

# Schlußwort

W. Fratzscher

Die Energie ist eine faszinierende Größe. Die Beiträge auf unserem Symposium haben dies wieder einmal bestätigt und das nicht nur in naturwissenschaftlicher und technischer Hinsicht, sondern auch in bezug auf die damit verbundenen wirtschaftlichen, sozialen aber auch juristischen und ethischen Dimensionen. Es ist deshalb von reizvoller Symbolkraft, wenn in der kleinen Ausstellung über Hermann von Helmholtz im Vorraum eine Kopie aus seiner fundamentalen Arbeit über die Erhaltung der Kraft aus dem Jahr 1847 zu sehen ist.

Unter den verschiedenen Erscheinungsformen der Energie nimmt die Wärme eine besondere Position ein, da sie stofffrei aber entropiebehaftet ist. Im Gegensatz zu anderen stofffreien Energien, wie der mechanischen Arbeit, ist deshalb durch die Wärme ein aktiver und unmittelbarer Einfluß auf die Entropiebilanz eines Systems gegeben. Damit verbunden ist der Temperaturbegriff und die Tatsache, daß die Umwandlung von Wärme in Arbeit an die Durchführung von Kreisprozessen gebunden ist mit den damit gegebenen technischen Konsequenzen. Es ist deshalb bemerkenswert, daß z. B. Adelbert von Chamisso, der wie Helmholtz gleichfalls Mitglied unserer Akademie war, in seiner Weltreise die Dampfmaschine als die erste "warmblütige" Erfindung der Menschheit charakterisiert und hervorhebt.

Der Energieverbrauch der menschlichen Gesellschaft, der dann letzten Endes auch für die Abfallenergie verantwortlich zeichnet, ist ausschließlich dadurch bedingt, daß zur Befriedigung der Bedürfnisse der Gesellschaft durch die Produktion ein Ordnungszustand hergestellt werden muß, der höher ist als der durch die natürliche Umgebung vorgegebene. Erst dann ist es möglich, von selbst verlaufende Prozesse zu beschleunigen, um die

Raum-Zeit-Ausbeute zu erhöhen, oder Prozesse entgegen dem natürlichen Ablauf zu erzwingen, um z. B. neue, in der Natur nicht vorkommende Produkte - eben Kunststoffe - herzustellen.

Ein Maß für die Ordnung ist die Entropie. Aus diesem Grunde läßt sich der qualitative Hintergrund des Energie- und Stoffaustausches, zu dem auch die Probleme der Abfallenergie gehören, durch die Entropiebilanz veranschaulichen. Für ein stationär durchströmtes offenes System kann die Entropiebilanz in der Form angegeben werden

$$S^O + \frac{Q}{T} = S^I + \Delta S_{\text{irr}}$$

Dabei bedeutet

$S^O$	die Entropie der das System verlassenden Stoffströme
$S^I$	die Entropie der in das System eintretenden Stoffströme
$Q$	die mit der Umgebung ausgetauschten Wärmen bei der jeweiligen Temperatur $T$
$\Delta S_{\text{irr}}$	die irreversible Entropieproduktion im System

Der Nutzen des Systems ist entweder ein Stoff, dann ist er im Output-Entropiestrom enthalten oder eine Wärme, dann wird sie durch den entsprechenden Strom der reduzierten Wärme gekennzeichnet. Andere Energieformen wie die Arbeit sind entropiefrei und deshalb in der Entropiebilanz nicht enthalten. Die Bereitstellung dieses gewollten Nutzens erfordert natürliche Prozesse, die mit einer irreversiblen Entropieproduktion verbunden sind und ist gewöhnlich begleitet durch in Koppelproduktion erzeugte weitere Produkte und Abfallwärme der unterschiedlichsten Qualität.

Das Niveau des Ordnungszustandes des betrachteten System drückt sich in der Entropiebilanz dadurch aus, daß die Entropieinputs und die Entropieproduktion möglichst niedrig gehalten werden und die Entropieoutputs die erforderliche angepaßte Höhe einnehmen.

Die Höhe des Entropieinputs hängt z. B. mit der Qualität der Lagerstätten der Rohstoffe und Rohenergie zusammen. Lagerstätten geringerer Qualität erhöhen den Entropieimport.

Die irreversible Entropieproduktion ist durch die energetische Effizienz der technischen Apparate und Anlagen bestimmt. Vergrößerung der Apparate und Verkomplizierung der Anlagen können zu entsprechenden Verminderungen der Nichtumkehrbarkeiten führen und damit zu einem geringeren Energieeinsatz.

Der entsprechend diesen Vorgaben erforderliche Entropieexport ist durch die linke Seite der angeführten Gleichung gegeben. Er charakterisiert von der naturwissenschaftlichen Seite her den Gegenstand unseres Symposiums. Die Abfallwärme ist gewöhnlich durch die Energiebilanz vorgegeben, ihr Entropiegewicht wird durch ihre Temperatur bestimmt. Je niedriger diese ist, desto größer ist der damit verbundene Entropieexport. Die Umgebungstemperatur stellt eine natürliche untere Grenze für die Abfallwärme dar. Diesem Ziel dienen die verschiedenen Maßnahmen zur Organisierung eines regenerativen Wärmeaustausches.

Der erforderliche Entropieexport kann auch über Abfall- oder Reststoffe realisiert werden in Ergänzung oder als Äquivalent zur Abfallwärme. Technisch sind die damit verbundenen Probleme gewöhnlich gering. Umso größer sind aber die Probleme, die mit einer Nutzung solcher Abfallstoffe verbunden sind. Insbesondere ist zu beachten, daß häufig mit derartigen Maßnahmen ein Ersatz des stofflichen Entropieexports durch einen entsprechenden thermischen Export erfolgt. Stofflich völlig abgeschlossene Systeme erfordern einen Wärmetausch mit der Umgebung zur Kompensation der irreversiblen Entropieproduktion, wie jeder thermodynamische Kreisprozeß zeigt.

Das Problem der Abfallenergienutzung ordnet sich so in das Gesamtproblem des Stoff- und Energieaustausches der menschlichen Gesellschaft mit der Natur ein und kann über die entsprechenden Entropieströme quantifiziert werden. Dieser Zusammenhang zeigt die Einflußmöglichkeiten und Alternativen auf, die für die Gestaltung der technischen Systeme zur Verfügung stehen. Sie betreffen die Rohenergieträger, spezielle technische Apparate und

Anlagen und die Alternativen zwischen Wärme- und Stoffaustausch, wie das Symposium gezeigt hat.

Die jeweils zu realisierende Lösung hängt von der Einschätzung und Bewertung des Gesamtsystems und der einzelnen Stoff- und Energieströme ab. Das kann primär durch stoffliche und energetische Gesichtspunkte gegeben sein, das kann aber auch aus wirtschaftlichen, ökologischen, juristischen und ethischen Gegebenheiten folgen, die die Ge-

---

sellschaft entsprechend ihrer Situation für erforderlich und einzuhalten ansieht. Diese Bewertungs- und Einschätzungsaspekte nahmen deshalb im Rahmen des Symposiums einen gewichtigen Platz ein, denn die Lösung des Problems kann doch nur darin bestehen, das derzeitige Optimum zu suchen. Ein Verzicht auf das jeweilige technische System kann nur für die Befriedigung unnötiger und anmaßender Bedürfnisse gelten. Diese Grenze festzustellen, übersteigt aber die mit dem Symposium angestrebte Dimension.