

VERSPRECHUNGEN, VERANTWORTUNG UND GEFAHRENABWEHR

INTERVIEW MIT DR.-ING. JENS BERKAN ZU DEN LEKTIONEN DER
AUTOMOBILINDUSTRIE FÜR DIE ERNEUERBAREN ENERGIEN



Dr.-Ing. Jens Berkan – Ein logischer Schritt des Wechsels aus der Automobilindustrie hin zu erneuerbaren Energien

SONNENENERGIE:

Herr Berkan, seit mehr als 15 Jahren beschäftigen Sie sich nebenberuflich mit regenerativen Energien, haben jedoch in der Vergangenheit bei der BMW Group in München sowie bei General Motors in Melbourne überwiegend an der Entwicklung hubraum- und PS starker Benzinmotoren gearbeitet. Was hat Sie bewogen vor einem Jahr einen Schlusstrich unter Ihre Schaffensphase in der Automobilindustrie zu ziehen und sich stattdessen der Entwicklung von Biomassevergassungsanlagen zu widmen?

Berkan:

Na, vor allem, dass ich dort noch hubraumstärkere Motoren als in der Automobilindustrie einsetzen kann. Nein, im Ernst: Während meiner Zeit bei BMW war ich hauptsächlich in der Forschung und Vorentwicklung tätig. Wir haben dort an allen erdenklichen Themen zur Verbrauchsreduzierung gearbeitet wie zum

Beispiel dem elektromagnetischen Ventiltrieb, automatischem Motor Start-Stopp, Bremsenergie rückgewinnung, Mehrspannungsbordnetz, Mikro- und Mild-Hybrid. Wir waren damals extrem tief in die Komponenten- und Systementwicklung eingedrungen und konnten relativ frei von den Zwängen der Serienentwicklung Neues ausprobieren. Das war eine äußerst produktive Schaffensphase, in welcher ich auch sehr viel über die funktionale Systementwicklung gelernt habe, die sich aufgrund ihrer Komplexität deutlich von der normalen Komponentenentwicklung abhebt. Bei General Motors war ich zunächst für die Produktvalidierung und Qualitätssicherung des gesamten Antriebsstrangs aller Fahrzeuge der Marke Holden zuständig, bis ich dann auch dort in die Vorentwicklung, allerdings die produktbezogene, wechselte. Unter anderem konnte ich dort meine Kenntnisse in die Entwicklung eines Solardaches für den Chevrolet Volt einfließen lassen.

SONNENENERGIE:

Der Chevy Volt ist doch der Hoffnungsträger von General Motors in die Grüne Zukunft, warum an einer solchen Stelle aufhören.

Berkan:

Warum ich schließlich einen Schlusstrich gezogen habe, ist eigentlich sehr einfach zu erklären. Bereits 2007 stand für mich fest, dass die Ära des billigen und mit Sicherheit unbegrenzt verfügbaren Benzins ein für allemal zu Ende geht. Jeder weiß, wie es um die Automobilindustrie und insbesondere GM steht. Was nicht jeder weiß ist, dass die GM Marke Holden, bei der ich tätig war, und mehr oder weniger die gesamte Automobilindustrie in Australien weitgehend am staatlichen Tropf hängen. Gleichzeitig drängen die Chinesen und andere asiati-

sche Marken mit ihren billigen Fahrzeugen massiv in die traditionellen Märkte der Industrienationen, in welchen die Kunden zunehmend weniger Geld für Mobilität zur Verfügung haben. Für mich war es daher nur eine Frage der Zeit, bis Holden das Geschäft endgültig einstellen wird und seine Angestellten und Arbeiter entlässt. Im Endeffekt habe ich daher Ende letzten Jahres das Angebot einer Abfindung angenommen und genutzt, um mit der erhaltenen Summe die Innovatt Energy PTY LTD zu gründen.

SONNENENERGIE:

Woran liegt es, dass bislang so wenig von diesen innovativen Technologien im Automobilbau umgesetzt wurde?

Berkan:

Das hat meinem Erachten nach im Wesentlichen drei Hauptgründe, die am Ende aber wieder zusammenfließen zum dominierenden Faktor der kurzfristigen Gewinnmaximierung. Man darf den Druck nicht unterschätzen, dem Automobilhersteller ausgesetzt sind durch den Fakt, dass sie institutionellen Investoren gehören, die sich meist nur für den nächsten Bilanzabschluss interessieren, nicht aber wirklich dafür, was in 8 oder 10 Jahren ist. Wie Recht sie damit haben, sieht man im Moment daran, dass sie nun für ihr volkswirtschaftliches und soziales Totalversagen auch noch mit Milliarden Subventionen und Abwrackprämien finanziert aus Steuergeldern belohnt werden.

SONNENENERGIE:

Ja, diese Vorgehensweise wurde von der DGS auch deutlich kritisiert, aber was kann man daraus lernen?

Berkan:

Hierdurch lernt man vor allem eines: wer am wenigsten nachhaltig den größ-

ten Raubbau am Unternehmen betreibt, wird am meisten belohnt. Also gibt es keinen Grund, so etwas wie Nachhaltigkeit und Energieeffizienz wirklich in die Automobile zu integrieren. Ich will nur ein Beispiel nennen. Durch die einmalige Investition von ca. 25 Euro in einen effizienteren Generator, ein intelligenteres Fahrzeugbordnetz und eine zyklensichere Batterie könnten über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs ca. 400 Liter Kraftstoff eingespart werden, was einem Betrag von derzeit ca. 500 Euro entspricht. Das ist schön für den Kunden, aber nicht für den Hersteller und deshalb wird so etwas nicht gemacht, weil durch die Kostenwächter und Kostendrucker derartige Erzeugerpreissteigerungen unterbunden werden. Die Annahme, dass der Kunde nur auf den einmaligen Kaufpreis schaut und nicht auf die Unterhaltskosten ist der Beweggrund allen Handelns. Und wenn er dies doch tut, dann rechnet er meist nur für die ersten zwei oder drei Jahre, was wiederum umgekehrt dazu führt, dass die für den Kunden in diesem kurzen Zeitraum erzielbare Einsparung an Unterhaltskosten gering ist und folglich also im Allgemeinen bei der Kaufentscheidung untergewichtet wird gegenüber dem einmaligen Anschaffungspreis.

Es wird also lieber getrickelt mit künstlichen Fahrzyklen und speziell auf diese abgerichtete Motorsteuerungen, die einen geringeren Verbrauch vortäuschen, als in der Realität des täglichen Lebens dann tatsächlich eingefahren werden kann.

SONNENENERGIE:

Hmm, das klingt verdächtig nach der alten Diskussion um Life-Cycle-Costs im Bauwesen und bei der Betrachtung von Gebäudeneuversorgungen, die die Entwicklung der erneuerbaren Energie ja massiv behindert hat und es noch heute tut.

