

## **Nachhaltigkeit messbar machen durch Entropiebetrachtung: CO<sub>2</sub> Footprints** **als erster Einstieg in die Nachhaltigkeit von Unternehmen**

Stichworte: Nachhaltigkeitsmanagement, Entropie , CO<sub>2</sub> Footprints , CO<sub>2</sub> neutrale Produkte und Unternehmen

Entropie vom griechischen Verb „entrophein“ (umkehren, ein Maß für die Umkehrbarkeit bzw. nicht Umkehrbarkeit energetischer Prozesse)

Die entropische Betrachtung wird sich mehr und mehr als Basis unternehmerischer Nachhaltigkeit in den Schwerpunkten der Umwelt, Soziales und der Wirtschaft etablieren. Entropie ist bisher hauptsächlich aus der Physik und der Kommunikationswissenschaft bekannt und ist ein Indikator für Energie- und Informationsverluste. Die Entropie beschreibt in der Nachhaltigkeitsdiskussion viele Aspekte. Die folgenden Kapitel beschreiben den Zusammenhang zwischen Entropie und den CO<sub>2</sub> - Emissionen im Herstellungsprozess industrieller Produkte. Die Verknüpfung von Entropie und CO<sub>2</sub> - Emissionen passt in ein gemeinsames Modell zugleich mit der Betrachtung von Energieverlusten, Informationsverlusten, sozialer Sicherheit und wirtschaftlichen Risiken.

Energieeffizienz ist das Stichwort unserer Zeit. Das Ziel ist, bei möglichst hohem Wirkungsgrad und möglichst geringen Verlusten eine vorhandene Energie vollständig in Arbeit zu verwandeln. Der Teil der Energie, der sich z.B. wg. Reibungs- und anderen Verlusten nicht in Arbeit umwandeln lässt, wird durch den Begriff der Entropie beschrieben. So bedeutet das Fahren eines Autos oder ein Produktionsprozess abwärmetechnisch eine (messbare) Entropieerhöhung. Um die Entropie eines Systems zu erhöhen, wird bei gegebener Temperatur auf das System oder seine Umgebung („Umwelt“) Wärme transferiert.

„...Für den Bau eines Hauses muss Materie, die diffus – das heißt im Zustand hoher Entropie – auf unserem Planeten verteilt ist, konzentriert, aufbereitet und in einer geordneten Form strukturiert werden; ebenso muss die diffus vorhandene menschliche Intelligenz und Arbeitskraft für diesen besonderen Zweck spezialisiert und bereit gestellt werden. Danach ist ein ständiger Funktions- und Erhaltungsaufwand erforderlich. Wenn dieser nicht im ausreichenden Umfang

geleistet wird, wird das Gebäude seine Funktionen nach und nach verlieren und materiell verfallen, bis schließlich der Zustand größter Wahrscheinlichkeit, nämlich des vollständigen Verfalls erreicht ist... (Manfred Wöhlke, „Soziale Entropie“, DTV – Verlag, 1996)

Generell gilt:

- Die Gesamtsumme verfügbarer Energie kann nicht vermehrt werden
- Die verfügbare Energie nimmt stetig ab, die Entropie als nicht mehr nutzbare Energie bzw. Materie nimmt stetig zu
- Leben bedeutet Anreicherung verfügbarer Energien auf Kosten der Umgebung
- Der Mensch benutzt Werkzeuge und Maschinen, um die Energieanreicherung für sein Leben sicherzustellen. Kulturgeschichtlich wird dies immer schwieriger. Verteilungskämpfe um Energien sind die Folge
- Nachhaltigkeit ist die Verringerung der Geschwindigkeit der Entropiezunahme

Wir benützen im folgenden Text folgende Definitionen des Begriffs „Entropie“:

***Definition der Entropie E:***

***$\Delta E > 0$  entspricht der Entropiezunahme***

***= Zunahme der CO<sub>2</sub> – Emissionen, Zunahme der Informationsverluste,***

***Abnahme der frei verfügbaren Energie,***

***Zunahme der Risiken durch vermehrte Verteilungskämpfe um die noch verfügbare freie Energie (bei steigender Weltbevölkerung) und***

***Verlust von (sozialer) Sicherheit***

***$\Delta E = 0$  entspricht keiner Entropiezunahme***

***= CO<sub>2</sub> - Emissionen liegen im (noch zu definierenden) Gleichgewicht; auf das Leben bezogen ist die Entropiekonstanz gleichbedeutend mit dem Tod***

