

Motivation, eine kooperative Fehlerkultur zu pflegen

Langjährig tätige Sachverständige können ein Lied davon singen, bekannte Fehler in der Praxis beim Planen, Installieren, Inbetriebsetzen und Betreiben von Energieerzeugungs- und Nutzungsanlagen (hier Photovoltaik, PV) wiederholen sich zyklisch. Beim Zyklus in der PV in Deutschland ist überraschenderweise der Sonnenzyklus (etwa 11 Jahre) bestätigt. Zufall?

Bei der Entwicklung der eigenen Fehlerkultur im Photovoltaik-Bereich schwingen seit 2019 sich gegenseitig belastende Trends mit, die ein von mir so bezeichnetes „Spannungsviereck“ bilden:

- a) Hohe Nachfrage und steigende Zubauzahlen in der PV.
- b) Fachkräftemangel und heute ein Qualifizierungsstau.
- c) Steigende Systemkomplexität der Nutzungsprofile (HEMS).
- d) Fallende Materialkosten (kleiner werdende Margen in der Wertschöpfung).

Der Lasten-Ausgleich soll durch methodische Ansätze des Wissenstransfers gefördert werden. Die Kunst ist nun, einen eigenen Nutzen aus Fehlern zu ziehen, die andere in der Vergangenheit bereits herausgefordert haben. Störungen, Fehler, Abweichungen und Schäden in allen Phasen der PV-Anlagen müssen systematisch erfasst, analysiert und in der Tragweite bewertet werden, bevor ein tragfähiges Konzept für Korrekturmaßnahmen entwickelt werden kann. Wir müssen verstehen, bevor zielgerichtetes Handeln möglich wird. Dies ist eine Schlüsselkompetenz eines erfahrenden Sachverständigen in den hier relevanten Sachgebieten. Erfahrende Sachverständige wissen zudem, dass viele Problemlagen interdisziplinäres Agieren erfordern, um ein zutreffendes Verständnis von Wirkmechanismen zu erreichen.

Wagen wir das Gedankenexperiment auf einer gemeinsamen Reise durch die praktischen Erfahrungen beim Einsatz der Photovoltaik, betrachtet durch die Brille eines Sachverständigen. Vordergründig eine Reise durch die Landschaft des Versagens und der Störung. Sie wird uns zeigen, dass jeder Fehltritt, jede Störung, jeder Stolperstein auf unserem Weg, nicht nur eine Hürde, sondern eine Stufe auf der Leiter des Erfolgs sein kann. Stellen Sie sich vor, wir könnten

Artikel zu „*Die Kunst in der Photovoltaik aus den Fehlern der anderen zu lernen*“ für „Der Sanierungs-Vorsprung“

in die Zukunft blicken und alle Hindernisse, die uns aufhalten können, geschickt und zeitsparend umgehen.

Ich versuche anhand von technischen Fehlern, die Botschaft zu vermitteln, „*Schätzen wir den Irrtum*“. Jeder Fehler, den jemand anderes gemacht hat und den wir verstehen und verinnerlichen, ist ein Fehler, den wir nicht wiederholen müssen. Jede dieser Erfahrungen ist ein Geschenk, ein guter Ratgeber, der uns leitet und schützt, ohne lange Umwege zu nehmen. Ich möchte den Fehlerteufel in einen Ratgeber-Engel verwandeln.

Ich lade die Leser ein, gemeinsam die Früchte einer guten Fehlerkultur zu ernten, die im Verstehen der Fehler anderer liegen. Dazu gebe ich Beispiele, wie wir die bereits gesammelten Erkenntnisse nutzen können, um unsere eigene berufliche Praxis und persönliche Qualifikation zu verbessern.

Werkzeuge kennenzulernen, um reicher im Verständnis, Umfassender in der Sichtweise und vorbeugend in der Diagnose zu werden ist eine erwünschte Zielrichtung. Das Entscheidende ist der Übergang vom Erkenntnis- und Lernprozess zum Verständnis für die Wirkmechanismen, die den Fehlerursachen zugrunde liegen. Wenn es verstanden wurde, ist die damit verbundene Wissenseinheit so im Bewusstsein verfestigt, dass die Erkenntnis, das Wissen in neue Anwendungen sinnbringend einfließen kann. Die Zukunft kann dadurch robuster und vorbeugender ausgestattet werden, in einem Wort „*fehlertoleranter*“.

Wer sich mit dieser Sichtweise beschäftigt wird sorgfältiger, sicherer, empathischer und erfolgreicher.

