

## Constructural Theorie von Adrian Bejan

Die Constructural Theorie (CT) ist eine neue, faszinierende Theorie. Man könnte sie als die Theorie, die die Entwicklung von Systemen beschreibt, bezeichnen oder auch als Nicht-gleichgewichtsthermodynamik von Konfigurationen. Die Grundaussage der Theorie besagt:

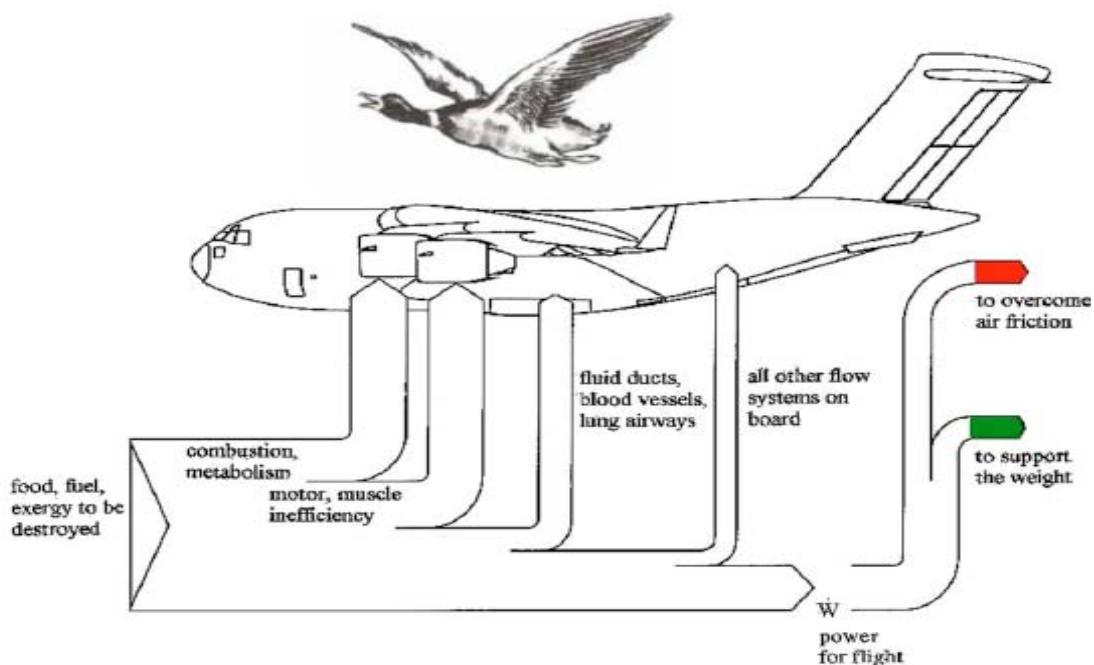
**Damit ein endliches fließendes System im Lauf der Zeit bestehen oder überleben kann, muss das System seine Konfiguration so entwickeln, d. h. mit der Zeit verändern, dass die Ströme, die ihn ihm fließen, einen immer besser werdenden Durchgang finden.**  
**Wichtig dabei ist, dass das System auch die Freiheit hat sich zu entwickeln.**

Dies klingt sowohl etwas geschwollen als auch scheinbar trivial, aber dahinter steckt ein geniales Prinzip, wie ich im Folgenden zeigen werde.