**$\Delta E < 0$  entspricht der Entropieabnahme**

**= Abnahme  $\text{CO}_2$ – Emissionen; Abnahme  $\text{CO}_2$ –Emissionen (geht nur auf Kosten der Entropiezunahme in der Umgebung):**

**widerspricht dem Entropiegesetz!**

Die Entropie des Ökosystems Erde bleibt nur konstant, wenn die Erde sich in einem Gleichgewichtszustand befinden und sich auf ihr kein Leben befinden würde. Wie aber der Klimawandel zeigt, wird durch die weltweit geringe Energieeffizienz das Ökosystem Erde immer weiter aufgeheizt, der Gleichgewichtszustand zwischen  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  – Emission und Bindung wird immer weiter zu Lasten der Zukunftsfähigkeit des Ökosystems Erde verschoben: Das Ökosystem Erde wird mehr belastet, als es sich selbst regenerieren kann.

Über 40 % der weltweiten  $\text{CO}_2$  – Emissionen resultieren laut DECHEMA, 2008 aus der Energieherstellung. Der Einstieg in  $\text{CO}_2$  – Minderungskonzepte ist für Unternehmen häufig der erste Schritt in Richtung eines erfolgreichen Nachhaltigkeitsmanagements.

$\text{CO}_2$  Emissionen sind ein typischer Leistungsindikator für Unternehmen; der Ausgleich von  $\text{CO}_2$  Emission über Biomasseanbauflächen ist gesellschaftsfähig geworden. Die Reduktion von  $\text{CO}_2$  Emissionen bis hin zu „ $\text{CO}_2$  neutralen Produkten u. Dienstleistungen“ sind typische Unternehmensziele der heutigen Zeit.

$\text{CO}_2$  – Emissionen sind (genauso wie Entropiezunahmen) messbar und können leicht auch in Euro ausgedrückt werden, wie das nachfolgende Beispiel zeigt.

Wir betrachten als Stoffstrom im physikalischen System Deutschland den PKW – Verkehr. Aus der Verbrennung von 1 Liter Benzin (vereinfacht 0,8 kg Oktan  $\text{C}_8\text{H}_{18}$ ) werden 2,5 kg  $\text{CO}_2$  emittiert, wenn das Oktan vollständig verbrennt. Der chemische Energieinhalt eines Liters Benzin beträgt 8,9 kWh.

Bekannterweise werden in unseren Autos nur ca. 30 % der gespeicherten chemischen Energie in Bewegung („kinetische Energie“) umgewandelt. Die restlichen ca. 70% gehen als Wärme irreversibel verloren.

Die Entropie korreliert mit den Wärmeverlusten eines Verfahrens. Sie entspricht in unserem Modell näherungsweise der kinetisch nicht nutzbaren Energiemenge, die in einem Liter Benzin steckt.

Wir wollen vereinfachend die Entropie gleichsetzen mit dem 70 % Anteil ungenutzter chemischer Energie. Das bedeutet, dass je Liter Benzin eine Energiemenge von 6,2 kWh als Entropieäquivalent die Atmosphäre aufheizt und dies kann mit der CO<sub>2</sub> - Emission von etwa 2,5 kg gleich gesetzt werden.

In 2008 wurden in Deutschland 19,9 Mio Tonnen Benzin getankt. Gemäß dem 30/70 % - Ansatz entspricht dies bei einem Benzinpreis pro kg von vereinfacht ca. 1,6 Euro einem Betrag von ca.  $1 \times 10^{10}$  Euro für die Mobilität und  $2 \times 10^{10}$  Euro entsprechend einem Gegenwert für kinetisch ungenutzte Abwärme in die Atmosphäre.

Bei 20 Mio Rentnern in Deutschland entspräche dieser ungenutzte Wärmebetrag in Euro einer jährlichen Rentenerhöhung von 1.000 Euro. Damit lässt sich das soziale Sicherungsnetz sicherlich engmaschiger gestalten, die soziale Sicherheit/ Zufriedenheit (hier beispielhaft ausgewählt) der Rentner/Innen in Deutschland steigt.

Unser Modell mit dem nur 30 %igem technischen Wirkungsgrad eines Autos lässt sich auch auf die Größe Informationsgewinn/ -verlust beziehen.

Es gibt in Deutschland derzeit ca. 44 Mio Erwachsene mit einem Internetanschluss. Wenn jeder Internetanschluss pro Monat etwa 50 Euro kostet (im Jahr also 600 Euro), dann entspricht der Wärmeverlust in Höhe von  $1,06 \times 10^{10}$  Euro weiteren ca. 15 - 20 Mio Internetanschlüssen, die kostenfrei für Informationsgewinne zur Verfügung gestellt werden könnten.

