

Ode an die Schraube – Mechanik FIT für die FUSI machen



Marco Knödler

- IGR-KV EMR – Leitung AK Anlagensicherung PLT
 - NAMUR AK 4.5 – VDI/VDE-GMA FA 6.13
 - DIN NA 003-01-01 AA - CEN/TC 69/WG 1 -
- DKE STD_1941.0.8 - SCI 4.0 Expertenrat KI in industriellen Anwendungen
- FS Eng (TÜV Rheinland, # 5762/12, SIS - # 5716/12, Machinery)

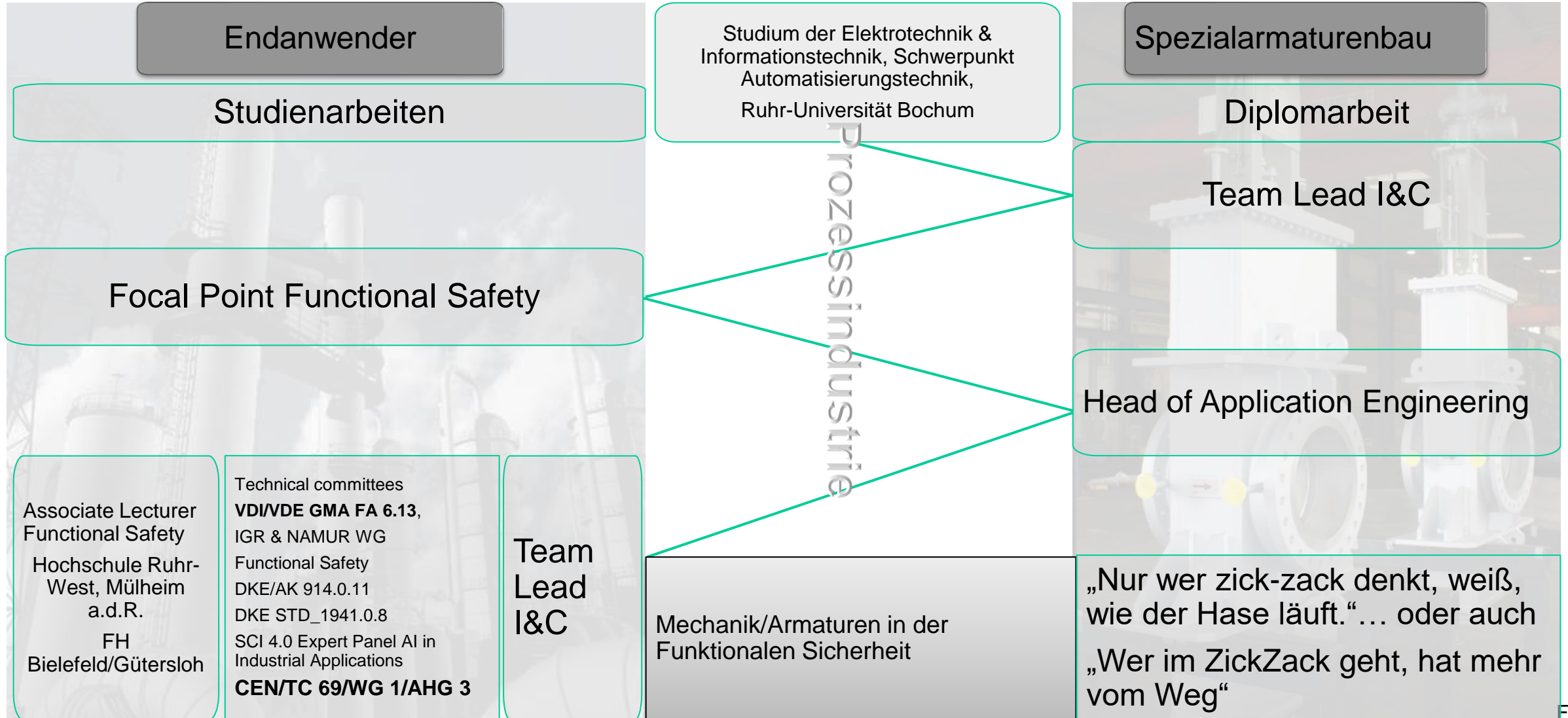


NAMUR - Interessengemeinschaft
Automatisierungstechnik der Prozessindustrie e.V.

