

# Verlässlichkeitsanalyse: Methodik zur Optimierung von Rechenzentrums-Infrastrukturen

Dipl.-Ing. Uwe Müller

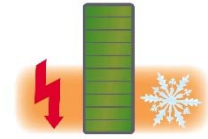
ibmu.de<sup>®</sup> Ingenieurgesellschaft für technische  
Beratung, Medien und Systeme mbH



**InfraOpt**<sup>®</sup>

# PowerBuilding und DataCenter Convention

Frankfurt/Main, am 07. Mai 2015



## 1. Verlässlichkeitsanalyse

- Fragestellungen aus der Praxis
- Richtlinien und Normen

## 2. Praxisbeispiel

- Aufgabenstellung und Dienstleistungsprozess InfraOpt<sup>®</sup>
- Praktische Interpretation: Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Fehlertoleranz

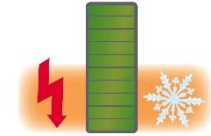
## 3. Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt<sup>®</sup>

- Variantenanalyse drei verschiedener Infrastrukturdesigns
- Ergebnisvergleich und Bewertung der Varianten
- Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit als Zeitfunktion

## 4. Anwendungsbereiche der Verlässlichkeitsanalyse

# 1.1 Verlässlichkeitsanalyse im Rechenzentrum

## 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

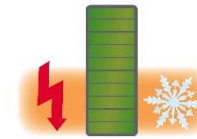


Uptime Institute	Tier I	Tier II	Tier III	Tier IV
Single Points-of-Failure	Many+ Human Error	Many+ Human Error	Some+ Human Error	Fire, EPO+Some Human Error
Representative Planned Maintenance Shut Downs	2 Annual Events at 12 Hours Each	2 Events Over 2 Years at 12 Hours Each	<b>None Required</b>	<b>None Required</b>
Representative Site Failures	6 failures Over 5 Years	1 Failure Every Year	<b>1 Failure Every 2.5 Years</b>	<b>1 Failure Every 5 Years</b>
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	<b>ca. 95 %</b>	<b>&gt; 98,97 %</b>	<b>&gt; 99,90 %</b>	<b>&gt; 99,99 %</b>	<b>&gt; 99,999 %</b>	<b>(100 %)</b>

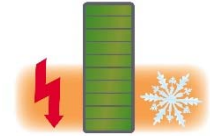
  

BITKOM	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C	Kategorie D
Zul. Ausfallzeit /Jahr	12 h	1 h	10 min.	< 1 min
Verteilung	USV/Normal empfohlen	Redundanz A und B	Redundanz A und B	Redundanz A und B
USV	mind. 10 min	mind. 10 min N+1	mind. 10 min 2 N	mind. 10 min 2 (N+1)
Notstrom	optional	Anlauf 15 s 24 h Brennstoff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

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 <b>N</b>	Einer <b>N+1</b>	Mehrere <b>2N</b>	Mehrere <b>2N</b>	
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 <b>N</b>	Einer <b>N+1</b>	Einer <b>N+1</b>	Mehrere <b>2N</b>

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

# 1.5 InfraOpt<sup>®</sup>

## Forschungs- und Entwicklungsvorhaben

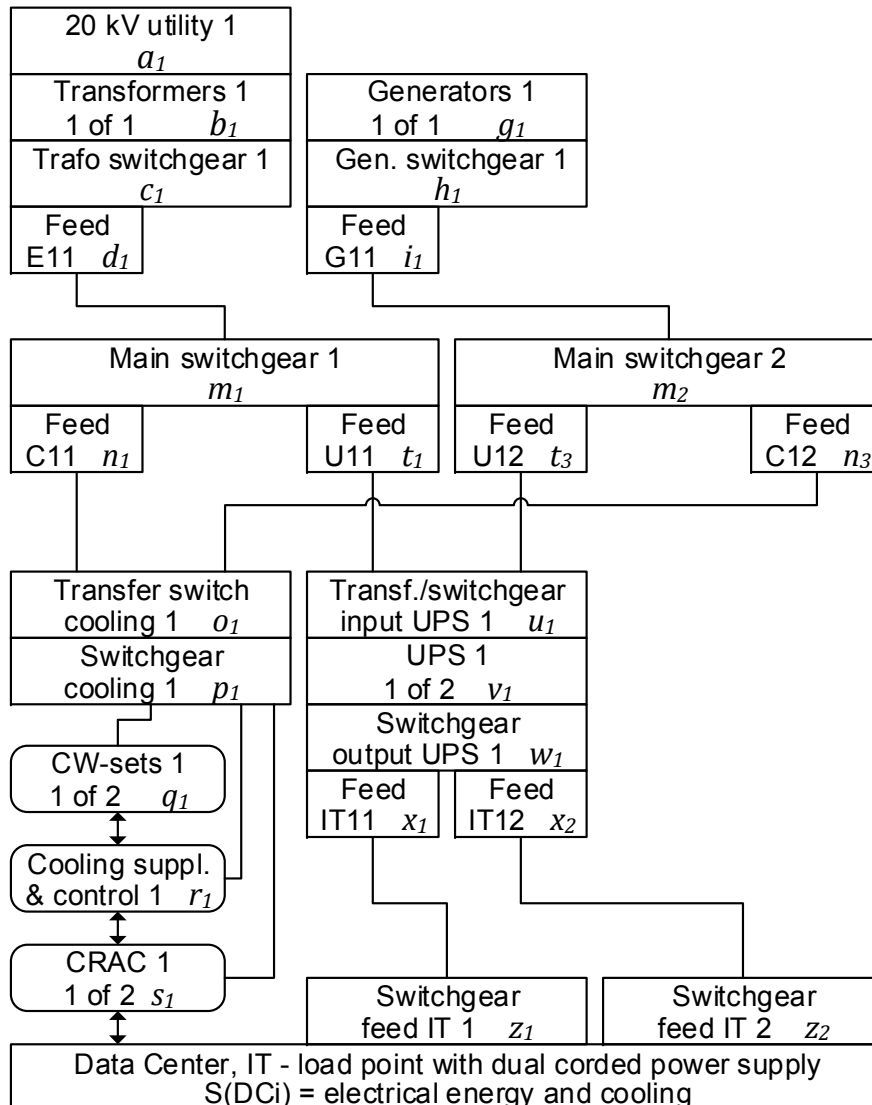
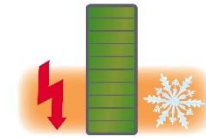


