

eco – Verband e.V.

Fit für das genormte Rechenzentrum

**Motivation zur Verlässlichkeitsanalyse  
im Kontext EN 50600**

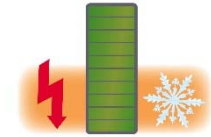
Dipl.-Ing. Uwe Müller

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



# Motivation zur Verlässlichkeitsanalyse - EN 50600

eco – Verband e.V., Köln, am 20. Oktober 2015



## 1. Richtlinien und Normen

- Uptime Institute, BSI, BITKOM
- EN 50600-2-2 Stromversorgung
- EN 50600-2-3 Regelung der Umgebungsbedingungen

## 2. Praxisbeispiel

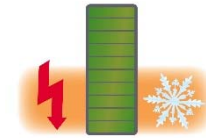
- Fundamentale Fragestellungen
- Vier Infrastrukturdesigns zum Variantenvergleich
- Verlässlichkeitsanalyse: Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Fehlertoleranz

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

- Ergebnisvergleich und Bewertung der Varianten
- Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit als Funktion der Zeit
- Analyseergebnisse grafische Darstellung

# 1.1 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

## 1.2 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>

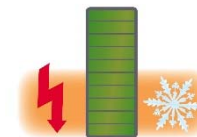
  

BITKOM	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C	Kategorie D
Zul. Ausfallzeit /Jahr	12 h	1 h	10 min.	< 1 min
Verteilung	USV/Normal empfohlen	Redundanz A und B	Redundanz A und B	Redundanz A und B
USV	mind. 10 min	mind. 10 min N+1	mind. 10 min 2 N	mind. 10 min 2 (N+1)
Notstrom	optional	Anlauf 15 s 24 h Brennstoff	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

## 1.3 Richtlinien und Normen

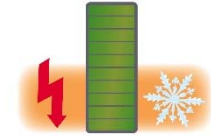
### DIN EN 50600 ff.



Verfügbarkeits-Klasse	VK 1	VK 2	VK 3	VK 4	VK 4 erweitert
Verfügbarkeit	niedrig	mittel	hoch	sehr hoch	
<b>DIN EN 50600-2-2</b> Stromversorgung	keine Redundanz	Komponenten Redundanz	Instandsetzung im lfd. Betrieb	Fehlertoleranz	
Versorgung	Einzelpfad	Einzelpfad	Mehrpfad	Mehrpfad	
Redundanz	<b>N</b>	<b>N+1</b>	<b>N+1</b> bzw. <b>2N</b>	<b>2N</b>	
Transferschalter	k. A.	(Ja)	Ja	Ja, mehrere	
Bei Ausfall der Stromversorgung	USV, kontroll. Abschalten	USV, kontroll. Abschalten	USV, alternative Versorgung	USV, alternative Versorgung	
<b>DIN EN 50600-2-3</b> Regelung d. Umgebungsbedingungen	-	keine Ausfallsicherheit	Komponenten Redundanz	Instandsetzung im laufenden Betrieb	
				weitgehend	vollständig
Versorgung	-	Einzelpfad	Einzelpfad	Mehrpfad passiv	Mehrpfad aktiv
Redundanz		<b>N</b>	<b>N+1</b>	<b>N+1</b>	<b>2N</b>

Quelle (Auszug): DIN EN 50600-1 2013, DIN EN 50600-2-2 2014, DIN EN 50600-2-3 2015

## 2.1 Fundamentale Fragen bei der Planung/ Ertüchtigung von RZ-Infrastrukturen ...



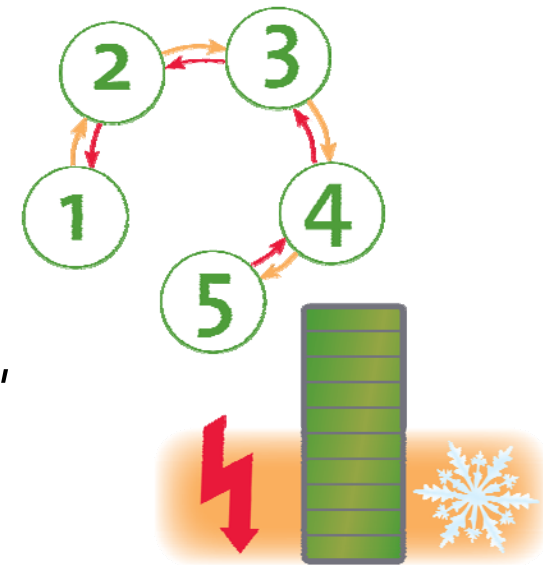
- Welche **Verfügbarkeit** hat ein konkretes Design?
- Wie viele **Single Points of Failure** sind systeminhärent?
- Spielt die Anzahl der **Double Points of Failure** eine Rolle?
- Welchen Einfluss hat die **Alterung** der Systeme?
- Wie performen **alternative Varianten** im direkten Vergleich?
- Sind die Kennzahlen **vorgefertigter Lösungen** besser?
- Ist die Infrastruktur **während** der **Baumaßnahme** verlässlich?
- Welchen **Unterschied** generieren **Mehrinvestitionen**?
- Wo steht ein Design hinsichtlich **Richtlinien** und **Normen**?