YNCORIS
Industrial Services

Interessengemeinschaft Regelwerke Technik (IGR) e.V.

Marco Knödler – Werdegang (rund um die) Prozessindustrie



Ode an eine Schraube

Schöne!

Was liebe ich die Ausnutzung deines
Drehmoments

den kräftigen Zug sanft steigender
Gewindewellen.

Und welch heitere Vielfalt!

(Auszug aus <https://xn--lffeburg-07a.ch/ode-an-eine-schraube/>)

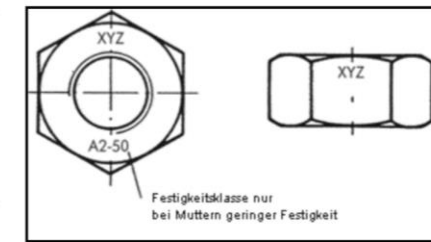
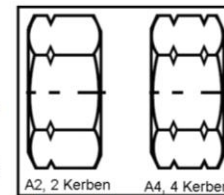
Klassifizierung von Edelstahl, z.B. A2-70 (Standard-Edelstahl)

A	Kennzeichen Werkstoffgruppe A = Austenitischer Edelstahl (Chrom-Nickel-Stahl)
2	Kennzeichen Stahlgruppe 1 = Automatenstahl 2 = Kalttauchstahl legiert mit Chrom und Nickel (klassischer Edelstahl) 3 = Kalttauchstahl mit Chrom und Nickel legiert und gehärtet mit Titan, Niob und Tantal 4 = Kalttauchstahl mit Chrom, Nickel und Molybdän (hochsäurebeständig) 5 = Kalttauchstahl mit Chrom, Nickel und Molybdän (hochsäurebeständig) und gehärtet mit Titan, Niob und Tantal
-70	Festigkeitsangabe: Zugfestigkeit 50 = 1/10 der Zugfestigkeit (mindestens 500 N/mm ²) 70 = 1/10 der Zugfestigkeit (mindestens 700 N/mm ²) 80 = 1/10 der Zugfestigkeit (mindestens 800 N/mm ²)

Regelzugfestigkeit für
A1
A2, A4 (Standard)
A4-80, A5

bei Muttern

Muttern ab Durchmesser 5 mm müssen nach dem Bezeichnungssystem gekennzeichnet werden. Die Kennzeichnung muss auf mindestens einer Seite oder der Schlüsselfläche angebracht werden. Die Kennzeichnung durch Einkerbung verliert an Bedeutung, da dieses Verfahren die Ränder der Muttern verletzt. Zwei Kerben stehen für A2, vier Kerben für A4.



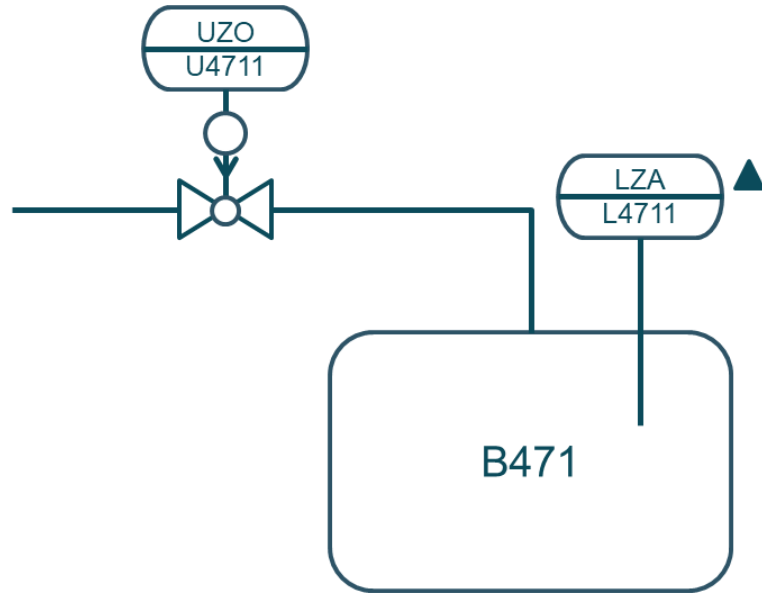
Ist lediglich A2 aufgeprägt, gilt die Festigkeit A2-70, bei A4 die Festigkeit A4-70.

