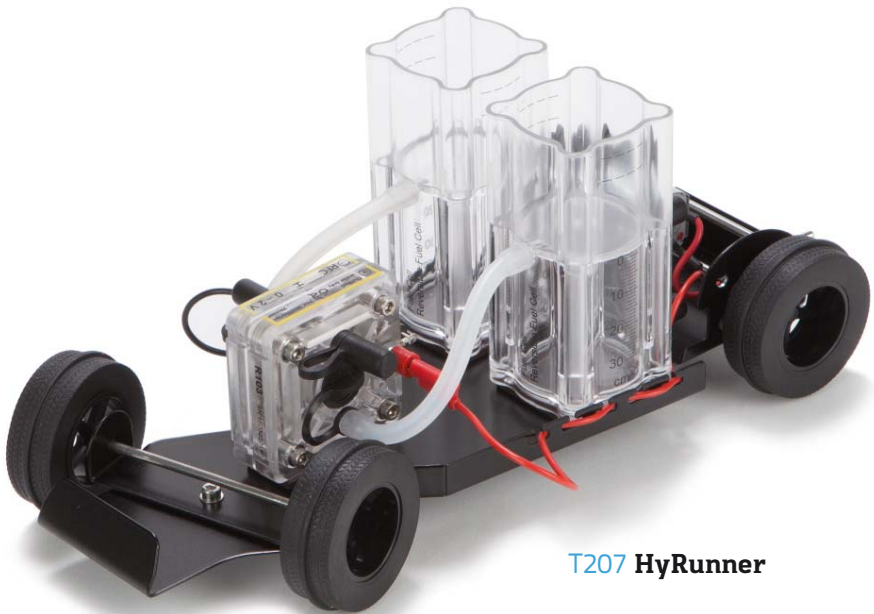


# Bedienungsanleitung



**T207 HyRunner**

H-TEC EDUCATION GmbH  
Maria-Goeppert-Str. 9a  
23562 Lübeck

Tel.: +49 (0) 451-3 99 41-0  
Fax: +49 (0) 451-3 99 41-798  
E-mail: [info@h-tec-education.com](mailto:info@h-tec-education.com)  
Website: [www.h-tec-education.com](http://www.h-tec-education.com)

## Inhalt

- 04** Ihre Aufsichtspflicht
- 04** Ziel / Einleitung
- 05** Bestimmungsgemäße Verwendung
- 06** Allgemeine Sicherheitshinweise
- 06** Einzelkomponenten
- 09** Set Tutorial HyRunner (T207)
- 10** H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>-Betrieb (Vorbereitung und Betrieb)
- 14** H<sub>2</sub>/Luft-Betrieb (Vorbereitung und Betrieb)
- 17** Anregungen für den Unterricht
- 17** Wartung
- 18** Technische Daten
- 18** Fehlerquellen

## Ihre Aufsichtspflicht

Diese Bedienungsanleitung ist für die verantwortliche Aufsichtsperson bestimmt.

- Lesen Sie die Bedienungsanleitung vor Gebrauch, befolgen Sie den Inhalt und halten Sie die Anleitung nachschlagebereit.
- Befassen Sie sich insbesondere mit den allgemeinen Sicherheitshinweisen (siehe S. 6).
- Dieses Produkt ist nur unter Anleitung der verantwortlichen Aufsichtsperson in Betrieb zu nehmen und zu betreiben.

## Ziel / Einleitung

Der prognostizierte Klimawandel kombiniert mit dem weltweit steigenden Energiebedarf und den rückläufigen Ressourcen an Kohle, Öl und Gas machen die Erschließung neuer Energiequellen zu einer der Hauptaufgaben des 21. Jahrhunderts. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Wasserstofftechnologie zu. Mit Hilfe von Brennstoffzellen lässt sich aus Wasserstoff und Sauerstoff direkt Strom erzeugen. Das einzige Abfallprodukt: Wasser. Mit Hilfe von Strom, der beispielsweise aus Solarzellen gewonnen wird, kann der benötigte Wasserstoff wiederum direkt aus Wasser durch Spaltung in Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt werden. Das zugrunde liegende Prinzip nennt sich Elektrolyse. Gemeinsam bilden beide Verfahren den solaren Wasserstoffkreislauf.

