



Das LEGO® Energy Meter (9688)

GRUNDLEGENDER UMGANG MIT DEM ENERGY METER UND BEDEUTUNG DER DISPLAY-WERTE UND SYMBOLE

Das Energy Meter verfügt über

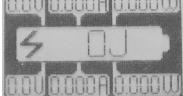
- Zwei **Bedienelemente**:
 - einen orangefarbenen Drehschalter
 - einen grünen Taster
- Drei Anschlüsse:
 - den MINDSTORMS® Anschluss am Kopfende
 - den Output-Anschluss an der Vorderseite
 - den Input-Anschluss in der Vertiefung an der Rückseite





• Ein **Display**:

 Anzeige der Input-Werte (oben), Output-Werte (unten) und des Energiespeicher-Zustands (mitte)



Zudem verfügt das Energy Meter über einen Akku, der zwei Aufgaben erfüllt:

- Als Betriebsakku arbeitet er wie ein Akku in jedem Mobil-Gerät, also z.B. auch ein iPad-Akku. Der Betriebsakku muss also geladen sein, damit das Gerät überhaupt funktionieren kann, ansonsten lässt sich das Gerät nicht einschalten oder der Display-Inhalt verschwindet nach sehr kurzer Zeit wieder. Erscheint das Blitz-Symbol (blinkend oder konstant) im Display oder ist der Spannungswert (in Volt) unten links im Display trotz Aufladevorgangs unter ca. 9 Volt, so sind dies sichere Hinweise, dass der Betriebsakku wieder aufgeladen werden sollte.
- Als Pufferakku arbeitet ein sehr kleiner Teil des Gesamtakkus, der nur 100 Joule an Energie aufnehmen kann. Der aktuelle Lade-Zustand wird in der Displaymitte angezeigt. Dabei handelt es sich um einen errechneten Wert, der sich aus der aufgenommenen und abgegebenen Energie ergibt. Der Wert lässt sich auf 0 Joule setzen, indem man den gründen Taster 2-3 Sekunden lang drückt. Dann wird die zuvor angezeigte Energiemenge dem Betriebsakku zugeordnet - es "verschwindet" also keine Energie!

Zum Laden des Energy Meters

Um das Energy Meter aufzuladen, kann man ein Solar-Modul an den (hinteren) Input-Eingang anschließen. Es ist auch möglich, den Motor aus dem Erneuerbare-Energien-Paket anzuschließen und ihn durch händisches Drehen als Generator zu verwenden. Wenn du dabei die mittlere Anzeige im Display betrachtest, wirst du feststellen, dass sich die Energie (gemessen in Joule) in der Regel nur langsam erhöht. Wenn bereits 100 Joule angezeigt werden, drücke für etwa 2-3 Sekunden die grüne Taste, um den Wert auf 0 Joule zu setzen.

Zum Laden des Gesamtakkus sollte man das Energy Meter aber an einen konstanten Ladestrom anschließen.

ACHTUNG: LEGO®¹ selbst bietet ausschließlich Anleitungen zum Aufladen des Energy Meters über die NXT-Roboterbausteine an. Das nachfolgend beschriebene Aufladen über die EV3-Bausteine scheint aufgrund des der dort eingesetzten Pulsweiten-Modulation zur Motoransteuerung problematisch zu sein und kann auch Schäden an der Elektronik oder den Akkus verursachen.

¹ LEGO® und MINDSTORMS® sind Marken der LEGO Gruppe. Weder das Anne-Frank-Gymnasium noch der Autor unterhalten eine Geschäfts- oder Förderbeziehung zur LEGO Gruppe.





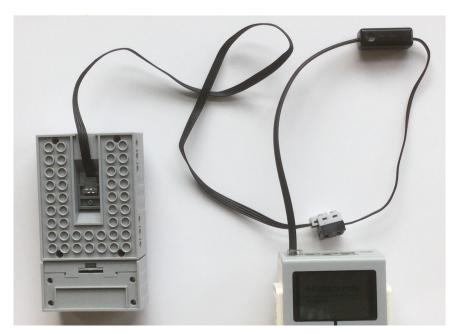
Das Aufladen kann mithilfe des EV3-Steins durchgeführt werden, wobei es empfehlenswert ist, den EV3-Stein dabei an ein Netzteil anzuschließen, um ein unnötiges Entladen des EV3-Akkus zu verhindern.