Nicht gekennzeichnete Muttern oder Schrauben erfüllen meist nur die Festigkeitsklasse 50.

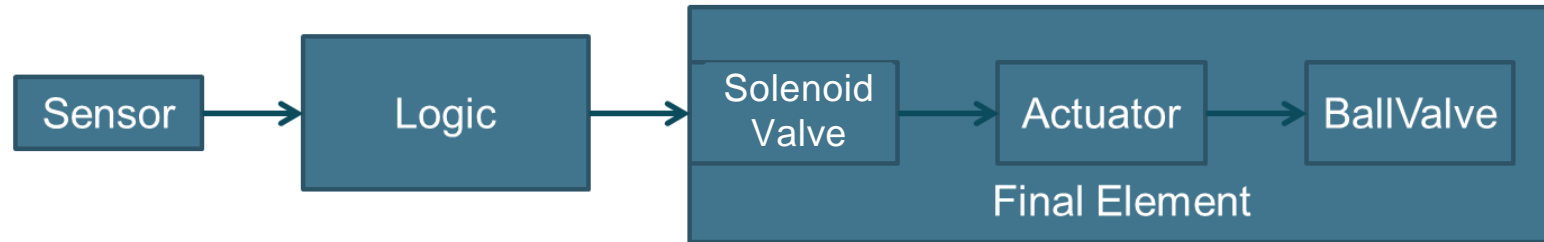
Interessengemeinschaft Regelwerke Technik (IGR) e.V.

Was bedeutet ein Safety Integrity Level (SIL)?

Beispiel - Absicherung eines Tanks gegen Überfüllung



SIL Safety Integrity Level	RRFmin (Minimum Risk Reduction Factor)	PFDmax (maximal zulässige Probability of Failure on Demand)	HFT Hardware Fehler Toleranz (VDI2180:2019)
SIL 1	10	0,1	0
SIL 2	100	0,01	0
SIL 3	1000	0,001	1 (bspw. 1 von 2)
SIL 4	10000	0,0001	3 (bspw. 1 von 4)



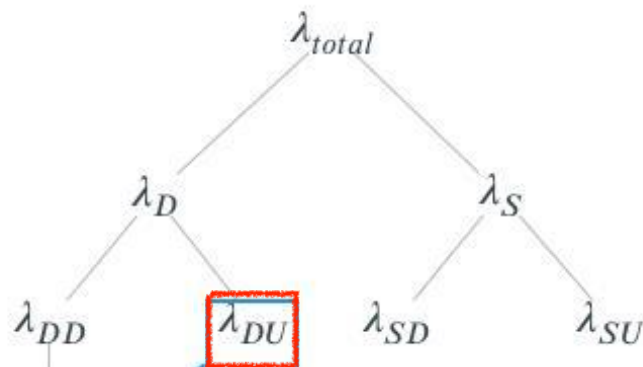
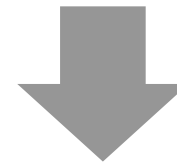
$$PFD_{Sensor} + PFD_{Logik} + PFD_{Aktorik} (Mechanik?) = PFD_{gesamt}$$

Rechnerische Zuverlässigkeitsanalyse

Anforderungsmodus (Probability of Failure on Demand, IEC 61508-4):

"low demand mode – where the frequency of demands for operation made on a safety-related system is no greater than one per year and no greater than twice the proof test frequency"