Berkan:

In der Automobilindustrie kommt darüber hinaus noch ein gut durchgeführter Mix aus verkürzten Produktentwicklungszyklen, steigender Systemkomplexität, Kostendruck und natürlich Verbalengineering dazu, der dazu führt, dass einfach keine wirklichen Innovationen realisiert werden können. Es scheint stattdessen vielfach auszureichen permanent tolle Innovationen anzukündigen und dann still und heimlich wieder im Sande verlaufen zu lassen, wobei man zeitgleich neue, noch tollere Innovationen ankündigt. Gute Beispiele hierfür sind das Elektroauto, der Hybridantrieb oder der Brennstoffzellenantrieb, die im Prinzip seit Jahrzehnten immer wieder für den Massenmarkt angekündigt und dann wieder verschoben werden.

SONNENENERGIE:

Die bereits in Lethargie versunkene Hypothese um die Wasserstoffwirtschaft ist da ein illustres Beispiel.

Berkan:

Allerdings darf man bei alledem auch nicht unterschätzen, dass durch die faktische Globalisierung des Automobilmarktes jede noch so kleine Veränderung an Technik und Hardware riesige Summen und große Zeitverzögerungen nach sich zieht, bis auch wirklich die letzte Werkstatt im letzten Winkel der Erde in der Lage ist, die entsprechenden Reparaturen durchzuführen. Logistisch bedeutet die entwicklungstechnische Veränderung eines Fahrzeuges noch einmal einen gewaltigen Aufwand um Werkzeuge, Diagnosemöglichkeiten, praktische Fähigkeiten der Mechaniker und Sicherheitsanforderungen anzupassen und zu distribuieren. Das geht nicht so schnell und ist manchmal sogar unmöglich.

SONNENENERGIE:

Was waren die wichtigsten Erkenntnisse, die Sie in der Automobilindustrie gewonnen haben?

Berkan:

Immer im System zu denken und niemals auf der Komponentenebene zu verharren, sowie die volle Verantwortung für das Produkt, dessen Eigenschaften und Sicherheit zu übernehmen. Ein Automobilhersteller ist ja im Wesentlichen ein Automobilentwickler und Automobilassembler. Der extrem wichtige Zwischenschritt, die Komponenten- und Baugruppenherstellung, liegt in der Verantwortung externer Unternehmen, nämlich der Zulieferer. Hier gibt es gewisse Ähnlichkeiten zur PV-Industrie, wo der Projektplaner und Ausfühler einer PV-Anlage ähnlich wie in der Automobilindustrie die Projektierung und damit letztendlich die Entwicklung des Systems verantwortet sowie dessen Umsetzung, also die Systemherstellung. Der gesamte Zwischenschritt bezüglich der Komponentenherstellung wird hierbei von den verschiedenen Zulieferern für die PV-Module, die Kabel, Wechselrichter, Gestelle, Verbindungsteile etc. übernommen. Manchmal ist auch „die letzte Meile“, die Errichtung der Anlage beim Kunden, durch einen weiteren Zulieferer vom Projektierer entkoppelt, was die Gesamtsituation in der Regel nicht einfacher macht.

SONNENENERGIE:

In der von Ihnen angesprochenen Photovoltaikindustrie ist vor Kurzem auch eine neuerliche Diskussion um Qualitätsanforderungen und Sicherungsmethoden entbrannt. Was unterscheiden denn PV- und Autoindustrie?

Berkan:

Es ist in der Automobilindustrie undenkbar, Komponenten oder Baugruppen ungetestet und ohne eine detaillierte Spezifikation und Validierung zu verbauen und dem Kunden zuzumuten.

Hierbei werden die Anforderungen an die Komponenten und Baugruppen auch immer um eine auf das jeweilige System (also das Auto und die Umgebung, in welchem es eingesetzt werden soll) maßgeschneiderte Spezifikation erweitert und ebenfalls einer entsprechenden Validierung unterzogen, die alle schadensakkumulierenden Beanspruchungen und Einflüsse, denen die Komponente oder Baugruppe über die projektierte Lebensdauer ausgesetzt ist, realitätsnah abbildet, um ein aussagekräftiges Ergebnis bezüglich Qualität und Eignung abzuleiten. Jedes Ergebnis jeder einzelnen Validierungstätigkeit ist hierbei wichtig und muss unbedingt in den Produktentwicklungsprozess zurückgekoppelt werden, damit ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess in Gang kommt und aufrecht erhalten werden kann. Es gibt ganze Ingenieursdisziplinen wie das statistic engineering, die sich nur damit beschäftigen, denn nichts ist für die Zukunft eines Unternehmens schlimmer, als sich den Ruf und damit die Grundlage des eigenen wirtschaftlichen Überlebens durch fehlerhafte oder gar gefährliche Produkte zu zerstören.

SONNENENERGIE:

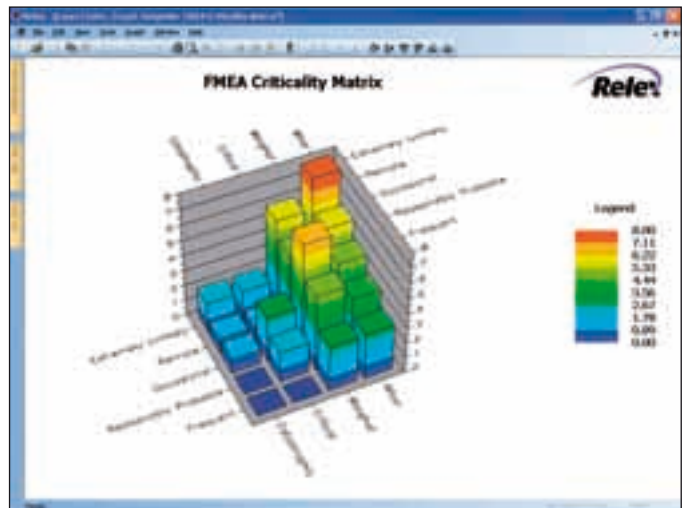
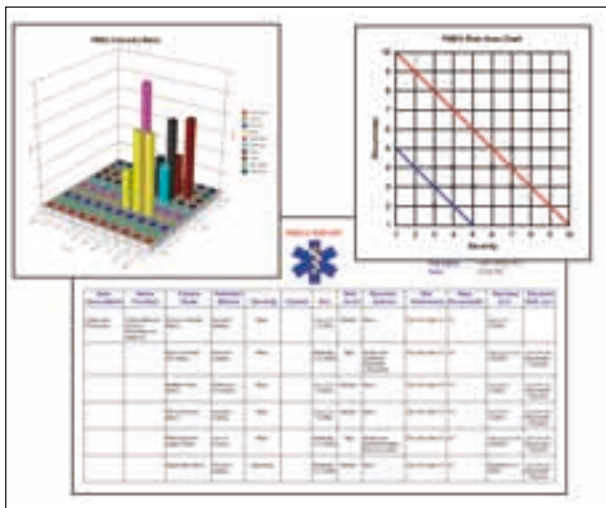
Aus Sicht der Nachhaltigkeit ist dies sicher richtig, in der unternehmerischen Realität wurde der Sicherheitsgurt aber von dem US-Anwalt Nader in langwierigen Verbraucherschutzprozessen eingeklagt. Ab wann gelten denn diese hehren Ziele in einer Industrie?

