



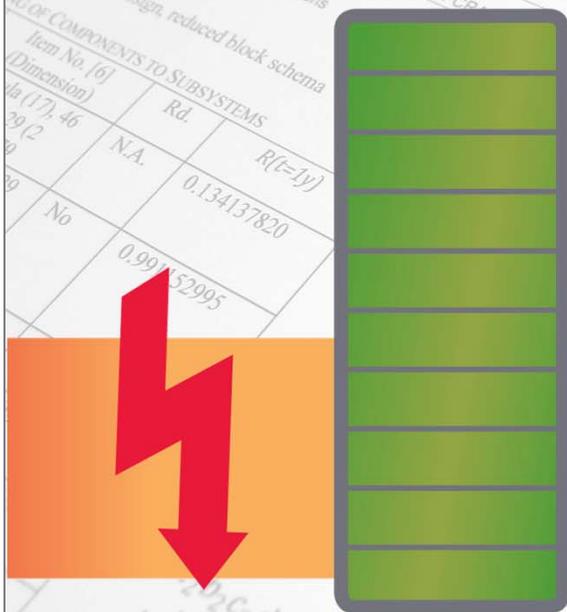
eco – Verband e.V.

Fit für das genormte Rechenzentrum

**Motivation zur Verlässlichkeitsanalyse
im Kontext EN 50600**

Dipl.-Ing. Uwe Müller

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



InfraOpt®

Motivation zur Verlässlichkeitsanalyse - EN 50600

eco - Verband e.V., Frankfurt/Main, 16. Oktober 2015



1. Richtlinien und Normen

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

2. Praxisbeispiel

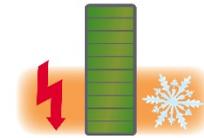
- Fundamentale Fragestellungen
- Vier Infrastrukturdesigns zum Variantenvergleich
- Verlässlichkeitsanalyse: Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Fehlertoleranz

3. Verlässlichkeitsanalyse InfraOpt[®]

- 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	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

1.2 Richtlinien und Normen

BSI Verfügbarkeitsklassen, BITKOM Kategorien



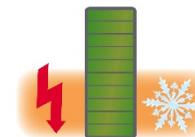
BSI	VK 0	VK 1	VK 2	VK 3	VK 4	VK 5
Ausfallzeit /Jahr	ca. 2-3 Wo.	< 90 Std.	< 9 Std.	< 1 Std.	ca. 5 min.	-
Anforderung an Verfügbarkeit	Keine	normal	hoch	sehr hoch	höchste	Desaster-tolerant
Verfügbarkeit	ca. 95 %	> 98,97 %	> 99,90 %	> 99,99 %	> 99,999 %	(100 %)

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

1.3 Richtlinien und Normen

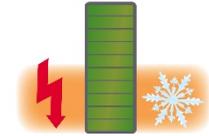
DIN EN 50600 ff.



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

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 ...

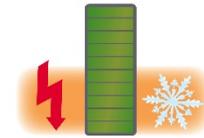


- Welche **Verfügbarkeit** hat ein konkretes Design?
- Wie viele **Single Points of Failure** sind systeminhärent?
- Spielt die Anzahl der **Double Points of Failure** eine Rolle?
- Welchen Einfluss hat die **Alterung** der Systeme?
- Wie performen **alternative Varianten** im direkten Vergleich?
- Sind 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!**

2.1 Variantenvergleich von Redundanzkonzepten

Aufgabenstellung und Variante 1



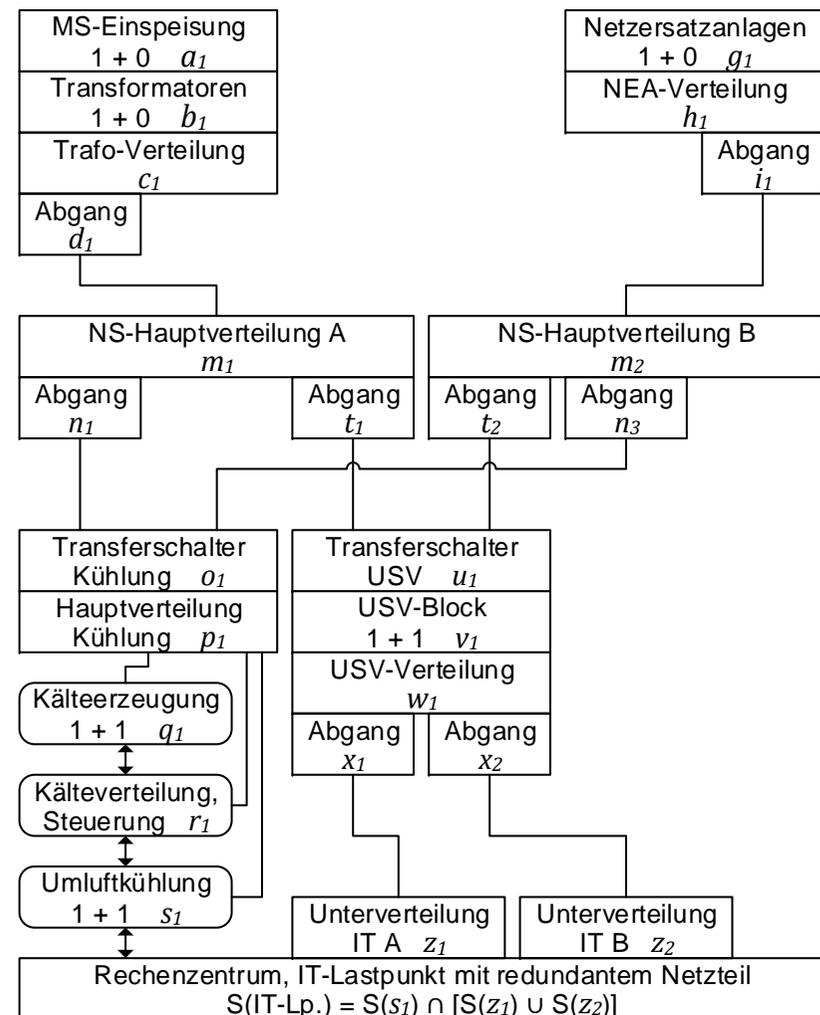
Vergleiche vier Varianten bezüglich EN 50600 ff:

- 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

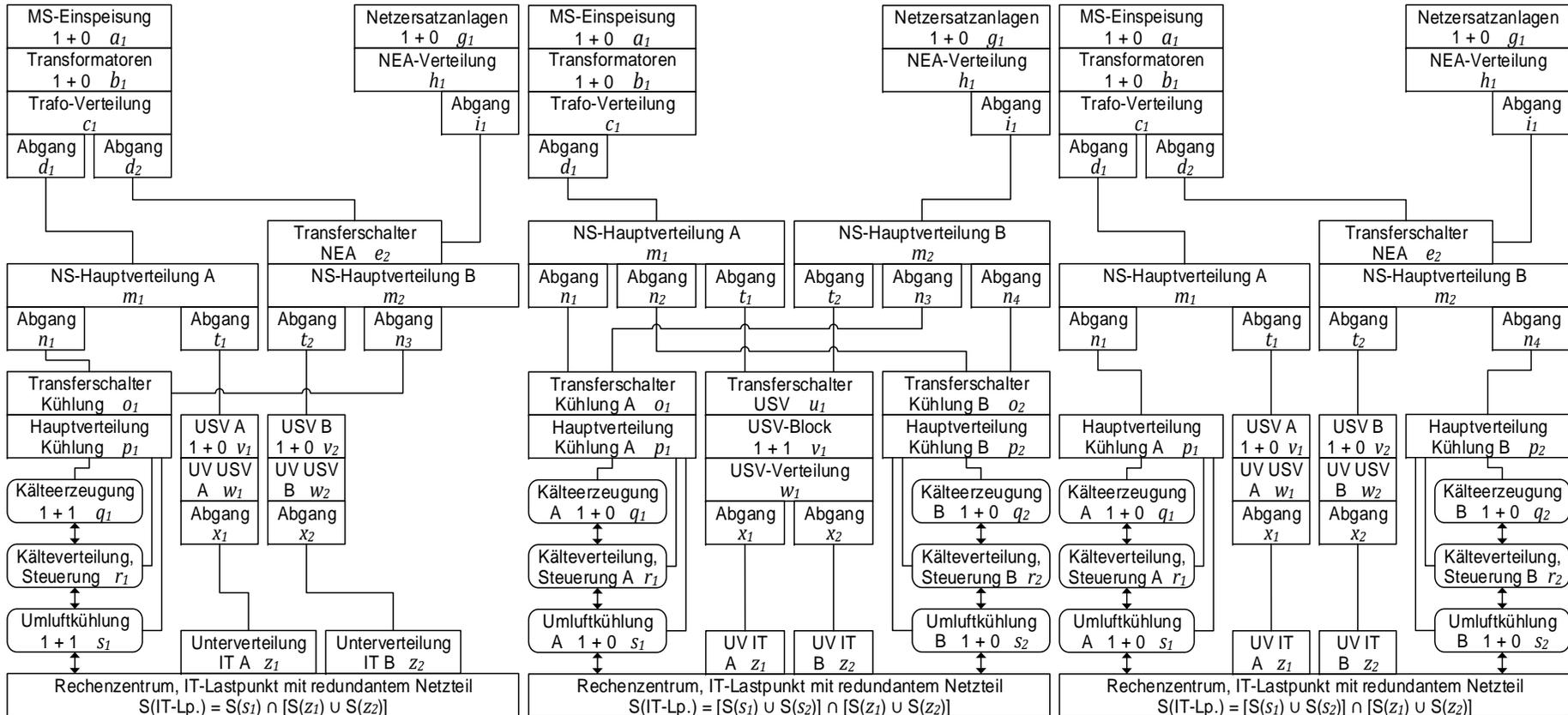


2.2 Variantenvergleich von Redundanzkonzepten

Varianten 2 bis 4



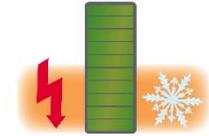
Variante 2: $2N_E$ & N_C+1 Variante 3: N_E+1 & $2N_C$ Variante 4: $2N_E$ & $2N_C$



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

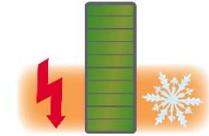
2.3 Variantenvergleich von Redundanzkonzepten

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)

2.4 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?