Die im vorliegenden Set enthaltenen Zellen können beides: Strom erzeugen und Wasserstoff produzieren. Mit einfachen Experimenten lassen sich alle Stufen des solaren Wasserstoffkreislaufes anschaulich erklären. Ein einfaches Prinzip, das im kleinen wie im großen Maßstab funktioniert und dabei Ressourcen schont und die Umwelt entlastet. Kein Wunder also, dass alle Experten der Brennstoffzellentechnologie beste Zukunftsaussichten prognostizieren.

In dieser Anleitung werden Aufbau, Inbetriebnahme und Funktionsweise erläutert. Darüber hinaus finden Sie auch Vorschläge für den Einsatz im Unterricht.

Spannende Experimente und interessante Einblicke in die Zukunft der Energieversorgung wünscht Ihnen das Team der

**H-TEC EDUCATION GmbH**

## Bestimmungsgemäße Verwendung

Mit den in dieser Anleitung beschriebenen Geräten lassen sich die Funktionsweisen von PEM-Brennstoffzellen (PEM = Proton Exchange Membrane = Protonen-Austausch-Membran) und PEM-Elektrolyseuren demonstrieren und messtechnisch erfassen. Die Geräte sind ausschließlich für Lehr- und Demonstrationszwecke entwickelt worden.

**Jede andere Verwendung ist unzulässig.**

### ACHTUNG!

In Brennstoffzellen reagieren Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) miteinander. Bei unsachgemäßer Handhabung stellen diese Gase eine Gefahrenquelle dar. Um Gefahren vorzubeugen, beachten Sie beim Betrieb der Geräte unbedingt die Sicherheitshinweise.

Alle Arbeitsschritte für die Betriebsarten  $H_2/O_2$  und  $H_2$ /Luft werden exemplarisch erläutert. H-TEC-Zellen sind funktionsabhängig farblich eindeutig gekennzeichnet.

**gelb:** reversible Brennstoffzelle, die auch als Elektrolyseur verwendet werden kann

**blau:** Elektrolyseur

**rot:** Brennstoffzelle



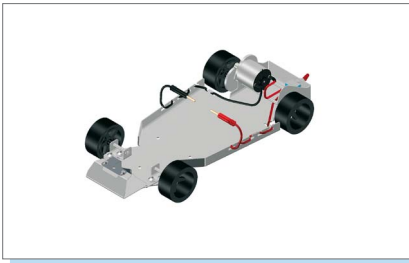
## Allgemeine Sicherheitshinweise

Die dem Produkt separat beiliegenden **Allgemeinen Sicherheitshinweise** sind vor Verwendung des Produktes zu lesen und zu befolgen!

### Einzelkomponenten



Solar Module Tutorial



Chassis Vehicle Plate

Wasserflasche 100 ml  
mit Befüllaufsatz



Schläuche TubeSet





Verschlusskappe



Stöpsel

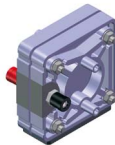
Verschlusskappe für Gasanschluss  
Stöpsel zum Verschließen des Lufteinlasses



Verbindungskabel 2 mm



Gasspeicher Storage 30



RFC

Reversible Brennstoffzelle  
(Reversible Fuel Cell RFC)  
RFC H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>/Luft

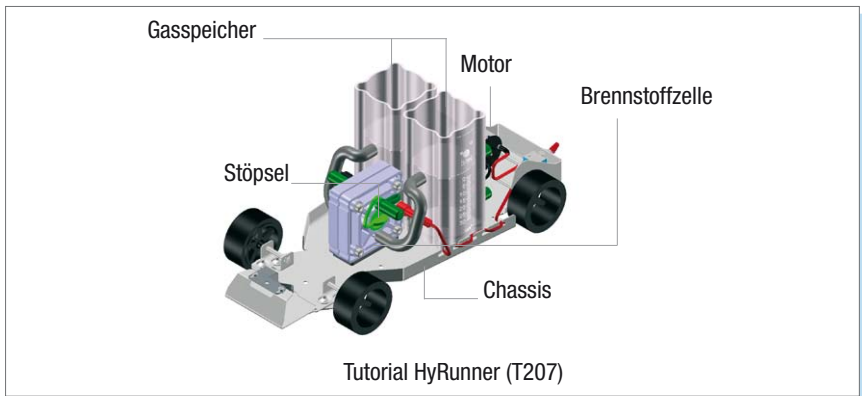


## Tutorial HyRunner (T207)

Der Tutorial HyRunner ist ein Funktionsmodell eines Wasserstoff-Brennstoffzellen-Autos mit einer reversiblen Brennstoffzelle RFC  $H_2/O_2$ /Luft und zwei Gasspeichern. Durch externe Stromzufuhr kann mit der Zelle Wasserstoff selbst hergestellt und gespeichert werden (Elektrolyse). Die Ladezeit mit Solar Module

Tutorial und Sonnenlicht beträgt ca. neun Minuten. Die Fahrzeit beträgt ca. acht Minuten.

