



SUNdidactics

SolarEnergyDidactics
SolarEducation
SolarEngineering
Photovoltaics + Solarthermal

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung
innovative solar- systems for school, college, technical education

NILS ISFH

Kooperationspartner
cooperation partner
Lernwerkstatt NILS-ISFH
am Institut für Solarenergieforschung
ISFH
An- Institut der Leibniz Universität
Hannover
Solartechnik
Solardidaktik
Solare Wissenschaft
Solar technology Solar didactics
Solar science

Photovoltaik-
System
SUSE

Solartechnik
Experimentiergeräte
Solare Experimente
von der Grundschule
bis zum Abitur

Solar technology
Experimentation devices
Solar experiments

BNE

Bildung
für
nachhaltige
Entwicklung

Education
for
Sustainable
Development

Solardidactic – Solarzellen – Solarmodule – PV- Experimentiergeräte – PV –Experimentieranleitungen – Solarthermie- Experimentiergeräte
didaktische Konzepte – Solarberatung – Fortbildung – solare Aus- und Weiterbildung – Solarspielzeug

Solardidactics + solar cells + solar modules + photovoltaic experiment devices + solar toys + solar education and training

SUNdidactics Solar Systems Hildesheim, Germany

Phone: +49(0)5121 860730 Fax: +49(0)3222 3706689 Mail: info@sundidactics.de Mobile: +49(0)1757660607 Web: www.sundidactics.de skype: wolfschanz

Gesamt-
dokumentation



Das SUSE- Solarfahrzeug 1.2

Solare Elektromobilität Solarfahrzeug mit Superkondensator-
Energiespeicher 2x 10 F zum Aufladen an einer Solartankstelle

Solarfahrzeug 1.2



$U_{max} = 5,4V$, Antrieb mit SUSE- Solarmotor und 2- stufigem Getriebe



Maße: Länge ca. 190 mm, Breite ca.95 mm, Höhe ca. 35 mm

Ansicht von oben:

Links vorne erkennt man den Solarmotor mit dem 2- stufigen Getriebe an der Vorderachse.

Oben befindet sich die Elektronik-Platine, auf deren Unterseite sind die beiden elektrischen Energiespeicher (2 Superkondensatoren 10 F in Reihenschaltung). In der Mitte oben ist der Betriebsschalter, darunter 3 Buchsen. An das rot- schwarze Buchsenpaar lassen sich zum Laden der Superkondensatoren Laborkabel einstecken, die grüne Buchse ist eine Messbuchse zur Spannungsmessung an den Superkondensatoren.

Das SUSE- Solar- Fahrzeug 1.2 mit 2 Superkondensatoren für $U_{max} = 5,6 V DC$

Für das **Aufladen** an Solarmodulen bis zu **8 Solarzellen in Reihenschaltung** ist das Fahrzeug mit 2 Superkondensatoren mit je 10 F in Reihenschaltung ausgestattet, die mit einer Spannung bis zu 5,6 V aufgeladen werden können.

Dadurch fährt das Fahrzeug sehr schnell und speichert bis zu **100 J Energie** nach vollem Auftanken mit 5V DC! Das Fahrzeug hat keine eigene Solarzelle, sondern wird vor der Fahrt an einer Solartankstelle „getankt“, dabei wird der elektrische Energiespeicher mit max. 5,4 V DC aufgeladen.

Mit einer Ladung fährt das Auto mit **hoher Geschwindigkeit > 50 m**.

Je nach Lichtintensität = Bestrahlungsstärke S dauert der Ladevorgang nur ca. 1 - 2 min. bei strahlendem Sonnenschein bzw. ca. 3 min. bei bedecktem Himmel.

So kann das Fahrzeug auch bei sehr stark bedecktem Himmel geladen werden, ein reines Solarzellen- Fahrzeug ohne Speicher würde bei diesen Lichtverhältnissen nicht mehr fahren. Mit dem Fahrzeug lassen sich umfangreiche Experimente (z.B. Kondensator- Auf- und Entladung) durchführen.