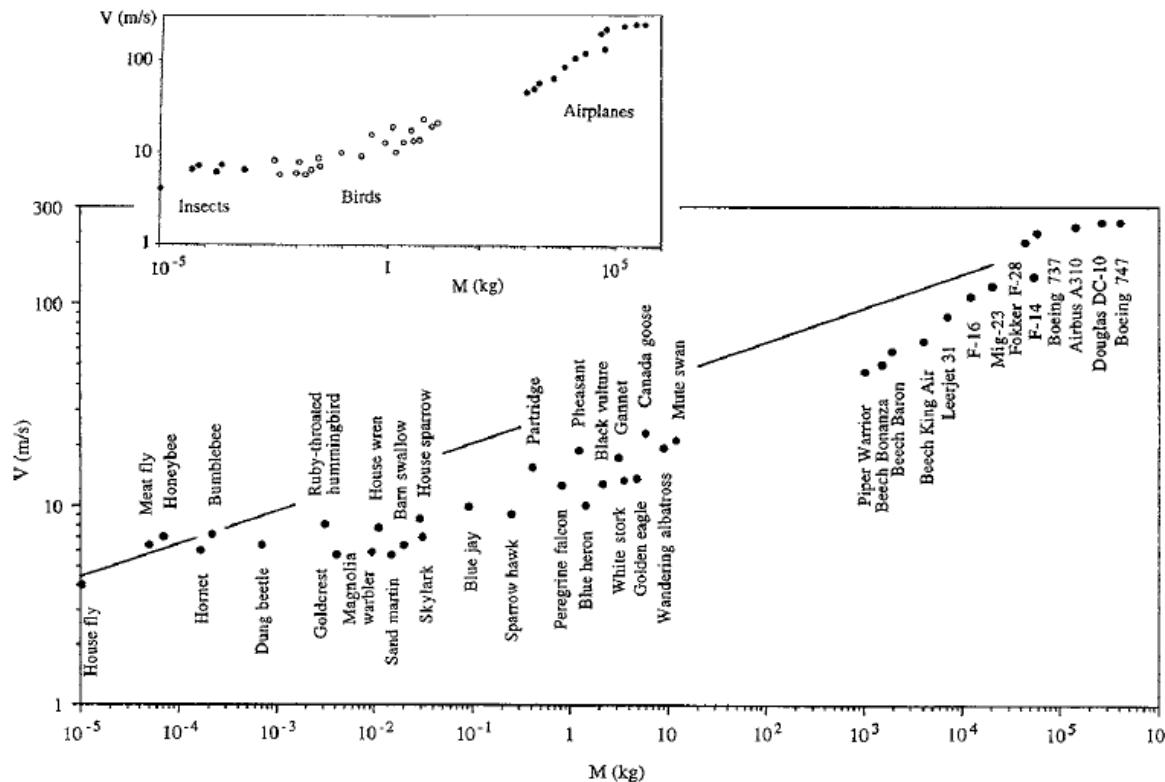
Fangen wir mit dem System an. Das System ist universell. Es kann ein physikalisches, biologisches, klimatologisches, gesellschaftliches etc. sein. Wir werden beispielhaft ein Wasser (Fluss)System, einen Baum und die Entwicklung der Technologie betrachten.

Es gibt in gewisser Weise eine Verwandtschaft zu den Fraktalen. Zum Beispiel der Missouri besitzt eine fraktale Dimension von 1.2, da er aus einem weit verzweigten System von Nebenflüssen aufgebaut ist. Dies wurde induktiv bestimmt. Lax gesagt, in dem man eine Karte des Missouri mit verschiedenen Maßstäben ausgemessen hat [ $d = \log(N_i)/\log(1/r_i)$ ,  $N_i$  Anzahl der gemessenen Elemente für den Maßstab mit der Länge  $r_i$ ]. Die CT macht dies deduktiv in dem sie zeigt, dass ein Flusssystem so aufgebaut sein muss um optimal den Durchfluss zu gewähren. Wenn man sowohl das Versickern und den Abfluss optimiert, erhält man für den Quotienten des längsten Flusses im Gebiet  $A_i$  dividiert durch den längsten Fluss im Gebiet  $A_{i-1}$  ( $A_i > A_{i-1}$ ) die Zahl 2. Empirisch wurde gefunden 1.5-3.5. Macht man dies für die Anzahl der längsten Ströme so ergibt sich 4 und empirisch 3-5.

Betrachtet man das Fliegen. Die folgende Graphik zeigt die wesentlichen Komponenten.



