

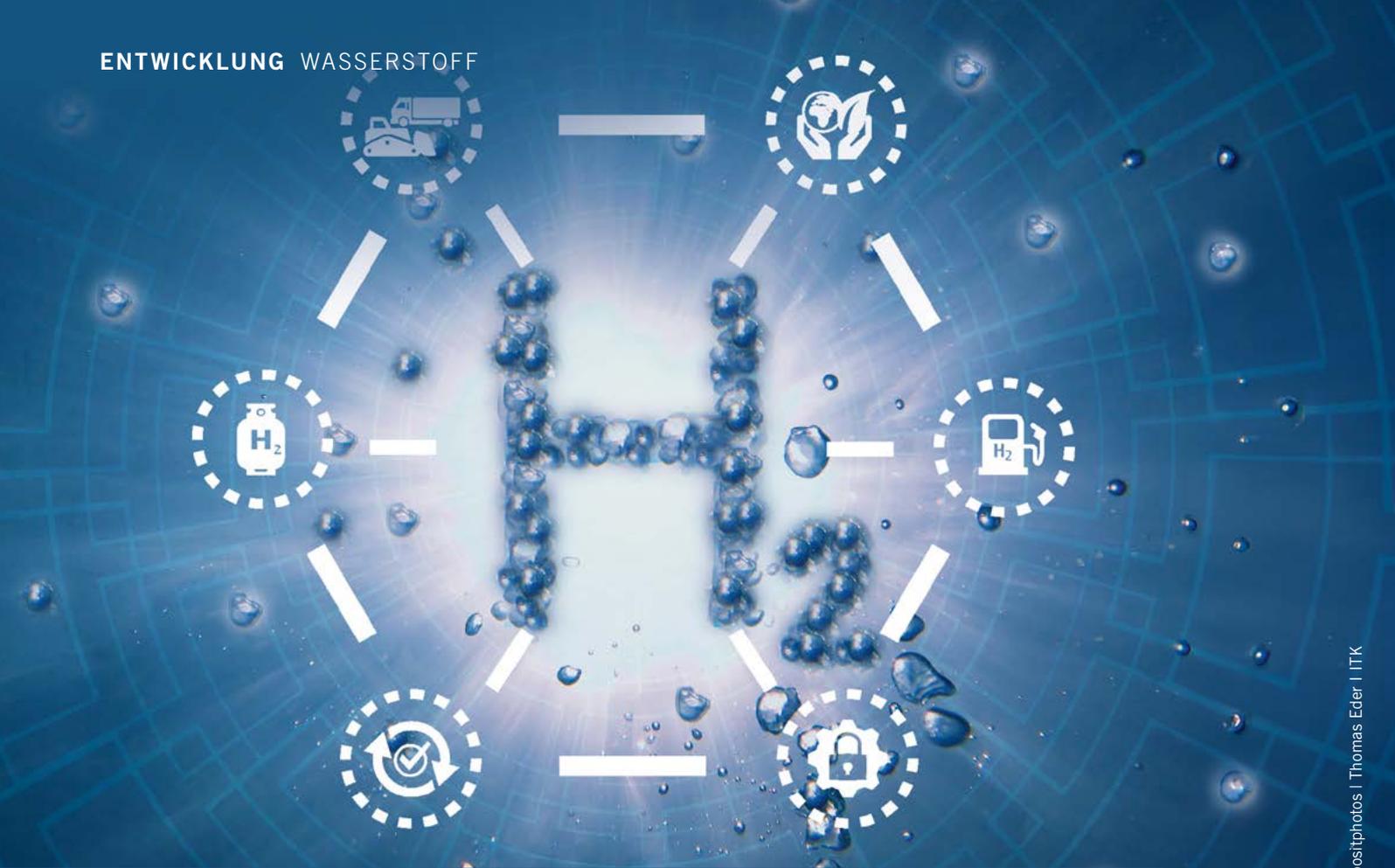
ATZ extra



ENTWICKLUNG

Wasserstofftanksysteme ganzheitlich und sicher konzipieren

itk
ENGINEERING



Wasserstofftanksysteme ganzheitlich und sicher konzipieren

Wasserstoff spielt eine Schlüsselrolle in der Energiewende des Mobilitätssektors, schließlich sind batterieelektrische Antriebe nicht für alle Bereiche optimal geeignet. Das gilt insbesondere für Nutzfahrzeuge und Arbeitsmaschinen. Enorme Herausforderungen bei der Auslegung des Wasserstofftanksystems stellen die sichere Speicherung und kontrollierte Freigabe des leicht entzündlichen Gases sowie der Betankungsvorgang dar. Ein Team von ITK Engineering zeigt, wie die Sicherheitskonzepte hierfür optimal ausgelegt werden können.

Derzeit dominieren elektrische Antriebe die Energiewende im Mobilitätssektor. Für eine erfolgreiche Dekarbonisierung braucht es aber mehr als dieses eine Standbein. Der Einsatz von Wasserstoff (H_2) spielt dabei eine zentrale Rolle und trägt dazu bei, die Ener-

giewende im Verkehr auf mehrere energetische Säulen zu verteilen.

Für den Mobilitätssektor geht es nun darum, auf Basis von H_2 -Technologien eine Ergänzung zur Elektrifizierung des Verkehrs zu schaffen. Hier haben sowohl die Brennstoffzelle als auch der Verbren-

nungsmotor ihre Daseinsberechtigung – wenn auch für unterschiedliche Einsatzzwecke (hohe Effizienz bei gleichförmigen Lasten versus hohe Robustheit bei starken Lastschwankungen).

Welche der beiden H_2 -Technologien auch eingesetzt wird: Der Kraftstoffpfad

VERFASST VON



Dr.-Ing. Clemens Bauer
ist Gruppenleiter
Energiemanagement bei
der ITK Engineering GmbH
in Rülzheim.



Dr.-Ing. Luise Senkel
ist Entwicklungsingenieurin im
Bereich Engineering Methods and
Processes bei der ITK Engineering
GmbH in Braunschweig.



