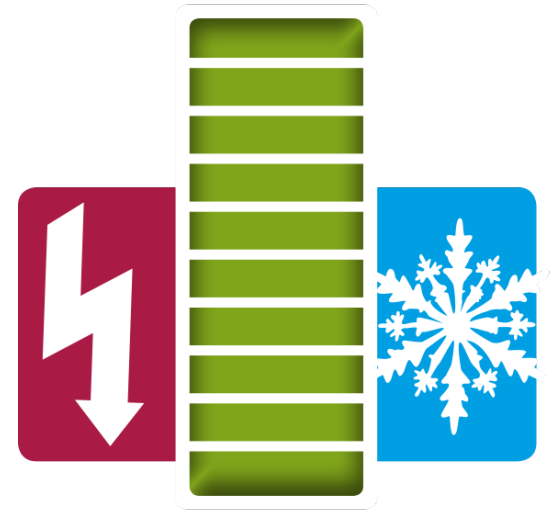


Präventives Risikomanagement für ausfallsichere Data Center Infrastrukturen

**Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit,
1- und 2-Fehlertoleranz**



BITKOM e.V. Arbeitskreis Rechenzentrum und Infrastruktur

Agenda zum 29. November 2016 in Cadolzburg

- 1. Motivation zur Analytik** von Data Center Infrastrukturen (DCI)
 - Richtlinien und Normen
 - Qualitative vs. quantitative Verfahren
- 2. Kennzahlen zur Ausfallsicherheit**
 - Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit
 - 1- und 2-Fehlertoleranz
- 3. Methodik InfraOpt®**
 - Fünf-Stufen-Prozess
 - Variantenvergleich und Optimierung
- 4. Ausblick**



Uptime Institute	Tier I	Tier II	Tier III	Tier IV
Single Points of Failure	Many+ Human Error	Many+ Human Error	Some+ Human Error	Fire,EPO+Some Human Error
Representative Planned Maintenance Shut Downs	2 Annual Events at 12 Hours Each	2 Events Over 2 Years at 12 Hours Each	None Required	None Required
Representative Site Failures	6 Failures Over 5 Years	1 Failure Every Year	1 Failure Every 2.5 Yrs	1 Failure Every 5 Years
Annual Site-Caused End-User Downtime (based on field data)	28.8 hours	22.0 hours	1.6 hours	0.8 hours [0.4 hours]
Resulting End-User Availability on Site-Caused Downtime	99.67 %	99.75 %	99.98 %	99.99 % [99.995 %]
First Deployed	1965	1970	1985	1995

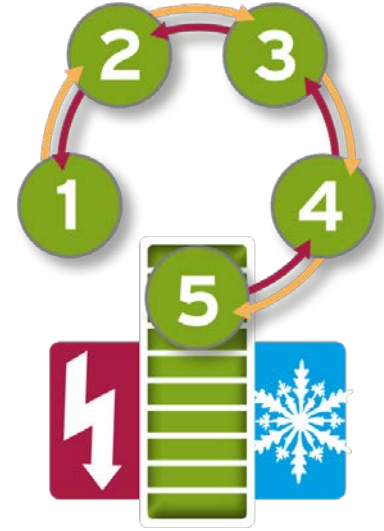


Verfügbarkeits-Klasse	VK 1	VK 2	VK 3	VK 4	VK 4 erweitert
Verfügbarkeit	niedrig	mittel	hoch	sehr hoch	
DIN EN 50600-2-2 Stromversorgung	keine Redundanz	Komponenten Redundanz	Instandsetzung im lfd. Betrieb	Fehlertoleranz (Transferschalter)	
Versorgungspfade	Einer N	Einer N+1	Mehrere 2N	Mehrere 2N	
DIN EN 50600-2-3 Regelung der Umgebungsbedingungen	-	keine Ausfallsicherheit	Komponenten Redundanz	Instandsetzung im laufenden Betrieb	
Versorgungspfade	-	Einer N	Einer N+1	Einer N+1	Mehrere 2N



Präventives Risikomanagement versus Rechenzentrums-Zertifizierung

Worin besteht der Unterschied?





Prinzip der Infrastrukturanalyse	Qualitativ: Checklisten bzw. Kriterienkataloge	Quantitativ: Berechnung von Kennzahlen
Anbieter	Uptime Institut, TÜV Nord/Süd/Rheinland, BSI, ECO, ...	ibmu.de GmbH – InfraOpt ...
Ergebnis	Tier I ... IV oder Level I ... IV (+) oder Kategorie I ... IV oder 1 ... 5 Stars oder Verfügbarkeitsklasse 1 ... 4	Zuverlässigkeit, inhärente und operationale Verfügbarkeit, 1 – und 2 – Fehlertoleranz, Verfügbarkeitsklasse 1 ... 4
Kennzahlen	<input checked="" type="checkbox"/> nein	<input checked="" type="checkbox"/> Ja
Optimierung	<input checked="" type="checkbox"/> nein	<input checked="" type="checkbox"/> Ja
Investitionsplanung	<input checked="" type="checkbox"/> nein	<input checked="" type="checkbox"/> Ja
SLA-Validierung	<input checked="" type="checkbox"/> nein	<input checked="" type="checkbox"/> Ja
BIM-Integration	<input checked="" type="checkbox"/> nein	Perspektivisch möglich

