

Whitepaper

# LabVIEW Embedded Anwendungen in Action



Die Einsatzmöglichkeiten von LabVIEW auf Embedded-Hardware sind grundsätzlich genauso vielfältig wie die generellen Einsatzmöglichkeiten von LabVIEW selber. Sie reichen von stationären Anwendungen bis zu mobilen [Handmessgeräten](#). Von [Zustandsüberwachung](#) und [vorbeugender Wartung](#) über [Energiegewinnung und -übertragung](#) bis zu [Mobilität und Transport](#). Folgende Eigenschaften zeichnen diese Produkte im Vergleich zu LabVIEW-Labor-Anwendungen aus:

1. Die Aufgaben sind oft komplex und erfordern eine durchdachte Softwarearchitektur
2. Sie sind echtzeitfähig und die Messwerterfassung skaliert bis in den MHz-Bereich
3. Sie müssen zuverlässig im 24/7-Dauerbetrieb funktionieren
4. Einige Anwendungen laufen im Akkubetrieb

In dieser Liga sind Requirements- und Software-Engineering, eine effiziente Hardwareabstraktion und skalierbare Software-Architekturen genauso wichtig wie bei traditionellen Embedded-Systemen. Es hat viele Vorteile, während dem grafischen Codieren in LabVIEW in ressourcenschonendem «C» zu denken. Das heisst: Ein Verzicht auf dynamischen Speicher, fette Datentypen, auf Speicherlecks (Memory Leaks) achten und konsequent Fehler erkennen und korrigieren.

Dieses Whitepaper erzählt aus der Perspektive aussergewöhnlicher LabVIEW Embedded Anwendungen aus der Praxis von Schmid Elektronik. So digitalisierte Schmid etwa die traditionelle Bahntechnik mit [modernsten Lasermessgeräten](#) und legte damit den Grundstein zu Condition Monitoring und Predictive Maintenance. Das Ergebnis: Ein modularer und feldgeprüfter Embedded-Hardware- und Softwarebaukasten. Dieser entpuppte sich Jahre später als Schlüssel

zum Grossprojekt eines Energieriesen in der [Norwegischen Tiefsee](#). Das wurde zur Geburtsstunde von LabVIEW Embedded. Diese innovative Technologie, zusammen mit IoT-Knowhow aus dem Bahnbereich, öffnete schliesslich die Tür zu einem Grossprojekt des gleichen Konzerns: ein [Telemetriesystem für die Öko-Rennstrecke](#) und datenzentrierte Strategien. Das ist ein sinnvoller und konkreter Schritt in die Richtung einer nachhaltigen Energie- und Mobilitätszukunft.

Für einige sensible Bereiche ist der Einsatz von LabVIEW im Serienprodukt aufwändig oder gar unmöglich, da für grafische Sprachen die Normengrundlagen und Richtlinien fehlen und den Softwarecode nicht zertifizierbar macht. Hier kommt LabVIEW meistens in der [Forschung](#), bei Machbarkeitsstudien, bei MVPs, im Prototyping oder bei Mess- und Testsystemen zum Einsatz.

## Inhalt

<b>1 Zustandsüberwachung</b> .....	3
1.1. Extremsituation erfordert Pipelineüberwachung 1000m unter dem Meeresspiegel.....	3
1.2. Zustandsüberwachung in Kraftwerken.....	4
1.3. Überwachung kritischer Bau-Infrastruktur.....	4
<b>2 Sicher, komfortabel und pünktlich Bahn fahren</b> .....	5
2.1. Digitale Zustandserfassung von Bahnschienen und -weichen.....	6
3.1. Vorbeugende Wartung dank intelligentem Schleifen von Bahnschienen.....	7
<b>3 Energiegewinnung, -übertragung und -effizienz</b> .....	8
4.1. Energie mit 80% Wirkungsgrad aus Solarenergie gewinnen.....	9
4.2. Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung testen.....	9
4.3. Dank Telemetrie die Energieeffizienz steigern.....	10
<b>4 Mobilität &amp; Transport</b> .....	12
5.1. Dezentrale Messtechnik in der Radnabe und Telemetrieanschluss.....	12
5.2. Dashboard-MVP für Rennfahrer im Motorsport.....	13
5.3. Rennabläufe dank intelligenter Fahrzeuge automatisieren.....	14
5.4. Nur mit der Kraft der Sonne durchs Australische Outback.....	15
<b>5 Mobile akkubetriebene Handmessgeräte und Portable</b> .....	16
6.1. Das Aufzugserlebnis auf eine neue Ebene bringen.....	16
6.2. Mobiles LIDAR-Messgerät für eine Outdoor-Anwendung.....	17
6.3. Ein intelligentes Lasermodul fürs Auge.....	19
6.4. Schlafüberwachung «am Menschen» im Medizinalbereich.....	20
<b>6 In der Forschung</b> .....	21
7.1. Autonome Spinnenroboter für Katastropheneinsätze.....	21
7.2. Forschungsbeschleunigung für Zweilitersatellit.....	22

# 1 Zustandsüberwachung

## 1.1. Extremsituation erfordert Pipelineüberwachung 1000m unter dem Meeresspiegel

Es ist das Jahr 2006. Eine für die Pipelineüberwachung in der [Ormen Lange](#) betraute Norwegische Technologiefirma Naxys steht vor massiven Herausforderungen: Ein Messnetzwerk 1'000 Meter unter dem Meeresspiegel, akustisches Synchronisieren von sechs Messknoten in Millisekunden und sechs Monate Dauerbetrieb - in nur sieben Monaten zu entwickeln!

Die Wahl fällt auf die noch junge Technologie „LabVIEW Embedded“ und Naxys kontaktiert Schmid Elektronik. Diese verfügt erstens über einen modularen Hardwarebaukasten, feldgeprüft in [Schienenmessgeräten für den rauen Bahnbereich](#). Zweitens hat Schmid gerade die Machbarkeit von LabVIEW Embedded für diesen Bahnbereich bestätigt und plant die Umsetzung. Zusammen gehen Schmid und Naxys an das Pipeline-Messnetzwerk heran. Ein [Video](#) und ein [bieten dem interessierten Leser einen Deep-Dive in die Projektumsetzung](#). Jedenfalls wird das Monitoringsystem pünktlich geliefert und das Projekt erfolgreich abgeschlossen.

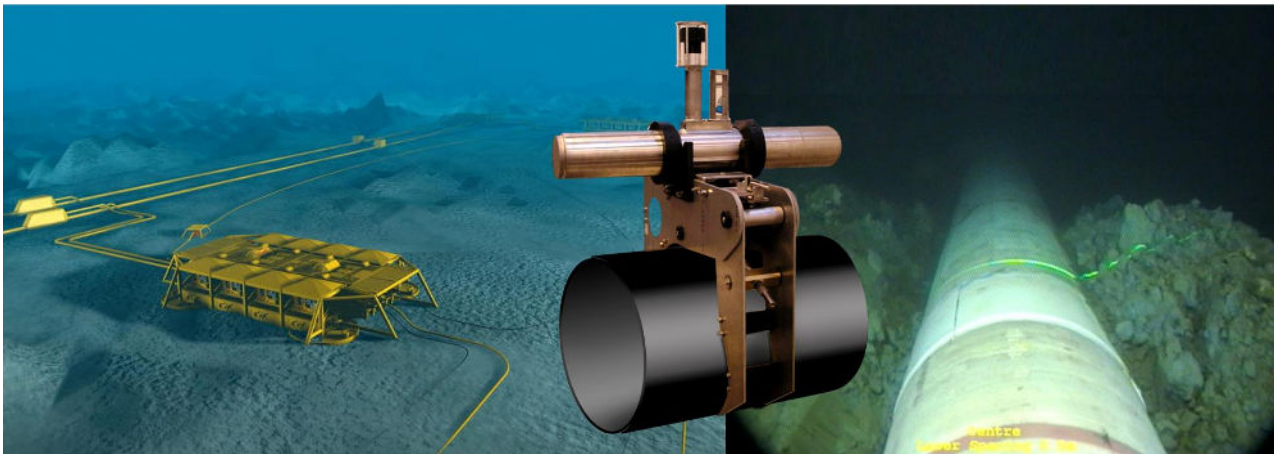


Bild 1 | Grafisch programmierte, zeitsynchrone Vibrationsmessung: ein halbes Jahr an der Batterie und im Dauerbetrieb– in 1000m Tiefe.

Der Erfolg in der Norwegischen Tiefsee ist medienwirksam und das Gemeinschafts-Paper von Naxys und Schmid erhält an den VIPDays 2007 in Fürstentum Brück den Best-Paper-Award. Das belohnt Schmid Elektronik mit der [NI Partnerschaft](#) (nun ein Teil von EMERSON) und bringt sie mit NI's R&D-Team in Austin, Texas/USA, zusammen. Die Bedenken, ob grafisches Programmieren mit LabVIEW auf Embedded-Hardware zuverlässig sei, sind mit diesem Projekt vom Tisch und das zündet eine Produktidee: die Zbrain-Plattform! Diese wird bis heute von zahlreichen Schmid-Kunden als Design- und Entwicklungsbeschleuniger eingesetzt. LabVIEW Embedded als Enabler der Plattform skaliert später vom C-Generator nach Linux, Multicore-Mikrocontroller und FPGA.

Was wir zu diesem Zeitpunkt nicht ahnen: 10 Jahre später sollte es genau diese Zbrain-Plattform sein, welche die Tür zu einem weiteren Grossprojekt des gleichen Konzerns öffnet. Ein [Renn-IoT-System](#) für den [Shell Eco-marathon](#)... Es wird sich um eine ähnliche «Mission Impossible» handeln, die dank dem Zbrain erfolgreich über die Bühne gehen wird und Schmid Elektronik in die Reihe der [Partner des Shell Eco-marathon](#) aufnimmt. Aber das ist eine ganz andere [Geschichte](#).

## 1.2. Zustandsüberwachung in Kraftwerken

Ein innovativer Schweizer Pionier demonstrierte, wie «LabVIEW Embedded» Kreativität und Produktivität regelrecht entfesseln kann und als Entwicklungsbeschleuniger wirkt. In nur zwei Jahren wurde eine Produktfamilie mit mehreren stationären und portablen, serienreife Transientenrecordern für Teilentladungen entwickelt.

