



Umrechnungsformeln für $MTTF_d$ - Berechnungen

1 Einleitung

Zur Abschätzung des erforderlichen Performance Level wird nach der EN ISO 13849-1 unter anderem die mittlere Zeit bis zum gefahrbringenden Ausfall $MTTF_d$ (Mean Time To Failure dangerous) verwendet. In den Datenblättern der Hersteller wird jedoch nicht immer der genaue $MTTF_d$ -Wert angegeben. In den nachfolgenden Abschnitten werden Berechnungsmethoden (Umrechnungsformeln) aufgezeigt, die zum erwünschten $MTTF_d$ -Wert führen können.

2 Umrechnung

2.1 Umrechnung λ (fit) zu $MTTF$ oder $MTTF_d$

$$MTTF = \frac{10^9}{365 * 24 * \lambda \text{ (fit)}} \qquad MTTF_d = \frac{10^9 * 2}{365 * 24 * \lambda \text{ (fit)}}$$

Falls keine Angaben zu dem gefährlichen Anteil der Ausfälle vorhanden sind, geht man davon aus, dass 50% der Ausfälle gefährlich sein können.

λ (fit)	Mittlere Ausfallrate pro Stunde
MTTF	Mean Time To Failure (Mittlere Zeit, bis ein Fehler auftritt)
MTTF_d	Meantime to Failure dangerous (Mittlere Zeit, bis ein gefahrbringender Fehler auftritt)

2.2 Umrechnung B_{10d} zu $MTTF_d$

$$MTTF_d = \frac{B_{10d}}{0,1 * n_{op}} \qquad n_{op} = \frac{d_{op} * h_{op} * 3600}{t_{zyklus}} \qquad MTTF_d = \frac{B_{10d} * t_{zyklus}}{360 * d_{op} * h_{op}}$$

B_{10d}	Anzahl von Zyklen, bis 10% der Komponenten gefährlich ausgefallen sind
MTTF_d	Meantime to Failure dangerous (Mittlere Zeit, bis ein gefahrbringender Fehler auftritt)
t_{zyklus}	Mittlere Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Zyklen in Sekunden
h_{op}	Mittlere Betriebszeit in Stunden pro Tag (0 - 24 Stunden)
d_{op}	Mittlere Betriebszeit in Tagen pro Jahr (0 - 365 Tage)
n_{op}	Mittlere Zahl Schaltspiele pro Jahr



2.3 Umrechnung PFH, PFH_d → MTTF, MTTF_d

$$MTTF = \frac{1}{x \cdot PFH} = \frac{1}{8760 \cdot PFH} \qquad MTTF_d = \frac{1}{x \cdot PFH_d} = \frac{1}{8760 \cdot PFH_d}$$

MTTF	Mean Time To Failure (Mittlere Zeit in Jahren, bis ein Fehler auftritt)
MTTF_d	Meantime to Failure dangerous (Mittlere Zeit, bis ein gefahrbringender Fehler auftritt)
PFH	Probability Failure per Hour (Durchschnittliche Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls pro Stunde).
PFH_d	Probability Failure per Hour dangerous (Durchschnittliche Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls pro Stunde).
x	Anzahl Stunden pro Jahr (365 * 24 = 8760)