Berkan:

Diese müssen sofort, immer und überall gelten. Egal ob bei Automobilen, Flugzeugen oder Waschmaschinen. Wenn wir zum Beispiel auf den PV Markt schauen, haben wir ja gerade diesen schlimmsten aller anzunehmenden Fälle erlebt



Ingenieurmäßige Planung ist auch zur Schadensverhütung wichtig



Schadensprognose nach Häufigkeit und Schwere mit der FMEA (Fehler-Möglichkeit-Einfluss-Analyse)

bei dem medienwirksamen Brand der weltweit größten zusammenhängenden Dach-Photovoltaik-Anlage in Bürstadt. Als ich einige Details über diese Anlage erfahren habe, sind mir die Haare zu Berge gestanden. Aus Systemsicht halte ich die Anlage, so wie und mit welchen Komponenten aufgebaut wurde, für unverantwortlich, ebenso dass sie nach den letzten Vorkommnissen um die Brandgefahr von BP-Modulen meines Erachtens nicht adäquat revidiert wurde. Ich sage bewusst nicht, dass die BP Module den Brand ausgelöst haben, denn ich weiß es nicht und es ist aus meiner Sicht auch nur zweitrangig, wenn man das Gesamtsystem und die Gesamtumstände betrachtet.

SONNENENERGIE:

Woran krankt es dann im Gesamtsystem?

Berkan:

Hier tun sich alle erdenklichen Abgründe menschlicher, struktureller, technischer und prozesstechnischer Art auf. Alleine das Hochvoltsystem, das man auf einem Rahmen aus brennbarem Material errichtet hat und welches unter der radiologischen Einwirkung unseres Zentralgestirns ja auch noch ein gewisses energetisches Eigenleben führt, kommt mir vor wie ein Kabel mit mehreren Steckverbindungen, welches man quer durch den Benzintank eines Fahrzeuges führt. Ich weiß es zwar nicht, aber womöglich hat man in diesem Fall sogar die Holzbalken auf brennbarer Dachpappe verbaut - eine wahrhaft heiße Kombination, in deren Zwischenräumen sich Flammen ausbreiten können wie Termiten in den billigen Holzwänden australischer Häuser. Es gab in der Vergangenheit doch nun wirklich genügend schwerwiegende thermische Vorfälle, aus denen man ableiten kann, dass man für bestimmte kritische An-

wendungen bestimmte Materialien nicht kombinieren sollte. Tut man es trotzdem, hat das Projekt dann eine auf Disaster programmierte Rezeptur wie seinerzeit die Hindenburg, wo ein sich elektrostatisch aufgeladener Anstrich verwendet wurde, um hochexplosiven Wasserstoff zu umschließen oder auch Apollo 8, wo die Kapsel aufgrund der Kombination aus einer hohen Sauerstoffkonzentration und brennbaren Materialien durch einen elektrischen Kurzschluss ausbrannte und alle drei Astronauten tötete. Aber auch in der Gebäudetechnik gibt es mehr als genügend Beispiele.

SONNENENERGIE:

In Bürstadt wird nun seit geraumer Zeit diskutiert, wo sehen Sie die Verantwortung aus Systemsicht?

Berkan:

Bei der Anlage in Bürstadt sehe ich wirklich jeden Beteiligten in der Verantwortung und ich bin froh, dass das ganze ohne Verletzte oder gar Tote ausgegangen ist. Der materielle Schaden wird hoffentlich zumindest die Versicherer aufschrecken, die nun endlich im Eigeninteresse die Qualitätsanforderungen anziehen sollten.

Ich möchte noch einmal explizit zwei Dinge hier betonen: Zurzeit ist noch nicht bewiesen, dass der Brand durch von BP zu verantwortende Mängel in den BP Modulen ausgelöst wurde. Aber selbst wenn es sich herausstellen sollte, dass der Brand von einer anderen Komponente als dem Modulen ausgegangen ist, war das Modul immer noch ein Bauteil eines fehlerhaften Systems und damit direkt oder nicht direkt am Brandvorgang beteiligt, also alleine auf das System der PV-Anlage bezogen fehlten dem Modul damit mindestens passive Eigenschaften, die einen Brand verhindern hätten können.

SONNENENERGIE:

Welche funktionalen Systemeigenschaften sehen Sie als notwendig an?

Berkan:

Insbesondere wenn man gewisse kritische Systemgrößen überschreitet, können sich einstmals unbedeutende Faktoren in Gefahren- und Schadenspotenziale verwandeln und daher ist es von fundamentaler Bedeutung, den Systemgedanken immer in den Vordergrund zu stellen und nichts mehr isoliert voneinander zu betrachten. Als ein kleines Beispiel möchte ich einmal mehr auf die Automobiltechnik zurück kommen. Moderne Antriebsstränge wie der von Hybridfahrzeugen haben extrem leistungsstarke Batterien an Bord und operieren mit Gleichspannungen von mehreren hundert Volt. In der Automobilindustrie gilt aus sicherheitstechnischer Sicht des Berührungsschutzes als obere Spannungsgrenze ein Limit von 60 Volt. Alles oberhalb ist extrem gefährlich und muss aufwändig abgesichert werden für alle nur erdenklichen Umstände. Dies schließt insbesondere Vorfälle außerhalb des regulären Betriebes mit ein wie zum Beispiel Missbrauch oder Unfälle. Diese Systeme können extrem kraftvolle Lichtbögen entzünden, die dann zum Fahrzeugbrand auswachsen können. Für die Wartung oder Abschaltung bei einem Unfall muss ein entsprechender Automatismus und / oder leichter und sicherer Zugriff von außen ermöglicht werden.

SONNENENERGIE:

Wird dieser Entwicklungsansatz und die zugrundeliegende Systemdenkweise irgendwo gelehrt?

Berkan:

In der Automobilindustrie ist sie ein bedeutender und selbstverständlicher Bestandteil eines jeden Entwicklungsprozesses. Bei GM zum Beispiel gibt es Tools

wie DFSS, REDX oder KYDI, die rund um den Globus verteilt von Spezialisten beherrscht werden und die ihr Wissen mit allen Entwicklungs-, Garantie-, Validierungs- und Qualitätssicherungsabteilungen teilen. DFSS steht hierbei für präventives statistisches Engineering, was grundsätzlich den Ansatz des robusten Designs in den Vordergrund stellt, sodass die erzeugten Produkte gutmütig im Hinblick auf Toleranzvariation, Verschleiß und Fehlverhalten reagieren. REDX ist ein im Prinzip teilweise ähnlicher Ansatz, fokussiert sich aber auf die Fehlerbehebung eines bereits bestehenden Produkts im Sinne einer Komponente oder eines Systems. KYDI steht für „Know Your Design Interface“, ist ein Teil bzw. eine Erweiterung von DFSS und fordert im Wesentlichen dazu auf, insgesamt 20 Fragen zum Anforderungsprofil, zu funktionalen Schnittstellen, zu Einflussparametern, zur Qualität und zu Validierungsergebnissen zu beantworten. Das Ganze geht einher mit weiteren analytischen Prozessen wie DFMEA oder FMEA, wobei letzteres für Fehler-Möglichkeiten-Einfluss-Analyse steht und mittels systematischer Bewertung allen erdenklichen Fragen nach Wechselwirkungen oder Fehlerbildern nachgeht. Je nach Gewichtung werden diese Fragen dann mit Nachweisforderungen versehen. Die Beantwortung dieser Fragen geschieht wiederum im Validierungsprozess, in welchem durch analytische Betrachtung, in der Regel aber durch geeignete experimentelle Absicherung die Eignung der Komponenten und Baugruppen für das angedachte System nachgewiesen wird. Die Ergebnisse der Validierung werden dabei nach wei-

