

# **Kritik am KPK \*) aus Sicht der DPG**

**Georg Job °)**

## **Das Possenspiel der DPG, Teil II**

**\*) KPK: Karlsruher Physikkurs      DPG: Deutsche Physikalische Gesellschaft**

**°) Vortrag am Institut für Physikalische Chemie der Universität Hamburg, 24. April 2013**

# Gliederung des Gutachtens

## *Beispiel 1: Der Begriff des Impulsstroms in der Mechanik*

- 1.1 Was ist mit dem Impulsstrom gemeint?
- 1.2 Verhalten unter Drehungen
- 1.3 Ist die Richtung des KPK-Impulsstroms messbar?

## *Beispiel 2: Entropie und Wärme in der Thermodynamik*

\*)

- 2.1 Temperatenausgleich
- 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum
- 2.3 Entropie-Leitfähigkeit

## *Beispiel 3: Magnetische Ladungen und der Begriff des Vakuums in der Elektrodynamik*

- 3.1 Magnetische Ladungen
- 3.2 Äther / Vakuum

## *Mangelnde Anschlussfähigkeit*

- \*) Der eingerahmte Abschnitt ist Gegenstand des Vortrages, Teil II.  
Wörtlich aus dem Gutachten übernommener Text in violetter Schrift.

## Hauptkritikpunkt

Auf besonders eklatante Weise falsch und irreführend ist die Behauptung des KPK, die Entropie sei das, was man „umgangssprachlich Wärme“ nenne. (Gutachten S.14)

Diese Aussage wird gelesen als die simple Behauptung  
„Entropie = Wärme“,  
die dann als absolut indiskutabel gescholten wird.




## Eine Bemerkung vorweg zur Art der Kritik:

Es wird etwas Unverstandenes oder stark Vergrößertes **unterstellt** und dann als fehlerhaft beanstandet. \*)

Es wird gefolgert: Fehlerhafte Konzepte führen bei Schülern zu falschen Vorstellungen und Verwirrung und behindern die Verständigung mit anderen.

Der Gedanke, dass ein anderer \*\*) Ansatz auch neue Einsichten vermitteln kann, wird von vornherein ausgeschlossen.

Angegebene Quellen und Einwände werden **ignoriert.**

\*) Unterstellungen dieser Art werden im Folgenden grob gekennzeichnet,  
durch  , wenn explizit behauptet,  
durch  , wenn implizit vorausgesetzt;  
durch  , wenn es sich um strittige Punkte anderer Art handelt.

\*\*) anders, als es die Autoren des Gutachtens bisher kennen

## Eine Bemerkung vorweg zur Art der Kritik:

**Unterstellung** und **Ignoranz** sind die Hauptcharakteristika dieses Teils des DPG-Gutachtens.

Die Annahme, dass die umgangssprachlichen Begriffe dem entsprechen, was ein Physiker unter der gleichnamigen Größe versteht, ist naiv.

Auf dem Standpunkt zu beharren und die angegebenen Quellen zu ignorieren, obwohl man darauf hingewiesen wurde, ist – höflich ausgedrückt – unverständlich und inakzeptabel.

Die ganze Vorgehensweise der DPG in dieser Sache verletzt in grober Weise die selbst gesetzten Regeln „guter wissenschaftlicher Praxis“.

## **Guten Willen vorausgesetzt, wäre das Problem leicht lösbar**

Die Begriffe der Umgangssprache sind naturgemäß unscharf und mehrdeutig. Um sie als Namen für physikalische Größen verwenden zu können, bedarf es einer mehr oder minder ausführlichen Präzisierung.

Wenn ein etablierter Begriff anders als gewohnt verwendet werden soll, ist mit Widerständen zu rechnen, sachlichen und unsachlichen.

Man denke etwa an den Ersatz der Leistungseinheit Pferdestärke durch Watt oder der Wärmeeinheit Kalorie durch Joule oder gar an den Versuch, das metrische Einheitensystem in den angelsächsischen Ländern einzuführen.

Für die Verfechter einer Denkrichtung ist völlig klar, dass die von Ihnen vertretene Auffassung die bessere, wenn nicht gar die einzig richtige ist.

Unschöne Züge bekommt die Auseinandersetzung, wenn sie zu einer Diffamierung der Andersdenkenden führt und zum Versuch, die gegnerische Seite durch unlautere Winkelzüge auszumanövrieren.

## Guten Willen vorausgesetzt, wäre das Problem leicht lösbar

Im Fall der **Wärme** ist die eine Seite überzeugt, dass dieser Begriff, wie er zur Zeit in der Physik benutzt wird, klar definiert und unstrittig ist, während die andere Seite gerade dies als Hauptursache für die begrifflichen Schwierigkeiten der Thermodynamik betrachtet.

Das Hauptargument der KPK-Vertreter ist, dass der Begriff **Wärmemenge**, wie er in der Umgangssprache – nicht in der Physik! – verwendet wird, besser durch die Größe  $S$ , repräsentiert wird, als durch die Größe  $Q$ , was den KPK-Gegnern wiederum völlig absurd erscheint, so absurd, dass auch nur ein Versuch, der Gegenseite zuzuhören, von vornherein als sinnlos gilt.

Bei derart verhärteten Fronten, ist eine Verständigung kaum denkbar. Andererseits ist ein Streit dieser Art für das Bild der Physik in der Öffentlichkeit mehr als schädlich.

Ohne Dialog wird die Chance vertan, einen Einblick in die Gedankenwelt der gegnerischen Seite zu gewinnen, und sei es nur, um die Heftigkeit ihrer Gegenwehr verstehen zu können.

## **Guten Willen vorausgesetzt, wäre das Problem leicht lösbar**

Da die gegnerischen Positionen schon bei der Frage auseinander klaffen, was der Begriff Wärme in der Umgangssprache bedeutet, ist es nützlich, sich ein Bild von der Größe der Unterschiede zunächst an verwandten, aber unstrittigen Begriffen klar zu machen.