Dipl.-Ing. Robert Zucker
ist Entwicklungsingenieur im
Bereich Engineering Methods and
Processes bei der ITK Engineering
GmbH in Berlin.



Daniel Kost, M. Eng.
ist Entwicklungsingenieur im
Bereich Engineering Methods and
Processes bei der ITK Engineering
GmbH in Stuttgart.

vor dem jeweiligen Verbraucher ist von diesem technologisch quasi entkoppelt. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass das H₂-Tankensystem eines Brennstoffzellenfahrzeugs und das eines H₂-Verbrennungsmotorfahrzeugs sehr ähnlich aussehen, sei es im Automotive- oder im Maschinensektor. Letztendlich reduziert sich die Aufgabe des Tanksystems auf drei Grundfunktionen: Unterstützung des Betankungsvorgangs, sichere Verwahrung des H₂ und Bereitstellen von H₂ auf Anfrage.

H₂-SICHERHEITSKONZEPT

Die sichere Handhabung von H₂ ist eine zentrale Herausforderung, um die chemische Reaktion mit Sauerstoff kontrolliert zu nutzen beziehungsweise zu verhindern. Ziel ist es, unter kontrollierten Bedingungen die resultierende Energie dieser Reaktion für die Erzeugung von

elektrischer Energie oder für mechanische Arbeit zu nutzen. Ein unkontrolliertes Entweichen von H₂ aus dem Tanksystem kann hingegen schwerwiegende Folgen haben.

Die Konzeptionierung und Inbetriebnahme eines solchen Tanksystems folgt einer Vorgehensweise, die – ähnlich wie bei Softwareanwendungen – alle Entwicklungsaspekte von der Konzeptphase über die Realisierung bis hin zur Testphase abdeckt, **BILD 1**.

Bei der Sicherheit unterscheidet ITK Engineering zwischen Produktsicherheit (Product Safety) und Funktionaler Sicherheit (FuSi), **BILD 2**. Um Risiken möglichst zu mindern, empfiehlt sich die Erstellung eines Sicherheitskonzepts für das H₂-Tankensystem unter konstruktiven, technisch-funktionalen und organisatorischen Aspekten.