2.4 Umrechnung PFH_d → MTTF_d gemäss Tabelle K.1. nach EN ISO 13849-1

MTTF _d für jeden Kanal Jahre	Durchschnittliche Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls je Stunde [1/h] und der zugehörige Performance Level (PL)															
	Kat. B	PL	Kat. 1	PL	Kat. 2	PL	Kat. 2	PL	Kat. 3	PL	Kat. 3	PL	Kat. 4	PL		
	DC _{avg} = kein		DC _{avg} = kein		DC _{avg} = niedrig		DC _{avg} = mittel		DC _{avg} = niedrig		DC _{avg} = mittel		DC _{avg} = hoch			
3	3,80 × 10 ⁻⁶	a			2,58 × 10 ⁻⁵	a	1,99 × 10 ⁻⁵	a	1,26 × 10 ⁻⁵	a	6,09 × 10 ⁻⁶	b				
3,3	3,46 × 10 ⁻⁵	a			2,33 × 10 ⁻⁵	a	1,79 × 10 ⁻⁵	a	1,13 × 10 ⁻⁵	a	5,41 × 10 ⁻⁶	b				
3,6	3,17 × 10 ⁻⁵	a			2,13 × 10 ⁻⁵	a	1,62 × 10 ⁻⁵	a	1,03 × 10 ⁻⁵	a	4,86 × 10 ⁻⁶	b				
3,9	2,93 × 10 ⁻⁵	a			1,95 × 10 ⁻⁵	a	1,48 × 10 ⁻⁵	a	9,37 × 10 ⁻⁶	b	4,40 × 10 ⁻⁶	b				
4,3	2,65 × 10 ⁻⁵	a			1,76 × 10 ⁻⁵	a	1,33 × 10 ⁻⁵	a	8,39 × 10 ⁻⁶	b	3,89 × 10 ⁻⁶	b				
4,7	2,43 × 10 ⁻⁵	a			1,60 × 10 ⁻⁵	a	1,20 × 10 ⁻⁵	a	7,58 × 10 ⁻⁶	b	3,48 × 10 ⁻⁶	b				
5,1	2,24 × 10 ⁻⁵	a			1,47 × 10 ⁻⁵	a	1,10 × 10 ⁻⁵	a	6,91 × 10 ⁻⁶	b	3,15 × 10 ⁻⁶	b				
5,6	2,04 × 10 ⁻⁵	a			1,33 × 10 ⁻⁵	a	9,87 × 10 ⁻⁶	b	6,21 × 10 ⁻⁶	b	2,80 × 10 ⁻⁶	c				
6,2	1,84 × 10 ⁻⁵	a			1,19 × 10 ⁻⁵	a	8,80 × 10 ⁻⁶	b	5,53 × 10 ⁻⁶	b	2,47 × 10 ⁻⁶	c				
6,8	1,68 × 10 ⁻⁵	a			1,08 × 10 ⁻⁵	a	7,93 × 10 ⁻⁶	b	4,98 × 10 ⁻⁶	b	2,20 × 10 ⁻⁶	c				
7,5	1,52 × 10 ⁻⁵	a			9,75 × 10 ⁻⁶	b	7,10 × 10 ⁻⁶	b	4,45 × 10 ⁻⁶	b	1,95 × 10 ⁻⁶	c				
8,2	1,39 × 10 ⁻⁵	a			8,87 × 10 ⁻⁶	b	6,43 × 10 ⁻⁶	b	4,02 × 10 ⁻⁶	b	1,74 × 10 ⁻⁶	c				
9,1	1,25 × 10 ⁻⁵	a			7,94 × 10 ⁻⁶	b	5,71 × 10 ⁻⁶	b	3,57 × 10 ⁻⁶	b	1,53 × 10 ⁻⁶	c				
10	1,14 × 10 ⁻⁵	a			7,18 × 10 ⁻⁶	b	5,14 × 10 ⁻⁶	b	3,21 × 10 ⁻⁶	b	1,36 × 10 ⁻⁶	c				
11	1,04 × 10 ⁻⁵	a			6,44 × 10 ⁻⁶	b	4,53 × 10 ⁻⁶	b	2,81 × 10 ⁻⁶	c	1,18 × 10 ⁻⁶	c				
12	9,51 × 10 ⁻⁶	b			5,84 × 10 ⁻⁶	b	4,04 × 10 ⁻⁶	b	2,49 × 10 ⁻⁶	c	1,04 × 10 ⁻⁶	c				
13	8,78 × 10 ⁻⁶	b			5,33 × 10 ⁻⁶	b	3,64 × 10 ⁻⁶	b	2,23 × 10 ⁻⁶	c	9,21 × 10 ⁻⁷	d				
