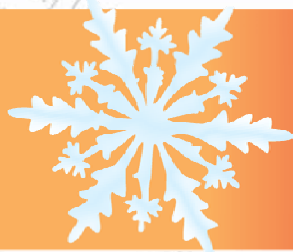
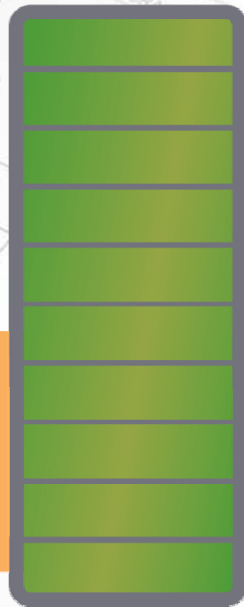


Verlässlichkeitsanalyse: Methodik zur Optimierung von Rechenzentrums-Infrastrukturen

Dipl.-Ing. Uwe Müller

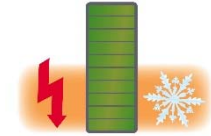
ibmu.de[®] Ingenieurgesellschaft für technische
Beratung, Medien und Systeme mbH



InfraOpt[®]

1.1 DCC Zürich 2015 – Verlässlichkeitsanalyse im RZ

Einige Fragestellungen aus der Praxis



- Welche **Verfügbarkeit** und welche **Zuverlässigkeit** gewährleistet meine Infrastruktur zum Stand?
- Sind meine **Wartungs-** und **Servicepläne** (SLA) hinreichend?
- Wann, in welche Teilsysteme und wieviel muss ich **investieren**?
- Welche **Verbesserung** wird in Folge der Investition erreicht?
- Kann ich mich auf das RZ während einer **Umbaumaßnahme** verlassen?
- Sollte ich **neu bauen** oder eine **Containerlösung** erwägen?
- Wie ist fortlaufende **Zuverlässigkeitsbewertung** im Rahmen eines Informations-Managementsystems nach DIN ISO 27000 ff. zu realisieren?
- **Wie begründe ich die Notwendigkeit von Investitionen?**
- Was schreiben die **Richtlinien** und **Normen**?

1.2 Richtlinien und Normen

Tier Klassifikation - Uptime Institute

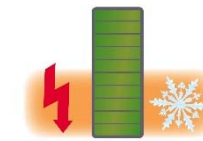


Uptime Institute	Tier I	Tier II	Tier III	Tier IV
Single Points-of-Failure	Many+ Human Error	Many+ Human Error	Some+ Human Error	Fire, EPO+Some Human Error
Representative Planned Maintenance Shut Downs	2 Annual Events at 12 Hours Each	2 Events Over 2 Years at 12 Hours Each	None Required	None Required
Representative Site Failures	6 failures Over 5 Years	1 Failure Every Year	1 Failure Every 2.5 Years	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

Quelle (Auszug): Uptime Institute, 2008, White Paper, „Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance“, Page 14

1.3 Richtlinien und Normen

BSI Verfügbarkeitsklassen, BITKOM Kategorien



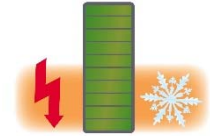
BSI	VK 0	VK 1	VK 2	VK 3	VK 4	VK 5
Ausfallzeit /Jahr	ca. 2-3 Wo.	< 90 Std.	< 9 Std.	< 1 Std.	ca. 5 min.	-
Anforderung an Verfügbarkeit	Keine	normal	hoch	sehr hoch	höchste	Desaster-tolerant
Verfügbarkeit	ca. 95 %	> 98,97 %	> 99,90 %	> 99,99 %	> 99,999 %	(100 %)

BITKOM	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C	Kategorie D
Zul. Ausfallzeit /Jahr	12 h	1 h	10 min.	< 1 min
Verteilung	USV/Normal empfohlen	Redundanz A und B	Redundanz A und B	Redundanz A und B
USV	mind. 10 min	mind. 10 min N+1	mind. 10 min 2 N	mind. 10 min 2 (N+1)
Notstrom	optional	Anlauf 15 s 24 h Brennstoff	Anlauf 15 s 72 h Brennstoff	Anlauf 15 s 72 h Betankung
Klimatisierung	Redundanz opt. bzw. notwendig	Redundanz notwendig	Redundanz notwendig	Komplette Redundanz
➔ Verfügbarkeit	99,86 %	99,99 %	99,998 %	99,9998 %

Quelle (Auszug): BITKOM e. V., Betriebssicheres RZ, Leitfaden 2013

1.4 Richtlinien und Normen

DIN EN 50600 ff.



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	
Notstrom (NEA)	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	
DIN EN 50600-2-3 Überwachung der Umgebung	-	keine Ausfallsicherheit	Komponenten Redundanz	Instandsetzung im laufenden Betrieb	
Versorgungspfade	-	Einer N	Einer N+1	Einer N+1	Mehrere 2N

Quelle (Auszug): DIN EN 50600-1 2013, DIN EN 50600-2-2 2014, DIN EN 50600-2-3

1.5 InfraOpt[®]

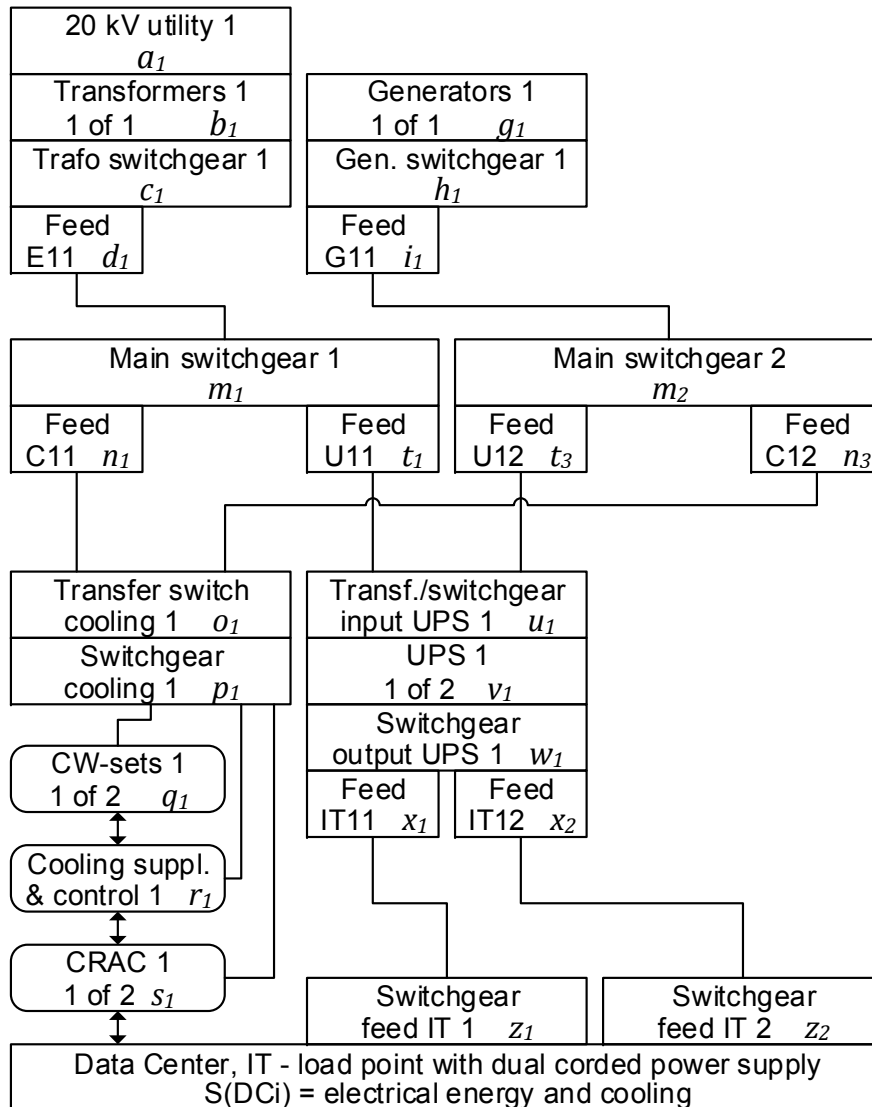
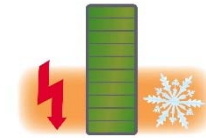
Forschungs- und Entwicklungsvorhaben



- August 2009 – Dezember 2011: FuE-Vorhaben **InfraOpt[®]**
 - FuE-Vorhaben für KMU, **Investitionsbank des Landes Brandenburg**
 - Externe Partner: **Technische Universität Berlin, Prof. Strunz**; Universität Potsdam, Prof. Schaub; Associate Prof. C. M. Welzig (USA)
 - Ergebnis: **Dienstleistungsprozess** basierend auf **Simulationssoftware InfraOpt64**
- Wissenschaftliche Veröffentlichungen
 - 2012 **IEEE PES ISG**, "Integrated Reliability Modeling for Data Center Infrastructures: A Case Study"
 - 2015 ...
- Juni 2014 – Mai 2016: FuE-Vorhaben **InfraOpt[®] REALTIME**
 - FuE-Vorhaben für KMU, **Investitionsbank des Landes Brandenburg**
 - Externe Partner: **Technische Universität Berlin, Prof. Strunz**; Associate Prof. C. M. Welzig (USA)

2.1 Praxisbeispiel – Aufgabenstellung

Analyse und Vergleich verschiedener RZ-Designvarianten



Vergleiche Varianten N+1 / 2N:

- 1) $N_E + 1$ Elektroenergieversorgung
 $N_C + 1$ Kälteversorgung
- 2) $2N_E$ Elektroenergieversorgung
 $N_C + 1$ Kälteversorgung
- 3) $N_E + 1$ Elektroenergieversorgung
 $2N_C$ Kälteversorgung

Verlässlichkeitsanalyse:

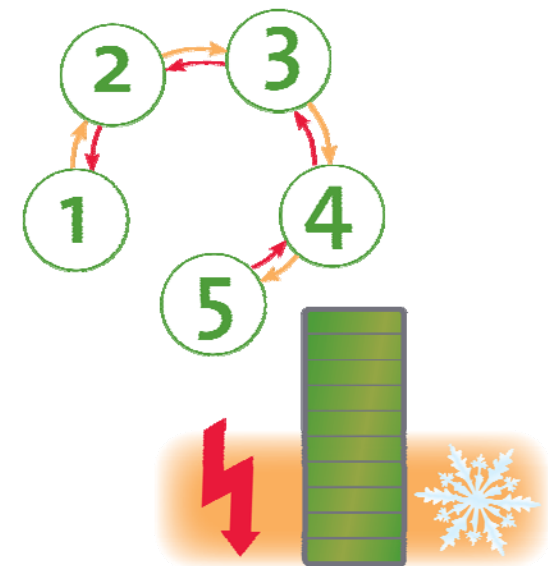
- Zuverlässigkeit $R(t)$
- Inhärente Verfügbarkeit A_i
- Operationale Verfügbarkeit A_o
- **1- und 2-Fehlertoleranz**

2.2 Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt®

Praxisbewährter Dienstleistungsprozess

Fünf Schritte zur Optimierungsvariante:

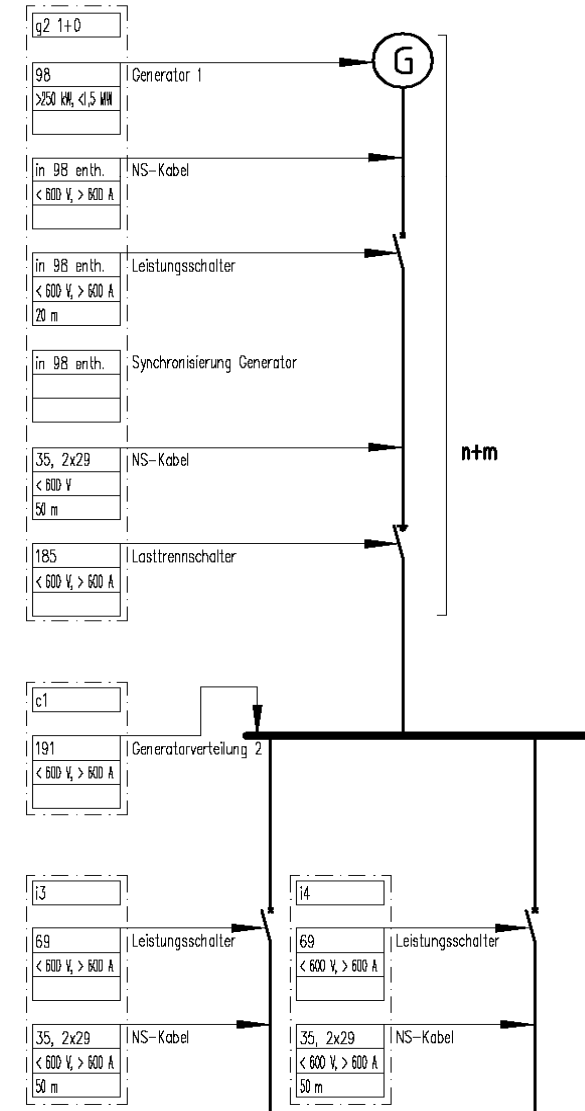
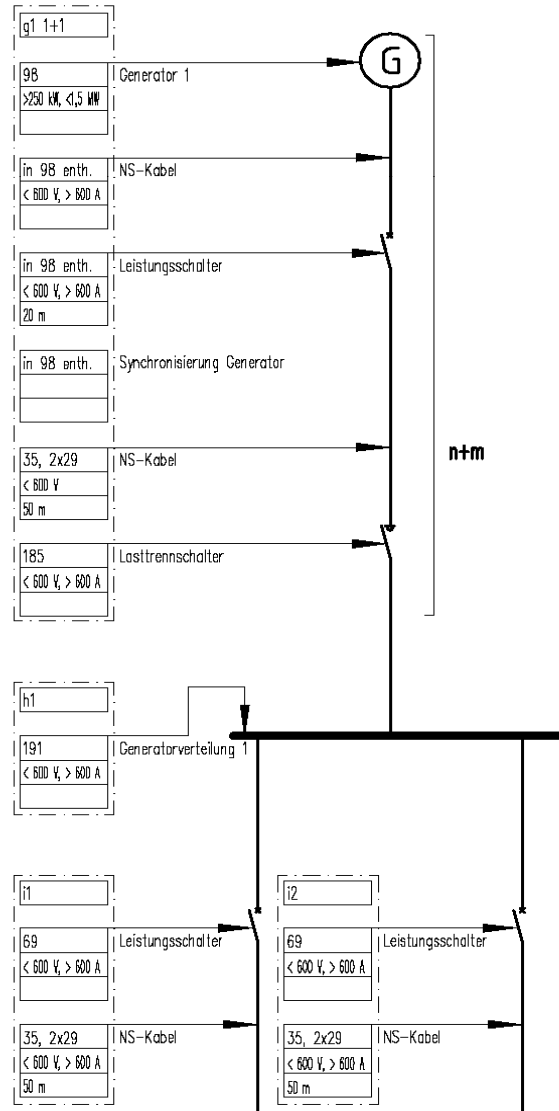
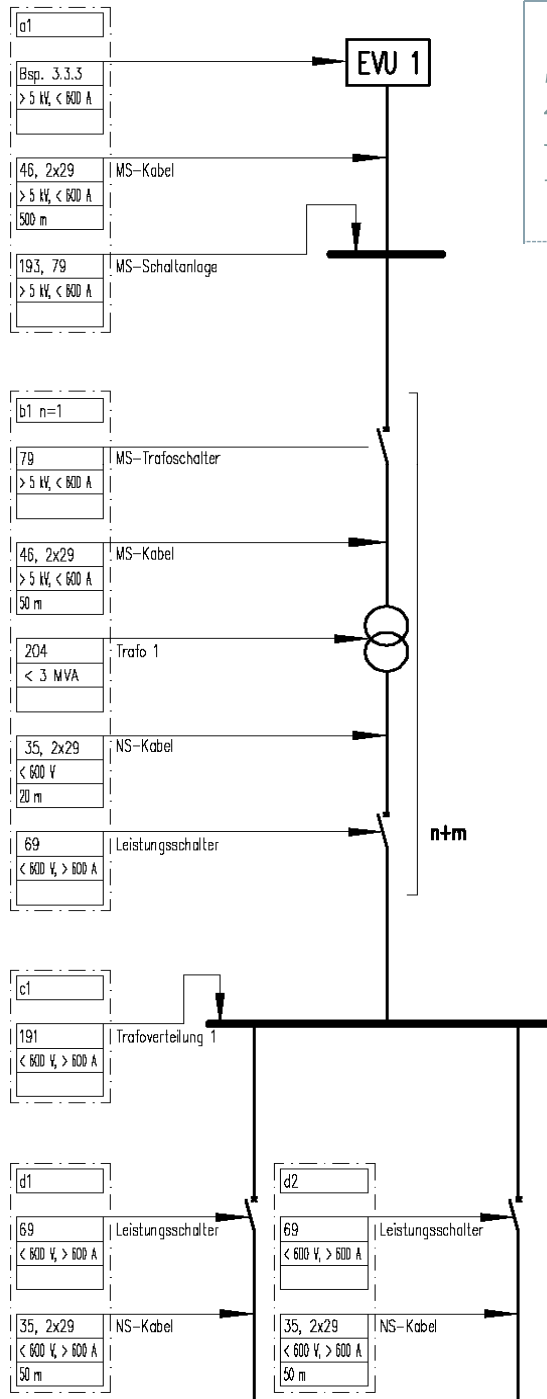
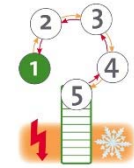
1. **Überführung** der Infrastruktur in ein integrales Zuverlässigkeitsschema
2. **Modellierung** der RZ-Infrastruktur in InfraOpt®
3. **Aufbereitung** der Zuverlässigkeitsdaten
4. **Berechnung** Zuverlässigkeit und Verfügbarkeiten
5. **1- und 2-Fehlersimulation** über alle Teilsysteme