Im Folgenden einige Beispiele von Begriffen aus dem Wortfeld  
„Arbeit“ „Energie“ „Kraft“ „Leistung“ „Wärme“ ... ,  
die auch als Namen für physikalische Größen benutzt werden.

Quelle: G. Wahrig: Deutsches Wörterbuch, Bertelsmann Lexikon Verlag, 2000.

Danach folgt eine kritische Bewertung der einzelnen Aussagen des Gutachtens, soweit sie die Thermodynamik betreffen, und zwar aus Sicht der KPK-Vertreter.

Auf das „Fazit“ auf S. 14, zu dem die Gutachter am Ende gelangen, wird nicht mehr gesondert eingegangen, da dies nur auf eine Wiederholung bereits bekannter Argumente hinausläuft.



# Fach- und umgangssprachliche Begriffe

## Arbeit

- *körperliche oder geistige Betätigung, Tätigkeit, Beschäftigung*  
Gartenarbeit, Hausarbeit, Forschungsarbeit, bei der Arbeit sein ...
- *Beruf, berufliche Tätigkeit, Stellung*  
Arbeit suchen, haben, finden, seine Arbeit verlieren ...
- *Mühe, Anstrengung*  
viel Arbeit machen, eine Menge Arbeit haben, das kostet viel Arbeit ...
- *schriftliche oder praktische Prüfung*  
Prüfungsarbeit, Klassenarbeit, Deutscharbeit , eine Arbeit schreiben ...
- *Ausführung, Gestaltung*  
Einlegearbeit, Goldschmiedearbeit ...
- *Herstellung*  
etwas in Arbeit nehmen, ein Stück in Arbeit geben ...
- **〈Physik〉** *das Produkt aus der an einem Körper angreifenden Kraft und dem vom Körper unter ihrem Einfluss zurückgelegten Weg*
- *das bearbeitete Ergebnis der Tätigkeit, Leistung*  
Jahresarbeit, Doktorarbeit, eine gelungene Arbeit, die Arbeit abgeben ...

# Fach- und umgangssprachliche Begriffe

## Kraft

- *Stärke, Fähigkeit, etwas (Schweres) zu tun, zu bewirken*  
Geisteskraft, Körperkraft, Muskelkraft, Tatkraft, Willenskraft ...  
Kräfte sparen, Kräfte sammeln, sich mit aller Kraft einsetzen ...
- **〈Physik〉** *den Bewegungszustand eines Körpers ändernde Größe*  
Gleichgewicht der Kräfte, Parallelogramm der Kräfte ...
- *Heftigkeit, Gewalt* (von Naturgewalten)  
die Kraft der Sonne, des Sturms, der Wogen ...
- *Wirksamkeit*  
Heilkraft, die heilende Kraft der Natur ...
- *Gültigkeit*  
Gesetzeskraft, Rechtskraft, ein Gesetz außer Kraft setzen ...
- *Arbeitskraft, Mitarbeiter*  
Bürokräft, Lehrkraft, Hilfskraft, Schreibkraft, neue Kräfte einstellen ...

# Fach- und umgangssprachliche Begriffe

## Energie




- **〈Physik〉** *Fähigkeit , Arbeit zu leisten*  
chemische, elektrische ... Energie, Erhaltung, Umwandlung von Energie ..
- **〈allgemein〉** *Tatkraft, Kraft, Schwung, Nachdruck*  
Energie aufbringen, besitzen, haben ..., geballte, gesammelte Energie, sich mit aller Energie für etwas einsetzen, voller Energie stecken ...

## Wärme

- warmer Zustand, angenehme Temperatur zwischen kalt und heiß  
Ist das eine Wärme! *hier ist es sehr warm!*  
Komm herein in die Wärme **〈umgangssprachlich〉** *ins warme Zimmer*
- Temperatur über 10°C  
zehn Grad Wärme *eine Temperatur von 10°C*
- **〈Physik〉** *durch die Eigenbewegung von Molekülen verursachte Form der Energie*
- **〈figürlich〉** *Herzlichkeit, aufrichtige Freundlichkeit*  
jemanden mit Wärme begrüßen, willkommen heißen *mit Herzlichkeit*

## Zur Erinnerung:

Wörtlich aus dem Gutachten übernommener Text in violetter Schrift.

Unterstellungen werden im Folgenden grob gekennzeichnet, und zwar  
durch  , wenn ein Fehler explizit behauptet wird,  
durch  , wenn ein Fehler implizit vorausgesetzt wird;  
durch  , wenn es sich um strittige Punkte anderer Art handelt.



## Beispiel 2: Entropie und Wärme in der Thermodynamik

„Auch die [neben  $T$ ] zweite Größe, die wir brauchen, müsstest du kennen, allerdings unter anderem Namen als dem in der Physik gebräuchlichen.

Es handelt sich bei ihr um das, was man umgangssprachlich »Wärmemenge« nennt, oder auch einfach »Wärme«.

Ihr physikalischer Name ist Entropie, ihr Symbol  $S$  und ihre Maßeinheit Carnot, abgekürzt Ct.“

Es ist zwar richtig, dass die Entropie eines Systems durch Zufuhr oder Abfuhr von Wärme verändert werden kann.

Aber deshalb ist Entropie noch lange nicht der Wärme <sup>\*)</sup> gleichzusetzen, auch keiner „umgangssprachlich“ so bezeichneten.  <sup>\*\*)</sup> 

Beide haben verschiedene Maßeinheiten, können also schon deshalb nicht gleich sein. 

Wärme misst man in Joule, Entropie in Joule/Kelvin. 

\*) das heißt der Größe  $Q$     \*\*) die angegebenen Quellen werden ignoriert!