teren standardisierten Prozessen ausgewertet und müssen anschließend wieder in einem Closed Loop Verfahren in die Entwicklung zurückgeführt werden, um sicherzustellen, dass das zu entwickelnde Produkt den Anforderungen entspricht. Dies setzt aber vor allem eines voraus, nämlich dass die Anforderungen an das System und heruntergebrochen an die Komponenten bekannt und detailliert in Spezifikationen fixiert sind.

SONNENENERGIE:

Was bedeutet dies alles übersetzt auf PV-Module beziehungsweise PV-Anlagen?

Berkan:

Das Ausformulieren der Anforderungen an das System und heruntergebrochen an die Komponenten sehe ich fundamental im Verantwortungsbereich der PV Projektentwickler, also der Planer und Handwerker, ebenso wie das Ausformulieren von geeigneten Validierungsvorschriften und die Einforderung des Nachweises von Komponenten und Subsystemherstellern, diese auch einzuhalten. Nur so kann überhaupt eine rechtsverbindliche Grundlage für Produkteigenschaften und Qualität, aber auch für Haftungsfragen geschaffen werden. Hier gibt es ja bereits erste Hilfestellungen wie zum Beispiel den RAL-GZ 966.

SONNENENERGIE:

Wie sollten denn Hersteller, Planer und Installateure aus sicherheitstechnischer Sicht vorgehen?

Berkan:

Ich denke, man sollte hier zweigeteilt vorgehen und zum einen den Schwerpunkt auf die Komponenten wie PV-

Modul, Steckverbindungen, Wechselrichter, Befestigungsrahmen etc. legen, wobei jede einzelne davon nachweisen muss, dass sie über die projektierte Lebensdauer allen erdenklichen Einflussparametern wie thermischer, mechanischer, elektrischer, radiologischer oder auch chemischer Wechselbelastung standhalten kann. Die hierfür anzuwendenden Nachweisverfahren wie zum Beispiel physikalische Tests, sollten also möglichst das gesamte Spektrum von Einflüssen, und hier insbesondere die zu erwartenden Extreme, abbilden. Das bedeutet extreme Temperaturschwankungen im Zusammenspiel mit extremen Luftfeuchtigkeitsschwankungen und Schockbelastungen wie Starkregen, Blitzeis, Hagel, aber auch saurer Regen, Staub oder UV-Belastung müssen in geeigneter Weise experimentell standardisiert abgebildet und ausgewertet werden. Die derzeit in der Branche verbreiteten IEC Bestimmungen (IEC 61215 und 61646) bilden die realen Anforderungen der Natur über die Lebensdauer nur unvollkommen ab.

SONNENENERGIE:

Was ist die zweite Seite?

Berkan:

Die andere Seite ist es, sich auf das jeweilige zusammengesetzte System zu fokussieren. Es macht einen extremen Unterschied, ob man ein 20 V Panel an eine Autobatterie anschließt oder von einem 600 Volt System über einen Wechselrichter ins öffentliche Netz einspeist. Hier sei noch einmal das Stichwort der 60 Volt als Spannungsobergrenze im Sinne des Berührungsschutzes erwähnt. Es macht auch einen extremen Unterschied, ob man ein System auf dem Gipfel eines Berges errichtet oder in den Niederungen eines Tals. Ebenso macht es einen Unterschied, ob ein System im tropischen Regenwald von Papua Neuguinea steht oder in der Großen Wüste in Zentralaustralien.

SONNENENERGIE:

Was bedeutet das für Planung und Ausführung?

Berkan:

Was auf Komponentenebene nur unvollständig beantwortet werden kann ist auch und insbesondere das Thema der Anlagensicherheit und Unfallverhütung. Errichte ich meine PV-Anlage auf einem luftigen Gestell aus leicht brennbaren Substanzen oder wähle ich doch lieber nicht brennbare Materialien? Schaffe ich beim Errichten verdeckte Hohlräume, in denen sich Brände unkontrollierbar ausbreiten können oder benutze ich vielleicht doch lieber ein System aus definiert abgeschlossenen Teilvolumina? Überwache ich lediglich den Strom



Besonderheiten der Klimatischen Bedingungen: Korrosionsprobleme von Seecontainern auf Papua Neu Guinea

und die Leistung der Gesamtanlage oder überwache ich doch lieber definierte Teilabschnitte aus Modul-Clustern oder gar die einzelnen Module? Dehne ich diese Überwachung auf die Anschlussdosen aus oder interessiere ich mich nicht für die möglichen thermischen Folgen einer schadhafte elektrischen Verbindung mit einem erhöhten Übergangswiderstand? Habe ich „Sollbruchstellen“ eingebaut, an denen ich die Anlage außer Betrieb setzen kann, wobei in keinem Anlagenteil kritische Spannungspotenziale im Sinne des Berührungsschutzes oder der Lichtbogenproblematik auftreten, oder interessiere ich mich nicht dafür, was passieren kann, wenn jemand versucht eine brennende PV-Anlage mit Wasser zu löschen? Fragen dieser Art und noch viele weitere sind es, die es aus technischer Sicht zu beantworten und umzusetzen gilt. Dies sollte immer im Einzelfall in einer möglichst umfangreichen System-FMEA (Fehler-Möglichkeiten und Einfluss-Analyse) betrachtet werden, um sicherzustellen, dass die eingesetzten Komponenten den Anforderungen des Gesamtsystems dauerhaft und unter allen Umständen genügen. Hier müssen aus meiner Sicht zur nachhaltigen Steigerung der Umsetzungsmotivation unbedingt auch der Gesetzgeber und die Versicherungen aktiv werden.

SONNENENERGIE:

Müssen dazu Innovationen und neue Erfindungen her?