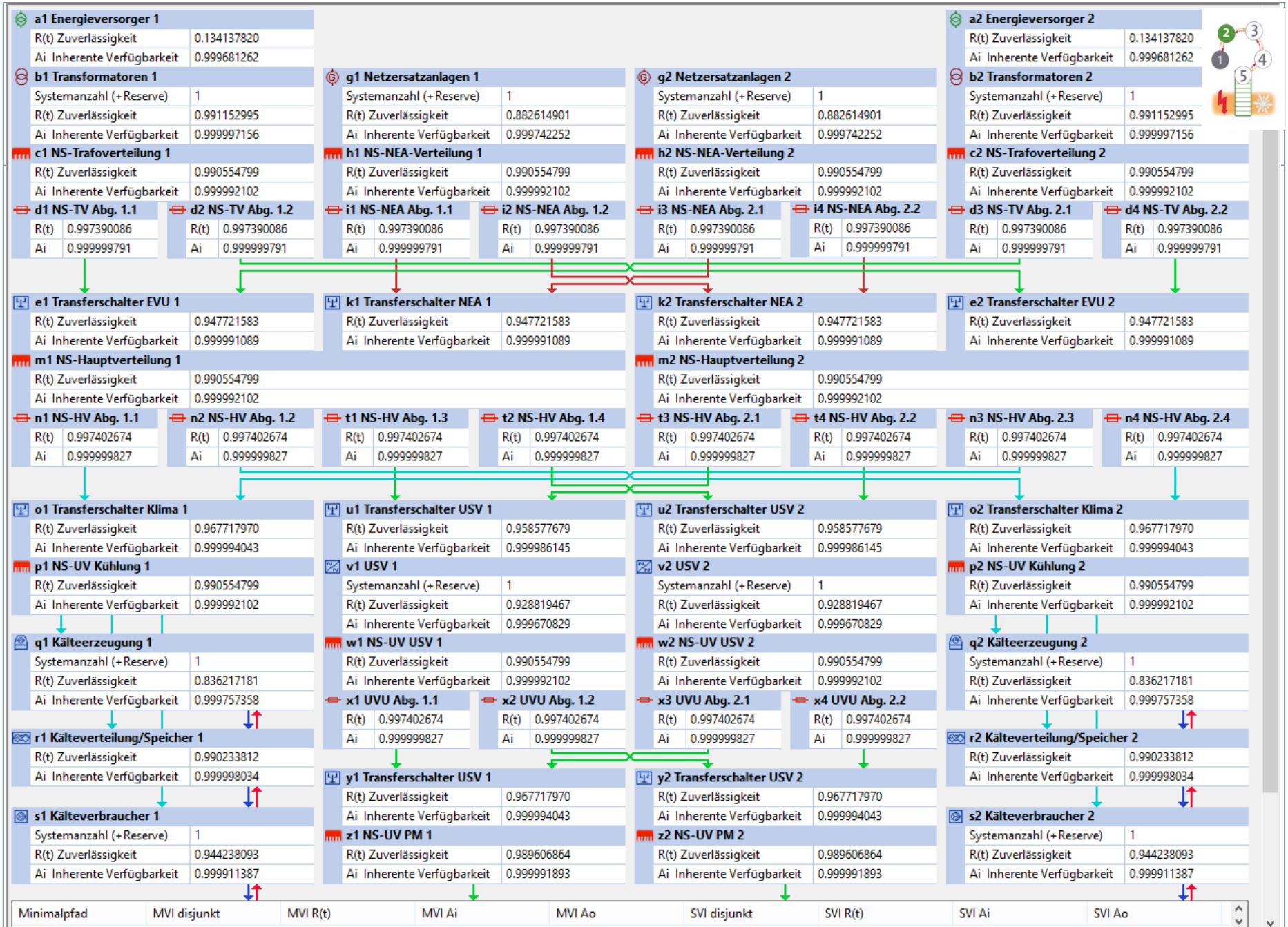


Ziel des Optimierungsprozesses:

Maximierung Verlässlichkeit ↔ **Minimierung Lebenszykluskosten**

2.3 Integrales RZ-Infrastruktur-Modell Elektroenergie- und Kälteversorgung





Minimalpfad MVI disjunkt MVI R(t) MVI Ai MVI Ao SVI disjunkt SVI R(t) SVI Ai SVI Ao

Verlässlichkeit des System - q1 Kälteerzeugung 1

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

Komponente

Hinzufügen Ändern aufwärts

Entfernen Duplizieren abwärts

Leeren Vorhandenes System kopieren

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

Verlässlichkeit Einzelsystem

Zuverlässigkeit R(t): 0.576365406

Verfügbarkeit inhärent Ai: 0.999751093

Verfügbarkeit operativ Ao: 0.996681613

Redundanzkonfiguration

Teilsystemzahl n(+m): 1+1

Ersatzsystem vorhanden:

Identische Systeme gesamt: 2

Verlässlichkeit des Systems

Zuverlässigkeit R(t): 0.820533731

Verfügbarkeit inhärent Ai: 0.999999938

Verfügbarkeit operativ Ao: 0.999988988

Manuelle Dateneingabe:

Systemfunktion

Normalbetrieb

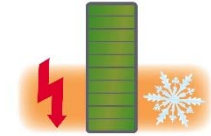
abgeschaltet und inaktiv

entfernt und überbrückt

Übernehmen Abbrechen

2.4 Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt®

Praktische Interpretation der berechneten Metriken



- **Zuverlässigkeit (Reliability):** $R(t) = e^{-1/MTBF * t}$ als Wahrscheinlichkeitsmaß
 - Strukturdesign (Tier, Kategorie), Redundanzen ($x*N$, $y*M$)
 - Komponenten (MTBF), Betriebsdauer etc.