Product Safety bezieht sich primär auf die konstruktive Absicherung eines

Systems, zum Beispiel durch Wandstärken, Einhausungen zum Schutz eines Systems oder Vorgaben für mechanische Tests. Die Safety-Anforderungen ergeben sich in der Regel durch konkrete regulative oder normative Vorgaben (Regulations, Codes, and Standards, RCS). Zusätzlich erfolgt eine Risikobeurteilung zur Ableitung weiterer Sicherheitsmaßnahmen.

FuSi – als Teilgebiet der Product Safety – betrachtet die Gefährdungen, die sich durch den Ausfall oder die Fehlfunktion von elektrischen und elektronischen Systemen (EE-Systemen) ergeben. Bei der FuSi werden in der Regel keine konkreten Anforderungen an das System gestellt, sondern ein Prozessablauf beschrieben beziehungsweise vorgegeben, aus dessen Ergebnis sich entsprechende Anpassungen des Systems ableiten. Demzufolge erfordern FuSi-Anforderungen häufig eine Ände-

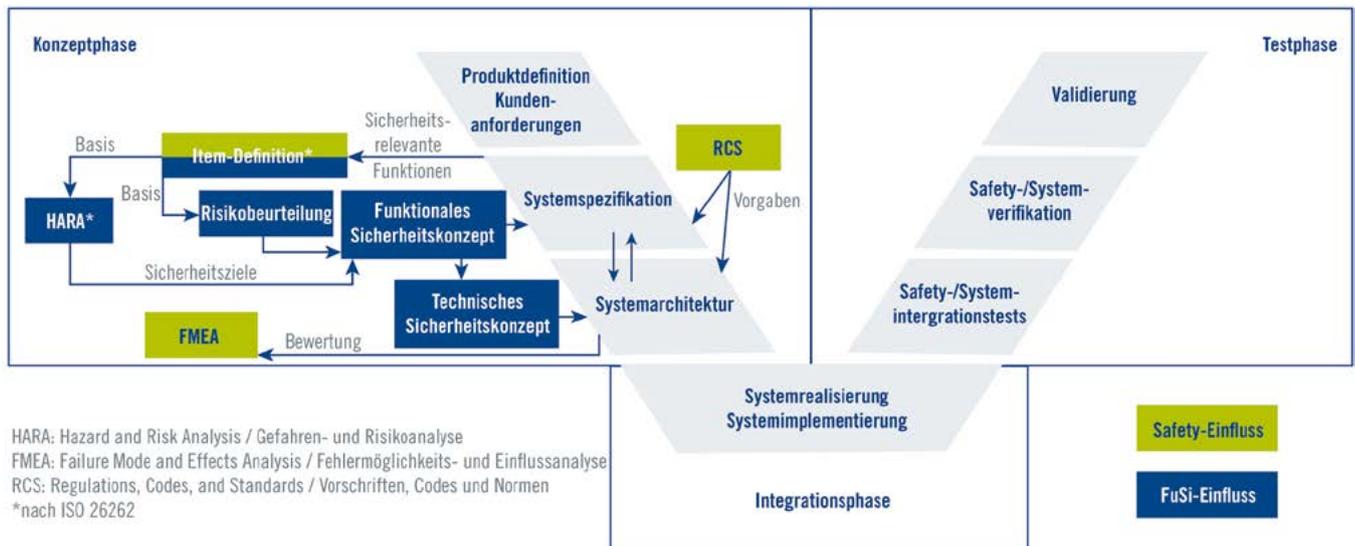


BILD 1 System-V-Modell ergänzt um Prozessschritte aus Product Safety und FuSi (© ITK Engineering GmbH)