Rechenzentrums-Versorgungs-Infrastruktur

Data Center Infrastructure (DCI)

Notwendige Teilsysteme der DCI:

- Power Distribution – Stromversorgung
DIN EN 50600-2-2
- Environmental Control - Regelung der Umgebungsbedingungen
DIN EN 50600-2-3

Systemerfolg S eines Lastpunktes (z. B. Servers) der DCI:

- $S(\text{Loadpoint}) = S(\text{Power}) \wedge S(\text{Environmental Control})$
- Ein Erfolgspfad beschreibt genau eine minimale, ununterbrochene Funktionskette zum Lastpunkt
- Redundanzen vervielfachen die Anzahl der Erfolgspfade



Kennzahlen zur Ausfallsicherheit (Resilience)

Verlässlichkeit (Dependability)

Zuverlässigkeit (Reliability) $R(t) = e^{-t/MTBF}$

- Merkmal für die Wahrscheinlichkeit, dass die DCI ihre Funktion erfüllt
- Berücksichtigt die Ausfallrate von Komponenten im Verlauf der Zeit

Inhärente Verfügbarkeit (Availability) $A_i = MTBF / (MTBF + MTTR)$

- Berechnete Verfügbarkeit auf Grundlage der eingesetzten Komponenten und Systeme

Operationale Verfügbarkeit $A_o = MTBM / (MTBM + MDT)$

- Berücksichtigt Wartungen, Umbauten, Elementarereignisse, Fehlhandlungen, tatsächliche Liefer- und Reparaturzeiten usw.



Kennzahlen zur Ausfallsicherheit (Resilience)

Fehlertoleranz

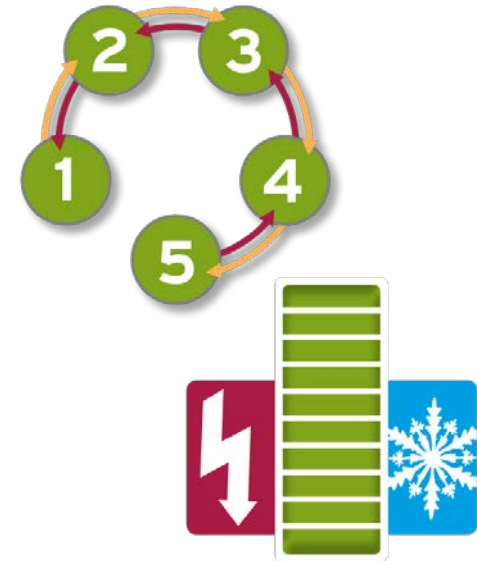
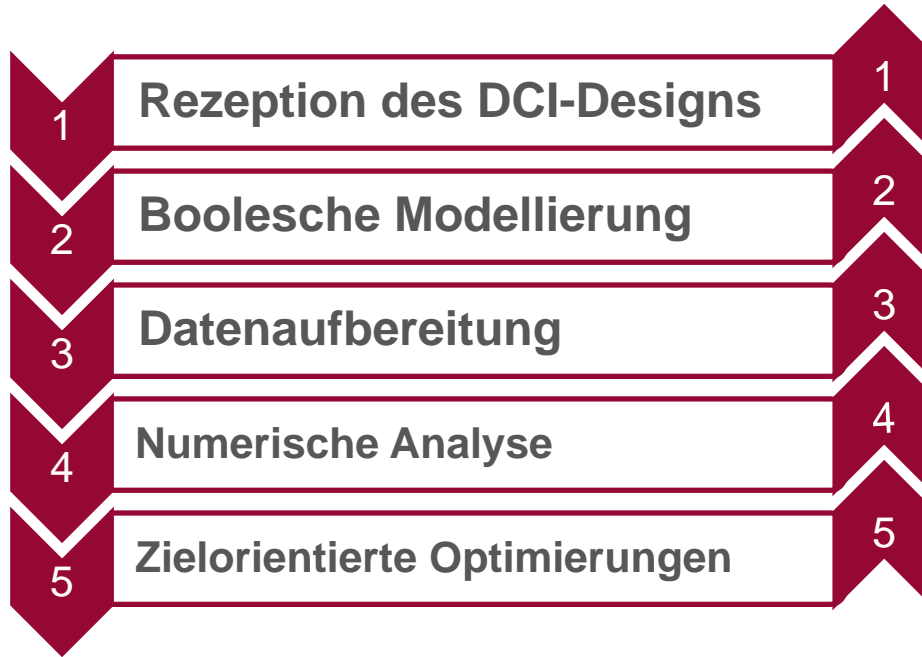
Single Points of Failure: $|SPoF| = N$

- Anzahl der 1-Fehlerpunkte, durch welche die DCI ausfallen kann
- Bestimmen der Verfügbarkeitsklassen nach EN 50600-2-2 „Stromversorgung“ und EN 50600-2-3 „Regelung der Umgebungsbedingungen“