## Beispiel 2: Entropie und Wärme in der Thermodynamik

Der KPK stützt seine Argumentation fast ausschließlich auf die Gleichung  $\Delta S = \Delta Q/T$ , die im eingeschränkten Fall einer reversiblen Wärmezufuhr- oder -abfuhr  $\Delta Q$  bei einer Temperatur  $T$  die Entropieänderung  $\Delta S$  angibt. 💣\*)

Dabei verschweigt der KPK die Einschränkungen dieser Gleichung: 💣

1. Er wendet die Gleichung unverändert auch bei irreversiblen Prozessen an, obwohl dort  $\Delta S \geq \Delta Q/T$  gilt. 💣\*)

Damit behindert er den Zugang zu den für das Verständnis unserer Welt so ungeheuer wichtigen irreversiblen Prozessen. ... 💣 (Abschn. 1.5 ff)

2. Es gibt wichtige Prozesse, in denen die obige Formel gar nicht anwendbar ist, weil sich die Entropie als Zustandsgröße ohne Wärmezufuhr ändert. 💣

Die oben zitierte Definition der Entropie ist keineswegs ein Ausrutscher, sondern wird über viele Seiten benutzt, ... wobei manches Fragwürdige herauskommt. 💣

Dies soll an drei Beispielen erläutert werden.

\*) Die Gleichung kommt im KPK nicht vor! Was stattdessen? siehe unten!

## Einschub: Zusammenhang zwischen Energie- und Entropiestrom

Im Karlsruher Kurs wird die Entropie  $S$  als „Energieträger“ betrachtet, die absolute Temperatur  $T$  als zugehöriges „Beladungsmaß“.

Mit jedem Entropiestrom  $I_S$  ist daher zugleich ein Energiestrom  $P$  verknüpft:

$$P = T \cdot I_S \quad (*)$$

Die Begriffe „Energieträger“ und „Beladungsmaß“ sind ein didaktisches Mittel — neben dem auch andere denkbar sind — die obige Gleichung für Schüler verständlich darzustellen.

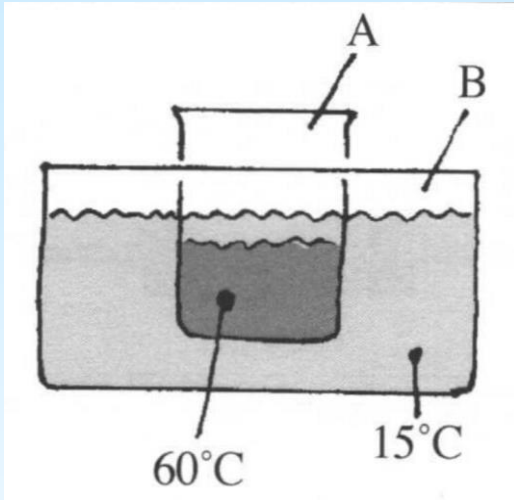
Als Vorteil gilt: Energietransporte in den verschiedensten Bereichen lassen sich nach demselben einfachen Muster beschreiben.

Stromstärken beziehen sich immer auf ein durchströmtes Flächenstück  $A$ , bei einem Leiter in der Regel auf einen Querschnitt an einer bestimmten Stelle.

Ist die Stromstärke in einem Leiter überall gleich, spricht man auch von der Stromstärke im Leiter schlechthin. (Beispiel: elektrotechnische Schaltpläne)

**(\*)** gilt, falls  $T = \text{const}$  auf  $A$ , sonst  $P = \int_A T \cdot \vec{j}_S d\vec{A}$  ( $j_S$  Entropiestromdichte)

## Abschnitt 2.1 **Temperatenausgleich**



Entropie fließt aus dem inneren Behälter A in den äußeren Behälter B

Das erste Bild von dreien zu diesem Thema

**Gegenstand** des Lehrbuch-Abschnitts 1.2 ist:

Entropie strömt von selbst von Stellen höherer zu Stellen niedrigerer Temperatur.

Der Vorgang endet, wenn die Temperaturen gleich geworden sind unabhängig davon, ob der Behälter A groß oder klein, heißer oder kälter als B ist.


Ein Temperaturunterschied ist ein Antrieb für einen Entropiestrom.

Die Entropieerzeugung bei der Entropieleitung wird im Abschnitt 1.11 ausführlich besprochen.



## 2.1 Temperatenausgleich

**Kritisiert** wird am Lehrbuch-Abschnitt 1.2:

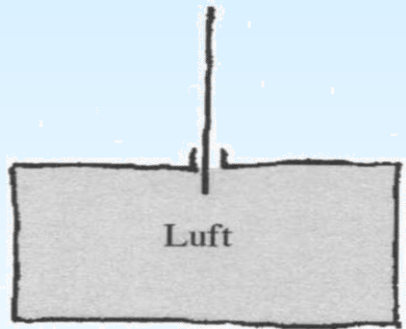
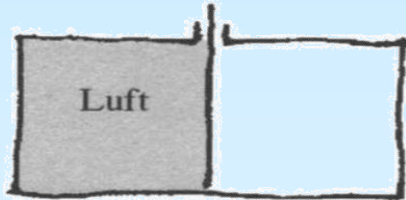
Aber für die Thermodynamik entscheidend ist, dass zusätzlich Entropie entsteht, so dass nach dem Temperatenausgleich mehr Entropie in dem System aus beiden Behältern ist als am Anfang. 

... diese Entropiezunahme ist das Wesentliche an diesem Versuch   
überhaupt.

Sie ist der eigentliche Antrieb für diesen Prozess: Die Entropiezunahme legt fest, dass der Wärmeaustausch vom heißeren zum kälteren Behälter erfolgt, aber eben niemals umgekehrt. 

Dieser entscheidende Aspekt wird vom KPK einfach verschwiegen. 

## Abschnitt 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum



Der Prozess ist nicht umkehrbar. Bei der Expansion ins Vakuum entsteht Entropie.

### Was behauptet der KPK:

Zunächst bemerkt der KPK: „Bei der Expansion eines Gases ins Vakuum entsteht Entropie.“

Dann wirft der KPK die Frage auf, ob das Gas bei dieser Expansion wärmer oder kälter werde und stellt dabei zwei Argumente gegenüber:

„1. Es ist Entropie erzeugt worden. Wenn man einem Gas Entropie zuführt, nimmt die Temperatur zu.“

„2. Wir hatten früher gesehen, dass die Temperatur eines Gases abnimmt, wenn sich das Gas ausdehnt, – vorausgesetzt allerdings, wir lassen die Entropie konstant.“

Der KPK argumentiert nun, im diskutierten Fall seien beide Effekte wirksam, aber welcher gewönne, sei nicht leicht vorauszusagen.