... denn das **Rechenzentrum darf nie ausfallen!**

## 2.2 Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt®

### Praxisbewährter Dienstleistungsprozess in fünf Schritten

- 1. Überführung** d. Infrastruktur ein **integrales Verlässlichkeitsschema**  
Bestand: ca. 15 MT, Neuplanung: ca. 7 MT
- 2. Modellierung** der Infrastruktur in **InfraOpt®**  
ca. 7 MT
- 3. Aufbereitung** der **Zuverlässigkeitsdaten**  
ca. 7 MT
- 4. Zuverlässigkeits-, Verfügbarkeitsberechnung, 1- und 2-Fehlersimulation, Auswertung**  
ca. 7 MT
- 5. Numerische Optimierung**  
ca. 2 ... 10 MT

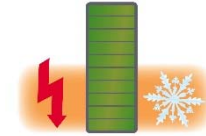


Ziel der **Optimierung**:

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

## 2.3 Variantenvergleich von Redundanzkonzepten

### Aufgabenstellung und Variante 1



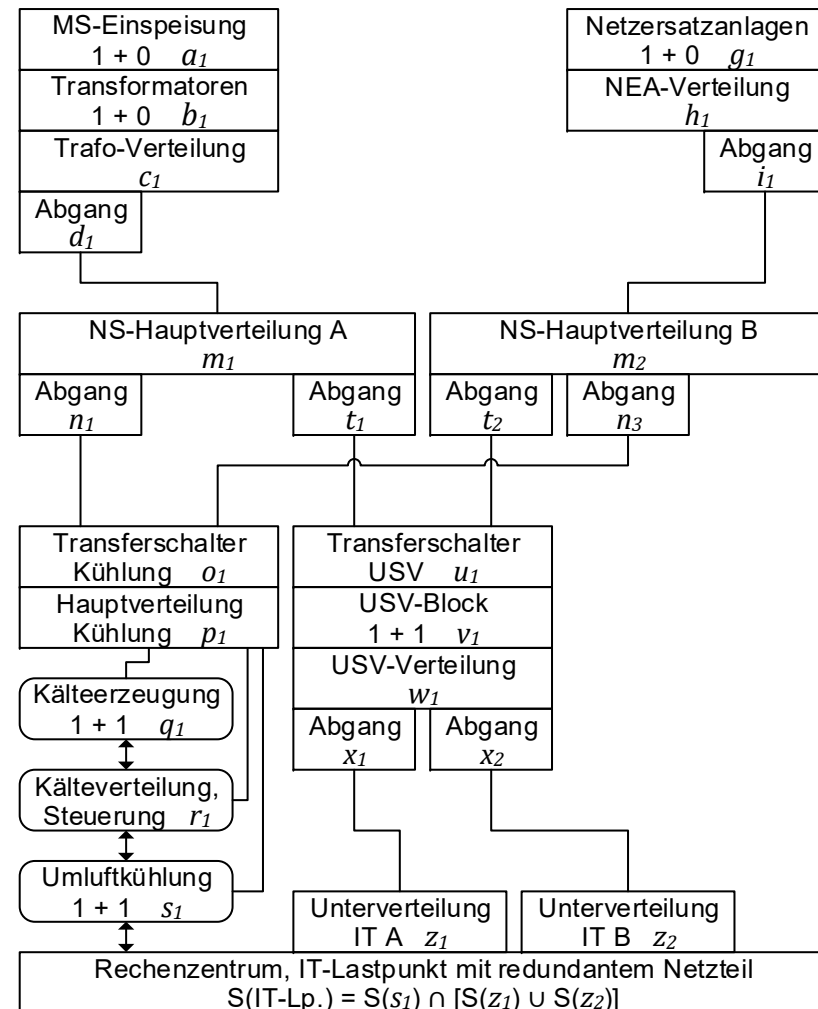
Vergleiche vier Varianten bezüglich EN 50600 ff:

- 1)  $N_E+1$  &  $N_C+1$  VK 2
- 2)  $2N_E$  &  $N_C+1$  VK 3
- 3)  $N_E+1$  &  $2N_C$  VK 3
- 4)  $2N_E$  &  $2N_C$  VK 4 erweitert

mittels **Verlässlichkeitsanalyse**:

- Zuverlässigkeit  $R(t=1 \text{ Jahr})$
- Inhärente Verfügbarkeit  $A_i$
- Operationale Verfügbarkeit  $A_o$
- 1-Fehlertoleranz **SPoF**
- 2-Fehlertoleranz **DPoF**