- August 2009 – Dezember 2011: FuE-Vorhaben **InfraOpt<sup>®</sup>**
  - FuE-Vorhaben für KMU, **Investitionsbank des Landes Brandenburg**
  - Externe Partner: **Technische Universität Berlin, Prof. Strunz**; Universität Potsdam, Prof. Schaub; Associate Prof. C. M. Welzig (USA)
  - Ergebnis: **Dienstleistungsprozess** 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<sup>®</sup> 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**

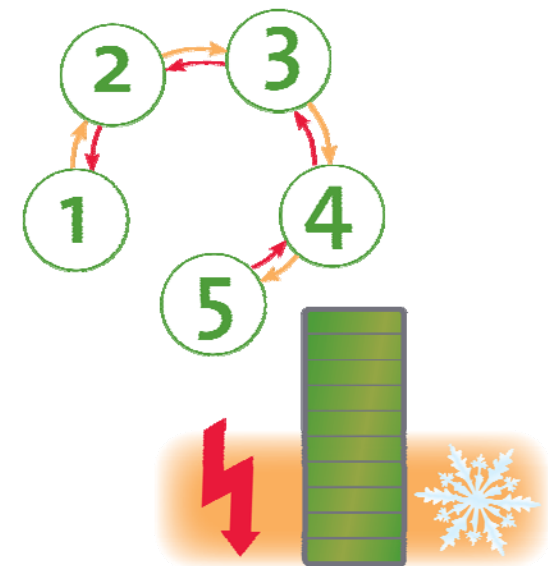


## 2.2 Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt®

Praxisbewährter Dienstleistungsprozess

