüglich  $dP_S/dt$  maximal, würde das bedeuten, dass solche Prozessphasen mit abnehmendem  $S$  auch realisiert würden! Es scheint dafür bereits Beispiele zu geben /Ev/.

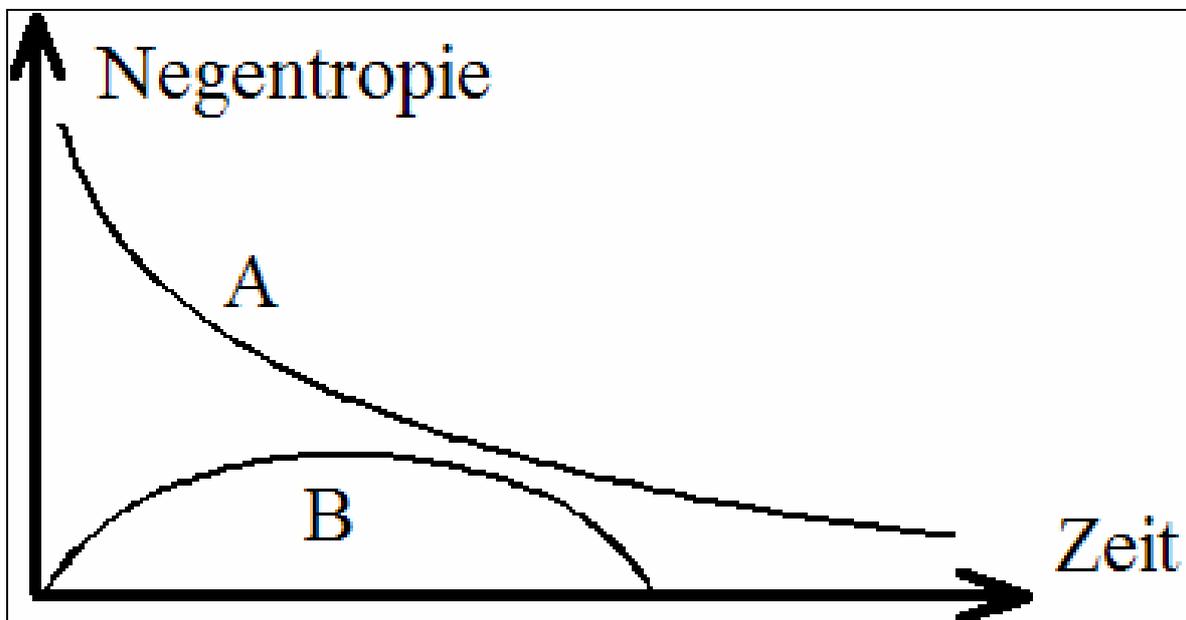
4. Der Aufbau neuer Strukturen in Teilbereichen des Gesamtsystems gemäß dem 2. Hauptsatz und dem PdMdE bedeutet, dass die höher organisierten/strukturierten Teilsysteme an Entropie abnehmen und der „Systemrest“ an Entropie (schneller) zunimmt, siehe obigen ersten Diskussionspunkt. Diese Entropie ist an niederorganisierte materielle Träger gebunden (Abwärme, Abfall, Schadstoffe usw.), die so schnell und rückwirkungsfrei an das Restsystem abgeführt werden müssen, dass es zu keiner rückwirkenden Behinderung der Vorgänge im höher organisierten Teilsystem kommt. Auf diesen „Entropiestau“ hat bereits POPPEI hingewiesen. Mit dem Abbau der

prozesstreibenden Potentialunterschiede wird diese Gefahr zunehmen, im Extrem bis zum Tod dieser Teilsysteme.