Das Verbindungskabel mit einem dunkelgrauen und einem hellgrauen LEGO® Plättchen wird über ein Adapter-Kabel an mit dem EV3-Stein verbunden. Dazu muss das **dunkel**graue Ende unten an das Energy Meter gesteckt werden und das **hell**graue Ende auf das schwarze Ende des Adapterkabels. Das Adapterkabel wird mit dem gewohnten durchsichtigen RJ-Stecker in einen Motor-Ausgang des EV3-Steins gesteckt.

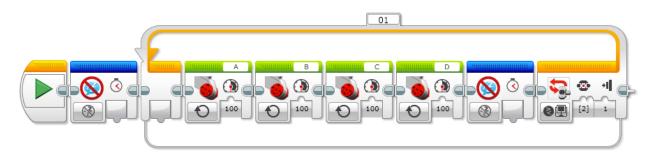
Die Abbildung rechts zeigt die Verkabelung. Das Netzteil am EV3-Baustein ist allerdings nicht zu sehen.

Der EV3-Baustein muss nun einen Ladestrom am Motorausgang bereitstellen, um das Energy Meter zu laden. Dazu wird der Motorausgang dauerhaft mit dem "An"-Schalten eines Motors versorgt.

Das Programm "EM-Laden" erledigt dies für alle vier Motor-Ausgänge, sodass auch vier Energy Meter gleichzeitig über einen EV3-Stein aufgeladen werden können. Der blaue Programmier-Baustein "In Betrieb halten", der das Abschalten des EV3-Steins nach langer Laufzeit verhindert, ist leider nicht in der iPad-App verfügbar. Deshalb kann es momentan nur von unseren Laptops auf die EV3-Steine übertragen werden.



Energy Meter, Power Functions Verlängerungskabel, Power Functions Mindstorms Adapterkabel, EV3-Stein und ggf. noch ein Netzteil am EV3 ergeben das Auflade-Szenario für das Energy Meter



Das Programm "EM-Laden" gibt 100% Leistung auf alle Motor-Ausgänge und verhindert die automatische Abschaltung des EV3-Steins.

Der Aufladevorgang kann beendet werden, wenn kein Blitz-Symbol mehr sichtbar ist und die Output-Spannung (im Display unten links) auf mindestens 9,8 Volt angestiegen ist. Sollte die Output-Spannung längere Zeit bei 0,0 Volt verbleiben, muss das Energy Meter über den grünen Taster aus und wieder eingeschaltet werden.

Zur Kontrolle eines vollständigen Ladens sollte beobachtet werden, ob auch nach dem Trennen des Energy Meters die Output-Spannung bei 9.8 Volt oder mehr verbleibt.





Volt, Ampere, Watt und Joule - ein kurzer Überblick

230 **Volt** kommen aus der Steckdose, 1,5 Volt hat eine herkömmliche Batterie, ein USB-Anschluss kommt normalerweise auf 5 Volt. Die **elektrische Spannung** begegnet uns häufig bei technischen Angaben. Bildlich gesprochen spiegelt der Spannungswert wider, wie stark der Drang der elektrischen Ladungsträger (Elektronen) ist, sich von einem elektrischen Pol zum anderen bewegen zu wollen. Beim Vergleich mit einer Wasserleitung entspräche die Spannung dem Wasserdruck auf der Leitung. Dieser ist unabhängig davon vorhanden, ob tatsächlich Strom fließt, deshalb sagt man bei der Spannung auch, sie "liegt an".

So kann man sich beim Hüpfen auf dem Trampolin, dem Schlurfen über den Teppichboden oder beim Pullover-über-den-Kopf-Ziehen schnell mit mehreren tausend Volt gegenüber seiner Umgebung aufladen. Ist das gefährlich? Nein, denn auch bei der Entladung - wenn man also "einen gewischt kriegt" - fließt letztendlich nur wenig Strom und damit auch Energie.

Ein ebenso wichtiger aber nicht so häufig genannter Wert ist die elektrische **Stromstärke** in **Ampère**. Dieser Wert ist ein Maß dafür, wie viel Elektrizität tatsächlich durch die Leitung "strömt". Bei einer Wasserleitung könnte man beispielsweise mit einer Angabe in "Liter pro Sekunde" einen anschaulichen Wert nennen, der verdeutlicht, wie ergiebig der (Wasser-)Strom ist. Beim Füllen eines Pools ist das z.B. der eigentlich interessante Wert.

Elektrisch betriebene Geräte sollen in der Regel etwas für uns "leisten". Sie sind dabei auf eine bestimmte elektrische Spannung angewiesen, denn wenn die Spannung ("Druck") zu gering ist, kann die Elektrizität ihre Wirkung im Gerät gar nicht richtig entfalten. Bei zu hoher Spannung ("Druck") wird das Gerät oft zerstört. Wenn man sich vorstellt, dass z.B. die Spannung eines Smoothie-Mixers auf 230 Volt festgelegt ist, dann wird der Mixer mehr leisten können, wenn mehr Elektrizität durch ihn strömt.

Physikalischer ausgedrückt: Bei konstanter Spannung steigt oder sinkt die **Leistung** des Gerätes in dem gleichen Maß, wie die Stromstärke steigt oder sinkt.

Anders herum kann man sich aber auch eine höhere Leistung vorstellen, wenn bei festgelegter Stromstärke (z.B. einem halben Liter pro Sekunde im Wasserschlauch) den Druck auf der Leitung erhöht. Mit einem Hochdruckreiniger kann man sicherlich einen Fußball viel einfacher von sich weg spritzen als mit einem einfachen offenen Gartenschlauch - obwohl der Wasserstrom durch den Schlauch jedes mal gleich groß ist. Also ist bei festgelegter Stromstärke die Leistung direkt abhängig von der angelegten Spannung.

Leistung wird in Watt gemessen.

Mathematisch gesehen bleibt das übersichtlich, denn es gilt einfach:

 $Leistung = Spannung \cdot Stromstraerke$

Bei der Betrachtung der Einheiten lässt sich das folgendermaßen ausdrücken:

1 Watt = 1 Volt \cdot 1 Ampere

Über entsprechende Umkehrrechnungen lässt sich dann schnell herausfinden, wie groß die Spannung oder die Stromstärke sein muss, um eine bestimmte Leistung zu erzielen. Wenn man z.B. eine 25-Watt-Lampe am 12-Volt-Bordnetz eines Autos betreiben möchte, dann ergibt sich:

24 Watt = $12 \text{ Volt} \cdot 2 \text{ Ampere}$

Also eine Stromstärke von 2 Ampere (die Umkehrrechnung wäre 24 Watt dividiert durch 12 Volt). Eine Lampe mit der gleichen Leistung am USB-Anschluss eines Computers würde aber eine höhere Stromstärke benötigen:





24 Watt = $5 \text{ Volt} \cdot 4.8 \text{ Ampere}$

Wer schon einmal über längere Zeit etwas geleistet hat (Hausaufgaben, Langstreckenlauf, Fahrradfahren mit Dynamo), der weiß auch, dass das jede Menge Energieaufwand bedeutet. Die Energie scheint "verbraucht" zu sein. Positiver und physikalisch richtig ausgedrückt muss man jedoch sagen, dass man die aufgewendete **Energie** in eine andere Form umgewandelt hat. Irgendwann muss wieder neue Energie in unseren Speicher aufgenommen werden (z.B. in Form einer Tafel Schokolade), damit wir wieder etwas leisten können.

Mit einem "Päckchen" Energie können wir also eine Zeit lang eine Leistung erbringen. Die Größe der Energie ist das **Joule**. Dabei ist 1 Joule fast genau die Energie, mit der man eine 100g-Tafel Schokolade um einen Meter anheben kann (wobei das Anheben des eigenen Armes deutlich mehr Energie erfordert).

Mit den **100 Joule aus dem Energy Meter** könnte man also 100 Tafeln der 100g-Größe in ein 1 Meter hohes Regal befördern. Man könnte auch einen Liter Wasser (entspricht 1kg) auf eine Höhe von 10 Metern hieven oder einen 100kg schweren Informatiklehrer um 10cm anheben. Der Zusammenhang zwischen Energie und Leistung kann gut am menschlichen Herzen verdeutlicht werden: Es leistet ständig etwa 1 Watt. Das heißt, dass pro Sekunde etwa 1 Joule an Energie benötigt wird, um diese Leistung zu erbringen. Der mathematisch/physikalische Zusammenhang lautet

$$Leistung = \frac{Arbeit}{Zeit}$$

Sprachlich ausgedrückt: "Leistung ist Arbeit pro Zeit". Aus diesem Zusammenhang wird deutlich, dass die Leistung größer ist, wenn man mehr Arbeit in einer zuvor festgelegten Zeit verrichtet hat. Andererseits ist es aber auch eine große Leistung, eine zuvor festgelegte Arbeit in besonders kurzer Zeit zu verrichten.

Hier wird eine kleine Ungerechtigkeit beim Schreiben von Klassenarbeiten deutlich: Wenn du die gleiche Arbeit verrichtet hast wie ein Klassenkamerad, jedoch 10 Minuten früher abgibst als er, so wird deine Leistung nicht höher bewertet, obwohl dies rechnerisch und von der Wortbedeutung her durchaus sinnvoll wäre.

Nun ist "Arbeit" physikalisch gesehen nichts anderes als das "Umwandeln einer Energiemenge". Somit kann man die Größe "Arbeit" in der eben genannten Gleichung auch durch "Energie" ersetzen, ohne einen mathematischen oder physikalischen Fehler zu begehen. Somit ergeben sich die folgenden Formeln:

$$Leistung = \frac{Energie}{Zeit}$$

das entspricht der Umkehrrechnung

$$Energie = Leistung \cdot Zeit$$

oder durch die Maßeinheiten ausgedrückt

1 Joule = 1 Watt
$$\cdot$$
 1 Sekunde

Doch dem gegenüber steht die Energie, die der Körper beim Verwerten der schon erwähnten 100g-Tafel Schokolade (Typ "Vollmilch") aufnehmen kann: Es sind etwa 2.000.000 Joule!

Das Display des Energy Meters

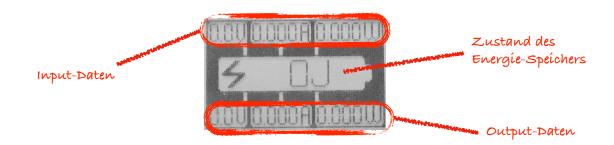
Wie bei der Beschreibung des Gerätes schon erwähnt, kann man das Display grob in drei Bereiche einteilen:

 Alle Input-Daten werden oben angezeigt: Input-Spannung in Volt, Input-Stromstärke in Ampère und Input-Leistung in Watt





- Alle Output-Daten werden unten angezeigt: Output-Spannung in Volt, Output-Stromstärke in Ampère und Output-Leistung in Watt
- Der Zustand des Energie-Speichers wird in der Mitte angezeigt:
 Füllstand des Puffer-Speichers in Joule, eventuell Symbole (Blitz, Ausrufezeichen im Dreieck) für den Zustand des Betriebsakkus.



Die Input- und Output-Daten werden halbsekündlich aktualisiert. Der dann jeweils angezeigte Wert ist ein Mittelwert aus 100 Messungen, die in den 0,5 Sekunden zuvor stattgefunden haben. Die Leistung wird dabei jeweils einfach als Produkt aus den gemessenen Werten für Spannung und Stromstärke errechnet.

Es wird jeweils nur die Stromstärke und Leistung angezeigt, die zum Füllen oder beim Leeren des Pufferakkus eine Rolle spielt. Ist der Pufferakku geleert (Anzeige: 0 Joule), dann liegt am Output-Anschluss keine Spannung mehr an (Output-Spannung: 0,0 Volt) und somit kann auch kein Strom mehr fließen.

