

624 Grenzen der Analogie

Die Fachmethoden aus der Kompetenz „Strukturen und Analogien“ ist an vielen Stellen in der Fachwissenschaft ein starkes Werkzeug. Im Physikunterricht kann man sich dieses Werkzeug an vielen Stellen nutzbar machen.

Man muss aber deutlich machen, dass jede Analogie mit Sicherheit ihre Grenze hat.

Ein starkes Werkzeug ist hierbei die Analogie im Rahmen des „Strom-Antriebs-Widerstands“-Konzepts. Hierbei kann man folgende Ströme in Analogie zueinander behandeln:

- Wasser-Strom (Flüssigkeitsströme – Hydrodynamik)
- Luft-Strom (Gasströme – Pneumatik)
- Elektrische-Strom (mit Einschränkung auf „Nicht-Supraleitung“ ☺)
- Entropie-Strom (zunächst ohne Entropieerzeugung bei der Strömung ☺)
- Impuls-Strom (mit Einschränkungen auf die Dynamik ☺)

In der Mittelstufe kann man das Werkzeug in einem ersten Zugang geschickt einsetzen, so dass die Schülerinnen und Schüler durch die „Querverbindungen“ ein tieferes Verständnis in den jeweiligen Teilthemen erwerben können. In höheren Klassenstufen – vor allem in der Kursstufe – kann aber auch die Grenzen der Analogie als Herausforderung für eine weitere Stufe des Verständnisses nutzen.

In der Unterrichtsidee 624a wurde die Analogie zwischen dem E-Lehre-Strom und dem Entropie-Strom von Schülerseite erstaunlich weit „getrieben“. Interessant an dieser Analogie ist die Komplexität auf der Seite der Wärmelehre, die man ohne eine konsequente Übertragung aus der E-Lehre in dieser Weise kaum erreichen kann.

ABER in allen Kursstufen (und auch in Lehrerfortbildungsveranstaltungen, bei denen diese Analogie diskutiert wurde) stolpert man über Details, die diese schöne Analogie explizit und augenfällig stören:

In der Unterrichtsidee 624 findet man:

| | | |
|------|---|--|
| [14] | elektr. Energiestromstärke / elektr. Leistung $P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \text{ mit } \Delta E = \Delta \varphi \cdot \Delta Q$ $P = \frac{\Delta \varphi \cdot \Delta Q}{\Delta t} \text{ oder } P = \Delta \varphi \cdot I_E$ | therm. Energiestromstärke $P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \text{ mit } \Delta E = T \cdot \Delta S$ $P = \frac{T \cdot \Delta S}{\Delta t} \text{ oder } P = T \cdot I_S$ |
|------|---|--|

Es geht also um die typische Schülerfrage: Warum steht bei der E-Lehre $\Delta\varphi$ - also die Potenzialdifferenz und bei der Wärmelehre T – also KEIN ΔT – sondern die „volle“ absolute Temperatur. Das könnte man so deuten, dass in der E-Lehre in der überall bekannten „Leistungsformel“ $P=U \cdot I$ zwingend das $\Delta\varphi$ vorkommen muss und in der ebenso bekannten „Wärmelehreformel“ $\Delta S = \Delta E/T$ die absolute Temperatur zwingend eingehen muss. Darüber hinaus schreibt man in der Wärmelehre auch noch zusätzlich ΔS und ΔE , so dass eine absolut störende „Nichtanalogie“ dieser beiden Formeln ins Auge springt.

Die folgende Teamarbeit soll helfen, diesen Widerspruch aufzuklären.

Arbeitsauftrag offen:

Betrachten Sie folgende zwei analoge Fälle ... und formulieren Sie diese Analogie aus:

| | Elektrizitäts-Lehre | Wärme-Lehre |
|------|---|--|
| [01] | Wir verwenden im Experiment eine elektrische Energiequelle (Batterie; Gleichspannung) und eine elektrische Energiesenke (Widerstand). | Wir befinden uns Weltraum. Die vorhandene thermische Energiequelle ist das Innere des Raumschiffes – das sich auf Zimmertemperatur befindet. Genauer betrachten wir das Fenster der Raumstation und diskutieren den Entropiestrom, der aus dem Inneren des Raumschiffes durch das Raumschiffenster ins Weltall fließt. Die thermische Energiesenke ist also die Umgebung des Raumschiffes. Wir vernachlässigen die Hintergrundstrahlung und jede andere Strahlung und gehen davon aus, dass die Raumschiffoberfläche auf dem absoluten Nullpunkt liegt. |