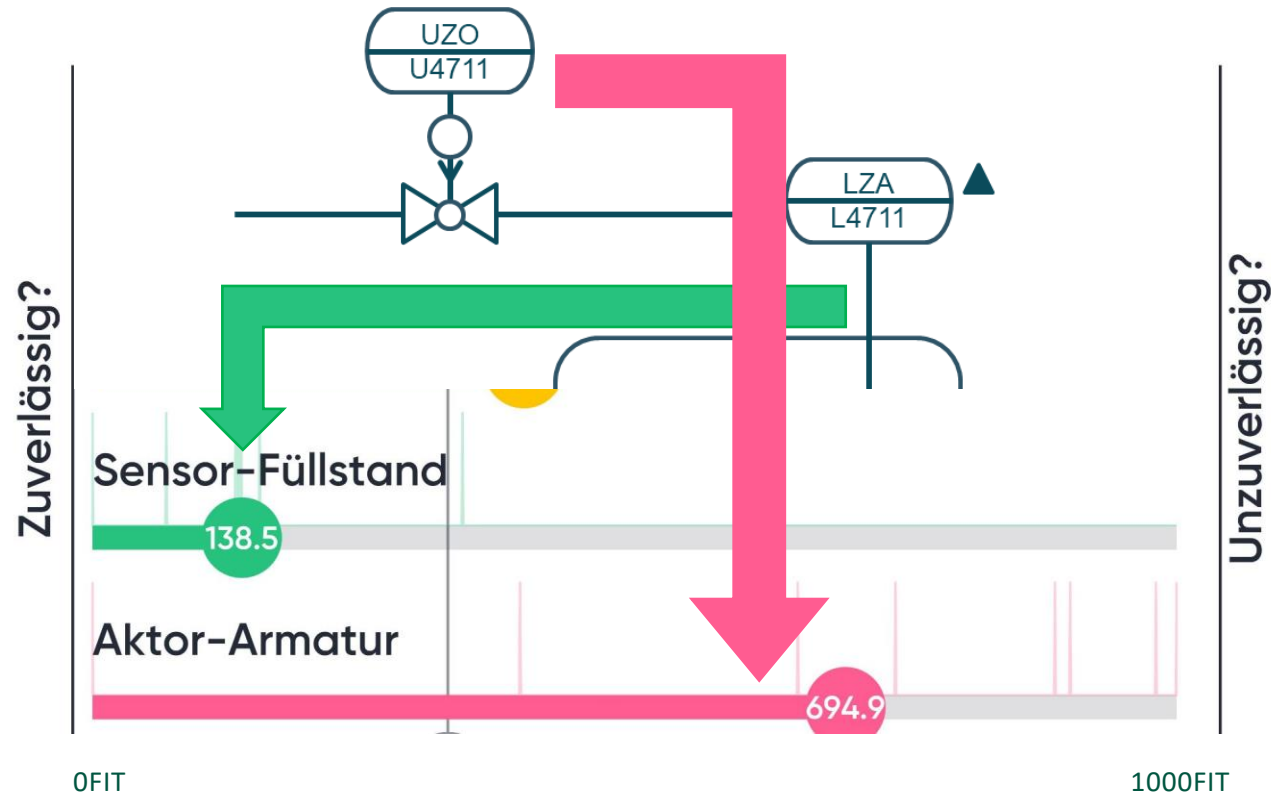
„[...]in particular random hardware failures, may be quantified using such measures as the failure rate in the dangerous mode of failure or the probability of a safety-related protection system failing to operate on demand. However, the safety integrity of a system also depends on many factors which cannot be accurately quantified but can only be considered qualitatively."



Gesucht: Rate gefährlicher (Dangerous) und unentdeckter (Undetected) „zufälliger“ Ausfälle in Failures In Time [FIT] = Ausfälle pro 10^9 Stunden (1 Jahr = 8760 Stunden, 10^9 Stunden = 114.155,25 Jahre)

$$PFD_{1001, \text{Gerät}} = PTC_0 \lambda_{DU} \frac{T_0}{2} + (PTC_1 - PTC_0) \lambda_{DU} \frac{T_1}{2} + (1 - PTC_1) \lambda_{DU} \frac{T_2}{2}$$