## 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum


Als Ergebnis wird angegeben: „Bei der Expansion ins Vakuum ändert sich die Temperatur eines Gases nicht.“

Die beiden Effekte heben sich in ihrer Wirkung also gerade auf.“

Man könne dies „als einen Zufall betrachten“, schreibt der KPK weiter.

### Kritik an der Darstellung:


Diese Diskussion der spontanen Expansion eines Gases in das Vakuum ist in mehrfacher Weise falsch: 

Zu 1. Hier stolpert der KPK über seine eigene Definition, dass nämlich die Entropie nur erhöht werden kann, wenn Wärme zugeführt wird und sich damit die Temperatur erhöht. 

Physikalisch korrekt erhöht sich die Entropie aber allein wegen der Volumenzunahme.  Die Temperatur bleibt dabei konstant.  \*)

\*) Gilt für ideale Gase! Bei realen kann die Temperatur steigen oder fallen.

## 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum

**Anmerkung** zu dem mit  gekennzeichneten Vorwurf der Gutachter:

Für die Entropie eines **idealen** Gases liefert die Thermodynamik die Gleichung

$$S(T, V) = S(T_0, V_0) + \int_{T_0}^T \frac{C_V(T)}{T} dT + nR \ln \frac{V}{V_0},$$

die nichts über den Weg voraussetzt, wie der Endzustand erreicht wird.

Je nach dem, wie man den Übergang von Anfangs- zum Endzustand wählt,

$$(T_0, V_0) \rightarrow (T, V),$$

kann der für die Entropieerzeugung verantwortliche Schritt verschieden sein.

Der Anspruch der Gutachter, nur ihre Begründung sei physikalisch korrekt, ist – milde gesprochen – abwegig!

## 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum

Zur Erinnerung:


Punkt 2, der im Gutachten als kritikwürdig zitiert wird, ist:


„2. Wir hatten früher gesehen, dass die Temperatur eines Gases abnimmt, wenn sich das Gas ausdehnt, – vorausgesetzt allerdings, wir lassen die Entropie konstant.“

## 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum

Zu 2. Hier verweist der KPK auf eine frühere Beobachtung, wo bei der Expansion eines Gases die Temperatur gesunken war.


Dabei handelte es sich um eine adiabatische Expansion, bei der das Gas Arbeit verrichtet.

Der KPK betont zutreffend, dass bei einem solchen Prozess die Entropie konstant bleibt, benutzt ihn aber – für uns nicht nachvollziehbar –, um die Expansion ins Vakuum zu erklären, bei der die Entropie zunimmt, wie der KPK schließlich selbst feststellt! 

Davon unabhängig sieht man sofort ein, dass sich die Temperatur des Gases nicht verändert, weil bei der Expansion ins Vakuum keine Arbeit nach außen verrichtet wird.  \*)

\*) Das setzt voraus, 1) dass man die kinetische Gastheorie zuvor behandelt hat  
2) dass das betrachtete Gas sich ideal verhält. Beides ist hier nicht der Fall und der Vorwurf damit an dieser Stelle gegenstandslos.

## 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum

Fazit: Die beiden vom KPK behaupteten Effekte treten in der beschriebenen Situation überhaupt nicht auf, 

so dass das Ergebnis, dass die Temperatur bei der Expansion konstant bleibt, keineswegs ein Zufall ist, sondern notwendig so sein muss, 

wenn auch nicht aus den im KPK angegebenen Gründen. 

Dieses Ergebnis gilt streng für ideale Gase.

## 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum

### Entgegnung: Zunächst zur Erinnerung

**a)** Um die Entropieänderung  $\Delta S$  beim Übergang von einem gegebenen Ausgangszustand (1) zu einem festen Endzustand (2) zu bestimmen, kann man irgendeinen reversiblen Übergang von  $1 \rightarrow 2$  wählen.

Dann gilt: 
$$\Delta S = \int_{\text{Anf}}^{\text{End}} \frac{dQ_{\text{rev}}}{T}$$

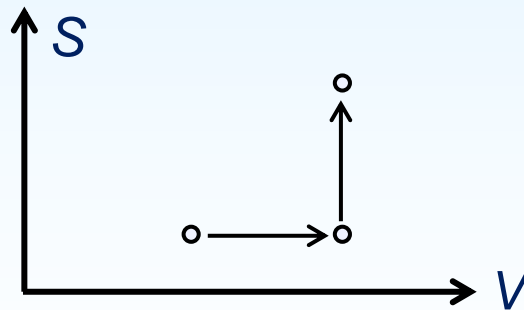
**b)** Um hierbei die Zwischenzustände einer gegebenen Portion eines Stoffes zu beschreiben, genügen in der Regel zwei unabhängige Zustandsvariablen.



## 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum

Es seien verschiedene Möglichkeiten erörtert (außerhalb immer Vakuum!)

1) erster Schritt adiabatisch, zweiter Schritt isochor;  $W + Q = 0$

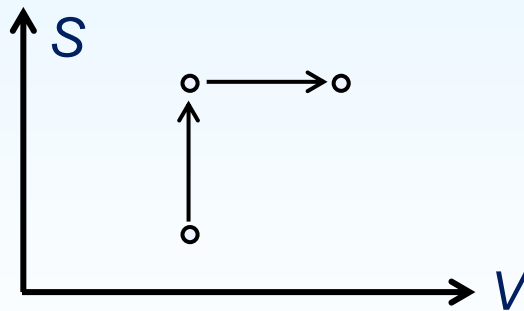
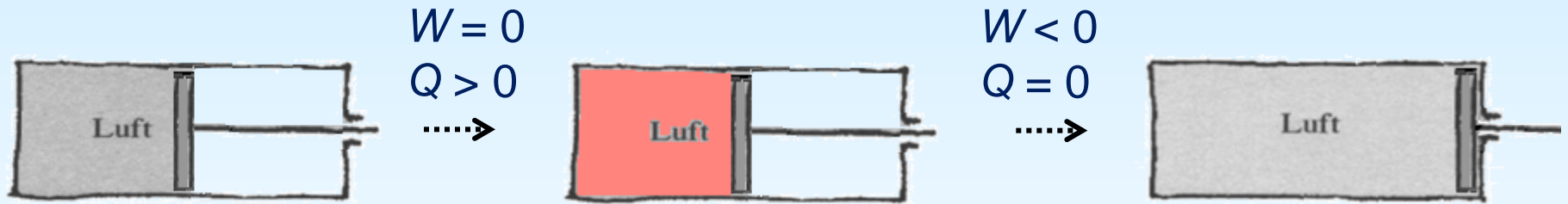


Farbschlüssel:  Zimmertemperatur,  unterkühlt

## 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum

Es seien verschiedene Möglichkeiten erörtert (außerhalb immer Vakuum!)

2) erster Schritt isochor, zweiter Schritt adiabatisch;  $W + Q = 0$

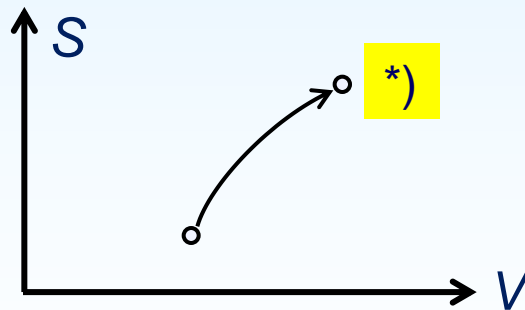
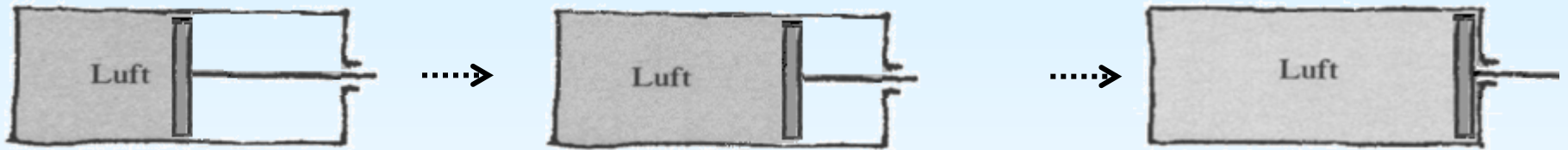


Farbschlüssel:  Zimmertemperatur,  überhitzt

## 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum

Es seien verschiedene Möglichkeiten erörtert (außerhalb immer Vakuum!)

3) Expansion bei konstanter Energie; jederzeit  $dW + dQ = 0$

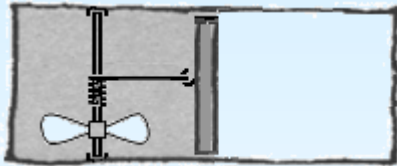


Der obige Prozess lässt sich auf verschiedene Weise wie folgt realisieren.

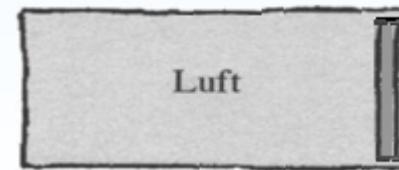
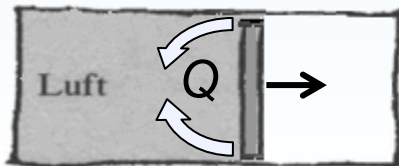
$*)$  bei idealen Gasen zugleich Isotherme, bei realen Gasen nicht!

## 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum

3a) Die durch die Kolben-Verschiebung abgeführte Arbeit wird wie beim Jouleschen Versuch mit einem Rührwerk als Wärme wieder zugeführt.

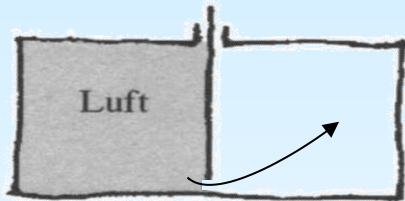


3b) Die Arbeit, die die Luft bei der Ausdehnung am Kolben verrichtet, wird infolge der Reibung an der Zylinderwand als Wärme wieder zugeführt.

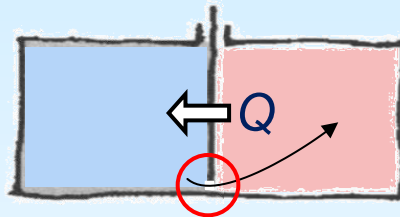


## 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum

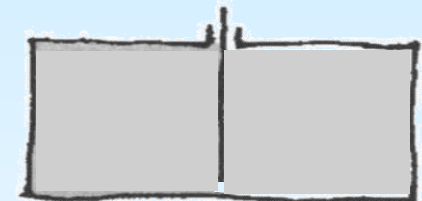
3c) Nur ein winziger Schlitz wird geöffnet, den die Luft wie beim Joule-Thomson-Effekt nur stark gedrosselt durchströmen kann.




Ausgangszustand:  
links: 10 bar, 300 K  
rechts: Vakuum



Zwischenzustand:  
links: 5 bar, 246 K  
rechts: 5 bar, 384 K



Endzustand:  
links: 5 bar, 300 K  
rechts: 5 bar, 300 K

Die Luft in der linken Kammer expandiert adiabatisch und kühlt sich dabei ab. Die aus dem Schlitz  nach rechts ausströmende Luft hat nahezu dieselbe Temp. wie die von links in den Schlitz einströmende (Joule-Thomson-Effekt).

Die zuvor in die rechte Kammer eingeströmte Luft wird durch die aus der linken nachströmende adiabatisch verdichtet und erwärmt sich dadurch.