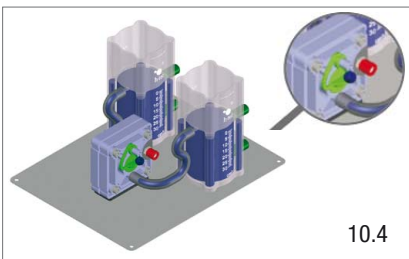
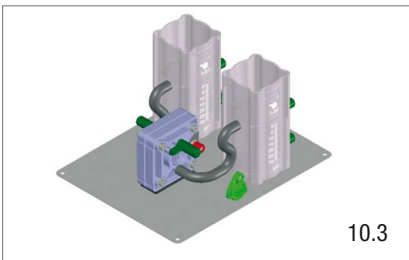
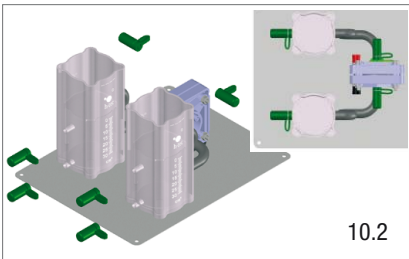
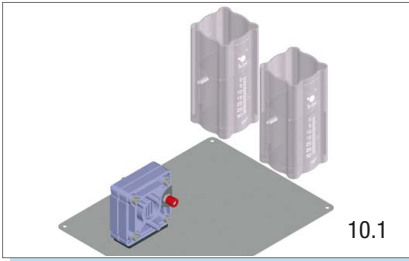
Die reversible Brennstoffzelle kann sowohl sauerstoff- wie luftatmend betrieben werden ( **$H_2/O_2$ -Betrieb siehe Seite 11,  $H_2$ /Luft-Betrieb siehe Seite 14**).



### Inhalt des Sets:

- 1x RFC Zelle  $H_2/O_2$ /Luft
- 2x Gasspeicher Storage 30
- 1x Solar Module Tutorial
- 2x Verbindungskabel 2 mm
- 1x Chassis
- 2x Schläuche
- 6x Verschlusskappen
- 1x Wasserflasche 100 ml
- 1x Schutzbrille
- 1x Lehrbuch
- 1x Allgemeine Sicherheitshinweise

## H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>-Betrieb - Aufbau / Einrichtung



Der Übersichtlichkeit halber sind die folgenden Abbildungen ohne das Chassis des Tutorial HyRunners dargestellt.

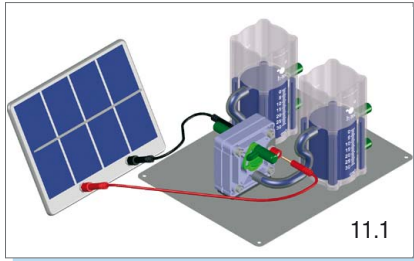
1. Setzen Sie die beiden Gasspeicher und die reversible Brennstoffzelle auf das Chassis (Abb. 10.1).
2. Verbinden Sie die unteren Anschlüsse der reversiblen Brennstoffzelle und die Anschlüsse auf der Brennstoffzellen-Seite der Speicher durch Schläuche (Abb. 10.2).
3. Setzen Sie Verschlusskappen auf die Anschlüsse an der Elektrolyse-Seite der Gasspeicher (Abb. 10.2).
4. Setzen Sie Verschlusskappen auf die oberen Gasanschlüsse der Brennstoffzelle (Abb. 10.2).
5. Achten Sie darauf, dass der Stöpsel zum Verschließen des Lufteinlasses an der Zelle eingesetzt ist (Abb. 10.3).
6. Befüllen Sie beide Speicher bis zur oberen Markierung der Ausgleichsbehälter mit destilliertem Wasser.
7. Öffnen Sie nacheinander die oberen Verschlusskappen auf beiden Seiten der Zelle. Die Luft aus den Gasspeichern und aus der Zelle entweicht und die Zelle wird geflutet. Der Vorgang ist abgeschlossen, wenn das Wasser aus den oberen Gasanschlüssen austritt (Abb. 10.4).