**Fünf Schritte** zur Optimierungsvariante:

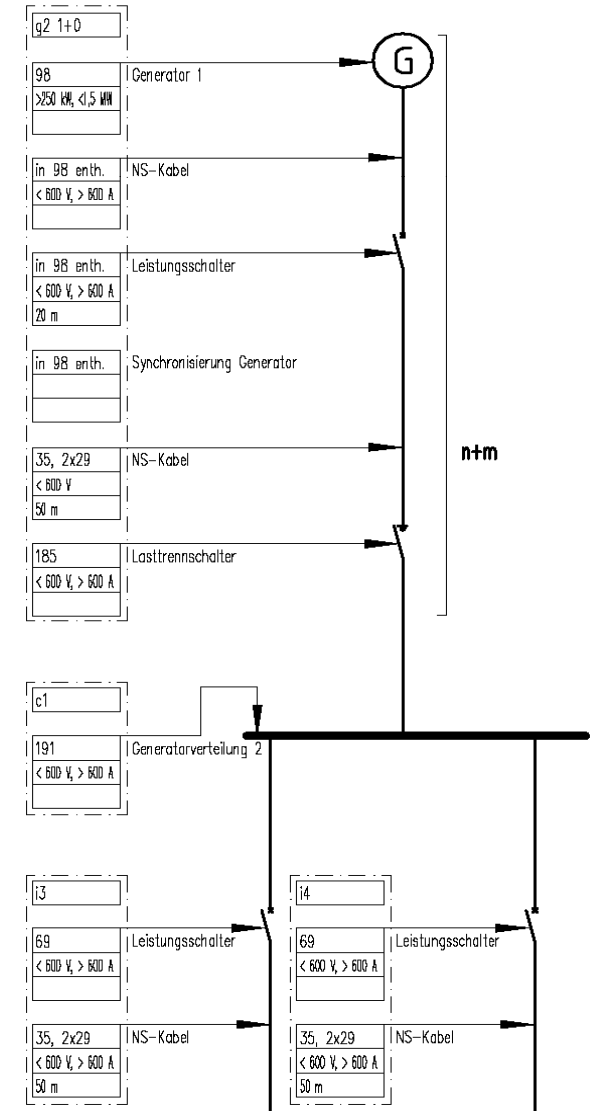
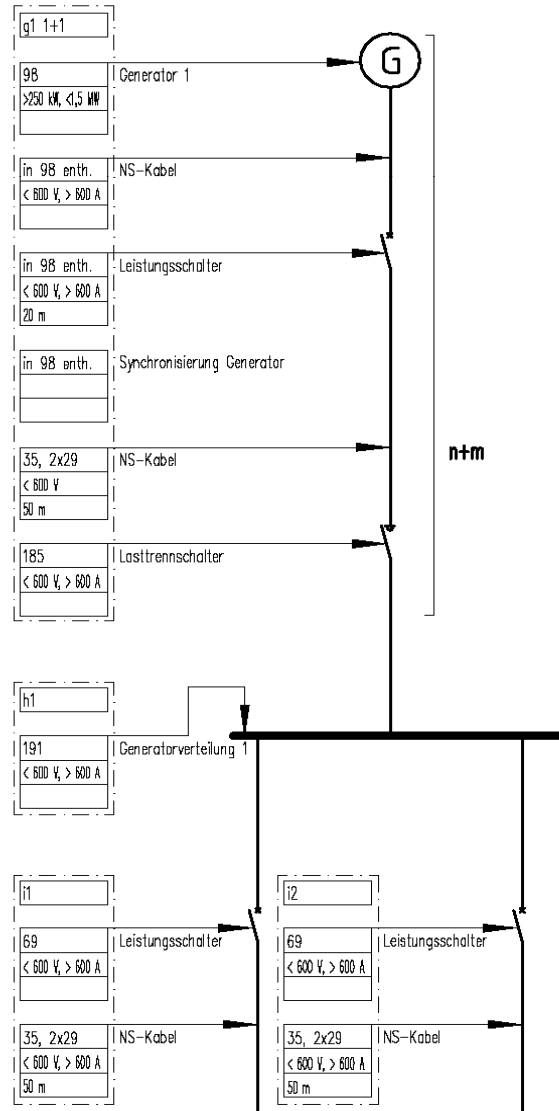
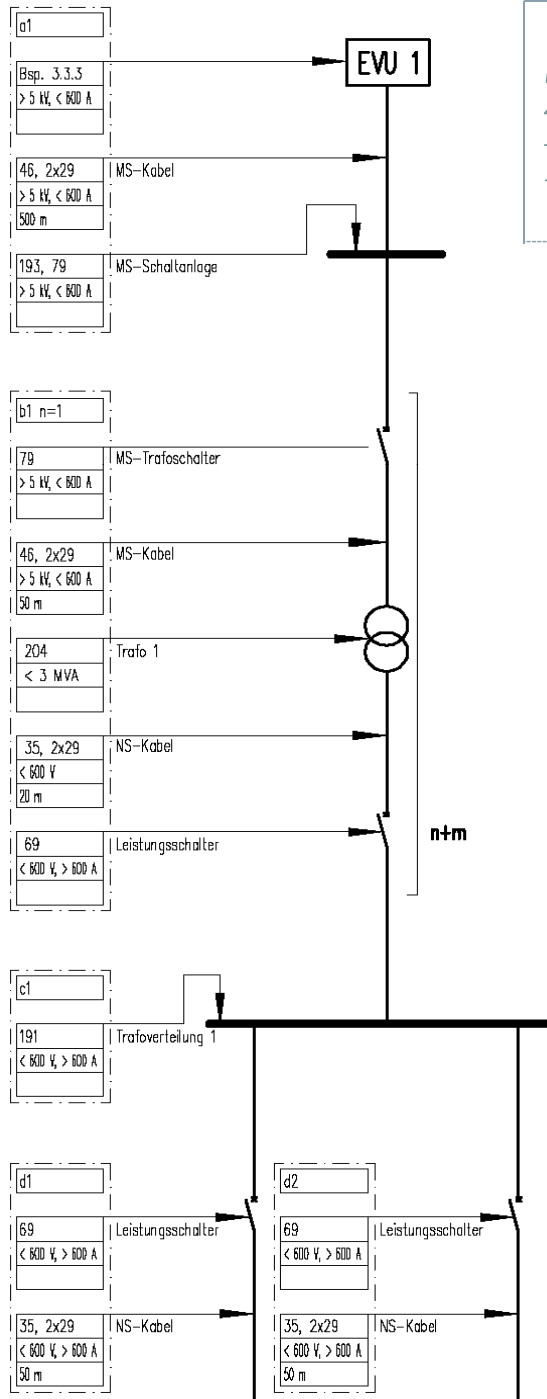
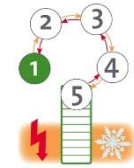
1. **Überführung** der Infrastruktur in ein integrales Zuverlässigkeitsschema
2. **Modellierung** der RZ-Infrastruktur in InfraOpt®
3. **Aufbereitung** der Zuverlässigkeitsdaten
4. **Berechnung** Zuverlässigkeit und Verfügbarkeiten
5. **1- und 2-Fehlersimulation** über alle Teilsysteme

