

Nachhaltigkeit fassbar machen

Prof. Dr. Manfred Sietz

Fachbereich Umweltingenieurwesen und Angewandte Informatik

An der Wilhelmshöhe 44

37671 Höxter

Tel. 05271-687183

manfred.sietz@hs-owl.de

Unter Mitarbeit von: T. Brümmer, M. Michaelis, C. Freitag, A. Busch, S. Beher u. P. Planz

Klimawandel ist die Triebfeder der Nachhaltigkeit



Abwärme, ungenutzt in die Atmosphäre überführt, lässt sich nicht mehr in sinnvolle Arbeit umwandeln. Diese Abwärme ist verlorene Energie „Entropie“

Einleitung

- Entropie ist in der Physik ein Indikator für Energieverluste
- Entropie steht auch für Informationsverluste, Unsicherheit und Unordnung
- Die Gesamtsumme verfügbarer Energie kann nicht vermehrt werden
- Die verfügbare Energie nimmt stetig ab, die Entropie als nicht mehr nutzbare Energie („Abwärme“) bzw. Materie (gasförmige „Abfälle“, z.B. CO₂) nimmt stetig zu

Der Klimawandel ist eine Tatsache, es geht nur noch darum, ihn „verträglich“ zu gestalten

Nachhaltigkeit ist die Verringerung der Geschwindigkeit der Entropiezunahme

Definitionen der Entropie E

$\Delta E > 0$ entspricht der Entropiezunahme =

Zunahme der CO₂-Emissionen, Zunahme der Geschwindigkeit des Klimawandels,
Zunahme der Informationsverluste, Zunahme von Unsicherheit und Unordnung,
Abnahme der frei verfügbaren Energie.

Entropiezunahmen sind messbar als Temperatur des Systems Atmosphäre/
Erdoberfläche.

$\Delta E < 0$ entspricht der Entropieabnahme =

widerspricht dem Entropiegesetz!

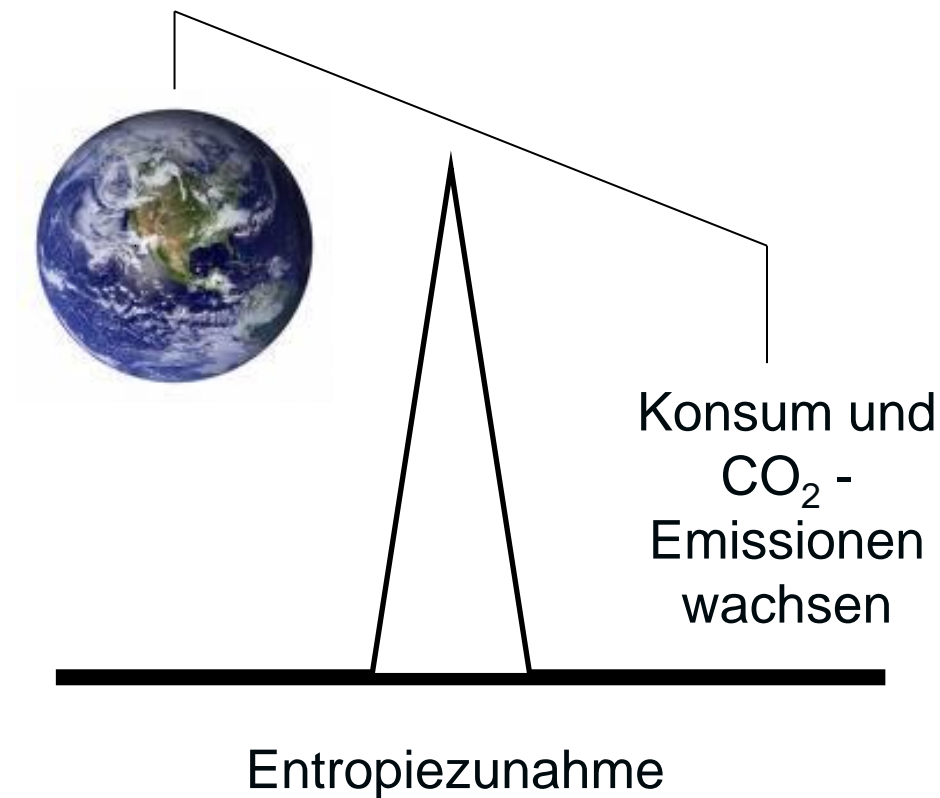
Die Abnahme der Entropie geht nur auf Kosten der Entropiezunahme in der Umgebung.