Fazit: Das Beispiel zeigt, dass Entropien relativ einfach korreliert werden können mit Kosten, CO<sub>2</sub> – Emissionen, sozialer Sicherheit, Informationsgewinnen/ -verlusten und der Zahl von Stoffströmen.

### **Entropie und Umwelt**

Mit zunehmender Bereitschaft von kleinen, mittelständischen und größeren Industrieunternehmen, ihre Produkte ressourcenschonend, nachhaltig und somit umweltfreundlich zu produzieren, ist eine nachhaltigkeitspezifische Produktbilanzierung in den Unternehmen unumgänglich. Nachhaltiges Handeln wird in naher Zukunft in den Unternehmen einen immer größeren Stellenwert einnehmen. Energieeffiziente Produktion wie zum Beispiel die Reduzierung von Druckluft, Dampf- und Stromverbräuche z.B. durch Wärmenutzung und alternativen Energieformen sind

erst der Beginn einer ressourcenschonenden Produktion. In die Nachhaltigkeitsbetrachtung eines Produktes oder eines Unternehmens fließen eine Vielzahl von Verfahrensschritten wie z.B. Transportvorgänge, Rohstoffherstellung, Herstellungsverfahren, Abfallentsorgung oder Recycling mit ein. Geeignetes Produktdesign ermöglicht eine Erhöhung der Lebensdauer von Produkten, eine Senkung von Energien (z.B. beim Recycling) und der CO<sub>2</sub> - Emissionen. Nach Registrierung der Energieverbräuche je nach Verfahrensschritt in Form von Gas, Öl, Strom und Dampf- Verbrauch ist die CO<sub>2</sub> Bilanzierung von Produkten und Unternehmen möglich.

Durch die weltweite politische Entscheidung, die CO<sub>2</sub> Emissionen zu reduzieren und den Emissionshandel auszubauen, ist der CO<sub>2</sub> Footprint ein etablierter Vergleichsparameter für Unternehmen geworden. Energiearme, nachhaltige Verfahren ermöglichen den Verkauf von „überschüssigen“ CO<sub>2</sub> - Zertifikaten im Emissionshandel. CO<sub>2</sub> Emissionen entstehen bei der Verbrennung der erwähnten fossilen Energieträger. Mit der Ermittlung der Emissionen je Produkteinheit entsteht im Unternehmen der notwendige Änderungsdruck, die CO<sub>2</sub> - Emissionen zu senken und somit umweltfreundlicher bzw. klimaneutral zu produzieren. Im Folgenden bilanzieren wir Einflussmöglichkeiten der Unternehmen bei der CO<sub>2</sub> – Reduktion. Die Bilanzgrenze sollte nicht unbedingt mit den Werkstoren des Unternehmens übereinstimmen und idealerweise den ganzen Produktlebensweg oder vereinfacht die wichtigsten Produktionsschritte (Rohstoffherstellung/ Anlieferung/ Ressourcenverbrauch/ Abfälle/ Abwässer/ Recycling) umfassen.

### **Rohstoffherstellung / Anlieferung**

Im Bilanzraum jedes Unternehmens muss die Herstellung sowie die Anlieferung der benötigten Rohstoffe mitberücksichtigt werden. Die Rohstoffherstellung ist der Anfang jeder Bilanzierung. Natürlich ist es schwierig, mengenspezifische Energieverbräuche von Herstellern bzw. Zulieferfirmen zu erhalten. Aus diesem Grund werden die meisten CO<sub>2</sub> Bilanzierungen ab Firmengelände bzw. Firmengrenze erstellt. Eine Rohstoffherstellung zu bilanzieren ist schwierig, da die Rohstoffgewinnung über viele Zwischenschritte in diversen anderen Unternehmen läuft. Die CO<sub>2</sub> Emissionen sind je nach Transportmittel unterschiedlich. In der folgenden Berechnungsformel ist die Anlieferung mittels LKW einbezogen wurden. Dabei sind LKW-Fabrikate mit einem Gesamtgewicht von 7,5 t bis 14 t bemessen.

Anzahl der Fahrten x tägliche km x Häufigkeiten x Anzahl der täglichen Besuche x Faktor für das jeweilige Verkehrsmittel = CO<sub>2</sub> Emissionen pro Jahr in kg

Beispielrechnung:

2 x 50 km x 240 x 160 x 0,017 x 0,7119 kg/km = 46472,83 kg/Jahr CO<sub>2</sub>

Allgemein gilt:

Je kleiner die Transportwege – z.B. durch Wahl regionaler Lieferanten -, desto geringer fällt die Entropiezunahme aus.