Arbeitsauftrag enger:

| | Elektrizitäts-Lehre | Wärme-Lehre |
|------|---|--|
| [01] | Wir verwenden im Experiment eine elektrische Energiequelle (Batterie) und eine elektrische Energiesenke (Widerstand). | Wir befinden uns Weltraum. Die vorhandene thermische Energiequelle ist das Innere des Raumschiffes – das sich auf Zimmertemperatur befindet. Genauer betrachten wir das Fenster der Raumstation und diskutieren den Entropiestrom, der aus dem Inneren des Raumschiffes durch das Raumschiffenster ins Weltall fließt. Die thermische Energiesenke ist also die Umgebung des Raumschiffes. Wir vernachlässigen die Hintergrundstrahlung und jede andere Strahlung und gehen davon aus, dass die Raumschiffoberfläche auf dem absoluten Nullpunkt liegt. |
| [02] | Die elektrische Energiequelle liefert eine Potentialdifferenz (Gleichspannung) von $\Delta\varphi$. | |
| [03] | Im E-Stromkreis fließt dann in der Zeit t die elektrische Ladung Q durch den Widerstand. ⁽¹⁾ ... natürlich kann man hier auch ΔQ sagen ... | |
| [04] | Die elektrische Stromstärke beträgt dann $I_E = \frac{Q}{t}$ | |
| [05] | Das elektrische Potenzial φ ist die „intensive Größe“ in der E-Lehre ... das elektrische Potenzial φ - genauer die Potentialdifferenz - liefert unter Umständen den Antrieb für einen elektrischen Strom I_E | |
| [06] | Wir müssen aber beachten, dass Potenzialangaben φ nur sinnvoll sind, wenn man vorher den Potentialnullpunkt φ_0 festlegt. | |
| [07] | Der Antrieb für diesen elektrischen Strom I_E ist die Potentialdifferenz $\Delta\varphi$ zwischen den beiden Enden der elektrischen Energiequelle. Das Δ bedeutet hierbei $\Delta\varphi = \varphi_{\text{Pluspol}} - \varphi_{\text{Minuspol}}$; diese Potentialdifferenz in diesem Sinne wird auch „elektrische Spannung“ U bezeichnet. | |
| [08] | Wenn wir den Potentialnullpunkt ($\varphi_0=0V$) in den Minuspol der elektrischen Energiequelle legen, dann gilt: $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$ und damit $\Delta\varphi = \varphi$ und wir können – bei dieser φ_0 -Definition das Δ -Symbol weglassen. | |
| [09] | Zusammen mit der elektrischen Ladung fließt elektrische Energie von der elektrischen Energiequelle (Batterie) zur elektrischen Energiesenke (Widerstand) Dieser E-Energiestrom hat keinen „Antrieb“ ... er fließt zusammen mit der elektrischen Ladung – ABER bitte beachten: Auf einem anderen Weg – und mit einer anderen Geschwindigkeit. | |

¹ An einigen Stellen wird hier absichtlich auf das Δ verzichtet ... denn dieses Zeichen kann an verschiedenen Stellen von den Autoren unterschiedlich gedeutet werden ... so z.B. als Differenz zwischen zwei Größen ... oder im Sinne einer „Portion“ ... oder im Sinne einer „kleinen Menge“ ... oder als didaktische Reduktion des „Differenzzeichens“ d ... Damit hier keine „Verwirrung“ auftritt, wird auf das Δ verzichtet und die notwendige Information „verbal“ ausgeschrieben. WENN das Δ verwendet wird, dann soll es explizit vorher erklärt – bzw. definiert - werden ...

| | | |
|------|---|--|
| [10] | <p>Wenn in der Zeit t die Ladung Q durch den Widerstand fließt, dann fließt über das E-M-Feld von der Energiequelle zur Energiesenke die Energie:</p> $E = \Delta\varphi \cdot Q \text{ ... oder mit } \varphi_0\text{-Def: } E = \varphi \cdot Q$ <p>... oder man schreibt für die Ladung, die in der Zeit Δt durch das Fenster fließt ΔQ, dann gilt:</p> $E = \varphi \cdot \Delta Q$ | |
| [11] | <p>Für die elektrische Energiestromstärke (elektrische Leistung) P gilt dann:</p> $P = \Delta\varphi \cdot \frac{Q}{t} \text{ oder mit der obigen } \varphi_0\text{-Definition}$ <p>haben wir:</p> $P = \varphi \cdot I_E$ | |

Lösungshinweise

Wir diskutieren folgende „konkrete Analogie“:

| | Elektrizitäts-Lehre | Wärme-Lehre |
|------|---|---|
| [12] | Wir verwenden im Experiment eine elektrische Energiequelle (Batterie; Gleichspannung) und eine elektrische Energiesenke (Widerstand). | Wir befinden uns Weltraum. Die vorhandene thermische Energiequelle ist das Innere des Raumschiffes – das sich auf Zimmertemperatur befindet. Genauer betrachten wir das Fenster der Raumstation und diskutieren den Entropiestrom, der aus dem Inneren des Raumschiffes durch das Raumschiffenfer ins Weltall fließt. Die thermische Energiesenke ist also die Umgebung des Raumschiffes. Wir vernachlässigen die Hintergrundstrahlung und jede andere Strahlung und gehen davon aus, dass die Raumschiffoberfläche auf dem absoluten Nullpunkt liegt. |
| [13] | Die elektrische Energiequelle liefert eine Potentialdifferenz (Gleichspannung) von $\Delta\varphi$. | Die thermische Energiequelle liefert eine Temperaturdifferenz von ΔT – Zimmertemperatur im Inneren – absolute Temperatur im Weltall. |
| [14] | Im E-Stromkreis fließt dann in der Zeit t die elektrische Ladung Q durch den Widerstand. ⁽²⁾ ... natürlich kann man hier auch ΔQ sagen ... | Im W-Stromkreis fließt dann in der Zeit t die Entropie S durch das Fenster ... natürlich kann man hier auch ΔS sagen ... |
| [15] | Die elektrische Stromstärke beträgt dann $I_E = \frac{Q}{t}$ | Die Entropie-Stromstärke beträgt dann $I_S = \frac{S}{t}$ |
| [16] | Das elektrische Potenzial φ ist die „intensive Größe“ in der E-Lehre ... das elektrische Potenzial φ - genauer die Potentialdifferenz - liefert unter Umständen den Antrieb für einen elektrischen Strom I_E | Die Temperatur T ist die „intensive Größe“ in der W-Lehre ... die Temperatur – genauer Temperaturdifferenz liefert unter Umständen den Antrieb für einen Entropie-Strom I_S |
| [17] | Wir müssen aber beachten, dass Potenzialangaben φ nur sinnvoll sind, wenn man vorher den Potentialnullpunkt φ_0 festlegt. | In der W-Lehre gibt es keinen willkürlichen Temperaturnullpunkt, den man beliebig wählen kann. Der Temperaturnullpunkt – die „Absolute Temperatur“ Null Kelvin ist von Natur aus festgelegt. |
| [18] | Der Antrieb für diesen elektrischen Strom I_E ist die Potentialdifferenz $\Delta\varphi$ zwischen den beiden Enden der elektrischen Energiequelle. Das Δ bedeutet hierbei $\Delta\varphi = \varphi_{\text{Pluspol}} - \varphi_{\text{Minuspol}}$; diese Potentialdifferenz in diesem Sinne wird auch „elektrische Spannung“ U bezeichnet. | Der Antrieb für diesen Entropie-Strom I_S ist die Temperaturdifferenz ΔT zwischen der Innen- und Außenseite des Raumschiff-Fensters. Das Δ bedeutet hierbei $\Delta T = T_{\text{innen}} - T_{\text{außen}}$ |
| [19] | Wenn wir den Potentialnullpunkt ($\varphi_0=0V$) in den Minuspol der elektrischen Energiequelle legen, dann gilt: $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$ und damit $\Delta\varphi = \varphi$ und wir können – bei dieser φ_0 -Definition das Δ -Symbol weglassen. | In unserem Experiment liegt die Außenseite des Fensters auf dem absoluten Temperaturnullpunkt – deshalb gilt: $\Delta T = T$ und wir können auf das Δ -Symbol verzichten. |
| [20] | Zusammen mit der elektrischen Ladung fließt elektrische Energie von der elektrischen Energiequelle (Batterie) zur elektrischen Energiesenke (Widerstand) Dieser E-Energiestrom hat keinen „Antrieb“ ... er fließt zusammen mit der elektrischen Ladung – ABER bitte beachten: Auf einem anderen Weg – und | Zusammen mit der Entropie fließt thermische Energie von der Innenseite des Fensters durch das Fenster in Weltall. Dieser thermische Energiestrom hat keinen „Antrieb“ ... er fließt zusammen mit der Entropie. |

² An einigen Stellen wird hier absichtlich auf das Δ verzichtet ... denn dieses Zeichen kann an verschiedenen Stellen von den Autoren unterschiedlich gedeutet werden ... so z.B. als Differenz zwischen zwei Größen ... oder im Sinne einer „Portion“ ... oder im Sinne einer „kleinen Menge“ ... oder als didaktische Reduktion des „Differenzialzeichens“ d ... Damit hier keine „Verwirrung“ auftritt, wird auf das Δ verzichtet und die notwendige Information „verbal“ ausgeschrieben. WENN das Δ verwendet wird, dann soll es explizit vorher erklärt – bzw. definiert – werden ...

| | | |
|------|--|---|
| | mit einer anderen Geschwindigkeit. | |
| [21] | <p>Wenn in der Zeit t die Ladung Q durch den Widerstand fließt, dann fließt über das E-M-Feld von der Energiequelle zur Energiesenke die Energie:</p> $E = \Delta\varphi \cdot Q \text{ ... oder mit } \varphi_0\text{-Def: } E = \varphi \cdot Q$ <p>... oder man schreibt für die Ladung, die in der Zeit Δt durch das Fenster fließt ΔQ und für die Energie ΔE, dann gilt:</p> $\Delta E = \varphi \cdot \Delta Q$ | <p>Wenn in der Zeit t die Entropie S durch das Fenster fließt, dann fließt von Innen nach Außen zusammen mit der Entropie die Energie:</p> $E = T \cdot S$ <p>... oder man schreibt für die Entropie, die in der Zeit Δt durch das Fenster fließt ΔS und für die Energie ΔE dann gilt:</p> $\Delta E = T \cdot \Delta S$ |
| [22] | <p>Für die elektrische Energiestromstärke (elektrische Leistung) P gilt dann:</p> $P = \Delta\varphi \cdot \frac{Q}{t}$ <p>oder mit der obigen φ_0-Definition haben wir:</p> $P = \varphi \cdot I_E$ | <p>Für die thermische Energiestromstärke (thermische Leistung) P gilt dann:</p> $P = T \cdot \frac{S}{t}$ <p>oder</p> $P = T \cdot I_S$ |

eine „offensichtliche Analogie“

FAZIT:

Der Unterschied in der Δ -Formulierung (ohne diese φ_0 -Definition von oben) im Rahmen dieser Analogie ergibt sich aus verschiedenen Gründen:

- o Der Potenzialnullpunkt in der E-Lehre ist willkürlich festlegbar. Der Temperaturnullpunkt ist von Natur aus festgelegt und unterliegt nicht unserer Willkür.
- o UND verschiedene Autoren in verschiedene Skripte verwenden das Δ -Symbol in ganz unterschiedlicher Bedeutung ⁽³⁾

Wenn wir aber nur dieses E-Lehre-Experiment betrachten und so tun, als ob es in unserem Universum nur diese elektrische Energiequelle gibt und der Potenzialnullpunkt zwangsläufig immer am Minuspol liegt (wenn wir also die Absolut-Verhältnisse in der „Temperaturwelt“ für die E-Lehre „nachstellen“), dann ergibt sich eine „vollständige Analogie“ bis hin zur Schreibweise.

³ An einigen Stellen wird hier absichtlich auf das Δ verzichtet ... denn dieses Zeichen kann an verschiedenen Stellen von den Autoren unterschiedlich gedeutet werden ... so z.B. als Differenz zwischen zwei Größen ... oder im Sinne einer „Portion“ ... oder im Sinne einer „kleinen Menge“ ... oder als didaktische Reduktion des „Differenzialzeichens“ d ... Damit hier keine „Verwirrung“ auftritt, wird auf das Δ verzichtet und die notwendige Information „verbal“ ausgeschrieben. WENN das Δ verwendet wird, dann soll es explizit vorher erklärt – bzw. definiert – werden ...