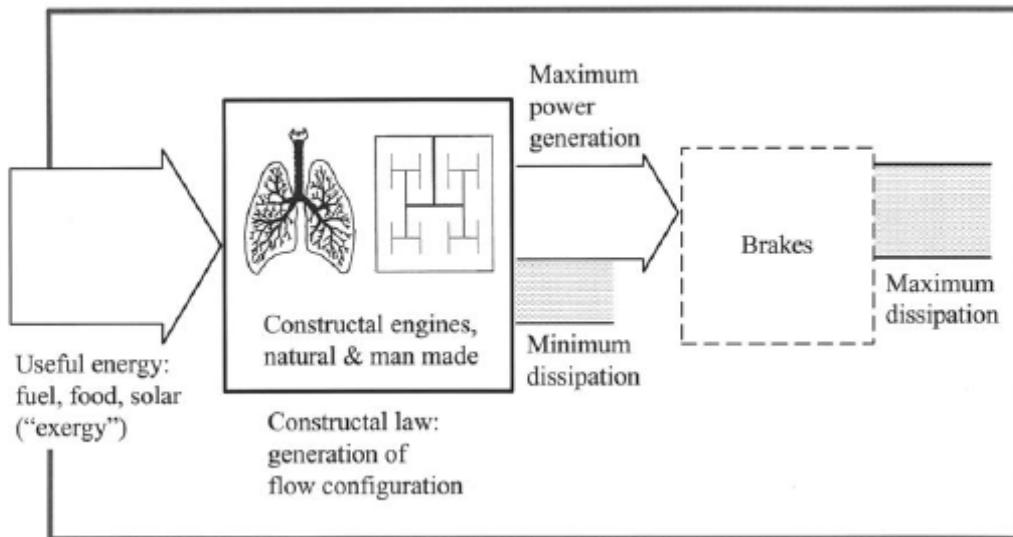
So hat man eine vertikale Komponente, die potentielle Energie (beim Fluss war es das Versickern), und eine horizontale, den Luftwiderstand (oben das Fliessen), unter der Randbedingung möglichst wenig Energie (Treibstoff beim Flugzeug, Futter bei den Tieren) auf möglichst großer Distanz, zu optimieren. Macht man nun die sehr vereinfachende Annahme, dass die Dichte des fliegenden Objektes gegeben ist durch  $\rho \sim M/L^3$ , wobei  $M$  die Masse und  $L$  eine lineare Dimension ist, so findet man für die optimale Geschwindigkeit  $v_{opt} \approx 30 \cdot M^{1/6}$ , wobei die Geschwindigkeit in m/s und die Masse in kg gegeben sind.. Dies ist als Gerade in der nächsten Graphik abgebildet.



Über fast elf Größenordnungen folgen Insekten, Vögel und Flugzeuge annähernd diesem Verhalten. Die verbleibenden Abweichungen sind wahrscheinlich eine Folge der Beschränkung auf eine charakteristische Länge  $L$ . Flugzeuge z.B. haben eher drei Rumpf, Flügel und Leitwerk.

Alle diese Systeme sind Nichtgleichgewichtssysteme und haben folglich keine perfekte Symmetrie. Dies ist kein Manko sondern notwendig. Gleichgewichtssysteme haben zwar die höchste Symmetrie, dafür sind sie aber tot. Leben, Fluss oder Bewegung gibt es nur im Nichtgleichgewicht. Die Systeme entwickeln sich im Lauf der Zeit, wenn sie die Freiheit dazu haben so, dass sie ihre Unvollkommenheiten optimieren. Mit anderen Worten, die Entwicklung verläuft in die Richtung, dass sie maximale Leistung oder minimale Dissipation (minimale Entropieproduktion) unter den vorgegebenen Randbedingungen bringen. Das Prinzip ist in der folgenden Graphik dargestellt. Die Bremse ist die Umgebung, die die Energie aufnehmen muss, z.B. durch Reibung, und die deshalb maximale Dissipation oder maximale Entropieproduktion besitzt.

## Everything that flows and moves



Die CT wurde auch auf das System Sonne, Erde und Weltall angewendet. Betrachtet man das Ganze als eine gigantische Wärmemaschine, so wird die geleistete Arbeit zum Antrieb der Meeres- und Luftströme verwendet. Bestimmt man den maximalen globalen Energietransport von den äquatorialen Gebieten zu den Polen und optimiert nach den Breitengraden so erhält man die Grenzen zwischen den Hadley und Ferrel ( $25^{\circ}40'$ ) bzw. zwischen den Ferrel und den polaren Zellen ( $53^{\circ}10'$ ). Dies kann man auch für den Tag und die Nacht machen und in beiden Fällen stimmen die ermittelten Werte sehr gut mit den bekannten Größen überein. Beispielsweise ergibt sich die globale mittlere Temperatur zu 283.5K.