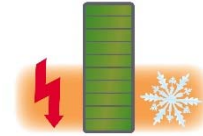
### Variante 1: $N_E+1$ & $N_C+1$



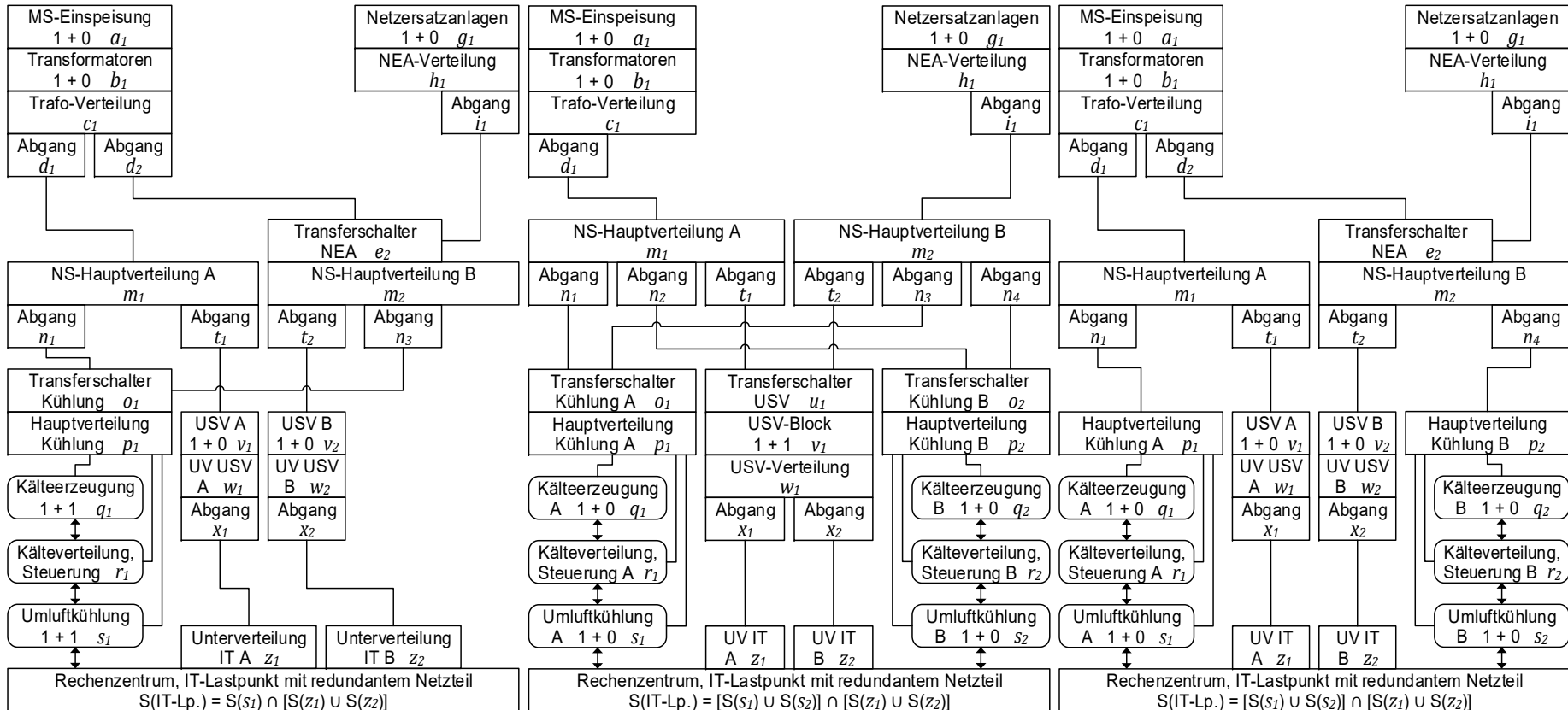


# 2.4 Variantenvergleich von Redundanzkonzepten

## Varianten 2 bis 4



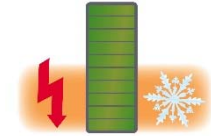
**Variante 2:  $2N_E$  &  $N_C+1$    Variante 3:  $N_E+1$  &  $2N_C$    Variante 4:  $2N_E$  &  $2N_C$**



Identische Komponentendaten für Varianten 1 bis 4  
 Datenquelle: IEEE Std. 493-2007, Annex Q

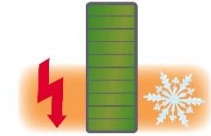
## 2.5 Variantenvergleich von Redundanzkonzepten

### Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit



- **Zuverlässigkeit (Reliability):**  $R(t) = e^{-1/MTBF * t}$ 
  - Wahrscheinlichkeitsmaß, abhängig vom Komponentenalter
  - 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)

## 2.6 Variantenvergleich von Redundanzkonzepten 1- und 2-Fehlertoleranz



- **Single Point of Failure (SPoF)**
  - Ein Fehlerereignis führt zum **Ausfall** des **Gesamtsystems**
  - **Anzahl** der **Versorgungspfade** - Infrastrukturdesign

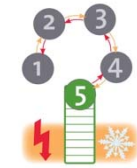
➤ Welche **Verfügbarkeitsklasse** nach EN 50600-1 ist zu realisieren
- **Double Points of Failure (DPoF)**
  - **Zwei gleichzeitig** auftretende **Fehlerereignisse** führen zum Gesamtausfall
  - **Ein Fehlerereignis** tritt auf und das notwendige **Folgeereignis** schlägt fehl
  - Bestimmung des „**herabgesetzten Ausfallsicherungsgrades**“ in Schalt- bzw. Wartungssituationen nach EN 50600-2-2

➤ Welche **inhärenten Redundanzen** sind notwendig?