George Bernard Shaw sagte einst: *'Ein Leben, in dem man Fehler macht, ist nicht nur ehrenhafter, sondern auch nützlicher als ein Leben, in dem man nichts tut.'*

Unter dem Motto,

„Fehler, die andere bereits gemacht haben, brauchen Sie nicht erneut zu erleben!“

möchte ich grundlegende Überlegungen beisteuern, um an praktischen Beispielen, die sich ausbildenden Problemfelder erkennen zu können.

Artikel zu „*Die Kunst in der Photovoltaik aus den Fehlern der anderen zu lernen*“ für „Der Sanierungs-Vorsprung“

Dabei spielt das Verständnis von persönlichen Faktoren ebenfalls eine Rolle. Zunächst soll das Konzept der *Störungsenergie* (nach Dr. Volker Busch) erläutert werden. Fehler und Störungen irritieren im ersten Moment – weil unerwartet. Damit springt unser „Hirnturbo“ an und läuft aufgrund der Abweichung vom Erwarteten schneller als im eingeübten Rhythmus. In dieser Phase sind wir also angeregter, interessierter und aufmerksamer. Das gilt es zu nutzen, um in die erforderliche lösungsorientierte Korrekturschleife zu kommen. Eine Herausforderung simuliert und lässt den Kreativitätsprozess starten, insbesondere wenn weitere Teammitglieder in die gleiche Richtung denken. Spontane Inspiration lässt den Variantenfächer der Lösungen anwachsen, auch der gezielte Einsatz von KI-Tools als „Denkkatalysator“ kann diese Vollständigkeit abrunden. Also nutzen Sie die „Störungsenergie“ für gute Lösungen.

Aufgrund der in uns schlummernden Denkfallen, die das Lernen aus eigenen Fehlern behindern oder gar den gewünschten Effekt ins Gegenteil verdrehen, bewahrt die Kenntnis dieser „Fallen“ vor unnötiger Blindleistung, die das Verdecken unterbewusst verfolgt. Um den vollen Nutzen für die eigene Entwicklung zu gewinnen, sollten wir berücksichtigen, dass kognitive Verzerrungen verschieden stark einwirken, je nach dem, in welcher Stimmung oder Beanspruchung wir uns befinden. Damit kann die eigene Beurteilung von Fehlersituationen fehlgesteuert und hierauf basierende Annahmen nicht rational begründbar sein. Das Resultat ist erwartungsgemäß suboptimal. Es ist also genauso wichtig ein persönlich kompatibles Klima zu schaffen in der es individuell möglich wird, einen analytischen, unabhängigen und lösungsorientierten Lern- und Verständnisprozess zu starten. Das „Lernen aus Fehlern anderer“ versucht beispielsweise eine kognitive „**Eigensperre**“, die „**Akzeptanz**“, die beim Lernen aus eigenen Fehlern blockiert, zu meiden oder abzuschwächen. Akzeptanz muss zuerst erreicht werden, um den Lernprozess richtig und umfassend starten zu können. Die Allermeisten akzeptieren die Fehler anderer signifikant leichter als die eigenen.

Die zusätzlichen Hinweise zu weiterführenden Hilfen, um Fehlerursachen messtechnisch oder empirisch mit Hilfe externer Experten zu identifizieren, sollen helfen, wenn die eigenen Fähigkeiten in der Erfassung der vollständigen Problemlage noch nicht vollständig ausgebildet wurden.

Artikel zu „*Die Kunst in der Photovoltaik aus den Fehlern der anderen zu lernen*“ für „Der Sanierungs-Vorsprung“

Anhand von Beispielen aus der Sachverständigenpraxis, die die heutigen und zukünftigen Herausforderungen an realen Fehlern und Negativbeispielen veranschaulichen, sollen den Lernprozess anstoßen. Die Einzelfälle zeigen zunächst exemplarisch Problemfelder und misslungene Instandsetzungsmaßnahmen. Mit dem Verständnis, was dem Versagen zugrundeliegt, soll im zweiten Schritt das Verstehen ermöglicht werden.

Entlang der Wirkmechanismen und den physikalischen Grundlagen führe ich zur Tragweite aus, und zeige die Handlungsmaßnahmen, die die Hindernisse aus dem Weg räumen, im dritten Schritt. Dies sind gute Beispiele wie Fehler adressiert wurden und wie die Erkenntnis aus der Fehlerkultur geerntet wird.

Elektrische Kontakte

Ich möchte vorstellen, welche Auswirkungen und Versagensmuster bei elektrischen Kontakten im PV-Umfeld mitspielen. Es gibt viele Varianten von schlechten elektrischen Kontakten, den damit verbundenen Folgen und den Entstehungsformen im Anwendungsumfeld. Die Begrifflichkeit der Stromtragfähigkeit und die Auslegungsregeln für Kabelanlagen werden vorangestellt.