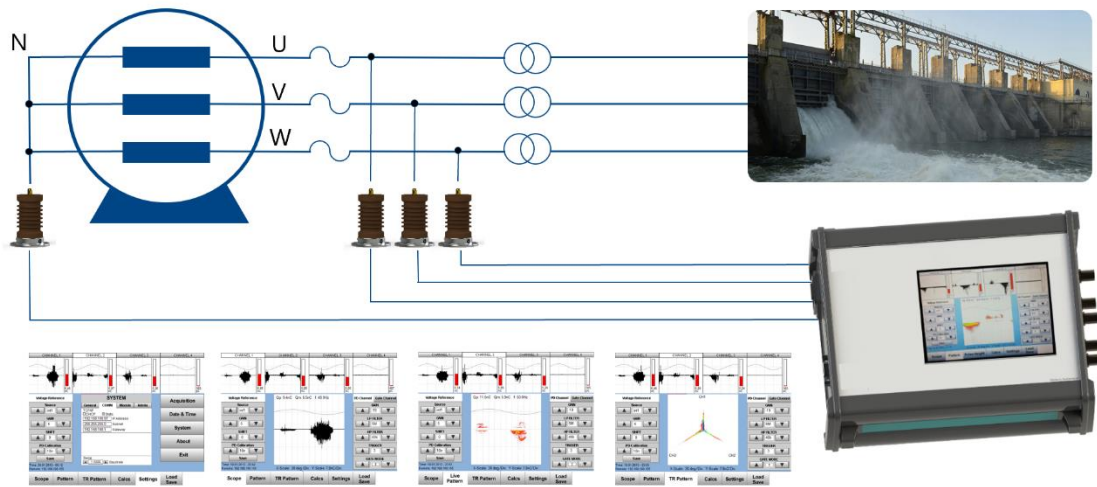


Bild 2 | Aussagekräftige Zustandsinformation eines Kraftwerkes dank Hochverfügbarkeit im robusten 27/7-Betrieb.

Simultane Messwerterfassung mit 6x 64kHz, kontinuierliche Transientenanalyse von 384'000 Werten pro Sekunde, gleichzeitige TCP/IP-Kommunikation und ein umfangreiches GUI auf einem 5.7" Multitouchdisplay zeigten, dass grafisch programmierbare Mikrocontroller ausgewachsene Anwendungen zur Zustandsüberwachung hervorbringen können.

## 1.3. Überwachung kritischer Bau-Infrastruktur

Vibrationen, die in Singapurs Baustellen erzeugt werden, können nachteilige Auswirkungen auf umliegende Gebäude, Strukturen und vibrationsempfindliche Einrichtungen haben. Dazu gehören Krankenhäuser, medizinische Labors und Halbleiterfertigungsanlagen, in denen empfindliche Geräte wie Elektronenmikroskope, MRT-Scanner, chirurgische Mikroskope und Laserprofilometer usw. untergebracht sind.

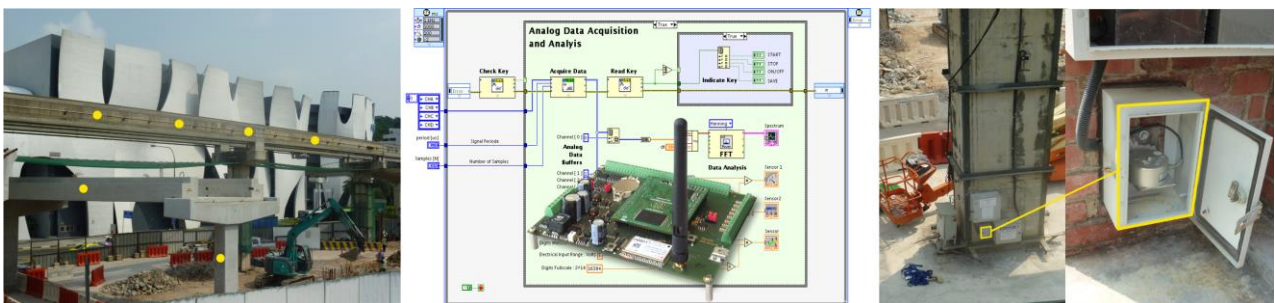


Bild 3 | Erkennen und Analysieren sensibler Mikro-Vibrationen sowie Schadensmeldung über SMS. Eine Woche lang am Akku.

Die Anforderung: Erkennen und Analysieren von Schwingungen mit extrem niedriger Amplitude, die unterhalb der für den Menschen spürbaren Intensität liegen. Das dafür entwickelte Mikro-Vibrations-Überwachungssystem verhindert potenzielle Schäden, die durch die Vibrationen verursacht werden können, wie z. B. Fehlfunktionen der Ausrüstung und Bildfehler. Das mit LabVIEW Embedded und der Zbrain-Plattform entwickelte Überwachungssystem bietet neben der systematischen Aufzeichnung von Daten auch einen Alarm für sofortige Schadensbegrenzung. Dazu wird im Notfall per SMS eine Warnmeldungen abgesetzt.

## 2 Sicher, komfortabel und pünktlich Bahn fahren

Hier geht es um digitale Qualitätssicherung im öffentlichen Bahnverkehr und wie LabVIEW auf Embedded-Hardware Beiträge zu Pünktlichkeit, Komfort und Sicherheit lieferte. Der zugrunde liegende Kontakt zwischen Rad und Schiene ist eine knallharte Stahl-zu-Stahl-Verbindung. Sobald ein neues Gleis eingebaut und der erste Zug darübergefahren ist, erfahren Schienen, Weichen und Räder kontinuierlichen Verschleiss. Im Alltag erleben wir das hautnah, wenn etwa ein Zug mit lautem Quietschen in den Bahnhof einfährt und sich Rad und Schiene gut hörbar abnutzen. Irgendwann sind sie bis an die zulässigen Grenzen abgenutzt und müssen ausgetauscht werden. Dieser Tausch ist teuer, unterbricht den Bahnverkehr und deshalb wird er so lange wie möglich hinausgezögert. Um die Sicherheit der Passagiere jederzeit zu gewährleisten, wird die Infrastruktur regelmässig überwacht und gewartet.



Bild 4 | Sicherheit, Pünktlichkeit und Komfort beim Tram, der Metro, der Vollbahn und dem Gütertransport verlangen nach Zustandserfassung und vorbeugender Wartung.

Für die Instandhaltung von Weichen gibt es seit den Siebzigerjahren eine einheitliche mathematische Theorie und physikalische Modelle. Die daraus entstandenen allgemeinen und spezifischen Normen beschreiben Lehren und Rezepte, wie diese abnutzende Infrastruktur gemessen und mit Schweissen und Schleifen gewartet werden muss. So wird sichergestellt, dass die Zugpassagiere jederzeit sicher, pünktlich und komfortabel von A nach B kommen. Die länderspezifischen Normengrundlagen bestehen

- erstens aus geometrischen Sollprofilen für Schienen, Weichen und Räder.
- Zweitens werden Fehlermechanismen und Toleranzgrenzen beschrieben, wie etwa der zulässige Horizontalverschleiss 14mm unter der Oberkante eines Schienenquerprofils.

Solche Werte wurden lange mit fehleranfälligen, mechanischen Lehren erhoben. Diese wurden auf die Schiene gelegt, simulierten so ein Radprofil und lieferten über eingravierte Kerben die Kennzahlen. Profile wurden mit mechanischen Tastern, die über die Schiene fahren, gemessen.

Der Millenniumswechsel sollte diese Tradition ändern und ein neues Digitalzeitalter einläuten...Zu dieser Zeit hat nämlich ein Schweizer Pionier aus der traditionellen Inspektions- und

Instandhaltungs-Branche von Tramnetzen, U-Bahnen und Lokalbahnen eine Vision: im Gleis der Zukunft mittels Präzisionslaser berührungslos den digitalen Zwilling von Schienenprofilen schaffen, aus dessen Daten den Verschleissgrad berechnen und daraus Wissen für die Instandhaltung gewinnen. Jedenfalls sucht dieser Pionier einen Technologiepartner, der seine Vision in feldtaugliche Geräte umsetzen soll: Schmid Elektronik! Was aus dieser Vision geworden ist und welche Rolle LabVIEW und die Zbrain-Plattform darin spielen, zeigen die nächsten zwei Abschnitte. [Diese Geschichte](#) auf ni.com geht näher auf die technischen Details ein.

## 2.1. Digitale Zustandserfassung von Bahnschienen und -weichen

Schon bald nach dem Projektstart zeichnet sich ab, dass in den kommenden Jahren mehrere mobile und stationäre Geräte entstehen werden und unterschiedlicher I/O benötigt wird. Schmid Elektronik entwickelt deshalb parallel zu den Schienenmessgeräten einen modularen Embedded-Hardware- und Software-Baukasten; von analogen Präzisionseingängen für die Lasermodule bis zu Servoantrieben für Linearschlitten. Diese Funktionsmodule werden laufend im rauen Umfeld der Bahninstandhaltung geprüft und die Erkenntnisse fließen zurück in die Entwicklung. Das Herz und Hirn dieser Hardware ist ein digitaler Signalprozessor von Analog Devices, welcher vorerst objektorientiert mit C++ programmiert wird. Ein paar Jahre später wird diese textbasierte Sprache im Rahmen eines [Tiefseeprojekts](#) durch LabVIEW Embedded abgelöst und daraus zusammen mit den feldgeprüften I/O-Modulen die Zbrain-Plattform entstehen.

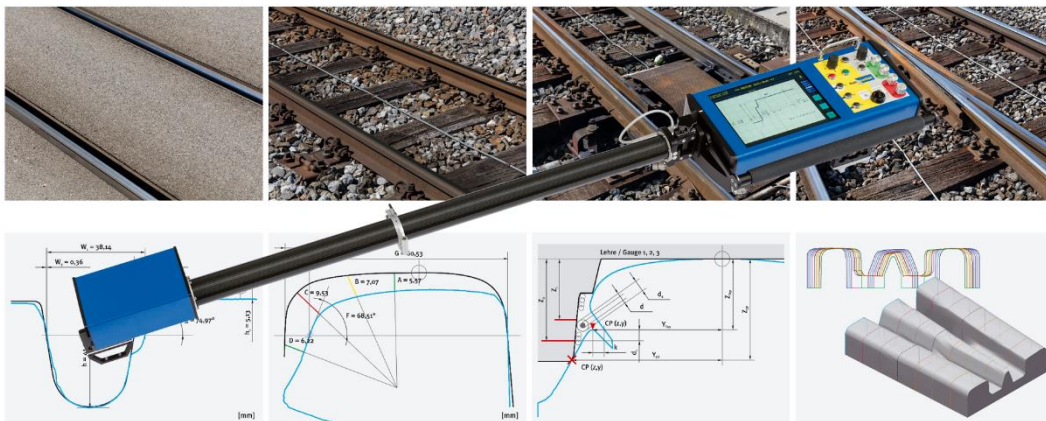


Bild 5 | Das laserbasierte, grafisch programmierte Schienenmessgerät ist einerseits leicht und handlich, bietet eine Akkulaufzeit von 8h, funktioniert zuverlässig im rauen Feldeinsatz während der ganzen Nachtschicht und wird so zum digitalen «Partner» des Inspektionspersonals.