Da sich rechts kalte und warme Luft vermischen, stellt sich dort eine mittlere Temperatur ein, die jedoch weit oberhalb der Ausgangstemperatur liegt!

Durch Wärmeleitung gleichen sich die Temperaturunterschiede langsam aus.

## 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum

3d) Bei einatomigen Gasen unterscheiden sich die Temperaturen im Zwischenzustand noch drastischer.

Schema des Versuchsaufbaus, wie er üblicherweise dargestellt wird.

Zahlenbeispiel aus einer Übungsaufgabe zur technischen Thermodynamik (Wärmekapazitäten von Druckbehältern und Armaturen vernachlässigt).

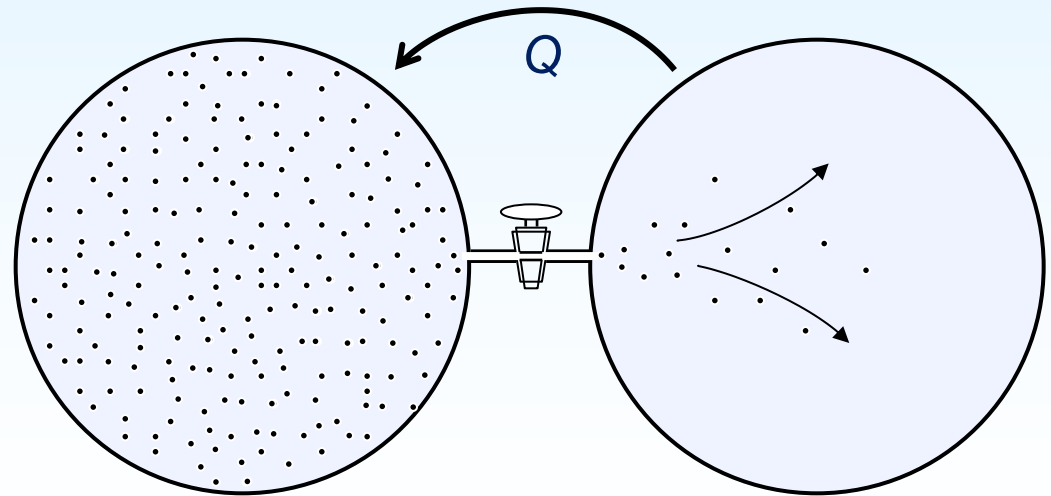
Durch Wärmeleitung gleichen sich die Temperaturunterschiede langsam aus.

Ausgangszustand:  
links: Helium 10 bar, 300 K  
rechts: Vakuum

Zwischenzustand:  
links: 5 bar, 227 K  
rechts: 5 bar, 441 K



„Backofenhitze“



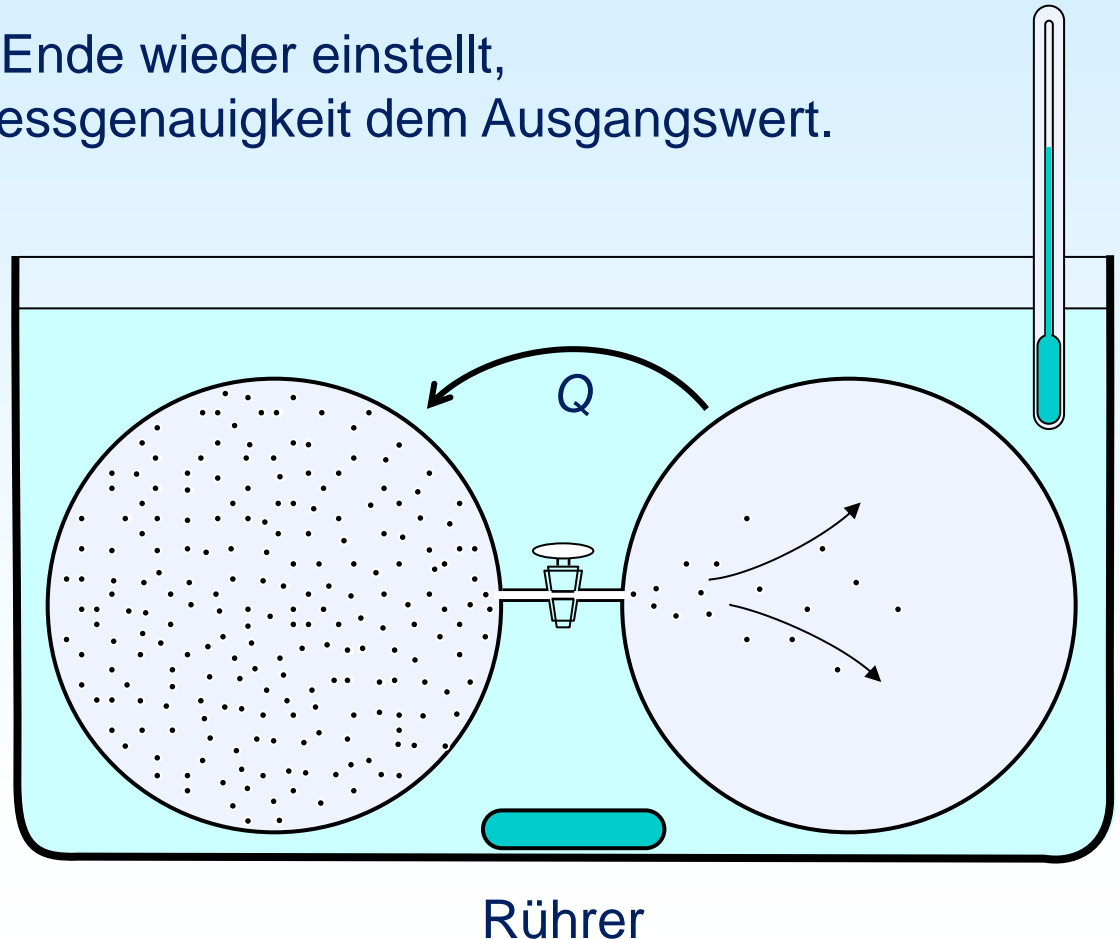
## 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum

Im realen Überströmversuch von Gay-Lussac wird die Wärme nicht zwischen den Druckbehältern ausgetauscht, sondern mit der Badflüssigkeit eines Kalorimeters, in die beide Behälter tauchen.

Die Temperatur, die sich am Ende wieder einstellt, entspricht im Rahmen der Messgenauigkeit dem Ausgangswert.

Ausgangszustand:  
links: Helium 10 bar, 300 K  
rechts: Vakuum

Endzustand:  
links: 5 bar, 300 K  
rechts: 5 bar, 300 K



## 2.2 Expansion eines Gases ins Vakuum

3e) Wenn die Trennwand birst oder schlagartig entfernt wird, dehnt sich das Gas explosionsartig aus. Die Bewegung ist turbulent.





Um die Zwischenzustände zu beschreiben, die dabei durchlaufen werden, sind zwei Zustandsvariablen nicht ausreichend.

Anfangs- und Endzustand sind einfach, aber die Zwischenschritte selbst kompliziert.



## Abschnitt 2.3 Entropie-Leitfähigkeit

„Wovon hängt die Stärke des Entropiestroms zwischen zwei Stellen A und B ab?“ fragt der KPK. ... Beim Punkt B kommt mehr Entropie an, als bei A abgeflossen ist, weil es sich beim Fließen um einen irreversiblen Prozess handelt, bei dem notwendigerweise Entropie entsteht.

Spätestens hier bricht die Analogie schon zusammen  und mit ihr auch das Konzept einer materialabhängigen Entropieleitfähigkeit. .

Der Schluss ist voreilig. Die Beschreibung als Strömung setzt nicht voraus,

- 1) dass die den Fließvorgang bestimmenden Parameter konstant sind,
- 2) dass die Menge dessen, was strömt, erhalten bleibt.

Da die Beschreibung unter diesen Voraussetzungen besonders einfach wird, werden sie in einführenden Darstellungen oder als erste Näherung gern benutzt.

Die Meinung, dass dies immer gilt oder gelten muss, ist zwar verständlich, aber reines Wunschdenken.

## 2.3 Entropie-Leitfähigkeit

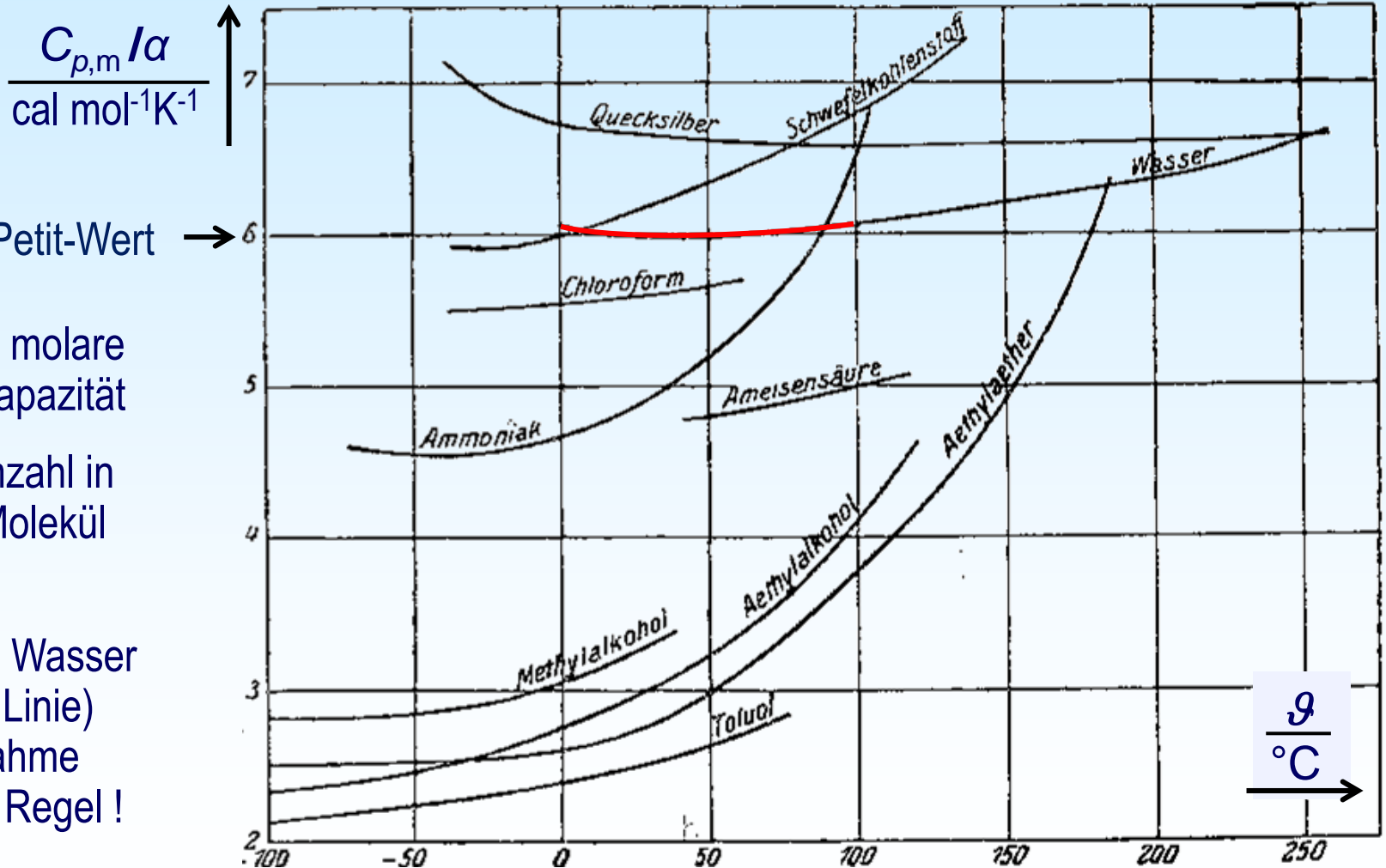
Von einer Konstanz der Wärmeleitfähigkeit kann keine Rede sein \*)

Wärmeleitfähigkeit in $W m^{-1}K^{-1}$							
Luft	-100	0	100	200	500	1000	°C
$p = 1 \text{ atm}$	0,016	0,024	0,031	0,039	0,057	0,077	
Wasser	0	50	100	150	200	250	°C
$p = p_{\text{satt}}$	0,55	0,65	0,68	0,68	0,66	0,61	
Quecksilber	20	200					°C
	8,7	12,2					
Eisen	0	200	500	1000			°C
	65	56	41	28			

\*) D'Ans-Lax: Taschenbuch für Chemiker und Physiker, 3. Aufl., Bd. I, Springer 1967

## 2.3 Entropie-Leitfähigkeit

Auch von einer Konstanz der Wärmekapazitäten kann keine Rede sein. \*)



Dulong-Petit-Wert  $\rightarrow$  6

$C_{p,m}$  molare Wärmekapazität

$\alpha$  Atomzahl in einem Molekül

flüssiges Wasser (die rote Linie) ist Ausnahme nicht die Regel!

\*) Eucken Wicke „Grundriss der Physikalischen Chemie“ 9. Aufl. Akad. Verlagsgesellsch. Leipzig 1958

## 2.3 Entropie-Leitfähigkeit

Bei chemischen Umsetzungen in Durchflussreaktoren ändern sich die Stoff-ströme stetig beim Durchtritt durch den Reaktor und damit auch zahlreiche Eigenschaften des fließenden Mediums.

Beispiel: Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren.

Bei einer adiabatischen Strömung einer zähen Flüssigkeit durch ein Rohr wird ständig Entropie erzeugt, die mit der Flüssigkeit konvektiv befördert wird.

Auch hierbei ändern sich die Materialeigenschaften — zum Teil dramatisch.

Die Zähigkeit des Wassers bei 0 und bei 100 °C unterscheidet um den Faktor 6 (600% und nicht 6%) und sie ändert sich ähnlich weiter für Wasser unter Druck bei Temperaturen weit darüber hinaus.

Es wäre fatal, wenn die Physik bereits an solchen einfachen Strömungsproblemen scheitern würde.

## 2.3 Entropie-Leitfähigkeit

Die üblichen linearen Ansätze und die darauf fußenden Differenzialgleichungen liefern naturgemäß nur Näherungslösungen.

Das gilt auch für die Wärmeleitungsgleichung:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\lambda}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2},$$

die hier in eindimensionaler Form ohne Wärmequellen angeschrieben ist.

Weder die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  noch die spezifische Wärmekapazität  $c$  sind temperaturunabhängig!

Umgekehrt existieren „einfache“ Lösungen der Differenzialgleichung nur, wenn der Parameter  $a = \lambda/(\rho c)$ , die sog. *Temperaturleitfähigkeit*, konstant ist.

Ob man  $a$  über  $\lambda$  und  $c$  oder die entsprechenden entropischen Größen, Entropieleitfähigkeit  $\lambda/T$  und spez. Entropiekapazität  $c/T$  berechnet, ändert nichts an der Gleichung, weil sich der Faktor  $T^{-1}$  herauskürzt.

## 2.3 Entropie-Leitfähigkeit



Wenn man den Vorgang als Entropie- statt als Energieströmung formuliert, wird man auch die Entropieerzeugung ansprechen.

Da jedoch der Beitrag mit kleiner werdenden Temperaturdifferenzen von zweiter Ordnung verschwindet, kann man ihn angesichts aller sonstigen Vereinfachungen bei Abschätzungen oft ohne ernsten Fehler übergehen.

Aber es ist auch im Rahmen des KPK ohne Bruch möglich, den Vorgang wie üblich als Energieströmung zu beschreiben und umgekehrt den begleitenden Entropiestrom bei Bedarf über die Gleichung  $P = T \cdot I_s$  zu berechnen.

Diese Vorgehensweise bietet sich an, wenn man die reine Entropieleitung in einem Temperaturgefälle betrachtet, das heißt, ohne dass Energie für andere Zwecke (mechanische, elektrische, chemische Änderungen usw.) abgezweigt wird, ein einfacher, aber wichtiger Fall, da er sehr häufig vorkommt.

## Schlussbemerkung zum Abschnitt 2



Der Versuch des KPK, neben der Temperatur allein die Entropie in den Mittelpunkt des Unterrichts über die Wärmelehre zu stellen,  \*) muss als physikalisch irreführend und immer wieder zu falschen Schlussfolgerungen führend angesehen werden. 

Er setzt zwei physikalisch unterschiedliche Größen gleich  und begeht damit einen elementaren Fehler.

Die an den Anfang gestellte, fundamental falsche Identifikation von Entropie und Wärme  führt sofort zu Widersprüchen. 

Wie die oben beschriebenen Beispiele zeigen, fallen die Autoren des KPK zum Teil selbst darauf herein, wie z.B. bei der Expansion ins Vakuum. 

Wie könnte ein solcher Zugang für Schüler einfacher verständlich sein? 

Während die physikalisch richtige Erklärung der Entropie fehlt,  dass sie nämlich über den Ablauf irreversibler Vorgänge entscheidet und angibt, wieviele Zustände ein System annehmen kann, führt sie der KPK unnötigerweise als Komplikation ein,  wo der Begriff der Wärmemenge ausreichen würde.

\*) Temperatur, Entropie, Energie werden gleichberechtigt diskutiert.

## **Was soll man von Leuten und Obleuten halten,**

- 1) die ein solches Gutachten verfassen,
- 2) die ein solches Gutachten unterschreiben,
- 3) die vorgetragene Einwände ignorieren,
- 4) die ein solches Gutachten voreilig veröffentlichen,
- 5) die sich der Diskussion ihrer Aussagen entziehen,
- 6) die den Ruf der Gesellschaft, deren Mitglieder sie sind, unbedacht aufs Spiel setzen?



**Danke  
fürs Zuhören!**