Andererseits wird für die Teilsysteme erst ab einer bestimmten „Größe und Komplexität des Systems“ (POPPEI, siehe oben) der für bestimmte Teilsysteme entropievermindernde Strukturierungsprozess einsetzen und anschwellen können, d.h., es handelt sich zeitlich um einen Vorgang in Art der (positiven) Sinusschwingungshalbseite mit an- und abschwellendem Kurventeil. Das ist grundsätzlich anders als nach dem 2. Hauptsatz, wonach ein irgendwie monotoner Abbau der (die Prozesse verursachenden) Potentialunterschiede plausibel ist. Damit sind zwei Prozesstypen in abgeschlossenen Systemen zu unterscheiden. Wählt man als Ordinate aus Darstellungsgründen die *Negentropie* (Ektropie), so lassen sich die beiden Prozesse wie in Abb. 3 gezeigt darstellen:

- Monotoner Entropiezunahmeprozess = Negentropieabnahmeprozess gemäß 2. Hauptsatz für das Gesamtsystem (Kurve A in Abb. 3)
- an- und abschwellender Entropieverminderungsprozess für die sich strukturierenden (und irgendwann wieder „absterbenden“) Teilsysteme gemäß 3. Hauptsatz, speziell PdMdE (Kurve B in Abb. 3).

Abbildung 3: Grundsätzlicher Verlauf der Entropieänderung für abgeschlossenes Gesamtsystem und offene Teilsysteme



Quelle: Eigene Darstellung.

Da voraussetzungsgemäß für die vorliegende Abhandlung keine Beschränkung des Gültigkeitsbereichs im Rahmen materieller Systeme vorliegt, müssen diese Aussagen auch für die „Welt als Ganzes“ anwendbar sein. Ein solcher Versuch wurde in /HM/ unternommen und führt zu verblüffenden

- Ergebnissen, wenn man neuere kosmologische Erkenntnisse einbezieht.
5. Die modernen ökonomischen Systeme resp. Prozesse sind auch materielle Systeme, für die die Gültigkeit der oben formulierten Hauptsätze offenbar nicht ausgeschlossen werden darf. Betrachtet man die Probleme der Umweltverschmutzung und des Klimawandels (Entropiestau mit Rückwirkung auf die verursachenden Prozesse) wie auch die nicht umkehrbare Ressourcenverschwendung (Dissipation im stofflichen Bereich), dann muss gefragt werden dürfen, ob wir nicht auf unserer Erde insgesamt bereits den absteigenden Kurventeil der vorgenannten Sinushalbschwingung begonnen haben. Die Lösung kann nur in einer gezielten Verlangsamung liegen, d.h., in einem vom *bewussten Handeln getragenen* Übergang von Fällen mit  $dP/dt > 0$  zu solchen Fällen mit  $dP/dt < 0$  oder  $= 0$  oder mindestens nur geringerem  $dP/dt$  -Anstieg. Die durch die Wachstumsphilosophie bedingte Beschleunigung durch das „freie Spiel der Kräfte“ entspricht dem nahezu ungebremsten  $dP/dt > 0$ , sie wäre somit eine falsche Strategie – vergl. die Ausführungen zum Ende des zweiten Diskussionspunktes!
  6. In der skizzierten Form besagt das PdMdE, *dass* die Natur (im allgemeinen Fall nicht-linearer Systeme) nach diesem Prinzip entscheidet. Es wäre aber durchaus wünschenswert, *auch eine anschauliche* Erklärung dafür zu haben, *warum* das Maximum für  $dP_S/dt$  signifikant ist und *wie*, *nach welchem* „Mechanismus“ die Natur das bewerkstelligt. Das ist sicher schwierig, wenn man bedenkt, dass eine solche Erklärung Fälle vom Umschlag laminarer in turbulente Strömung bis hin zur Evolution menschlicher Gesellschaftssysteme umfassen müsste. Eine möglicherweise zutreffende Antwort könnte von einer Grunderfahrung ausgehen, wonach die Geschwindigkeit der Prozesse von der Stärke der Potentialunterschiede abhängt. Oder anders gesprochen: Je stärker die Potentialunterschiede, umso höher der „Ausgleichsdruck“. In /SN/ wird vermerkt, dass Entropiezunahme „anschaulich Ausgleich von Differenzen und Intensitäten bedeutet“. Für die Entropieproduktion, in diesem Sinne als „Maß der in der Zeiteinheit beseitigten Potentialunterschiede“ gesehen, würde der höchste Ausgleichsdruck den höchsten Wert liefern, also  $dP_S/dt \rightarrow \max$ . Oder wieder anders formuliert: Die Lösungsvariante mit dem höchsten Ausgleichsdruck wird (immer unter vergleichbaren Verhältnissen!) den anderen Varianten „zuvorkommen“, was dann eine Entscheidung für die  $dP_S/dt \rightarrow \max$  – Variante bedeutet. Eine offenbar plausible Antwort auf die Frage, *wie* die Natur diese „Umstrukturierung“ vornimmt, liefern die von BECHINGER, v. GRÜNBERG und LEIDERER /BGL/ erkannten und am Beispiel eines Gemischs aus kleinen und großen Kugeln nachgewiesenen „entropischen Kräfte“, die dazu führen, dass sich die (geringere) Zahl großer Kugeln zusammenballt, dadurch den kleinen Kugeln mehr Raum zur ungeordneten Bewegung liefert und infolgedessen zu einer höheren Gesamtsystementropie führt, als es bei einem Gemisch wäre, in dem sich beide Kugelarten völ-

lig unabhängig bewegten.

7. Natürlich kann man der Auffassung sein, die in den Punkten 1. bis 6. geäußerten Sachverhalte wären – zumindest teilweise wie in Punkt 5. – zu spekulativ. Das lässt sich nur durch zukünftige Erkenntnisse entscheiden, aber immerhin sollte man an den Ausspruch von Ch. DARWIN denken /Un, S. 291/:

*Ohne Spekulation gibt es (auch) keine neue Beobachtung!*

## 7. Zusammenfassung

Die im Titel implizit enthaltene Frage: „Ist eine Neubetrachtung der thermodynamischen Hauptsätze überhaupt nötig?“ wurde dahingehend beantwortet, dass durch die konsequente Betrachtung der Entropieproduktion  $P_S = dS/dt$  als signifikanter Größe für den dritten Hauptsatz eine „Umverteilung der Zuordnung“ bekannten Wissens zu den Hauptsätzen sinnvoll erscheint und darüber hinaus mit dem „Prinzip der Maximierung der Entropieproduktion“ (PdMdE) eine zusätzliche, nur diesem Hauptsatz zuordenbare Aussage möglich wird, die noch weitgehend unverstandene – oder ungenutzte! - Konsequenzen für die menschliche Gesellschaft beinhaltet.

Die Hauptsätze lassen sich so kurz zusammenfassen:

Für abgeschlossene Systeme gilt

1. Hauptsatz: Energie  $E = \text{const}$ , also  $dE = 0$
2. Hauptsatz: Entropie  $S = \text{const}$ , also  $dS = 0$  für deterministische oder quasistatische Systeme mit Freiheitsfaktor  $F = 0$  bzw. Entropie  $S$  nur anwachsend, also  $dS > 0$  für stochastische Systeme mit  $F > 0$
3. Hauptsatz: Entropieproduktion  $P_S = dS/dt = 0$  für  $T = 0$  sowie für Systeme mit  $F = 0$  bei  $T > 0$   
Entropieproduktion  $P_S = dS/dt > 0$  für  $T > 0$ , wobei  $dP_S/dt = d^2S/dt^2$  kleiner, gleich oder größer Null sein kann und für den Fall  $dP_S/dt > 0$  natürlicherweise Maximierung der Entropieproduktion angestrebt wird.

Im Abschnitt 1 wurde betont, dass die Betrachtungsstufen II und III zwar dasselbe Geschehen, aber von verschiedenen Seiten beschreiben. Diese Gemeinsamkeit des für beide Betrachtungsweisen gleichen Geschehens drückt sich offenbar *formal* in der Analogie zwischen

Entropie  $S$  und Entropieproduktion  $P_S$  bzw.  
Freiheitsfaktor  $F$  und Temperatur  $T$

bei der hier dargestellten Formulierung des 2. und 3. Hauptsatzes aus.

## Literaturverzeichnis

/Ba/ Baehr, H.D.: Thermodynamik; 7.Aufl., Berlin u.a.: Springer 1989.

- /Bi/ Binswanger, M. : Information und Entropie - Ökologische Perspektiven des Übergangs zu einer Informationswirtschaft; Frankfurt/New York: Campus 1992.
- /BGL/ Bechinger, C.; v. Grünberg, H.H.; Leiderer, P.: Entropische Kräfte, Physikalische Blätter 55 (1999) 12, S. 53-56.
- /BM/ Bunge, M.; Mahner, M.: Über die Natur der Dinge. Materialismus und Wissenschaft, Stuttgart, Leipzig: Hirzel 2004.
- /BK/ Baehr, H.D.; Kabelac, S.: Thermodynamik; 13. Aufl. Berlin u.a.: Springer 2006.
- /CH/ Cerbe, G.; Hoffmann, H.-J.: Einführung in die Wärmelehre, 9. Aufl.; München/Wien: Hanser 1990.
- /E1/ Ebeling, W.: Strukturbildung bei irreversiblen Prozessen; Leipzig, Teubner 1976.
- /E2/ Ebeling, W., Feistel, R.: Physik der Selbstorganisation und Evolution; Berlin, Akademie-Verlag 1982.
- /Ev/ Versuche von D. Evans, australische Nationaluniversität; Information dazu im „Newsticker“ von „Bild der Wissenschaft online“ vom 19.07.2002.
- /HM/ Herrig, D.; Müller, H.: Kosmologie: So könnte das Sein sein; Hochschule Wismar: „Wismarer Diskussionspapiere“ Heft 05/2009 (ist ins Internet gestellt).
- /Kn/ Knizia, K.: Kreativität, Energie und Entropie : Gedanken gegen den Zeitgeist. Econ, Düsseldorf, Wien 1992.
- /Lu/ Lucas, K.: Gestaltungsprinzipien Technischer Energiesysteme; VDI-Bericht 1457 (1999) S. 17 ff, insbes. S. 27.
- /M1/ Müller, H.: Technische Thermodynamik; 2. Aufl. Wismar: ZEUT 2002, Kapitel D.
- /M2/ Müller, H.: Wider die Maximierung der Entropieproduktion, Brennstoff, Wärme, Kraft (BWK) 52 (2000) H. 10, S. 48-52.
- /M3/ Müller, H.: Was ist Entropie? Eine Frage - zehn und eine Antwort?, Forsch Ingenieurwes 67 (2002) 67: S. 107-108..
- /M4/ Müller, H.: Zahlen und Zahlenzusammenhänge; Hochschule Wismar: „Wismarer Diskussionspapiere“ Heft 22/2006 (ist ins Internet gestellt); S. 87-92.
- /MS/ Meyer, G.; Schiffner, E.: Technische Thermodynamik, 4. Aufl.; Leipzig, Fachbuchverlag 1989.
- /Mu/ Muschik, W.: Why so many „schools“ of thermodynamics; Forsch Ingenieurwes (2007) 71: 149-161.
- /Ne/ Neiryneck, J.: Der göttliche Ingenieur - Die Evolution der Technik, 7., durchges. Aufl.; Expert-Verlag Wiesbaden 2008.
- /Po/ Poppei, G.: Entwicklung und Entropie. Selbstorganisation, Strukturbildung und Entropieproduktion. Reflexionen über ein womöglich allgemeingültiges Prinzip, Leipzig: Rohrbacher Manuskripte (1999) H. 4, S. 25-35.
- /Ri/ Rifkin, J.: Entropie – ein neues Weltbild; Hamburg: Hoffmann und Campe, 1982 und Ullstein, Frankfurt/Berlin/Wien 1985.
- /Ro/ Georgescu-Roegen, N.: The entropy law and economic process, Cambridge, Mass. 1971.
- /SN/ Schlichting, H.J.; Nordmeier, V.: „Probleme der ... Nichtgleichgewichtsthermodynamik ...“ (Internet, über Google mit beiden Namen als Stichwort).
- /Sh/ Weaver; W.; Shannon, C. E.: The Mathematical Theory of Communication. Ur-

bana, Illinois: University of Illinois Press, 1949.

/Un/ Unzicker, A.: Vom Urknall zum Durchknall; Berlin, Heidelberg u.a.: Springer 2010.

/W1/ Erläuterung zu Stichwort >Noethertheorem< bei WIKIPEDIA.

/Wi/ Erläuterungen zu Stichwort >Dritter Hauptsatz< bei WIKIPEDIA.

### **Autorenangaben**

Prof. Dr. -Ing. habil. Herbert Müller

Energietechniker

Fakultät für Ingenieurwissenschaften

Bereich Maschinenbau, Verfahrens- und Umwelttechnik

Hochschule Wismar

Philipp-Müller-Straße

Postfach 12 10

D – 23966 Wismar

Telefon: ++49 / (0)3841 / 753 315

E-Mail: [herbert.mueller@hs-wismar.de](mailto:herbert.mueller@hs-wismar.de)

E-Mail: [herbert-mller@t-online.de](mailto:herbert-mller@t-online.de)

## **WDP - Wismarer Diskussionspapiere / Wismar Discussion Papers**

- Heft 03/2006: Christin Possehl: Das Eigenkapitalverständnis des IASB
- Heft 04/2006: Ines Pieplow: Zur Problematik der Abgrenzung von Eigen- und Fremdkapital nach IAS 32
- Heft 05/2006: Rüdiger-Waldemar Nickel: Der Markenwert. Ermittlung – Bilanzierung – Auswirkungen von IFRS
- Heft 06/2006: Jost W. Kramer: Sozialwirtschaft – Zur inhaltlichen Strukturierung eines unklaren Begriffs
- Heft 07/2006: Monika Paßmann: Potential und Grenzen automatischer Verhaltensmuster als Instrument erfolgreichen Selbstmanagements
- Heft 08/2006: Mandy Hoffmann/Antje Deike: Analyse der Auslandsaktivitäten von Unternehmen in Westmecklenburg
- Heft 09/2006: Jost W. Kramer: Grundkonzeption für die Entwicklung eines Qualitätsmanagements im sozialwirtschaftlichen Bereich
- Heft 10/2006: Dierk A. Vagts: Ärztliche Personalbedarfsermittlung in der Intensivmedizin
- Heft 11/2006: Andreas Beck: Die sozialwirtschaftliche Branche als qualitatives Ratingkriterium – unter besonderer Berücksichtigung von NPO-Krankenhäusern
- Heft 12/2006: Robert Löhr: Tax Due Diligence bei Kreditinstituten – eine Betrachtung ausgewählter Bilanz- und GuV-bezogener Analysefelder bei der Ertragsbesteuerung
- Heft 13/2006: Kristine Sue Ankenman: Austrian Neutrality: Setting the Agenda
- Heft 14/2006: Jost W. Kramer: Co-operative Development and Corporate Governance Structures in German Co-operatives – Problems and Perspectives
- Heft 15/2006: Andreas Wyborny: Die Ziele des Neuen Kommunalen Rechnungswesens (Doppik) und ihre Einführung in die öffentliche Haushaltswirtschaft
- Heft 16/2006: Katrin Heduschka: Qualitätsmanagement als Instrument des Risikomanagements am Beispiel des Krankenhauses
- Heft 17/2006: Martina Nadansky: Architekturvermittlung an Kinder und Jugendliche
- Heft 18/2006: Herbert Neunteufel/Gottfried Rössel/Uwe Sassenberg/Michael Laske/Janine Kipura/Andreas Brüning: Überwindung betriebswirtschaftlicher Defizite im Innoregio-Netzwerk Kunststoffzentrum Westmecklenburg
- Heft 19/2006: Uwe Lämmel/Andreas Scher: Datenschutz in der Infor-