Ergebnisse einer Marktrecherche

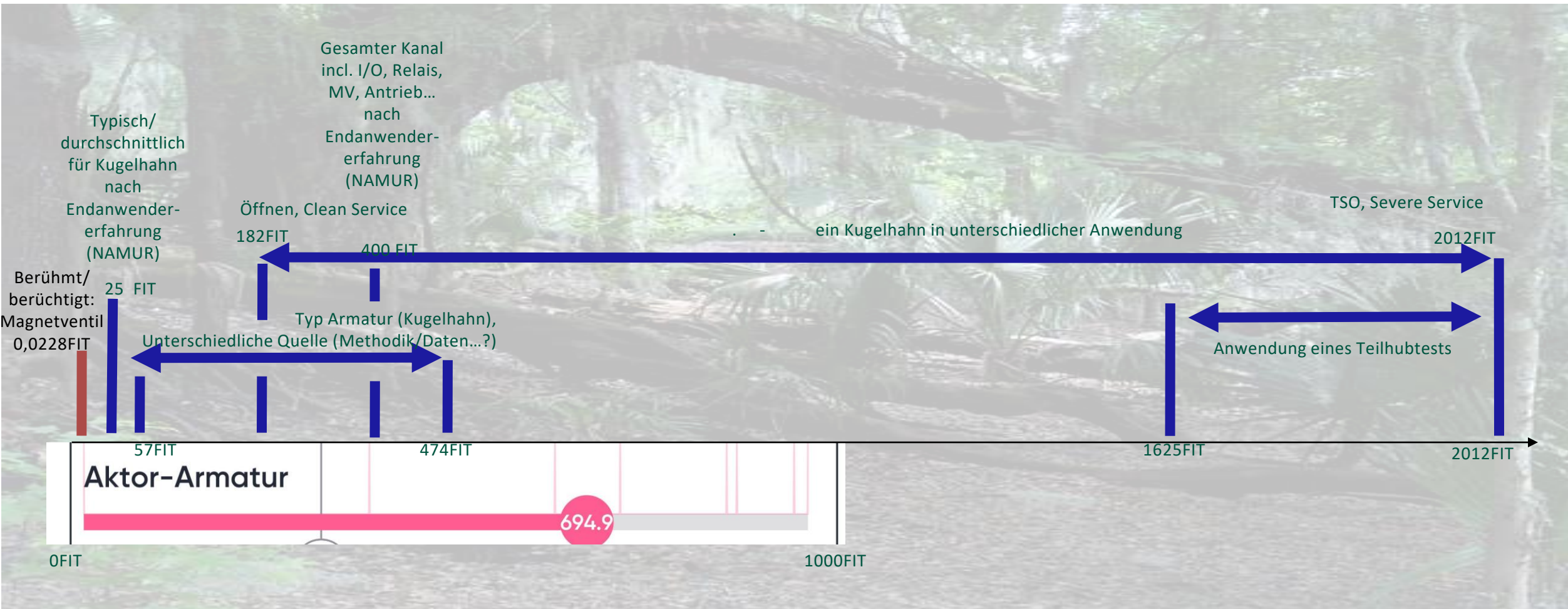


LambdaDU = Rate gefährlicher (Dangerous) und unentdeckter (Undetected) „zufälliger“ Ausfälle in Failures In Time [FIT] = Ausfälle pro 10⁹ Stunden

Interessengemeinschaft Regelwerke Technik (IGR) e.V.

Ergebnisse einer Marktrecherche

$\text{LambdaDU} = \text{Rate gefährlicher (Dangerous) und unentdeckter (Undetected) Ausfälle in Failures In Time [FIT] = \text{Ausfälle pro } 10^9 \text{ Stunden}$



Mechanik – Beispiel Schraube – FIT ?



Klassifizierung von Edelstahl, z.B. A2-70 (Standard-Edelstahl)

A
2

Kennzeichen Werkstoffgruppe
A = Austenitischer Edelstahl (Chrom-Nickel-Stahl)

Kennzeichen Stahlgruppe

1 = Automatenstahl
2 = Kalttauchstahl legiert mit Chrom und Nickel (klassischer Edelstahl)
3 = Kalttauchstahl mit Chrom und Nickel legiert und gehärtet mit Titan, Niob und Tantal
4 = Kalttauchstahl mit Chrom, Nickel und Molybdän (hochsäurebeständig)
5 = Kalttauchstahl mit Chrom, Nickel und Molybdän (hochsäurebeständig) und gehärtet mit Titan, Niob und Tantal

-70

Festigkeitsangabe: Zugfestigkeit
50 = 1/10 der Zugfestigkeit (mindestens 500 N/mm²)
70 = 1/10 der Zugfestigkeit (mindestens 700 N/mm²)
80 = 1/10 der Zugfestigkeit (mindestens 800 N/mm²)

Regelzugfestigkeit für
A1
A2, A4 (Standard)
A4-80, A5

DN	Flanschtyp nach EN 5211	Zulässiges Drehmoment am Flanschbild 1) nach ISO 5211 [Nm]	Zulässiges Drehmoment für A4-70 Schrauben am Flanschbild 2) [Nm]	Zulässiges Drehmoment für A4-70 Schrauben auf Abscheren am Flanschbild 2) [Nm]	Md _{ref} Losreiß/Grundmoment [Nm]	mit Sicherheitsfaktor 1,5 = Md _{ref}	Md _{ref} Lauf [Nm]	mit Sicherheitsfaktor 1,5 = Md _{ref}	Md _{ref} Losreiß/Grundmoment [Nm]	mit Sicherheitsfaktor 1,5 = Md _{ref}	Md _{ref} Lauf [Nm]	mit Sicherheitsfaktor 1,5 = Md _{ref}	Maximal zulässiges Drehmoment Welle (1.4408) [Nm]						
													Temperature [°C]						
													-25	20	50	100	200	220	240
15	F04	63	89	546	22	33	15	23	28	41	19	29	90	90	84	73	58	46	36
25	F05	125	151	922	43	65	30	45	54	81	38	56	200	200	186	162	129	125	96
40	F07	250	384	2348	66	99	46	69	83	124	58	87	290	290	269	235	186	181	141
50	F07	250	384	2348	106	159	74	111	133	199	93	139	600	600	557	486	386	374	286
80	F10	500	887	5420	140	210	98	147	175	263	123	184	600	600	557	486	386	374	286
100	F10	500	887	5420	200	300	140	210	250	375	175	263	810	810	752	656	521	505	386
150	F12	1000	1580	9652	434	651	304	456	543	814	380	570	1550	1550	1439	1255	996	967	731
200	F14	2000	3290	20099	534	801	374	561	668	1001	467	701	3200	3200	2971	2590	2057	1996	1506
250	F14	2000	3290	20099	800	1200	560	840	1000	1500	700	1050	4500	4500	4179	3643	2893	2807	2167
300	F16	4000	6059	37013	1066	1599	746	1119	1333	1999	933	1399	5350	5350	4968	4331	3439	3337	2557
400	F25	8000	11938	72931	2120	3180	1484	2226	2650	3975	1855	2783	9880	9880	9174	7998	6351	6163	4683

1) Die Berechnungen der zulässigen Momente basiert auf den Festigkeitswerten von Schrauben mit einer Zugbeanspruchung > 290 MPa z.B. A2-70

- Vorschlag in einem CEN-Normungsvorhaben: Schraube=5 FIT -> PFD
- Realität: Welche Schraube verwenden wir? -> Systematik – Zulässiges Drehmoment >1,5fache!

Mechanik FIT für die FUSI?



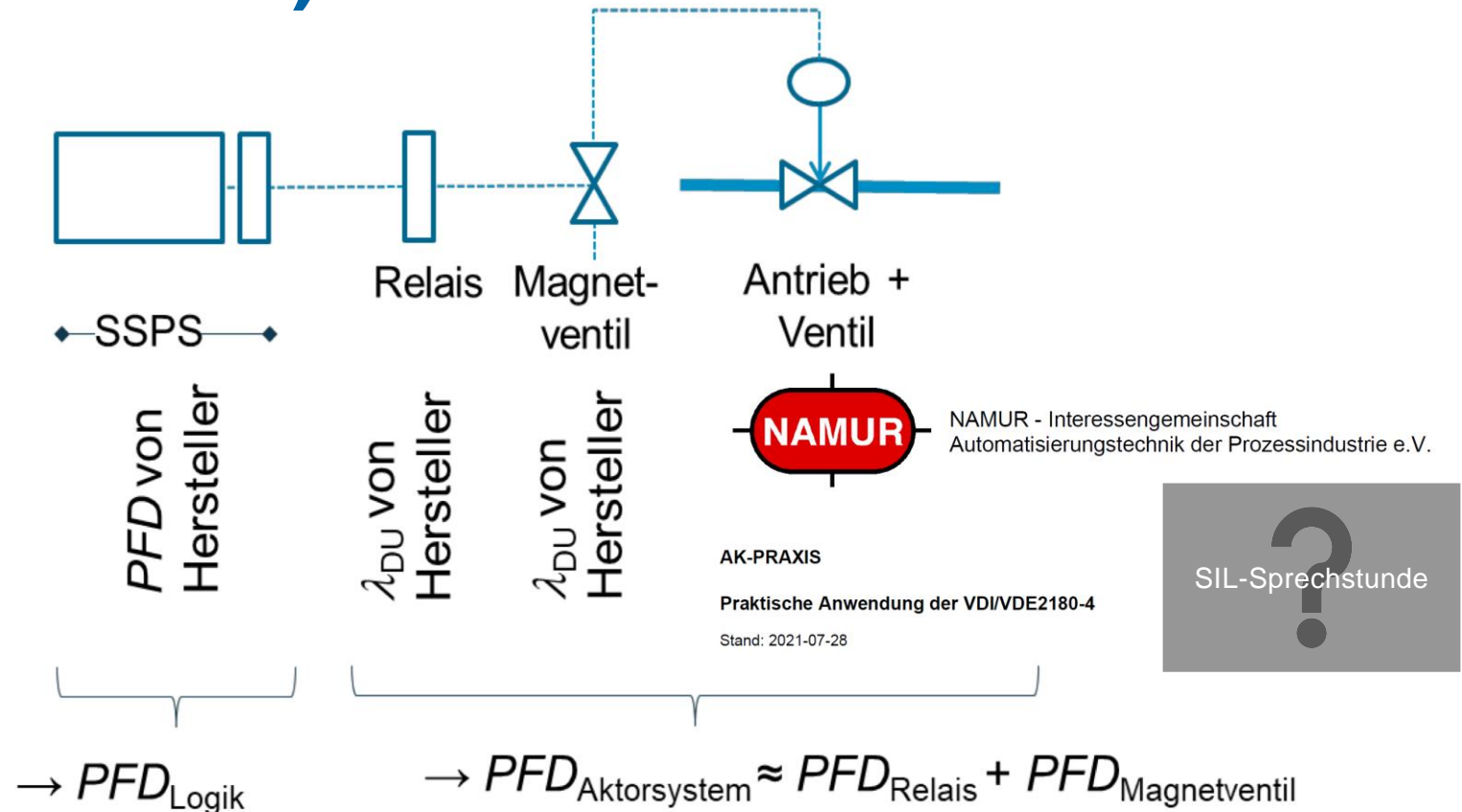
Obere Verbindung zu schwach

**ICH HABE NICHT NUR EINE
SCHRAUBE LOCKER,
ODER ZWEI SCHRAUBEN.**

**SONDERN ALLE SIND
LOCKER, TEILWEISE
AUSGEFALLEN, EIN PAAR
SIND AUCH VERROSTET.**

Systematisch richtig - Mechanik in der Funktionalen Sicherheit (VDI/VDE2180-4)

- Wann muss ich überhaupt „rechnen“?
- Woher stammen die Ausfallraten?
- Was ist zu tun, um vorwiegende systematische Ausfälle zu beherrschen?
- Fokus auf systematisch richtig
- Aktuell in Diskussion im CEN als Preliminary Work Item
- -> Schließlich Einigung auf ISO/IEC Ebene angestrebt



DIETHEORIE DER WAHRSCHEINLICHKEITEN IST IM GRUNDE NICHTS WEITER ALS DER IN RECHNUNG GEBRACHTE GESUNDE MENSCHENVERSTAND

- Pierre-Simon Laplace, Essai philosophique sur les probabilités, 1814

DIE RECHNUNG DER WAHRSCHEINLICHKEITEN IST OHNE GESUNDEN MENSCHENVERSTAND IMGRUNDE NICHTS WEITER ALS THEORIE

- Pierre-Simon Laplace, Essai philosophique sur les probabilités, 1814

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Dipl.-Ing. Marco Knödler (geb. 1980) leitet das Team Instrumentation & Controls (I&C/MSR) im Engineering der YNCORIS und ist als Fachexperte Funktionale Sicherheit in Betreiber-Arbeitskreisen sowie in nationalen und internationalen Gremien aktiv. Als Lehrbeauftragter an deutschen Hochschulen vermittelt er Wissen und Leidenschaft rund um die funktionale Sicherheit an Nachwuchs-Ingenieur*innen.



Dipl.-Ing. Marco Knödler
YNCORIS GmbH & Co. KG
Industriestraße 300
50354 Hürth
☎ +49 172 2661517
@ marco.knoedler@yncoris.com