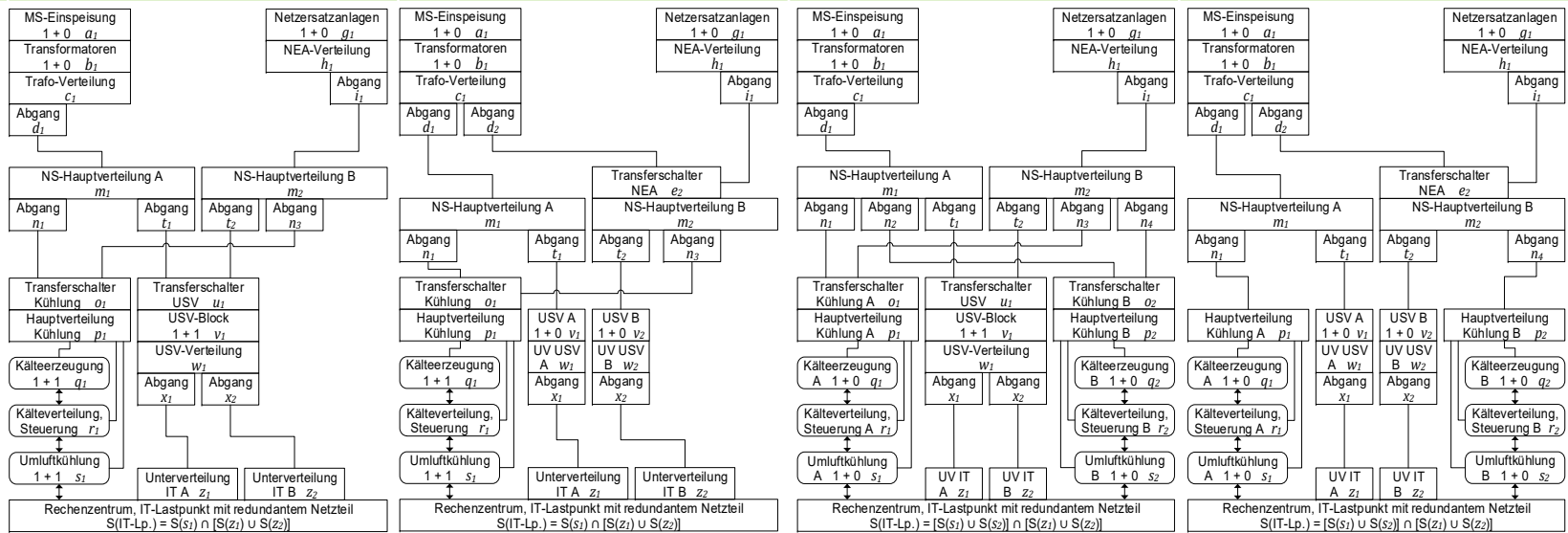
➤ An welchen Stellen sind **Transferschalter** einzusetzen?

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

## Ergebnisse der Verlässlichkeitsanalyse

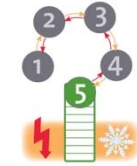


Variante	1: $N_E+1$ & $N_C+1$	2: $2N_E$ & $N_C+1$	3: $N_E+1$ & $2N_C$	4: $2N_E$ & $2N_C$
<b>N</b>	<b>25</b>	28	<b>32</b>	31
<b>R(t=1a)</b>	0,82629	0,83016	<b>0,83733</b>	<b>0,80050</b>
<b><math>A_i</math></b>	<b>0,99996</b>	0,99998	0,99998	<b>0,99999</b>
<b><math>A_o</math></b>	<b>0,99261</b>	0,99392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

