

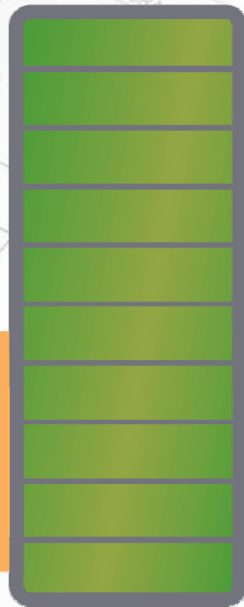
Power Building / DataCenter Convention

München, 29. Oktober 2015

Verlässlichkeitsanalyse und EN 50600

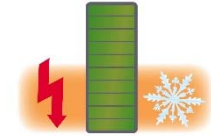
Dipl.-Ing. Uwe Müller

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



InfraOpt[®]

Fundamentale Fragen zur Planung/ Ertüchtigung von Rechenzentren ...

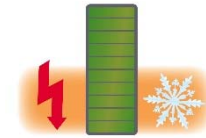


- Welche **Verfügbarkeit** hat ein konkretes Design?
- Wie viele **Single Points of Failure** sind systeminhärent?
- Spielt die Anzahl der **Double Points of Failure** eine Rolle?
- Welchen Einfluss hat die **Alterung** der Systeme?
- Wie performen **alternative Varianten** im direkten Vergleich?
- Sind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

... **Antworten** durch **Verlässlichkeitsanalyse** mit **InfraOpt[®]**.

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



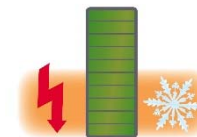
| BSI | VK 0 | VK 1 | VK 2 | VK 3 | VK 4 | VK 5 |
|------------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| Ausfallzeit /Jahr | ca. 2-3 Wo. | < 90 Std. | < 9 Std. | < 1 Std. | ca. 5 min. | - |
| Anforderung 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.

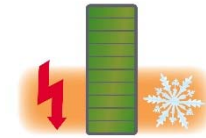


| Verfügbarkeits-Klasse | VK 1 | VK 2 | VK 3 | VK 4 | VK 4 erweitert |
|---|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------|
| Verfügbarkeit | niedrig | mittel | hoch | sehr hoch | |
| DIN EN 50600-2-2 Stromversorgung | 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 Variantenvergleich von Redundanzkonzepten

Aufgabenstellung und Variante 1



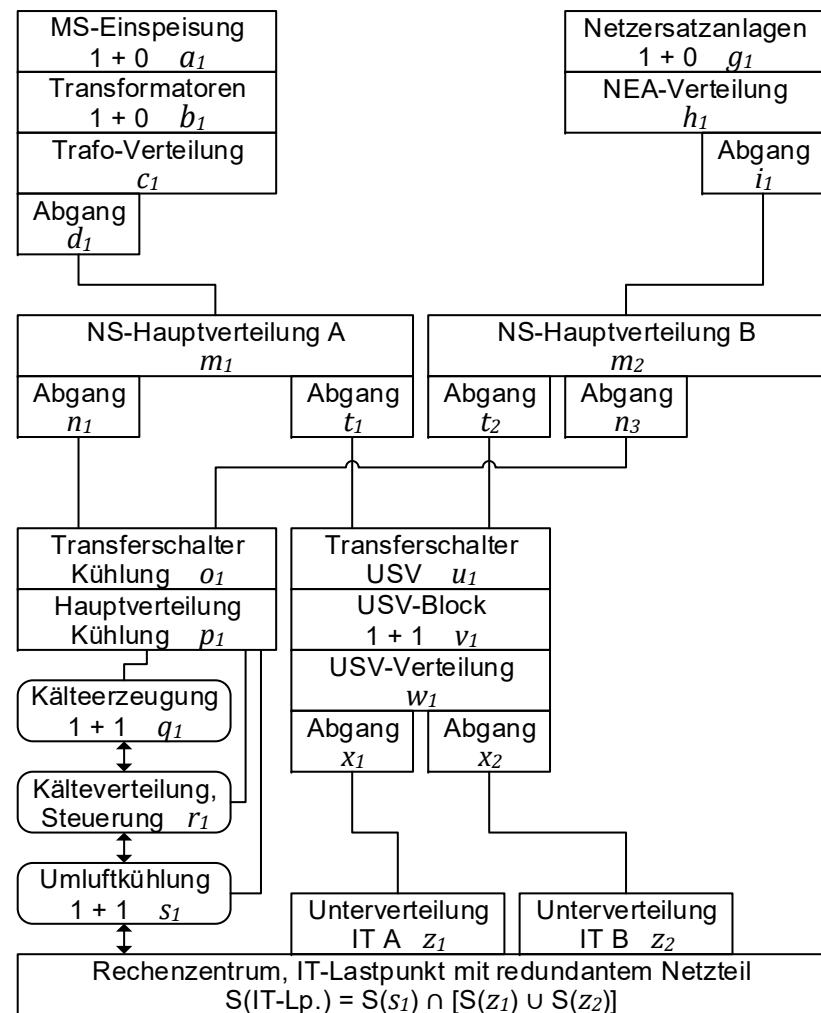
Vergleiche vier Varianten bezüglich EN 50600 ff:

- 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**:

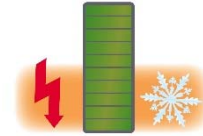
- Zuverlässigkeit $R(t=1 \text{ Jahr})$
- Inhärente Verfügbarkeit A_i
- Operationale Verfügbarkeit A_o
- 1-Fehlertoleranz **SPoF**
- 2-Fehlertoleranz **DPoF**

Variante 1: N_E+1 & N_C+1

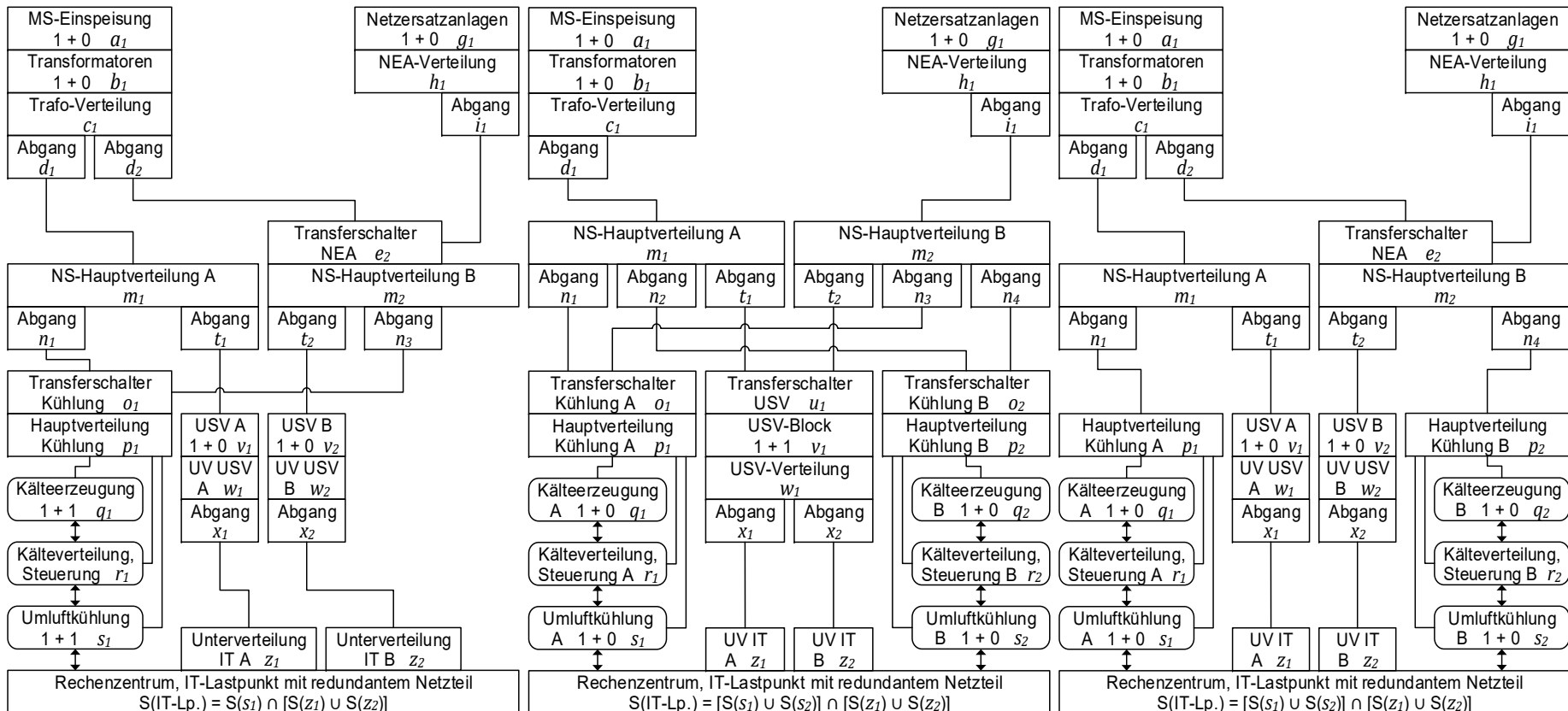


2.2 Variantenvergleich von Redundanzkonzepten

Varianten 2 bis 4



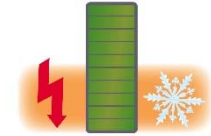
Variante 2: $2N_E$ & N_C+1 Variante 3: N_E+1 & $2N_C$ Variante 4: $2N_E$ & $2N_C$



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

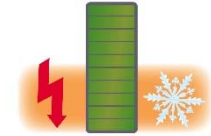
2.3 Variantenvergleich von Redundanzkonzepten