Wenn der elektrische Strom auf Widerstände trifft, weil die Leitung zu klein bemessen, schlecht angeschlossen, falsch verlegt oder geschwächt wurden oder materialtechnisch ungeeignet sind entsteht primär Wärme am schwächsten Glied der Verbindung. Wenn diese Verlustwärme aus dem elektrischen Stromfluss die zulässige Leistungstemperatur überschreitet, wird der Alterungsprozess der Leitung, des verwendeten Kabels beschleunigt. Bei starken Überlastungen können die Temperaturen kurzfristig oder bei Belastungsänderungen so ansteigen, dass umgebene oder naheliegende Brandlasten (Kunststoffe, Papier, Holz, Farben, brennbare Flüssigkeiten) angezündet werden und es zu einem Brandereignis kommt.

In diesem Zusammenhang haben sich in der Praxis wiederkehrend zwei große Problembereiche herausgestellt:

Artikelzu „*Die Kunst in der Photovoltaik aus den Fehlern der anderen zu lernen*“ für „Der Sanierungs-Vorsprung“

- a) Leitungen und Steckverbinder, die Gleichspannung führen und durch Schmutz und Feuchte dauerhaft belastet werden (oftmals auf einem Dach nahe den Pv-Modulfeldern) und
- b) Übergänge von Materialien an Kontaktstellen, Schaltern oder Sicherungen. Mit Aluminium als Leitermaterial, dass auf Kupferkontakte übergehen soll.

In beiden Fällen kann bei thermischen Überlastungen in Folge von schlechter Kontaktierung, z.B. durch Korrosion und Erhöhung der Kontaktwiderstände ein so genanntes Störlichtbogenereignis eintreten. Diese „Funkenstrecken“ sind nicht untypisch dem Lichtbogen eines E-Schweißgerätes. Im Fall a) wird das Zünden des Lichtbogens an einer Fehlerstelle voraussichtlich nur bei Lichteinfall auf die PV-Module technisch möglich sein. Dafür wird dieser Störlichtbogen länger andauernd anstehen, weil die Energie aus den Modulen solange nachfließt, wie Licht/Sonne auf die Module scheint. Hier spricht der Fachmann von einem stehenden Gleichstromlichtbogen, weil der Stromfluss über die Funkenstrecke weiter fließen kann.

Im Fall b) ist die Gefahr der Zeitdauer eines Störlichtbogens eventuell dadurch zu begrenzen, dass der Stromfluss durch Schalter, Sicherungen, Wechselrichter gezielt unterbrochen werden kann. Allerdings ist es entscheidend, an welcher Stelle im Kabelverlauf und damit an welcher Klemme das Störereignis eintritt. Falls diese Verbindungstelle nahe am Transformator liegt, können hohe Ströme aus dem öffentlichen Netz die Störstelle weiter versorgen, falls zuvor ein Kurzschluss der stromführenden Außenleiter vorliegt oder eine Verbindung mit der Erdung durch die Störung eingetreten ist. In dem Fall kommt die Energie, die den Lichtbogen am Brennen hält, nicht mehr aus der PV-Anlage sondern wird aus dem öffentlichen Netz bezogen. Die hier auslösenden Sicherungselemente sind bewusst mit starken Verzögerungszeiten ausgestattet, dass auch bei Wechselspannungskontaktfehler ein beträchtliches Schadensausmaß eintreten kann.

In beiden Fällen muss bei Errichtung schon ausreichend Sorgfalt und Prüfaufwand betrieben werden, um eine gute Kontaktgüte dauerhaft an allen Übergängen gewährleisten zu können. Die Verlegung der Leitungen muss Zusatzbelastungen (direktes Sonnenlicht, hohe Außentemperaturen, Feuchte,

Artikel zu „*Die Kunst in der Photovoltaik aus den Fehlern der anderen zu lernen*“ für „Der Sanierungs-Vorsprung“

Wasser, Schmutz) vom Kabelmantel und den Steckverbindern fernhalten. Die zur Eignung passenden Verlegevorschriften müssen eingehalten werden und die Leiterquerschnitte und Kontaktpunkte müssen über die gesamte Stromtransportstrecke ausreichend bemessen werden, so dass trotz Stromfluss die entstehende Verlustwärme verträglich für die Leiter- und Isolationsmaterialien abgeführt werden kann. Verwendete Kabel müssen mit Klemmsystemen angeschlossen werden, die eventuelle Materialunterschiede ohne Nebeneffekte oder elektrochemische Alterungsabträge ausgleichen und eine hohe Kontaktgüte sicherstellen.