Zum Aufladen der Superkondensatoren werden an die Buchsen Laborkabel eingesteckt, die zum Solarmodul führen. Der **Betriebsschalter hat 3 Positionen: 1. Laden** (nach hinten geschaltet) **2. AUS** (Mittelposition) **3. Fahren** (Schalter nach vorne geschaltet). Der Auflade- oder Entladevorgang der Superkondensatoren lässt sich durch eine Spannungsmessung am der grün-schwarzen Buchsenpaar oder durch eine Stromstärkemessung in der Zuleitung vom Solarmodul beobachten und messen. Das Fahrzeug kann auch mit einer 4.5 V Flachbatterie aufgeladen werden. Das Fahrzeug und auch das passende Solarmodul sind als Bausatz oder Fertigerät bei SUNdidactics oder NILS- ISFH erhältlich.



Das Solarfahrzeug 1.2 an der **Solartankstelle** (Solarmodul SUSE 4.35), ein Solarmodul mit 2,5V + 5,0V Ausgangsspannung, 8 Solarzellen in interner Reihenschaltung, ideal zum Laden des Solarfahrzeugs.

Die Betriebsanleitung

Die Funktion:

Die beiden Superkondensatoren sind die elektrischen Energiespeicher des Fahrzeugs, aus ihm bezieht der Elektromotor die Energie zum Fahren, dabei entladen sich die Kondensatoren. Bei realen Elektrofahrzeugen wird ein Akku verwendet. Vorteil des Superkondensators ist die schnelle Ladung, bei strahlendem Sonnenschein dauert die Aufladung mit einem Solarmodul (= Solartankstelle) nur ca. 1- 2 Minuten. Im Gegensatz zum Akku benötigt der Superkondensator auch keine Ladeelektronik mit bestimmten Ladestromstärken. Die Reichweite des Fahrzeugs bei voll aufgeladenem Superkondensator und glatter Fahrbahn ist ca. 100 m.

Bei bedecktem Himmel oder geringer Strahlung dauert das Aufladen länger, die Aufladung kann mit einem Voltmeter beobachtet/gemessen werden. Im **Innenraum** kann das Solarmodul vor einem Halogenstrahler, einer Rotlichtlampe oder auf der Platte eines Overheadprojektors positioniert werden.

Geeignete Solarmodule zum Aufladen: SUSE 4.3RB, SUSE 4.32, SUSE 4.35 oder 8 Solarzellen in Reihe.

Maximale Ladespannung: 5,4 V, bei höheren Spannungen werden die Superkondensatoren zerstört.

Das Fahrzeug hat **3 Buchsen** für 4mm- Laborkabel:

- Buchse rot:** **Pluspol** der Zuleitung vom Solarmodul (Solartankstelle)
Buchse schwarz: **Minuspol** der Zuleitung vom Solarmodul zum Minuspol des Superkondensators
Buchse grün: **Pluspol** des Superkondensators = Messbuchse zur Spannungsmessung

Funktion des Schalters, der Schalter hat 3 Positionen:

- A** In Fahrtrichtung nach vorne: **Fahrbetrieb**, der Elektromotor ist an den Superkondensator angeschlossen
B Mitte: **AUS** Weder Fahrbetrieb noch Aufladebetrieb
C In Fahrtrichtung nach hinten: **Tanken = Aufladebetrieb**, die Superkondensatoren sind an das rot-schwarze Buchsenpaar zum Aufladen angeschlossen.

1. Die Bedienung des Fahrzeuges

1.1 Aufladung

Der Pluspol des Solarmoduls wird mit einem roten Laborkabel mit der roten Buchse des Fahrzeugs verbunden, der Minuspol des Solarmoduls mit einem schwarzen Laborkabel mit der schwarzen Buchse. Nun wird der Schalter nach hinten auf „**Laden**“ geschaltet, der Ladevorgang beginnt. Je nach Lichtintensität dauert der Ladevorgang nur <1-ca. 3 Minuten. Mit einem Voltmeter am rot-schwarzen Buchsenpaar (Messbereich 20V DC) kann der Ladevorgang beobachtet werden. Die Spannung steigt beim Aufladen langsam an und erreicht die Modulspannung des Solarmoduls. **Nach erfolgreicher Aufladung wird der Schalter auf AUS (Mittelposition) geschaltet!**