15	7,61 × 10 ⁻⁶	b			4,53 × 10 ⁻⁶	b	3,01 × 10 ⁻⁶	b	1,82 × 10 ⁻⁶	c	7,44 × 10 ⁻⁷	d				
16	7,13 × 10 ⁻⁶	b			4,21 × 10 ⁻⁶	b	2,77 × 10 ⁻⁶	c	1,67 × 10 ⁻⁶	c	6,76 × 10 ⁻⁷	d				
18	6,34 × 10 ⁻⁶	b			3,68 × 10 ⁻⁶	b	2,37 × 10 ⁻⁶	c	1,41 × 10 ⁻⁶	c	5,67 × 10 ⁻⁷	d				
20	5,71 × 10 ⁻⁶	b			3,26 × 10 ⁻⁶	b	2,06 × 10 ⁻⁶	c	1,22 × 10 ⁻⁶	c	4,85 × 10 ⁻⁷	d				
22	5,19 × 10 ⁻⁶	b			2,93 × 10 ⁻⁶	c	1,82 × 10 ⁻⁶	c	1,07 × 10 ⁻⁶	c	4,21 × 10 ⁻⁷	d				
24	4,76 × 10 ⁻⁶	b			2,65 × 10 ⁻⁶	c	1,62 × 10 ⁻⁶	c	9,47 × 10 ⁻⁷	d	3,70 × 10 ⁻⁷	d				
27	4,23 × 10 ⁻⁶	b			2,32 × 10 ⁻⁶	c	1,39 × 10 ⁻⁶	c	8,04 × 10 ⁻⁷	d	3,10 × 10 ⁻⁷	d				
30			3,80 × 10 ⁻⁵	b	2,06 × 10 ⁻⁶	c	1,21 × 10 ⁻⁶	c	6,94 × 10 ⁻⁷	d	2,65 × 10 ⁻⁷	d	9,54 × 10 ⁻⁸	e		
33			3,46 × 10 ⁻⁵	b	1,85 × 10 ⁻⁶	c	1,06 × 10 ⁻⁶	c	5,94 × 10 ⁻⁷	d	2,30 × 10 ⁻⁷	d	8,57 × 10 ⁻⁸	e		
36			3,17 × 10 ⁻⁵	b	1,67 × 10 ⁻⁶	c	9,39 × 10 ⁻⁷	d	5,16 × 10 ⁻⁷	d	2,01 × 10 ⁻⁷	d	7,77 × 10 ⁻⁸	e		
39			2,93 × 10 ⁻⁵	c	1,53 × 10 ⁻⁶	c	8,40 × 10 ⁻⁷	d	4,53 × 10 ⁻⁷	d	1,78 × 10 ⁻⁷	d	7,11 × 10 ⁻⁸	e		
43			2,65 × 10 ⁻⁵	c	1,37 × 10 ⁻⁶	c	7,34 × 10 ⁻⁷	d	3,87 × 10 ⁻⁷	d	1,54 × 10 ⁻⁷	d	6,37 × 10 ⁻⁸	e		
47			2,43 × 10 ⁻⁵	c	1,24 × 10 ⁻⁶	c	6,49 × 10 ⁻⁷	d	3,35 × 10 ⁻⁷	d	1,34 × 10 ⁻⁷	d	5,76 × 10 ⁻⁸	e		
51			2,24 × 10 ⁻⁵	c	1,13 × 10 ⁻⁶	c	5,80 × 10 ⁻⁷	d	2,93 × 10 ⁻⁷	d	1,19 × 10 ⁻⁷	d	5,26 × 10 ⁻⁸	e		
56			2,04 × 10 ⁻⁵	c	1,02 × 10 ⁻⁶	c	5,10 × 10 ⁻⁷	d	2,52 × 10 ⁻⁷	d	1,03 × 10 ⁻⁷	d	4,73 × 10 ⁻⁸	e		
62			1,84 × 10 ⁻⁵	c	9,06 × 10 ⁻⁷	d	4,43 × 10 ⁻⁷	d	2,13 × 10 ⁻⁷	d	8,84 × 10 ⁻⁸	e	4,22 × 10 ⁻⁸	e		
68			1,68 × 10 ⁻⁵	c	8,17 × 10 ⁻⁷	d	3,90 × 10 ⁻⁷	d	1,84 × 10 ⁻⁷	d	7,68 × 10 ⁻⁸	e	3,80 × 10 ⁻⁸	e		
75			1,52 × 10 ⁻⁵	c	7,31 × 10 ⁻⁷	d	3,40 × 10 ⁻⁷	d	1,57 × 10 ⁻⁷	d	6,62 × 10 ⁻⁸	e	3,41 × 10 ⁻⁸	e		
82			1,39 × 10 ⁻⁵	c	6,61 × 10 ⁻⁷	d	3,01 × 10 ⁻⁷	d	1,35 × 10 ⁻⁷	d	5,79 × 10 ⁻⁸	e	3,08 × 10 ⁻⁸	e		
91			1,25 × 10 ⁻⁵	c	5,88 × 10 ⁻⁷	d	2,61 × 10 ⁻⁷	d	1,14 × 10 ⁻⁷	d	4,94 × 10 ⁻⁸	e	2,74 × 10 ⁻⁸	e		
100			1,14 × 10 ⁻⁵	c	5,28 × 10 ⁻⁷	d	2,29 × 10 ⁻⁷	d	1,01 × 10 ⁻⁷	d	4,29 × 10 ⁻⁸	e	2,47 × 10 ⁻⁸	e		