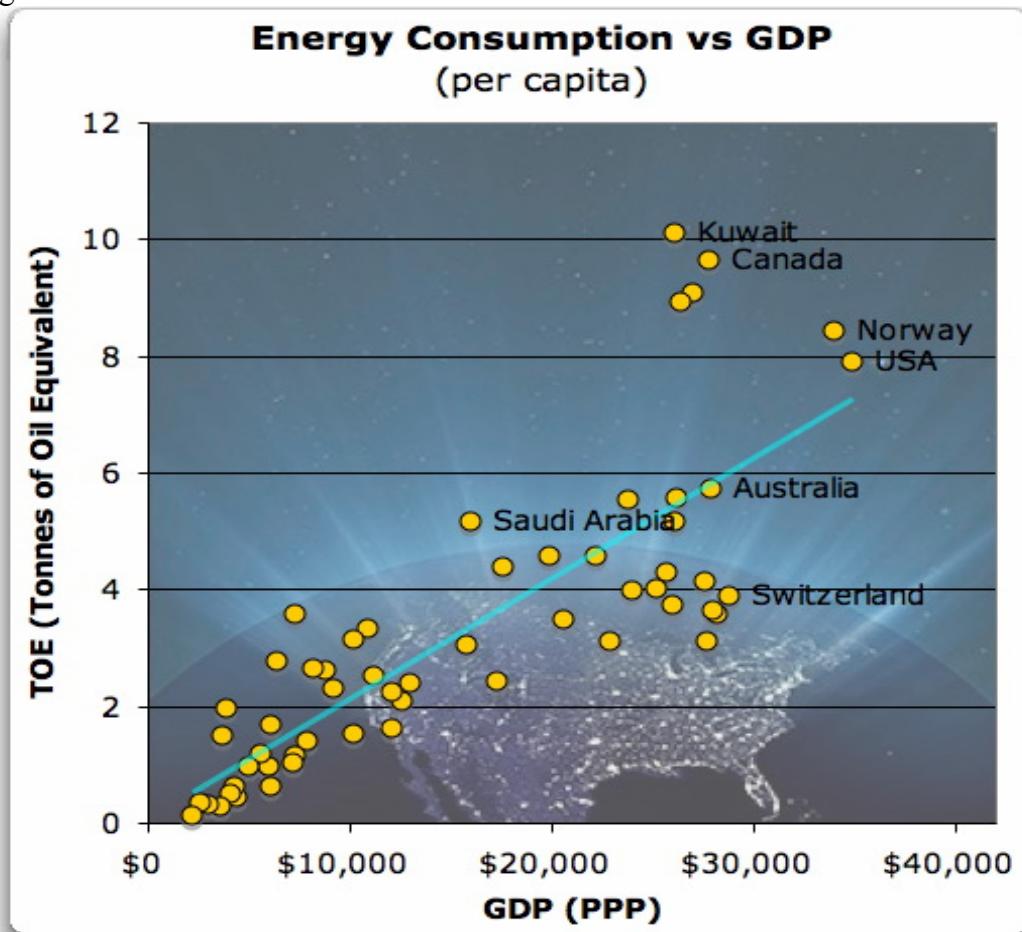
Abschließend möchte ich noch einen wichtigen Punkt ansprechen. Es ist eine Tatsache, dass der Energieverbrauch pro Kopf in den entwickelten Ländern höher ist als in den unterentwickelten. Daraus schlussfolgern Einige, dass wir zu Gunsten der anderen unseren Verbrauch reduzieren und möglichst eine Gleichverteilung anstreben sollten. Ein Beispiel hierfür ist die Idee pro Kopf der Weltbevölkerung ein fixes CO<sub>2</sub>-Kontingent festzulegen. Geht das?

Wir verbrauchen Energie, in völliger Analogie zur Tierwelt, um Masse (Güter, Menschen, Daten etc.) zu transportieren. Diese Massenströme sind aber notwendigerweise *nichtgleichmäßig* verteilt, denn der Fortschritt (Optimierung) besteht gerade darin mehr Masse, Information etc. über längere Distanzen oder über gleiche Strecken in kürzeren Zeiten entlang bestimmter Kanäle zu transportieren. Die CT zeigt nun, dass nicht das gleichmäßige System das Beste ist, es führt letztendlich zum Stillstand, sondern jenes, welches seine Unzulänglichkeiten so verteilt, dass der Gesamtwiderstand minimal wird. Hierzu verlagert es Kanäle mit großem Widerstand in Gebiete mit geringem Transportaufkommen.