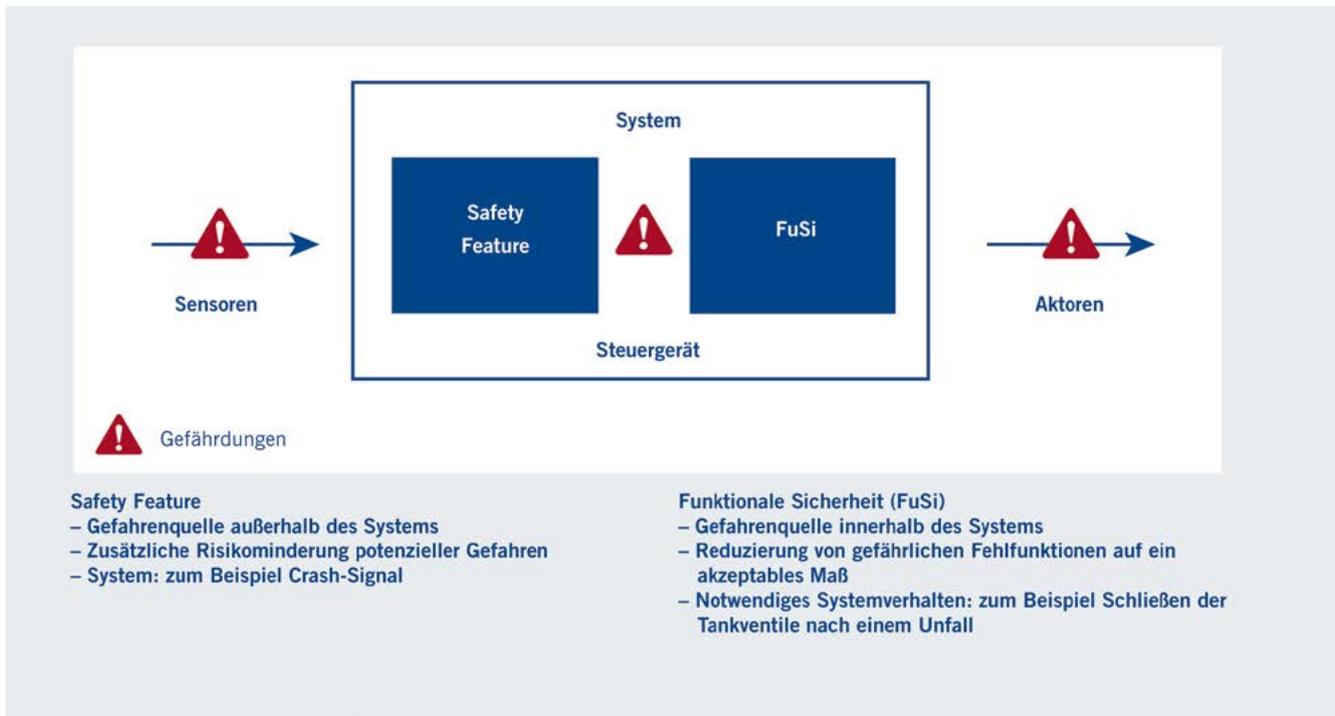


BILD 2 Abgrenzung der Safety- von FuSi-Gefährdungen kann im System selbst oder von der Sensorik/Aktorik hervorgerufen werden (© ITK Engineering GmbH)