### Hinweis

Man kann den Anstieg des Wassers gut in dem Mäander im Zelleninneren verfolgen. Es können sich Luftblasen bilden, die das System stören. Lassen Sie den Vorgang laufen, bis Sie keine Luftblasen mehr sehen.

8. Verschließen Sie die Gasanschlüsse wieder.

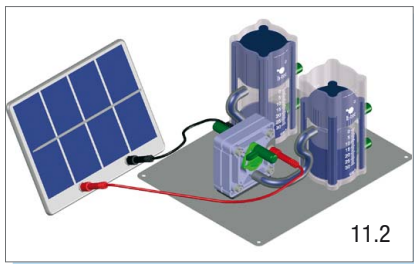
## H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>-Betrieb - Gasproduktion



1. Verbinden Sie das Solarmodul mit Hilfe der Verbindungskabel mit den jeweiligen Anschlüssen an der Brennstoffzelle. Achten Sie dabei auf die Polung (rot = "+", schwarz = "-"). Die Zelle beginnt mit der Produktion von Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnis 2:1 (**Abb. 11.1**).

### Hinweis

Reicht die Beleuchtungssituation nicht aus, können Sie einen starken Halogenstrahler einsetzen.



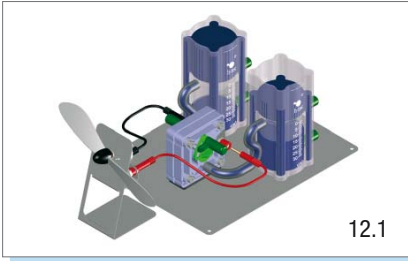
2. Der Sauerstoff entsteht auf der positiven, der Wasserstoff auf der negativen Seite der Zelle. Die Gase sammeln sich in den Gasspeichern und verdrängen das dort befindliche Wasser in die Ausgleichsbehälter (**Abb. 11.2**).

## H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>-Betrieb - Gasspeicherung

Sind die Gasspeicher gefüllt, entweicht überschüssiges Gas in Form von Blasen.

## H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>-Betrieb - Gasverbrauch

1. Entfernen Sie das Solarmodul und schließen Sie den Motor des Tutorial HyRunners an. Die Zelle nutzt das produzierte Gas zur Stromproduktion unter Bildung von Wasser und geringer Mengen Wärme (**Abb. 12.1, Seite 12**).



2. Das Gasniveau sinkt. Sind die Gase verbraucht, zieht die Zelle Wasser und der Motor stoppt.
3. Schließen Sie das Solarmodul wieder an. Die Gasproduktion startet erneut.

#### Hinweis

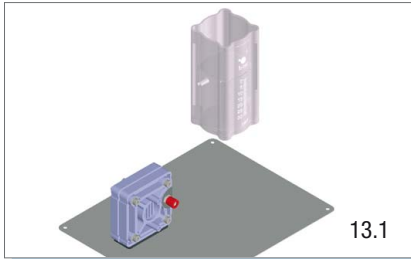
Achten Sie darauf, dass die Sauerstoff-Seite der Zelle ausreichend feucht ist. Fluten Sie ggf. die Zelle erneut.



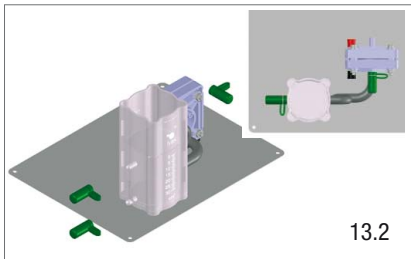
### **Speicher entleeren** (nach Beendigung des Betriebs)

1. Nehmen Sie Speicher und Zelle vom Chassis ab.
2. Öffnen Sie die Verschlusskappen an der Brennstoffzelle.
3. Halten Sie die Speicher über ein Auffanggefäß und ziehen Sie die unteren Verschlusskappen von den Speichern ab. Das Wasser läuft heraus (**Abb. 12.2**).