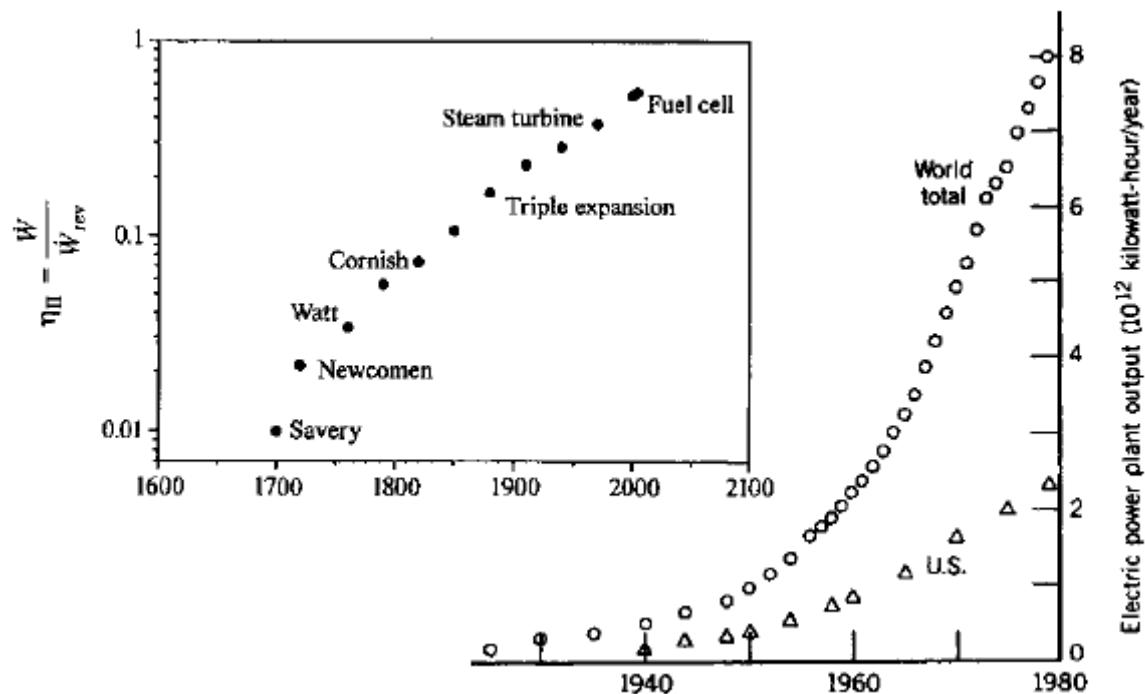
Hiermit ist die Frage beantwortet. Es geht nicht, da es der Natur widerspricht, denn die Grundaussage der CT ist ein neues Naturgesetz, welches Aussagen über die Entwicklung von Strukturen macht.

Höherer Energieverbrauch bedeutet auch höheren Wohlstand. Den Verbrauch von Energie zu reduzieren, z.B. in dem man sie verteuert, bedeutet somit auch den Wohlstand zu verkleinern. Aber, kann man hier einwenden, dies muss nicht der Fall sein, da man dies auch durch Verbesserung der Effizienz erreichen kann. Richtig, dies wurde und wird aber ständig gemacht. Aber es gibt einen entscheidenden Unterschied. Die Effizienz hat einen nicht erreichbaren

maximalen Grenzwert von Eins. Und trotz aller Fortschritte stieg der Energieverbrauch ständig an.



Dies wird durch die nächste Graphik sehr schön verdeutlicht. Immer mehr Menschen leben auf der Erde und die gelben Punkte in der linken unteren Ecke auf der obigen Graphik die wollen natürlich auch weiter nach rechts und somit nach oben. Deindustrialisierung der entwickelten Welt ist aber nicht die Lösung.



Wenn dies auch einer der führenden Vertreter des anthropogenen Klimawandels, Mitglied des Club of Rome und Organisator des Klimagipfels von Rio de Janeiro sagt:

Maurice Strong: **"isn't the only hope for the planet that the industrialized civilizations collapse? Isn't it our responsibility to bring that about?"**

Strong der nun in China lebt und über das Land sagt: „China is embarking on a distinctive and unprecedented pathway to a new model of development based on utilizing the methods of capitalism to achieve the goals of socialism--a socialist market economy.“

Wahrlich ein vorbildlicher Staat, wo der Friedensnobelpreisträger im Gefängnis sitzt und alle, die potentiell an der Zeremonie teilnehmen könnten nicht ausreisen dürfen. Zum Beispiel, der renommierte Ökonom Mao Yushi wollte zu einer Konferenz nach Singapur. „Die Flughafenpolizei stoppte mich. Meine Ausreise gefährde die Staatssicherheit“, schrieb der 81-Jährige in seinem Blog. „Das erinnert mich an die Kulturrevolution. Damals wurde meine Wohnung durchsucht, meiner Frau wurden die Haare geschoren, und ich wurde ausgepeitscht und aus der Wohnung geworfen. Sie nannten mich damals ein für die Hauptstadt gefährliches Element. Jetzt sagt man wieder, ich sei eine Gefahr für den Staat, und lässt mich nicht ausreisen.“

Viele Beispiele und Publikationen findet man auf der Webseite:

<http://www.constructal.org/>