- mationstechnik. Eine Umfrage zum Datenschutzsiegel in Mecklenburg-Vorpommern
- Heft 20/2006: Jost W. Kramer/Monika Passmann: Gutachten zur Bewertung der Struktur-, Prozess- und Ergebnisqualität der allgemeinen Sozialberatung in Mecklenburg-Vorpommern
- Heft 21/2006: Marion Wilken: Risikoidentifikation am Beispiel von Kindertageseinrichtungen der Landeshauptstadt Kiel
- Heft 22/2006: Herbert Müller: Zahlen und Zahlenzusammenhänge – Neuere Einsichten zum Wirken und Gebrauch der Zahlen in Natur und Gesellschaft
- Heft 01/2007: Günther Ringle: Genossenschaftliche Prinzipien im Spannungsfeld zwischen Tradition und Modernität
- Heft 02/2007: Uwe Lämmel/Eberhard Vilkner: Die ersten Tage im Studium der Wirtschaftsinformatik
- Heft 03/2007: Jost W. Kramer: Existenzgründung in Kleingruppen nach der Novellierung des Genossenschaftsgesetzes
- Heft 04/2007: Beate Stirtz: Hybride Finanzierungsformen als Finanzierungsinstrumente mittelständischer Unternehmen
- Heft 05/2007: Uwe Lämmel/Anatoli Beifert/Marcel Brätz/Stefan Brandenburg/Matthias Buse/Christian Höhn/Gert Mannheimer/Michael Rehfeld/Alexander Richter/Stefan Wisuwa: Business Rules – Die Wissensverarbeitung erreicht die Betriebswirtschaft. Einsatzmöglichkeiten und Marktübersicht
- Heft 06/2007: Florian Wrede: Computergestützte Management-Informationssysteme. Geschichte – Zukunft – Konsequenzen
- Heft 07/2007: Peter Biebig/Gunnar Prause: Logistik in Mecklenburg – Entwicklungen und Trends
- Heft 08/2007: Anja Ziesche: Risikomanagement unter dem Aspekt der Betrieblichen Gesundheitsförderung
- Heft 09/2007: Cornelia Ewald: Kreditinstitute in der Anlageberatung – Anforderungen aus der aktuellen Rechtsprechung und Gesetzgebung
- Heft 10/2007: Herbert Müller: Zahlen, Planeten, Pyramiden und das Meter. Wie die Planung der Pyramiden von Gizeh erfolgt sein könnte – eine ingenieurmethodische Betrachtung
- Heft 11/2007: Klaus Sanden/Barbara Bojack: Depressivität und Suizidalität im höheren Lebensalter
- Heft 12/2007: Andrea Kallies/Anne Przybilla: Marktanalyse von Enterprise Resource Planning-Systemen – Kategorisierung –
- Heft 13/2007: Anne Przybilla: Die Verwaltungsreform und die Einfüh-