## H<sub>2</sub>/Luft-Betrieb - Aufbau/Einrichtung



1. Setzen Sie einen Gasspeicher und die Zelle auf das Chassis (**Abb. 13.1**).

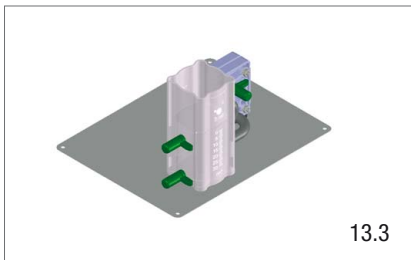


2. Verbinden Sie den unteren Anschluss der Brennstoffzelle auf der Wasserstoff-Seite und den Anschluss auf der Brennstoffzellen-Seite des Gasspeichers durch einen Schlauch (**Abb. 13.2**).

3. Setzen Sie Verschlusskappen auf die Anschlüsse an der Elektrolyse-Seite des Gasspeichers (**Abb. 13.2**).

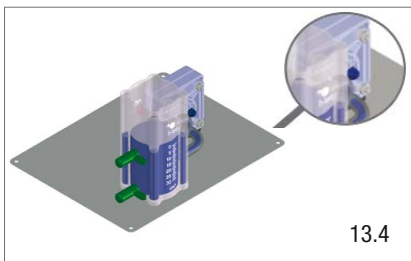
4. Setzen Sie eine Verschlusskappe auf den oberen Gasanschluss auf der Wasserstoff-Seite der Brennstoffzelle (**Abb. 13.2, 13.3**).

5. Befüllen Sie den Speicher bis zur oberen Markierung des Ausgleichsbehälters mit destilliertem Wasser.



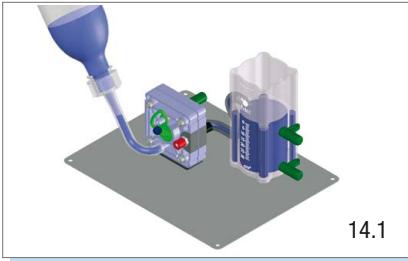
6. Öffnen Sie die obere Verschlusskappe auf der Wasserstoff-Seite der Zelle. Die Luft aus dem Gasspeicher und der Zelle entweicht und die Zelle wird geflutet. Die Zelle ist geflutet, wenn das Wasser aus den oberen Gasanschlüssen austritt (**Abb. 13.4**).

7. Verschließen Sie den Gasanschluss auf der Wasserstoffseite wieder.

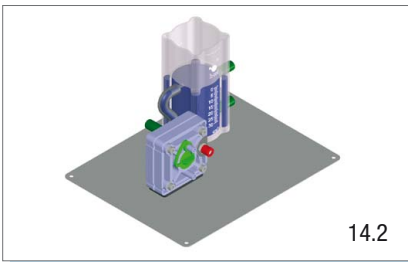


### Hinweis

Man kann den Anstieg des Wassers gut in dem Mäander im Zelleninneren verfolgen. Es können sich Luftblasen bilden, die das System stören. Lassen Sie den Vorgang laufen, bis Sie keine Luftblasen mehr sehen.



14.1



14.2

8. Setzen Sie den mitgelieferten Befüllaufsatz auf die Wasserflasche.

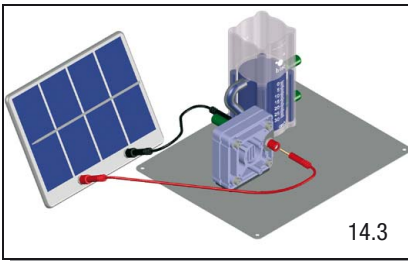
#### Hinweis

Bevor Sie die Zelle fluten, setzen Sie den Stöpsel ein, damit das Wasser sich gut in der Zelle verteilen kann.

9. Schließen Sie die Wasserflasche an den unteren Anschluss auf der Sauerstoff-Seite der Zelle an und fluten Sie auch diese Seite (Abb. 20.1).

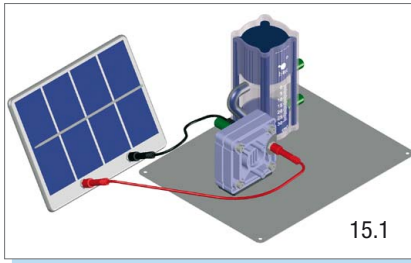
10. Ziehen Sie die Wasserflasche wieder ab. Die Zelle ist jetzt betriebsbereit (Abb. 14.2).