2.2 Fahren

Das Laborkabelpaar wird aus den Buchsen entfernt, das Fahrzeug wird auf den Boden auf eine ebene und glatte Fläche gestellt. Dann wird der Schalter nach vorne auf „**Fahren**“ geschaltet, das Fahrzeug fährt davon. Während der Fahrt entlädt sich der Superkondensator, die Geschwindigkeit wird geringer, bei ca. 0,3 V bleibt das Fahrzeug stehen. Wenn bei der Fahrt die Entladung des Superkondensators beobachtet werden soll, wird das Fahrzeug aufgebockt, so dass sich die Räder frei in der Luft drehen, an das grün- schwarze Buchsenpaar wird ein Voltmeter angeschlossen (Messbereich 20V DC), man erkennt das allmähliche Absinken der Spannung am Superkondensator.

2.3 Experimente

Mit der ausführlichen Experimentieranleitung zum Solarfahrzeug 1.2 lassen sich umfangreiche Experimente mit dem Fahrzeug durchführen:

- Fahrbetrieb mit verschiedenen Ladespannungen, Messungen der Geschwindigkeiten und Reichweiten
- Fahrbetrieb bei verschiedener Lichtintensität, Messungen der Geschwindigkeiten und Reichweiten
- Analyse der Aufladung des Superkondensators bei verschiedenen Bestrahlungsstärken,
- Analyse der Entladung des Superkondensators, Bestimmung der Halbwertszeiten
- Energiespeicherung und Energie- Umwandlungsvorgänge



**Photovoltaik-
System
SUSE**

**Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung



Das SUSE- Solarfahrzeug 1.2- Experimente

**Solarfahrzeug mit 2 Superkondensator- Energiespeicher 2x 10F
zum Aufladen an einer Solartankstelle**

$U_{max} = 5,6 V$ Antrieb mit SUSE- Solarmotor und 2- stufigem Getriebe



Links erkennt man den Solarmotor mit dem 2- stufigen Getriebe an der Vorderachse.

Rechts befindet sich die Elektronik-Platine mit den beiden elektrischen Energiespeichern (2 Superkondensatoren je 10F in Reihenschaltung unter der Platine), den drei Buchsen (rot, schwarz, grün) und dem Betriebsschalter. An das rot- schwarze Buchsenpaar wird das Solarmodul als Solartankstelle angeschlossen, am grün- schwarzen Buchsenpaar lassen sich Kabel einstecken und Messungen am Superkondensator zur Auf- und Entladung durchführen.

Das SUSE- Solar- Fahrzeug 1.2 mit 2 Superkondensatoren für $U_{max} = 5,6 V$ Gerätebeschreibung und Experimente

Häufig liefern Solarmodule zum „Tanken“ des Superkondensator- Energiespeichers höhere Spannungen als 2,8 V, die maximale Spannung eines Superkondensators. So liefern z.B. Solarmodule der Serie SUSE 4.3 3,6 V Spannung. Für das **Aufladen** an bis zu **8 Solarzellen in Reihenschaltung** ist das Fahrzeug mit **2 Superkondensators mit je 10F** ausgestattet, die in Reihe geschaltet sind und so mit einer **Spannung bis zu 5,6 V** aufgeladen werden können. Besonders geeignet als Solartankstelle 5 V ist das **5 V- Solarmodul SUSE 4.35**. Dadurch fährt das Fahrzeug sehr schnell und speichert bis zu 100 J Energie.

Das Fahrzeug hat keine eigene Solarzelle, sondern wird vor der Fahrt an einer Solartankstelle „getankt“, dabei wird der elektrische Energiespeicher Superkondensator mit max. 5 V DC aufgeladen, es wird eine **elektrische Energie von 100 J** gespeichert.

Mit einer Ladung fährt das Auto mit hoher Geschwindigkeit ca. 50- 100 m.

Je nach Lichtintensität = Bestrahlungsstärke S dauert der Ladevorgang nur 20s - wenige Minuten.

So kann das Fahrzeug auch bei sehr stark bedecktem Himmel geladen werden, ein reines Solarzellen- Fahrzeug würde bei diesen Lichtverhältnissen nicht mehr fahren. Mit dem Fahrzeug lassen sich umfangreiche Experimente (z.B. Kondensator- Auf- und Entladung) durchführen.