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

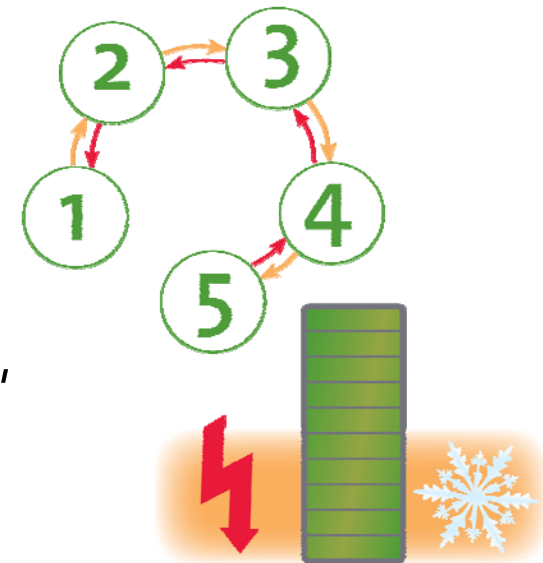
➤ Welche **inhärenten Redundanzen** sind notwendig?

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

3.1 Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt®

Praxisbewährter Dienstleistungsprozess in fünf Schritten

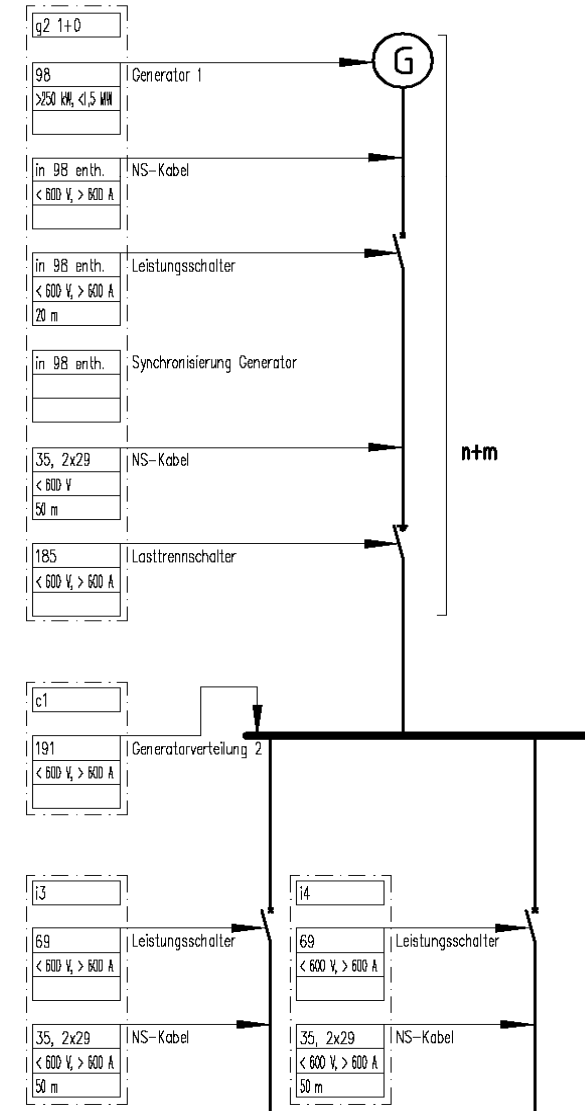
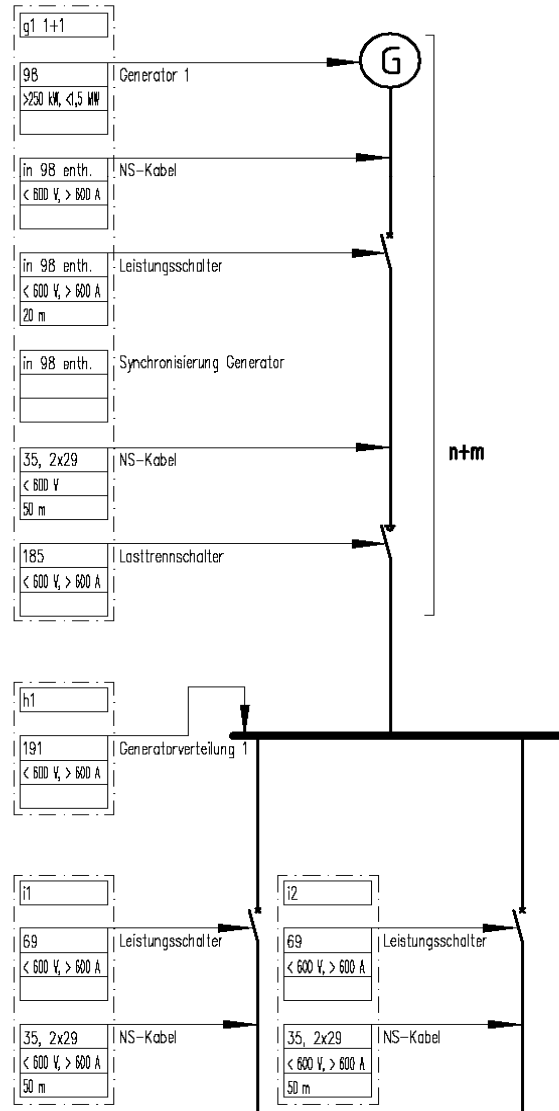
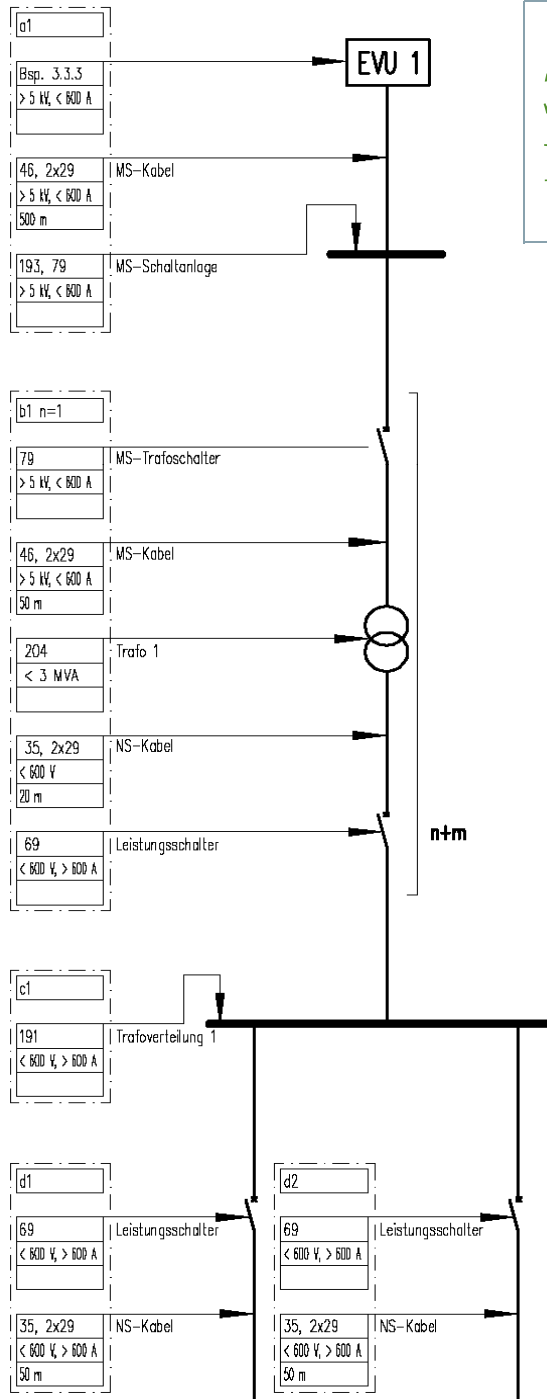
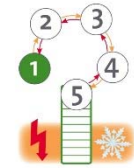
- 1. Überführung** d. Infrastruktur ein **integrales Verlässlichkeitsschema**
Bestand: ca. 15 MT, Neuplanung: ca. 7 MT
- 2. Modellierung** der Infrastruktur in **InfraOpt®**
ca. 7 MT
- 3. Aufbereitung** der **Zuverlässigkeitsdaten**
ca. 7 MT
- 4. Zuverlässigkeits-, Verfügbarkeitsberechnung, 1- und 2-Fehlersimulation,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