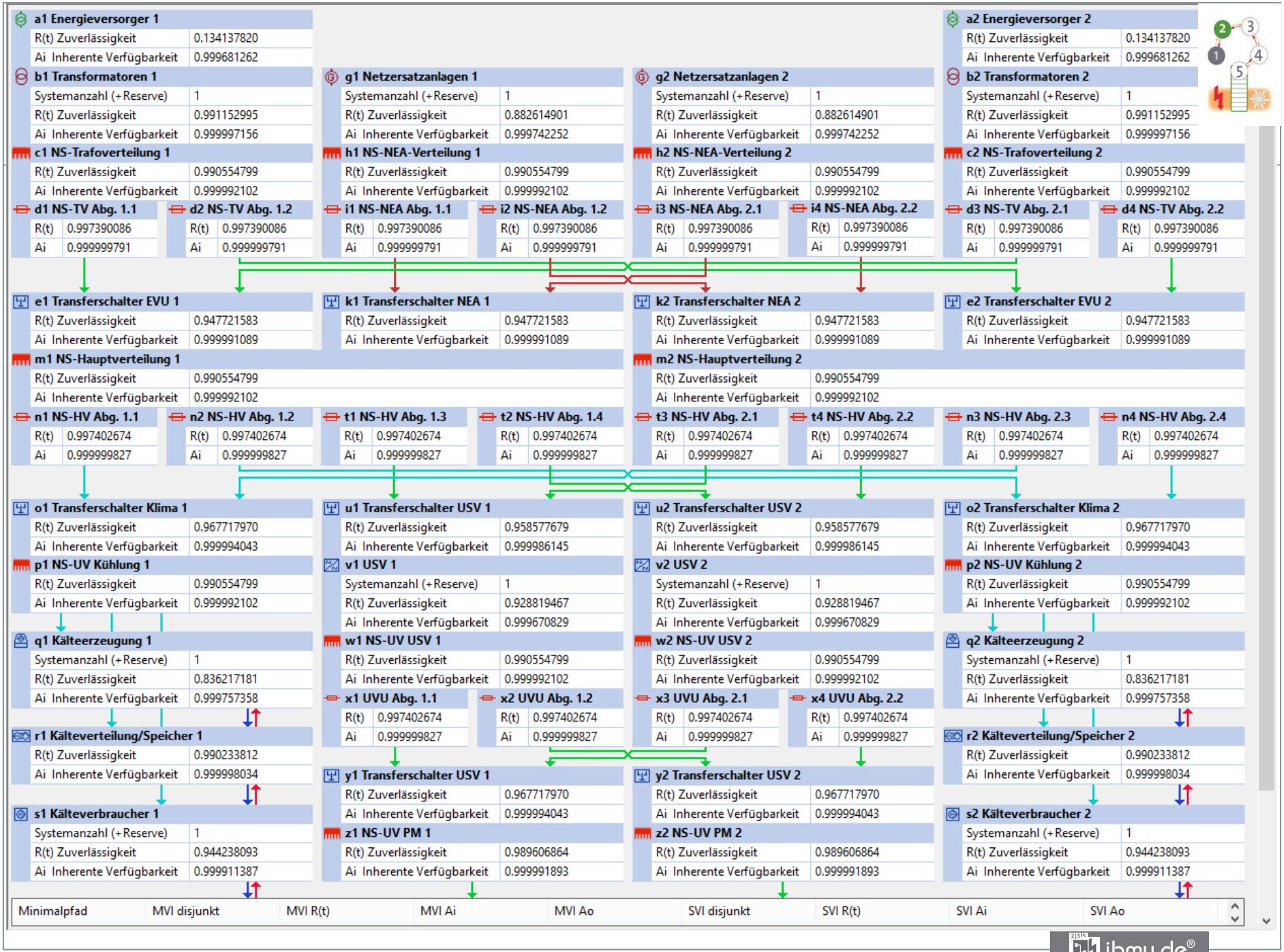


**Ziel** des Optimierungsprozesses:

**Maximierung Verlässlichkeit** ↔ **Minimierung Lebenszykluskosten**

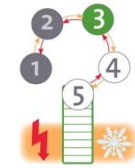
# 2.3 Integrales RZ-Infrastruktur-Modell Elektroenergie- und Kälteversorgung





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

## 2.4 Aufbereitung der Zuverlässigkeitsdaten Teilsysteme und Datenquellen



- **Aufbereiten** aller **Teilsysteme** des Zuverlässigkeitsmodells in InfraOpt<sup>®</sup>
  - Ein Teilsystem kann beliebig viele Komponenten enthalten
  - Je Komponente kann das Alter festgelegt werden
  - Redundante Komponenten sind möglich
  - Komponentenattribute werden unterstützt (z. B. Kabellänge)
  - Beliebige redundante Teilsysteme sind möglich
- **Einpflege** und **Zuordnung** von **Zuverlässigkeitsdaten** aus folgenden Quellen:
  - statistische Erhebungen des Rechenzentrums-Betreibers
  - Zuverlässigkeitsdaten von Herstellern
  - Reaktionszeiten von Zulieferern und Dienstleistern
  - Zuverlässigkeitsdaten aus IEEE Std. 493-2007

## Verlässlichkeit des System - q1 Kälteerzeugung 1



Typ	Quelle	R(t)	Ai	Ao	MTBF	MTTR	MTBM	MDT	Länge /m	Betrieb /h	Anz. n(+m)
Leistungsschalter; 600 V; Einschubt...	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

**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:

Manuelle Dateneingabe:

**Systemfunktion**

Normalbetrieb

abgeschaltet und inaktiv

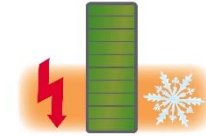
entfernt und überbrückt

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

Übernehmen    Abbrechen

## 2.5 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

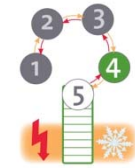
➤ **Funktionieren** die **Managementsysteme** (Qualifikation, Sicherheit)
- Simulation **1- und 2-Fehlerkombinationen** aller Teilsysteme, identifizieren der **Single Points of Failure (SPoF)** und **Double Points of Failure (DPoF)**

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

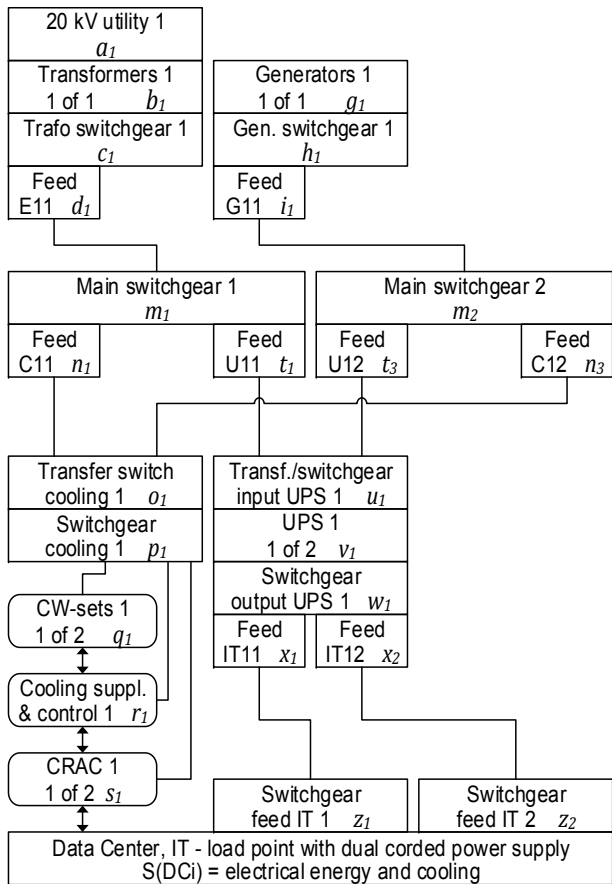


# 3.1 Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt<sup>®</sup>

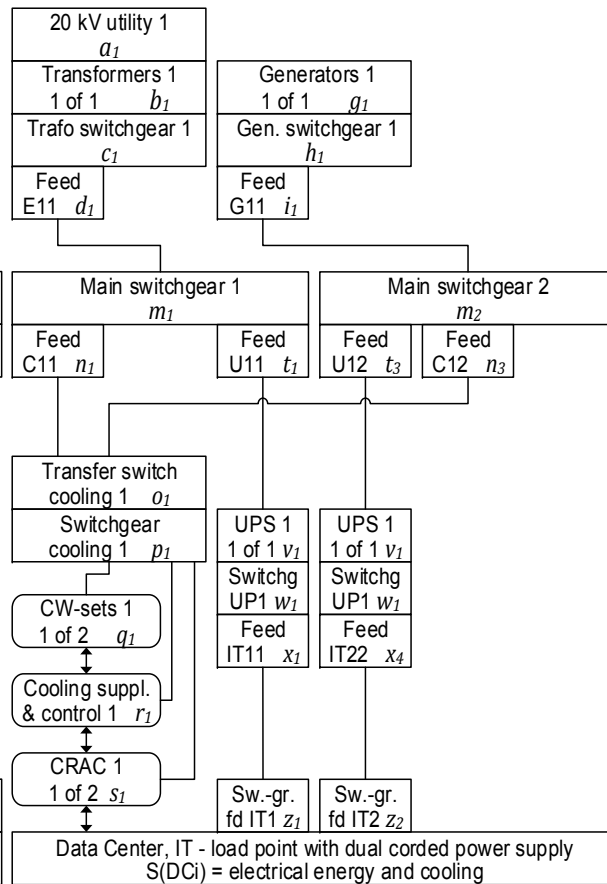
## Variantenvergleich verschiedener Redundanzkonzepte