## **Energetische Ressourcen**

Für die Energiebereitstellung der Energielieferanten ist die Herstellung der Energieform von großer Bedeutung. Wie setzt sich der gewählte Energiemix zusammen? Je nach Nutzung von regenerativen Energiequellen oder Atomkraftanlagen sind beispielsweise die CO<sub>2</sub> - Emissionen pro kWh von Stromanbieter zu Stromanbieter verschieden. Im Folgenden sind die einzelnen Energieformen dargestellt.

Allgemein gilt:

Je höher die Energieeffizienz, – z.B. durch Wahl energiesparender Verfahren und Produkte -, desto geringer fällt die Entropiezunahme aus.

## **Strom**

Die durchschnittliche Zusammensetzung der Energiezusammenstellung liegt in Deutschland bei:

-  Fossile und sonstige Energien 61%
-  Nuklear 24%
-  Erneuerbare Energien 15%

Die daraus resultierenden CO<sub>2</sub> - Emissionen in Deutschland liegen im Durchschnitt bei:

-  CO<sub>2</sub>-Emissionen 541 g/kWh<sup>1</sup>

Der Stromverbrauch wird während der Herstellung einer Produkteinheit in kWh registriert. Diese Strommessung kann durch stationäre Strommessvorrichtungen

---

<sup>1</sup> Quelle: [http://www.dbenergie.de/site/shared/de/dateianhaenge/infomaterial/energie/energie\\_\\_strom\\_\\_mix.pdf](http://www.dbenergie.de/site/shared/de/dateianhaenge/infomaterial/energie/energie__strom__mix.pdf)

bzw. auch mit mobilen Strommessvorrichtungen erfolgen. Nach Erfassung des kWh-Wertes wird der CO<sub>2</sub> - Faktor für Strom berücksichtigt. Das folgende Beispiel zeigt die Berechnung der CO<sub>2</sub> - Emissionen bei der Stromherstellung.

Die Berechnung erfolgt nach der folgenden Gleichung

$$\text{Stromverbrauch [kWh]} \times \text{Faktor CO}_2 = \text{CO}_2 \text{ Emissionen [kg/CO}_2\text{]}$$

Beispiel:

Für das nachfolgende Beispiel findet der durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Faktor bei der Stromherstellung in Deutschland Verwendung.

$$\begin{aligned} 1500 \text{ kWh} \times 541 \text{ g/kWh} &= \underline{\underline{811.500 \text{ g CO}_2}} \\ &= \underline{\underline{811,50 \text{ kg CO}_2}} \end{aligned}$$

**Dampf**

Für die Dampfmengenregistrierung können verschiedenste Methoden verwendet werden. In der Praxis sind häufig Wirbeldurchflusszähler oder auch das Magnetisch-Induktive Verfahren im Einsatz. Nicht der Dampf produziert das CO<sub>2</sub>, sondern die Herstellung dieser Energieform ist energieaufwändig und emittiert CO<sub>2</sub>. Um die verfahrenstechnischen Prozesse zu regulieren und die Maschinen zu versorgen wird der Dampf über Fernleitungen den Anlagen zugeführt.

Der Dampf in kg kann über Faktoren in kWh umgerechnet werden, das CO<sub>2</sub> Äquivalent für die Dampfherstellung beträgt ca. 225 g/kWh.

$$\text{Dampfverbrauch [kWh]} \times \text{Faktor CO}_2 = \text{CO}_2 \text{ Emissionen [kg/CO}_2\text{]}$$

Beispiel:

Für das Beispiel findet der durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Faktor bei der Dampfherstellung Verwendung.

$$1500 \text{ kWh} \times 225 \text{ g/kWh} = \underline{\underline{337.500 \text{ g CO}_2}}$$

$$= \underline{\underline{337,50 \text{ kg CO}_2}}$$

## **natürliche Ressourcen**

### **Erdöl**

Bei der Verwendung von Öl als Energiequelle werden bei einem Verbrauch von einem Liter Öl drei Kilogramm CO<sub>2</sub> emittiert. Erdöl ist ein natürlicher, über Jahr Millionen in der Natur entstandener Energieträger. Biomasse (Algen, Pflanzen) bzw. abgestorbenes Material wird unter hohen Drücken und Temperaturen unter Sedimentschichten in den Ozeanen begraben und somit unter Abwesenheit von Sauerstoff eingeschlossen. Unter diesen Bedingungen wird die Biomasse in gasförmige, flüssige und feste Kohlenwasserstoffketten umgewandelt und der Energieträger Öl entsteht.

### **Erdgas**

Erdgas ist ein natürlich entstandenes Gas, welches sich in unterirdischen Kavernen ansammelt. Häufig sind Erdöl und Erdgas in gemeinsamen Lagerstätten anzutreffen. Dieses Phänomen lässt sich durch die fast identische Entwicklung dieser beiden fossilen Energieträger erklären. Erdgas besteht je nach Provinienz hauptsächlich aus Methan (CH<sub>4</sub>). Der Umrechnungsfaktor CO<sub>2</sub> ergibt sich für Normbedingungen zu 1m<sup>3</sup> Erdgas = 2 kg CO<sub>2</sub>

### **Abfälle**

Während der Herstellung verschiedenster Produkte fallen unterschiedlichste Abfall- und Abfallmengen an. Bei der Betrachtung der Abfälle ist ein organisiertes Abfallsammelsystem von erheblicher Bedeutung. Jedes Material beispielsweise aus Metallen, Papier, produktspezifische Abfällen oder organische Materialien sollten zur besseren Verwertung getrennt gesammelt werden. Abfälle, die recycelt werden können, sorgen in der Regel für eine umweltfreundliche und kosten reduzierende Bilanzierung. Für die Betrachtung der CO<sub>2</sub> Bilanzierung sind die Ablieferungsprozesse mit zu betrachten. Mittels LKW Abtransport sind die

Emissionen für den Dieserverbrauch mit zu berücksichtigen. (siehe Rohstoffherstellung / Anlieferung).

Allgemein gilt:

Je vollständiger die Abfallvermeidung – z.B. durch produkt- und produktionsintegrierten Umweltschutz -, desto geringer fällt die Entropiezunahme aus.

### **Abwässer mit organischer Fracht**

In Abwässern sind in der Regel als CSB (Chemischer Sauerbedarf; ein Summenparameter für organische Fracht im Abwasser) noch Bestandteile vorhanden, die im gewissen Maße energetische Funktionen besitzen. Solche Abwässer können die Methanproduktion in Biogasanlagen fördern. Das Methangas wird verbrannt und treibt beispielsweise Blockheizkraftwerke an. Durch solche Prozesse können fossile Energieträger geschont und die CO<sub>2</sub> Bilanzierung positiver gestaltet werden. Abwässer dieser Art können im Lebensmittelbereich oder auch bei der Produktion von Emulsionen anfallen.

Allgemein gilt:

Je kleiner die Abwassermenge bzw. dessen Frachten – z.B. durch Kreislaufführung und Mehrfachnutzung von Kühlwässern sowie Einsatz von Regenwässern im Sanitärbereich -, desto geringer fällt die Entropiezunahme aus.

### **Recycling**

Recycelfähige Materialien schonen die Ressourcen und können in definierten Mischungsverhältnissen der Produktion wieder zugeführt werden. Ein bekanntes Beispiel für einen solchen Verfahrensschritt gibt die Papier- und Glasindustrie wieder. Allerdings muss bei solchen Recyclingaktivitäten auch die regionale Infrastruktur, die Transportwege sowie die Aufbereitungsverfahren des „Recyclgutes“ mit

berücksichtigt werden. Diese gesamten Mechanismen bedürfen Ressourcen, die eine CO<sub>2</sub> Bilanzierung ebenfalls beeinflussen.

Allgemein gilt:

Je größer das Maß an stofflicher Verwertung – z.B. durch Maximierung der Verwertungsquote -, desto geringer fällt die Entropiezunahme aus.

Die Entropie ist nicht zur Beschreibung der Produkt- und Ressourceneffizienz eine sinnvolle und allgemein anerkannte Größe. Sie ist auch auf ganze Unternehmen anwendbar.

### **Entropie und Wirtschaft**

Die globale Wirtschaft und die Größe „Entropie“ miteinander ins Verhältnis zu setzen heißt für ein Wirtschaftsunternehmen, ihre Produktionen energieeffizient, umweltfreundlich und ressourcenschonend zu gestalten. Verfahren müssen mit umweltfreundlichen bzw. nachhaltigen Komponenten (Nachwachsenden Rohstoffen) optimiert werden. CO<sub>2</sub> Emissionen durch nachwachsende Rohstoffe zu senken ermöglicht ein Eingreifen am Produktionsanfang und nicht erst am teuren Ende der Produktion. Wirtschaft bedeutet in Anwendung des Entropiegesetzes stets die Zunahme von Entropie. Die Frage der Zukunft ist, ob die Zunahme der Entropie des physikalischen/ Biosystems Erde von derselben auch verkraftet werden kann. Oder: wer welchen Preis dafür bereit ist zu zahlen, um die Entropiezunahme zu verlangsamen.