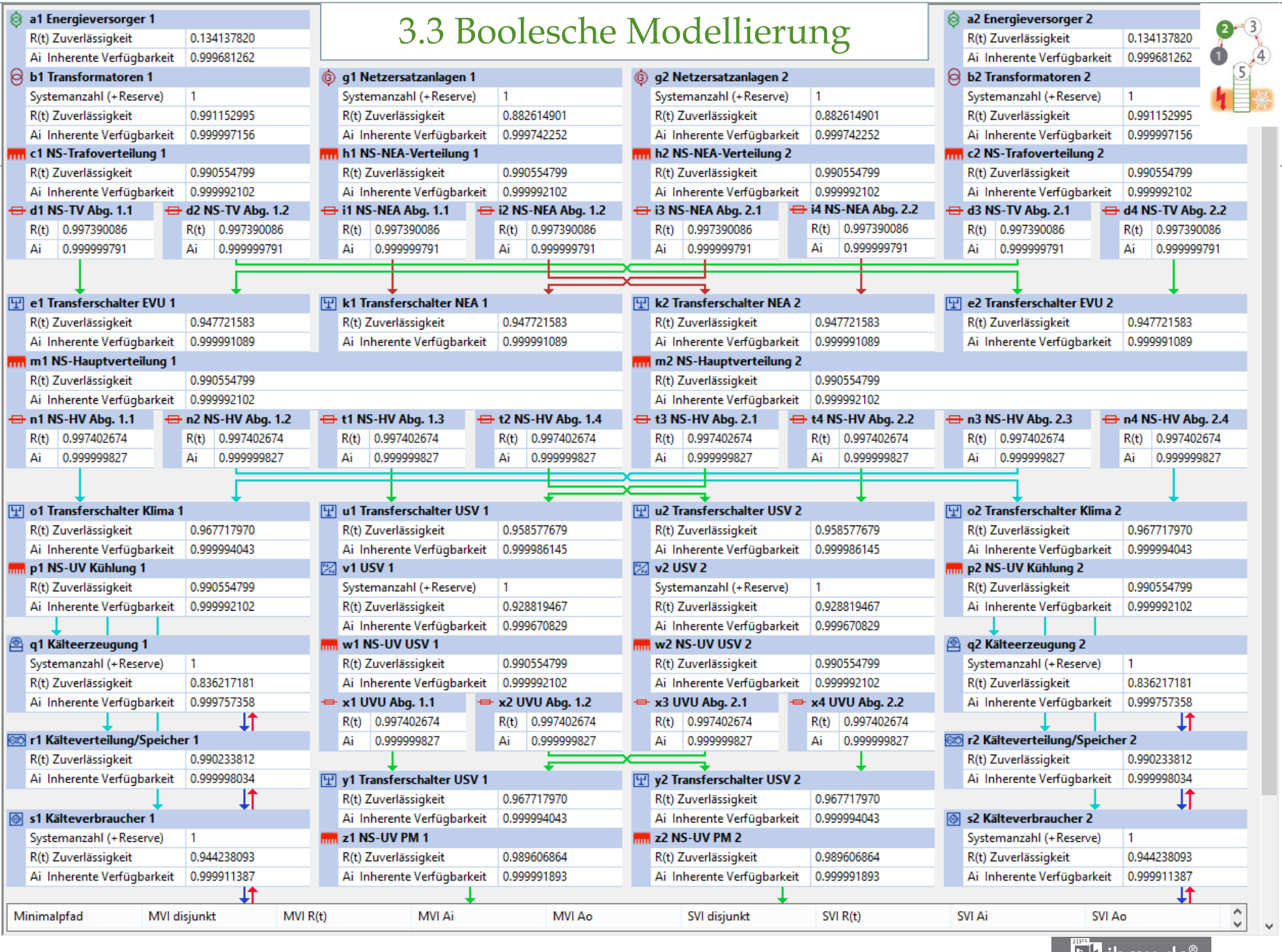
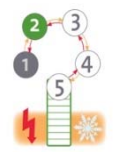
Ziel der **Optimierung**:

Maximierung Verlässlichkeit ↔ **Minimierung Lebenszykluskosten**

3.2 Integrales Verlässlichkeitsschema Elektroenergie- und Kälteversorgung

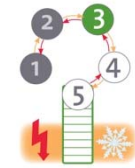


3.3 Boolesche Modellierung



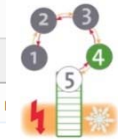
3.4 Aufbereitung der Komponentendaten

Datenquellen



- **Aufbereiten** der **Teilsysteme** des Modells 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**

Verlässlichkeit des System - q1 Kälteerzeugung 1



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 |

3.5 Teilsystem mit Komponenten

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:

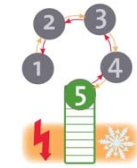
Manuelle Dateneingabe:

Systemfunktion

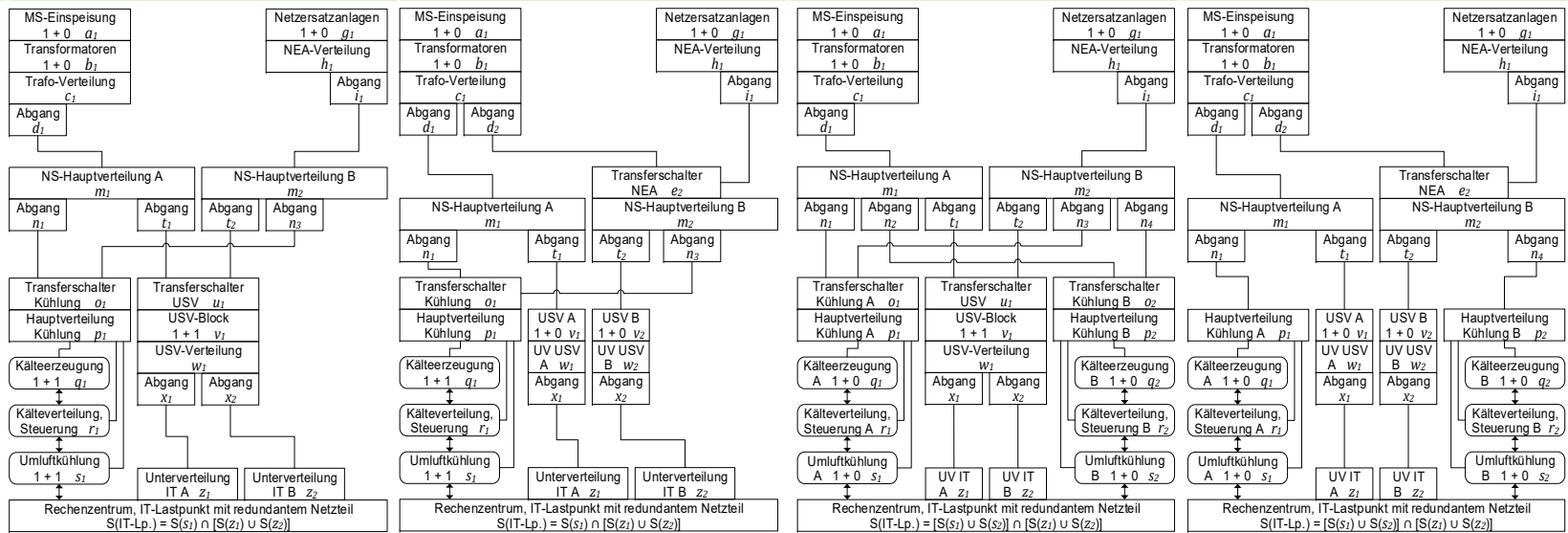
Normalbetrieb
 abgeschaltet und inaktiv
 entfernt und überbrückt

3.6 Variantenvergleich mittels InfraOpt[®]

Ergebnisse der Verlässlichkeitsanalyse

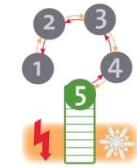


| Variante | 1: N_E+1 & N_C+1 | 2: $2N_E$ & N_C+1 | 3: N_E+1 & $2N_C$ | 4: $2N_E$ & $2N_C$ |
|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| N | 25 | 28 | 32 | 31 |
| R(t=1a) | 0,82629 | 0,83016 | 0,83733 | 0,80050 |
| A_i | 0,99996 | 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 |

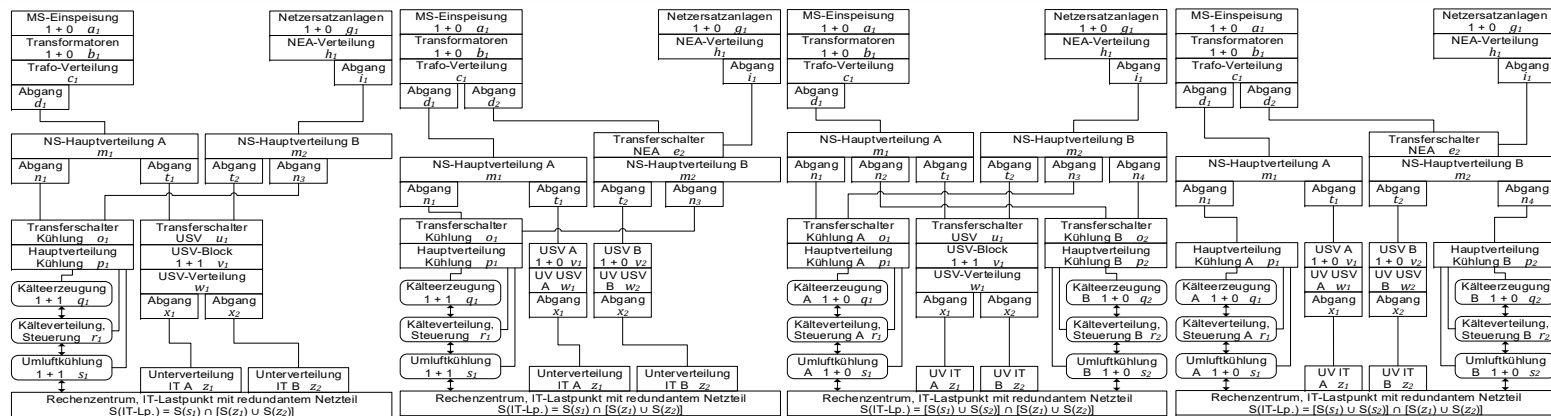


3.7 Variantenvergleich mittels InfraOpt[®]

Kategorien und Verfügbarkeitsklassen

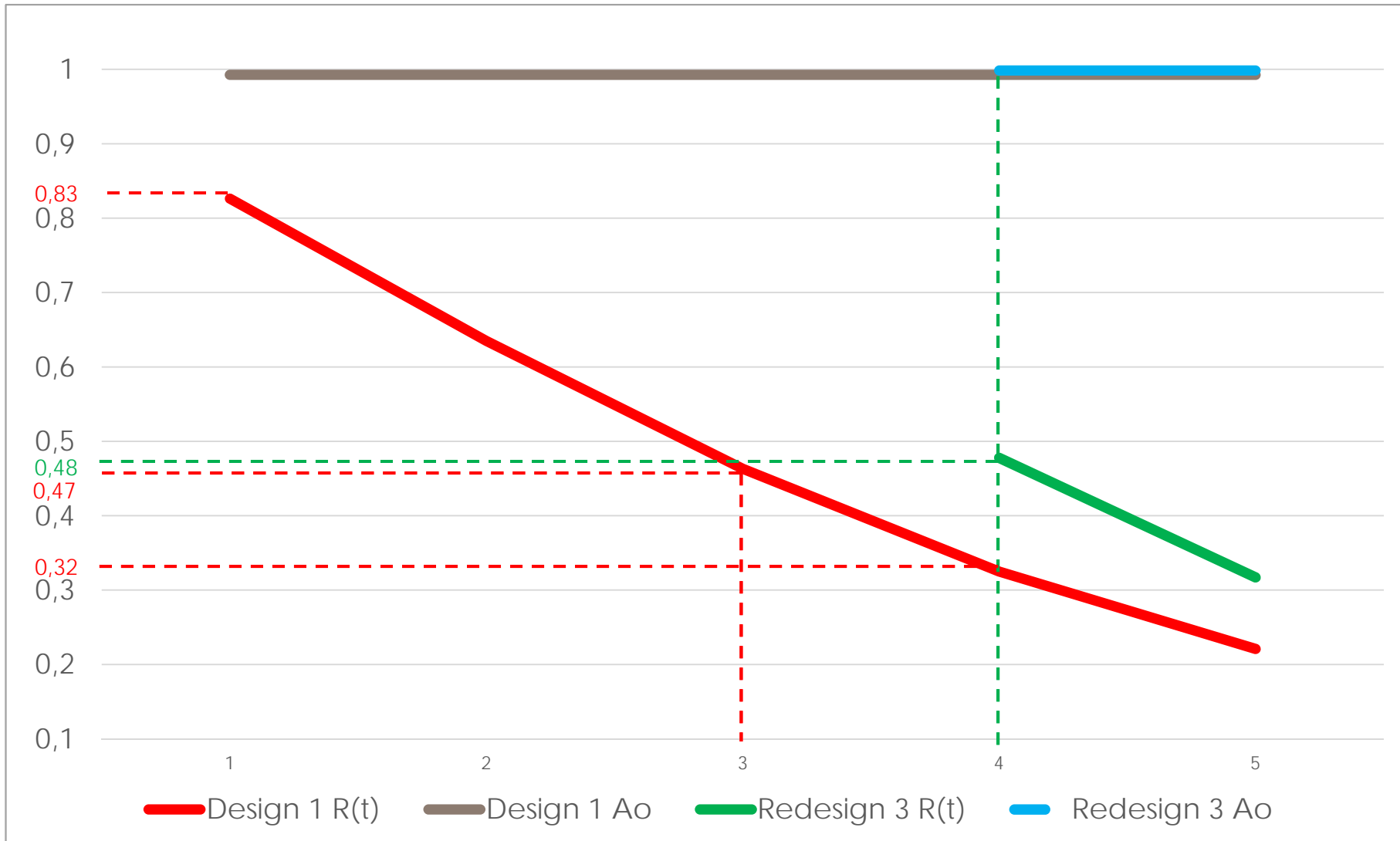
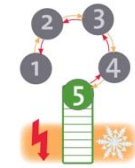


| Variante | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Einteilung A_o | 99,261 % | 99,392 % | 99,854 % | 99,982 % |
| Upt. Institute | < Tier 1 | < Tier 1 | Tier 2 | Tier 3 |
| BITKOM | < Kategorie A | < Kategorie A | ~ Kategorie 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 |