Der zweite hier beleuchtete Fehlerkomplex soll sich heutige Belastungsfälle im Verbund von öffentlichem und privaten elektrischen Bestandsnetzen und der heute üblichen Leistungselektronik widmen. Ungeklärte Phänomene treten auf, die zu sporadischen Funktionsstörungen führen können. Die Gründe für Wechselwirkungen und Unverträglichkeiten werden unter der Headline *„50 Hz war gestern, weil der Strom längst nicht mehr der Spannung in gleicher Frequenz folgt“* erläutert.

Die Folgen in Bestandsnetzen in Kombination mit z.B. aktuellen Energiespeichern mit Energiemanagementsystemen und Energieflusskontrolle (über Leistungshalbleiter) sind in Störsituationen zufallsgetrieben und schlecht reproduzierbar.

Diverse Verzerrungen der Wellenform des Stroms und subharmonische Nebeneffekte im Wechselspannungsbereich sorgen sowohl für Bauteilüberlastungen, als auch deren beschleunigte Alterung und einer zeitlich eingeschränkten Schutzfunktion. Der beabsichtigte Dienst der neuen Energiemanagementkomponenten im Zusammenhang mit dynamischen Lastwechseln (z.B. Überschussladen eines Elektroautos) und dem Verhalten nichtlinearer Verbraucher können zu Zwangsabschaltungen oder unnötigen Abregelungen führen. Die Netzqualität (power quality, PQ) rückt zwangsläufig in den Fokus, denn es ist wichtig zu differenzieren, ob eine signifikante Abweichung der „PQ“ durch Bestandsgeräte im Kundennetz, durch das angeschaffte PV-System, durch Komponententalterung oder aber von außen aus dem öffentlichen Netz eingetragen wird.

Artikel zu „*Die Kunst in der Photovoltaik aus den Fehlern der anderen zu lernen*“ für „Der Sanierungs-Vorsprung“

Bauteile (z.B.) Transformatoren werden überlastet, gehen in die Sättigung des Eisenkerns und verwandeln sich dann zusätzlich zu einem weiteren „Störsender“ für Oberwelleneffekte.

Wichtig wird es, diese Störquellen bei ungeklärten Wechselwirkungen retrospektiv im Verhalten analysieren zu können, um den/die Verursacher einzukreisen und passende Gegenmaßnahmen planen zu können.

Welche Mess- und Analysetechnik eignet sich und was sollte im Fehlerfall verbessert werden, um nicht dem Additionsfehlschluss aufzusitzen, kann in einer Fortsetzung behandelt werden.

Präventive Maßnahmen

Der abschließende Hinweisbereich enthält die Vorstellung der Sachverständigen-Fachgruppe für Elektrotechnik und Informationstechnik im BVS e.V. (<https://fg-ei.de/>) und die Nutzung der Dienste eines Sachverständigen als Konfliktlöser als eine Projektsicherungsmaßnahme.

Bei Anlagen- bzw. Projektgrößen mit Volumen über 50.000 € sollte der Projekt-Vertrag eine so genannte Schiedsgutachterklausel beinhalten. Die Klausel kostet im Zeitpunkt des Vertragsschlusses nichts und wird erst dann bemüht, wenn ein unabhängiger Dritter als Sachverständiger sich der Feststellung von Fehlfunktionen, Schäden oder Störungen annehmen muss, weil eine bilaterale Konfliktlösung scheitert. Die Lösung oder der Schiedsspruch durch einen Sachverständigen vermeidet Gerichtskosten und unbekannte Zeiträume in denen Juristen Entscheidungen treffen, die sie selbst oftmals nicht im Detail beurteilen können. Die Erfahrung zeigt, später übers Gericht wird ohnehin ein Sachverständiger hinzugezogen – deutlich später und eingeschränkt in dem was er befunden darf.

Falls ein Muster einer möglichen Schiedsgutachterklausel gesucht wird, bitte unter https://www.ihk-muenchen.de/ihk/documents/Recht-Steuern/vertragsrecht/Schiedsgutachtenklausel_01-01-2023.docx recherchieren und für die eigenen Belange anpassen.

Artikel zu „**Die Kunst in der Photovoltaik aus den Fehlern der anderen zu lernen**“ für „Der Sanierungs-Vorsprung“

Speziell für PV-Projekte gibt es ein unverbindliches Muster eines Schiedsgutachten-Vertrages unter <https://www.sv-uhlenberg.de/media/files/Muster-Schiedsgutachtenvertrag-2024.pdf>, die als Vorschlags-Variante ebenfalls angepasst angewendet werden darf.

Der vorliegende Vorschlag zu Regelungen im PV-Projekt-Umfeld stellt ein unverbindliches Muster dar, das keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit erhebt und rein informativen Charakter trägt. Das Muster stellt keine Rechtsberatung dar und ersetzt diese Beratung nicht.