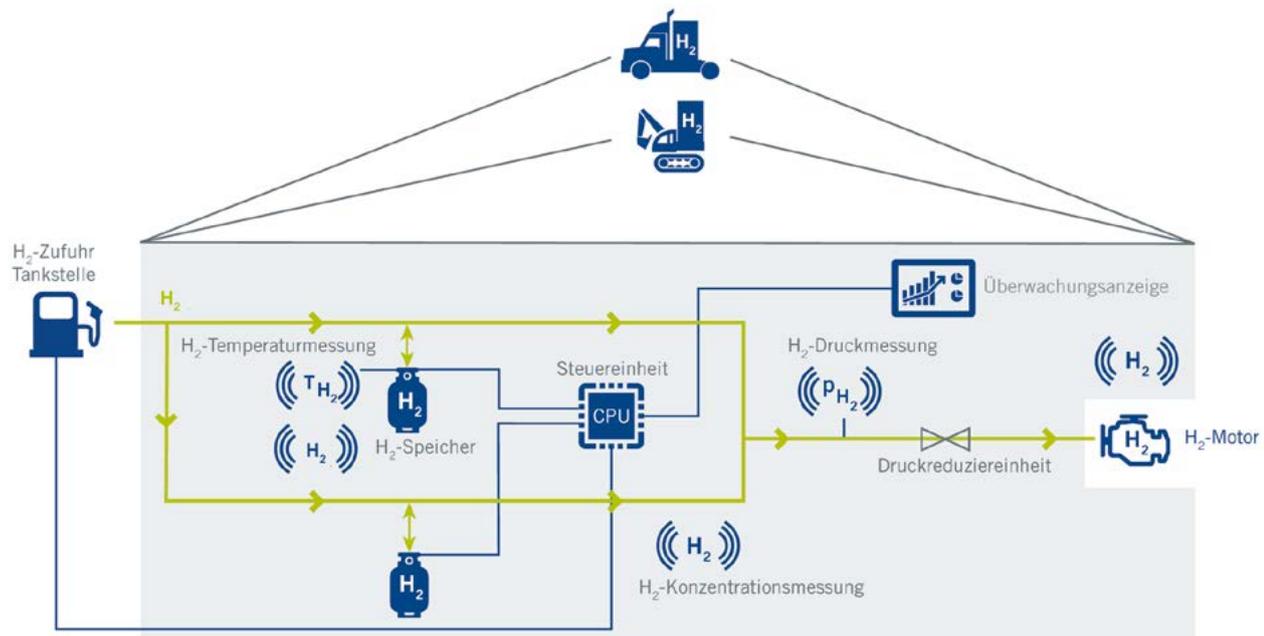
zung der Systemarchitektur, da zur Erfüllung der FuSi-Prozesse zum Beispiel Druck- oder Temperatursensoren und der zusätzliche Einbau von Aktoren, zum Beispiel Ventile, erforderlich sein können.

Ebenso ist es Aufgabe der FuSi, den Ausfall und die gefahrbringende Fehlfunktion der elektrischen Komponenten durch ein geeignetes Monitoring zu detektieren, eine entsprechende Reaktion einzuleiten und damit das System und

den Menschen vor Gefahren und Schäden zu schützen.

Basierend auf der Item-Definition gemäß ISO 26262 und einer Gefährdungs- und Risikoanalyse (Hazard and Risk Analysis, HARA) mit den daraus

BILD 3 Skizzierter physikalischer H₂-Fluss (grün) und Signalfuss zur Steuerung und Überwachung des Tanksystems (blau) (© ITK Engineering GmbH)



hergeleiteten Sicherheitszielen und dem zugehörigen Gefährdungsgrad für das H₂-Tanksystem wird das Funktionale Sicherheitskonzept (FuSiKo) abgeleitet, **BILD 1**. Daraus können sich zum Beispiel folgende Sicherheitsziele ergeben:

- Vermeidung der Entstehung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre
- Überwachung der Betriebsparameter (Druck, Temperatur) des Systems zur Vermeidung von Schädigungen mit Folge von Leckage
- Erkennung von H₂-Konzentrationen außerhalb der Tanks und Rohrleitungen aufgrund von Leckagen
- Abschaltung des Tanksystems im Fall von Szenarien, die sich aus einem Crash oder Unfall des Fahrzeugs ergeben, im Hinblick auf eine mögliche Beschädigung von Komponenten des Tanksystems.

Zudem wird eine Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) anhand der Tanksystemarchitektur durchgeführt, um sowohl alle Komponenten als auch alle Schnittstellen auf physikalischer und elektrischer Ebene zu analysieren. Aus dem FuSiKo wird die Strategie entwickelt, wie die erarbeiteten Sicherheitsziele erreicht werden sollen. Das Technische Sicherheitskonzept (TeSiKo) beinhaltet die sicherheitstechnischen Anforderungen und die Vorgaben zur Umsetzung in der Tanksystemarchitektur. Es legt fest, wie das FuSiKo auf technischer Ebene umgesetzt werden soll, indem es technische Daten der Komponenten, wie Abstraten von Signalen oder Reaktionszeiten, definiert. Beide Sicherheitskonzepte werden durch Reviews, Simulationen und detaillierte Testverfahren verifiziert.