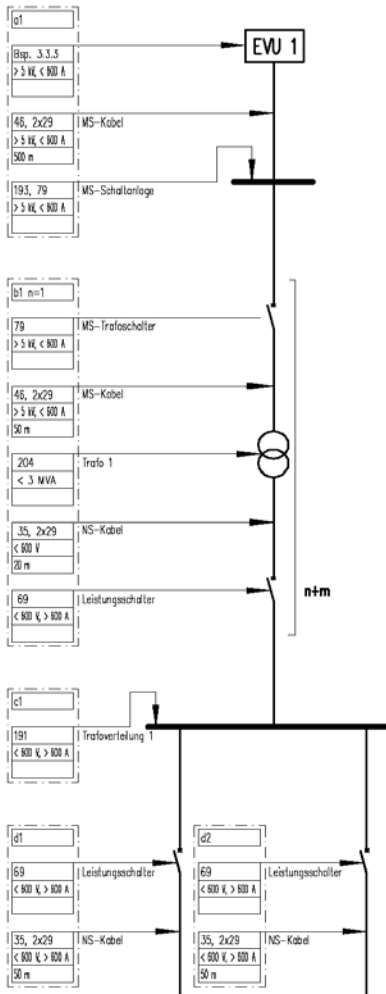
Double Points of Failure: $|DPoF| = \binom{N}{k}; k = 2$

- Anzahl der 2-Fehlerpunkte, durch welche die DCI ausfallen kann
- Vorhersage, wie die DCI im Fall von geplanten oder ungeplanten Fehlerereignissen reagiert
- Bestimmung des „herabgesetzten Ausfallsicherungsgrades“ gemäß EN 50600-2-2:2014

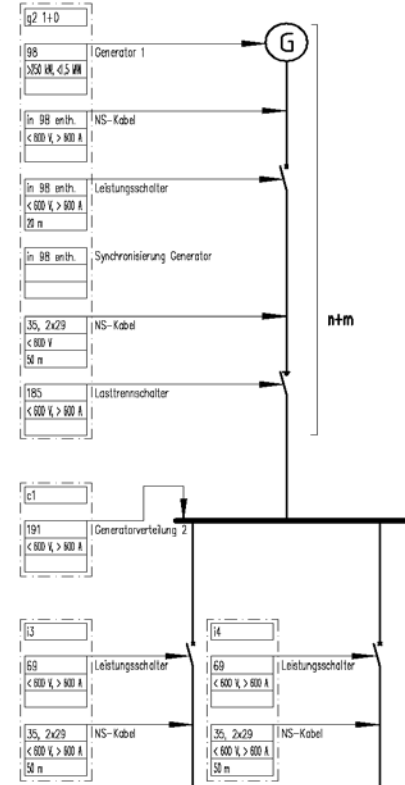
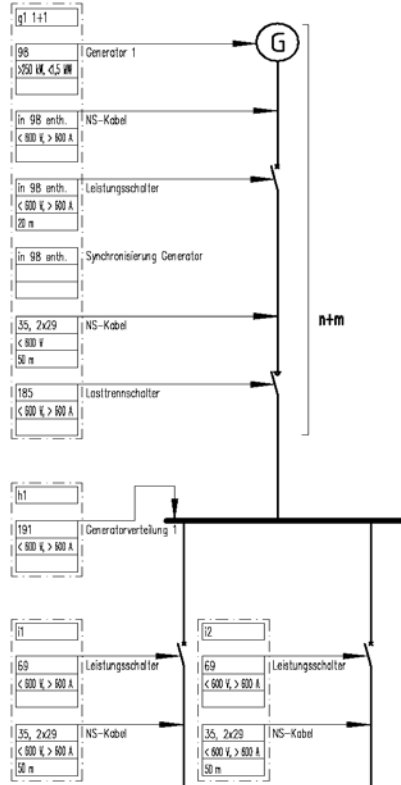
Erprobter Dienstleistungsprozess in fünf Schritten



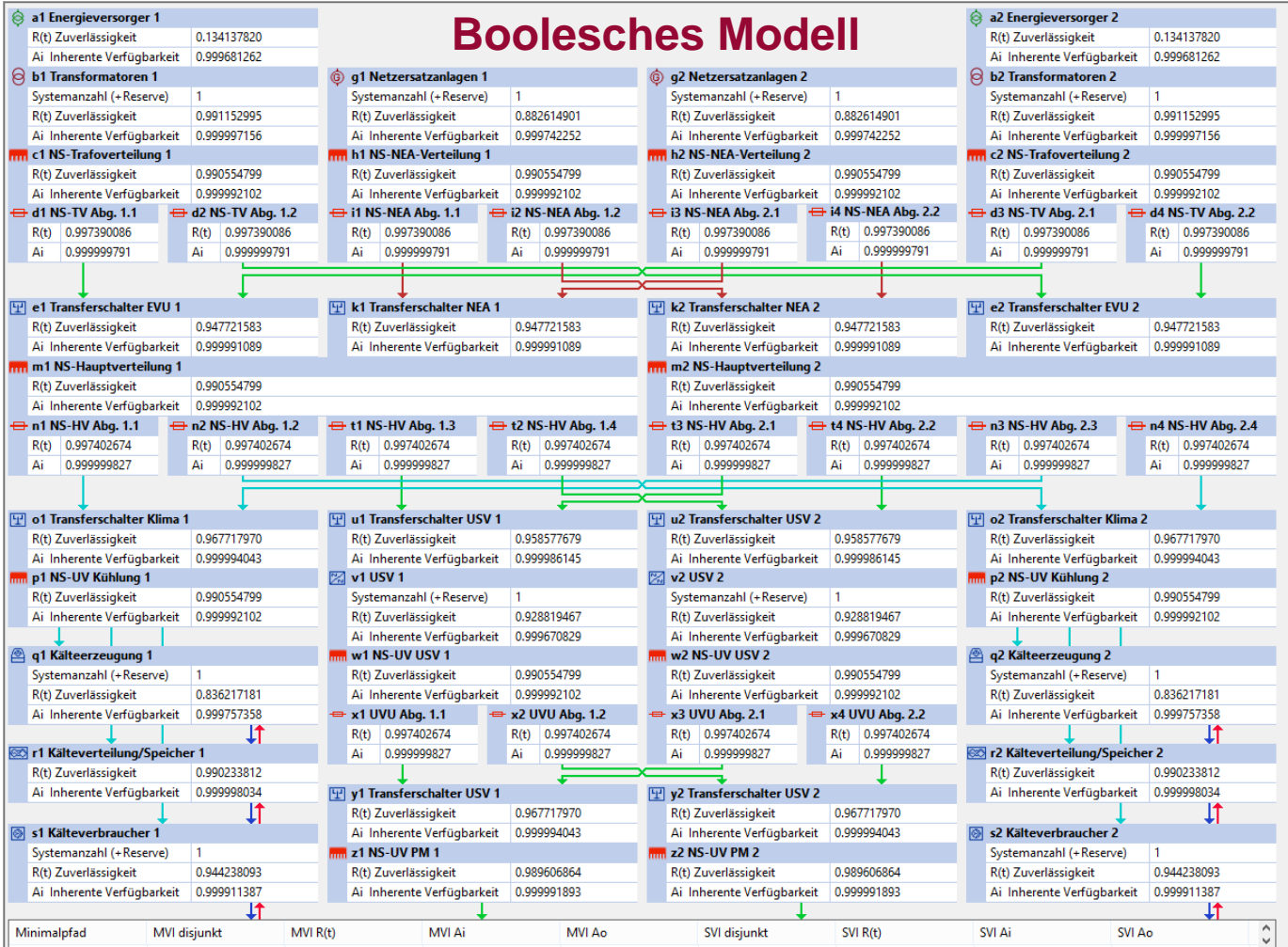
Details unter www.infraopt.de



Integrales Zuverlässigkeitsschema



Boolesches Modell



q1 Kälteerzeugung 1

Typ	Quelle	R(t)	Ai	Ao	MTBF	MTTR	MTBM	MDT	Länge /m	Betrieb /h	Anz. n(+m)
Leistungsschalter; 600 V; Einschub...	IEEE Std 493-2007 gold Book (69)	0.994461784	0.999999894	0.999954308	4732057.80...	0.500000	32411.0000	1.481000		26280	1
Kabel; überirdisch; kein Rohr; ≤ 60...	IEEE Std 493-2007 gold Book (20)	0.999940860	0.999999994	0.999999984	72896904.0...	2.500000	816772.0000	0.078000	50.0	26280	1
Kabelverbindung	IEEE Std 493-2007 gold Book (29)	0.997777624	0.999999937	0.999999937	23624073.0...	0.750000	23624073.0...	0.750000		26280	2
Kühler; Kolbenverdichter; geschlos...	IEEE Std 493-2007 gold Book (56)	0.681336910	0.999809501	0.998736758	68491.3000	13.050000	1314.0000	1.662000		26280	1
Steuereinheit; für Kompressoren, K...	IEEE Std 493-2007 gold Book (129)	0.999546428	1.000000000	0.999982208	57926964.7...	0.000000	58733.0000	1.045000		26280	1
Schaltanlage; isolierte Sammelschi...	IEEE Std 493-2007 gold Book (195)	0.988716986	0.999996546	0.999696325	2316000.00...	8.000000	2548.0000	0.774000		26280	1
Filtersieb; Kühlmittel	IEEE Std 493-2007 gold Book (177)	0.996588939	1.000000000	0.999333914	7691200.00...	0.000000	2444.0000	1.629000		26280	1
Ventil; Geradsitzventil, normal geö...	IEEE Std 493-2007 gold Book (228)	0.999711392	1.000000000	0.999999612	91044470.6...	0.000000	1031837.00...	0.400000		26280	1
Ventil; Geradsitzventil, normal geö...	IEEE Std 493-2007 gold Book (228)	0.999711392	1.000000000	0.999999612	91044470.6...	0.000000	1031837.00...	0.400000		26280	1
Ventil; Geradsitzventil, normal geö...	IEEE Std 493-2007 gold Book (228)	0.999711392	1.000000000	0.999999612	91044470.6...	0.000000	1031837.00...	0.400000		26280	1
Ventil; Geradsitzventil, normal geö...	IEEE Std 493-2007 gold Book (228)	0.999711392	1.000000000	0.999999612	91044470.6...	0.000000	1031837.00...	0.400000		26280	1
Überdruckventil	IEEE Std 493-2007 gold Book (235)	0.996018730	0.999999696	0.999994751	6587760.00...	2.000000	36196.0000	0.190000		26280	1
Tank; Wasser	IEEE Std 493-2007 gold Book (199)	0.989171120	0.999999793	0.999989526	2413680.00...	0.500000	12221.0000	0.128000		26280	1
Pumpe; zentrifugal; integrierter An...	IEEE Std 493-2007 gold Book (163)	0.977713987	0.999993654	0.999897372	1166025.60...	7.400000	5836.0000	0.599000		26280	1
Ventil; 3-Wege; Mischungsregelung	IEEE Std 493-2007 gold Book (237)	0.998713181	1.000000000	0.999980695	20409317.6...	0.000000	52836.0000	1.020000		26280	1