### **Nachhaltiges Wirtschaften beginnt im Kleinen und endet im Großen**

CO<sub>2</sub> Emissionen sind gleichbedeutend mit einer Entropiezunahme im komplexen System Erde. Die Reduzierung von klimawirksamen Gasen, haben sich die politischen Meinungsführer auch für Unternehmen als Ziel gesetzt. Politische Instrumente wie beispielsweise das Kyoto – Protokoll und der Emissionshandel sind bereits wirksam, wenn auch für manche enttäuschend ineffektiv.

Mit der Sensibilisierung für dieses Thema und Anreizen für Veränderung der herkömmlichen Herstellungsverfahren können Wirtschaftsunternehmen durch CO<sub>2</sub> Einsparung finanzielle Erfolge erzielen. Der Anspruch vieler Unternehmen, CO<sub>2</sub> neutral zu produzieren, beeindruckt den Wettbewerb, die Kunden und Lieferanten gleichermaßen. Um das Gleichgewicht zwischen Atmosphäre, Entropie und CO<sub>2</sub> näher zu verdeutlichen, zeigen die folgenden Abbildungen den Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub> – Emissionen und Entropie auf.

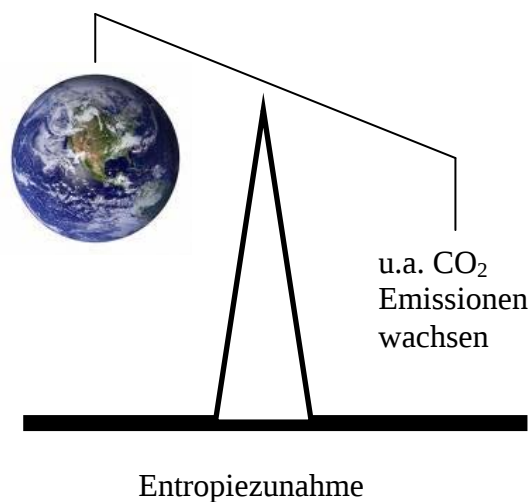


Abbildung 1:

Entropievermehrung durch wachsende CO<sub>2</sub> Emissionen

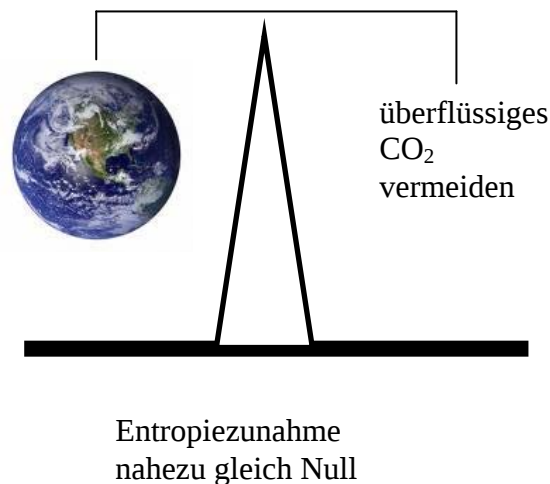
In der Abbildung 1 ist der Zusammenhang zwischen Entropiezunahme durch vermehrte CO<sub>2</sub> Emissionen graphisch dargestellt: Die Entropie des Systems Erde nimmt irreversibel zu (nicht nachhaltig im positiven Sinne).

Als „Nahezu - Gleichgewicht“ (siehe Abbildung 2) wollen wir definieren den Fall, dass die Entropie im System Erde nicht mehr zunimmt, als das System verkraften kann bzw. die Entropiezunahme deutlich verlangsamt werden kann. CO<sub>2</sub> wird als langfristige Zielperspektive über das geogene Maß hinaus nicht emittiert, das nicht –

anthropogen emittierte  $\text{CO}_2$  wird über die Photosynthese und die Ozeane abgebaut bzw. als Kalk gespeichert. Dieses Ziel ist nicht utopisch; es erfordert neben der Umsetzung von globalen  $\text{CO}_2$  Vermeidungsstrategien auch das Binden von anthropogenem  $\text{CO}_2$  z.B. katalytisch an  $\text{ZnO}$  – Oberflächen, von wo es dann chemisch wieder „heruntergewaschen“ werden kann.