Zurück auf die Schiene. Hier spielt LabVIEW bei der Datenauswertung eine entscheidende Rolle. Der Clou: Schmid lernt aus den traditionellen und weit verbreiteten Inspektions- und Instandhaltungsstandards, transformiert sie vom Analogen ins Digitale und entwickelt nahe an der Praxis. Ich erinnere mich noch gut an die vielen Nachteinsätze auf Zürichs Tramnetz zwischen 1:00-4:00 Uhr. Das ist das Zeitfenster für die Inspektion und Instandhaltung. Kaum zu glauben, was sich da neben den Gleisen so alles abspielt... Dank dieses Vorgehens wird die neue Methode von Gleisbauern und -schleifern adoptiert und die höhere Produktivität sehr geschätzt. Sämtliche Auswertalgorithmen, etwa die Zentrierung von Soll- und Istprofil und das Berechnen des radialen Verschleisses werden in LabVIEW programmiert und das bietet diesen Anwendern einen enormen Wettbewerbsvorteil gegenüber denen mit mechanischen Lehren und Notizblock.

Mit der Zeit erweitert sich der Aktionsradius von Schmid's digitaler Inspektionslösung. Bald findet das Gerät in ganz Europa Anklang und findet später seinen Weg in die USA, nach Australien, Neuseeland, Singapur und auch nach China. Eines der Highlights ist die Zulassung durch die Deutsche Bahn für ihr Hochgeschwindigkeitsnetz. Es ist das erste laserbasierte Handmessgerät, welches für Querprofile für Netze über 280km/h zertifiziert wird. Das setzt eine Lasergenauigkeit von 50µm voraus.

Ein zweites Highlight ist die Inspektion von Weichen. Hier handelt es sich um die kritischste Bahn-Infrastruktur. LabVIEW wird zum Enabler, um altes und in Vergessenheit geratenes Weichen-Knowhow aus den Siebzigerjahren zu reaktivieren, zu digitalisieren und diesen Überwachungsprozess zügiger, transparenter und präziser zu gestalten. Dadurch können die Weichen so lange in Betrieb bleiben, bis sie an ihre zulässigen Grenzen abgenutzt sind, ohne dass der Fahrkomfort oder die Sicherheit leiden. Der Nutzen spricht für sich: eine erwartete 25% längere Lebenszeit und 25% Einsparung bei der Wartung!



Bild 6 | Lasergestützte, automatisierte Zustandsüberwachung von Bahnschienen-Infrastruktur: Zwei Laserscanner (schwarz) sind mit dem Hauptrechner (rote Box) verbunden und werden von LabVIEW Embedded gesteuert. Die Messdaten werden nach einem Netzplan strukturiert abgelegt, verarbeitet und jedem stufengerecht zugänglich gemacht.

### 3.1. Vorbeugende Wartung dank intelligentem Schleifen von Bahnschienen

Ist dank der Inspektion der Verschleisszustand der Schienen und Weichen bekannt, werden vom Verkehrsbetrieb Wartungspläne erstellt und externe Wartungsdienstleister beauftragt. Diese rücken jeweils nachts aus und schleifen oder fräsen die Infrastruktur während der Betriebspausen wieder in den Neuzustand. Es ist erwiesen, dass intelligente, mit Mess- und Regeltechnik ausgestattete Maschinen, klare Wettbewerbsvorteile bieten.

Aus diesem Grund findet die bisher für die Inspektion genutzte Messtechnologie ihren Weg in die Schleiffahrzeuge. Da wird zuerst der aktuelle Zustand des Gleises aus der Cloud geladen und anhand der Profilabweichungen die Schleifdurchgänge geplant. Schliesslich wird der Schleifprozess mit Laserscannern überwacht, bis das Schienenprofil wieder der Sollgeometrie

entspricht. Damit lässt sich gezielt Schleifen und damit die Anzahl der Durchgänge reduzieren. Die aus den Messergebnissen gewonnenen Stellgrößen werden via CAN oder Ethernet an die Schleiftopfregelung übertragen.

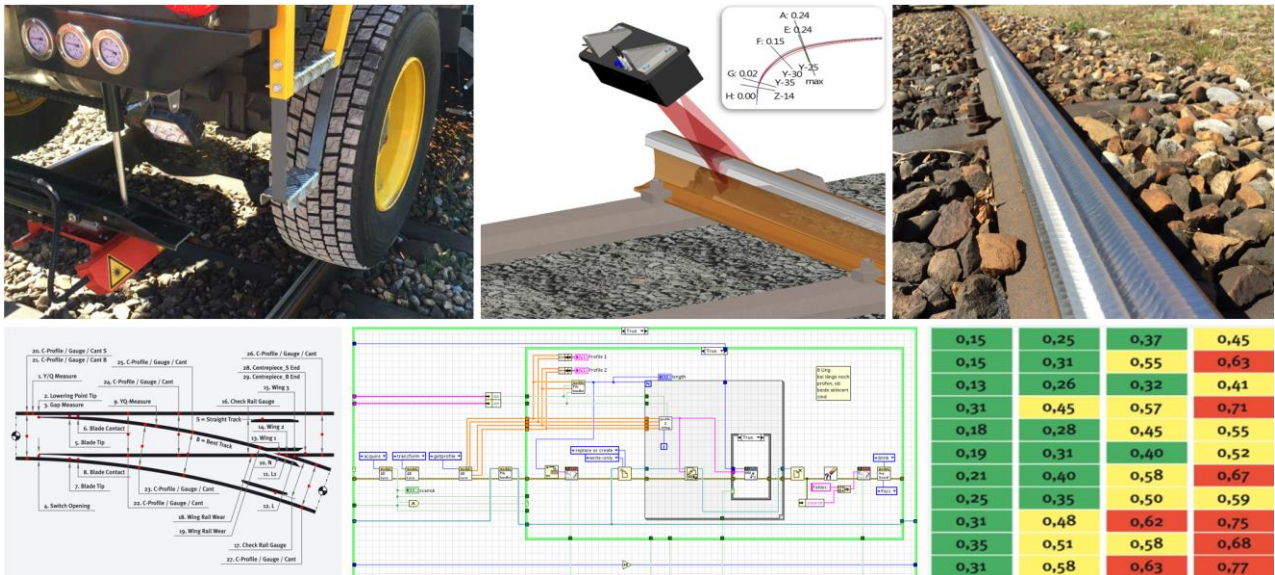


Bild 7 | Harte Outdoor-Anforderungen für ein Schienenmessgerät in der aggressiven Umgebung von Schleifzügen: ein Temperaturbereich von  $-20^{\circ}$  bis  $80^{\circ}\text{C}$ , Vibrationen und Stöße, Schleifstaub, Funkenregen und Feuchtigkeit – da ist Robustheit und Zuverlässigkeit gefragt.

Das Messsystem im intelligenten Schleiffahrzeug besteht im Wesentlichen aus fünf Komponenten:

1. Zwei Lichtschnittsensoren - «Laservorhänge» - die mit 20 Hz und einer Punktwolke von 1.500 Messpunkten mit einer Genauigkeit von 0,25 mm beide Schienenprofile simultan abtasten.
2. Eine robuste Hauptsteuerung inklusive Messrechner mit dem NI System on Module (SOM), SSD-Harddrive und GPS-Modul.
3. Ethernet und WiFi zum übergeordneten Leitrechner oder Anzeigedisplay
4. 4G-Modul für die Anbindung an das IoT.
5. Alles untergebracht im gefrästen IP65-Alugehäuse.

Das erarbeitete Kommunikations-Knowhow aus Punkt 3 und 4 sind mit ein Grund, warum Schmid Elektronik später das [Renn-Strecken-IoT-Projekt](#) annehmen wird.

### 3 Energiegewinnung, -übertragung und -effizienz

Ein sauberer und nachhaltiger Einsatz von Energie und Energie-Effizienz zieht sich wie ein roter Faden durch die [Geschichte von Schmid Elektronik](#). Heute unterstützt Schmid die Branche in drei Nischenbereichen: Energie nachhaltig erzeugen, effizient wandeln und achtsam nutzen:

## 4.1. Energie mit 80% Wirkungsgrad aus Solarenergie gewinnen

Mit konzentriertem Sonnenlicht kann man nicht nur Strom, sondern auch warmes Wasser gewinnen. Letzteres lässt sich wiederum zur Kühlung oder für sauberes Trinkwasser verwenden. Das in der Schweiz entwickelte Kleinsolarkraftwerk «Sonnenblume» konzentrierte über eine Parabol-schüssel das Sonnenlicht im Brennpunkt auf das 2000-Fache. Jeder, der schon einmal mit Lupe und Sonne experimentiert hat, kennt die Wirkung. Dank der Kombination hocheffizienter Solarzellen und eines aktiven Wasserkühlsystems stieg der Wirkungsgrad auf bis zu 80%. Ein Tracking-system führte die Schüssel um zwei Achsen immer direkt der Sonne nach, daher ihr Name.



Bild 8 | Eine Vision für hocheffiziente Solarenergie von morgen mit komplexem Technologiemicx: von der groben Betonstruktur bis zum mikromechanischen Silizium-Kühlungssystem, mit grafisch programmierbarem Embedded-System mit Sicherheits- und Notfallfunktionen, IoT-Link und lokalem Messnetzwerk mit über 100 angesteuerten Sensoren und Aktoren am CAN-Bus.

Das Hirn der Anlage war eine grafisch mit LabVIEW programmierbare, massgeschneiderte Embedded-Hardware. Die 10m hohe und 18 Tonnen schwere Sonnenblume lieferte an einem sonnigen Tag eine Leistung von 32kW: 12kW elektrisch und 20kW thermisch. Genug also, um mehrere durchschnittliche Haushalte zu versorgen. Eine grössere Anlage mit mehreren Sonnenblumen könnte demnach genügend Energie und Wasser für ein Dorf liefern. Die Sonnenblume bestand im Kern aus folgenden drei Systemkomponenten: der Optik, dem Empfänger und dem Tracker. Aus Sicht eines Ingenieurs fasziniert vor allem der innovative, interdisziplinäre Charakter, die Wirtschaftlichkeit und der Technologiemicx: Bau-, Mechanik-, Optik-, Elektronik- und Softwareingenieure arbeiten agil und Hand in Hand auf ein gemeinsames Ziel hin und denken im System.

