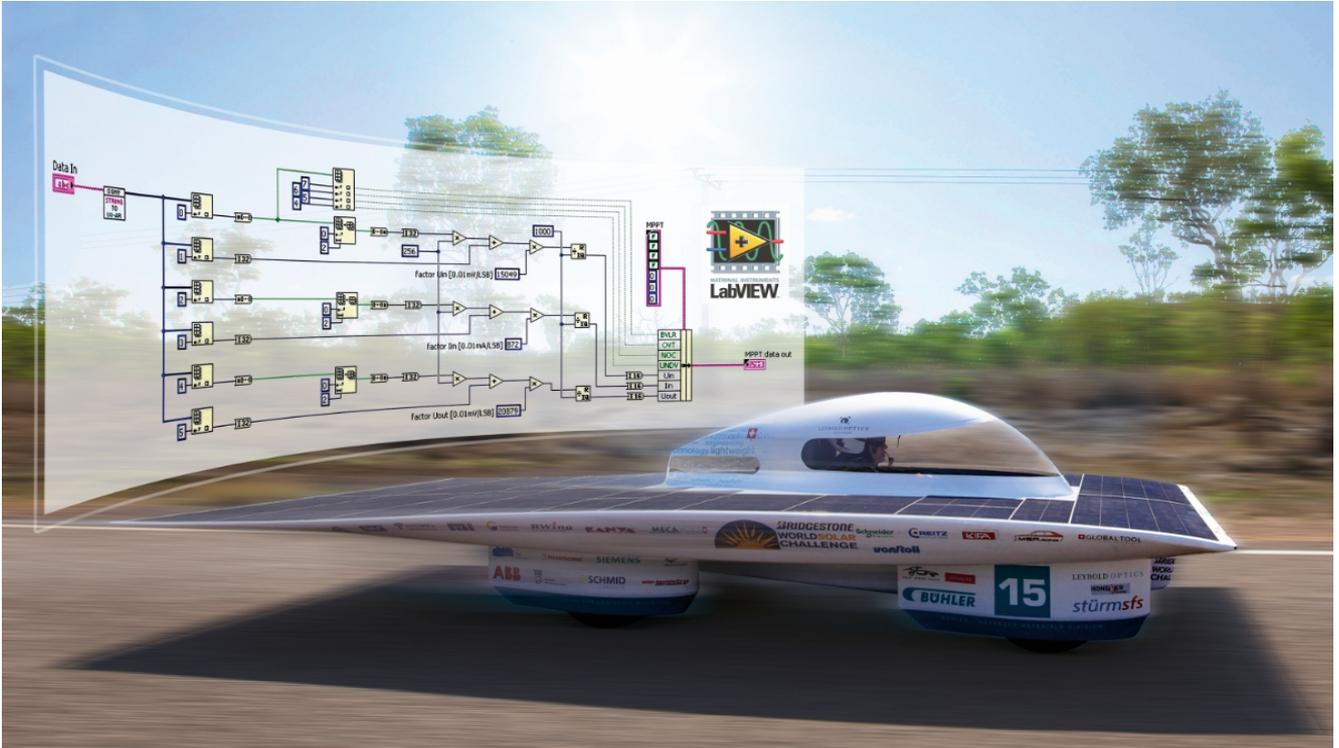


Mit LabVIEW auf Mikroprozessoren und Scheckkartenrechnern Low-Power pur !

Elektromobilität mit der Kraft der Sonne

Marco Schmid, Ing. Systemtechnik FH, Schmid Elektronik AG
Georg Russ, Dr.-Ing. , Solar Energy Racers Strategy
Roland Widmer, El-Ing. FH, RWinG Solutions GmbH



Die «World Solar Challenge» (WSC) in Australien ist für Solarfahrzeuge eines der härtesten Rennen der Welt. Ein Schweizer Ingenieursteam stellte sich erneut den elektronischen, softwaretechnischen, mechanischen und nicht zuletzt regulatorischen Anforderungen, nahm zum zweiten Mal am Rennen teil und klassierte sich in den Top-Five der «Challenger-Class». Für die kritischen Module wurde High-Tech vom Feinsten eingesetzt. Ein perfektes Zusammenspiel vom Teamspirit bis zu den interdisziplinären Komponenten sorgten für das hervorragende Resultat. Mit innovativen Leistungen dieser Art positioniert sich die Schweiz im Bereich der Elektromobilität an vorderster Front und stellt puncto Solarmobilität Weichen für die Zukunft. Dieser Artikel wirft buchstäblich einen Blick unter die Motorhaube der wesentlichen Konstruktionsdetails des Fahrzeuges und unterstreicht die matchentscheidenden Punkte für den Erfolg des Rennens. Er schliesst ab mit einem Quergedanken zum bekannten E-Mobil «Tesla».