Das Ziel des „Nahezu - Gleichgewichts“ kann mit energieeffizienten Verfahren, Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen, Reduzierung von überdimensionierten Motoren, Integration von erneuerbare Energien und ein auf Langlebigkeit der Produkte abzielendes Wirtschaften schneller erreicht werden als beim einfachen Weitermachen – wie bisher. Wir können uns die bisherige Geschwindigkeit der Entropiezunahmen im System Erde klimatisch nicht leisten, denn Entropiezunahme bedeutet auch Temperaturerhöhung an der Erdoberfläche.

Abbildung 2: globale Zielperspektive



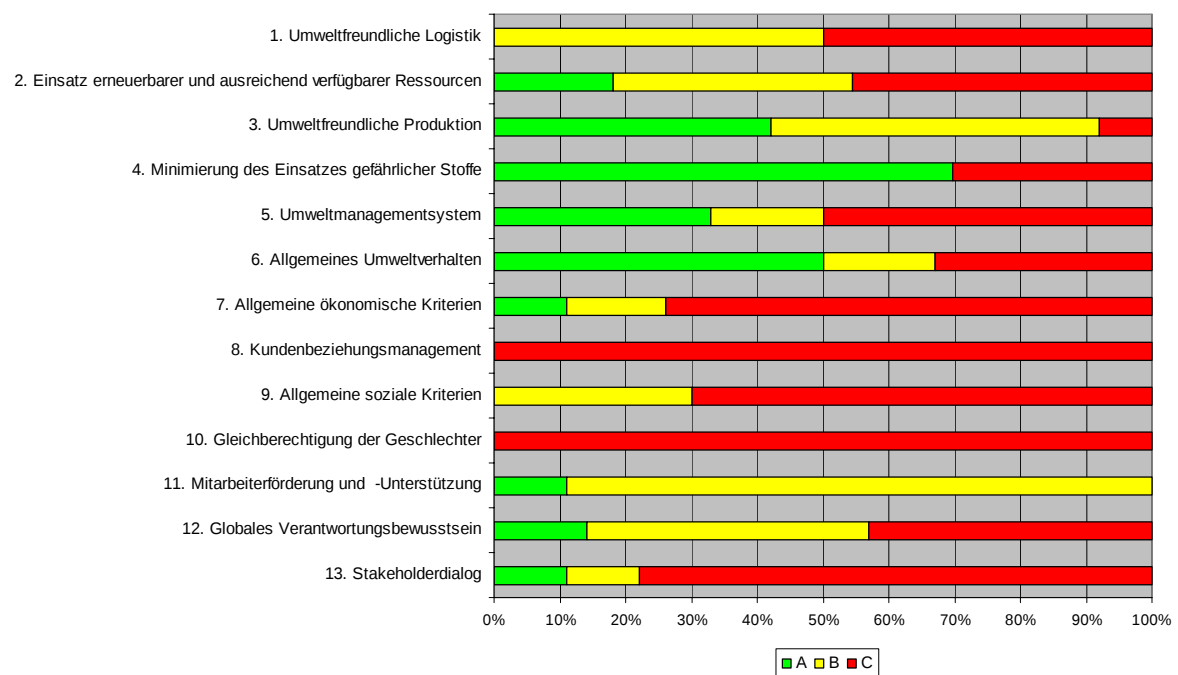
Entropiebezogene Kennzahlen werden in Zukunft das Controlling erweitern in Richtung eines Nachhaltigkeitsmanagements von Unternehmen. Der schnellste und kostengünstigste Einstieg von Unternehmen in ein Nachhaltigkeitsmanagement ist eine Positionsbestimmung z.B. nach dem A, B, C – Verfahren und der Abarbeitung einer umfangreichen Checkliste und Bestimmung der Kennzahlen über die Entropie.

Abbildung 3: Definition der A, B, C – Bewertungskriterien

|   |                            |
|---|----------------------------|
| A | dringender Handlungsbedarf |
| B | akzeptable Situation       |
| C | ideale Situation           |