Zusätzlich zu den beschriebenen konstruktiven und technisch-funktionalen Gesichtspunkten werden auch organisatorische Maßnahmen abgeleitet, darunter die Einweisung des Bedienpersonals, Gebrauchsanleitungen, spezielle Schulungen, die Kennzeichnung kritischer Systemteile oder -stellen sowie die Festlegung von Prüfzyklen und Prüfabläufen. Dies führt zu einem Gesamtsicherheitskonzept für das H₂-Tanksystem und einer Systemarchitektur mit den in **BILD 3** beschriebenen Komponenten. Eine zentrale Komponente ist die Steuereinheit. Sie ist verantwortlich für:

- die Auswertung und Überwachung mehrerer Sensoren für Druck, Tempe-



BILD 4 Integration der vier vertikalen H₂-Drucktanks im Aufbau des straßengebundenen Fahrzeugs Unimog (© Daimler Truck AG)

- ratur und H₂-Konzentration an definierten Stellen im Tanksystem und im Fahrzeug
 - die Ansteuerung und Überwachung der Ventile zur Freigabe des H₂-Flusses vom Tank zum Motor
 - die BUS-Kommunikation mit anderen Steuergeräten im Fahrzeugsystem, der Tankstelle und einem Anzeige- beziehungsweise Bediendisplay.
- Darüber hinaus ist ein Druckminderer Teil des Tanksystems, der den H₂-Druck vom Hochdruckbereich auf den Mitteldruckbereich reduziert, bevor H₂ dem Motor zugeführt wird. Mechanische Überdruckventile an verschiedenen Stellen des Tanksystems sind ebenfalls integriert.

Nicht zu unterschätzen ist der Aufwand für die Integration der Tanksteuerung in das Gesamtsystem. Die korrekte Signalanbindung der Sensoren sowie die Kommunikationsanbindung in das Gesamtsystem sind essenziell für die Ansteuerung der Aktoren. Aufgrund der Komplexität erfolgt dieses Vorgehen schrittweise und erfordert viel Erfahrung bei der anwendenden Person, sowohl im Systemverständnis als auch in der Nutzung spezialisierter Applikationstools. Die finale Integration wird durch entsprechende Tests, die den

gesamten Funktionsumfang abdecken, bestätigt und protokolliert. Bei Anpassungen jeglicher Art (Sensor, Aktor, Software) ist eine erneute Testdurchführung erforderlich.

DOMÄNENÜBERGREIFENDE AUSLEGUNG VON RCS

Die Grundlage für die (Weiter-)Entwicklung und Förderung von innovativen H₂-Lösungen sowie für ein konsistentes, sicheres und effizientes Vorgehen bilden, wie bereits beschrieben, Rechtsvorschriften und Normen aus den entsprechenden Branchen. Doch wie können diese domänenübergreifend wirken?

Für straßengebundene Fahrzeuge (Automotive) sind zwei RCS von zentraler Bedeutung:

- UNECE R134: Wasserstoffbetriebene Kraftfahrzeuge
- ISO 26262: Straßenfahrzeuge – Funktionale Sicherheit.

Bei nicht-straßengebundenen Fahrzeugen, wie zum Beispiel einem Raupenfahrzeug für den Baustellenbetrieb, steht nicht das Fahren im Vordergrund, sondern die Anwendung der Maschine. Zu den relevantesten RCS gehören:

- 2006/42/EG: Maschinenrichtlinie
- 2014/68/EU: Druckgeräte richtlinie

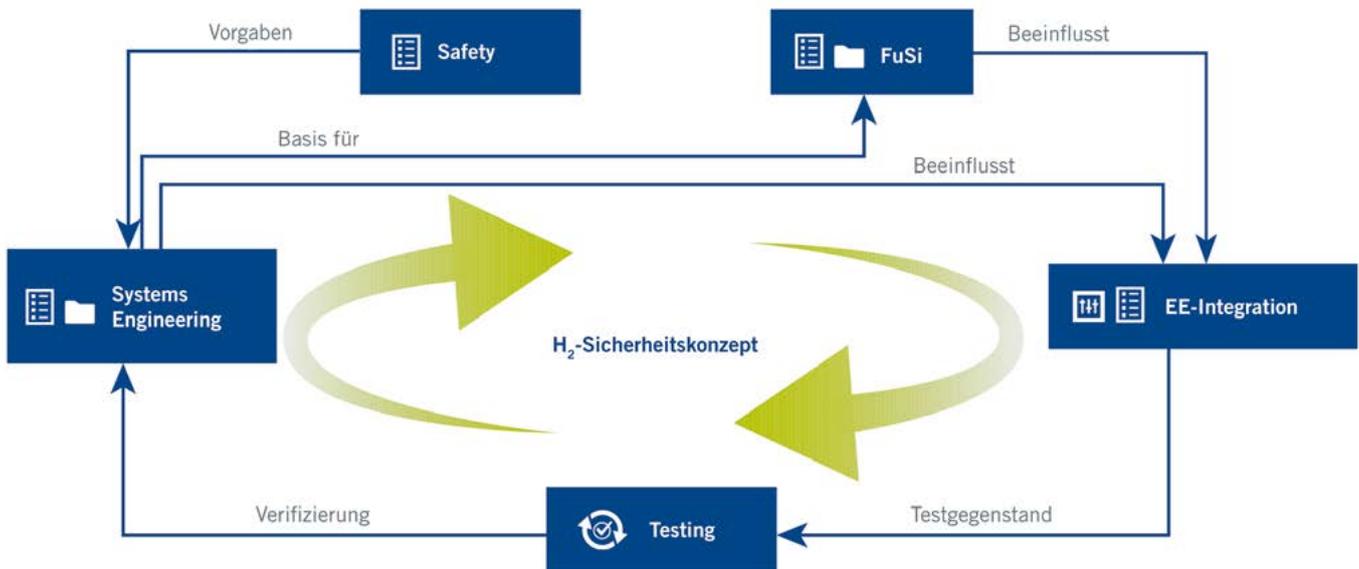


BILD 5 Abhängigkeiten der einzelnen Fachdisziplinen bei der Entwicklung eines H₂-Sicherheitskonzepts (© ITK Engineering GmbH)

- DIN EN ISO 12100: Sicherheit von Maschinen, Allgemeine Gestaltungsgrundsätze, Risikobeurteilung und Risikominderung
- DIN EN ISO 13849-1 und -2: Sicherheit von Maschinen, sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen.

Es liegt nahe, dass Sicherheitsmaßnahmen im Bereich eines H₂-Tanksystems für Fahrzeuge wie auch für mobile Arbeitsmaschinen Ähnlichkeiten aufweisen. So haben zum Beispiel beide Anwendungen die Anforderung, H₂-Leckagen zu erkennen und den Tank vor Überlastungen durch Druck und Temperatur zu schützen. Infolgedessen kann ein Teil des Sicherheitskonzepts von einer auf die andere Domäne übertragen werden. Dafür bieten sich auf der Fahrzeugseite der Automotive Safety Integrity Level (ASIL) und auf der Maschinen-seite der Performance Level (PL) an. Mit einer schlüssigen Argumentation können Entwicklungsaufwände signifikant reduziert werden.

PRAXISBEISPIEL: H₂-VERBRENNUNGSMOTOR

Das beschriebene Vorgehen für die Erstellung eines Sicherheitskonzepts

sowie dessen Übertrag von einem prototypischen Unimog, **BILD 4**, zu einem Raupenfahrzeug wurde innerhalb des H₂-Verbrennungsmotorprojekts WaVe entwickelt und hat sich bewährt. ITK Engineering entwickelte in Zusammenarbeit mit Industrie- und Wirtschaftspartnern im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Projekts ein H₂-basiertes Antriebssystem für mittelschwere Nutzfahrzeuge. Dazu wurden zu Projektbeginn die sogenannten Work Products für die Anwendungen Automotive und Maschine definiert. Nach Erhebung der Anforderungen, Sicherheitsanalysen und Ableitung von Maßnahmen für das straßen-gebundene Fahrzeug wurden diese Ergebnisse mittels Delta-Analysen auf die Maschinenanwendung übertragen. Das Sicherheitskonzept berücksichtigt die Anforderungen aufgrund des unterschiedlichen Einsatzes beider Fahrzeuge und deren Fahrzeugarchitektur. Die Übertragung ermöglicht eine effiziente Entwicklung und dient als Basis für weitere Fahrzeugderivate und Anwendungen. Das Ergebnis ist ein auf beide Fahrzeuge abgestimmtes Sicherheitskonzept im Sinn der Konzeptphase als Basis für die Integrationsphase.