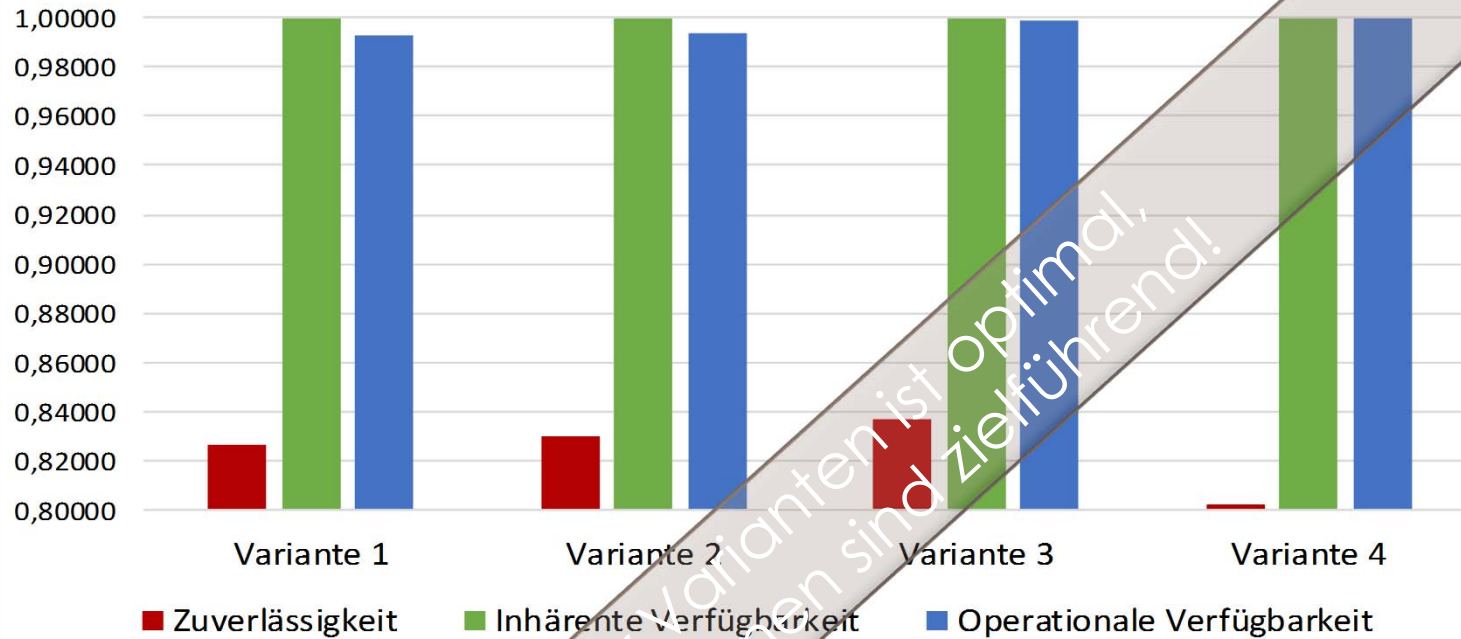


3.8 Zuverlässigkeit und Operationale Verfügbarkeit

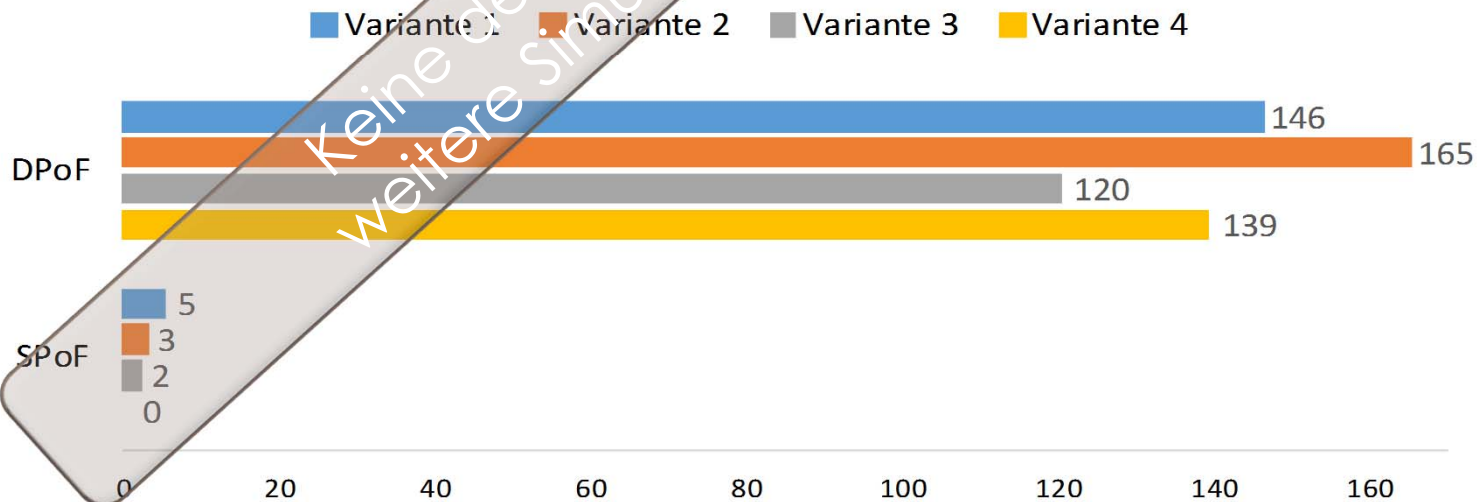
Design 1: R(1...5 Jahre) Design 3: R(4...5 Jahre)



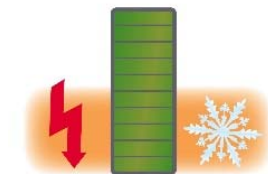
Verfügbarkeitsanalyse



Fehleranalyse

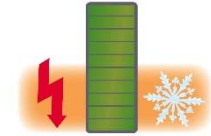


Keine der vier Varianten ist optimal,
weitere Simulationen sind zielführend!



4 **Verlässlichkeitsanalyse** im Normen-Kontext

Zusammenfassung



Die Methodik zur **RZ-Infrastruktur-Optimierung** 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 **Variantenvergleich**
 - **Identifizieren** von **Schwachstellen** (strukturell, Komponenten)
 - Vergleich von **Komponenten** mit unterschiedlichen **MTBF** bzw. **MTTR**
 - Validierung von **Service-Level-Agreements**
 - Abgleich von **Wartungs-** und **Serviceplänen**
- Fortlaufende **Zuverlässigkeitsbewertung** im Rahmen eines Informationssicherheits-Managementsystems nach DIN ISO 27001

- 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)

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit.**

Dipl.-Ing. Uwe Müller
Geschäftsführender Gesellschafter

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