Wenn allerdings der Pufferakku vollständig gefüllt ist (Anzeige: 100 Joule), werden die Input-Stromstärke und somit auch die Input-Leistung mit 0,000A bzw. 0,000W angegeben. Die Spannung, die ggf. von außen angelegt wird, wird aber weiterhin korrekt angezeigt. In diesem Zustand kann durchaus noch Strom durch das Energy Meter fließen, der dann aber zum Aufladen des Betriebs-Akkus genutzt wird und für die Anzeige des Energy Meters keine Rolle spielt.

Die weiteren Anzeigen des Energy Meters sind ein Blitz-Symbol links vom Energie-Wert und ein Ausrufezeichen in einem Dreieck rechts vom Energie-Wert.

Das Ausrufezeichen im Dreieck kann aus 2 Gründen auftauchen:

 Der Akku scheint nicht richtig zu funktionieren. Dies kann nach langer Liegezeit der Akkus auftreten oder wenn während des Aufladevorgangs der Akku abgezogen und/oder wieder aufgesteckt wurde. Nach dem Aufstecken des Akkus verschwindet das Symbol erst nach einem Aus- und Einschaltvorgang.



 Das Energy Meter wurde durch zehnsekündiges Drücken des grünen Tasters in einen Modus der vollständigen Entladung versetzt. Das Symbol blinkt in diesem Modus ständig. Ein vollständig geladener Akku ist nach ca. 90 Minuten entladen. Das Energy Meter stellt sich dann natürlich von ganz alleine aus ;-)

Ein **Blitz-Symbol** tauch auf, wenn der Betriebsakku des Energy Meters aufgeladen werden sollte. Falls der Pufferakku noch Energie enthält und das Blitz-Symbol blinkt, kann die aktuelle Messung oder Energienutzung vermutlich noch abgeschlossen werden. Bei einem konstant angezeigten Blitz-Symbol oder einem blinkenden Blitz-Symbol bei 0 Joule ist das Energy Meter auf jeden Fall aufzuladen.



Noch ein paar Worte zu den Anschlüssen und Kabeln

Der Mindstorms-Anschluss am Kopfende kann über ein Mindstorms-Kabel mit einem EV3-Stein verbunden werden. Über die Desktop-Programmiersoftware (für PC oder Mac) können dann auch





die angezeigten Messwerte in Programmen benutzt werden. Dies ist mit der iPad-App nicht möglich.

Die Input- und Output-Anschlüsse lassen sich mit Power Functions - Kabel nutzen. Je nach Anwendungszweck können diese Kabel unterschiedlich verwendet werden.

Am Input-Anschluss können der Motor (als Generator) oder über das Power Functions Verlängerungskabel auch noch weitere Stromquellen angeschlossen werden. Das Verlängerungskabel passt sowohl mit seinem dunkelgrauen als auch mit seinem hellgrauen Ende an den Input-Anschluss. Je nach Anschlussmöglichkeit der Stromquelle muss es dann entsprechend genutzt werden (z.B. Laden am EV3: dunkelgraues Ende an das Energy Meter; Laden am Solar-Panel: hellgraues Ende an das Energy Meter).

Am Output-Anschluss kann direkt der mitgelieferte Motor oder zunächst das dunkelgraue Ende des Verlängerungskabels angesteckt werden. Das hellgraue Ende passt hier nicht.

Beim Aufeinanderstecken der Power Functions - Kabel ist fast alles erlaubt, was irgendwie möglich ist. So können z.B. mehrere Solar-Panels über die Verlängerungskabel gleichzeitig mit dem Input-Anschluss verbunden werden. Es können auch mehrere Motoren gleichzeitig am Output-Ausgang angeschlossen werden, die Gesamtstromstärke ist aber auf 0,45 Ampère begrenzt.







Creative Commons BY-SA

Das Dokument darf genutzt und weitergegeben werden, wenn der Autorenname genannt wird (by). Falls das Dokument verändert wird, muss es bei einer Veröffentlichung ebenfalls unter die CC-BY-SA- Lizenz gestellt werden (sa, share-alike).