➤ **Wann** und in **welche Teilsysteme** ist zu **investieren** (Alterung)
- **Inhärente Verfügbarkeit:** $A_i = MTBF / (MTBF + MTTR)$
 - MTBF: Mittlere Zeit zwischen zwei Fehlern
 - MTTR: Mittlere Zeit zur Reparatur

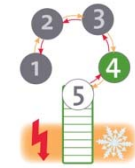
➤ **Welche Servicelevel** sind **notwendig**, was ist zu **bevorraten**
- **Operationale Verfügbarkeit:** $A_o = MTBM / (MTBM + MDT)$
 - MTBM: Mittlere Zeit zwischen zwei Instandsetzungen
 - MDT: Mittlere Zeit der Nichtverfügbarkeit

➤ **Funktionieren** die **Managementsysteme** (Qualifikation, Sicherheit)
- Simulation **1- und 2-Fehlerkombinationen** aller Teilsysteme, identifizieren der **Single Points of Failure (SPoF)** und **Double Points of Failure (DPoF)**

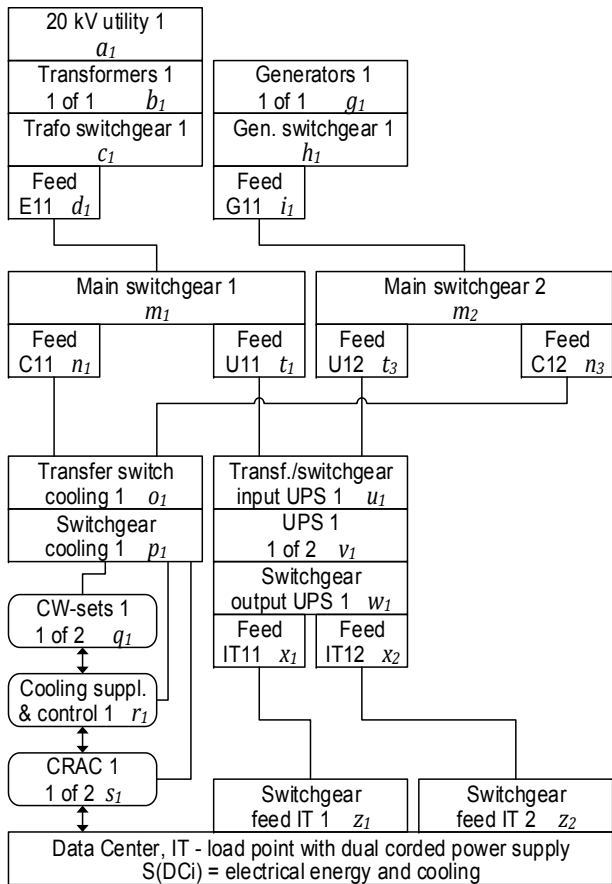
➤ **Vorhersage** der **Reaktion** auf **geplante** bzw. **nicht geplante Ereignissen**

3.1 Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt[®]

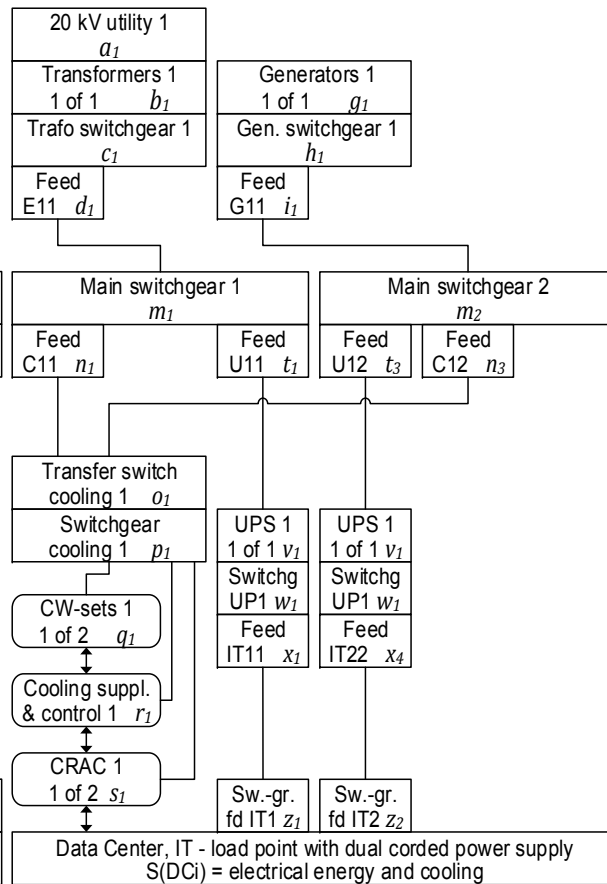
Variantenvergleich verschiedener Redundanzkonzepte