## 4.2. Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung testen

Bei dieser Anwendung geht es um High-Speed-Kommunikation über Glasfasern als Letzte Meile zu Umrichtermodulen. Diese werden in der Energieübertragung eingesetzt, zum Beispiel bei der Anbindung von Offshore-Windparks. Ähnliche Technologien gibt es auch in der Schwerindustrie, der Bahn und der Elektromobilität. Ein kundenspezifisches, mit LabVIEW Embedded programmierbares Adaptermodul versetzt das Team in die Lage, einen komplexen Nischenmarkt mit einem Qualitätsprodukt und erstklassigem Service zu bedienen. In Echtzeit können damit High-Speed-Signale zu Testzwecken decodiert und analysiert werden.

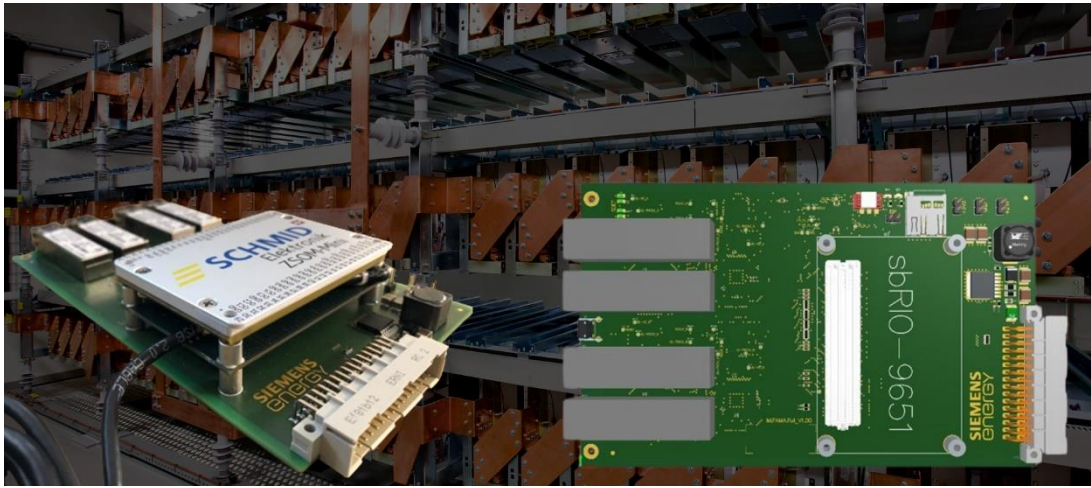


Bild 9 | Das System stellt im Umrichter-Testsystem eine optisch getrennte Analogsignalstrecke zur Verfügung. Dabei wird das Signal analog zu digital konvertiert (14-Bit/100MSPS), mit 2GBps seriell optisch übertragen und wieder digital nach analog konvertiert.

«Wir schätzen das gegenseitige Vertrauen und die professionelle Zusammenarbeit mit unserem Partner Schmid Elektronik, der absolut verlässliche Qualität sowohl in der Fertigung und Prüfung als auch in der Entwicklung von Hard- und Software bietet. Die agile und aufgeschlossene Arbeitsweise ermöglicht flexible, schlanke Prozesse, insbesondere für unsere Prototypen und Kleinserien. Schmid Elektronik ist einer unserer Stützpfeiler bei der Anpassung der NI-Plattform an unsere speziellen Bedürfnisse im Bereich der HGÜ-Umrichterprüfung (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung).» (Julian Lange, Siemens Energy)

### 4.3. Dank Telemetrie die Energieeffizienz steigern

Da war dieser Telefonanruf aus heiterem Himmel. Der gleiche Energieriese wie in der 10 Jahre früheren [Tiefseegeschichte](#) kontaktierte uns. Ob wir das Minimum Viable Product (MVP) eines Onboard-Computers liefern können, welches Rennfahrzeuge mit dem IoT verbindet? In nur acht Wochen!

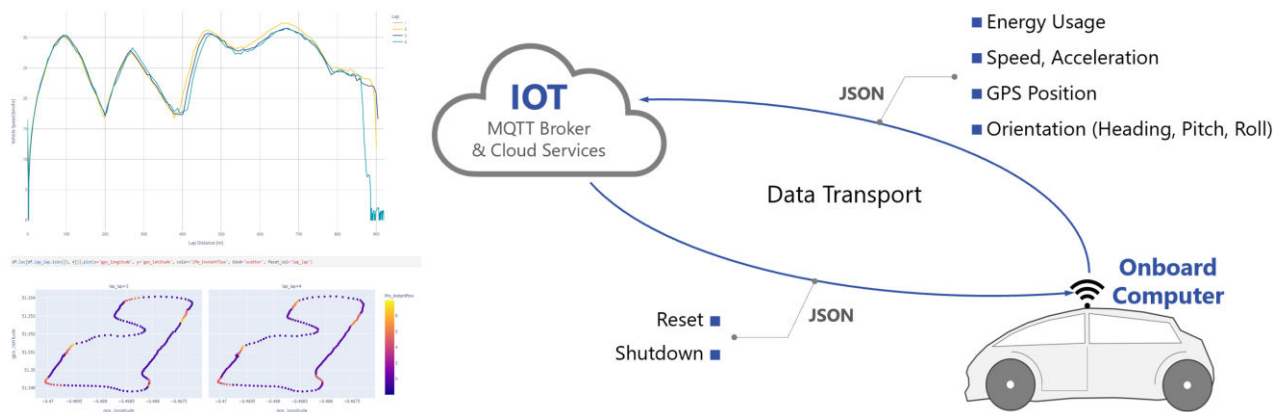


Bild 10 | Das MVP für ein Rennstrecken-IoT-System soll Sensordaten aus Fahrzeugen mit IoT-Diensten verbinden. Das Ziel ist es, von der Start- bis zur Ziellinie Renndaten zu gewinnen.

Die Projektidee klang einleuchtend: Einen bisher etwas eintönigen Marathon um ein spannendes Showformat erweitern, so ähnlich wie in der Formel 1: Ein «Grosses Finale» mit einer live Datensicht auf das Rennen und wie es sich entfaltet. Die Strategie: das MVP sorgt für den Datentransport zwischen dem Fahrzeug und dem Internet. Die Hypothese: Die Emotionen von Teilnehmern und Zuschauern werden bei dramatischen Kopf-an-Kopf-Rennen hochkochen und sie von ihren Sitzen reissen. Die Rennen werden damit attraktiver und bekannter.

Die in dieser MINT-Community (MINT: Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik) erreichte Energieeffizienz ist einmalig. Der Rekordhalter schafft vergleichsweise die Strecke von London nach Rom und zurück mit nur einem Liter Kraftstoff, respektive 10kWh elektrischer Arbeit.

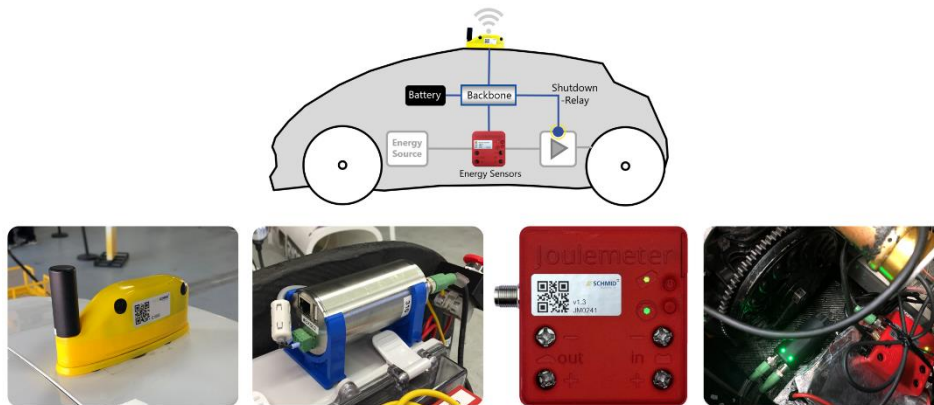


Bild 11 | v.l.n.r.: der Onboard-Computer der zweiten Generation besteht aus dem äusseren, gelben Fin und dem inneren Backbone. Er wird von einem Akku gespeist und verbindet sich mit verschiedenen Energiesensoren wie dem Joulemeter (rot) oder Liquid-Flowmeter (schwarz).

Beim Entstehen dieses Onboard-Computers setzten wir LabVIEW in allen Projektphasen ein: Von der Machbarkeitsprüfung und MVP über den Prototypen bis zum Serienprodukt und Test. Dank einer neuartigen Projektorganisation und der Zbrain-Plattform wurde die Aufgabe am Ende des Tages gemeistert.

Die technischen und organisatorischen Herausforderungen des Projekts waren hart:

1. Der Onboard-Computer sollte im Sekundentakt verschiedene Sensordaten wie Energieverbrauch und GPS-Position an einen IoT-Server senden.
2. Das erforderte einen Technologie-Mix mit 4G, WIFI und GPS sowie das im IoT-Bereich beliebte [MQTT-Protokoll](#) und das [JSON-Austauschformat](#). Das ist zwar keine Raketenwissenschaft, jedoch zeigte etwa ein GPS Desaster, dass der Teufel oft im Detail steckt.
3. Der massive Zeitdruck in allen Phasen prägte das Projekt wesentlich. Die zentrale Frage war: Wie können mehrere Entwickler der Zeit ein Schnippchen schlagen, indem sie parallel auf ein und derselben Plattform an der gleichen Embedded-Software arbeiten?
4. Mehrfache Miniaturisierung, bis der Formfaktor passt.
5. Hitze, Feuchtigkeit, Vibrationen und elektromagnetische Felder - in der extremen Umgebung eines Motorraums muss das Embedded-System zuverlässig Daten liefern.

Wie das ausging, erzählen die Geschichten [100km mit nur fünf Teelöffel Kraftstoff, in nur 8 Wochen zum IoT-MVP](#) und [Renndaten in Action: Von der Theorie in die Praxis](#).

## 4 Mobilität & Transport

Schmid Elektroniks Zbrain-System wurde nie direkt in Serienautos eingesetzt. Es boten sich jedoch viele Projekte im Dunstkreis der Transportindustrie. Hier vier Beispiele zu Fahrdynamik und Energieeffizienz.