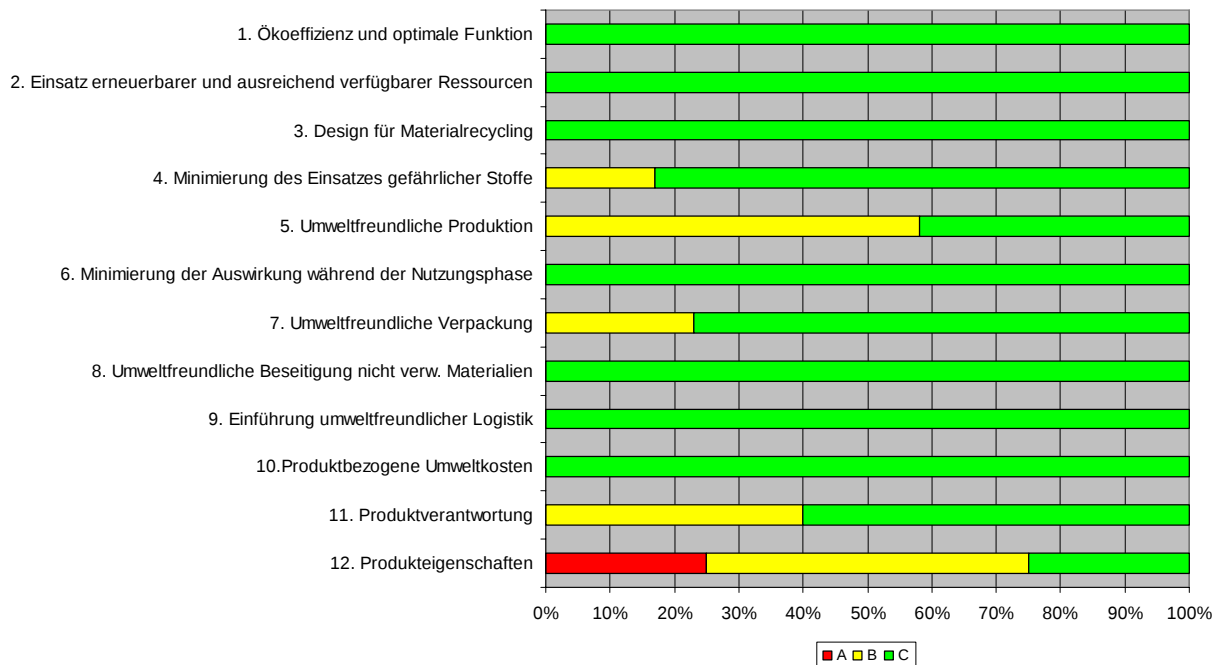
A, B, C – Bewertungen werden unternehmensbezogen für folgende Hauptkriterien erstellt und durch diverse Unterkriterien unterlegt:

Abbildung 4: Beispiel einer Unternehmensbewertung



Analog lässt sich auch die Nachhaltigkeit von Produkten bewerten:

Abbildung 5: Beispiel einer Nachhaltigkeitsbewertung von Produkten



## Zusammenfassung

Die Konkretisierung des Begriffs der „Nachhaltigkeit“ auf die universelle und messbare Größe der Entropie erfordert als ersten Einstieg CO<sub>2</sub> Footprints von Unternehmen und globale CO<sub>2</sub> – Vermeidungsstrategien.

Aus der Sicht der globalen Klima - Konsequenzen aus dem Einsatz fossiler Rohstoffe heraus stellt sich die Frage, wie lange welche fossile Ressource noch verfügbar ist, gar nicht.

Einzig CO<sub>2</sub> – Vermeidungsstrategien bzw. noch umfassender: Strategien zu Vermeidung/ Verringerung der Entropiezunahme im System Erde sind gefragt.

Die bisherige Nachhaltigkeitsdiskussion hat den Nachteil, dass „Nachhaltigkeit“ ein viel zu weicher Begriff ist, der zudem bislang in keiner Norm und zudem noch messbar definiert wurde. Der vorgestellte entropische Ansatz der Nachhaltigkeit fasst diese in einer Kennzahl über alle Aspekte der Nachhaltigkeit hinweg zusammen:

Unternehmensleistung und Produktleistung wird hinsichtlich ihrer Zukunftsfähigkeit mess- und dadurch besser fassbar.

Die Frage der Zukunft ist, ob die Zunahme der Entropie des physikalischen/ Biosystems Erde von derselben auch verkraftet werden kann. Oder: wer welchen Preis für die Regeneration bereit oder imstande ist zu zahlen. Angesichts der Welt, die wir unseren Kindern vererben wollen, sollten wir uns jetzt schon mal Gedanken zu ersten Antworten machen.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. Manfred Sietz

Hochschule OWL

Abt. Höxter

FB Umweltingenieurwesen und angewandte Informatik

An der Wilhelmshöhe 44

37671 Höxter

Tel. 05271-698183

[manfred.sietz@hs-owl.de](mailto:manfred.sietz@hs-owl.de)

Mit-Autoren:

Katharina Strebe, cand. Ing.

Dipl. Ing. Martin Komander

Prof. Dr. Burkhard Wrenger