INTERDISZIPLINÄRE ZUSAMMENARBEIT

H₂ wird eine Schlüsseltechnologie für den Wandel des Verkehrssektors sein. Mit dem Ausbau der H₂-Infrastruktur wird die Nachfrage nach H₂-betriebenen Fahrzeugen voraussichtlich steigen. Unternehmen bereiten sich darauf vor, indem sie entsprechende Systeme konzipieren oder bereits prototypisch umsetzen. Die Entwicklung von fortschrittlichen, sicheren Tanksystemen ist dabei von entscheidender Bedeutung für die Zukunft von H₂-betriebenen Fahrzeugen. Das erfordert eine enge, interdisziplinäre Zusammenarbeit von Expertinnen und Experten in den Bereichen Systems Engineering, Safety, FuSi, EE-Integration und Testing, **BILD 5**. Auf Basis diverser Prozesse und Analysemethoden, die sich aus Normen und Rechtsvorschriften ergeben, wird ein qualitativ hochwertiges H₂-Sicherheitskonzept erstellt, dokumentiert, software- und hardware-technisch umgesetzt und durch Tests bestätigt. Diese interdisziplinäre Herangehensweise minimiert das Sicherheitsrisiko von H₂-Anwendungen, und es gibt – in Bezug auf die Sicherheit des Systems – keine Hindernisse für eine breite Anwendung von H₂ im mobilen Sektor.

IMPRESSUM:

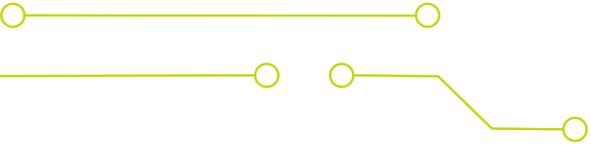
Sonderausgabe 2024 in Kooperation mit ITK Engineering GmbH, Bergfeldstraße 2, 83607 Holzkirchen; Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Postfach 1546, 65173 Wiesbaden, Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, USt-IdNr. DE81148419

GESCHÄFTSFÜHRER:

Stefanie Burgmaier | Andreas Funk | Joachim Krieger

PROJEKTMANAGEMENT: Anja Trabusch

TITELBILD: © Daimler Truck AG



ITK Engineering

Seit der Firmengründung 1994 stehen wir für Stabilität, Sicherheit und Methodenexpertise. Damals wie heute bildet branchenübergreifendes Spezialwissen insbesondere im Bereich der Regelungstechnik und der modellbasierten Entwicklung die Basis, um unsere Kunden von der Idee bis zur Serienproduktion durchgängig und partnerschaftlich zu begleiten.

Unsere Kompetenzen umfassen u.a.:

- Softwareentwicklung
- Hardwareentwicklung
- Elektrik/Elektronik
- Systemintegration
- Software als Produkt
- Komplettlösungen
- Auftragsentwicklung
- Technische Beratung
- Schulungen
- Safety und Security
- Qualitätssicherung

Die Zufriedenheit all unserer Partner und ein respektvolles Miteinander prägen unsere Unternehmensphilosophie, in der vier Werte fest verankert sind: Lesen Sie gerne mehr darüber im Web.

ITK. The Art of Digital Engineering.



ITK Engineering GmbH

Hauptsitz Rülzheim
Im Speyerer Tal 6
76761 Rülzheim
Tel.: + 49 (0)7272 7703-0
Fax: + 49 (0)7272 7703-100
info@itk-engineering.de

www.itk-engineering.de
www.itk-engineering.de/karriere

Gegründet 1994 –
heute hat ITK deutschland-
weit Niederlassungen und ist
international vertreten.

Folgen Sie uns auch auf:

