

Unterrichtseinheit Energieumwandlungsketten

... differenzierter Physikunterricht ...

F. Kranzinger

1 Vorbemerkung

Die in den Physikbildungsstandards von Baden-Württemberg formulierten Ziele sind nicht neu – man findet sie in ähnlicher Form schon in den Vorworten der bisherigen Bildungspläne. Neu ist die zentrale Stelle und die Verbindlichkeit, mit der diese Ziele eingefordert werden.

Wohl die Mehrzahl der Physiklehrkräfte steht diesen Forderungen sehr positiv gegenüber – *aber* sie fragen sich mit Recht, wie müssen wir den Physikunterricht ändern, um diese Ziele zu erreichen?

Patentrezepte gibt es nicht – oder man sollte sie mit großer Skepsis betrachten. Auf der anderen Seite sollte man aber offen gegenüber neuen Wegen sein. Solch ein „etwas anderer Weg“ wird in diesem Artikel beschrieben.

2 Voraussetzungen

Die Schülerinnen und Schüler kennen unterschiedliche Formen der Unterrichtsorganisation:

- Fragend-erarbeitender Unterricht ... in Form eines schülerzentrierter Dialogs zwischen den Schülerinnen und Schülern und dem Physiklehrer ... eine Unterrichtsform, die *auch* vorkommt.
- Lehrervortrag ... z. B. zur Einführung eines neuen Themas ...
- Teamarbeit in stabilen Gruppen (so genannten Stammgruppen) das ganze Jahr über
- Gruppenpuzzle ... hierbei sind die obigen stabilen Gruppen die so genannten Stammgruppen im Gruppenpuzzle
- Diskussionsketten, Wettbewerbe, Themenfächer mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad.

In den zuvor abgelaufenen Unterrichtseinheiten wurden folgende Punkte/Aspekte/Themen behandelt: Nach der qualitativen Einführung des Impulses in der Klassenstufe 7/8 wurde der Impuls quantitativ in der Klassenstufe 9/10 gefasst und der Impulserhaltungssatz behandelt. Der Zusammenhang zwischen der Kraft F und der Impulsänderung pro Zeiteinheit – also die *Newton'sche* Vorstellung – wird eingeführt.

Didaktische Bemerkungen

Neben dem Impulserhaltungssatz spielt der *Energieerhaltungssatz* eine entscheidende Rolle. Die Intuition „Ener-

Im Physik-Bildungsplan, der mit dem Schuljahr 2007/2008 in Klasse 7 in Baden-Württemberg „flächendeckend startet“, werden neben Fachwissen mit gleichem Schwerpunkt auch Fachmethoden und eine Änderung der Fachdidaktik eingefordert: „*Am Anfang eines Physikverständnisses steht die Auseinandersetzung mit den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler, die sie in den Unterricht mitbringen. Phänomene führen zu physikalischen Fragestellungen.*“

Dass nur in einem hinreichend „differenzierten Unterricht“ die Schülerinnen und Schüler optimal gefördert werden können, sollte eine Selbstverständlichkeit sein. In diesem differenzierten Unterricht spielen „Handlungsorientierung und entdeckendes Lernen“ eine wesentliche Rolle, sodass jede Schülerin und jeder Schüler eine Chance hat, auf der eigenen Stufe des Könnens zu arbeiten. Ein weiterer Schwerpunkt ist der Umgang mit Fehlern; sie werden in der Lernphase zwangsläufig gemacht und gehören zum Lernprozess; Fehler können als Lernchance genutzt werden.

Kasten 1: Auszüge aus dem Bildungsplan Physik Baden-Württemberg

gierhaltung“ wird durch einprägsame Experimente auf Schülerseite gestärkt.²⁾

Wichtig ist hierbei, dass man die Energie nicht definieren oder aus anderen physikalischen Größen allgemein ableiten kann. Die Energie fließt in einem gewissen Sinne immer mit einer anderen physikalischen Größe mit. Formulierungen der Art: „Energie ist die Arbeitsfähigkeit“ und damit verbundene Zirkelschlüsse – die vor allem bei begabten Physikschülerinnen und Schülern relativ schnell zu einem Lernhindernis mutieren – werden möglichst vermieden.

²⁾ Eine Ergänzung zum hier beschriebenen Weg – oder eine anschließende Lernzielkontrolle – ist die folgende Experimentieranordnung, in der eine gespannte Feder (Spannungsenergie) ein Schwungrad in Bewegung (Rotationsenergie) setzt, während sich die Feder entspannt. Das rotierende Schwungrad hebt einen Körper vom Boden auf (Lageenergie), während die Rotation zum Stillstand kommt. Der angehobene Körper (genauer: die Schwerkraft auf den angehobenen Körper) setzt das Schwungrad wieder in Bewegung, während er zu Boden sinkt. Das rotierende Schwungrad spannt nun die Feder in einem „Darda-Auto“, während es wieder zum Stillstand kommt. Die gespannte Feder im „Dar-da-Auto“ beschleunigt das „Darda-Auto“ (Bewegungsenergie), während sich die Feder im Auto entspannt ... usw. usw.

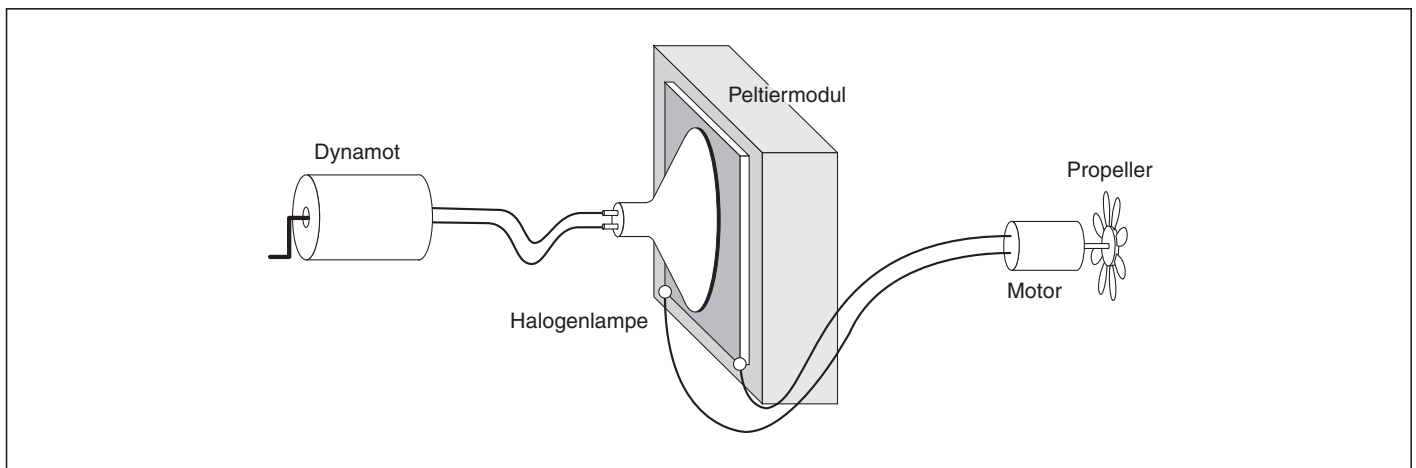
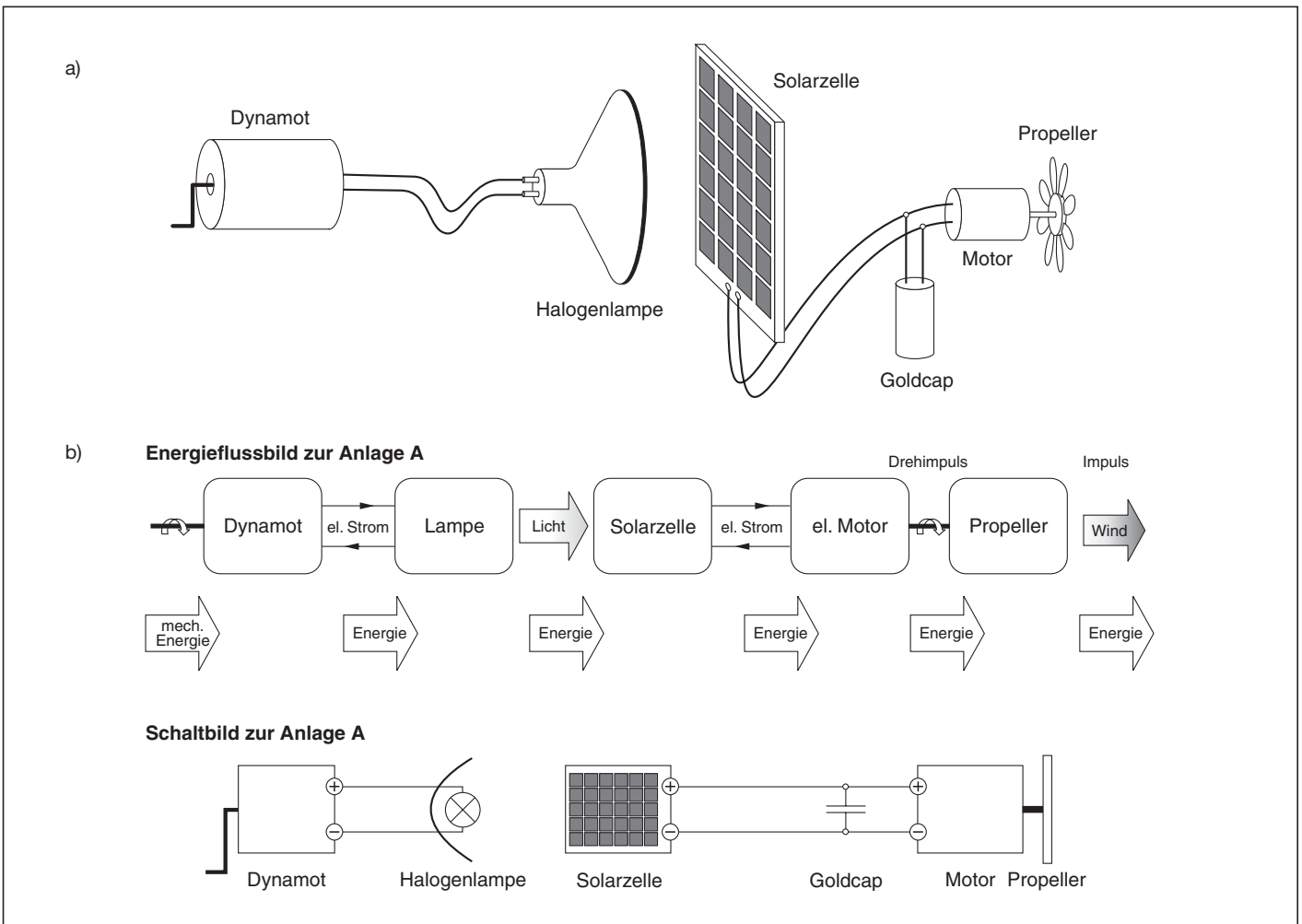


Abb. 1 (oben): Versuchsaufbau (a) zur Variante Lampe – Solarzelle (A) mit Energieflussbild und Schaltbild (b)

Abb. 2 (unten): Versuchsaufbau zur Variante Lampe – Peltiermodul (B)

3 Ziel des folgenden Unterrichts

Ein experimenteller Aufbau zeigt eine Kette an Energieumwandlungen von der mechanischen Energie über „andere Energieformen“ zurück zur mechanischen Energie.

Didaktische Bemerkungen

Wesentlich bei den folgenden Varianten ist der Anfang der Kette – der Dynamo. Die Schülerinnen und Schüler

spüren beim Drehen der Kurbel, dass sie eine erhebliche Kraft „längs eines Weges“ – dass sie also mechanische Energie ($E = F \cdot s$) – aufbringen müssen. Diese Energie, die sie in „Handarbeit“ in die Anlage einspeisen, läuft über verschiedene andere Energieformen, die an diesen Stellen in der Anlage zu beobachten sind (z.B. wenn die Halogenlampe aufleuchtet; wenn ein Voltmeter die Spannung an der Solarzelle misst). Und am Ende der Umwandlungskette sehen sie, wie ein Teil der eingespeisten mechanischen Energie wieder als mechanische Energie zum Vor-

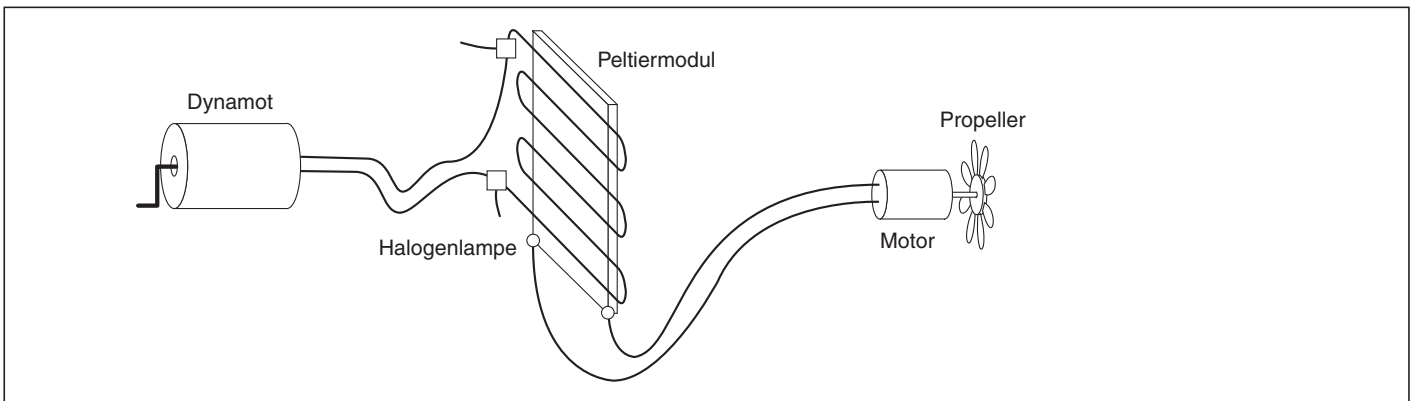


Abb. 3: Versuchsaufbau zur Variante Heizspirale – Peltiermodul (C)

schein kommt und der Propeller Wind erzeugt. Das „spürbare Erleben“ – z. B. dass man sich mehr anstrengen muss, wenn man mehr Energie einspeisen will, damit sich der Propeller am anderen Ende schneller dreht – ist ein wesentlicher Aspekt, damit die zunächst nur intuitiv vorliegende Vorstellung „Energie“ und „Energieerhaltung“ in das bestehende Wissen „nachhaltig“ eingefügt wird.

Variante Lampe – Solarzelle (A)

Bei dieser Variante wird an einen Dynamo eine handelsübliche Halogenlampe angeschlossen (20 W – besser 50 W).

Abb. 4: Das Peltiermodul wird einseitig mit einem Konstantendraht geheizt. Die Unterseite ist im thermischen Kontakt zu einem Metallblock.

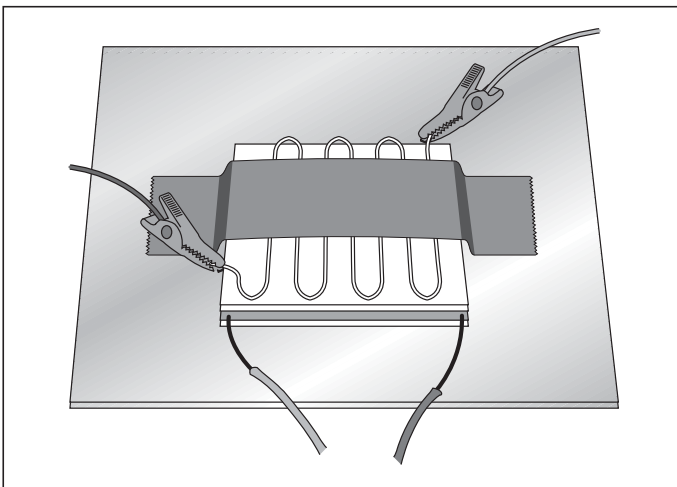
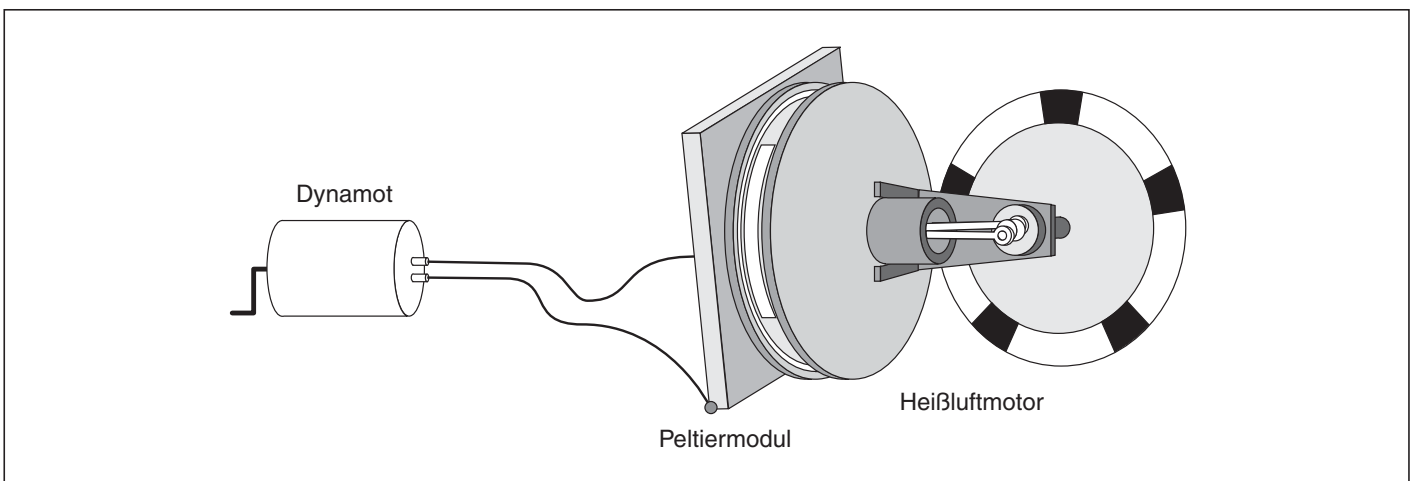


Abb. 5: Versuchsaufbau zur Variante Dynamo – Heißluftmotor (D)



Das Licht der Halogenlampe fällt auf eine Solarzelle³⁾, an deren Anschlüsse ein Elektromotor parallel zu einem Gold-Cap-Kondensator (10 F, 2,3 V_{max}) angeschlossen ist (siehe Abb. 1).

Variante Lampe – Peltiermodul (B)

Bei dieser Variante (siehe Abb. 2) wird an einen Dynamo ebenfalls eine handelsübliche Halogenlampe angeschlossen (Wichtig: Hier muss man min. eine 50 W-Halogenlampe verwenden, das Peltiermodul mit Wärmeleitpaste auf die Halogenlampe „kleben“ und die andere Fläche des Peltiermoduls mit einem Lüfter oder einem hinreichend großen Alublock auf Umgebungstemperatur halten! Weiterhin muss man lange und kräftig genug kurbeln!). Das Licht der Halogenlampe fällt in dieser Variante auf ein Peltiermodul, das die elektrische Energie für einen Elektromotor liefert, der einen Propeller trägt. Auch in dieser Variante läuft der Propeller nach, obwohl *kein* Gold Cap-Kondensator als Energiespeicher eingeschaltet ist. Eventuell fällt auf, dass das Peltiermodul in dieser Variante mit schwarzer Farbe belegt wird.

Variante Heizspirale – Peltiermodul (C)

Bei dieser Variante wird an einen Dynamo eine aus Konstantendraht (Länge: 30 cm, Durchmesser 0,5 mm) selbst gebastelte Heizspirale angeschlossen, die mit Klebeband auf dem Peltiermodul befestigt wird (siehe Abb. 4). Das

³⁾ Achtung: In diesem Experiment ist ein kleiner Elektromotor eingesetzt, der etwa bei 0,35 V und 14 mA anläuft. Die Solarzelle wird passend zum Motor und zur Beleuchtungsfläche der Halogenlampe gewählt.

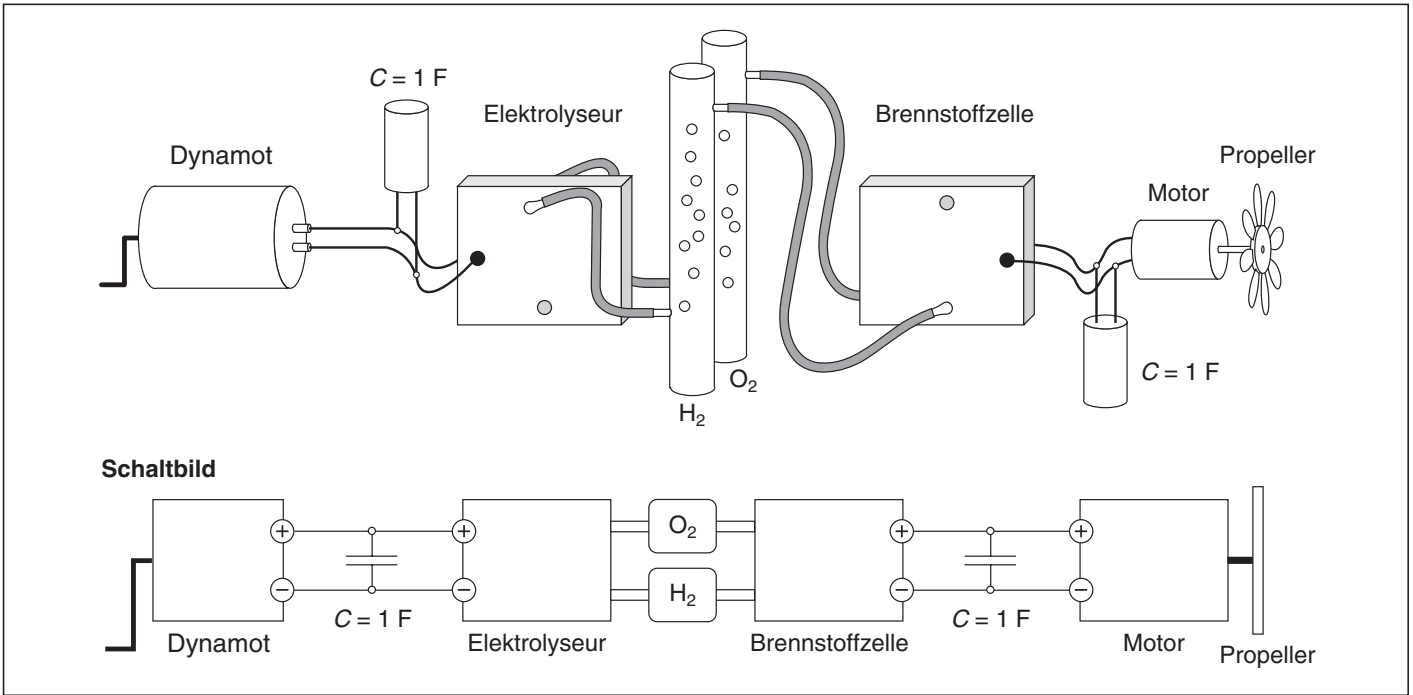


Abb. 6: Versuchsaufbau zur Variante Dynamot – Wasserstoff (E)

Peltiermodul liefert die elektrische Energie an einen Elektromotor, der einen Propeller trägt. Auch in dieser Variante läuft der Propeller nach, obwohl *kein* Gold-Cap-Kondensator als Energiespeicher eingeschaltet ist.

Variante Dynamot – Heißluftmotor⁴⁾ (D)

Eine interessante Variante bildet die Energiekette aus einem Dynamot, der ein Peltiermodul (bzw. mehrere Pel-

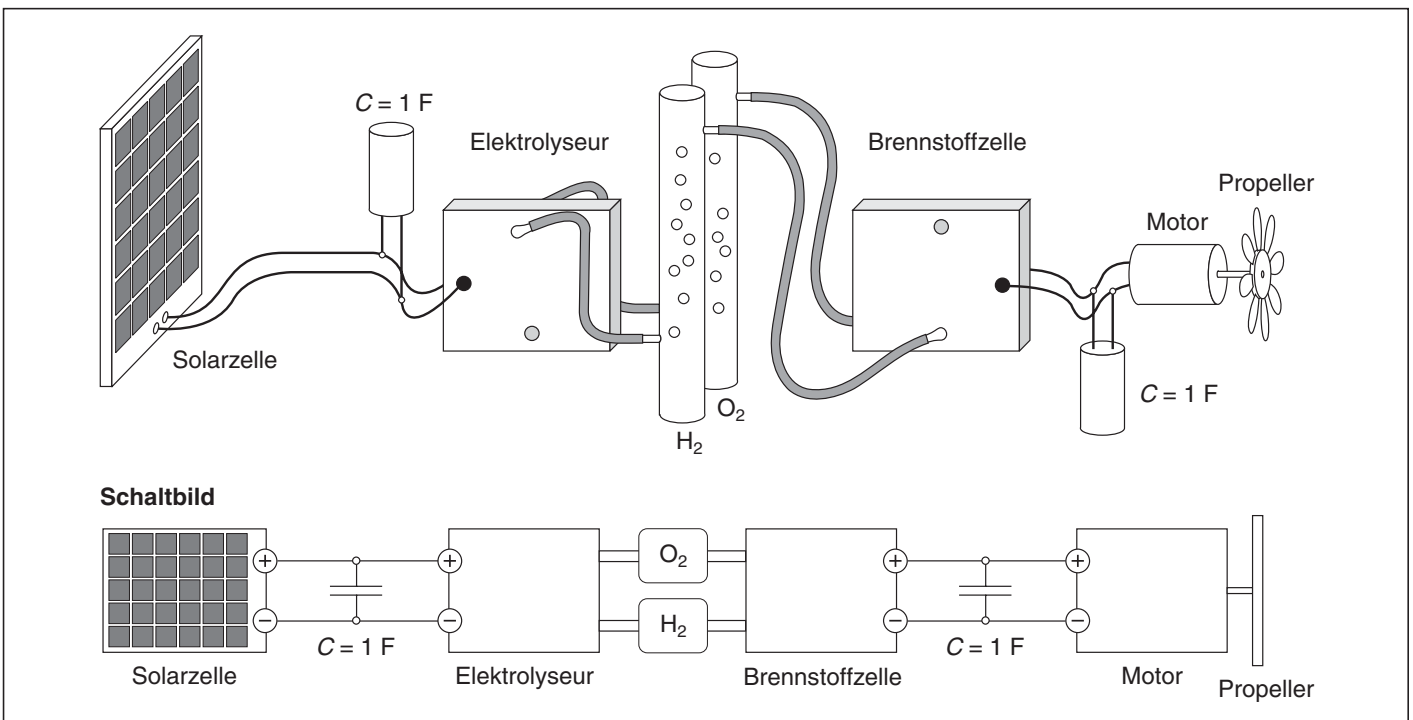
tiermodule) mit elektrischer Energie versorgt, die wiederum einen Heißluftmotor mit thermischer Energie versorgen.

Variante vom Dynamot zum Wasserstoff (E)

Ein Dynamot ist an einen so genannten Elektrolyseur angeschlossen (siehe Abb. 6). Parallel zum Elektrolyseur sitzt ein Goldcap (1 F). Der Elektrolyseur erzeugt Wasserstoff- und Sauerstoffgas. Die beiden Schläuche des Elektroly-

⁴⁾ Unter <http://www.schager-hwm.de/> findet man: Die „SCHAGER Handwärme-Motore“ sind Stirlingmotore mit modifizierter Ringbom-Steuerung, die speziell für den Betrieb auf der Hand entwickelt wurden. Sie können schon eine sehr geringe Temperaturdifferenz, wie sie zwischen der Hand und der Umgebungsluft üblicherweise vorhanden ist, in mechanische Drehbewegung umsetzen. Ein Temperaturunterschied von 3 K am Verdrängungszyylinder reicht bereits zu einer einwandfreien Funktion aus. Bei ca. 6 K bis 10 K ergibt sich ihr bester Lauf, wobei sie immerhin bis zu 250 bzw. 450 Umdrehungen pro Minute erzielen.

Abb. 7: Versuchsaufbau zur Variante Solarzelle – Wasserstoff (F)



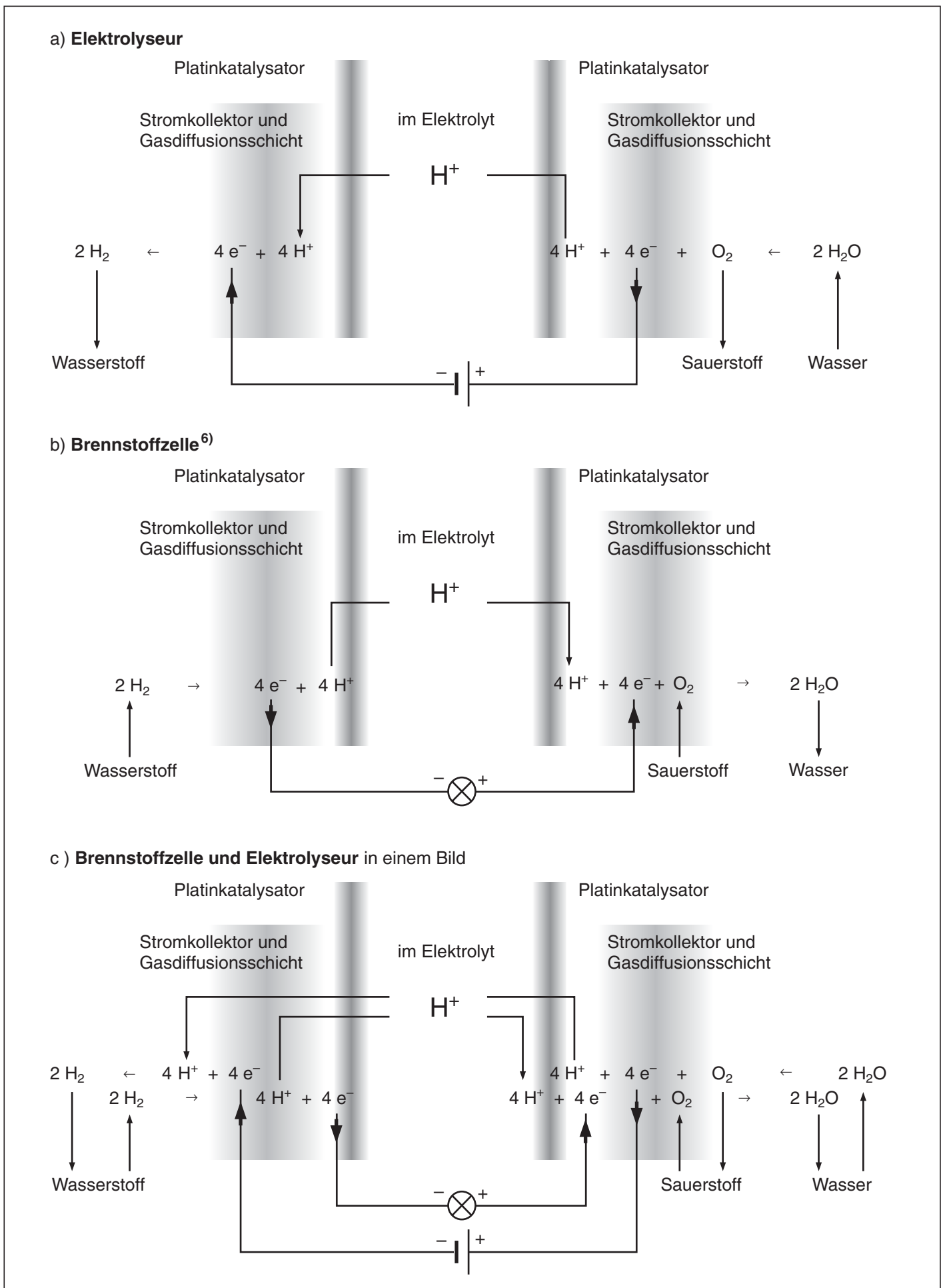


Abb. 8: Stofftransporte und Transportwege in einem Elektrolyseur (a), in einer Brennstoffzelle (b) und zusammengefasst in (c).

seurs führen zu einer Brennstoffzelle. Am anderen Ende der Brennstoffzelle ist ein Elektromotor angeschlossen, der einen Propeller antreibt. Parallel zum Elektromotor liegt ein weiterer Goldcap.

Variante von der Solarzelle zum Wasserstoff (F)

Der Dynamot in der Anlage (E) wird durch eine Solarzelle hinreichender Fläche ersetzt, die am so genannten Elektrolyseur angeschlossen ist. Bei hinreichend intensiver Sonneneinstrahlung funktioniert die Anlage auch in dieser Variante. Parallel zum Elektrolyseur sitzt ein Goldcap (1 F). Der Elektrolyseur erzeugt Wasserstoff- und Sauerstoff-Gas. Die beiden Schläuche des Elektrolyseurs führen zu einer Brennstoffzelle. Am anderen Ende der Brennstoffzelle ist ein Elektromotor angeschlossen, der einen Propeller antreibt (Abb. 7). Parallel zum Elektromotor liegt ein weiterer Goldcap. Wesentlich ist in diesem Zusammen, dass man die von uns verwendete Elektrolyseur-Zelle als Brennstoffe-Zelle und umgekehrt einsetzen kann (siehe auch Abb. 8).

4 Unterricht

1. Schritt – Beobachtung ...

Die Schülerinnen und Schüler dürfen die Anlage [A] bis [F] in Gang setzen. In diesem Unterrichtsschritt sollen sie genau beobachten, was in den Anlage [A] bis [F] passiert. Falls in der Physiksammlung nicht genügend Dynamot usw. zur Verfügung stehen, werden die Module, aus denen die Anlage [A] bis [F] bestehen, nacheinander aufgebaut.

- So z.B. können sie bei den „Dynamot-Varianten“ spüren, dass sich die Kurbel des Dynamot nur sehr mühsam drehen lässt, und
- dass z.B. bei hinreichendem „Einsatz“ die Halogenlampe aufleuchtet und Licht auf die Solarzelle fällt und zunächst nichts passiert. Nach einer gewissen Zeit - das ist u. a. wesentlich - setzt sich der Propeller, der auf der Motorachse sitzt, in Bewegung.
- Oder dass z.B. die Heizspirale warm wird, wenn man kräftig genug kurbelt und sich dann nach einiger Zeit der Propeller in Bewegung setzt,
- *und* man wundert sich, dass der Propeller des Elektromotor am Ende der Kette eine ganze Zeitlang weiter läuft, auch wenn man die Solarzelle abschattet oder mit dem Kurbeln aufhört.

⁶⁾ „... Im Falle der Wasserstoff-Brennstoffzelle laufen folgende chemische Reaktionen ab: $2 \text{H}_2 \rightarrow 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$ (an der Anode) und $\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ (an der Kathode). Diese Reaktion läuft normalerweise explosionsartig ab, wenn sie „gezündet“ wird (Knallgasreaktion). In der Brennstoffzelle wird diese Reaktion gebändigt, sie läuft kontrolliert und bei Raumtemperatur ab. Wasserstoff reagiert hier nicht direkt mit dem Luftsauerstoff, sondern gibt seine Elektronen an der Platinanode ab, die als Katalysator wirkt. Die zurückbleibende H^+ -Ionen diffundieren durch die Polymermembran (sie ist nur durchlässig für H^+ -Ionen, also semipermeabel). Die im äußeren Stromkreis zur Kathode fließenden Leitungselektronen neutralisieren die H^+ -Ionen zu H-Radikalen (wiederum über Vermittlung der Katalysatorwirkung des Platins), die mit dem Luftsauerstoff zu H_2O reagieren, welches abgeführt wird. Die Betriebsspannung einer einfachen Zelle liegt bei 0,3 bis 0,9 Volt ...“

... mit anderen Worten: An der linken und rechten Elektrode werden Wasserstoff- (H_2) und Sauerstoffmoleküle (O_2) mit Hilfe des Katalysators jeweils in „Einzelatome“ zerlegt. Wasserstoffatome geben Elektronen an die rechte metallische Elektrode ab, während das Proton durch den Elektrolyten („Protonenventil“ - lässt nur Protonen durch!) zur rechten Elektrode wandern kann ... an der rechten Elektrode entsteht aus Protonen, Elektronen und Sauerstoffatomen ein Wassermolekül.

aus H. Krenn: Die Physik von Kontakten, PdN-PhiS. 3/54. Jg. 2005.

Die Physiklehrkraft benennt die einzelnen Geräte, ohne deren Funktionsweise zu erläutern. Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, das Blockschaltbild dieser Anlage mit den Geräte-Bezeichnungen in das Heft zu notieren.

2. Schritt – Hausarbeit ...

Die Schülerinnen und Schüler sollen in einem festgelegten Zeitraum Recherchen über die Funktionsweise der Geräteteile in dieser Experimentieranlage durchführen. Sie wissen, dass sie in dem kommenden Gruppenpuzzle als Experten eines der Geräteteile näher beschreiben und deren Funktionsweise in dem entsprechenden Expertenteam klären müssen.

3. Schritt – Gruppenpuzzle → Expertenrunde“ ...

Die Schülerinnen und Schüler der Klasse arbeiten schon das ganze Jahr über in festen Teams (4 Schülerinnen und Schüler einer Bankreihe bilden ein festes Team). Diese festen Teams sind die Stammgruppen in diesem Gruppenpuzzle.

Jede Stammgruppe entscheidet sich für eine der vorliegenden sechs Anlagen (A, B, C, D, E, F), erstellt von dieser Anlage ein Energieflussbild und beschreibt die gesamte Anlage in ihrer Funktionsweise. Um diese Aufgabe zu erfüllen, entsendet die Stammgruppe ihre Experten in die Expertengruppen (Dynamot, Halogenlampe, Peltiermodul, Solarzelle, Heißluftmotor, Elektromotor, Heizspirale, Propeller, Gold-Cap), deren Wissen sie für die Beschreibung der gewählten Anlage benötigt. Wenn sich ein Team (Stammgruppe) z. B. entschließt, die Anlage C zu bearbeiten, dann ist es vernünftig, wenn sie Teammitglieder in folgende Expertengruppen entsendet: Dynamot, Halogenlampe, Solarzelle, Elektromotor, Propeller, Gold Cap.

Didaktische Bemerkungen

Da die Teams aber in der beschriebenen Klassenzusammensetzung (32 Schülerinnen und Schüler | vier in einer Bankreihe bilden eine Stammgruppe) nur 4 Mitglieder haben, müssen sie entscheiden, welche Experten sie in welche Expertengruppe schicken wollen. Und die Teams müssen aushandeln, welche Expertengruppen überhaupt entstehen.

Dieses Gruppenpuzzle wurde in dieser Weise konstruiert, um den „Wissenshandel“ ähnlich dem „realen Leben“ zu gestalten. Es muss nicht betont werden, dass diese „relativ anspruchsvolle Form“ des Gruppenpuzzles erst bei einer in Teamarbeit versierten und bezüglich der Unterrichtsform „Gruppenpuzzle“ geübten Klasse eingesetzt werden kann. Für den Einstieg in diese Unterrichtsform könnte man den hier beschriebenen Unterrichtsgang in folgender Weise abändern: (a) Man führt nur eine Anlage vor – z. B. die Anlage A und (b) die Physiklehrkraft wählt so viele Expertenthemen, dass jede Stammgruppe genau ein Mitglied entsenden kann – z. B. Dynamot, Halogenlampe, Solarzelle, Elektromotor. Die Funktionsweise des noch fehlenden Geräts (Gold-Cap) wird in einer passenden Darstellung von der Lehrkraft erläutert.

Expertengruppen

Die Anlagen bestanden aus teilweise unterschiedlichen Geräteteilen, so dass – je nach der Entscheidung der Teams

Gerät	Energie-Wandlung	Energie-Partner
Mensch	nimmt Nahrung auf chem. Energie	„Moleküle“ ... „Moleküle“ ...
	...↓	chem. ... ↓
Mensch	wandelt chem. Energie in mech. Energie um	„Moleküle“ Drehimpuls
	...↓	... ↓
Dynamot	wandelt mech. Energie in elektrische Energie um	Drehimpuls elektr. Ladung
	...↓	... ↓
Halogenlampe	wandelt el. Energie in Lichtenergie um	elektr. Ladung Entropie
	...↓	... ↓
Solarzelle	wandelt Lichtenergie in el. Energie um	Entropie elektr. Ladung
	...↓	... ↓
E-Motor	wandelt elektr. Energie in mech. Energie um	elektr. Ladung Drehimpuls
	...↓	... ↓
Propeller	wandelt mech. Energie in mech. Energie um	Drehimpuls Impuls
	...↓	... ↓
Elektrolysezelle	wandelt elektr. Energie in chem. Energie um	elektr. Ladung H ₂ und O ₂
	...↓	... ↓
Brennstoffzelle	wandelt chem. Energie in elektr. Energie um	H ₂ und O ₂ elektr. Ladung

Tab. 1: ... Energiepartner

– einige der folgenden Expertengruppen entstehen können:

- Expertengruppe: Dynamot
- Expertengruppe: Halogenlampe
- Expertengruppe: Gold Cap-Kondensator
- Expertengruppe: Peltiermodul
- Expertengruppe: Elektromotor
- Expertengruppe: Propeller
- Expertengruppe: Solarzelle
- Expertengruppe: Heizspirale
- Expertengruppe: Heißluftmotor
- Expertengruppe: Elektrolyseur
- Expertengruppe: Brennstoffzelle

Die Expertengruppen sollten die Funktionsweise der ihnen zugeordneten Geräteteile erklären. Sie sind aufgefordert, bezüglich des ihnen vorliegenden Geräteteils ein Energieflussbild zu zeichnen und die zweite physikalische Größe zu

finden, die zusammen mit der Energie gewissermaßen mitfließt.

4. Schritt – Gruppenpuzzle → Stammgruppen

Die Stammgruppen werden von ihren Experten über die in der Expertengruppe abgelaufene Diskussion, Recherche usw. informiert. Nun erstellt die Stammgruppe das „Gesamt-Energieflussbild“ der gewählten Anlage.

Die Stammgruppen dokumentieren die zusammengetragenen Ergebnisse. Diese Dokumentation wird als Teamarbeit bewertet. Darüber hinaus planen alle Stammgruppen eine geeignete Präsentation. Als Präsentationsform könnte man z.B. eine „Plakatpräsentation“ wählen. Das heißt die Stammgruppen bekommen die Fläche einer Plakatwand zur Verfügung und erstellen Skizzen, Diagramme und Texte, die dazu dienen, die Funktionsweise der gewählten Anlage anschaulich zu vermitteln.

Blitzlicht ...

Die Energieflussbilder der Stammgruppen fallen bei der gleichen Anlage relativ ähnlich aus. Unterschiedlich sind die ergänzenden Kommentare. So z.B. war die folgende „Energie-Partner-Liste“ in Tab. 1 eine „anschauliche Erfindung“, die deutlich machen soll, mit welcher anderen „Partner-Größe“ die Energie jeweils an welcher Stelle „gekoppelt“ ist.

5 Fazit

Durch diese Unterrichtsform lernen die Schülerinnen und Schüler eine gewisse Selbsteinschätzung – und werden durch überzogen hohe Anforderungen nicht frustriert. Selbstverständlich ist die Physiklehrkraft in der „Wahlphase“ in erheblichem Maße gefordert – um schonend eventuelle Entscheidungshilfen zu bringen.

Ein differenzierter Unterricht (Gruppenpuzzle, Themenfächer, Wettbewerbe, Diskussionsketten usw. siehe LS-Heft Nr. 39 und LS-Heft Nr. 42 beim Landesinstitut für Schulentwicklung | Baden-Württemberg | Rotebühlstraße 131, 70197 Stuttgart, Fax: 0711/6642-102) bietet eine Fülle an Möglichkeiten. Man kann die Schülerinnen und Schüler bei ihren ganz unterschiedlichen Präkonzepten „abholen“, mit ihnen in behutsamer Weise in Richtung der fachwissenschaftlichen Beschreibungsweise gehen und hier den Betrag (... individuell unterschiedliches Lerntempo) und die Richtung (... individuell ganz unterschiedliche Lernwege) der Geschwindigkeit, mit der die einzelnen Schülerinnen und Schülern „vorwärts gehen können“, auf die individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse der Einzelnen anpassen. Ganz unterschiedliche Talente lernen die wirklich wesentlichen Grundlagen bzgl. des Fachwissens und der Fachmethoden – aber gleichzeitig besteht der Freiraum – z. B. für begabte Hochleister – ihrem Niveau entsprechend schneller voranzuschreiten und höhere Stufen zu erreichen. Diese Unterrichtsformen bieten vielfältige Möglichkeiten, wie unterschiedliche Talente voneinander und miteinander lernen können. Im Zug unseres Erziehungsauftrages bezüglich sozialer Kompetenz ein wichtiges Lernziel.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Franz Kranzinger, Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung (Gymnasien) Stgt I, Hospitalstraße 22-24, 70174 Stuttgart