Entropie und Umwelt

Je schlechter die Wirkungsgrade der Energieumwandlung, je mehr Abwärme und Abfälle bei der Produktion und Dienstleistung frei wird, desto geringer ist die **Ressourcen- und Energieeffizienz**.

Überkonsum und Überbevölkerung tragen im Wesentlichen dazu bei, dass sich die Geschwindigkeit der Entropiezunahme des Systems Erde kontinuierlich erhöht.

Entropievermehrung durch wachsenden Konsum und wachsende CO₂-Emissionen

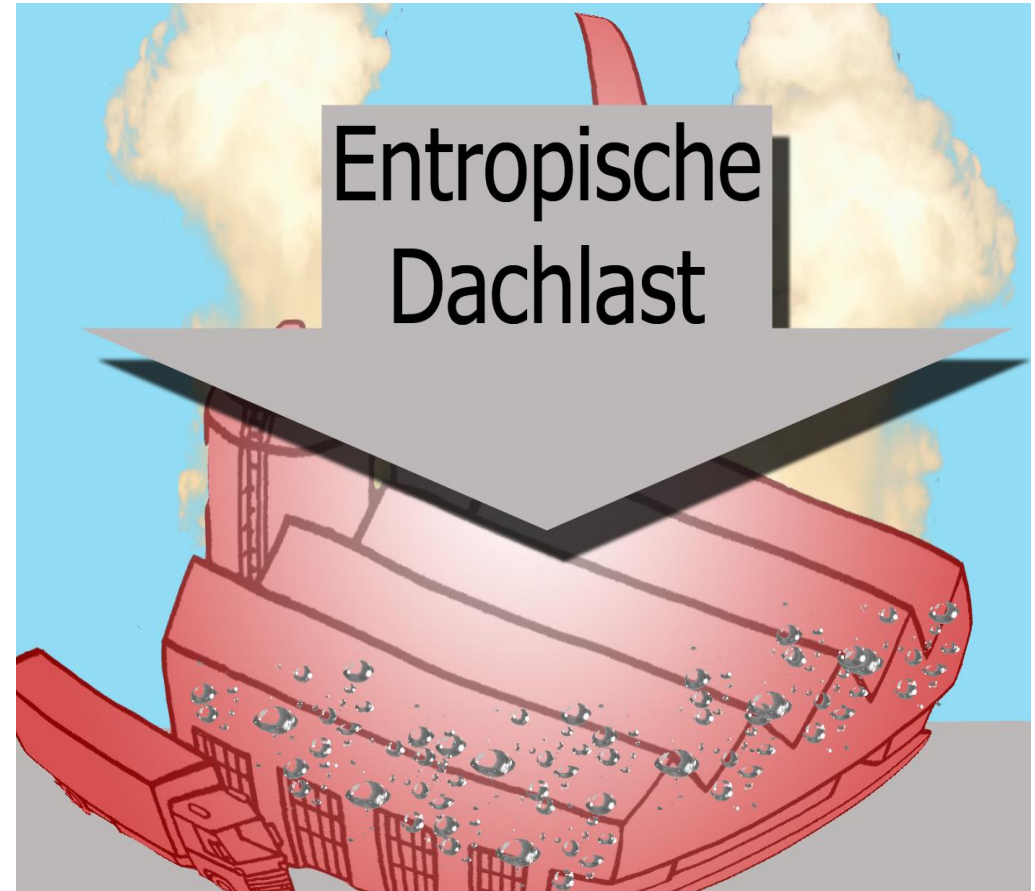
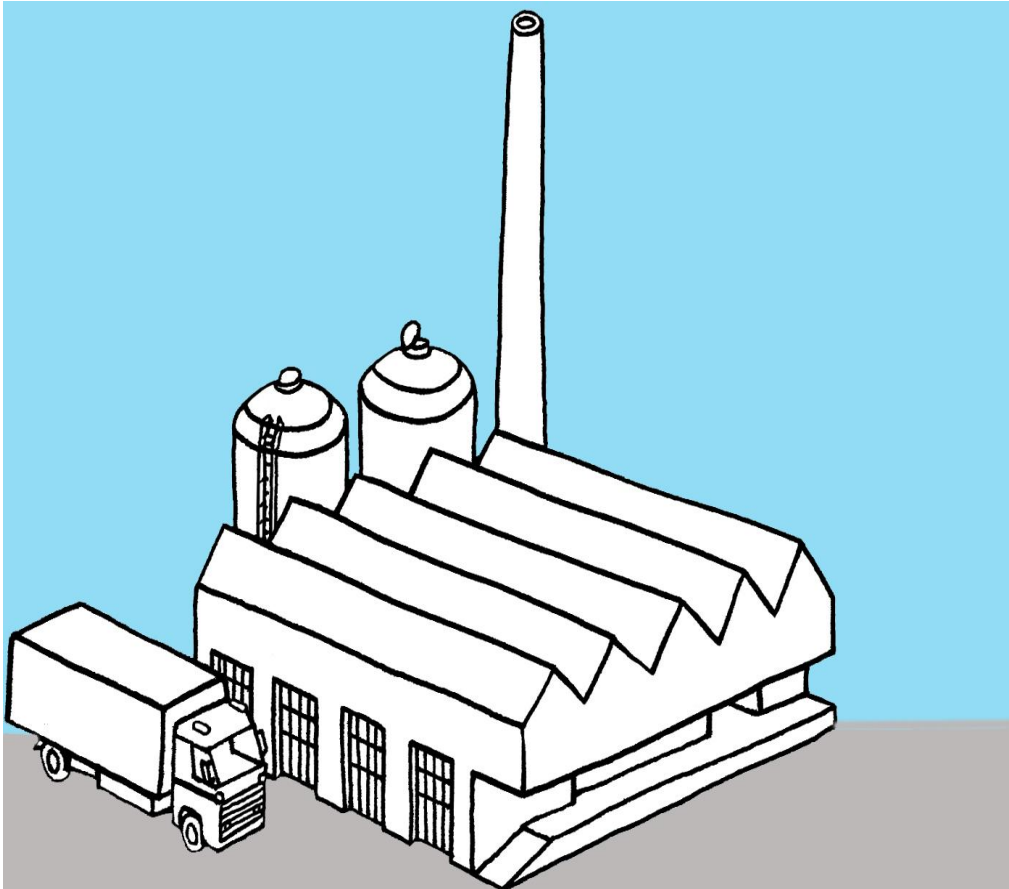


„Nachhaltigkeit berechenbar machen“

Nachhaltigkeit durch eine sinnvolle und messbare unternehmensbezogene Kennzahl beschreiben:

Die entropische Dachlast

Die entropische Dachlast eines Unternehmens



Bildquelle: verändert nach http://www.apfeland.ch/img/img_custom/fabrik.jpg,
Florian Sietz, 23.02.2012

Beispielunternehmen aus der Kunststoffbranche

Die entropische Dachlast eines Unternehmens aus der Kunststoffbranche mit 150 Beschäftigten, einer Betriebsfläche von 20.000 m² und einem jährlichen CO₂ – Ausstoß von 1.400 to.

Welcher Wärmemenge entspricht der CO₂ Emission von 1.400 to?