Zum Aufladen des Superkondensators werden an das rot-schwarze Buchsenpaar Laborkabel eingesteckt, die zum Solarmodul führen. Der Betriebsschalter hat **3 Positionen: Laden** (nach hinten)- **AUS** (Mitte)- **Fahren** (nach vorne).

Der Auflade- oder Entladevorgang am Superkondensator lässt sich durch eine Spannungsmessung am Superkondensator (grün- schwarzes Buchsenpaar) oder durch eine Stromstärkemessung in der Zuleitung vom Solarmodul beobachten und messen.

Experimente mit dem Solarfahrzeug 1.2

Die beiden Superkondensatoren (in Reihenschaltung) bilden einen Energiespeicher, der auf maximal 5,6 V DC aufgeladen werden kann. Bei $U = 5 \text{ V}$ ist die gespeicherte Energie nach $W = \frac{1}{2} CU^2 = 100 \text{ J}$.

In der **Praxis der realen Solarfahrzeuge** gibt es auch E- Autos, die mit Solarmodulen bestückt sind, diese dienen zur Reichweitenverlängerung oder zum Fahren auf kurzen Strecken. Die Fahrzeuge haben immer einen elektrischen Energiespeicher (Akku) an Bord, der auch mit elektrischer Energie aus dem Netz aufgeladen werden kann, idealerweise mit elektrischer Energie aus regenerativen Energiequellen.

Mit dem SUSE- Solarfahrzeug 1.2 lässt sich im Modell diese Praxis durchführen.

Notwendige Experimentiergeräte:

- 1 SUSE- Solarfahrzeug 1.2
- 1 Solarmodul mit 6-8 Solarzellen in Reihenschaltung oder Einzel- Solarzellen z.B. 1x SUSE 4.35 oder 4.3 RB oder 2x SUSE 4.33 oder 8x SUSE- Solarmodule mit je 1 Solarzelle
- 1 Lichtquelle, wenn der Versuch nicht im Freien mit natürlichem Licht durchgeführt wird: z.B. Grundgerät SUSE 4.0 oder Halogenstrahler 120 W, Overheadprojektor oder Rotlichtlampe.
- 2 Laborkabel 1x rot + 1x schwarz
- 1 Multimeter für Messungen der Auf- und Entladung mit 2 Laborkabeln

1. Aufladen des Superkondensator- Energiespeichers:

Mit einem Solarmodul mit max. 8 Solarzellen in Reihenschaltung oder mit der 5V- Solartankstelle SUSE 4.35 wird der Superkondensator- Energiespeicher aufgeladen, dabei muss der **Schalter nach hinten geschaltet** werden, dann ist der Superkondensator- Energiespeicher elektrisch mit dem rot- schwarzen Buchsenpaar verbunden. Vom Solarmodul wird das Pluskabel in die rote Buchse gesteckt, das Minuskabel in die schwarze Buchse des Fahrzeugs.

Je nach der Lichtintensität dauert der Auflade- Vorgang nur ca. eine Minute bis wenige Minuten, der Superkondensator- Energiespeicher lädt sich auf die Modulspannung auf. Mit einem Voltmeter am grün- schwarzen Buchsenpaar kann der Aufladevorgang beobachtet werden (Messbereich 20 V DC). Wenn die Spannung nicht mehr ansteigt, ist der Superkondensator voll aufgeladen. Nun ist der Speicher aufgeladen, der Schalter wird auf die Mittelposition geschaltet, damit sich der Energiespeicher nicht über das Modul entladen kann, wichtig! Die Kabel werden von den Buchsen wieder abgezogen

2. Fahren des Fahrzeugs:

Das Fahrzeug wird auf den Boden gestellt, optimal wäre eine glatte Bodenfläche. Der Schalter wird nach vorne geschaltet, nun fährt das Fahrzeug mit hoher Geschwindigkeit los, wird allmählich langsamer und bleibt schließlich stehen. Die Fahrtstrecke beträgt je nach Bodenbeschaffenheit 50- >100 m.