### 5.1. Dezentrale Messtechnik in der Radnabe und Telemetrieanbindung

Regelmäßig im Frühjahr, nach den großen Messen, schicken die Autobauer ihre neuesten Modelle ins Rennen. Zur selben Zeit kommen durchgestylte Reifen auf den Markt – die jedoch zuvor auf Herz und Nieren zu testen sind. Dies war die Aufgabe einer mobilen Messeinrichtung. Sie sollte anhand präziser Drehzahlerfassung in allen vier Rädern die Fahrdynamik untersuchen.

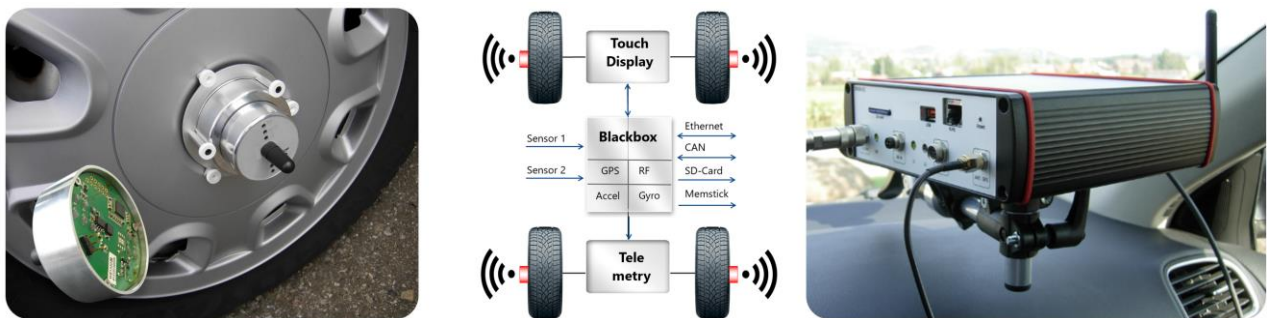


Bild 12 | In den Radnaben montierte Rotationssensoren senden die Drehzahlsignale an eine 'Blackbox' mit Touchdisplay, Datenspeicher, Telemetrie-Interface und Zugang zu fahrzeuginternen CAN-Bus.

Der Zeitrahmen des Entwicklungsprojekts war auf vier Monate festgelegt. Es galt, anwendungsspezifische Sensorsignale wie Raddrehzahlen, zwei flexibel definierbare Sensoreingänge, 3D-Beschleunigungen, 3D-Drehraten und die Fahrzeuggeschwindigkeit mit GPS und Zeitstempel zu verknüpfen, live auf einem Display anzuzeigen und synchronisiert auf mobilen Speichermedien abzulegen.

Gleichzeitig sollten die Prozessdaten über eine analoge Telemetrie-Einrichtung in Echtzeit an den Tower kommuniziert werden. Für eine spätere Phase war vorgesehen, sie drahtlos an ein Tablet zu senden und mit dem fahrzeuginternen CAN System zu verbinden.

Anhand der Sensordaten und der daraus abgeleiteten Messgrößen liessen sich verschiedene Modelle zur Qualität der Fahrdynamik erstellen. Wichtig im Zusammenhang mit dem seit November 2012 verbindlichen Reifenlabel sind Messungen zum Charakterisieren der Kraftstoffeffizienz, der Nasshaftung und des externen Rollgeräuschs der Reifen.

Weiterhin sind Anwendungen wie die Leistungsmessung an Motoren bei Lastwagen im Bergbau, Geschwindigkeitstest von 600-PS-Polizeifahrzeugen, das Messen von Extrembeschleunigungen in Kurven beim Motorsport und das Blockieren der Räder beim Bremsen vorgesehen.



Die Strategie bestand in einem robusten Dashboard fürs Cockpit, über Ethernet oder CAN mit dem bestehenden Onboard-Computer verbunden. Die Hypothese, dass die Fahrer das cool finden, erwies sich als falsch. Sie wünschten sich in der Tat einen Direktzugang zu den Live-Daten. Aber bitte via Smartphone und dem Fahrer über die eigene App präsentieren. Dank MVP haben wir so vermutlich tausende von Euro unnötiger Entwicklungszeit gespart!

### 5.3. Rennabläufe dank intelligenter Fahrzeuge automatisieren

Im Zuge seines globalen Dekarbonisierung-Programms plante der Rennveranstalter des Shell Eco-marathons, das Technische Team vor Ort zu verkleinern, um damit letztendlich die Flüge deutlich zu reduzieren. Automatisierung sollte die fehlenden Techniker kompensieren und wieder waren MVPs gefragt, um iterativ zu lernen und die folgende Idee zu testen: Die [Onboard-Computer](#) in den Rennfahrzeugen mit «Intelligenz» versehen, damit sie repetitive Aufgaben übernehmen können. Diese Idee sollte über zwei unterschiedliche Strategien validiert werden:

1. Künstliche «Augen» (Farbsensor) und «Ohren» (Beacons) ermöglichen den Onboard-Computern, Muster auf der Fahrbahn zu erkennen und auf der Grundlage lokaler Geodaten kontextuell relevante Inhalte zu erlauschen.

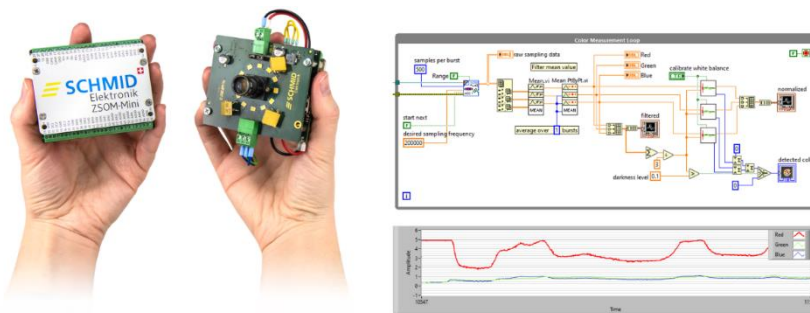


Bild 15 | MVP für Intelligenzen Farbsensor, realisiert mit der Zbrain-Plattform [ZSOM-Mini](#).

2. Ein «siebter Sinn» in Form von GPS-RTK (Real-Time-Kinematic) verleiht den in den Rennwagen installierten Onboard-Computern eine Positionsbestimmung in Zentimeter-Genauigkeit, womit sie sich in einem digital hinterlegten Ortsmodell problemlos zurechtfinden können.

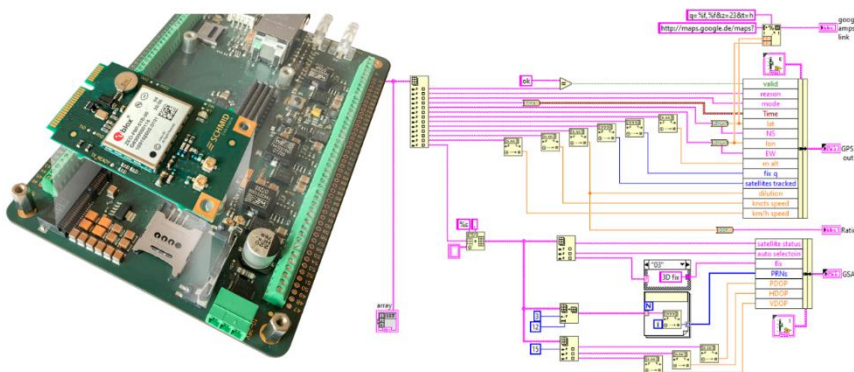


Bild 16 | MVP für hochpräzise GPS-Daten (RTK), realisiert mit der Zbrain Standardplattform [ZSOM-Control](#).

Tests ergaben, dass die Strategie über präzise GPS-Daten zuverlässiger und schneller zum Ziel führt als die Lösung über künstliche Augen und Ohren. Auch hier galt es, die Idee einem Realitäts-Check auszusetzen, bevor mit der zeitraubenden Hard- und Software-Entwicklung begonnen wird.

#### 5.4. Nur mit der Kraft der Sonne durchs Australische Outback

Die «World Solar Challenge» in Australien ist für Solarfahrzeuge eines der härtesten Rennen der Welt. Sie wird alle zwei Jahre auf dem öffentlichen Stuart Highway ausgetragen. Der Clou: Einzig die Sonne darf als Energiequelle genutzt werden! Die Teilnehmer demonstrieren damit den Nutzen erneuerbarer Energie. Immerhin durchqueren die Solarmobile den australischen Kontinent mit nur rund zwei Drittel der Leistung eines handelsüblichen Staubsaugers.

Ähnlich der Formel 1 steuert der Pilot das Solarmobil auf dem multifunktionellen Lenkrad 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 10 A, 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 35 A und damit Spitzengeschwindigkeiten von 100 km/h zur Verfügung. Solche «Eskapaden» verbrauchen aber 20 Wh/km und mehr. Das Bremsen erfolgt in zwei Schritten: Auf den ersten Millimetern des Bremspedals wird die Motorbremse eingesetzt. Weitere Auslenkung aktiviert die hydraulische Bremse.

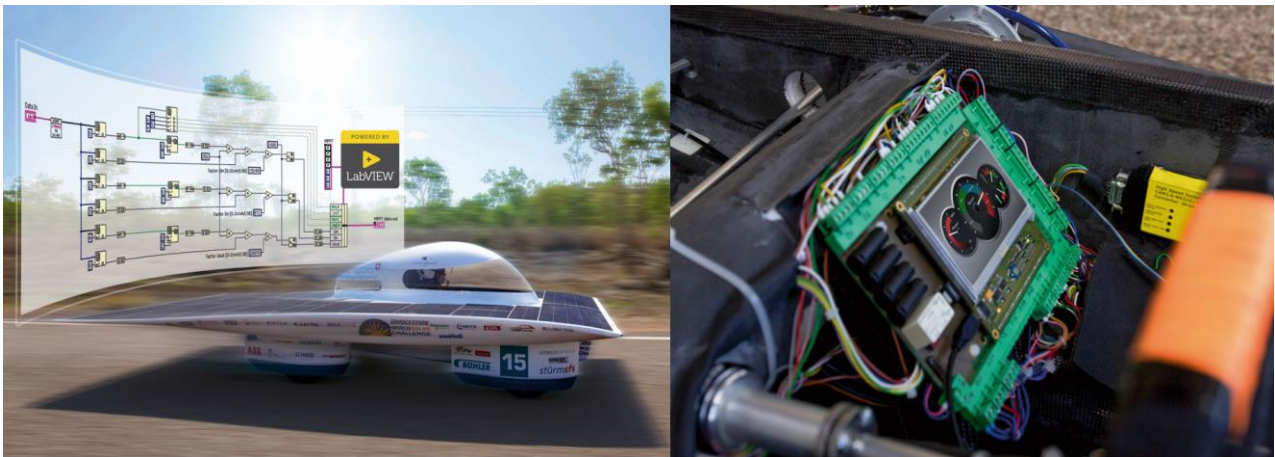


Bild 17 | Sparsam und nur mit der Kraft der Sonne durch das Australische Outback. Alle Komponenten des Solarmobils, vom Chassis und der Karosserie über das Fahrwerk bis zur Embedded-Hardware und -Software bringen die gewonnene Sonnenenergie mit maximaler Wirksamkeit auf die Strasse.