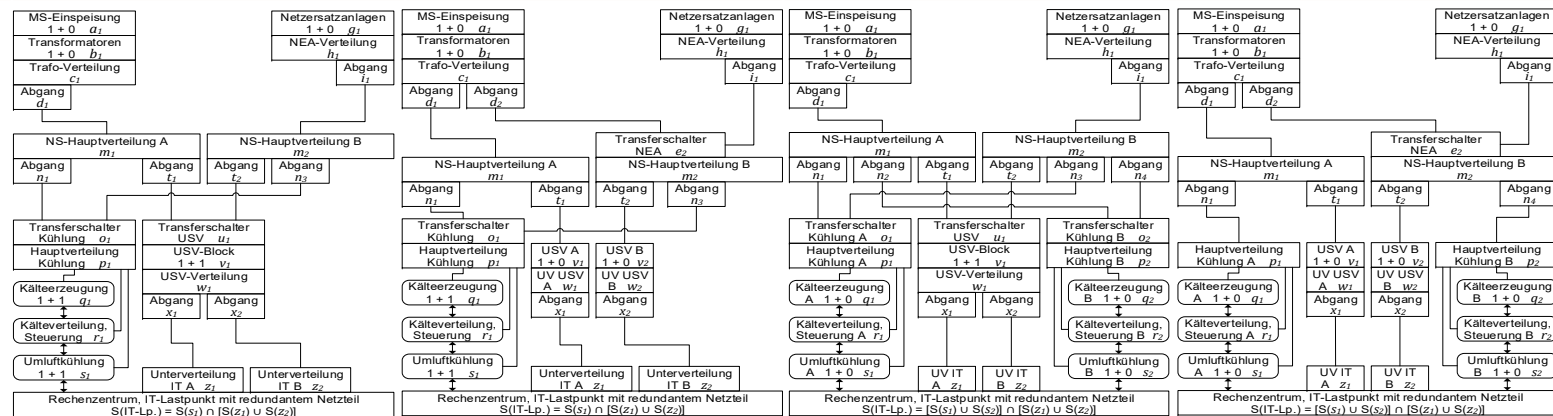


# 3.2 Variantenvergleich mittels InfraOpt<sup>®</sup>

## Kategorien und Verfügbarkeitsklassen

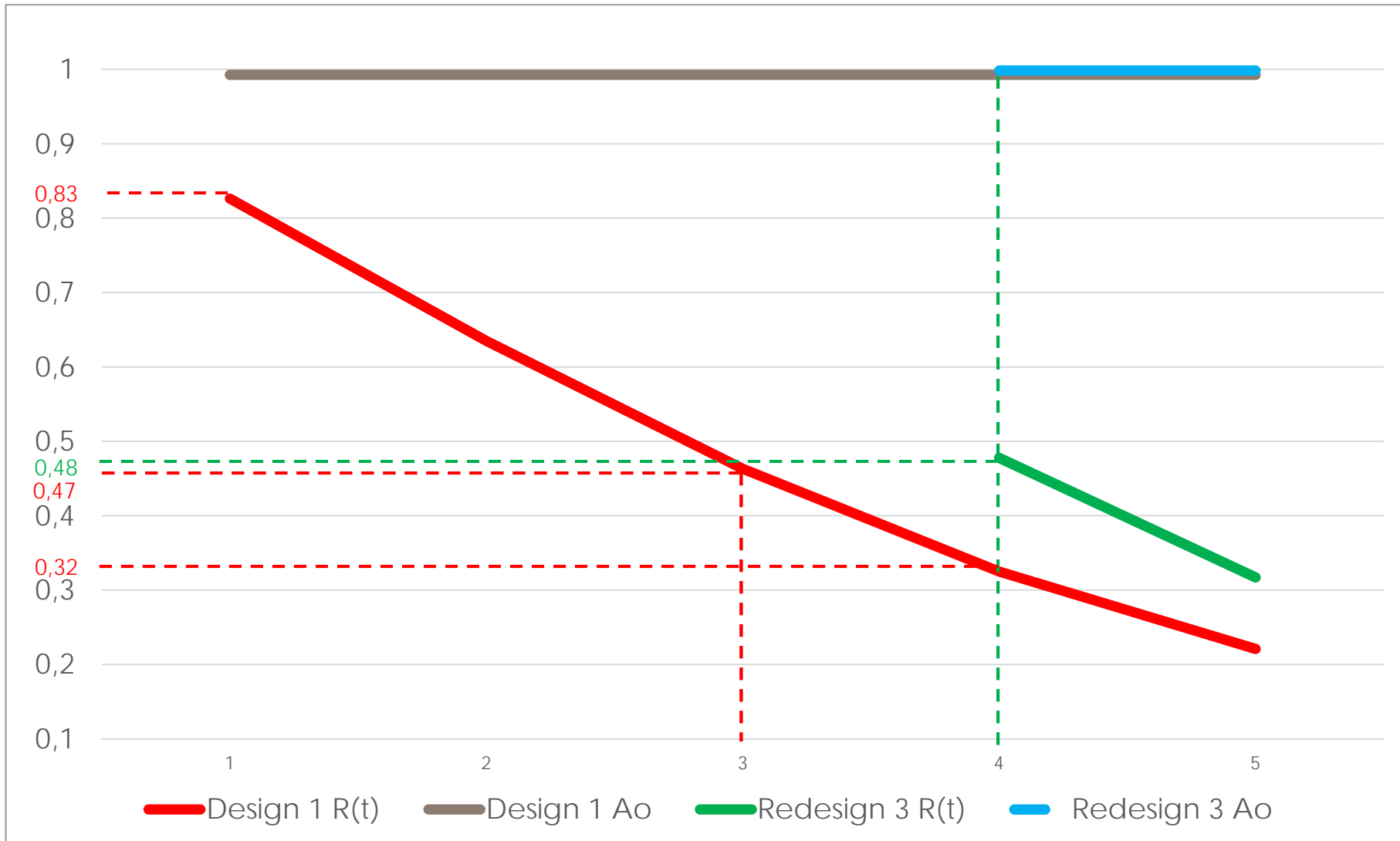
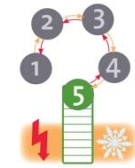


Variante	1	2	3	4
Einteilung $A_o$	99,261 %	99,392 %	99,854 %	99,982 %
Upt. Institute	< Tier 1	< Tier 1	Tier 2	Tier 3
BITKOM	< Kategorie A	< Kategorie A	~ Kategorie A	~ Kategorie B
BSI	VK 1	VK 1	~ VK 2	~ VK 3
Redundanz	$N_E+1$ & $N_C+1$	$2N_E$ & $N_C+1$	$N_E+1$ & $2N_C$	$2N_E$ & $2N_C$
Upt. Institute	Tier 2	Tier 3	Tier 2	Tier 4
BITKOM	Kategorie B	Kategorie C	Kategorie B	Kategorie D
EN 50600-2-x	VK 2	VK 3	VK 3	VK 4 erweitert