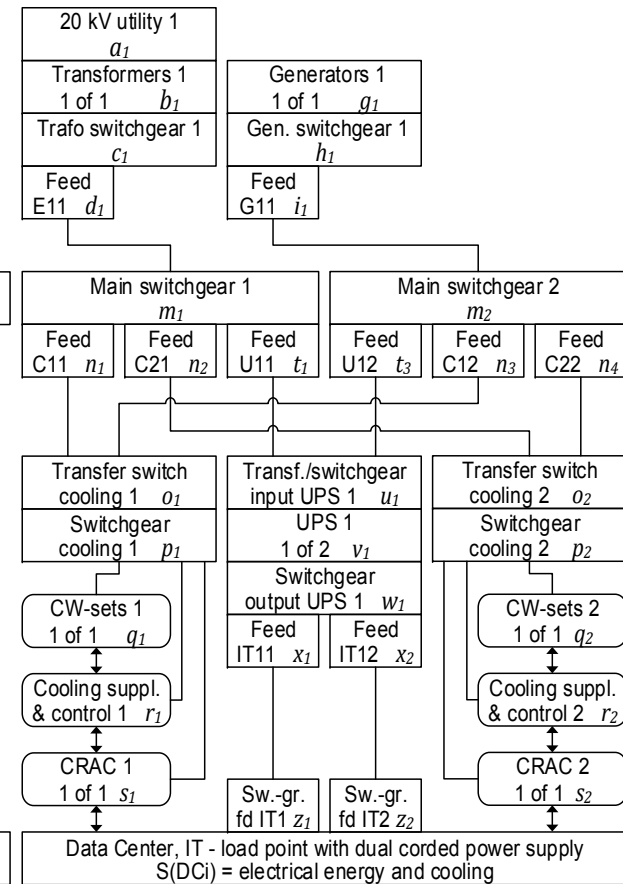
Design 1 (N_E+1, N_C+1)



Design 2 ($2N_E, N_C+1$)

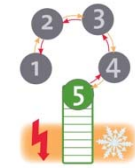


Design 3 ($N_E+1, 2N_C$)



Komponentendaten aus IEEE Std. 493-2007, Annex Q

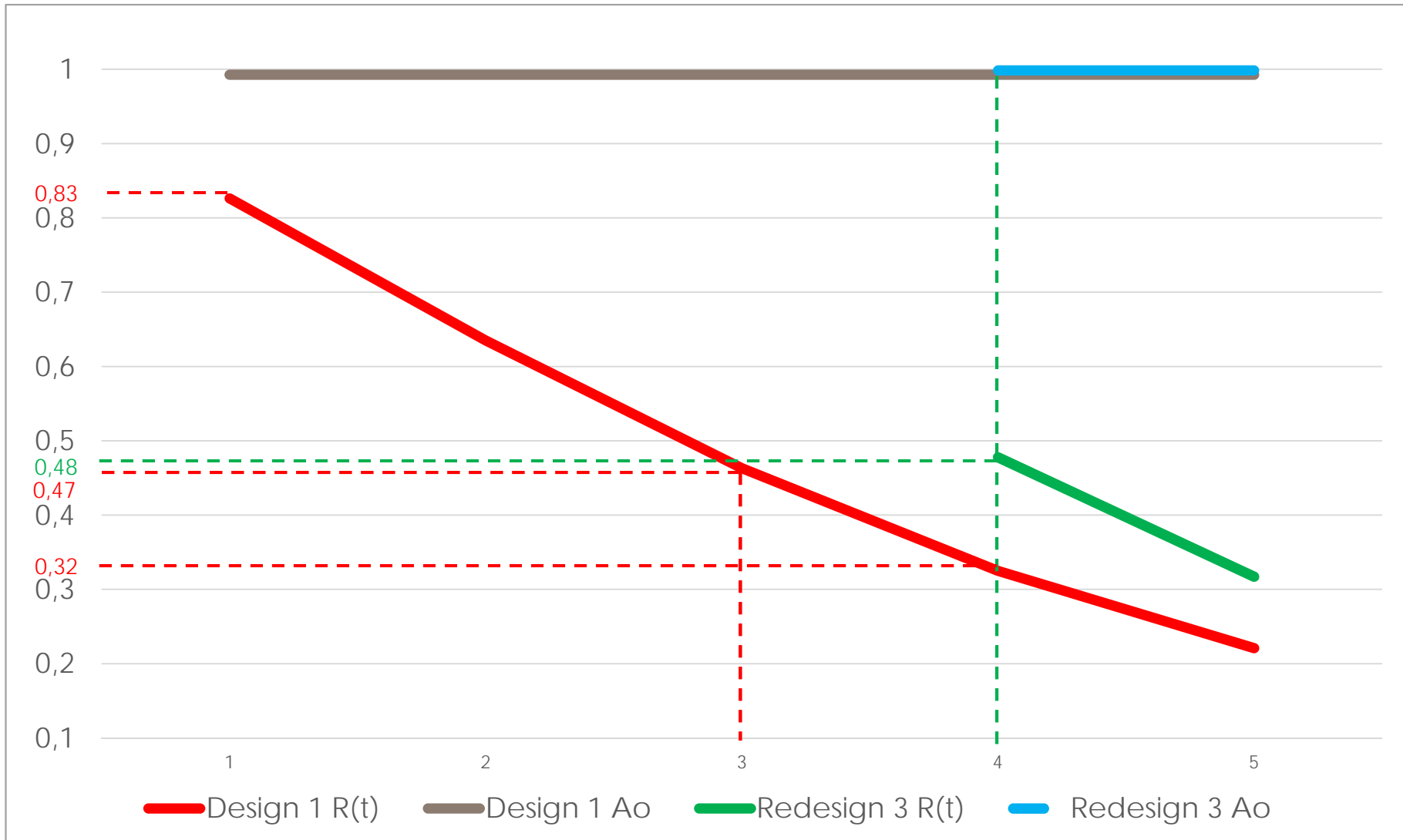
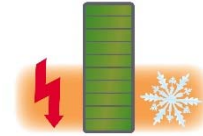
3.2 Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt® Metriken und Einteilungen zum Bewerten von Infrastrukturen



Variantenvergleich	Design 1	Design 2	Design 3
Anzahl Teilsysteme N	25 (N_E+1, N_C+1)	26 ($2N_E, N_C+1$)	32 ($N_E+1, 2N_C$)
Zuverlässigkeit R (1Jahr)	0,82629	0,83885	0,83733
Inhär. Verfügbarkeit A_i	0,99996	0,99998	0,99998
Oper. Verfügbarkeit A_o	0,99261	0,99392	0,99854
Single Points of Failure	5/25 (20 %)	3/26 (12 %)	2/32 (6 %)
Double Points of Failure	146/300 (49 %)	156/325 (48 %)	120/496 (24 %)
Einteilung nach A_o	99,261 %	99,392 %	99,854 %
Uptime Institute	Schlechter Tier 1	Schlechter Tier 1	Tier 3
BSI Verfügbarkeitsklasse	Schlechter VK 0	Schlechter VK 0	knapp VK 2
BITKOM Kategorie	Schlechter als A	Schlechter als A	Kategorie A
DIN EN 50600 ff.	k. A.	k. A.	k. A.
Einteilung nach DIN EN 50600 ff. Redundanz	VK 2	VK 3	VK 2

3.3 Zuverlässigkeit und Operationale Verfügbarkeit

Design 1: R(1...5 Jahre) Design 3: R(4...5 Jahre)

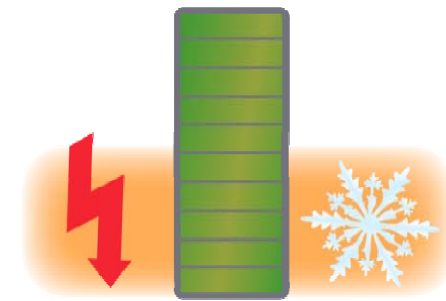


3.4 InfraOpt[®] – für Planer, Betreiber, Entscheider

Methodik zum tieferen Verständnis jeder Rechenzentrums-Infrastruktur

Reduktion der **Komplexität** der RZ-Infrastruktur - mittels geeigneter **Metriken**.

- Vergleich verschiedener **Tier-Designs** / **Kategorien** / **Verfügbarkeitsklassen**
- Vergleich **beliebiger Redundanzanordnungen** (2N, N+1, xN+yM)
- Vergleich von Komponenten mit **unterschiedlichen MTBF** bzw. **MTRR**
- Unterstützung beim Design / Redesign:
 - **Identifizieren** von **Schwachstellen** (strukturell, Komponenten)
 - **Investitionsbegründung** gegenüber dem Management auf der Grundlage von Metriken
 - Bestimmung des „herabgesetzten **Ausfallsicherungsgrades**“ nach DIN EN 50600-2-2 in **Schalt-** bzw. **Wartungssituationen**
 - Validierung von **Service-Level-Agreements**
 - Optimieren von **Wartungs-** und **Serviceplänen**
- Fortlaufende **Zuverlässigkeitsbewertung** eines Informations-Managementsystems nach DIN ISO 27000 ff.

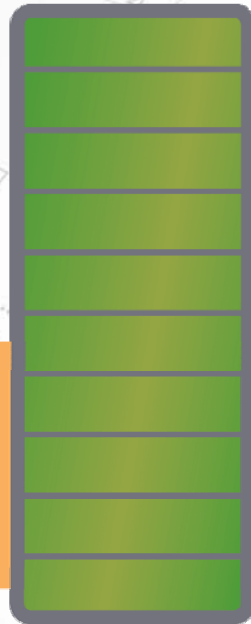


Der Analyse und Optimierung
Ihrer RZ-Infrastruktur sehe ich
mit Interesse entgegen.

Dipl.-Ing. Uwe Müller

Geschäftsführender Gesellschafter

ibmu.de[®] Ingenieurgesellschaft für
technische Beratung, Medien
und Systeme mbH



InfraOpt[®]