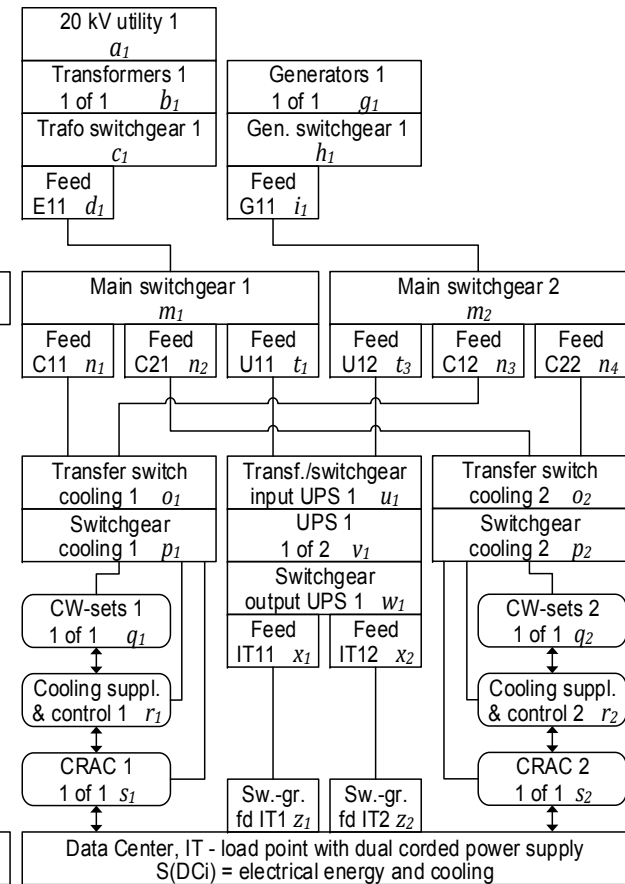
**Design 1 ( $N_E+1, N_C+1$ )**



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



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

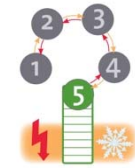


Komponentendaten aus IEEE Std. 493-2007, Annex Q

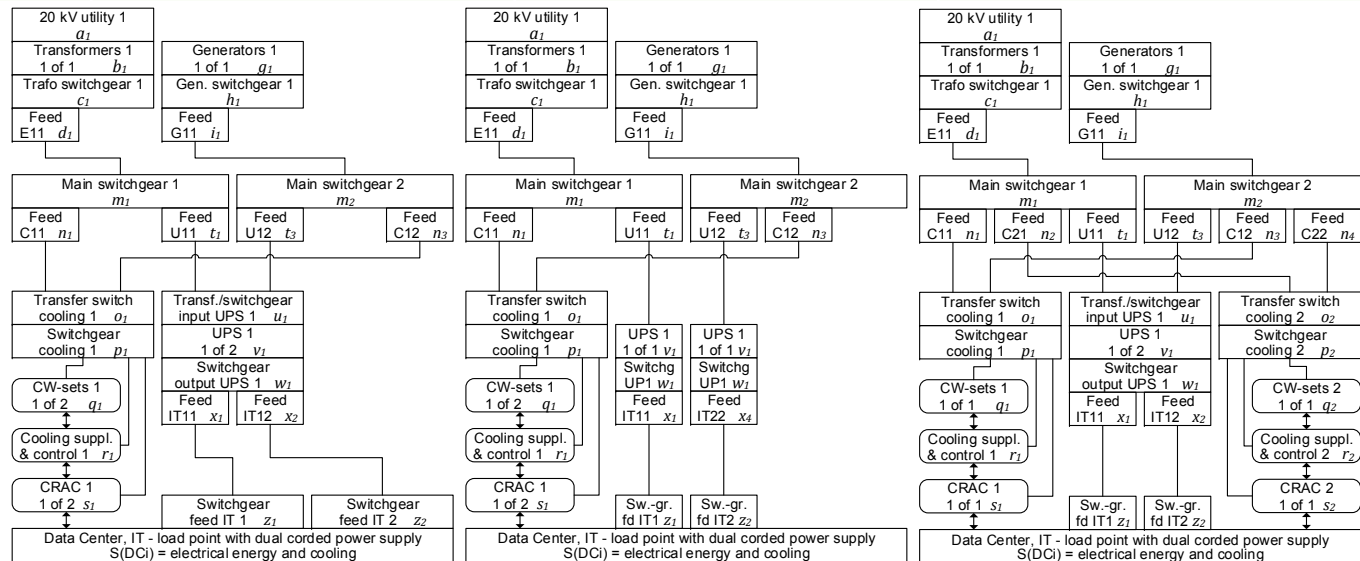


# 3.2 Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt<sup>®</sup>

## Metriken und Einteilungen zum Bewerten von Infrastrukturen

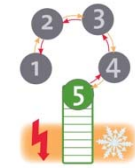


Variantenvergleich	Design 1	Design 2	Design 3
Anzahl Teilsysteme <b>N</b>	25 ( $N_E+1, N_C+1$ )	26 ( $2N_E, N_C+1$ )	32 ( $N_E+1, 2N_C$ )
Zuverlässigkeit <b>R</b> (1Jahr)	0,82629	<b>0,83885</b>	0,83733
Inhär. Verfügbarkeit <b>A<sub>i</sub></b>	0,99996	<b>0,99998</b>	<b>0,99998</b>
Oper. Verfügbarkeit <b>A<sub>o</sub></b>	<b>0,99261</b>	<b>0,99392</b>	<b>0,99854</b>
Single <b>Points of Failure</b>	5/25 (20 %)	3/26 (12 %)	2/32 (6 %)
Double <b>Points of Failure</b>	146/300 (49 %)	156/325 (48 %)	<b>120/496 (24 %)</b>

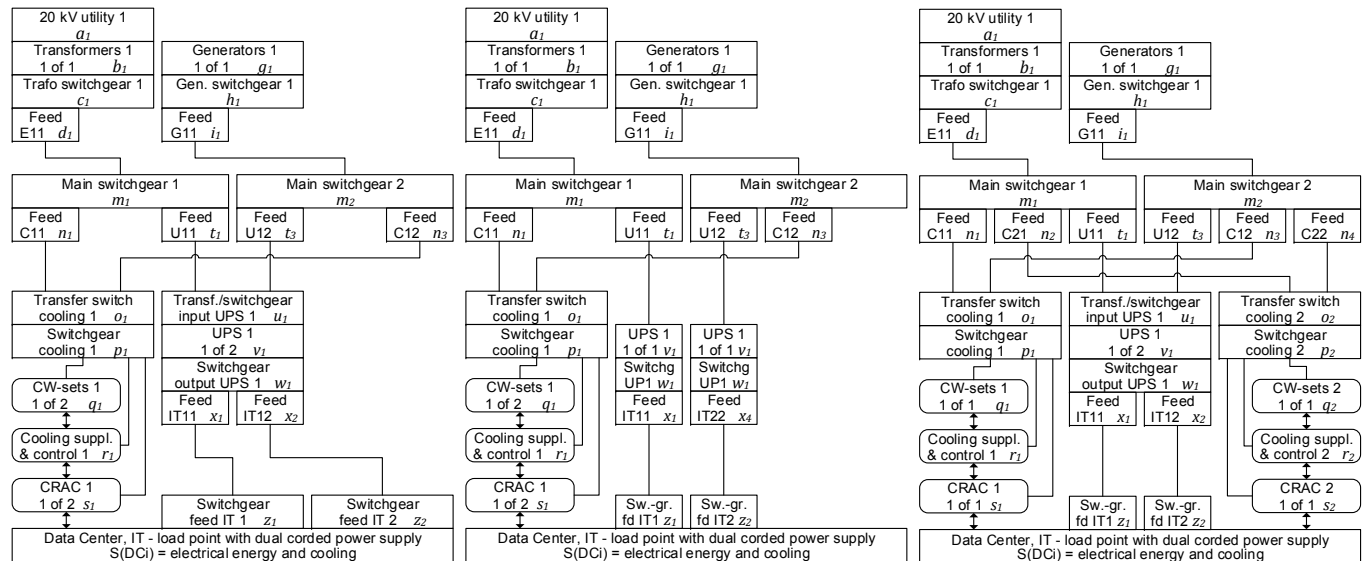


# 3.3 Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt<sup>®</sup>

## Metriken und Einteilungen zum Bewerten von Infrastrukturen

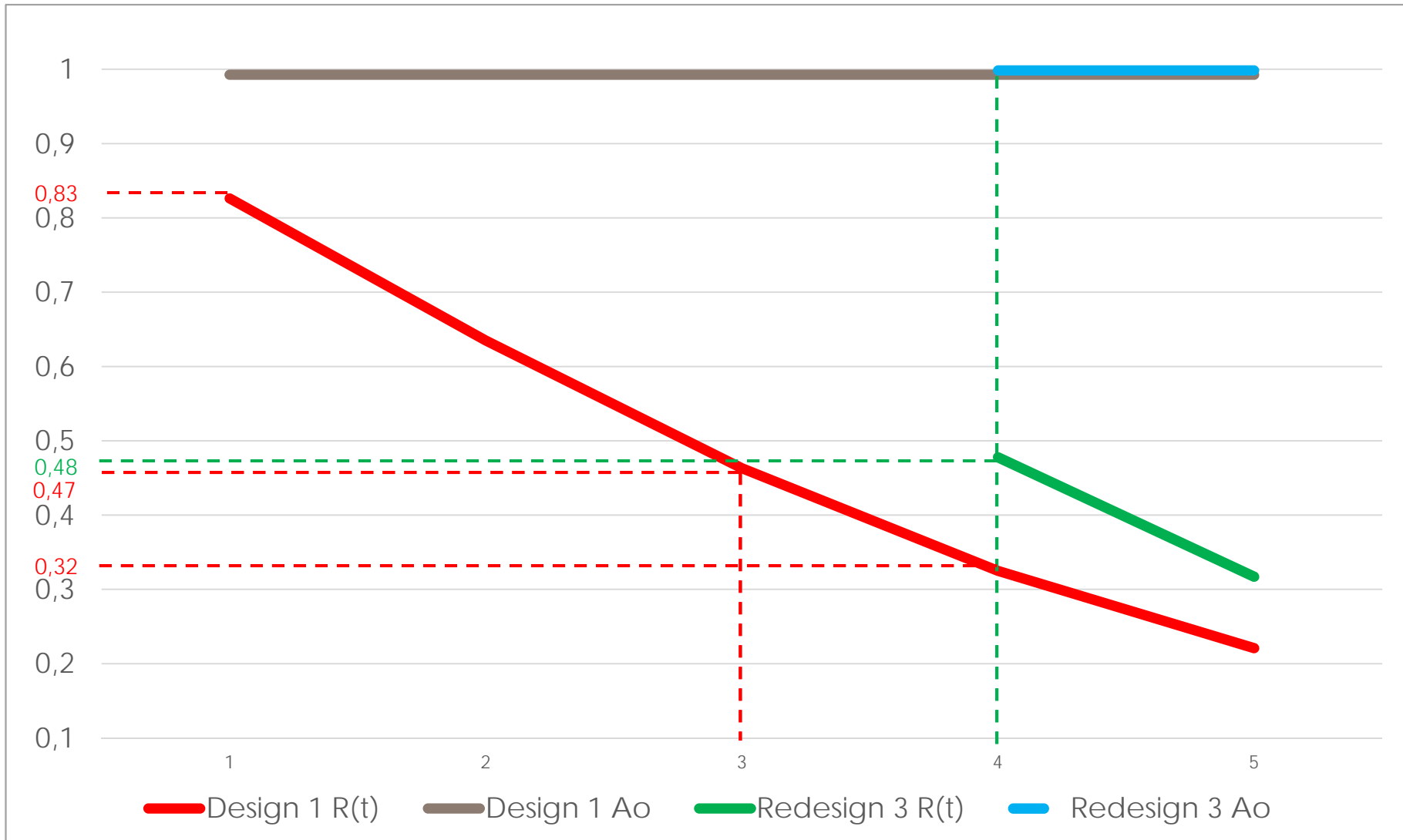
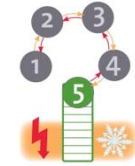


<b>Einteilung nach A<sub>o</sub></b>	<b>99,261 %</b>	<b>99,392 %</b>	<b>99,854 %</b>
Uptime Institute	Schlechter Tier 1	Schlechter Tier 1	Tier 3
BSI Verfügbarkeitsklasse	Schlechter VK 0	Schlechter VK 0	knapp VK 2
BITKOM Kategorie	Schlechter als A	Schlechter als A	Kategorie A
DIN EN 50600 ff.	k. A.	k. A.	k. A.
<b>Einteilung nach DIN EN 50600 ff. Redundanz</b>	<b>VK 2</b>	<b>VK 3</b>	<b>VK 2</b>



# 3.4 Zuverlässigkeit und Operationale Verfügbarkeit

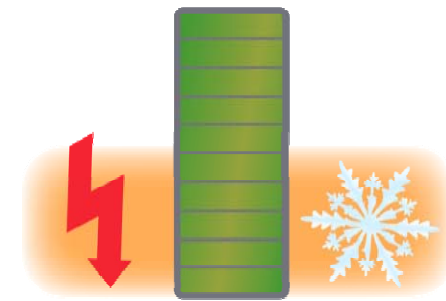
Design 1: R(1...5 Jahre) Design 3: R(4...5 Jahre)



## 4 InfraOpt<sup>®</sup> – für Planer, Betreiber, Co-Locator, Entscheider Methodik zur Optimierung von RZ-Infrastrukturen mittels Metriken

**Vorhersage** der Reaktion der Rechenzentrums-Infrastruktur auf **geplante** bzw. **nicht geplante Ereignissen** - auf der Grundlage numerischer **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.

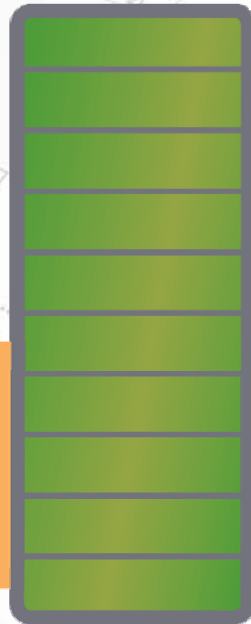


Der Analyse und Optimierung  
Ihrer RZ-Infrastruktur sehe ich  
mit Interesse entgegen.

**Dipl.-Ing. Uwe Müller**

*Geschäftsführender Gesellschafter*

*ibmu.de*<sup>®</sup> Ingenieurgesellschaft für  
technische Beratung, Medien  
und Systeme mbH



**InfraOpt**<sup>®</sup>