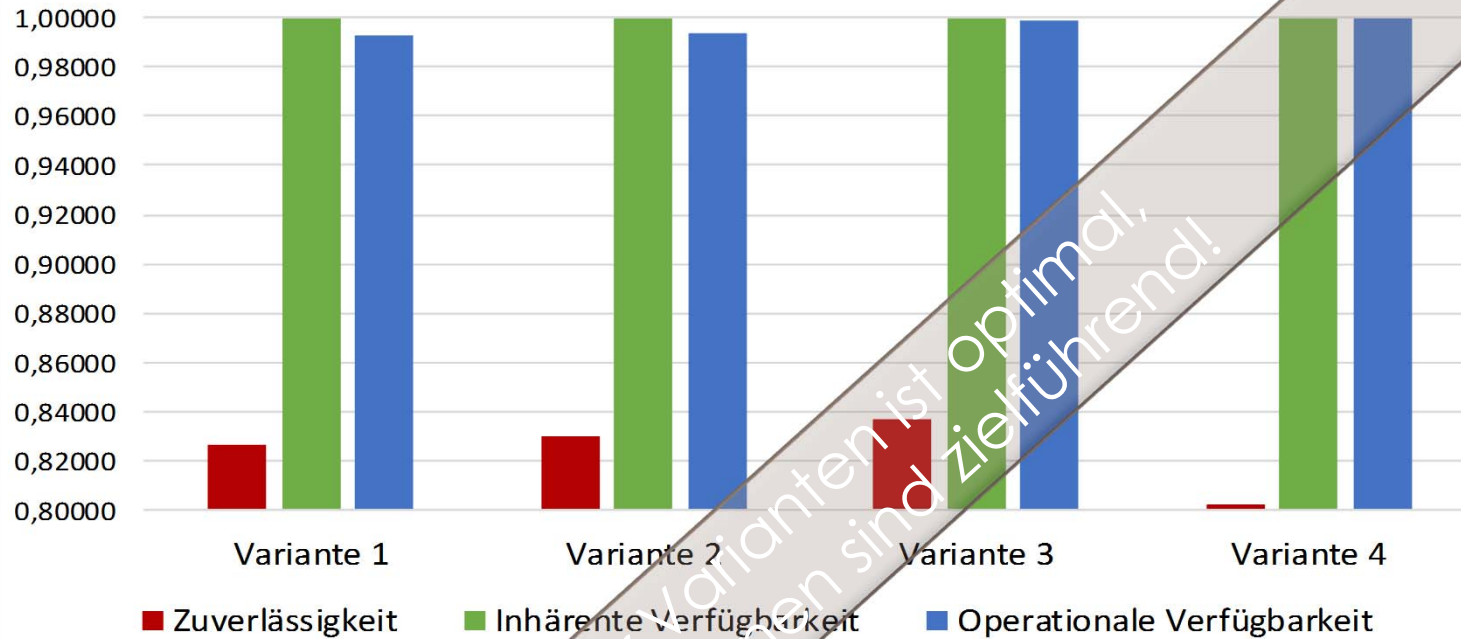


# 3.3 Zuverlässigkeit und Operationale Verfügbarkeit

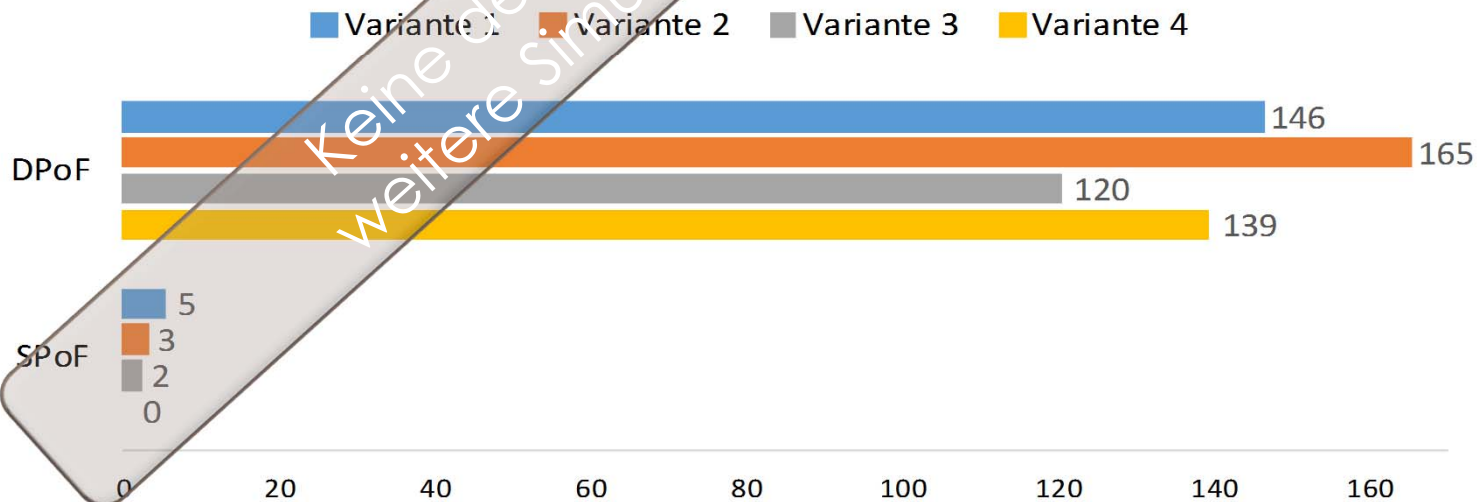
Design 1: R(1...5 Jahre) Design 3: R(4...5 Jahre)



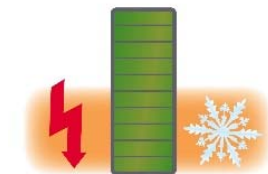
### Verfügbarkeitsanalyse



### Fehleranalyse

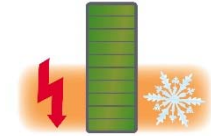


Keine der vier Varianten ist optimal, weitere Simulationen sind zielführend!



## 3.4 Verlässlichkeitsanalyse im Kontext EN 50600

### Zusammenfassung



Methodik zur **RZ-Infrastruktur-Bewertung** auf Grundlage der **Metriken: Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, 1- und 2-Fehlertoleranz**