Der Pilot im Cockpit hat nur begrenzte Möglichkeiten, die anfallenden Daten live zu analysieren und für die Rennstrategie des 3000 km langen Strassenrennens Schlüsse zu ziehen. Ein zuverlässiges Telemetriesystem zwischen Solarmobil und Begleitfahrzeug spielt deshalb eine entscheidende Rolle. Während sich der Pilot auf die Strasse konzentriert, wertet das Begleitteam die Betriebsdaten aus und kombiniert sie mit meteorologischen Informationen und der

Restdistanz bis zum nächsten Kontrollstopp. Speziell die Leistung der Fotovoltaik und die Gesundheit der Batterie werden genau überwacht. Als Ergebnis erhält der Pilot per Funk eine neue Fahrtaktik oder eine Geschwindigkeitsanpassung. Ziel der gesamten Rennstrategie ist ein optimaler Energiehaushalt, der über die Fahrzeuggeschwindigkeit beeinflusst wird.

## 5 Mobile akkubetriebene Handmessgeräte und Portable

Das Messnetzwerk in der Norwegischen Tiefsee lief sechs Monate lang an einer Batterie. Daraus entstand die kommerziell verfügbare Zbrain-Plattform und damit eine neue Möglichkeit: LabVIEW auf mobilen, akkubetriebenen Portablen oder Handmessgeräten zu betreiben. Die folgenden vier Beispiele stehen für ein Dutzend anderer Anwendungen mit ähnlichen Herausforderungen.

### 6.1. Das Aufzugserlebnis auf eine neue Ebene bringen

Stell dir vor, du steigst in einen Aufzug voller Menschen ein und erwartest eine reibungslose, sichere und komfortable Fahrt. Genau dafür sorgt ein neues, mobiles Messgerät und es treibt sogar den digitalen Wandel in dieser bisher eher traditionellen Branche voran. Es wird für die Aufzugsprüfung einfach auf die Aufzugskabine gelegt, verbindet sich über WIFI mit der Aussenwelt und zeichnet während der Fahrt Messwerte auf.



Bild 18 | Ein akkubetriebener Messhandheld für den Aufzug enthält einen hochpräzisen Beschleunigungssensor und kommuniziert die Daten über WIFI an das Tablet.

Für die Entwicklung dieses Handmessgerätes entschied sich der TÜV SÜD für einen grafischen Programmieransatz mit LabVIEW Embedded auf einem Modul des NI-Partners Schmid Elektronik. Zu den Anforderungen gehörten Beschleunigungsmessung, intelligentes Batteriemanagement, ein einfaches Bedienkonzept und eine WIFI-Verbindung.

Mit hochpräzisen Sensoren und kundenspezifischer Hardware misst es die Beschleunigung und Verzögerung des Aufzugs. Kein unangenehmes Ruckeln, kein plötzliches Anhalten oder eine Dynamik, die ein ungutes Gefühl hervorruft. Sondern eine sanfte und komfortable Fahrt, die jeder zu schätzen weiss und die Gewissheit, dass die Sicherheitssysteme funktionieren.

Das Messgerät ist ein Gemeinschaftsprojekt vom TÜV SÜD, dem TÜV Hessen und Schmid Elektronik. Sein Herzstück besteht aus einem hochpräzisen Beschleunigungssensor und einem robusten Batteriemanagementsystem für einzellige Lithium-Ionen-Akkus inklusive Ladeschaltung über USB-C und Ladeanzeige. Das Gerät wird in 3 Stunden geladen und verfügt über eine durchschnittliche Akkulaufzeit von 8 Stunden. Ein ausgeklügeltes Energiekonzept sorgt für hohen Wirkungsgrad. Die programmierbare Einschaltsequenz ermöglicht ein zuverlässiges Aufstarten. Anschliessend garantieren zahlreiche Hard- und Softwarefunktionen einen stabilen 24/7-Betrieb. Der Nutzer bedient das Gerät über einen Smart-Button und LED-Anzeigen, die über Lightpipes elegant und ergonomisch auf die Gehäuseoberseite geführt werden.

Die Hardwarefunktionen sind auf einem kundenspezifischen Baseboard integriert, auf dem sich ein [ZSOM-Mini](#) befindet, der mit LabVIEW grafisch programmiert werden kann. Diese Hardware ist zusammen mit dem Akku in einem kompakten, robusten und hochwertigen Standardgehäuse untergebracht und für den rauen Feldeinsatz geeignet.

## 6.2. Mobiles LIDAR-Messgerät für eine Outdoor-Anwendung

Für eine LIDAR-Anwendung entwickelte Schmid Elektronik ein kundenspezifisches Baseboard mit eigenem Software-Development Kit (SDK) sowie einem Applikationsframework. Letzteres diente dem Kunden als schnellen Einstieg in die LabVIEW Embedded Technologie. Die Anwendung ist vertraulich, deshalb berichten wir hier über das Framework und was ein Kunde von einem solchen erwarten kann. Das vorliegende Framework enthält Softwarebausteine für den analogen und digitalen I/O, die Kommunikationsschnittstellen und die Temperaturmessung. Diese ist für das thermische Management wichtig, weil die Hardware lüfterlos in ein Gehäuse integriert wird.

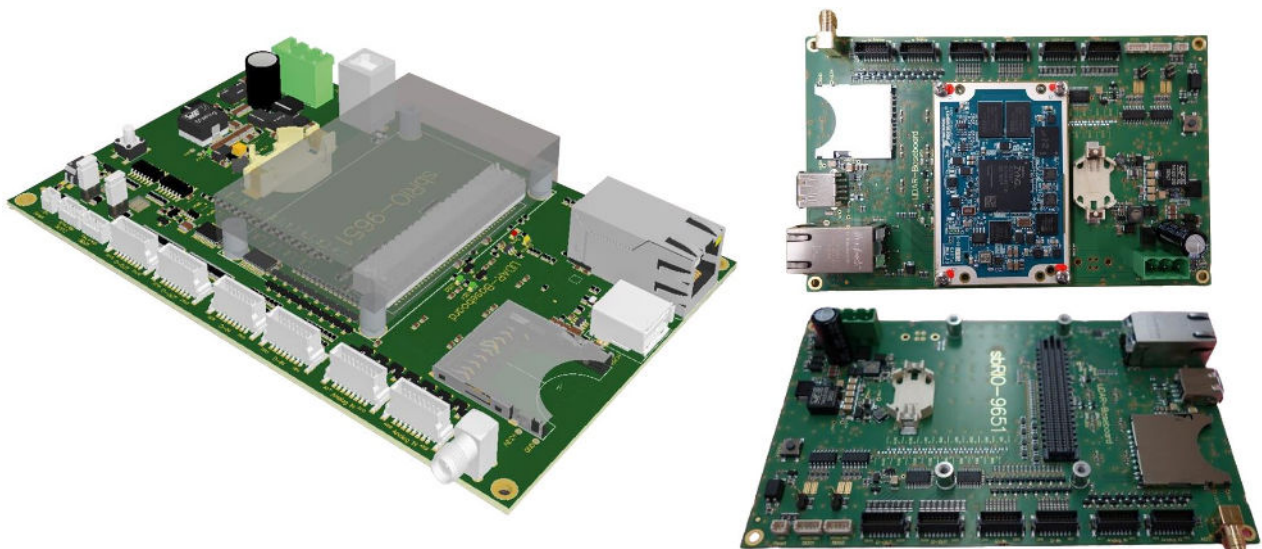


Bild 19 | Das LIDAR-Board enthält neben dem 100MHz ADC 16 Digitale Ein- und Ausgänge, ein Filesystem (SD-Karte), RS422 und RS485 und einen SSH-Zugang.

Das Herz dieser Anwendung ist die schnelle Analogenerfassung mit 100MHz. Der FPGA-Code dazu besteht aus mehreren hierarchisch arbeitenden Schleifen, die mit unterschiedlichen Taktfrequenzen laufen:

3. Die **Messdaten-Erfassungsschleife** läuft mit 200 MHz, erzeugt den Takt und liest die abgetasteten Werte bei jeder fallenden Flanke des Taktsignals aus. Die Werte werden in einen FIFO für die nächste Schleife geschoben.
4. Die **Berechnungs- und Pufferschleife** läuft mit 100MHz, also einmal pro Abtastung. Sie verarbeitet die Abtastwerte und schiebt die Ergebnisse wiederum in FIFOs/Speicher, damit langsamere Schleifen sie verarbeiten können. In dieser Schleife wird alles platziert, was bei jedem Sample berechnet werden muss, ohne dass ein einziges verloren geht. Die Rückkopplungsknoten werden verwendet, um die Arbeitslast der zeitgesteuerten Einzelzyklusschleife zu verteilen. Je mehr Rückkopplungsknoten, desto höher ist die Latenzzeit der Berechnung und desto mehr Berechnungen sind innerhalb der zeitgesteuerten Einzelzyklusschleife möglich.
5. Die **Transmit-Burst-Schleife** sendet Blöcke von Abtastwerten an den Host mit einer vom RT-Host vorgegebenen Rate. Diese Werte sind innerhalb der Blöcke verlustfrei, nicht aber zwischen den Blöcken.
6. Die **Transmit-FFT-Schleife** sendet die FFT-Ergebnisse an den RT-Host. So wird verhindert, dass der FPGA die gleiche Speicherzelle gleichzeitig liest und schreibt (dies würde falsche Werte erzeugen). Die Sendeschleife teilt der Berechnungs & Puffer-Schleife mit, welche Hälfte des Speichers sie zum Schreiben von Werten verwenden kann.