Berkan:

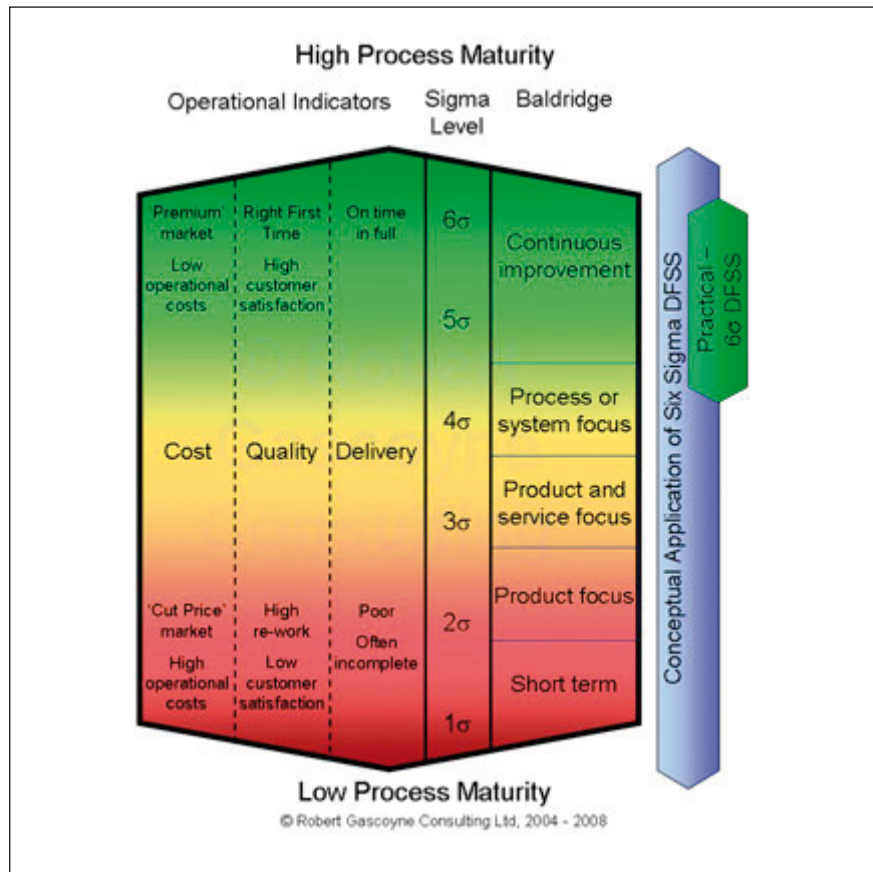
Das meiste braucht man ja gar nicht neu zu erfinden. Es reicht ja schon, wenn man sich einmal in technisch verwandten Gebieten umschaute. Zum Beispiel werden schon seit langem bei jeder beliebigen mehrzelligen Li-Ion Batterie die Zellen einzeln überwacht und deren Zustand diagnostiziert und an Steuerungssysteme kommuniziert. Jedes PV Modul hat doch sowieso schon ein Kabel und kostet ordentlich Geld. Wo ist denn eigentlich das Problem, ein simples und robustes Kommunikationsbussystem zu integrieren, und ein paar billige Sensoren mit einzubauen? Wie das geht, kann man sich wirklich in jeder elektronischen Komponente aus dem Automobilbau abschauen.

SONNENENERGIE:

Das ist ein sehr interessanter Ansatz. Können Sie noch weitere Beispiele geben?

Berkan:

Fangen wir bei dem an, was dem Kunden immer als erstes ins Auge sticht, die Module. Ich war während meiner Zeit bei GM gemäß den oben erwähnten Pro-



Design for Six Sigma - Statistische Methode zur Qualitätssicherung

zessen unter anderem für die Entwicklung eines Solardachs für den Chevy Volt verantwortlich. Ich habe während dieser Zeit zweimal Europa und die USA bereist und viele Hersteller und Zulieferer der PV Branche getroffen. Aus meinem automobilen Blickwinkel ist es mir völlig unverständlich, wie überhaupt jemand so etwas wie die gegenwärtigen PV-Module herstellen und vertreiben kann. Die Qualitätsanforderungen in der Automobilindustrie liegen im Bereich weniger dutzend bis hundert ppm (Teile auf eine Million Auslieferungen) Ausfallquote innerhalb der Garantiezeit. Aus meiner Zeit bei BMW habe ich weiterhin viel mit elektrischen Löt- und Schweißverbindungen innerhalb thermisch dynamisch beanspruchter Bauteile zu tun gehabt. Ich habe nicht einen einzigen manuellen Herstellungsprozess für Lötverbindungen gefunden, der diesen Anforderungen genügt hätte. Die wenigen ppm während der Garantiezeit akkumulieren sich weiterhin zu stattlichen % über die gesamte Fahrzeuglebensdauer von vielleicht 12 oder 15 Jahren. Eine PV-Anlage soll aber noch eine viel höhere Lebensdauer haben. Das geht nicht gut zusammen.

SONNENENERGIE:

Wie kann die PV-Branche das Problem lösen?

Berkan:

Eine seriöse Spezifikation für ein PV Modul muss daher immer eine voll automatische Verbindung aller elektrischen Kontakte fordern und darf niemals gestatten, das manuelle Lötverbindungen gesetzt werden. Die Kontaktierung kann zwar durch Lötverbindungen geschehen, sie muss es aber nicht, denn aus Sicht des Produktentwicklers ist in diesem Fall das Kleben mittels geeigneter elektrischer Leitkleber eine durchaus interessante Alternative.

SONNENENERGIE:

Ist Automatisierung und Innovation in der Modulfertigung alles?

Berkan:

Nein, das sind nur Nebenkriegsschauplätze. Bricht man das Thema im Sinne von DFSS und FMEA weiter herunter, geht es am Ende nur darum einen Strom der Größe X von A nach B über eine A und B verbindende Komponente Z zu leiten, wobei die Einflussgrößen primär von mechanischer und thermischer Wechselbeanspruchung sind, die durch externe Faktoren wie Wind und Wetter und interne Faktoren wie zum Beispiel der Widerstandserwärmung von Z aufgeprägt werden. Hieraus kann man sich verschiedene Designmerkmale ableiten, die die schädlichen Auswirkungen der einwirkenden Belastung derart minimie-

ren, dass die elektrische Verbindung über ihre projektierte Lebensdauer im Sollbereich funktioniert. Das ist zum einen die Verbindung selber, also zum Beispiel das Thema Löten oder Kleben, aber auch Designmerkmale wie Spannungsentlastungen durch mehrdimensionale Leitungsführung. Weiterhin habe ich viel zu viele wirklich schlampig ausgeführte Laminierungen gesehen, wo zum Beispiel durch die EVA (Ethylen-Vinyl-Acetat) hindurch mit einem Lötkolben Löcher gebrannt wurden, um die Strings der Zellen elektrisch zu kontaktieren. Mir graust es geradezu bei diesem Gedanken.

SONNENENERGIE:

Neben der Elektrik, wo sehen sie andere Schwachstellen?