- Heft 14/2007: Jost W. Kramer: Erfolgsaspekte genossenschaftlichen Wirtschaftens aus betriebswirtschaftlicher Perspektive
- Heft 01/2008: Uwe Lämmel (Hrsg.): Wirtschaftsinformatik – Was ist das?
- Heft 02/2008: Florian Wrede: Qualitätsmanagement – Eine Aufgabe des Controllings, des Marketings oder des Risikomanagements?
- Heft 03/2008: Regina Bojack/Barbara Bojack: Comenius, ein moderner Pädagoge
- Heft 04/2008: Chris Löbbert/Stefanie Pawelzik/Dieter Bastian/Rüdiger Steffan: Datenbankdesign und Data Warehouse-Strategien zur Verwaltung und Auswertung von Unfalldaten mittels Risikopotenzialwerten und Risikoklassen
- Heft 05/2008: Reinhard J. Weck/Anatoli Beifert/Stefan Wissuwa: Wissensmanagement - quo vadis? Case Positions zur Umsetzung in den Unternehmen. Eine selektive Bestandsaufnahme
- Heft 06/2008: Petra Wegener: Die Zeit und ihre Facetten in der Fotografie
- Heft 07/2008: Anne Przybilla: Personalrisikomanagement – Mitarbeiterbindung und die Relevanz für Unternehmen
- Heft 08/2008: Barbara Bojack: Co-Abhängigkeit am Arbeitsplatz
- Heft 09/2008: Nico Schilling: Die Rechtsformwahl zwischen Personen- und Kapitalgesellschaften nach der Unternehmensteuerreform 2008
- Heft 10/2008: Regina Bojack: Der Bildungswert des Singens
- Heft 11/2008: Sabine Hellmann: Gentechnik in der Landwirtschaft
- Heft 12/2008: Jost W. Kramer: Produktivgenossenschaften – Utopische Idee oder realistische Perspektive?
- Heft 01/2009: Günther Ringle: Vertrauen der Mitglieder in ihre Genossenschaft - Das Beispiel der Wohnungsgenossenschaften -
- Heft 02/2009: Madleen Duberatz: Das Persönliche Budget für Menschen mit Behinderungen – Evaluation der Umsetzung am Beispiel der Stadt Schwerin
- Heft 03/2009: Anne Kroll: Wettervorhersage mit vorwärts gerichteten neuronalen Netzen
- Heft 04/2009: Claudia Dührkop: Betriebswirtschaftliche Besonderheiten von Zeitschriften und Zeitschriftenverlagen
- Heft 05/2009: Dieter Herrig/Herbert Müller: Kosmologie: So könnte das Sein sein. Technikwissenschaftliche Überlegungen zum Entstehen, Bestehen, Vergehen unserer Welt

- Heft 06/2009: Verena Theißen/Barbara Bojack: Messie-Syndrom – Desorganisationsproblematik
- Heft 07/2009: Joachim Winkler/Heribert Stolzenberg: Adjustierung des Sozialen-Schicht-Index für die Anwendung im Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KiGGS) 2003/2006
- Heft 08/2009: Antje Bernier/Henning Bombeck: Landesbaupreis für ALLE? – Analyse der Barrierefreiheit von prämierten Objekten des Landesbaupreises Mecklenburg-Vorpommern 2008
- Heft 09/2009: Anja Graeff: Der Expertenstandard zum „Entlassungsmanagement in der Pflege“ des Deutschen Netzwerks zur Qualitätsentwicklung in der Pflege: Wirkungsvolles Instrument für die Qualitätsentwicklung in der Pflege?
- Heft 10/2009: Maria Lille/Gunnar Prause: E-Governmental Services in the Baltic Sea Region
- Heft 11/2009: Antje Bernier/Henning Bombeck/Doreen Kröplin/Katarina Strübing: Öffentliche Gebäude für ALLE? – Analyse der multisensorischen Barrierefreiheit von Objekten in Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig Holstein und Hamburg
- Heft 12/2009: Susanne Eilart/Eva Nahrstedt/Stefanie Prack/Stefanie Schröder: „Der Mindestlohn muss her, weil man von Arbeit leben können muss“
- Heft 13/2009: Claus W. Turtur: Wandlung von Vakuumenergie elektromagnetischer Nullpunktoszillationen in klassische mechanische Energie
- Heft 01/2010: Jonas Bielefeldt: Risikomanagement unter Marketinggesichtspunkten
- Heft 02/2010: Barbara Bojack: Der Suizid im Kinder- und Jugendalter
- Heft 03/2010: Thomas Dahmann/Andreas Hauschild/Maik Köppen/Alexander Kofahl/Uwe Lämmel/Stefan Lüdtker/Stefan Luttenberger: Wissensmanagement mittels Wiki-Systemen
- Heft 04/2010: Günther Ringle/Nicole Göler von Ravensburg: Der genossenschaftliche Förderauftrag
- Heft 05/2010: Antje Bernier/Henning Bombeck: Campus für ALLE? – Analyse der multisensorischen Barrierefreiheit von staatlichen Hochschulen in Mecklenburg-Vorpommern
- Heft 06/2010: Herbert Müller: Die Hauptsätze der Thermodynamik. Eine Neubetrachtung aus systemwissenschaftlicher Sicht mit Konsequenzen