Ventilantrieb; elektrisch	IEEE Std 493-2007 gold Book (229)	0.970767486	0.999979206	0.999934106	885794.0000	18.420000	21245.0000	1.400000		26280	1
Wärmetauscher; Wasser zu Wasser	IEEE Std 493-2007 gold Book (124)	0.988434959	1.000000000	0.999862264	2259200.00...	0.000000	392.0000	0.054000		26280	1
Ventil; 3-Wege; Mischungsregelung	IEEE Std 493-2007 gold Book (237)	0.998713181	1.000000000	0.999980695	20409317.6...	0.000000	52836.0000	1.020000		26280	1
Ventilantrieb; elektrisch	IEEE Std 493-2007 gold Book (229)	0.970767486	0.999979206	0.999934106	885794.0000	18.420000	21245.0000	1.400000		26280	1
Pumpe; zentrifugal; integrierter An...	IEEE Std 493-2007 gold Book (163)	0.977713987	0.999993654	0.999897372	1166025.60...	7.400000	5836.0000	0.599000		26280	1
Verrohrung; Wasser; > 10,16 ≤ 20,3...	IEEE Std 493-2007 gold Book (156)	0.994321376	1.000000000	1.000000000	4614729.40...	0.000000	0.0000	0.000000		26280	1
Filtersieb; Wasser; > 10,16 cm	IEEE Std 493-2007 gold Book (176)	0.997245736	1.000000000	0.999506093	9528423.50...	0.000000	6411.0000	3.168000		26280	1
Ventil; Geradsitzventil, normal geö...	IEEE Std 493-2007 gold Book (228)	0.999711392	1.000000000	0.999999612	91044470.6...	0.000000	1031837.00...	0.400000		26280	1
Ventil; Geradsitzventil, normal geö...	IEEE Std 493-2007 gold Book (228)	0.999711392	1.000000000	0.999999612	91044470.6...	0.000000	1031837.00...	0.400000		26280	1
Ventil; Geradsitzventil, normal geö...	IEEE Std 493-2007 gold Book (228)	0.999711392	1.000000000	0.999999612	91044470.6...	0.000000	1031837.00...	0.400000		26280	1
Ventil; Geradsitzventil, normal geö...	IEEE Std 493-2007 gold Book (228)	0.999711392	1.000000000	0.999999612	91044470.6...	0.000000	1031837.00...	0.400000		26280	1

Komponentendaten

Komponente

Hinzufügen Ändern aufwärts

Entfernen Duplizieren abwärts

Leeren Vorhandenes System kopieren

Verlässlichkeit Einzelsystem

Zuverlässigkeit R(t):

Verfügbarkeit inhärent Ai:

Verfügbarkeit operativ Ao:

Redundanzkonfiguration

Teilsystemzahl n(+m):

Ersatzsystem vorhanden:

Identische Systeme gesamt:

Verlässlichkeit des Systems

Zuverlässigkeit R(t):

Verfügbarkeit inhärent Ai:

Verfügbarkeit operativ Ao:

Systemfunktion

Normalbetrieb

abgeschaltet und inaktiv

entfernt und überbrückt

Boolesches Modell

2 (P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 P9 P10 P11 P12 P13 P14 P15 P16 P17 P18 P19 P20 P21 P22 P23 P24 P25 P26)^1 - 1 (P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 P9 P10 P11 P12 P13 P14

Manuelle Dateneingabe:

Übernehmen Abbrechen



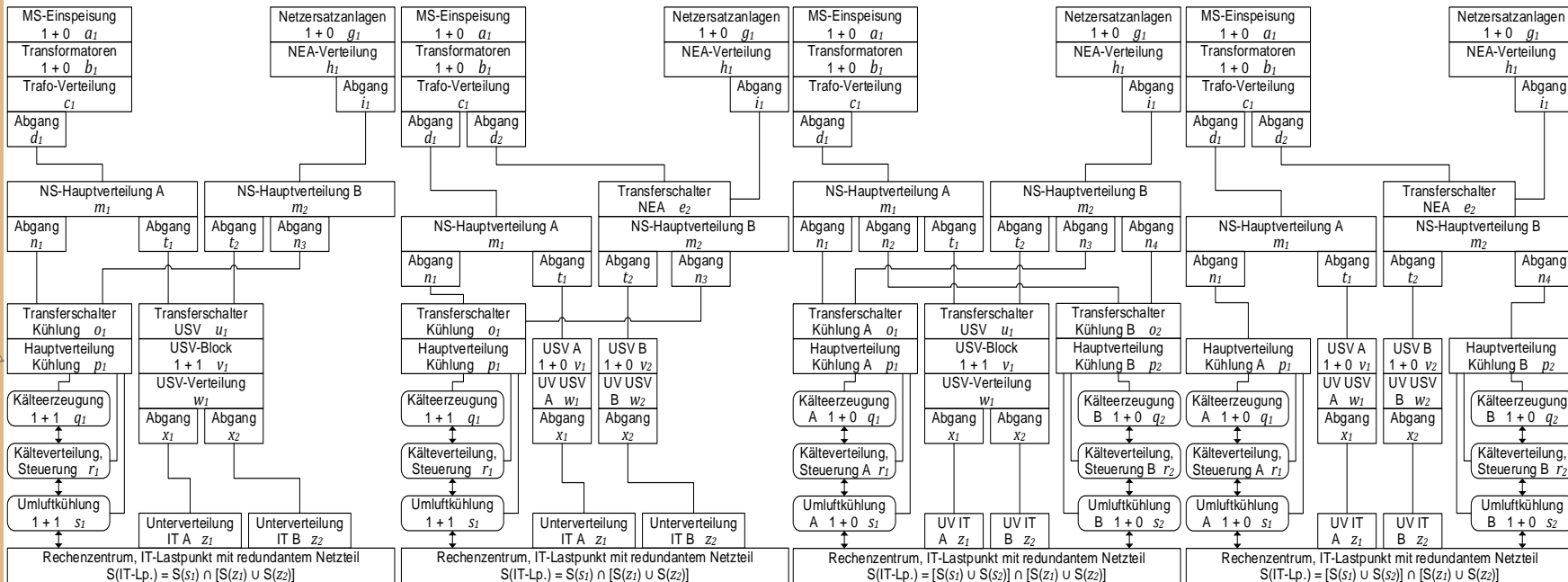
Beispiel: Risikoanalyse von Designvarianten

Design 1: N_{E+1}, N_{C+1}

Design 2: $2N_E, N_{C+1}$

Design 3: $N_{E+1}, 2N_C$

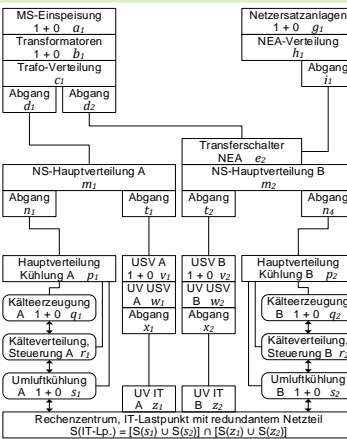
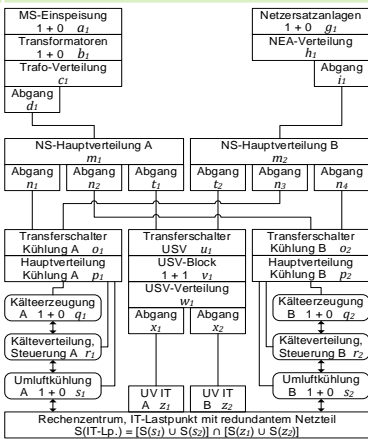
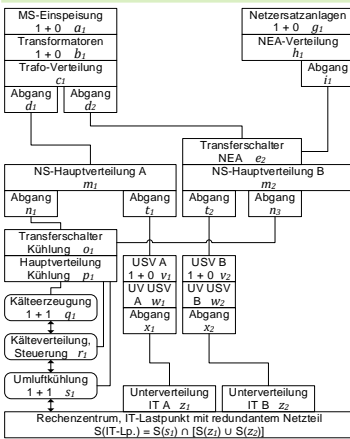
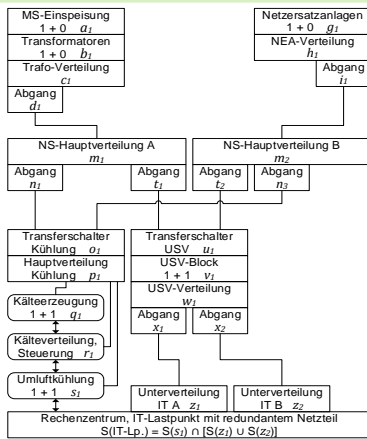
Design 4: $2N_E, 2N_C$