Berkan:

Weiter mit den Rahmen. Bei nicht wenigen Modulen hatte ich den Eindruck gewonnen, dass die Winkelprofile von Hand abgelängt wurden. Da passte nichts zusammen. Wer hat sich überhaupt dieses unglückselige Design ausgedacht? Da überlappt permanent eine hervorstehende Kante die Vorderseite des Moduls und fängt unten das Wasser auf. Wenn ich ein Automobil zum schnellen Rosten bringen will oder gerne Wassereintrüche im Innenraum haben möchte, dann mache ich genau das. Aber ganz bestimmt nicht, wenn ich die Innenseite eines PV-Moduls zwanghaft trocken halten muss. Das Minimum, was man hier zur Qualitätssicherung erwarten könnte, ist ein voll automatisierter Verklebungsprozess, der statistische Variationen in der Klebverteilung minimiert und alle Teile exakt reproduzierbar platziert, ähnlich wie der voll automatisierte Verklebeprozess für die Fahrzeugfrontscheibe. Dennoch glaube ich nicht, dass auch bei Verwendung höchstwertiger Klebstoffe bei diesem Design dauerhaft unter allen Umständen wie zum Beispiel Regen, Wind oder Schneelast die Funktionalität des Moduls über die projektierte Lebensdauer aufrecht erhalten werden kann.

SONNENENERGIE:

Gibt es noch Anderes?

Berkan:

Kabel und Steckverbinder für Gleichstrom erhöhter Spannungslage bedürfen eines besonderen Designs beziehungsweise eines besonderen Sicherungskonzeptes innerhalb des Systems, da es beim Stecken und Lösen unter Spannung zu einem unkontrollierten Lichtbogen kommen kann, der bestenfalls nur den Stecker unbrauchbar macht. Ich habe auf diesem Gebiet seinerzeit viel bei BMW entwickelt, da ich für die Energieversor-

gung für Mild Hybride verantwortlich war. Aus Systemsicht kann ich hier keinerlei konzeptionelle Sicherheitsansätze in PV-Anlagen erkennen. Das ist ein großes unbeschriebenes Blatt und muss dringend angegangen werden.

SONNENENERGIE:

Wie sieht es bei den Wechselrichtern aus?

Berkan:

Wechselrichter sind hochkomplexe elektronische Bauteile, die aus vielen zugekauften Einzelkomponenten wie Widerständen, ICs, Kondensatoren, Spulen etc. bestehen, die überwiegend durch Lötverbindungen miteinander verbunden sind. Ich habe, während ich für GM an der Entwicklung des Solardachs tätig war, mit einem nicht näher genannten deutschen Solarzellen- und Wechselrichterhersteller Diskussionen über die Qualität und Validierung der Qualität der Wechselrichter geführt. Ich konnte dessen Einschätzung nicht teilen, dass umfangreiche thermische und mechanische Wechselbeanspruchungstests nicht erforderlich seien, weil das Gerät an der Wand fest verankert ist und daher nicht vibriert und weil der Strom mehr oder weniger konstant sei und damit die innere Erwärmung ebenfalls auf mehr oder weniger konstanter Temperatur verharrt. Ich persönlich komme zu dem Schluss, dass die Bauteile aufgrund des getakteten Stromflusses und der unangenehmen Eigenschaft von fließendem Strom, Magnetfelder auszubilden, einer 50 oder 60 Hz Schwingung unterliegen müssten sowie harmonischen Vielfachen davon. Auch kam ich zu dem Schluss, dass das Gerät nachts auf Umgebungstemperatur abkühlen dürfte, die durchaus deutlich unter dem Gefrierpunkt von Wasser liegen kann. Über eine projektierte Lebensdauer von 10 Jahren komme ich somit auf eine minimale Anzahl von 3650 thermischen Wechselzyklen. Weiterhin, auf die Frage, wie denn die Lebensdauer von 10 Jahren (immerhin mehr als 85.000 Stunden) für den elektrischen Lüfter validiert worden sei, habe ich die Antwort bekommen: „...gar nicht, die sind von Papst, die halten...“ Hier zeigt sich das fundamentale Problem des mangelnden Systemverständnisses sowie einer gewissen fatalistischen Gleichgültigkeit gegenüber dem wirtschaftlichen System, bestehend aus dem Produkt in Wechselwirkung mit dem Kunden und Gewährleistungsansprüchen. All dies kann man aus Ingenieurssicht sehr leicht erschließen und in aussagekräftige Validierungsvorschriften übersetzen. Ob dieses dann tatsächlich gemacht und umgesetzt wird, ist wiederum eine andere Frage.



Brände in Tunneln gehören zu den gefährlichsten Feuerereignissen weltweit

SONNENENERGIE:

Wie sollte aus Ihrer Sicht die Solarbranche mit dem Thema Rückruf umgehen, insbesondere nach dem jetzt eingetretenen großen Schadensfall?

Berkan:

Das hat für mich mehrdimensionale Ansätze. Wenn man den Blick scheuklappenartig auf dieses beeindruckende thermische Großereignis fokussiert, muss ich ehrlicherweise zugeben, dass es möglicherweise nicht ausreicht, einen einzigen Schuldigen zu benennen. Unterstellen wir einfach einmal fiktiv, dass der Brand durch ein schadhafte oder beschädigtes Modul ausgelöst wurde. Die Brandursache erklärt nicht, wieso der Auslöser, also die thermische Initialeinwirkung des schadhafte Moduls auf chemisch reaktive Nahrung gestoßen ist. Was ich sagen will ist, dass meiner Meinung nach die Anlage als ganzes zurückgerufen gehört. Aber, wenn derartige schadhafte PV-Module auf nacktem Beton oder Stahleinfassungen installiert worden wären, wäre ein inhärenter Brandschutz des Systems an sich gegeben gewesen.

SONNENENERGIE:

Die Systemverantwortung liegt also voll beim Planer und Installateur, ist er der Automobilhersteller im übertragenen Sinne?

Berkan:

Hier muss ich noch einmal das oben zitierte Beispiel des Kabels mit den Steckverbindern, verlegt in einem Benzintank, erwähnen. Wenn ein schadhafte Steckverbinder einen Funken und damit eine Entzündung des Benzins auslöst, sind vielleicht der Stecker und möglicherweise dessen Hersteller in der Haftpflicht. Jedoch ist bei diesem Beispiel doch nun wirklich jedem klar, dass derartige Kabel nicht in, sondern um den Tank herum verlegt gehören. Wenn nun der Brand in Bürstadt anstatt durch ein weiteres schadhafte PV Modul durch ein falsch oder schlecht verlegtes, falsch dimensioniertes oder schadhafte Kabel ausgelöst wurde, dann sehe ich wiederum eher

eine Verantwortlichkeit beim Systemlieferanten. Ich möchte an dieser Stelle betonen, dass ich hier von Verantwortlichkeit im Sinne von physikalischer Ursache und Wirkung spreche und keinesfalls im rechtlichen Sinne! Das ist wiederum ein ganz anderer Bereich, in dem ich nicht kompetent bin. Die gleiche Problematik sehe ich bei einem Isolationsfehler durch oder ohne Fremdeinwirkung. In jedem Fall hat das Gesamtsystem, also die PV-Anlage, so wie sie projektiert war, zugelassen, dass sich ein Brand entwickeln und ausbreiten konnte. Sie war nicht in sich betriebssicher konstruiert und das ist meines Erachtens ein falscher Ansatz.