1 Mol CO₂ wiegen 44 g und entsprechen einer freigesetzten Wärmemenge von 393,5 kJ.

1.400 to CO₂ sind 1.400.000.000 g oder 31.818.181 Mol oder $1,25 * 10^{10}$ kJ

Entropische Dachlast

Annahme: Der Wirkungsgrad beträgt etwa 20%, d.h. 80 % der Wärmemenge wird ungenutzt als Abwärme in die Atmosphäre abgegeben:

$$\rightarrow 1,25 \cdot 10^{10} \text{ kJ} \cdot 0,8 = \text{nutzlose Abwärme } 1 \cdot 10^{10} \text{ kJ}$$

Wenn vereinfacht gilt **$E = m \times c \times dT$**

E = benötigte Energie zur Lufterwärmung

m = Masse der Luft

c = isobare Wärmekapazität der Luft

dT = Temperaturänderung der Atmosphäre

folgt **$dT = E / (m \cdot c)$**

Entropische Dachlast

Wir setzen für unser Kunststoffunternehmen ein:

$$E = 1 \cdot 10^{10} \text{ kJ}$$

$$\text{Dichte} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \text{ Volumen bei } 20^\circ \text{ C; } 20 \text{ km Höhe (vereinfacht angenommen)}$$

Daraus folgt ein Atmosphärenausschnitt oberhalb des Unternehmens in der Größe von

$4 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ der $1,2 \cdot 4 \cdot 10^8 \text{ kg}$ wiegt.

$$c = 1,005 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Entropische Dachlast

Das Einsetzen der Werte führt für dT zu:

$$dT = 1 \cdot 10^{10} \text{ kJ kg K} / 1,2 \cdot 4 \cdot 10^8 \cdot 1,005 \text{ kg kJ}$$

Daraus folgt eine einmalige Temperaturerhöhung im Atmosphärenausschnitt oberhalb des Unternehmens in der Größe von 20,73 K pro Jahr.

In einem Jahr verursacht also das Kunststoffunternehmen eine **entropische Dachlast von 20,73 K bzw. °C**

Anwendungsbeispiele für messbare Entropiezunahmen

Anwendungsbereich wirtschaftliche Nachhaltigkeit

Entropische Dachlast

Die **Zuverlässigkeit eines Arbeitnehmers** zeigt sich an der geringen Zahl an Fehltagen, an geringem Produktionsausschuss an seiner Teamfähigkeit, hohen Flexibilität, seinem Informations- und Qualifizierungsbedürfnis, seiner Motivation seinem erfolgreichen Umgang mit Kunden an seiner Bereitschaft zu zügigen und verantwortungsbewussten Entscheidungen und an der effektiven, fehlerfreien und termingerechten Durchführung übertragener Aufgaben.

Ein erfolgreicher Mitarbeiter/ eine erfolgreiche Mitarbeiterin spart Arbeitstage ein durch Vermeidung unnötiger Mehrarbeit und zeitintensiver Korrekturen.

Entropische Dachlast

Jeder **eingesparte Arbeitstag** (Wert angenommen mit 1000 €) entlastet das Unternehmen um 1000 €. Dies entspricht vereinfacht bei einem Strompreis von 0,5 € pro kWh einem Leistungsäquivalent von 2000 kWh oder auf ein Jahr bezogen einer Energie von $7,2 \times 10^6$ kJ.

Wir nehmen wieder den üblichen 80%-Wert für den Wirkungsgrad an und erhalten so einen eingesparten Abwärmebetrag in Höhe von $5,76 \times 10^6$ kJ. Ein eingesparter Arbeitstag verringert die **entropische Dachlast um 0,012 K bzw. °C**.

Das ist eine Reduktion von 0,6 %. Nicht schlecht!