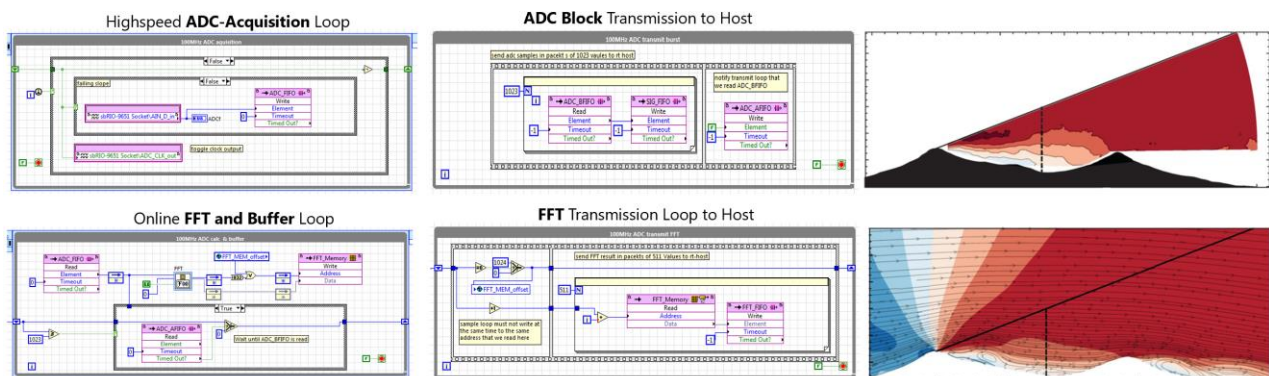


Bild 20 | Das Framework für die 100MHz-Messdatenerfassung enthält im wesentlichen Schleifen für das Erfassen, FFT-Berechnen und Übertragen der Zeit- und Frequenz-Signale an den Host

Das Hauptprogramm liest und schreibt alle digitalen und analogen Ein- und Ausgänge. Ausserdem bedient es die USB-Schnittstelle, die seriellen RS422/485-Kanäle und den SD-Karten-Speicher. Schliesslich liest es die verschiedenen Temperaturen aus dem System-on-Module aus. Die Temperatur des SOM hängt von seiner Arbeitslast, der Umgebungstemperatur und der Kühlstrategie ab. Das Framework erwärmt das SOM auf eine Temperatur von 50K über der Umgebungstemperatur, wenn es horizontal geöffnet auf dem Schreibtisch liegt. Während das SOM etwa 6,4 W verbraucht, beträgt der Wärmewiderstand also etwa 8 K/W (Kelvin pro Watt). Wird das Modul um 90° gedreht, so dass es senkrecht steht, ist die Kühlung um etwa 15% besser. Weitere Verbesserungen können mit Kühlkörpern und aktiver Kühlung erreicht werden.

### 6.3. Ein intelligentes Lasermodul fürs Auge

Optische Kohärenztomografie ist ein nichtinvasives und hochauflösendes Bildgebungsverfahren und Diagnosewerkzeug, welches in den letzten Jahren in vielen Bereichen Einzug gehalten hat. Damit wird in der Medizin beispielsweise lebendes, menschliches Gewebe über einen kleinen Messbereich von ein paar Millimetern in Echtzeit in seinem Inneren vermessen. Zu diesem Zweck entwickelte EXALOS eine flexibel konfigurierbare, breitbandige Laserlichtquelle mit mikrooptischer Werkbank, die von einer von Schmid Elektronik entwickelten Mixed-Signal-Elektronik betrieben wird. Das Ziel war, Anwendern ein intelligentes und autonom arbeitendes System als „Black Box“ zur Verfügung zu stellen, bei dem die Konfiguration und der Betrieb der Laserlichtquelle über definierte elektrische Schnittstellen und über ein USB-Interface erfolgen kann.

Benötigt wurde eine Ansteuerelektronik, bei der ein Mikrocontroller für die Kommunikation nach aussen, d.h. zum System des Kunden, als auch für die Ansteuerung und Überwachung der Laserlichtquelle nach innen verantwortlich ist. Der mittels DDS (Direct Digitale Synthese) erzeugte und geregelte elektrische Takt wird über eine Hochvolt-Stufe für den mikromechanischen Spiegel verstärkt. Parallel wird der Takt mit optischem „Wobbeln“ der Laserlichtquelle, d.h. mit dem Durchstimmen der Wellenlänge, präzise in der Phase ausgerichtet und dem Kunden über ein Interface zur Verfügung gestellt. Eine Regelschleife erzeugt einen extrem rauscharmen, elektrischen Treiberstrom für den optischen Verstärker, damit das Licht in der Laserkavität stabil und rauscharm erzeugt und nachverstärkt werden kann. Eine andere Regelschleife stabilisiert die Temperatur der Laserlichtquelle. Der Mikrocontroller generiert und erfasst diverse optische und elektrische Signale über spezifische I/O-Verbindungen mit langsamen oder schnellen ADCs und DACs in parallelen, elektrisch-isolierten Domänen.

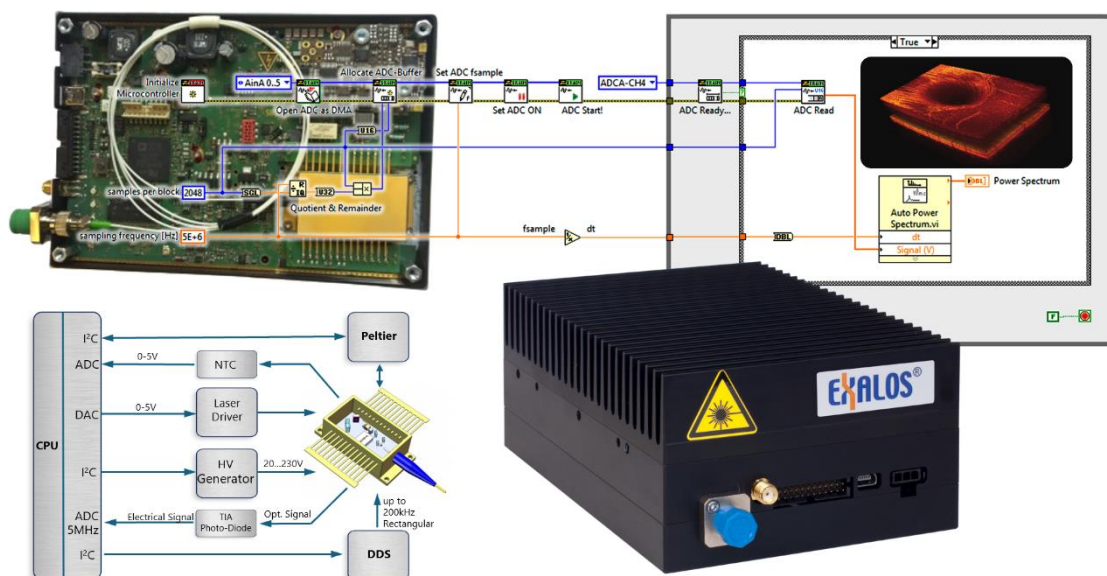


Bild 21 | Die kompakte Lasermodul-Hardware im Alugehäuse adaptiert und konfiguriert durchstimmbare Laserlichtquellen und deckt so verschiedene Aufgaben und Kundenwünsche ab. Schnelle analoge Signalabtastung mit 5MHz und anschließende Fouriertransformation wurden in Rekordzeit grafisch mit LabVIEW Embedded programmiert

Mit dieser Methode und der daraus resultierenden smarten Plattform wurde auf drei Ebenen ein Mehrwert erzielt

- Erstens wurde komplexe Mikrocontroller-, Analog- und Digitaltechnik für den Hersteller des Lasermoduls komfortabel abstrahiert. Der Entwickler konnte sich so voll und ganz auf die Entwicklung der Laserlichtquelle und der Embedded-LabVIEW-Applikation konzentrieren, dem Modul „Intelligenz“ verleihen und damit einen Marktvorteil erzielen.
- Zweitens bietet sich dem Hersteller von Instrumenten für Optische Kohärenztomografie eine einfach zu integrierende, schlüsselfertige Lösung an, die sich über USB konfigurieren lässt. Die getriggerten optischen Tiefenscans lassen sich an einen übergeordneten Messrechner mit FPGA führen und werden dort live ausgewertet und angezeigt. Folglich verlieren sich die Applikations-Ingenieure nicht in Details, sondern können sich auf die Hauptaufgabe der Systemintegration konzentrieren.
- Drittens steht dem behandelnden Arzt ein präzises Instrument zur Verfügung, welches schnelle und auf die Bedürfnisse zugeschnittene Ergebnisse liefert.

#### 6.4. Schlafüberwachung «am Menschen» im Medizinalbereich

Beim Entwickeln eines mobilen Messgerätes für das Monitoring von Atmungsstörungen wurde die Kombination aus grafischer Programmierung auf Embedded-Hardware genutzt. Hier ging es nicht um lebenserhaltende Systeme, sondern um gezielte Messkampagnen. Geräte dieser Art erfordern ein Minimum an qualitätssichernden Massnahmen. Die Atemflussbestimmung ist ein Verfahren, das für die Langzeitdetektion von Schlafstörungen eingesetzt wird. Im klinischen Alltag setzt man zu diesem Zweck Thermistoren ein, welche die Temperaturunterschiede zwischen der ein- und ausgeatmeten Luft registriert. Dieses Verfahren ist fehlerbehaftet und lässt nur ungenaue Aussagen über den Atemfluss zu.

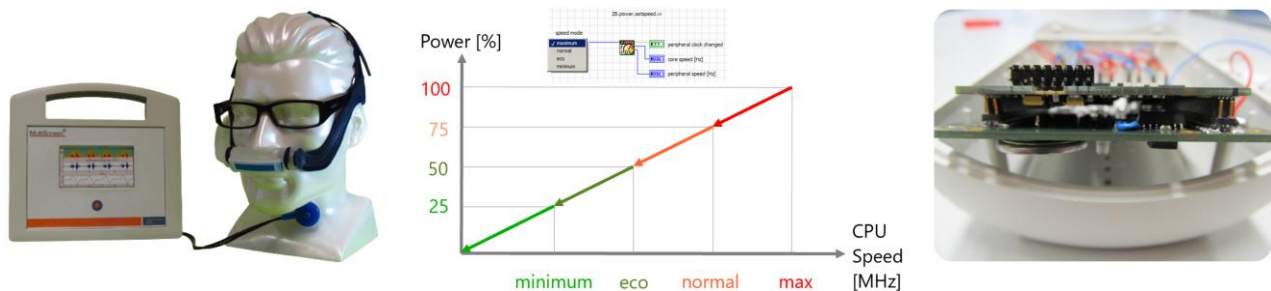


Bild 22 | Ein niedriger Stromverbrauch war bei diesem mobilen Messgerät das A und O. Erreicht wurde das mit gezieltem Abschalten ungenutzter Bauteile oder Skalieren des Prozessorclocks.

Vor diesem Hintergrund wurde ein tragbares, akkubetriebenes Gerät entwickelt, das den Atemfluss präzise detektiert und sofort bewertet. Standardisierte Prozesse im Softwarelebenszyklus für eine normkonforme Softwareentwicklung einhalten, damit das Gerät nach dem MPG zugelassen werden konnte. Dazu gehörten Software-Risikomanagement, Software-Konfigurationsmanagement und Problemlösungsmanagement.

## 6 In der Forschung

Die folgenden zwei Anwendungen entstanden innerhalb von drei Jahren nach dem [Pipelineprojekt](#). Vor allem der Spinnenroboter machte richtig Spass und versetzte viele ins Staunen. Bei seinem ersten Auftritt beeindruckte er nämlich mit einem astreinen Limbo! Er erhielt an der NIWeek in Austin den «Editors Choice» Award.

### 7.1. Autonome Spinnenroboter für Katastropheneinsätze

Notfall! Gut, dass es heute in vielen Teilen der Welt genügend lebensrettende Ausrüstung gibt. Dabei gilt es, einen zusätzlichen Verlust an Menschenleben zu vermeiden. Gleichzeitig ist es wichtig, bei Rettungsaktionen nach Katastrophen so schnell wie möglich zusätzliche Unfälle beispielsweise in einsturzgefährdeten Gebäuden abzuwenden. Mit diesem Ziel entwickelte die Hochschule Nanyang Polytechnic in Singapur eine neue Lösung, welche auf der Autonomie einzelner aber auch dem Zusammenspiel mehrerer mobiler Roboter basiert.

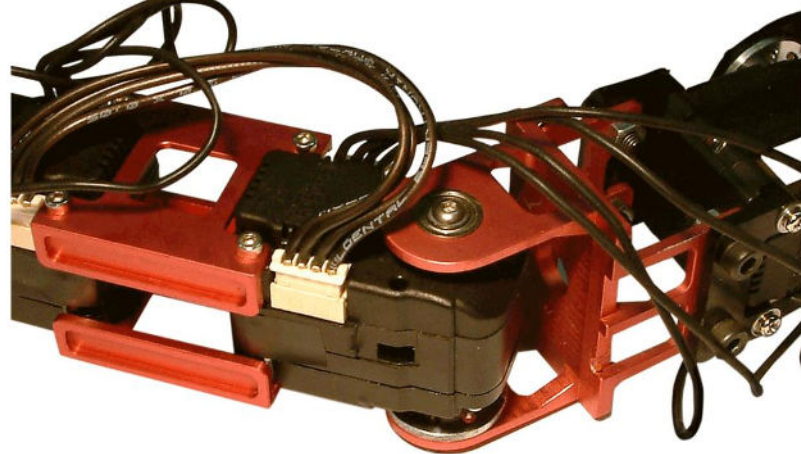
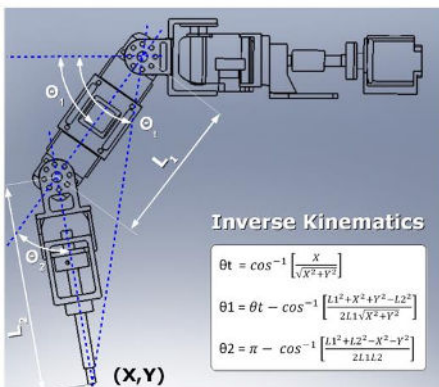
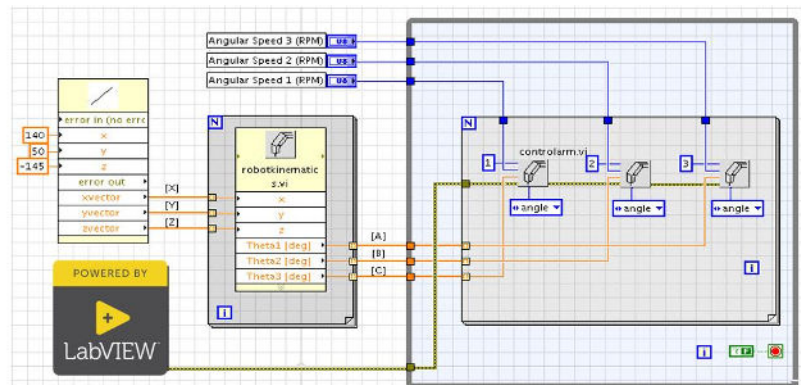


Bild 23 | Von der Natur abgeschaut: eine sechsbeinige Roboterspinnne mit flexiblen Laufschemata bewegt sich mühelos durch Katastrophengebiete. Vier intelligente Motoren mit eingebauten, programmierbaren PD-Reglern sind über ein serielles RS-485-Netzwerk angeschlossen und nahtlos in die Glieder integriert. Gleichmässige Bewegungen werden durch inverse Kinematik erreicht, die auf trigonometrischen Funktionen und Matrixoperationen aufbaut

Die sechsbeinige Roboterspinnne ist klein, mobil und kann infolge unterschiedliche Hindernisse umgehen, um dadurch in schwer erreichbaren Orten nach eingeschlossenen Opfern zu suchen. Das Detektieren und Vernichten von Landminen ist ein weiteres Einsatzgebiet, bei dem dieser

Roboter den Menschen ersetzen kann. Diesen Anforderungen begegnet er mit einem äußerst mobilen Laufschemata mit sechs unabhängigen Beinen. Dadurch kann er sich in alle Richtungen auf Untergründen bewegen, auf denen der Einsatz von Robotern normalerweise gar nicht mehr möglich oder zu riskant ist. Die Hauptherausforderung war die inverse Kinematik für sechs Beine mit je vier Motorgelenken. Daraus resultieren 24 kontinuierlich berechnete Stellwerte für eine fließende Bewegung.

## 7.2. Forschungsbeschleunigung für Zweiliter-Satellit

Der als Nanosatellit eingestufte «Purdue-Sat» wurde von der Universität für Luft und Raumfahrt in Purdue, USA, entwickelt. Speziell daran war seine Fähigkeit, sich autonom und ohne klassische Triebwerke räumlich neu auszurichten.

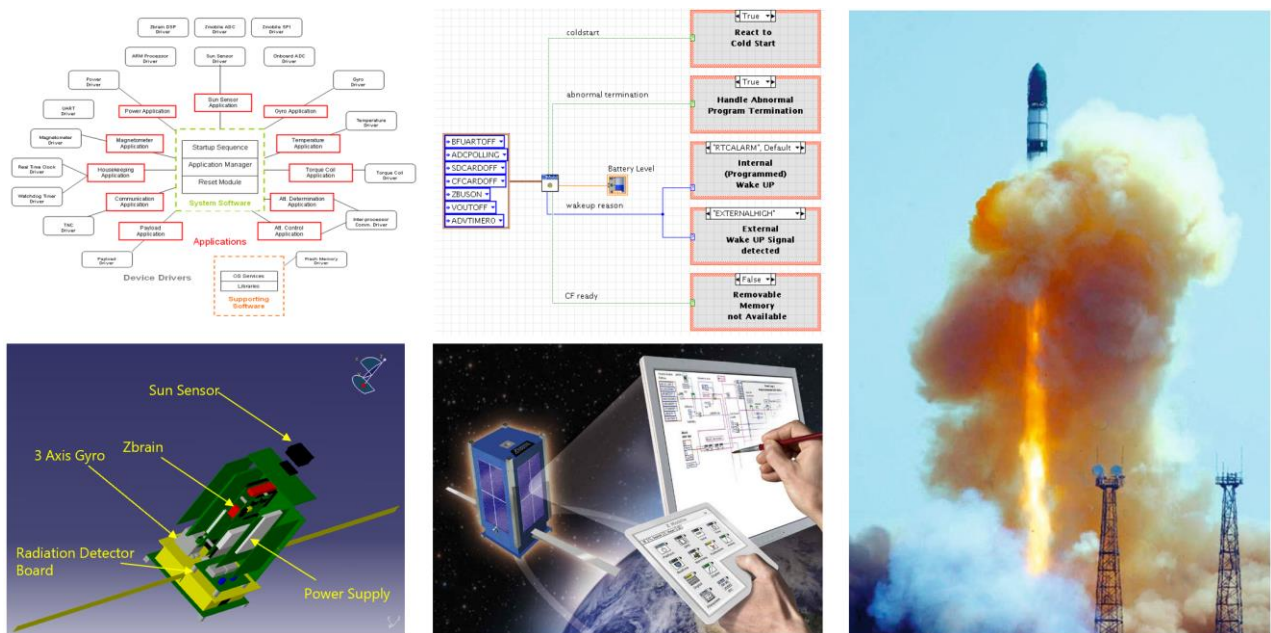


Bild 24 | Das Flugsteuerungssystem des Zweiliter-Satelliten besteht aus 6 Subsystemen: Lagebestimmungssystem, Lagesteuerungssystem, Wissenschaftliche Nutzlast, Kommunikationssystem, Energiesubsystem und Flugberechnungssystem.

Die Lösung ist insofern einzigartig, als sie nur auf der Wechselwirkung zwischen dem vom Satelliten erzeugten magnetischen Moment und dem Magnetfeld der Erde beruht. Das erfordert hochkomplexe mathematische Modelle und eine enorme numerische Datenverarbeitung zur Laufzeit. Dieses Problem wurde mit LabVIEW Embedded auf einem Low-Power-Target gelöst. Schmid Elektronik arbeitete mit Purdue bei der Entwicklung und Implementierung der Flugberechnungs-Systemsoftware zusammen. Als Teil des gemeinsamen Projekts wurde ein zuverlässiges Echtzeit-Konzept entwickelt, das für langfristige Anwendungen im Weltraum geeignet ist. Dabei handelt es sich hauptsächlich um ein intelligentes Energieschema und sichere Fehlererkennung und -behebung. Die Firma Schmid brachte Wissen ein, das sie bei einem erfolgreich installierten [Tiefsee-Überwachungssystem](#) erworben hat, welches ebenfalls auf LabVIEW Embedded beruht.

Münchwilen, Schweiz, Juni 2024, Marco Schmid, [marco.schmid@schmid-elektronik.ch](mailto:marco.schmid@schmid-elektronik.ch)