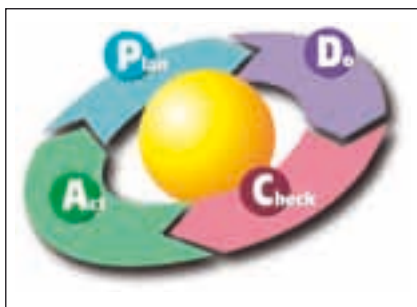
SONNENENERGIE:

Wie sehen Sie die Projektierer in der Verantwortung?

Berkan:

Schauen wir einmal in andere technische Bereiche, die uns allen bestens bekannt sind. Fiktiv angenommen, ein überhitzter Katalysator würde einen Fahrzeugbrand in einer Tiefgarage auslösen, in diesem Fall würde, wenn keine weiterführenden Sicherheitsmaßnahmen verbaut wurden, vermutlich das gesamte Gebäude inklusive sämtlicher weiterer in der Tiefgarage abgestellter Autos in Schutt und Asche enden.

Für uns ist es heute jedoch völlig normale Erwartungshaltung, dass in der Tiefgarage eine funktionierende Sprinkleranlage eingebaut ist, die genau dieses verhindert, indem sie den Schaden lokal begrenzt, eindämmt und unter Kontrolle bringt und dabei die anderen Autos sowie eventuell anwesende Personen vor weiterem Schaden schützt. Ein derartiges Sicherheitsmerkmal des funktionalen Systems „Tiefgarage“ ist für uns alle heute selbstverständlich, weil es uns derart unter die Haut gewachsen ist wie das Anlegen des Sicherheitsgurtes. Das war in der Vergangenheit nicht immer so, hat sich aber aufgrund von Unfällen und das hierdurch gesteigerte Bewusstsein so entwickelt.



Der Deming Kreis zur Qualitätssicherung – Planung (Plan), Ausführung (Do), Kontrolle (Check) und Verbesserung (Act)

SONNENENERGIE:

Gefahrenverhütung ist also immer eine Frage des Systems?

Berkan:

Ein weiteres Beispiel macht vielleicht noch klarer worauf ich hinaus will. Denken wir nur an die verheerenden Tunnelbrände, die wir in den letzten Jahren in Europa, aber auch anderen Teilen der Welt, hatten. Ein Tunnel ist ja im Endeffekt auch nur eine Art langgezogene Tiefgarage. Es gab Brände, die von einem oder ein paar Fahrzeugen ausgingen und sich aufgrund des unzulänglichen funktionalen Systems „Tunnel“ ungehindert zu Katastrophen ausweiten konnten. Das hängt wesentlich damit zusammen, dass sich die Wahrnehmung des Systems „Tunnel“ in der Vergangenheit eher auf seine ihm als ordnungsgemäß angedachte Funktion beschränkte, nämlich auf der Seite A etwas hineinzuschieben und auf der anderen Seite B etwas herauszudrücken, Fahrzeuge eben.

Damit die Passagiere nicht in den Abgasen ihrer Fahrzeuge erstickten, wurde bei langen Tunneln noch ein Ventilator spendiert und auch etwas Licht, damit man mehr sah.

Fehlfunktionen im Sinne eines verheerenden Unfalls waren hingegen nicht unbedingt primäres Planungsziel beim Tunnelbau. Eine Folge beim Eintreten eines Unfalls mit Fahrzeugbrand konnte deswegen aber sein, dass das gesamte funktionale System „Tunnel“ in Windeseile kollabierte und in einem sich selbst verstärkenden Effekt den Schaden exponentiell vergrößerte. Löschanlagen waren meist Mangelware, Rauchabzüge gab es nicht oder nur unzureichend und der Windzug, der sich durch die besonderen bautechnischen Gegebenheiten des Systems „Tunnel“ ausbildete, führte zu einem schnellen Ausbreiten des Feuers und von toxischem Qualm und Gasen. In vielen Tunneln gab keine Möglichkeit definierter „Sollbruchstellen“, also auf der einen Seite von Fluchtmöglichkeiten und auf der anderen von sicheren und definierten Zugriffsmöglichkeiten für Rettungskräfte.

SONNENENERGIE:

Das Tunnelbeispiel leuchtet ein, aber wie verhält sich das im Bezug auf PV-Anlagen?

Berkan:

Für mich hat die nun betroffene PV-Großanlage daher etwas von einem dieser schlecht geplanten Tunnel. Sicher, die Anlage hat lange Zeit genau das gemacht, was sie sollte, nämlich auf der einen Seite Licht in die Module hineingeschoben und auf der anderen Seite Strom herausgedrückt. Das hat schon funktioniert, zumindest teilweise und solange,

bis die ersten „Fahrzeuge“, also die PV Module, „Pannen“ bekommen hatten. Da es sich bei den PV-Modulen um Module mit einem aus der Vergangenheit bekannten Risikopotenzial eines schleichenden thermischen Schadens handelt, ist die Situation virtuell vielleicht ein wenig vergleichbar mit Fahrzeugen, die im Tunnel liegengeblieben sind, weil ihnen zum Beispiel der Motorkabelbaum am heißen Auspuff verschmort ist.

Anscheinend hat nun dies in der Vergangenheit niemanden wirklich interessiert. Man hat wohl auf den Fahrzeughersteller geschimpft wegen der mangelhaften elektro-thermischen Qualität seiner Produkte, man hat auch, teilweise mit erheblicher Zeitverzögerung, die schadhaften Fahrzeuge aus dem Tunnel schleppen lassen in eine Werkstatt, wo unter Regie des Fahrzeugherstellers die verschmorten Kabel herausgerissen wurden und als Ersatz stückweise identisches Flickwerk manuell eingelötet wurde, welches abermals in genau gleicher Weise wieder viel zu dicht und nicht hinreichend isoliert am heißen Auspuff vorbei verlegt wurde.

SONNENENERGIE:

Welche Rolle haben die Kunden im Markt?

Berkan:

Leider haben die geschädigten Kunden in der Vergangenheit diese Ausfälle zähneknirschend mit dem für sie anfallenden wirtschaftlichen Ausfall hingenommen, der durch diese Ereignisse hervorgerufen wurde, weil der Tunnel temporär gesperrt (abgeschaltet) werden musste, um die schadhaften und liegengebliebenen Fahrzeuge einzeln abzuschleppen, zu flicken und an der anderen Seite wieder in den Tunnel hinein fahren zu lassen.

Nun ist jedoch auf einmal mit einem singulären Ereignis alles anders geworden. Eines dieser Fahrzeuge ist im Tunnel richtig ausgebrannt und hat dabei viele weitere Fahrzeuge und bedeutende Teile des Tunnels zerstört.

Vielleicht wird man nie mit Sicherheit feststellen können, ob der Brandauslöser wiederum von den durch den Fahrzeughersteller fehlerhaft designten und verlegten Kabeln am Auspuffkrümmer hervorging oder dieses eine Mal vielleicht etwas anderes der Auslöser war, zum Beispiel, dass der Besitzer und Betreiber des Fahrzeugs einen größeren Generator mit höherer Spannung hatte einbauen lassen und dabei nicht beachtet hatte, ob die Kabel und die Batterie hierfür noch richtig dimensioniert sind. Wer weiß? Vielleicht hatte er auch einfach nur einen Stecker nicht richtig aufgesetzt. Jedenfalls ist dieses Fahrzeug jetzt ausgebannt und hat einen Tunnelbrand entfacht, im

Zuge dessen zig weitere Fahrzeuge im Tunnel mit ausgebrannt sind.