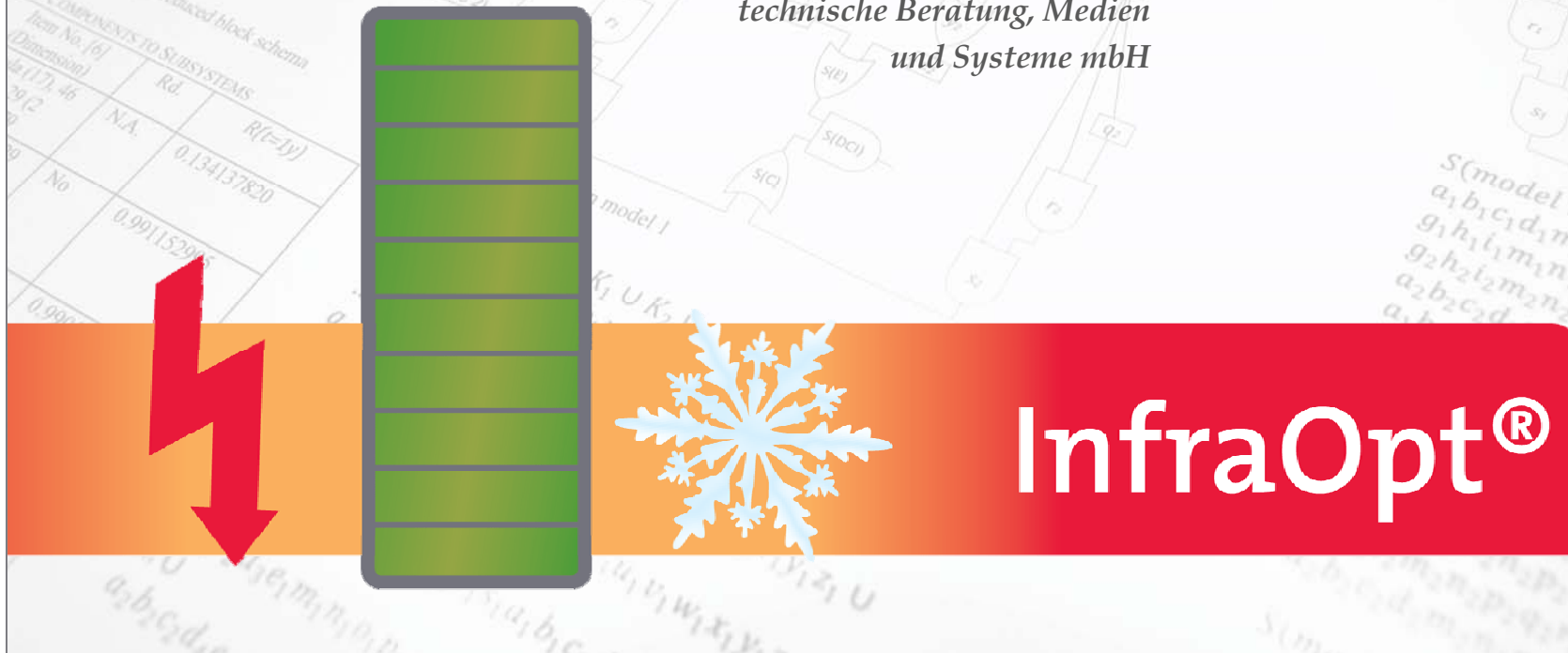
- Analytischer Vergleich von Infrastruktur-**Designs** verschiedener **Verfügbarkeitsklassen** EN 50600-1 bezüglich EN 50600-2-2/-3
- Bestimmung des „herabgesetzten **Ausfallsicherungsgrades**“ in **Schalt-** bzw. **Wartungssituationen** EN 50600-2-2
- **Unterstützung** beim Infrastruktur-Design bzw. -Redesign:
  - **Investitionsbegründung** durch Variantendiskussion
  - **Identifizieren** von **Schwachstellen** (strukturell, Komponenten)
  - Vergleich von **Komponenten** mit unterschiedlichen **MTBF** bzw. **MTTR**
  - Validierung von **Service-Level-Agreements**
  - Optimieren von **Wartungs-** und **Serviceplänen**
- Fortlaufende **Zuverlässigkeitsbewertung** im Rahmen eines Informationssicherheits-Managementsystems nach DIN ISO 27001