Entropische Dachlast

Anwendungsbereich Soziales

(am Bsp. Freizeit, Kultur, Unterhaltung und Bildung
eines Bundesbürgers/ einer Bundesbürgerin)

Entropische Dachlast

Die [Zusammensetzung des deutschen Warenkorbs](#) (Quelle Statistisches Bundesamt) umfasst für das Jahr 2005 für die Bereiche Freizeit, Kultur, Unterhaltung und Bildung 12,3%.

Bei einem angenommenen Jahreskonsum pro Bundesbürger in Höhe von 18.000 € gibt also der Bundesbürger durchschnittlich pro Jahr 2214 Euro für die Bereiche Freizeit, Kultur, Unterhaltung und Bildung aus.

Anwendungsbeispiele für messbare Entropiezunahmen

Da alle menschlichen Aktivitäten – auch die im sozialen Bereich – mit Energieverbrauch, freigesetztem CO₂ und somit Entropiezunahme verbunden sind, so entspricht die jährliche Ausgabe von 2214 Euro rechnerisch einem Wärmeäquivalent von $15,9 \cdot 10^6$ kJ.

Wenn nur ein Mitarbeiter/ eine Mitarbeiterin unseres Beispielunternehmens sein komplettes soziales Engagement (z.B. in die Betreuung eines Betriebskindergartens) einbringen würde, so verringert sich

die entropische Dachlast des Kunststoffunternehmens schon um 0,03 K.

Entropische Dachlast

Anwendungsbereich Soziales

(am Bsp. eines Betriebskindergartens)

Vor- und Nachteile eines Betriebskindergartens:

weniger Stress für die Arbeitnehmer/in durch:

- Zeitersparnis
- Flexibilität
- Nähe zum Kind
- Spritkostensenkung
- Garantie eines Kindergartenplatzes
- nicht so ein schlechtes Gewissen der Eltern, wieder arbeiten zu gehen
- kürzere Ausfallzeiten qualifizierter Mitarbeiter/in
- Bindung zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer/in wird enger

Arbeitgeber kann die Eltern mit Kindergartenplatz locken, und sie wieder ganztags arbeiten lassen, da das Kind in Betreuung ist.

Modellbeispiel Betriebskindergarten mit – Krippe

Annahmen:

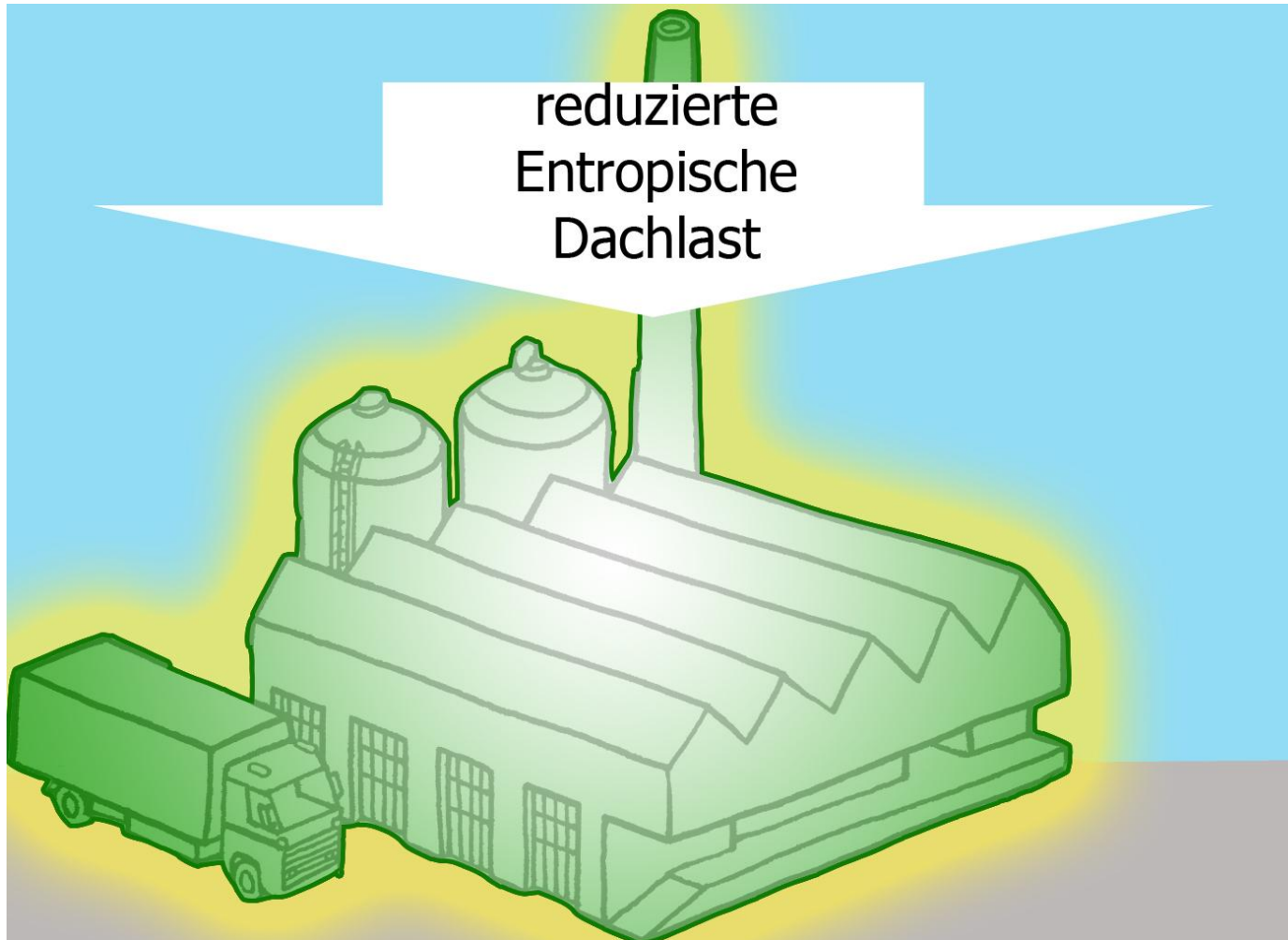
- 15 Kinder, mit max. 7 Kindern unter 2 Jahren
- 3 m² pro Kind im Gruppenraum, 12 m² pro Kind im Außenbereich
- 5- Tage- Woche mit Schichtbetrieb der Firma
- Verpflegung der Kinder über Catering
- Primärenergiebedarf 120 kWh/ m² * a
- Innenbereich 110 m² = 13.200 kWh/a

Temperaturänderung der Atmosphäre für das Unternehmen mit einem Betriebskindergarten

$$dT = \frac{E}{m * c} = \frac{9,95 * 10^9 \text{ kJ}}{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4 * 10^8 \text{ m}^3 * 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}} = 20,63 \text{ K}$$

Daraus resultiert eine **Temperatureinsparung von 0,1 K bzw. Grad C** im Jahr.

Globale Zielperspektive für Unternehmen



Bildquelle: verändert nach http://www.apfeland.ch/img/img_custom/fabrik.jpg,
Florian Sietz, 23.02.2012

Zusammenfassung

- Der Begriff „Nachhaltigkeit“ unterliegt bislang keiner Norm. Sie lässt sich aber über den entropischen Ansatz berechenbar und messbar machen. So wird die drohende Beliebigkeit der Nachhaltigkeit nachhaltig vermieden...
- Der entropische Ansatz fasst alle Aspekte der Nachhaltigkeit zusammen:
Unternehmensleistung, Konsum, Mobilität, Klimawandel und CO₂ – Fußabdruck sowie Energieverbrauch und wirtschaftliche u. soziale Nachhaltigkeit

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Prof. Dr. Manfred Sietz
FB8 – Umweltingenieurwesen und Angewandte Informatik

Telefon 05271 – 678 183
Telefax 05271 – 678 188
manfred.sietz@hs-owl.de
www.hs-owl.de/fb8