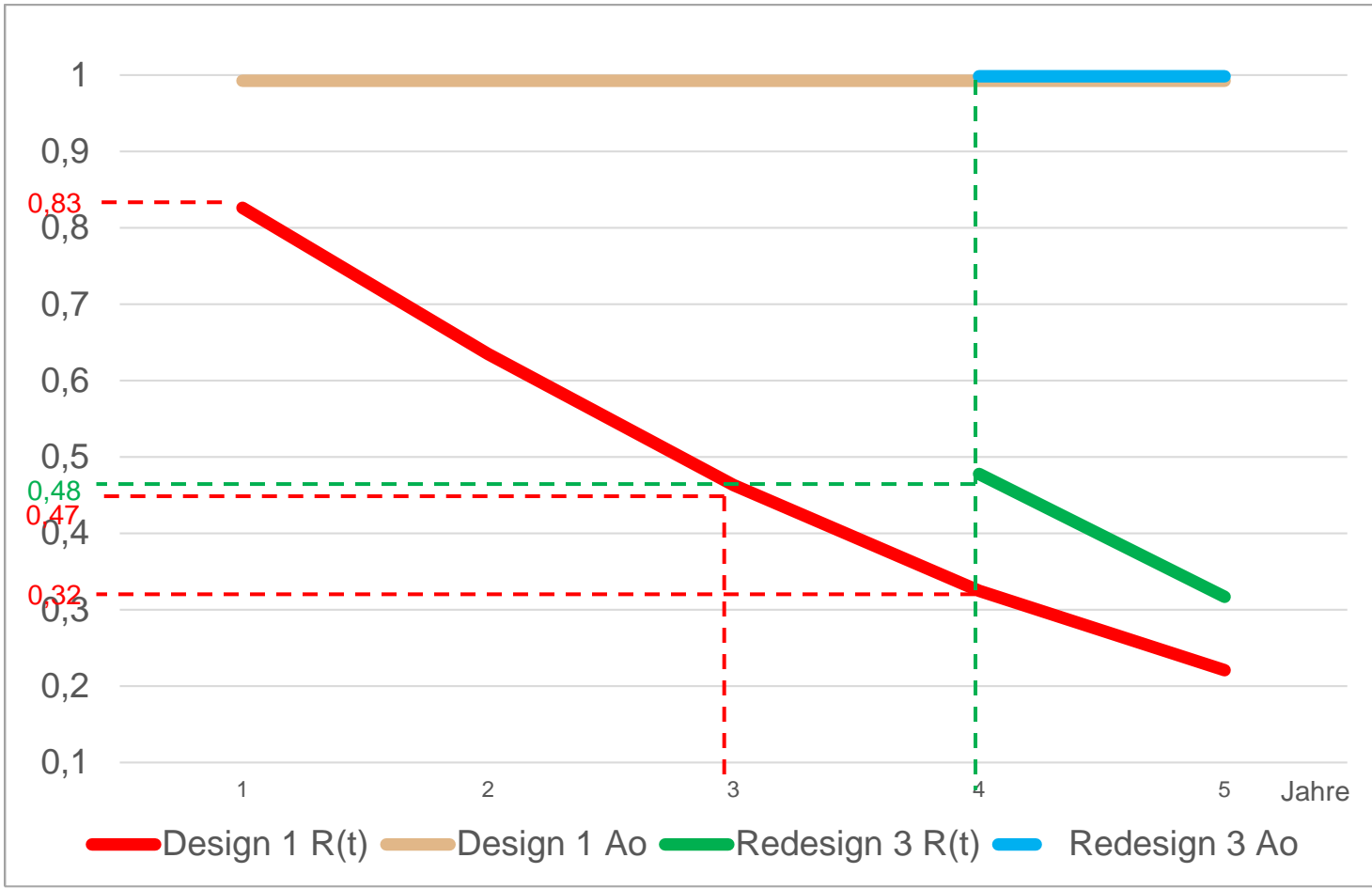


InfraOpt®



Variante	1: N_E+1 & N_C+1	2: $2N_E$ & N_C+1	3: N_E+1 & $2N_C$	4: $2N_E$ & $2N_C$
N	25	28	32	31
R(t=1a)	0,82629	0,83016	0,83733	0,80050
A_i	0,99996	0,99998	0,99998	0,99999
A_o	0,99261	0,99392	0,99854	0,99982
SPoF	5 von 25	3 von 28	2 von 32	0 von 31
DPoF	146 von 300	165 von 378	120 von 496	139 von 465





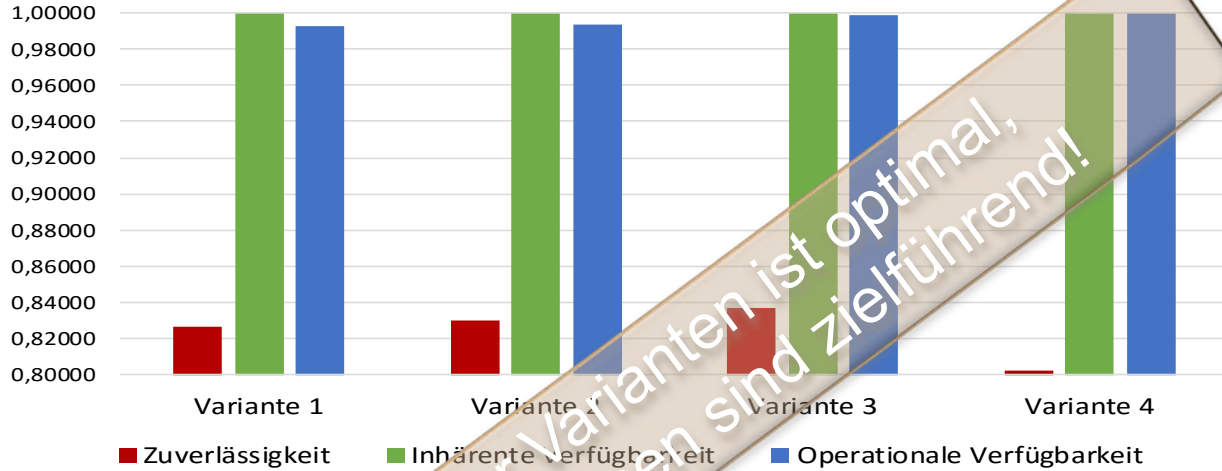
Zuverlässigkeit vs. Verfügbarkeit

Ergebnisinterpretation

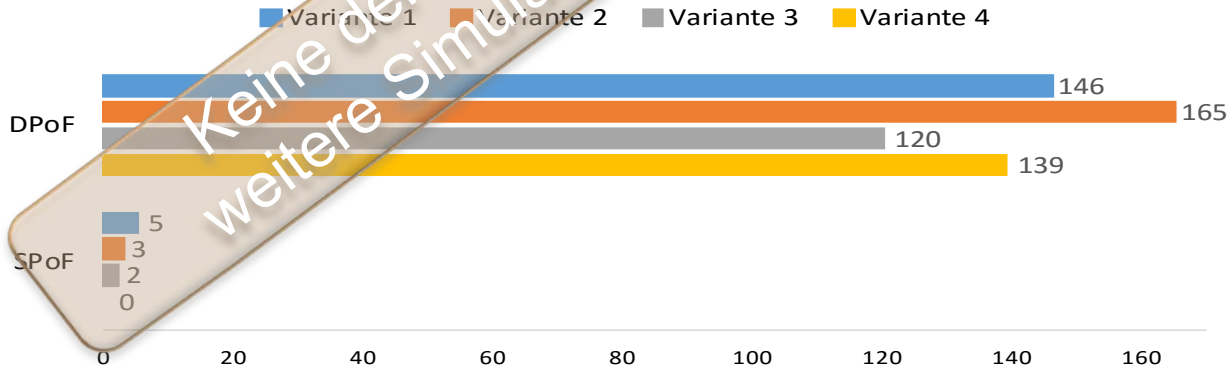
- Mit zunehmendem Betriebsalter sinkt die Zuverlässigkeit (und steigt die Fehleranfälligkeit) einer DCI. Das gilt auch bei konstanten Ausfallraten.
- Mehr Fehleranfälligkeit bedeutet, dass mit dem Betriebsalter auch der Betriebsaufwand der DCI steigt.
- Die Verfügbarkeit spiegelt nicht zwangsläufig die Anzahl „auftretender Probleme“ wieder, denn nicht jedes Fehlerereignis zieht einen Gesamtausfall nach sich (dank Betreiber/inhärenter Redundanzen).
- Komponentenauswahl und DCI-Design bestimmen nicht nur die Ausfallsicherheit sondern auch den Betriebsaufwand.
- Maximierung der Ausfallsicherheit bedeutet, an den „richtigen Stellen“ zu investieren. Dabei unterstützen geeignete Kennzahlen.



Verfügbarkeitsanalyse



Fehleranalyse



Keine der vier Varianten ist optimal, weitere Simulationen sind zielführend!

Welchen **Nutzen** hat die **numerische Analyse** von DCI-Designs?

Bewertung von Risiken und Schwachstellen, Ressourceneinsparung durch Optimierung, **Managementunterstützung**.

Welche **Designs** kann man **optimieren**?

Beliebige **bestehende** bzw. **neue Designs** können mittels Kennzahlen verglichen und optimiert werden.

Wie verändert sich das **Ausfallrisiko** durch **Alterung**, wann ist zu **reinvestieren**?

Analysen sind für **gegenwärtige** und **zukünftige Zeitpunkte** möglich, wie auch zur **Investitionsplanung**.

Welchen **Wert** hat die **Untersuchung** der **Double Points of Failure (DPoF)**?

Für **Vorhersagen** in Wartungs- oder

Havariesituationen ist es durch Analyse der SPoF und DPoF möglich, die resultierende Ausfallsicherheit zu bestimmen.

Sind **vertraglich fixierte Service-Level-Agreements (SLA's)** plausibel?

SLA's können durch Gegenüberstellung der Inhärenten und Operationalen Verfügbarkeit validiert werden.

Ist eine **sehr komplexe** oder **möglichst einfache DCI** besser?

Durch **Vergleich** der Ausfallsicherheits-**Kennzahlen** kann dies im konkreten Fall ermittelt und belegt werden.

Wie sieht die „**optimale**“ **Infrastruktur** aus?

Elektroenergie- und Kälteversorgung sind gleichermaßen ausfallsicher! Zum Nachweis sind Kennzahlen unabdingbar.



Dipl.-Ing. Uwe Müller
Geschäftsführender Gesellschafter

ibmu.de Ingenieurgesellschaft für technische Beratung, Medien und Systeme mbH
Puschkinstraße 23 · 14943 Luckenwalde · Germany

www.ibmu.de · um@ibmu.de · fon +49 3371 6433-30 · mo +49 172 836 8939

Amtsgericht Potsdam HRB 21281 · USt-ID DE260284399

InfraOpt® ist eine eingetragene Marke der ibmu.de® GmbH

InfraOpt®

Präventives Risikomanagement für
ausfallsichere Data Center Infrastrukturen.

Ich freue mich auf Ihre Fragen.