## H<sub>2</sub>/Luft-Betrieb - Gasproduktion



14.3

1. Öffnen Sie den Stöpsel.
2. Verbinden Sie das Solarmodul mit Hilfe der Verbindungskabel mit den Anschlüssen an der Brennstoffzelle. Achten Sie dabei auf die Polung (rot = "+", schwarz = "-") Die Zelle beginnt mit der Produktion von Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnis 2:1 (Abb. 14.3).



#### Hinweis

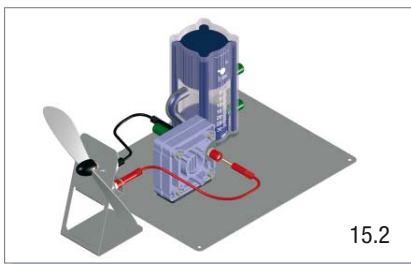
Reicht die Beleuchtungssituation nicht aus, können Sie einen starken Halogenstrahler einsetzen.

- Der Sauerstoff entsteht auf der positiven, der Wasserstoff auf der negativen Seite der Zelle. Da die Zelle im Brennstoffzellenbetrieb mit Luftsauerstoff betrieben wird, wird nur der Wasserstoff im Gasspeicher gesammelt. Er verdrängt das dort befindliche Wasser in den Ausgleichsbehälter (**Abb. 15.1**). Der Vorgang läuft, bis das Wasser auf der Sauerstoffseite der Zelle verbraucht ist.

## H<sub>2</sub>/Luft-Betrieb - Gasspeicherung

Ist der Gasspeicher gefüllt, entweicht überschüssiges Gas in Form von Blasen.

## H<sub>2</sub>/Luft-Betrieb - Gasverbrauch



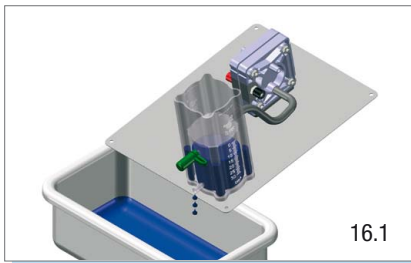
- Entfernen Sie das Solarmodul und schließen Sie den Motor des Tutorial HyRunner an. Die Zelle nutzt das produzierte Gas zusammen mit dem Luftsauerstoff zur Stromproduktion unter Bildung von Wasser und geringer Mengen Wärme (**Abb. 15.2**).

Beim Betrieb mit Luftsauerstoff ist die Leistung der Zelle gegenüber der beim Betrieb mit reinem Sauerstoff etwas geringer.

2. Das Gasniveau sinkt. Ist der Wasserstoff verbraucht, zieht die Zelle Wasser und der Motor stoppt.
3. Schließen Sie das Solarmodul wieder an. Die Gasproduktion startet erneut.

#### Hinweis

Achten Sie darauf, dass die Sauerstoff-Seite der Zelle ausreichend feucht ist. Fluten Sie ggf. die Zelle erneut.



### **Speicher entleeren** (nach Beendigung des Betriebs)

1. Nehmen Sie Speicher und Zelle vom Chassis ab.
2. Öffnen Sie die Verschlusskappe an der Brennstoffzelle.
3. Halten Sie den Speicher über ein Auffanggefäß und ziehen Sie die untere Verschlusskappe von dem Speicher ab. Das Wasser läuft heraus (**Abb. 16.1**).



## Anregungen

Ausführliche Versuchsbeschreibungen zur Berechnung von Kennlinien und Wirkungsgraden sowie umfangreiche Hintergrundinformationen zur Wasserstofftechnologie finden sie im H-TEC Lehrbuch. Im Folgenden erhalten Sie zusätzlich

einige Anregungen, wie Sie die Geräte im Unterricht einsetzen können, um die Grundprinzipien der Wasserstofftechnologie anschaulich zu demonstrieren.