3. Elektrische Messungen zur Ladung und Entladung:

3.1 Spannungsmessung bei der Aufladung

Verwenden Sie ein Voltmeter im Messbereich 20 V DC

Der Superkondensator- Speicher sollte vor der Messung leer sein, schließen Sie den Superkondensator- Speicher kurz. Schalten Sie den Schalter anschließend in Mittelposition. Schließen Sie an die Polklemmen die beiden Kabel des Solarmoduls und die beiden Kabel des Voltmeters an. Das Voltmeter zeigt nun die aktuelle Modulspannung an. Schalten Sie nun auf „Ladung“ indem Sie den Schalter nach hinten schalten. Die Spannung wird sich minimieren und dann bei der Aufladung langsam erhöhen, bis die Modulspannung wieder erreicht ist, dann ist der

Achtung! Vor jeder Messung sollte der Kondensator vollständig entladen werden,
hierzu das grün- schwarze Buchsenpaar für ca. 3 s kurzschließen!

Energiespeicher voll aufgeladen. Diese Spannungsänderung in Abhängigkeit zur Zeit lässt sich auch gut mit einem PC- Interface messen, um eine Ladekurve zu erhalten.

Aufladung des Superkondensator- Energiespeichers
Ladespannung

Die Experimentdaten können auch mit excel o.ä. verarbeitet werden!

t in s Zeit	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
U in V Spannung														

3.2 Spannungsmessung bei der Entladung

Eigentlich müsste das Voltmeter mitfahren, das ist unpraktisch, daher bocken wir das Fahrzeug auf, so dass sich die Vorderräder frei drehen können und schließen das Voltmeter an das grün- schwarze Buchsenpaar des Superkondensator- Energiespeichers.

Nun schalten wir den Schalter nach vorne, der Superkondensator- Energiespeicher entlädt sich über den Elektromotor, die Räder drehen sich und die Spannung sinkt allmählich von der Modulspannung bis auf 0, bei ca. 0,4 V bleibt der Motor stehen, die Entladung geht aber über die Spule im Motor weiter bis auf 0V.

Entladespannung

t in s Zeit	0	30	60	90	120	180	240	300	360	420	480	540	600
U in V Spannung													

3.3 Stromstärkemessung bei der Aufladung

Vor der Messung soll der Superkondensator vollständig entladen werden. Dann wird in die Plusleitung vom Solarmodul ein Amperemeter im Messbereich 10A eingeschleift, schalten Sie den Schalter anschließend in Mittelposition. Schließen Sie an das rot- schwarze Buchsenpaar die beiden Kabel des Solarmoduls an. Das Amperemeter zeigt anfangs 0A an da die Ladung noch nicht begonnen hat. Schalten Sie nun auf „Ladung“ indem Sie den Schalter nach hinten schalten. Die Stromstärke ist sofort groß (zu Beginn der Kurzschlussstrom des Solarmoduls) und wird allmählich kleiner bis auf 0, dann ist der Superkondensator Energiespeicher voll aufgeladen. Auch dieser Stromstärkeverlauf lässt sich gut mit einem PC- Interface messen und graphisch darstellen.

Auflade- Stromstärke

t in s Zeit	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
I in A Stromstärke													

Der Graph kann auf das beigefügte mm- Papier gezeichnet oder mit excel dargestellt werden.

Weitere Fragestellungen:

1. Darstellung der Graphen zur Auf- und Entladung mit einem PC- Interface (CassyLab, Vernier o.ä.), testen Sie diese Version im NILS – Labor, der NILS- Berater berät Sie gerne!
2. Wie lässt sich der Wirkungsgrad von der elektrischen Energie (im Speicher) zur mechanischen Energie (drehende Räder) bestimmen? Überlegen Sie einen Messaufbau! Bauen Sie einen Messstand auf und bestimmen Sie den Wirkungsgrad!
3. Wie lässt sich die Reichweite des Fahrzeugs verdoppeln? (Achtung, maximale Motorspannung 5,4 V DC!) Überlegen Sie sich eine Version. Bauen Sie nach Rücksprache mit einem NILS- Berater diese Version auf und testen Sie!
4. Wie lässt sich die Geschwindigkeit während der ersten 2m Testfahrt bestimmen? Überlegen Sie sich eine Version. Bauen Sie nach Rücksprache mit einem NILS- Berater diese Version auf und testen Sie!

Achtung! Spannungen über 5,6 V DC oder falsche Polung zerstören den Superkondensator Energiespeicher.

Die elektrische Schaltung des Fahrzeugs:

Buchse rot

o
+

Mittelposition des Schalters = AUS