Durch einen glücklichen Zufall hat es keine schwerwiegenden Personenschäden gegeben, obwohl das Design des Systems „Tunnel“ keine relevanten Sicherheitsfeatures aufwies, sodass sich Rauch, Hitze und Flammen ungehindert durch den Tunnel fressen konnten, wo überdies die Wände des Tunnels noch aus leicht brennbarer Dachpappe auf Holzbalken gefertigt waren, was den Brand noch beschleunigte. Auch gab es keinerlei Zugriffsmöglichkeiten für die Löschkräfte, außer an beiden Enden des Tunnels.

SONNENENERGIE:

Die Diskussion um die Hilflosigkeit der Feuerwehren in solchen Katastrophenfällen von PV-Anlagen wird gerade durch die Fachzeitschrift Photon geführt?

Berkan:

An einem solchen fiktiven Beispiel ist für uns alle sofort klar, dass die Brandkatastrophe zwar von einem schadhafte Auto ausging, dessen Hersteller das thermische Gefahrenpotenzial seines Produktes sogar kannte und der trotzdem nicht seine gesamte Fahrzeugflotte zurückgerufen hatte, aber niemand würde in diesem Fall auf die Idee kommen, nur den Hersteller alleine für den Ausgang des Vorfalls verantwortlich zu machen. Vielmehr würde jeder sofort dazu tendieren, den Hersteller des Systems „Tunnel“ dafür verantwortlich zu machen, dass er keine fundamentalen Sicherheitsvorkehrungen eingebaut hatte, die eben genau diesen Ausgang verhindert hätten.

Und hier zeigt sich wiederum die Parallele zur PV-Anlage, die ich aufzeigen wollte. Es geht also vielmehr um das gesamthafte Anlagensystem, welches augenscheinlich signifikante Schwachstellen aufweist, die genau die jetzt gesehnen thermischen Folgen zugelassen und ermöglicht haben. Es geht um viel mehr

als nur um qualitativ minderwertige PV-Module, welche statistisch abgesichert mit einiger Relevanz dazu tendieren, spontan ihr thermisches Temperament effektiv der Umwelt mitzuteilen.

SONNENENERGIE:

Was sollten die Konsequenzen der PV-Branche sein?

Berkan:

Es sollte einfach nicht hingenommen werden, dass möglicherweise diejenigen, die das Gesamtsystem der betroffenen PV-Anlage projektiert hatten, nun ausschließlich auf den Hersteller zeigen und sagen „Fix das mal eben...“, aber gleichzeitig damit versuchen sich aus ihrer eigenen Verantwortung zu stellen. Ich will hier niemanden direkt oder persönlich angreifen, ich weise lediglich mit aller Deutlichkeit und Vehemenz darauf hin, dass hier ein für allemal eine Ära des „Bastelns“ zu Ende gegangen ist. Regenerative Energie in Form von PV-Modulen ist mittlerweile in energetische Leistungsbereiche vorgedrungen, die im satten Kraftwerksbereich liegen. Das hat nichts mehr zu tun mit der einstigen Batterieladestation im Kleingartenverein.

Man muss also vielmehr die Chance erkennen, die sich hier auftut, wenn wir aus den nun erkennbaren Fehlern der Vergangenheit lernen und sowohl die Komponentenhersteller als auch die Systemlieferanten, also letztendlich die PV Anlagenprojektierer, können hier sehr viel aus dem Bereich des Automobilbaus lernen, indem sie einfach dort reichlich bestehendes Knowhow hinsichtlich Qualität, Robustheit, Zuverlässigkeit und Systemsicherheit für ihre Belange modifizieren und letztlich implementieren.

SONNENENERGIE:

Na ja, im Automobilbereich geht ja auch nicht immer alles glatt. Neben wirtschaftlichen Problemen gibt es immer

wieder auch massive technische Probleme. Wie sieht es denn in der Automobilindustrie mit Rückrufaktionen aus, die ja nun auch in der PV-Branche bei einigen Herstellern vorliegen?

Berkan:

Betrachtet man das Thema Rückrufaktionen, so unterscheidet sich eine ortsfeste PV-Anlage grundlegend von Automobilen, die zum einen in regelmäßigen Abständen technisch überwacht werden und zum anderen in regelmäßigen Abständen zur Wartung und Reparatur in die Werkstatt rollen müssen. Darüber hinaus ist die logistische Situation so, dass jedes Fahrzeug eine eigene und einmalige Identifikationsnummer besitzt und zentral beim KBA registriert ist. Weiterhin enthalten die Datenbanken der Fahrzeughersteller detaillierte Informationen darüber, welche Teile welcher Hersteller in welchen Fahrzeugen verbaut sind. Eine vollkommene Kontrolle über die Qualität der verbauten Teile ist in jedem Fall sichergestellt. Bei den Solaranlagen bin ich mir da nicht so sicher. Ich bezweifle schon, dass die Modulhersteller in jedem Fall wissen, was und wie in den einzelnen Modulen verbaut wurde und wie sie sich qualitativ und sicherheitsrelevant im Feld bewähren. Bezogen auf das Fahrzeug gibt es durch das KBA erzwungene Rückrufe nur sehr selten. Viel öfter ist es der Fall, dass durch eine sogenannte Serviceanweisung während einer Inspektion still und vom Kunden unbemerkt mangelhafte Teile mit ausgewechselt werden. Ein derartiger Weg ist jedoch beim Thema PV-Anlage schon aus logistischen Gründen verwehrt.

SONNENENERGIE:

Wir danken Ihnen für dieses Gespräch über die Erfahrungen der Automobilindustrie zum Thema Qualität und Produktsicherheit, die Sie unseren Lesern gewährt haben.

RAL Denkanstoß Nr. 1

Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser*

* Mitgliedsunternehmen der RAL Gütegemeinschaft Solarenergieanlagen e.V. unterliegen einer neutralen Fremdkontrolle durch unabhängige Prüfer. Unternehmen, die das RAL Gütezeichen Solar tragen, haben unter Anleitung der Gemeinschaft ein System zur Eigenkontrolle ihrer Leistungen etabliert. Das schafft zu Recht Vertrauen bei Kunden.

Qualität ist das Einhalten von Vereinbarungen

Für Solaranlagen bedeutet dies, dass sie über die Lebensdauer funktionieren und hohe Erträge erwirtschaften. Dies ist der Fall, wenn sie von qualifiziertem Personal nach der guten fachlichen Praxis geplant, ausgeschrieben und aus hochwertigen Komponenten gebaut werden. Eine Bestellung gemäß RAL-GZ 966 definiert die gute fachliche Praxis für Komponenten, Planung und Ausführung rechtsverbindlich. Ein beiderseitiger Vorteil für Auftraggeber und Auftragnehmer.



RAL-GZ 966