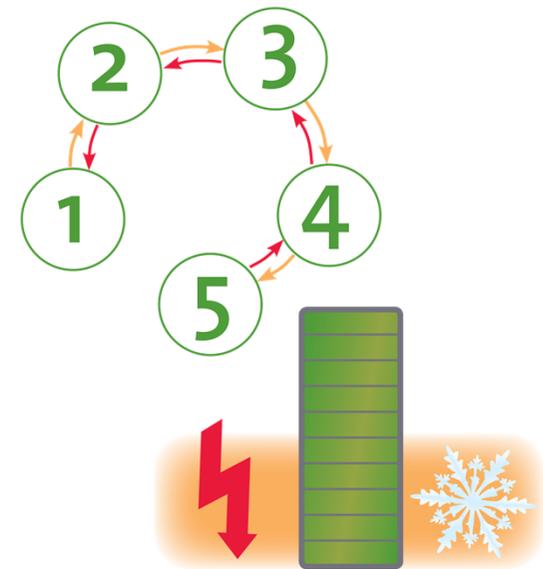
➤ An welchen Stellen sind **Transferschalter** einzusetzen?

3.1 Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt[®]

Praxisbewährter Dienstleistungsprozess

Fünf Schritte zur Optimierungsvariante:

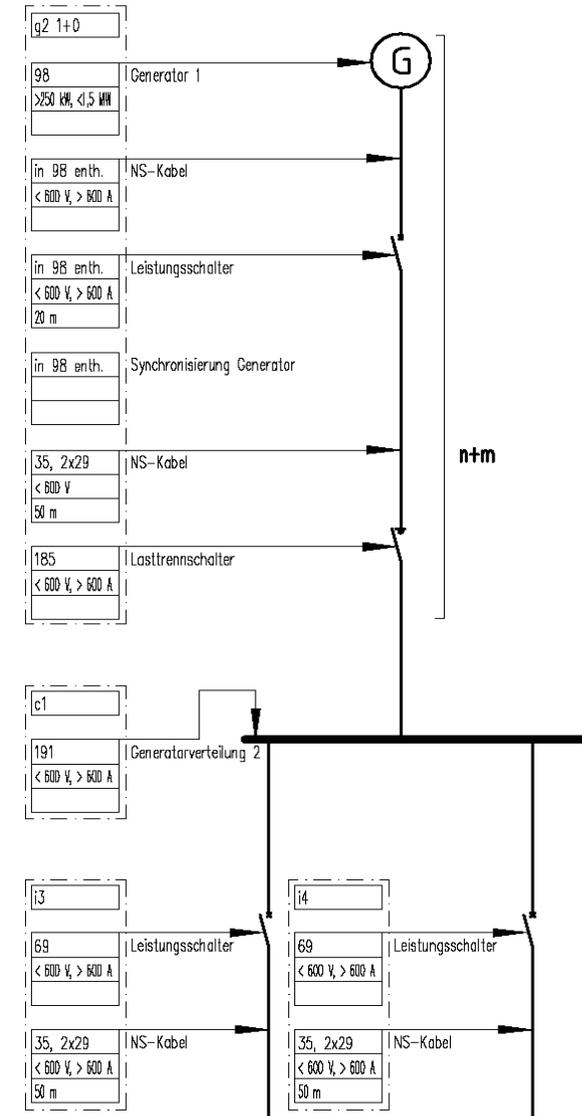
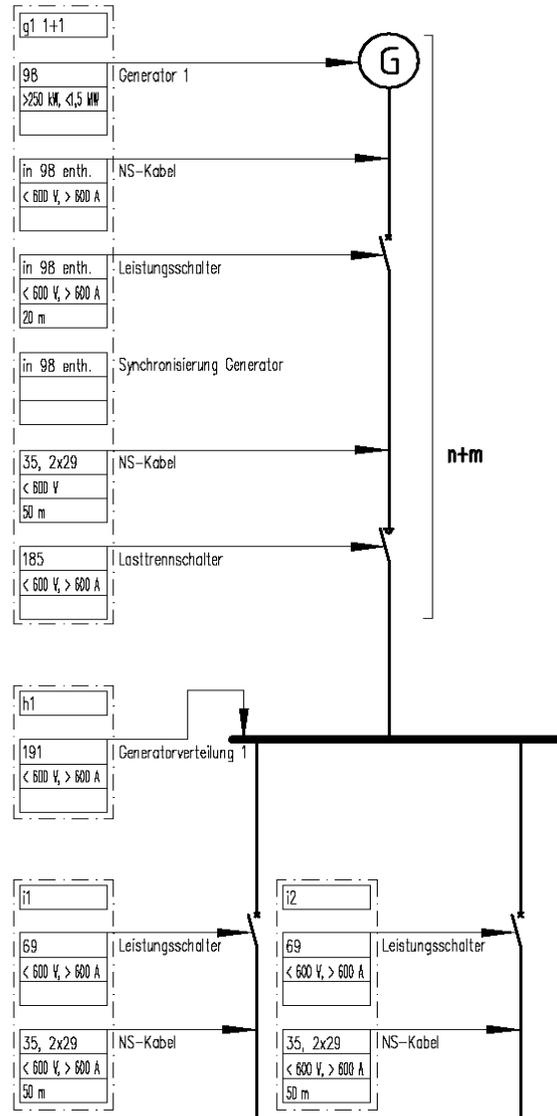
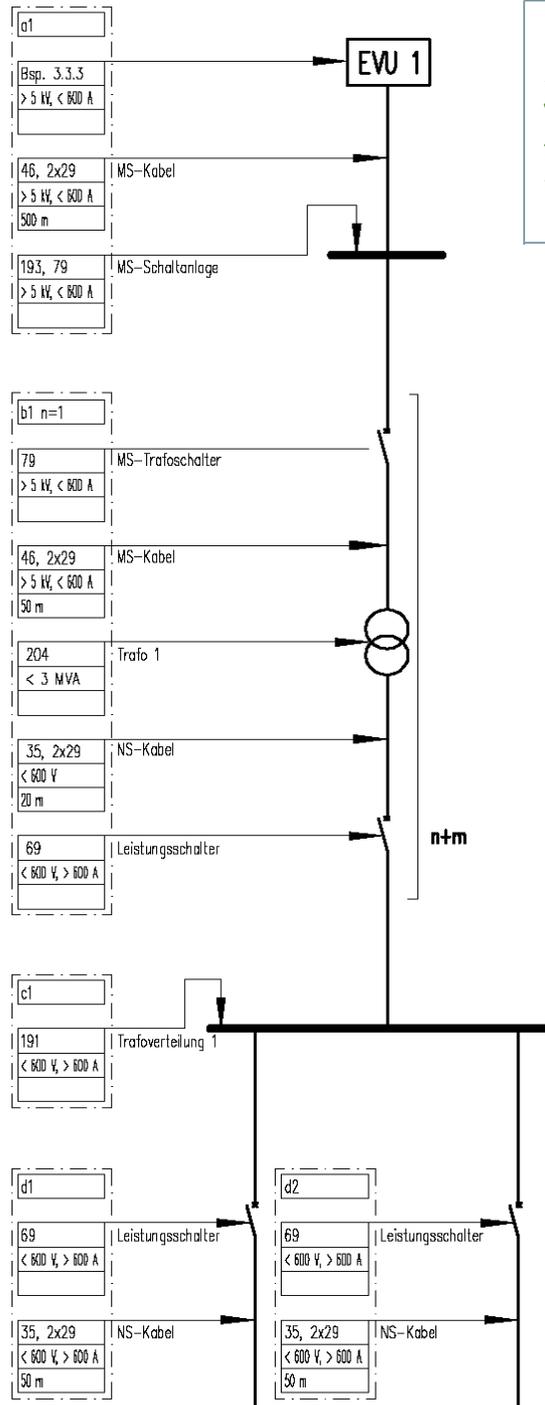
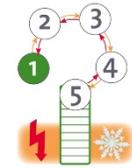
1. **Überführung** der Infrastruktur in ein integrales Zuverlässigkeitsschema
2. **Modellierung** der RZ-Infrastruktur in InfraOpt[®]
3. **Aufbereitung** der Zuverlässigkeitsdaten
4. **Berechnung** Zuverlässigkeit und Verfügbarkeiten
5. **1- und 2-Fehlersimulation** über alle Teilsysteme



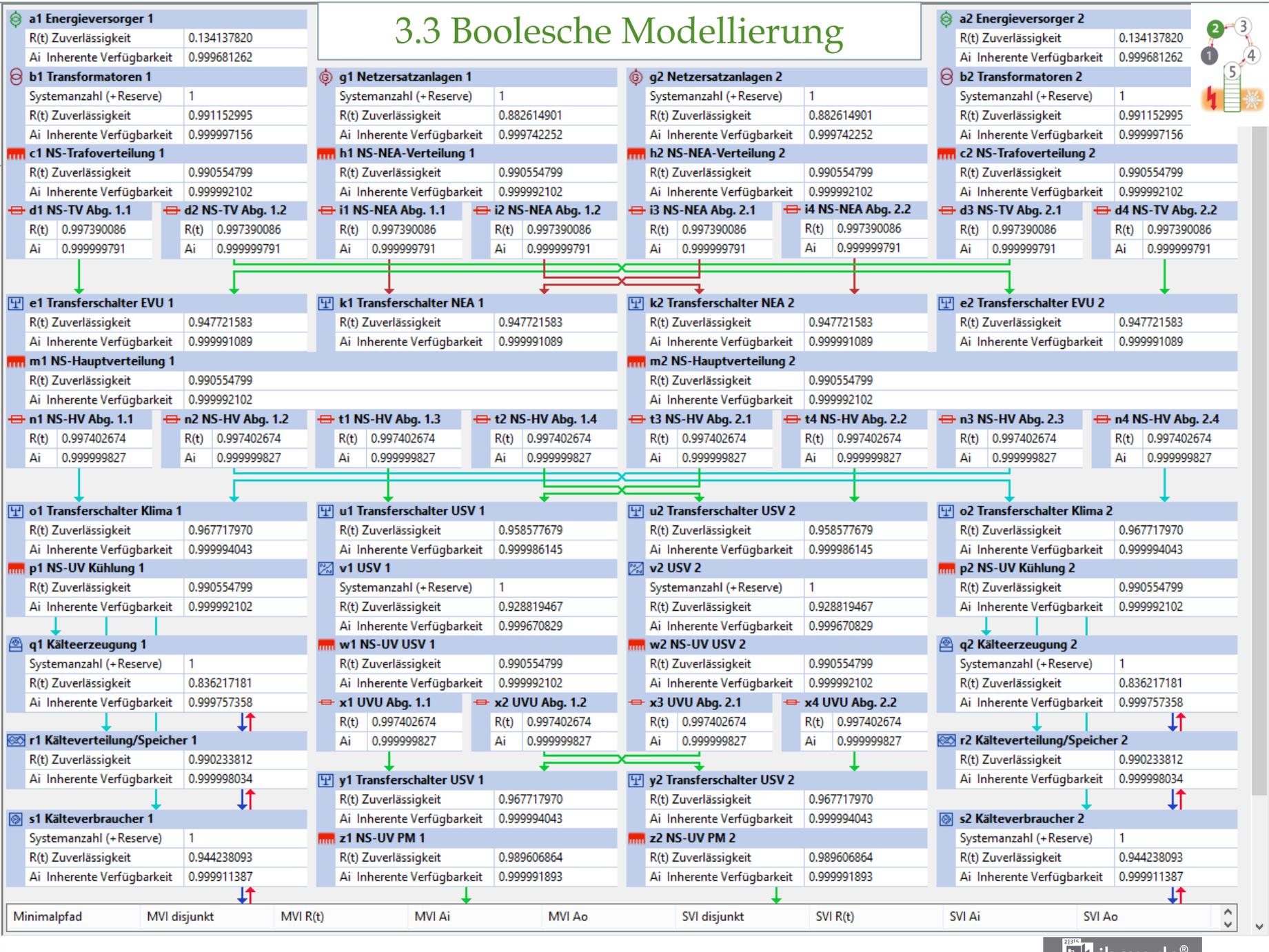
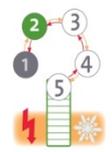
Ziel des Optimierungsprozesses:

Maximierung Verlässlichkeit ↔ **Minimierung Lebenszykluskosten**

3.2 Integrales Verlässlichkeitsschema Elektroenergie- und Kälteversorgung

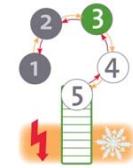


3.3 Boolesche Modellierung



3.4 Aufbereitung der Komponentendaten

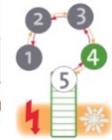
Datenquellen



- **Aufbereiten** aller **Teilsysteme** des Zuverlässigkeitsmodells in InfraOpt[®]
 - 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
- **Verwendung** von **Zuverlässigkeitsdaten** aus folgenden Quellen:
 - Statistische Erhebungen des **Rechenzentrums-Betreibers**
 - Reaktionszeiten bzw. Statistiken von **Lieferanten** oder **Dienstleistern**
 - Zuverlässigkeitsdaten von **Herstellern**
 - Zuverlässigkeitsdaten aus **IEEE Std. 493-2007**

3.5 Teilsysteme

Verlässlichkeit des System - q1 Kälteerzeugung 1



Typ	Quelle	R(t)	Ai	Ao	MTBF	MTTR	MTBM	MDT	Länge /m	Betrieb /h	Anz.
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

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):

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

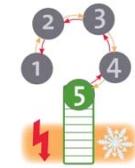
3.6 InfraOpt® Forschungs- und Entwicklungsvorhaben



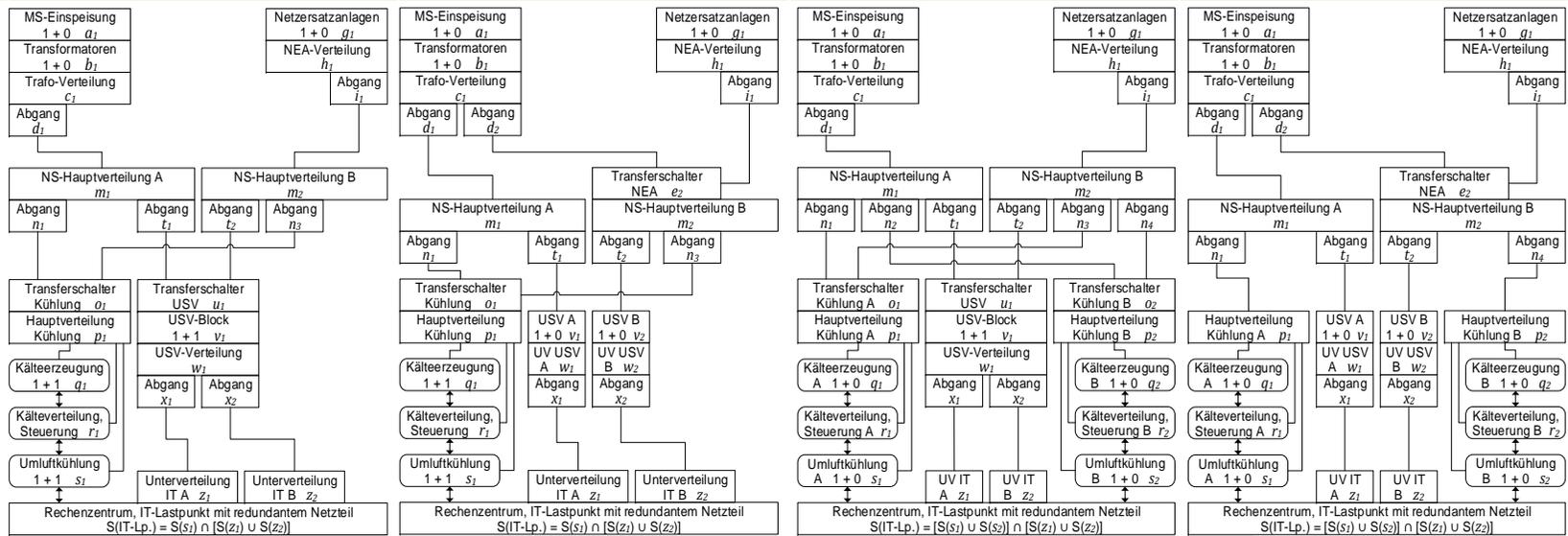
- August 2009 – Dezember 2011: FuE-Vorhaben **InfraOpt®**
 - FuE-Vorhaben für KMU, **Investitionsbank des Landes Brandenburg**
 - Externe Partner: **Technische Universität Berlin, Prof. Strunz**; Universität Potsdam, Prof. Schaub; Associate Prof. C. M. Welzig (USA)
 - Ergebnis: **Dienstleistungsprozess**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

3.7 Variantenvergleich mittels InfraOpt[®]

Ergebnisse der Verlässlichkeitsanalyse

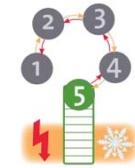


Variante	1: N_E+1 & N_C+1	2: $2N_E$ & N_C+1	3: N_E+1 & $2N_C$	4: $2N_E$ & $2N_C$
N	25	28	32	31
R(t=1a)	0,82629	0,83016	0,83733	0,80050
A_i	0,99996	0,99998	0,99998	0,99999
A_o	0,99261	0,99392	0,99854	0,99982
SPoF	5 von 25	3 von 28	2 von 32	0 von 31
DPoF	146 von 300	165 von 378	120 von 496	139 von 465

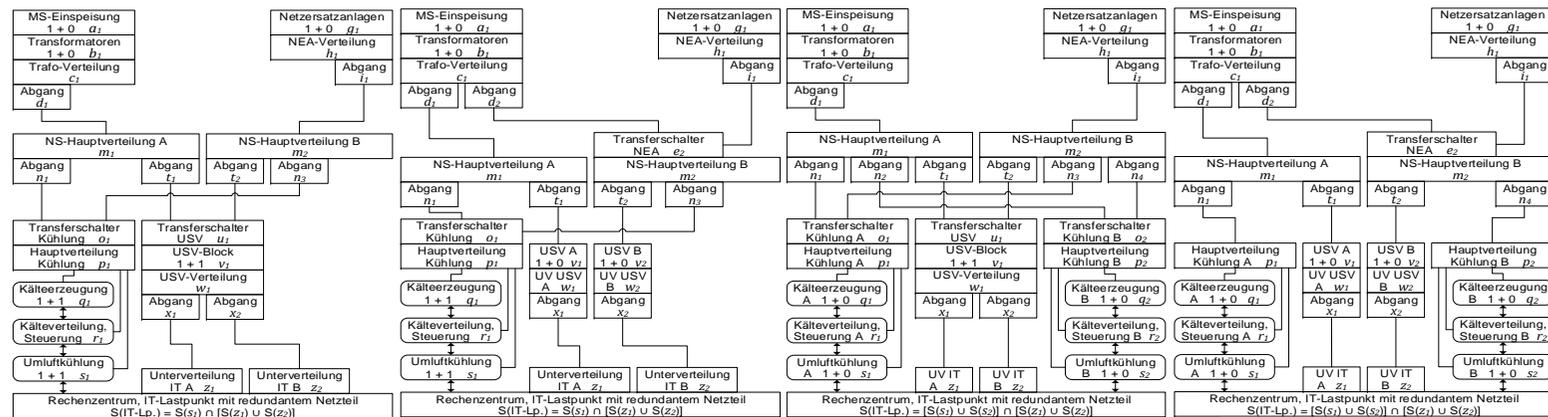


3.8 Variantenvergleich mittels InfraOpt[®]

Kategorien und Verfügbarkeitsklassen

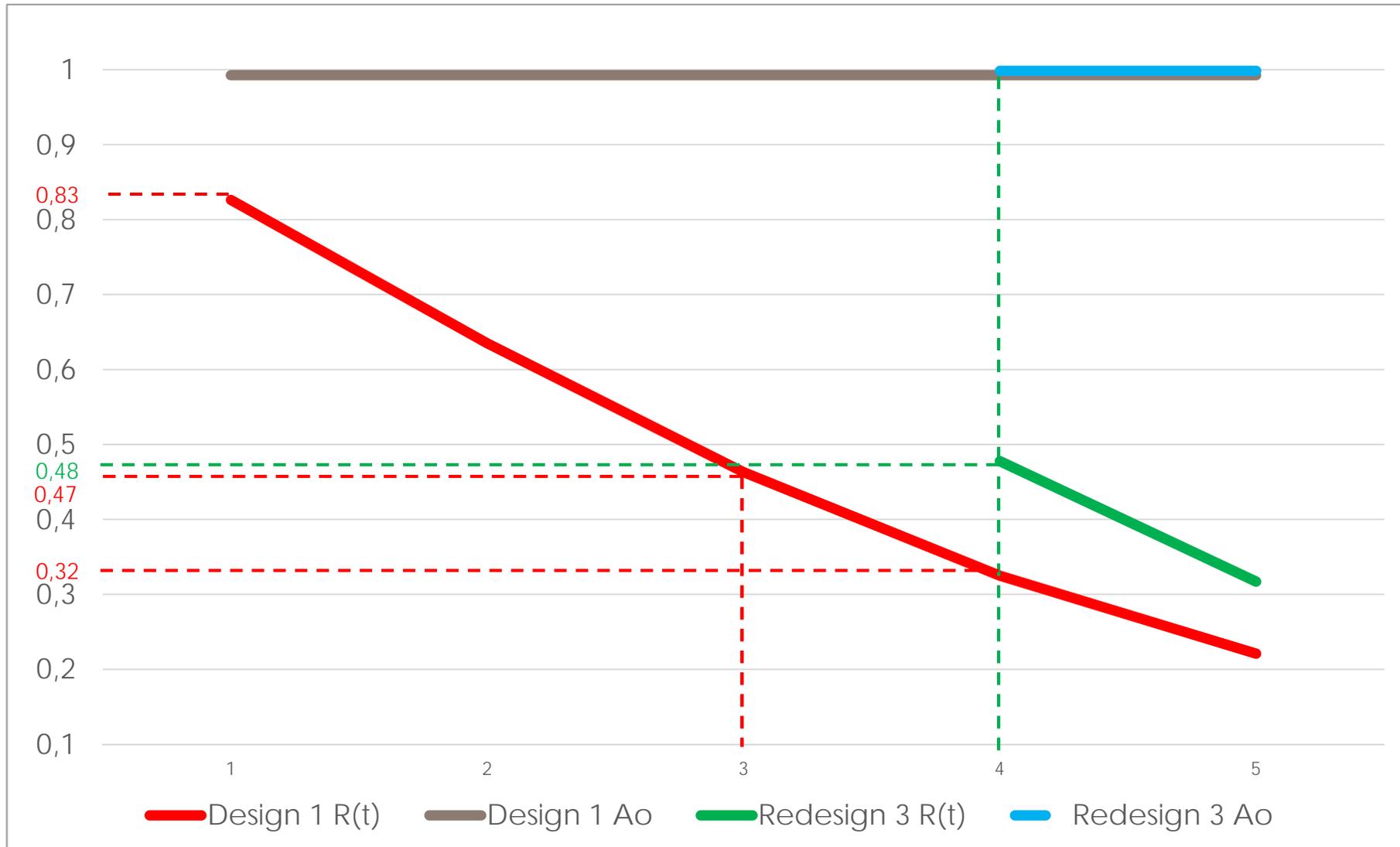
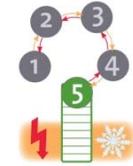


Variante	1	2	3	4
Einteilung A_o	99,261 %	99,392 %	99,854 %	99,982 %
Upt. Institute	< Tier 1	< Tier 1	Tier 2	Tier 3
BITKOM	< Kategorie A	< Kategorie A	~ Kategorie A	~ Kategorie B
BSI	VK 1	VK 1	~ VK 2	~ VK 3
Redundanz	N_E+1 & N_C+1	$2N_E$ & N_C+1	N_E+1 & $2N_C$	$2N_E$ & $2N_C$
Upt. Institute	Tier 2	Tier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

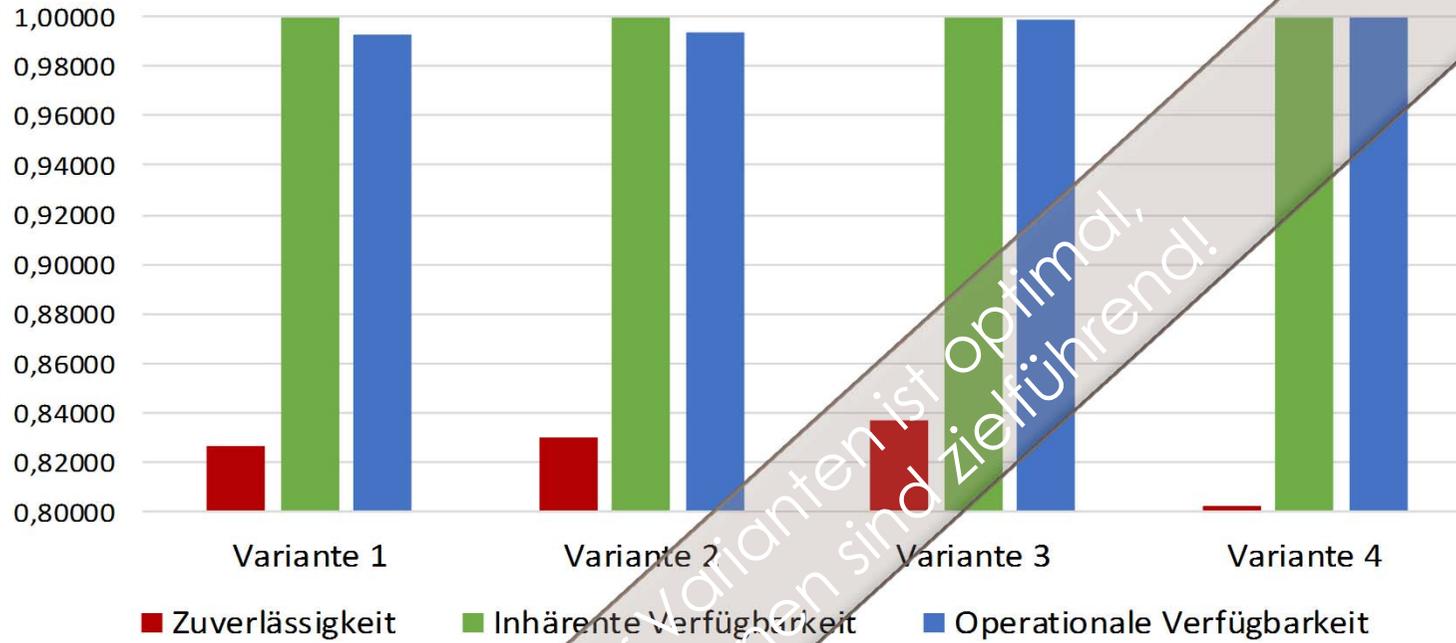


3.9 Zuverlässigkeit und Operationale Verfügbarkeit

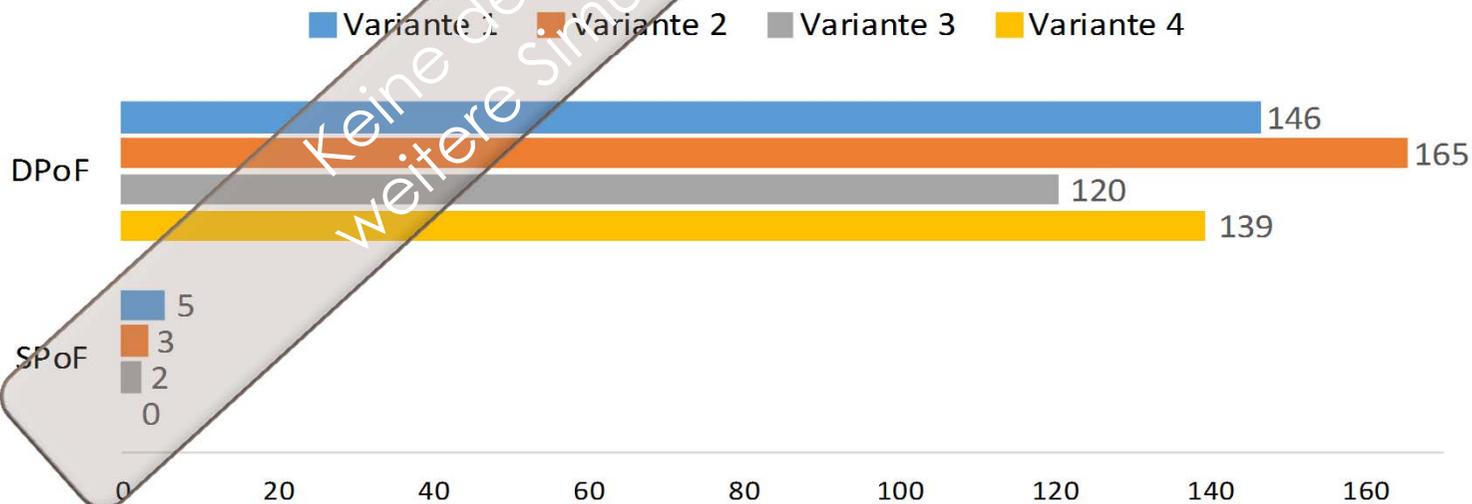
Design 1: R(1...5 Jahre) Design 3: R(4...5 Jahre)



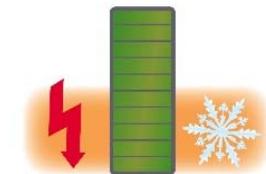
Verfügbarkeitsanalyse



Fehleranalyse

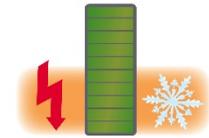


Keine der vier Varianten ist optimal, weitere Simulationen sind zielführend!



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.**

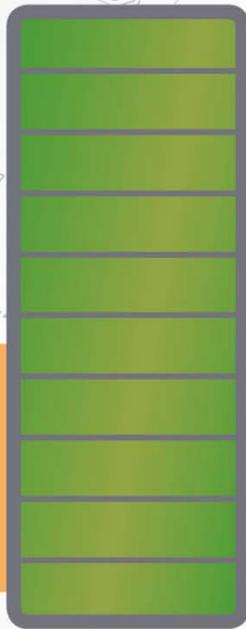
Dipl.-Ing. Uwe Müller
Geschäftsführender Gesellschafter



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

TABLE OF COMPONENTS TO SUBSYSTEMS

Item No. [6] (Dimension)	Rd.	R(<i>t</i> =1y)
17) 46	N.A.	0.134137820
29) 2		0.991152985
39) No		0.991152985



InfraOpt[®]