3.000 km durchs australische Outback

Der «World Solar Challenge» wird alle zwei Jahre auf dem öffentlichen Stuart Highway ausgetragen. Der Clou: einzig die Sonne darf als Energiequelle genutzt werden! Alle Teilnehmer verfolgen dasselbe Ziel: mit «Green Engineering» Umweltverantwortung wahrnehmen und im Rennen den Nutzen erneuerbarer Energie für Elektromobilität demonstrieren. Immerhin durchqueren die Solarmobile den australischen Kontinent mit nur rund zwei Drittel der Leistung eines handelsüblichen Staubsaugers! Die «SOLAR ENERGY RACERS», ein von Mitarbeitern der Firma Bühler AG organisiertes Rennteam, nahm im Jahr 2011 zum ersten Mal teil. Heute, zwei Jahre später, trat es mit einem neuen, komplett überarbeiteten Rennmobil wieder an den Start. Es überfuhr die Ziellinie auf dem 5. Rang. Angesichts einer Aufwand/Ertrag-Betrachtung gegenüber den vier führenden Vollzeit-Teams ein Spitzenresultat und nur mit Fokus, Disziplin, Leidenschaft, Teamwork und neuen Entwicklungsmethoden machbar.



Bild 2 : Die vier Räder der neuen Fahrwerksgeneration sind dank ausgetüftelter Konstruktion kleiner, komfortabler, wirksamer und vor allem leichter als die drei Räder des Vorgängermodells

Die mechanische Innovation am Solarmobil ist zweifellos das neue Fahrwerk (**Bild 2**). Die bisherige, übliche Dreiecksaufhängung wurde durch eine Neukonstruktion ersetzt, die ähnlich wie das Vorderrad einer «Vespa» funktioniert. Das Ergebnis ist ein kompakteres, leichteres und vor allem zuverlässigeres Fahrwerk. Das Rad bleibt jetzt beim Steuern und Einfedern nahezu parallel zum Fahrzeug und minimiert so Reibungsverluste. Ein Riesenvorteil vor allem für den Piloten, denn auch auf rauer Strasse und bei Winböen blieb das Fahrzeug präzise auf Kurs und das Lenkrad ruhig. Weitere Optimierungen sind leichte, reibungsreduzierte Hybridkugellager mit Keramikugeln und extrem leicht laufende Reifen.

Ein Cockpit wie ein Smartphone bedienen

Ähnlich wie bei der Formel 1 oder beim „Gamen“ steuert der Pilot das Solarmobil auf dem multifunktionellen Lenkrad komplett über Taster und Joysticks:

- Der «Eco/Cruise»-Modus für Durchschnittsgeschwindigkeiten zwischen 60–80 km/h wird für den grössten Teil des Rennens verwendet. Er begrenzt den Motorstrom auf 10A, reduziert Energieverluste durch Glätten von Spitzen und benötigt so im Durchschnitt rund 16 Wh/km.
- Bei Überholmanövern schaltet der Pilot in den «Power»-Modus. Hier stehen insgesamt 35A und damit Spitzengeschwindigkeiten von rund 100 km/h zur Verfügung. Solche „Eskapaden“ verbrauchen dann 20 Wh/km und mehr.
- Der Tempomat kann jederzeit ein- und ausgeschaltet werden. Über die zwei Tasten «+» und «-» wird die Geschwindigkeit verändert.
- Ist der Tempomat ausgeschaltet, wird die Geschwindigkeit direkt mit dem Gaspedal gesteuert.
- Mit den Blinkern «rechts» und «links» sowie mit der Hupe steht die übliche, im Strassenverkehr nötige Signalisierung zur Verfügung.
- Über Kippschalter könnte der Pilot die Batterie, den MPPT und die 12-V vom Bordnetz isolieren

Das Bremsen erfolgt „smart“ in zwei Schritten. Auf den ersten Millimetern des Bremspedals wird die Motorbremse zum Minimieren des Energieverlustes eingesetzt. Weitere Auslenkung aktiviert die hydraulische Bremse. Das virtuelle "Armaturenbrett" besteht aus einem 4.3"-Multitouch-TFT (**Bild 3**). Der Pilot sieht neben der Ist-Geschwindigkeit auf einen Blick die Betriebsart, ob gebremst wird, die Batteriespannung, die Leistung von Photovoltaik, Batterie und Motor sowie die Temperaturen von Batterie, Chassis, Solarzellen und Motor. Über intuitive Touchbedienung werden weitere Betriebsparameter live angezeigt, z.B. Ein- und Ausgangsspannung und Strom der Solarladeregler/MPPT. Dies ist für den unwahrscheinlichen Fall konzipiert, falls die Live-Übertragung aller Daten per Telemetrie ausfallen würde und der Pilot die Fahrstrategie selbst übernehmen müsste.

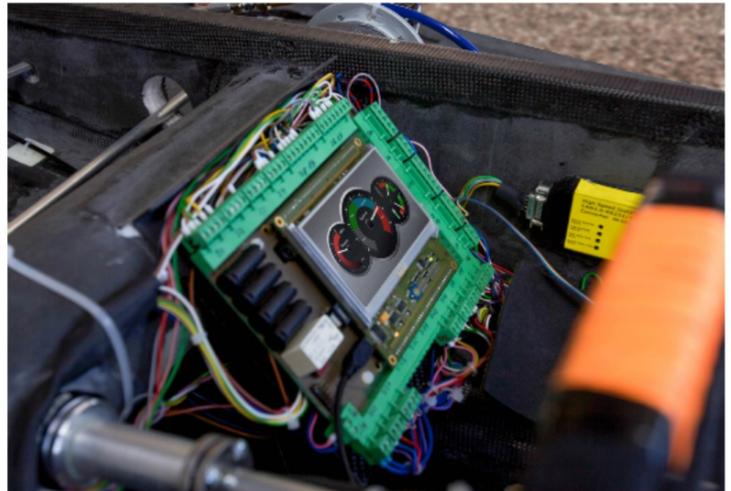
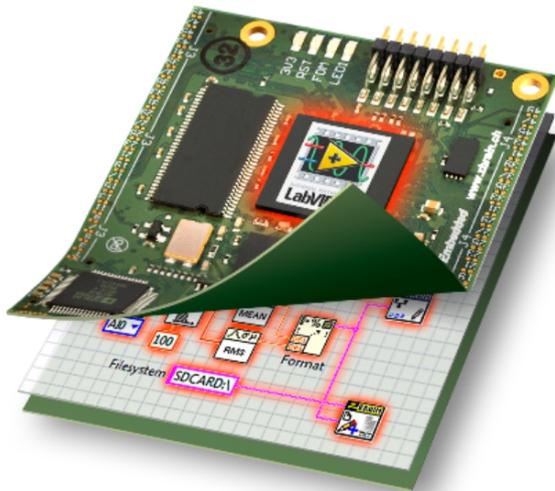


Bild 3 : LabVIEW auf kundenspezifischer Hardware mit einsteckbarem ZBrain-Messrechner im Scheckkartenformat, inklusive Multitouch-Bedienung, Filesystem Kommunikation und Prozess-I/O

Scheckkartenrechner mit niedrigem Stromverbrauch

Der grafisch programmierbare ZBrain Messrechner «Z48-C1», ein Standardprodukt (www.zbrain.ch) des «Gold-Sponsors» Schmid Elektronik, wurde als zentrale Steuereinheit eingesetzt. Der für Low-Power-Anwendungen ausgelegte Scheckkarten-Computer war für das Solarmobil wie massgeschneidert. Dank grafischer Bedienerführung über TFT/Multitouch, umfangreichem Prozess-I/O, zahlreichen Kommunikationsmöglichkeiten und Onboard-Filesystem bildete der «Z48-C1» praktisch das „Hirn“ der gesamten Fahrzeugelektronik (**Tabelle 1**). Das kundenspezifische Prozess-I/O und die Stecker für die gesamte Verkabelung wurde von Schmid Elektronik auf einem Basebord entwickelt, im Rapid-Prototyping-Verfahren produziert, getestet und dem Rennteam zur Verfügung gestellt. Diesem permanent unter Zeitdruck stehenden Team diente dann vor allem die grafische Programmierung mit «LabVIEW auf Mikroprozessoren» als wirksamer Entwicklungsbeschleuniger

I/O	Funktion
7x Digital IN	Bremse An/Aus, Tempomat Ein/Aus, Geschwindigkeitsänderung Plus/Minus, Blinker Links/Rechts, Betriebsmodus Eco/Power
7x Digital OUT	Blinker Links/rechts stellen, Ventilator zur Kühlung der Batterie, Ein/Ausschalten nicht benötigter Komponenten (zB Temperatursensoren), Batterie Ein/Aus, 12V-Ein/Aus, MPPT-Ein/Aus
Encoder	Ist-Geschwindigkeit aus dem Inkrementalencoder der Motorsteuerung
7x Analog IN	Auslenkung Gashebel, Stromsignal aus Solarpanel (LEM), Stromsignal in/aus Batterie (LEM), Stromsignal zum Motor (LEM), Batteriespannung (differenziell), 5V Ist-Spannung nach DC/DC-Konverter. Diese 5V dienen als Referenzspannung der LEM-Sensoren und müssen deshalb überwacht werden.
2x Analog OUT	Stellsignal Geschwindigkeit an den Motorcontroller, Vorgabe Energierückgewinnungslevel beim Bremsen.
I2C-Bus	Brücke zum 1-Wire-Messnetzwerk für 16x Temperatursensoren: Batterie, Solarpanels, Motor und Chassis beim Fahrer, am rechten Rad und in der Nähe des Motors.
CAN	Zustandsabfragen der vier Solarladeregler wie Über- und Unterspannung, Ein- und Ausgangsspannung sowie der Strom, geliefert vom entsprechenden Solarpanelstrang.
UART	Interface zum RF-Baustein für das 2.4 GHz wireless Telemetry-Interface
TFT	Grafische Cockpit-Bedienerführung über 4.3" Touch-TFT
SD-Card	Abspeichern der Betriebsdaten im CSV-Format, Laden von Konfigurationsdaten (Textfiles)

Tabelle 1: Wesentliche I/O's des verwendeten Zbrain-Scheckkarten-Messrechners für Sensoren, Aktoren, Kommunikation und Bedienung im Solarfahrzeug

Grafisch Programmierte Embedded-Anwendungssoftware

Die Embedded-Anwendungssoftware wurde vom SER-Servicepartner RWing Solutions GmbH komplett in der grafischen Entwicklungsumgebung LabVIEW programmiert. Eine skalierbare State-Machine-Architektur ermöglichte jederzeitige Erweiterbarkeit für neue Ideen und Funktionen. Der objektorientierte Ansatz abstrahierte die Komplexität aller angeschlossenen Komponenten (**Tabelle 1**) zu einfach verständlichen Modulen. Der unterlegte Multitaskingkernel führt parallel acht Tasks mit verschiedenen Laufzeiten in unterschiedlichen Intervallen und Prioritäten aus (**Tabelle 2**).

Task	Funktion	Intervall [ms]	Prio	Laufzeit [ms]
Pilot	Lesen der Bedienelemente für Motorsteuerung und Signalisierung, Sollwert-Vorgabe an Motorcontroller	100	1	8
Cockpit	Anzeigen und Update des TFT's sowie Touchbedienung	200	1	50
DAQ	Lesen aller Analogeingänge, Datensatz in Ringpuffer speichern	200	1	10
MPPT	CAN Kommunikation zu Solarladeregler	200	2	6
Telemetry	Drahtlose Kommunikation zum Begleitfahrzeug -> Auslesen der Daten aus dem Ringpuffer und Senden über die 2.4 GHz RF-Schnittstelle	200	2	20
Savedata	Abspeichern des aktuellen Datensatzes aus dem Ringpuffer in ein CSV-File auf der SD-Karte.	200	2	60
Blink	Steuern des Blinkers und Indikator im Cockpit	500	3	2
Temperatur	Einlesen aller Temperaturmesswerte über das 1-Wire-Netzwerk	1000	3	20

Tabelle 2: 8x parallele Tasks in unterschiedlichen Intervallen, Prioritäten und Laufzeiten

Die grafische DSL/4GL-Programmiersprache LabVIEW abstrahierte komfortabel die Komplexität von Hardware, Software, Betriebssystem und Tools. Sie wurde vom «Technical-SER-Partner» National Instruments geliefert. So konnte sich der Softwareentwickler auf den Kern der Mess-/Steuer- und Bedienungsaufgabe konzentrieren und sogar ausgefallene Ideen kreativ und vor allem schnell umsetzen. Neben der enormen Komplexität von I/O und Funktionalität spielten vor allem die Qualitätsmerkmale eine zentrale Rolle. Die Kombination von Embeddedhard- und -software musste "einfach funktionieren", um an der Ziellinie bei den Besten zu sein. Dabei handelt es sich u.a. um vier Merkmale:

Schnelle Bootzyklen : Die live Betriebsdaten sollten im Viersekundentakt an das Begleitfahrzeug übertragen werden. Im Falle eines "Softwareabsturzes" war die Vorgabe, dass der Messrechner innerhalb von mindestens 2 Sekunden wieder 100% verfügbar ist. Hier konnte die ZBrain-Software ihr grosses Plus auspielen. Der NI-ANSI-C-Code-Generator übersetzt nämlich das grafische LabVIEW-Blockschaltbild inklusive Mathematik- und Signalverarbeitungs-VI's in neutralen 32-Bit-C-Code. Das ZBrain-Software-Development-Kit (SDK), ein LabVIEW-Addon für Mikroprozessoren, stimmt diesen sorgfältig auf die unterlegte Hardware ab. Damit wurden nicht nur die Algorithmen und Bibliotheksaufrufe übersetzt, sondern die komplette Applikationslogik inklusive Multitasking und Hardwarezugriffen, welche direkt im grafischen Code implementiert waren. Der so erzeugte Embedded-Applikations-C-Code wurde mit dem Quellcode eines schlanken RT-Kernels verlinkt, mit gängigen Tools (Compiler, Linker) in eine echtzeitfähige Standalone-Firmware überführt und über JTAG direkt ins Flashmemory der Zielhardware geladen. Von dort startet jetzt die Anwendung direkt ohne Betriebssystem innerhalb 1 Sekunde.

Zuverlässiger 24/7-Betrieb : Nach dem Booten geht die Embedded-Software in einen industriellen Dauerbetrieb über und ist gegen Einflüsse von aussen weitgehend unempfindlich. Gelöst wird dies mit dem in LabVIEW üblichen Fehlerbehandlungs-Schema. Etwaige Probleme bei den Hardwarezugriffen sind für LabVIEW jederzeit transparent und es lassen sich unmittelbar Massnahmen einleiten. Im Eskalationsfall wird das System geordnet heruntergefahren und wieder gestartet (Software-Reboot). "Verhakt" sich im ungünstigsten Fall die Software komplett (Embedded- "Blue-Screen"), greift ein auf 2 Sekunden terminierter «Watchdog» ein und führt einen Kaltstart durch. In jedem Fall wird die Gesamtverfügbarkeit von 4 Sekunden eingehalten.

Ausfallsichere Zustandsdaten : Bei einem ungeplanten Neustart gingen alle Zustandswerte verloren, da sie sich im flüchtigen RAM befinden. Abhilfe schuf ein ausfallsicheres Filesystem auf dem schnellen, nichtflüchtigen FRAM. In jedem Zyklus werden darauf die für den Betrieb benutzten Variablen mit einem Sicherheitsalgorithmus abgelegt. Nach dem Booten liest die Embedded-Software die Werte aus diesem Filesystem und prüft, ob sie gültig oder korrupt sind. Erst dann wird der Messbetrieb wieder in demselben Zustand wie vor dem Neustart nahtlos weitergeführt. Für den Pilot zeigt sich dies nur an einem leichten Flackern des Displays.

Skalierbarer Stromverbrauch : Das Energiebudget legte für die Fahrzeugelektronik maximal 5W, also maximal 400mA im 12V-Board-Subnetz fest. Die Peripherie mit Solidstaterelais, Batteriemonitor, Bremsrelais und Solarladeregler konsumieren insgesamt 2.5 W. Blieben also noch rund 2.5W für den «Z48-C1»-Messrechner inklusive Baseboard-I/O und Display. Das verlangte nach dynamischem Powermanagement. Darunter fallen die Skalierung des CPU-Clocks von 50 – 500 MHz, permanentes Abschalten nicht benötigter Komponenten (zB. Ethernet) und temporäres Ein- und Ausschalten des Temperaturnessnetzwerkes. Auch bei den Datentypen wurden bei den Berechnungen und Datenübertragung Energie gespart, indem anstelle der viel praktischeren, aber rechenintensiven Fließkomma-Arithmetik die viel effizientere Fixkomma-Arithmetik gewählt wurde. Auch die Helligkeit des Displays wurde über einen Lichtsensor optimal den Verhältnissen angepasst. Dank diesen Massnahmen reduzierte sich der Energieverbrauch des Mess- und Steuerrechners auf durchschnittlich 1.9 Watt. Die Rennstrategie im Begleitfahrzeug (siehe nächster Abschnitt) überwachte jederzeit den aktuellen Stromverbrauch und liess diese Information ebenfalls in die Messstrategie einfließen.

Live-Rennstrategie und Datenanalyse

Der Pilot im Cockpit hat nur begrenzte Möglichkeiten, die umfangreich anfallenden Daten live zu analysieren und für die Rennstrategie eines 3.000km langen Strassenrennens Schlüsse zu ziehen. Ein zuverlässiges Telemetriesystem zwischen Solarmobil und Begleitfahrzeug spielte deshalb bei der Rennstrategie und dem Energiehaushalt eine entscheidende Rolle. Während sich der Pilot auf die Strasse und einen energiewirksamen Fahrstil konzentriert, wertet das Begleitteam die live übertragenen Betriebsdaten aus, kombiniert sie mit meteorologischen Informationen und der Restdistanz und -zeit bis zum nächsten Kontrollstop gewonnen aus den GPS-Daten. Speziell die Leistung der Photovoltaik und die „Gesundheit“ der Batterie werden genau überwacht. Als Ergebnis erhält der Pilot per Funk eine neue Fahrtaktik oder eine Geschwindigkeitsanpassung.



Bild 4 : Im Begleitfahrzeug sind alle wichtigen Betriebsdaten auf einen Blick auf dem Monitor erkennbar: die Photovoltaik-Leistung (grün), die Batteriespannung (rot), die Motorleistung (orange) und die resultierende Fahrzeug-Geschwindigkeit (blau)

Als sinnvolle Ergänzung zu den in der Telemetrie-Software bereits dargestellten Daten boten sich einfache Berechnungen, Trendkurven und Energiebilanzen an, die während der Fahrt im Begleitfahrzeug im 4-Sekundentakt mit der Open-Source-Software «R» live berechnet wurden. Einige Beispielanwendungen zu grafischen Auswertungen, die auf der World Solar Challenge eingesetzt wurden, sind im Folgenden aufgeführt.

Verbrauchswerte des Fahrzeugs bei verschiedenen Geschwindigkeiten

Bereits vor dem eigentlichen Rennen gewannen die Rennstrategen aus den Leistungs- und Geschwindigkeitsdaten wichtige Erkenntnisse zum optimalen Betriebspunkt des Fahrzeugs. In der Grafik (**Bild 5**) ist ersichtlich, dass der Energiebedarf pro Kilometer gefahrener Strecke über ein breites Band an Geschwindigkeiten von 60-80km/h bei etwa 15-16 Wh/km liegt. Bei höheren Geschwindigkeiten nimmt der Energieverbrauch durch den zunehmenden Luftwiderstand überproportional zu. Durch den konstanten Verbrauch war ausserdem eine gewisse Flexibilität bei der Geschwindigkeit möglich.

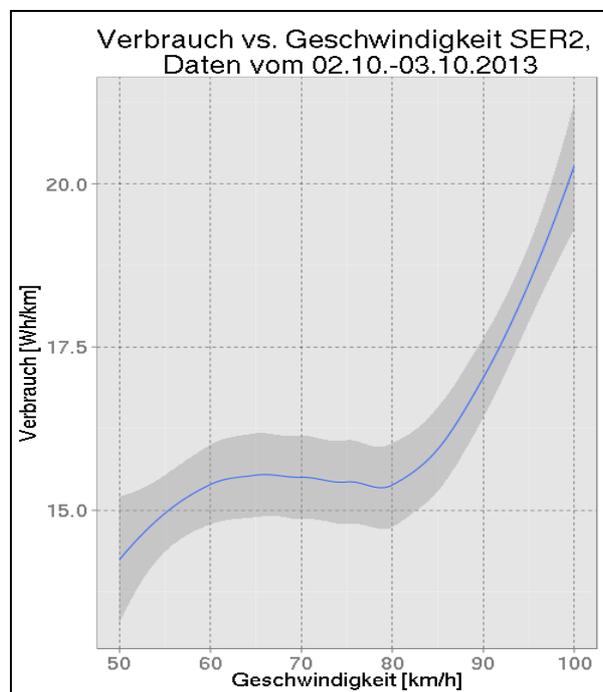


Bild 5 : Die Verbrauchswerte des Fahrzeugs abhängig von der Fahrgeschwindigkeit für einen optimalen Betriebspunkt zwischen 60-80 km/h

Tagesverlauf der Photovoltaikleistung

Durch die speziellen Fahrbedingungen der «World Solar Challenge», insbesondere der Fahrzeit zwischen 8:00 und 17:00 Uhr, ergibt sich für die Leistung des Photovoltaik-Arrays (**Bild 4, grün**) ein typischer Kurvenverlauf (**Bild 6 links**), der aus den Telemetriedaten live oder im Nachgang offline darstellbar ist. Ausserhalb der Fahrzeit (vor 08:00 Uhr und nach 17:00 Uhr) kann der Photovoltaik-Array optimal zur Sonne ausgerichtet werden, gleichfalls auch bei den obligatorischen Kontrollstops (hier: 10:15-10:45 und 13:15-13:45). Insbesondere bei den Stops um die Mittagszeit ist zusätzlich zur optimalen Ausrichtung noch der Effekt der aktiven Wasserkühlung des Arrays zu sehen. Eine weitergehende Analyse der Daten zeigte, dass diese Kühlung bei den verbauten Zellen im Schnitt etwa 50 Watt Mehrleistung auf das gesamte Array gesehen erbringt.

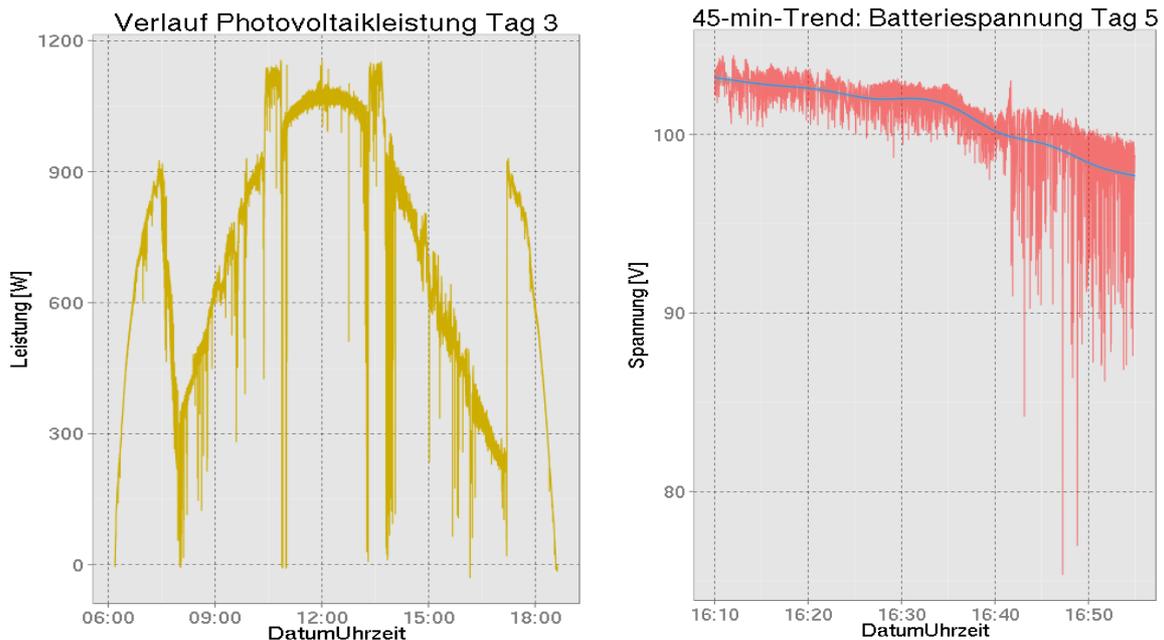


Bild 6 : Leistung der Photovoltaik-Arrays im Tagesverlauf eines typischen Renntags (links). Die Batteriespannung gelangte ab 16:40 Uhr in ihren kritischen Bereich (rechts)

45-Minuten-Trend der Batteriespannung im kritischen Bereich am 5.Tag.

Die Batteriespannung der Fahrzeugbatterie selbst (**Bild 4, rot**) bildet einerseits die Grundlage der Ladezustandsschätzung über die Kennlinie der Einzelzellen, ist aber andererseits auch ein starker Indikator für den Gesundheitszustand der Batterie. Bei der eingesetzten Batteriekonfiguration lag die Untergrenze der Spannung bei 93V. Gleichzeitig ist aber bereits bei Spannungen unter 98V eine Schädigung der Batterie durch zu tiefe Entladung nicht mehr ausgeschlossen. Während der «World Solar Challenge» war daher am fünften Renntag ab etwa 16:40 Uhr aus einer live erstellten Trendkurve (**Bild 6 rechts**) klar, dass die Batteriespannung schneller als bis anhin einzubrechen begann und ausserdem bei sonst unveränderten äusseren Bedingungen plötzlich sehr starke, "ungesunde" Ausschläge nach unten auftraten. Dies führte zur gesicherten Entscheidung, die Geschwindigkeit in den letzten 20 Minuten von 75km/h auf 60km/h zu reduzieren.

Energiebilanz der Batterie über das gesamte Rennen (fünf Tage)

Aus strategischer Sicht am interessantesten ist der Energieinhalt der Batterie. Dieser lässt sich mit Hilfe der Live-Telemetriedaten sehr genau und zuverlässig zu jedem beliebigen Rennzeitpunkt schätzen. Im Nachhinein ergibt sich der in **Bild 7** dargestellte Verlauf über das Gesamtrennen. Die Rennbatterie wurde zu Rennbeginn kontrolliert auf einen höheren Ladestand als "per Design" geladen. Der volle Ladestand wurde zu Beginn des dritten und vierten Tages wieder erreicht, da die Wetterbedingungen mehr Photovoltaikleistung als erwartet leisteten und der Energieverbrauch des Fahrzeugs gleichzeitig geringer als erwartet ausfiel. Der rapide Abfall der Energie in der zweiten Tageshälfte des 10. Oktober ist auf die Wetterbedingungen an diesem Tag zurückzuführen. Sobald die Sonneneinstrahlung zurückgeht, wird die Batterie schnell entladen, was auch ihre Rolle als Energiepuffer (statt als grösserer Energiespeicher) betont.

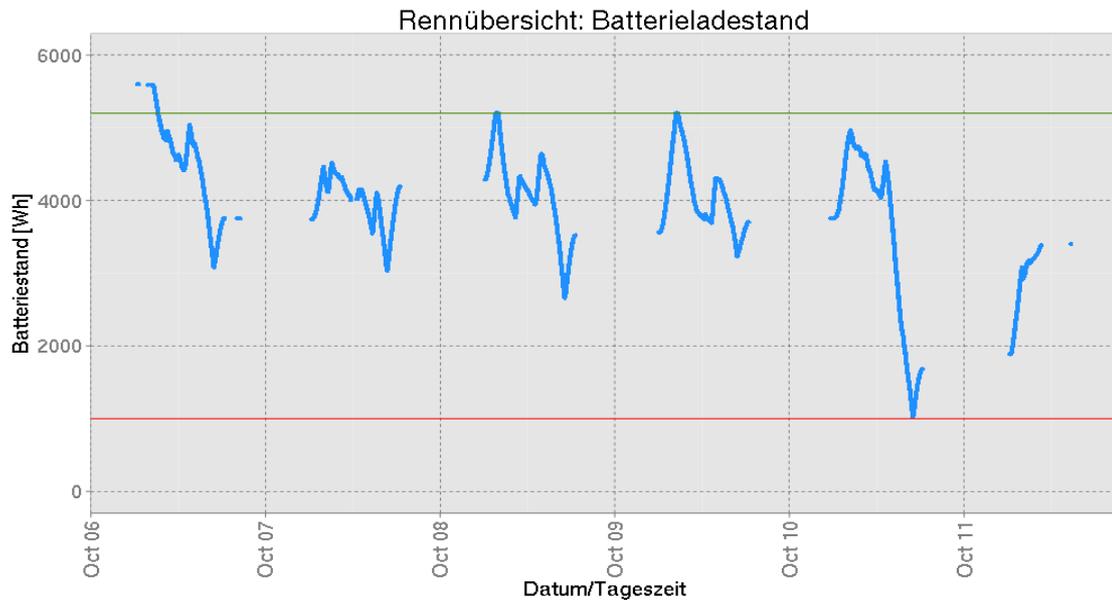


Bild 7: Energiestand der Batterie über das gesamte Rennen. Der starke Energieverbrauch am 10. Oktober war wetterbedingt (Regen)

Energiebilanz in Zahlen

Nach den im Nachgang erfolgten genaueren Berechnungen stellt sich die Energiebilanz des Gesamtrennens von Start bis Ziel bei 2998km etwa wie folgt aus.

- eingenommene Energie über die Photovoltaik: **$P_V = 39'700 \text{ Wh}$**
- Zurückgewonnene Rekuperationsenergie: **$P_R = 660 \text{ Wh}$**
- Genutzte Batterieenergie: **$P_{\text{Batt}} = 2'600 \text{ Wh}$**
- Summe **$P_{\text{total}} = 42'960 \text{ Wh}$**
- Damit resultiert bei einer Streckenlänge von 2998km ein Verbrauch von **14.33 Wh/km**.

Sparsam, cool, schnell: der Tesla-Roadster macht's vor !

Das hier vorgestellte, solarbetriebene Rennfahrzeug zeigt, was durch innovatives Nutzen und Kombinieren von Standardkomponenten alles erreichbar ist. Insbesondere der auf die Gesamtstrecke benötigte Energiebedarf von knapp 43 kWh liegt um mehrere Größenordnungen unter dem auf einer gleich langen Strecke mit konventionellem Kraftstoff betriebenen Fahrzeug. Ein heute übliches 1.6t schweres Dieselfahrzeug mit einem Verbrauch von 7l/100km, einem Brennwert für Diesel von 45MJ/kg und einer Dichte 0.82 g/cm³ hätte bei 100% Umsetzung des Brennerts etwa 2'150 kWh verbraucht. Das ist das 50-Fache gegenüber einer nur 7x grösseren Masse des Solarfahrzeuges ! Der Roadster «Tesla» Model S zeigt, dass Elektromobilität sparsam, cool und schnell sein kann und deshalb kommerziellen Wert hat. Der 2.2t schwere Tesla verbraucht mit 220 Wh/km und einem Massenverhältnis von 10:1 nur noch 15x mehr als das hier beschriebene Solarmobil.

Autoren

Marco Schmid, Ing. Systemtechnik FH, marco.schmid@schmid-elektronik.ch , Schmid Elektronik AG, Münchwilen/TG, Schweiz, Gold-Sponsor der Solar-Energy-Racers

Georg Russ, Dr.-Ing. , georg.russ@ieee.org, Solar Energy Racers Strategy, Wil SG, Schweiz

Roland Widmer, El-Ing FH, widmer@rwing.ch. RWing Solutions GmbH, Frauenfeld, Schweiz, Service-Partner der Solar-Energy-Racers.

INFOS

Schmid Elektronik AG

Gold-Sponsor der «Solar Energy Racers»

Electronic Design Specialty Partner
von National Instruments

9542 Münchwilen TG
Tel. +41 71 969 35 90
info@schmid-elektronik.ch
www.schmid-elektronik.ch