### Tutorial HyRunner

- Betreiben Sie das Gerät als Elektrolyseur um  $H_2$  und  $O_2$  im Verhältnis 2:1 zu produzieren.
- Vergleichen Sie die Leistung des Elektrolyseurs (Gasvolumen pro Zeit) bei Verwendung des Solarmoduls mit Sonnenlicht und künstlichem Licht.
- Betreiben Sie den Tutorial HyRunner als Solarauto ohne Brennstoffzelle, indem Sie Solarmodul und Motor direkt verbinden.
- Betreiben Sie den Tutorial HyRunner mit dem selbst produzierten Wasserstoff als Brennstoffzellenauto in den Betriebsarten  $H_2/O_2$  oder  $H_2/Luft$ .
- Vergleichen Sie die Leistung der Fahrzeuge bei verschiedenen Betriebsarten durch Messung von Geschwindigkeit oder Reichweite.
- Haben Sie zwei Fahrzeuge zur Verfügung, führen Sie ein Wettrennen auf Zeit oder auf Weite abhängig von Betriebsart ( $H_2/O_2$ ,  $H_2/Luft$ , Solarauto) durch.

## Wartung

Brennstoffzellen des verwendeten Typs benötigen keine Wartung. Achten Sie jedoch auf folgende Punkte:

- Verwenden Sie für jeden Betrieb frisches, destilliertes Wasser.
- Nach dem Betrieb ist das Wasser aus den Speichern zu entfernen.

### Bevor Sie die Zelle einlagern:

- Setzen Sie den Betrieb fort, bis der Motor von selbst stoppt. Damit erreichen Sie, dass etwas Wasser in der Zelle verbleibt und die Membran befeuchtet.
- Schließen Sie die Verschlusskappen und den Stöpsel, so dass das Wasser in der Zelle nicht verdunstet.
- Wischen Sie das Chassis trocken, um Wasserspuren zu vermeiden.

## Technische Daten

### Tutorial HyRunner (T207)

Elektrolysebetrieb:	5 cm <sup>3</sup> /min H <sub>2</sub>	Gasspeicher:	30 cm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> / 30 cm <sup>3</sup> O <sub>2</sub>
	2,5 cm <sup>3</sup> /min O <sub>2</sub>	Solarmodul:	2,0 V / 600 mA
	1,16 W	H x B x T:	100 x 115 x 260 mm
Brennstoffzellenbetrieb: H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> :	300 mW	Gewicht:	600 g
	H <sub>2</sub> /Luft: 100 mW		

## Fehlerquellen

### Die Zelle hat nur eine geringe Leistung.

#### Ursache:

- Die Zelle wurde sehr lange oder zu trocken eingelagert. Eine Zelle mit trockener Membran verliert an Leistung.

#### Lösung:

- Den Betrieb fortsetzen. Die Zelle befeuchtet sich während des Betriebs und findet so langsam zur vollen Leistungsfähigkeit zurück.

### Trotz vorhandenem Wasserstoff funktioniert der an die Zelle angeschlossene Verbraucher (z.B. der Motor) nicht.

#### Ursache:

- Es befindet sich zu viel Wasser in der Zelle. Wasser in der Brennstoffzelle führt zu einem rapiden Leistungsabfall. Dieser Zustand kann eintreten, wenn der Elektrolyseur zu lange im Dauerbetrieb läuft und Wasser auf die Wasserstoff-Seite der Brennstoffzelle pumpt. Beim Betrieb reversibler Zellen ist es möglich, dass der vorangegangene Elektrolysemodus nicht lange genug durchgeführt wurde, so dass sich noch zu viel Wasser in der Zelle befindet.

#### Lösung:

- Trocknen Sie die Zelle, indem Sie die Anschlüsse öffnen und die Zelle durchpusten. Bei reversiblen Zellen: noch einmal in den Elektrolysemodus wechseln.

### Bei angeschlossener Solarzelle wird kein Wasserstoff produziert.

#### Ursache 1:

- Die Lichtintensität reicht nicht aus.

#### Lösung 1:

- Überprüfen Sie die Leistungsangaben der Lichtquelle. Sie benötigen ausreichend Sonnenlicht oder Halogenlampen mit fokussiertem Licht. Energiesparlampen, Leuchtstoffröhren etc. sind für den Betrieb von Solarmodulen ungeeignet.

### Trotz korrekten Aufbaus funktioniert die Zelle nicht.

#### Ursache:

- Sie haben kein destilliertes Wasser verwendet. Die Zelle ist irreparabel geschädigt.