**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit.**

**Dipl.-Ing. Uwe Müller**  
*Geschäftsführender Gesellschafter*

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



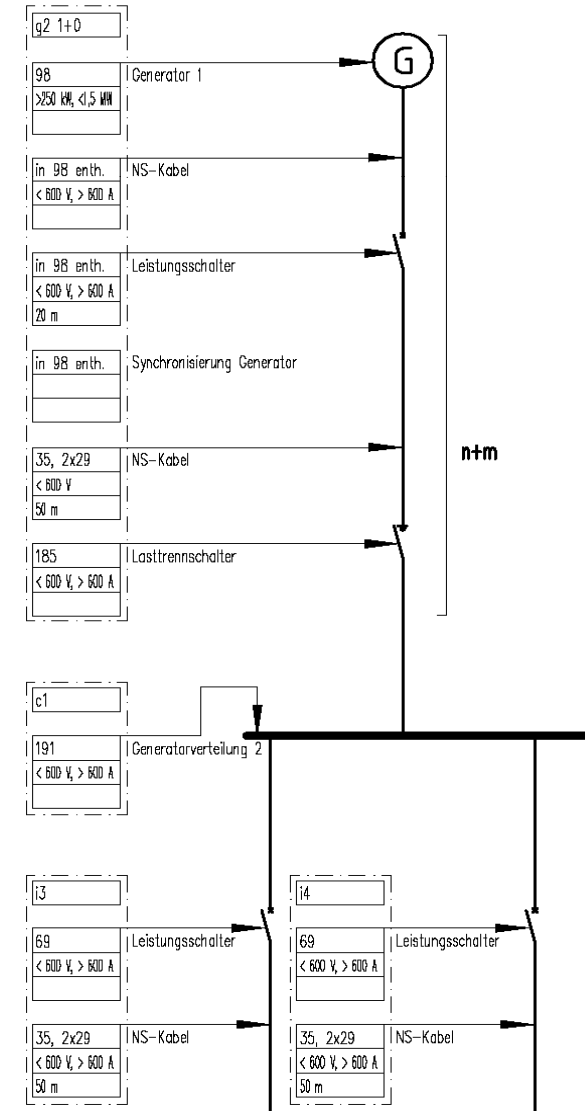
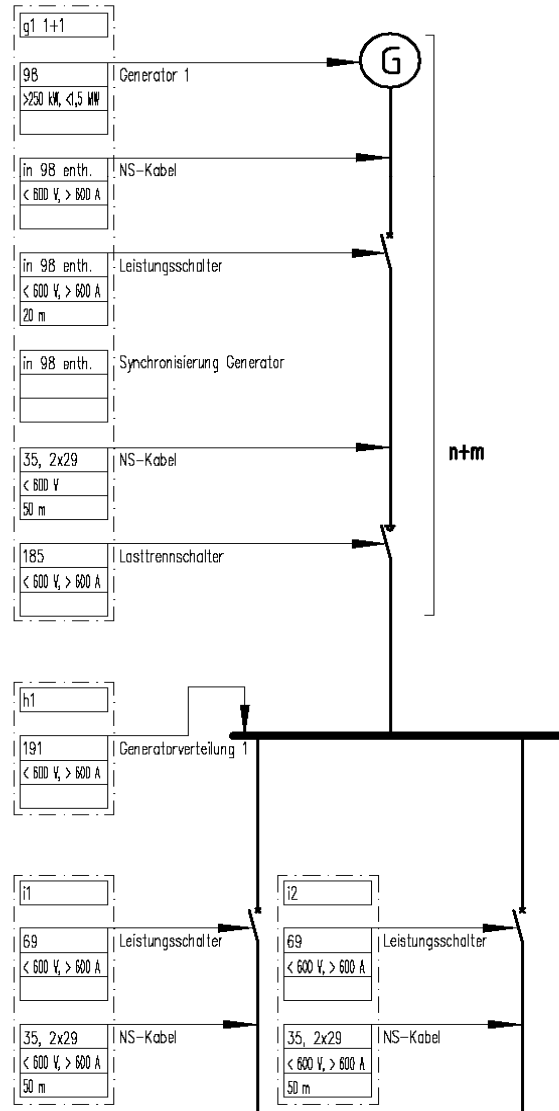
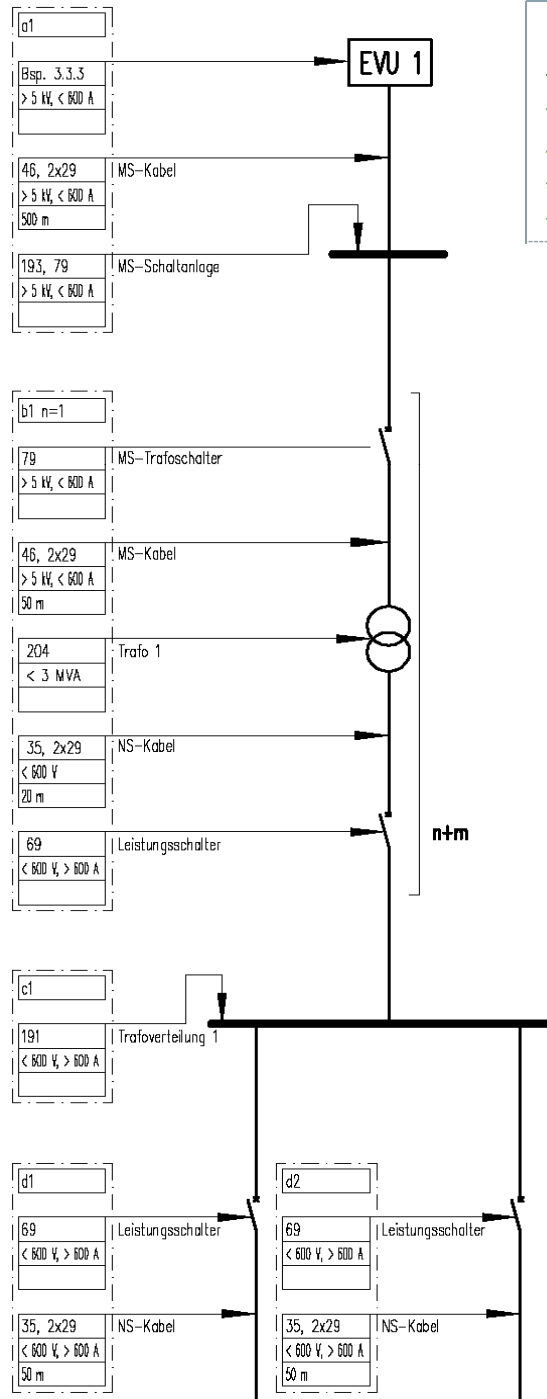
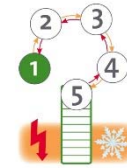
# A.1 InfraOpt®

## Forschungs- und Entwicklungsvorhaben

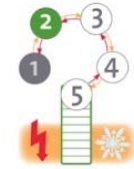


- August 2009 – Dezember 2011: FuE-Vorhaben **InfraOpt®**
  - FuE-Vorhaben für KMU, **Investitionsbank des Landes Brandenburg**
  - Externe Partner: **Technische Universität Berlin, Prof. Strunz**; Universität Potsdam, Prof. Schaub; Associate Prof. C. M. Welzig (USA)
  - Ergebnis: **Dienstleistungsprozess**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

# A.2 Integrales RZ-Infrastruktur-Modell Elektroenergie- und Kälteversorgung



## A.3 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; 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

**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

Übernehmen    Abbrechen

**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