MTTF _d (y) = PFH _d (pro Stunde)			
100 = 2,47 × 10 ⁻⁸	240 = 9,81 × 10 ⁻⁹	560 = 4,11 × 10 ⁻⁹	1.300 = 1,75 × 10 ⁻⁹
110 = 2,23 × 10 ⁻⁸	270 = 8,67 × 10 ⁻⁹	620 = 3,70 × 10 ⁻⁹	1.500 = 1,51 × 10 ⁻⁹
120 = 2,03 × 10 ⁻⁸	300 = 7,76 × 10 ⁻⁹	680 = 3,37 × 10 ⁻⁹	1.600 = 1,42 × 10 ⁻⁹
130 = 1,87 × 10 ⁻⁸	330 = 7,04 × 10 ⁻⁹	750 = 3,05 × 10 ⁻⁹	1.800 = 1,26 × 10 ⁻⁹
150 = 1,61 × 10 ⁻⁸	360 = 6,44 × 10 ⁻⁹	820 = 2,79 × 10 ⁻⁹	2.000 = 1,13 × 10 ⁻⁹
160 = 1,50 × 10 ⁻⁸	390 = 5,94 × 10 ⁻⁹	910 = 2,51 × 10 ⁻⁹	2.200 = 1,03 × 10 ⁻⁹
180 = 1,33 × 10 ⁻⁸	430 = 5,38 × 10 ⁻⁹	1.000 = 2,27 × 10 ⁻⁹	2.300 = 9,85 × 10 ⁻¹⁰
200 = 1,19 × 10 ⁻⁸	470 = 4,91 × 10 ⁻⁹	1.100 = 2,07 × 10 ⁻⁹	2.400 = 9,44 × 10 ⁻¹⁰
220 = 1,08 × 10 ⁻⁸	510 = 4,52 × 10 ⁻⁹	1.200 = 1,90 × 10 ⁻⁹	2.500 = 9,06 × 10 ⁻¹⁰



2.5 Vergleich PL, SIL → PFH_d

Performance Level (PL)	Durchschnittliche Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls pro Stunde (PFH _d) 1/h	SIL (IEC 61508-1, zur Information) hohe / kontinuierliche Betriebsart
a	$\geq 10^{-5}$ bis $< 10^{-4}$	keine Entsprechung
b	$\geq 3 \cdot 10^{-6}$ bis $< 10^{-5}$	1
c	$\geq 10^{-6}$ bis $< 3 \cdot 10^{-6}$	1
d	$\geq 10^{-7}$ bis $< 10^{-6}$	2
e	$\geq 10^{-8}$ bis $< 10^{-7}$	3

Sicherheits-Integritätslevel (SIL)	Durchschnittliche Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls pro Stunde (PFH _d) 1/h
1	$\geq 10^{-6}$ bis $< 10^{-5}$
2	$\geq 10^{-7}$ bis $< 10^{-6}$
3	$\geq 10^{-8}$ bis $< 10^{-7}$
4	$\geq 10^{-9}$ bis $< 10^{-8}$

SIL	Safety Integrity Level (Sicherheits-Integritätslevel, siehe IEC 61508 EN 62061)
PL	Performance Level (siehe EN ISO 13849-1)
PFH_d	Probability Failure per Hour dangerous (Durchschnittliche Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls pro Stunde).