

Albert Zeyer

Kinderspital Luzern

Salutogenese und Pathogenese – ein Paradigmenwechsel aus der Perspektive der modernen Physik

Zusammenfassung

Anfang der 80er Jahre forderte A. Antonovsky den Übergang vom pathogenetischen zum salutogenetischen Paradigma in der Prävention. In diesem Artikel wird gezeigt, dass sich die Notwendigkeit dieses Wechsels auch aus der modernen Physik ableiten lässt. Das pathogenetische Paradigma ist Ausdruck einer Zeit, welche durch die klassische Thermodynamik des Gleichgewichts geprägt wurde. Die Existenz des Phänomens Leben schien in diesem Kontext ein physikalisches Paradox zu sein. Der Schutz gegen Abnützung und Tod, der pathogenetische Gesichtspunkt, war notwendig im Mittelpunkt des Interesses. Inzwischen hat die moderne Physik aber ein neues Verständnis von Leben entwickelt. Grundlage dafür ist die Theorie der Selbstorganisation nichtlinearer Systeme fern vom thermodynamischen Gleichgewicht. Leben erscheint heute nicht mehr als physikalisches Paradox, sondern natürlicher und faszinierender Ausdruck einer der Materie inhärenten Tendenz zur Strukturbildung. Diese neuen Erkenntnisse rücken die salutogenetische Fragestellung ins Zentrum. Wie kann die natürliche Tendenz zur Selbstorganisation biologischer Systeme unterstützt werden? Physikalische Antworten decken sich erstaunlich mit Ergebnissen der Gesundheitsforschung. Weil Selbstorganisation offenen und gleichgewichtsfernen Austausch von Materie und Energie mit der Umgebung voraussetzt, wird diese nicht mehr als Bedrohung, sondern als Quelle von Gesundheit und Vitalität verstanden. Ausserdem ergeben sich physikalische Begründungen bekannter Gesundheitsstrategien wie vegetarischer Rohkost und körperlicher Bewegung.

Seit A. Antonovsky¹ Anfang der 80er Jahre den Übergang vom pathogenetischen zum salutogenetischen Paradigma in der Prävention forderte, gewann diese neue Terminologie zunehmend an Bedeutung. Nach Antonovsky sollte

man sich von der alleinigen Frage nach der Ursache von Krankheit und Tod lösen und sich vermehrt der Frage zuwenden, wann und warum sich der Mensch „in Richtung des Pols ‚Gesundheit‘ auf dem Gesundheits-/Krankheitskontinu-

um“ bewegt. Antonovskys Argumentation ist entsprechend seiner Herkunft eine sozialmedizinische. In diesem Artikel möchte ich darauf hinweisen, dass sich auch aus der modernen Physik die Notwendigkeit des Wechsels vom pathogenetischen zum salutogenetischen Paradigma ableiten lässt. Dies ist weniger erstaunlich, als es zunächst erscheinen mag, weil Krankheit und Tod eine enge Verwandtschaft mit dem physikalischen Begriff der Entropie haben.

Leben und der Begriff der Entropie

Der Begriff der Entropie wurde von R. E. Clausius im Zusammenhang mit dem sogenannten Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik eingeführt. Zunächst als durchaus abstrakte Funktion konzipiert, wird sie seit den berühmten Arbeiten von L. Boltzmann als Mass für die Unordnung eines physikalischen Systems verstanden. Eine mögliche Form des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik besagt, dass in einem abgeschlossenen System (d.h. in einem System, welches mit seiner Umgebung weder Materie noch Energie austauscht), die Entropie, d.h. also die Unordnung, monoton zunimmt.

Wenn die Physiker drastisch davon sprechen, dass ein abgeschlossenes System „den Wärmetod stirbt“, dann deutet dies bereits den engen Zusammenhang des Begriffs der Entropie mit jenem des Alterns oder zumindestens der Abnutzung an. Tatsächlich bedeutet der thermodynamische Gleichgewichtszustand für ein Lebewesen den Tod. Vor seinem Tod hingegen scheint das Lebewesen auf geheimnisvolle Art vor der Macht des Zweiten Hauptsatzes gefeit zu sein. Lange Zeit wurde die Existenz des Phänomens Leben daher in der Physik geradezu als Paradox angesehen. Statt den Gesetzen des Wärmetodes zu erliegen, waren Lebewesen im Gegenteil dadurch charakterisiert, dass sie ihren Ordnungsgrad nicht nur aufrecht erhielten, sondern im Rahmen des Wachstums sogar Schritt für Schritt ausbauten. Physikalisch gesehen schienen Altern und Tod sehr viel natürlicher als Wachstum und Leben.

Es liegt auf der Hand, dass in einer Zeit, die durch diesen physikalischen Blickwinkel geprägt war, die pathogenetische Fragestellung im Vordergrund stand. In einer primär lebensfeindlichen Welt galt es, den Kampf gegen die Gefahren des Lebens aufzunehmen.

Gesundheit ist gleichgewichtsfern

Interessant ist nun, dass die moderne Physik in einer langen Entwicklung ein ganz neues Verständnis des Lebens vorbereitet hat. Vom Entropiestandpunkt aus ist Leben nämlich zwar eine ganz ausserordentliche Ausnahmerecheinung, aber durchaus kein Paradox. Im Gegenteil: Lebewesen sind, so schält sich allmählich heraus, die raffiniertesten Vertreter der Klasse der sogenannten nichtlinearen Systeme². Diese heissen so, weil sie aufgrund von Katalyseschleifen ungleich komplexeres Verhalten zeigen als alle klassischen Systeme

der Physik, die mit linearen Gleichungen beschrieben werden können. Insbesondere sind sie unter bestimmten Bedingungen sogenannte selbstorganisierend³. Dies bedeutet, dass sich Milliarden und Abermilliarden ihrer Bestandteile absolut koordiniert verhalten und so makroskopische Muster von einer Komplexität bilden, die im Rahmen der klassischen Thermodynamik geradezu undenkbar sind. Lange Zeit blieb diese Fähigkeit nichtlinearer Systeme, die heute als eine Art physikalischer Keim des Lebens betrachtet wird, verborgen, weil sich die Thermodynamik traditionellerweise nur mit Gleichgewichtszuständen beschäftigte. Nichtlineare Systeme zeigen ihre Einzigartigkeit aber erst in Zuständen fern des thermodynamischen Gleichgewichts.

Die neuen Erkenntnisse einer gleichgewichtsfernen Thermodynamik stellen auf ganz natürliche Weise die salutogenetische Fragestellung in den Mittelpunkt des Interesses. Geht man nämlich davon aus, dass Gesundheit ein Ausdruck intakter selbstorganisierender Prozesse eines lebenden Organismus ist, so lässt sich eine „Bewegung in Richtung des Pols ‚Gesundheit‘ auf dem Gesundheits-/Krankheitskontinuum“ dadurch erreichen, dass diese Vorgänge möglichst optimal unterstützt werden⁴.

Die Physik bietet auch eine klare Antwort, wie dies erreicht werden kann. Damit ein System in den Zustand der Selbstorganisation geraten kann, muss es offen und gleichgewichtsfern sein. Das bedeutet, dass das System mit der Umgebung Materie und Energie austauschen muss, und zwar auf intensive, das System belastende Weise. Ich will dies an zwei Beispielen erläutern.

Ein Beispiel ist die Nahrungsaufnahme. In der Medizin wird die Thermodynamik der Ernährung weitgehend unter dem kalorischen Aspekt abgehandelt. Eine be-

stimmte Menge von zugeführten Nahrungsmitteln entspricht einer freigesetzten Wärmemenge, die mittels der bekannten kalorischen Äquivalente berechnet wird. Schon E. Schrödinger, der grosse Atomphysiker und Nobelpreisträger, wies indessen darauf hin, dass diese Betrachtungsweise absolut ungenügend sei, weil der Ordnungsgehalt der Nahrung, physikalisch mit der Entropiefunktion umschrieben, vernachlässigt werde⁵.

Diese Überlegung bekommt unter dem Blickwinkel des Paradigmas der Selbstorganisation neue Aktualität. Es kann nämlich gezeigt werden, dass Gleichgewichtsferne nicht nur von der Menge der ausgetauschten Materie, sondern auch von ihrem Ordnungsgehalt abhängt. Auf die Lebewesen übertragen bedeutet dies: Je höher der Ordnungsgehalt der zugeführten Nahrung ist, desto besser werden die Prozesse der Selbstorganisation unterstützt. Da jeder Schritt in der Nahrungskette und jede Raffinierung und Zubereitung der Nahrung einen Ordnungsverlust bedeutet, kommt man (jedenfalls aus dem Gesichtswinkel der Thermodynamik) sofort zu einer sehr günstigen Beurteilung der vegetarischen Rohkost.

Ein anderes Beispiel, diesmal für gleichgewichtsfernen Austausch von Energie mit der Umgebung, ist die körperliche Bewegung. Ohne auf physiologische Überlegungen einzutreten, postuliert die Theorie der Selbstorganisation einen breiten gesundheitlichen Nutzen körperlicher Bewegung, weil sie durch gleichgewichtsfernen Energieaustausch des Systems mit seiner Umgebung die Prozesse der Selbstorganisation fördert. Diese systemische Betrachtungsweise, die physiologische Mechanismen gar nicht einbezieht, scheint in der Medizin zunächst ungewohnt und pauschal. Sie ist es aber nicht. Es ist vielmehr ein Vorgehen, das dem Physiker geläufig ist und ihm

wesentliche Aussagen über komplexe nichtlineare Systeme ermöglicht, ohne detaillierte Mechanismen berücksichtigen zu müssen. Tatsächlich zeigt denn auch eine Flut wissenschaftlicher Arbeiten⁶ den grossen und vielfältigen Nutzen körperlicher Bewegung bis ins hohe Alter.

Salutogenese und Pathogenese – das Konzept der offenen Prävention als weiterer Schritt

Das pathogenetische Konzept geht von einer primär feindlichen Umgebung aus. Prävention bedeutet, das Individuum vor den Gefahren dieser Umgebung zu schützen. Wie bereits dargelegt, ist dieses Konzept ein Kind der Gleichgewichtsthermodynamik, einer Physik, welche das Phänomen des Lebens nicht angemessen beschreiben kann.

Interessanterweise betrachtete Antonovsky selber die Umgebung durchaus auch als feindlich. Seine Version der salutogenetischen Fragestellung war denn auch, wie das Lebewesen trotz einer primär lebensfeindlichen Umwelt gesund bleiben könne. Die medizinsoziologische Antwort war der bekannte Begriff des „sense of coherence“ mit seinen drei Komponenten der Verständlichkeit (comprehensibility), Machbarkeit (manageability) und Bedeutsamkeit (meaningfulness). In diesem Sinn blieb Antonovsky trotz seines neuartigen Ansatzes im Weltverständnis seiner Zeit, geprägt durch die klassische Physik des Gleichgewichts, verwurzelt.

Die moderne Physik des Nichtgleichgewichts fordert zu einem weiteren Schritt auf. Sie zeigt, dass die Umwelt nicht nur eine Quelle der Gefahr für den lebenden Organismus ist, sondern vor allem eine Quelle der Gesundheit und Vitalität. Ich spreche in diesem Zusammenhang von „offener Prävention“, welche sich auf die Physik

offener, gleichgewichtsferner, nichtlinearer Systeme beruft⁷. Ein Lebewesen ist nicht gesund trotz seiner Umwelt, sondern wegen ihr, im intensiven, gleichgewichtsfernen Austausch von Energie und Materie mit ihr. Der Prozess des Alterns wird neu interpretiert⁸. Das lebensfeindliche Konzept des Körpers als zu pflegende und reparierende Maschine wird damit endgültig überwunden. Salutogenese wird dann im wahren Sinne des Wortes als „Erzeugung von Gesundheit“ verstanden und die dazu verwendeten Strategien in ihrer Wirksamkeit letztlich physikalisch begründet.

Einige Bemerkungen zur Biophysik der Selbstorganisation

Abschliessend scheinen einige biophysikalische Bemerkungen nützlich, um den Eindruck zu vermeiden, die bisherigen Ideen würden auf dem Niveau von Analogieschlüssen stehen bleiben. Tatsächlich ist das Prinzip der Selbstorganisation biologischer Systeme sehr gut erforscht und verstanden. Natürlich kann es hier nicht darum gehen, die – sehr anspruchsvolle – Theorie im Detail darzustellen. Zu diesem Zweck sei auf die im folgenden zitierten modernen Lehrbücher verwiesen.

Lange Zeit wurde der klassische Begriff der „Homöostase“, der Selbstregulation biologischer Systeme, mit jenem des Gleichgewichts gleichgesetzt. Interessanterweise gilt dies aus dem modernen Blickwinkel der Biophysik nicht mehr. „Homöostase“ ist wie gesagt vielmehr Ausdruck eines ausgeprägt gleichgewichtsfernen Zustandes. Nur dort gerät nämlich das System in den Bereich der nichtlinearen Thermodynamik, wo Selbstorganisation möglich wird. Mathematisch beschreibt man dies heute mit sogenannten verallgemeinerten Kräften X_i und davon in nichtlinearer, d.h. mindestens qua-

dratischer Weise abhängigen Flüssen J_i . Die zentrale Gleichung der Selbstorganisation stellt die zeitliche Änderung der Entropieproduktion P in einem System in Abhängigkeit von diesen Kräften/Flüssen dar:

$$\begin{aligned} dP/dt &= d/dt (\sum J_i X_i) \\ &= \sum J_i dX_i/dt + \sum X_i dJ_i/dt \\ &= (d_x P/dt)_J + (d_J P/dt)_X \end{aligned}$$

Falls nämlich $\sum J_i X_i/dt < 0$, so lässt sich zeigen, dass das entsprechende System fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht auf einen stationären Zustand hinläuft. Dieser stationäre Zustand entspricht physikalisch dem Zustand der „Homöostase“. Er bleibt nämlich solange stabil, bis gewisse Fluktuationen in diesem Zustand unter gegebenen Umständen so verstärkt werden, dass das System in einen neuen stationären Zustand, einen neuen „Homöostase“-Zustand, übergeht⁹. Anders als im Gleichgewicht ist aber dieser Zustand nicht an eine minimale Energieproduktion gekoppelt, sondern das System erhält seine komplexe Struktur unter erheblicher Entropieproduktion aufrecht. Es ist sogenannt dissipativ.

Die Gleichung und die entsprechenden Bedingungen gelten in bemerkenswerter Weise auch für nichtbiologische Systeme, was zeigt, dass die Potenz zur Kreation komplexer Systeme nicht erst im Moment der biologischen Evolution einsetzte. Verallgemeinerte Kräfte sind dort zum Beispiel Temperaturgradienten oder Spannungen, die entsprechenden Flüsse sind zum Beispiel Wärme Flüsse oder elektrische Ströme.

Im Fall von biologischen Systemen, die vorwiegend durch biochemische Reaktionen beschrieben werden, entsprechen die Flüsse der Reaktionsgeschwindigkeit. Die verallgemeinerten Kräfte, welche sie erzeugen, nennt man chemische Affinitäten. Diese entsprechen im

wesentlichen der sogenannten freien Energie der entsprechenden biochemischen Reaktion. Nun ist es so, dass die Sonnenenergie von besonders hoher Qualität ist, da ihre Temperatur so hoch ist, dass ihre Energie mit einer sehr niedrigen Entropie gespeichert wird. Diese hochwertige Energie wird täglich zu uns eingestrahlt und durch Photosynthese eingefangen¹⁰. In Form von pflanzlichem Material entstehen damit Nährstoffe besonders hoher freier Energie. Ihr Abbau im Stoffwechsel führt zu besonders starken verallgemeinerten Kräften, welche diesen in einen gleichgewichtsfernen Zustand der Selbstorganisation treiben. Die biochemische „Währung“ bei der Umsetzung der hohen freien Energien scheint konkret vor allem ATP zu sein. Wahrscheinlich sind die entsprechenden Vorgänge aber noch viel komplexer, wie zum Beispiel die Anregung der Darm-Peristaltik durch Nahrungsfasern schon zeigt.

Summary

Salutogenesis and pathogenesis – a change of paradigm viewed from the standpoint of modern physics

Early in the eighties Antonovsky stipulated a changeover from the pathogenetic to the salutogenetic paradigm in prevention. This article is meant to show that the necessity of such a changeover may also be derived from present-day physics. The pathogenetic paradigm is the characteristic of a time that bears the distinctive marks of the classical thermodynamics in equilibrium. The existence of the phenomenon life seemed in this context to be a physical paradox. Protection against wearing and death, the pathogenetic aspect, was inevitably the focus of interest. In the meantime modern physics have, however, developed a new understanding of life. It is based on the theory of self-organisation of non-linear systems far off the thermodynamic equilibrium. Today, life does no longer appear as a physical paradox but as the natural and fascinating expression of a structuring tendency inherent in matter. These new findings bring the salutogenetic question into the centre of attention. How can the natural tendency to self-organisation of biological systems be shouldered? Physical answers interpret the results of health research under a new aspect. Since self-organisation calls for a free and off-balance exchange of matter and energy with the environment it is no longer considered as a threat but as a source of health and vitality. Another outcome are physical arguments relating to well-known health strategies such as vegetarian food and physical exercise.

Résumé

Salutogenèse et pathogenèse – un changement de paradigme du point de vue de la physique moderne

Au début des années quatre-vingt, A. Antonovsky exigea dans la prévention la transition du paradigme pathogénétique au paradigme salutogénétique. Cet article veut montrer que la nécessité d'un tel changement se laisse également dériver de la physique moderne. Le paradigme pathogénétique est la caractéristique d'une époque qui porte les marques distinctives de la thermodynamique classique de l'équilibre. Dans ce contexte, l'existence du phénomène de la vie semblait être un paradoxe physique. La protection contre l'affaiblissement et la mort, l'aspect pathogénétique, était forcément le point focal de l'intérêt. Mais entre-temps la physique moderne a développé une nouvelle compréhension de la vie. Celle-ci repose sur la théorie de l'auto-organisation des systèmes non linéaires à l'écart de l'équilibre thermodynamique. Aujourd'hui, la vie ne se présente plus comme paradoxe physique mais comme expression naturelle et fascinante d'une tendance de structuration inhérente à la matière. Ces nouvelles connaissances mettent la question salutogénétique au milieu de l'intérêt. Comment la tendance naturelle vers l'auto-organisation des systèmes biologiques peut-elle être épaulée? Des réponses physiques donnent des éclaircissements sur les résultats de la recherche de santé sous un nouvel aspect. Puisque l'auto-organisation demande un libre échange de matière et d'énergie avec l'environnement à l'écart de l'équilibre, celle-ci n'est plus considérée comme menace mais plutôt comme source de santé et de vitalité. En outre, il en résulte des arguments physiques touchant aux stratégies de santé bien connues telles que l'alimentation végétarienne et les exercices physiques.

Literaturverzeichnis

- 1 *Antonovsky A.* Gesundheitsforschung versus Krankheitsforschung. In: Franke A., Broda M. eds. Psychosomatische Gesundheit. Tübingen: dgvt-Verlag 1993: 3-14.
- 2 *Haken H.* Synergetik. 3. Auflage. Berlin: Springer Verlag, 1990: 312 pp.
- 3 *Prigogine I.* Vom Sein zum Werden. 5. Auflage. München: Piper, 1988: 109.
- 4 *Zeyer A.* Nichtlineare Physik und Selbstorganisation. - Denkanstösse für einen Paradigmenwechsel in der Medizin. Frauenheilkunde aktuell 1995; 2:13-15.
- 5 *Schrödinger E.* What is life. Cambridge: University Press. First published 1944. Reprint 1993, 67 pp.
- 6 *Marti P.* Physische Aktivität. Überblick über die präventiven gesundheitlichen Effekte körperlicher Betätigung. Der Informierte Arzt 1992; 8:707-710.
- 7 *Zeyer A.* Das Geheimnis der Hundertjährigen. Zürich: Kreuz Verlag, 1995: 132 pp.
- 8 *Zeyer A.* Nichtlineare Physik und Altern - Denkanstösse für einen Paradigmenwechsel. Geriatrie Praxis 1995; 6:22-23.
- 9 *Breckow J, Greinert R.* Biophysik. Berlin: de Gruyter, 1994: 82 pp.
- 10 *Atkins PW.* Wärme und Bewegung. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft, 1986: 154.

Korrespondenzadresse

Dr. med. dipl. math. Albert Zeyer
Kinderspital Luzern
CH-6000 Luzern 16