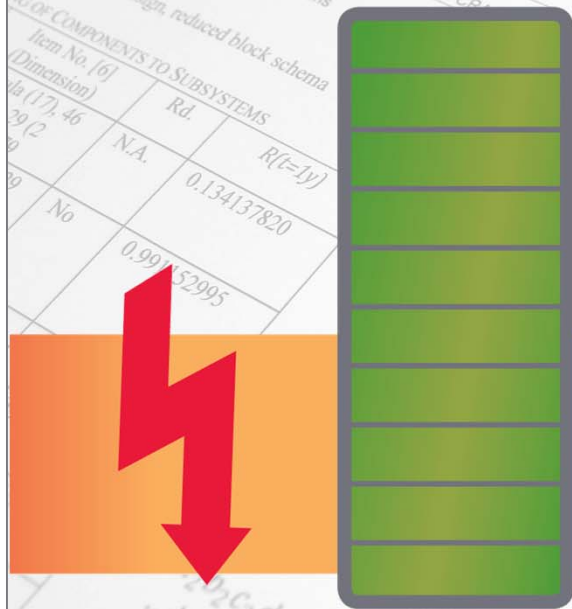


Verlässlichkeitsanalyse – Methodik zur Rechenzentrums- Infrastrukturoptimierung

Dipl.-Ing. Uwe Müller

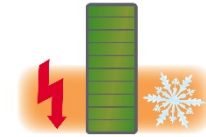
ibmu.de[®] Ingenieurgesellschaft für technische
Beratung, Medien und Systeme mbH



InfraOpt[®]

Power Building & Data Center Convention

23. und 24. Oktober 2014 - München



1. Rechenzentrums-Versorgungsinfrastruktur

- Rechenzentrums-Klassifikationen und -Kategorien
- Verfügbarkeit, Alterung und Fehlerfall

2. Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt[®]

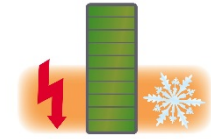
- Verlässlichkeit: Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Fehlertoleranz
- Ursprung und Verfahren

3. InfraOpt[®] Softwareanwendung und Dienstleistungsprozess

- Variantenanalyse verschiedener Designs am Beispiel

4. Interpretation und Anwendungsfeld der Verlässlichkeitsanalyse

1.1 Rechenzentrums-Versorgungsinfrastruktur



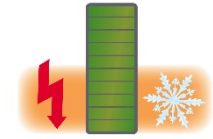
Die Rechenzentrums-Versorgungsinfrastruktur umfasst alle zur Aufrechterhaltung des Rechenzentrumsbetriebes **notwendigen Hilfsdienste**:

- **Elektroenergieversorgung**
 - Erzeugung, Übertragung und Verteilung
 - Microgrid
- **Kälteversorgung (Umgebungs-Steuerung)**
 - Erzeugung, Übertragung und Verteilung

Elektroenergieversorgung und **Kälteversorgung** der IT sind unabdingbar, wobei die Kälteversorgung von der Elektroenergieversorgung abhängig ist.

Planung und Betrieb der RZ-Infrastruktur als **Optimierungsaufgabe**:
Maximum(Verlässlichkeit) bei **Minimum**(Lebenszykluskosten)

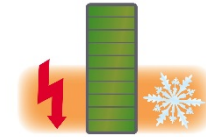
1.2 Tier Klassifikation - Uptime Institut



	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 Yrs.	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 Institut, 2008, White Paper, „Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance“, Page 14

1.3 BSI Verfügbarkeitsklassen, BITKOM RZ Kategorie

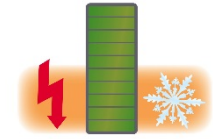


BSI Verfbk.-Kl.	VK 0	VK 1	VK 2	VK 3	VK 4	VK 5
Ausfallzeit /Jahr	ca. 2-3 Wo.	< 90 Std.	< 9 Std.	< 1 Std,	ca. 5 min.	-
Bezeichnung	Keine Anforderg.	normale Verfbgkt.	hohe Verfbgkt.	sehr hohe Verfbgkt.	höchste Verfbgkt.	disaster-Tolerant
→ Verfügbarkt.	ca. 95 %	> 98,97 %	> 99,90 %	> 99,99 %	> 99,999 %	(100 %)

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 Betankng.
Klimatisierung	Redundanz opt. bzw. notw.	Redundanz notwendig	Redundanz notwendig	Komplette Redundanz
→ Verfügbarkeit	99,86 %	99,99 %	99,998 %	99,9998 %

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

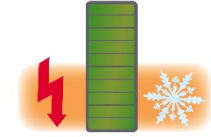
1.4 DIN EN 50600 ff.



Verf.-Klasse	VK 1	VK 2	VK 3	VK 4	VK 4 erw.
Verfügbarkeit	niedrig	mittel	hoch	sehr hoch	
DIN EN 50600-2-2 Stromversorgung	keine Redundanz	Komponenten Redundanz	Instandsetzung im lfd. Betrieb	Fehlertoleranz (Transferschalter)	
Versorgungs- pfade	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 Aus- fallsicherheit	Komponenten Redundanz	Instandsetzung im laufenden Betrieb	
Versorgungs- pfade	-	Einer N	Einer N+1	Einer N+1	Mehrere 2N

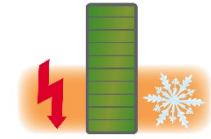
Quelle (Auszug): DIN EN 50600-1 2013, DIN EN 50600-2-2 2014, DIN EN 50600-2-3 Entwurf

1.5 Verfügbarkeit, Alterung und Fehlerfall



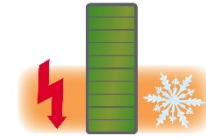
- Auf **welche Verfügbarkeit** beziehen sich die Normen, auf die **inhärente** oder **operationale**?
- Welche Rolle spielt die **Alterung** von Systemen/Komponenten?
- Wurde das Verhalten im **1-Fehlerfall** vollständig betrachtet?
- Ist das Verhalten im **2-Fehlerfall** von Bedeutung?
- Wurde das Rechenzentrums-Design **numerisch validiert**?
- Erfolgte die Optimierung von RZ-Infrastrukturdesigns hinsichtlich **Effizienz**, **Kosten** etc. unter **Prüfung** der Auswirkungen auf die **Verlässlichkeit**?
- Ist ein **Vergleich** von **Designvarianten** ohne **Gegenüberstellung** der **Verlässlichkeiten** der Infrastrukturdesigns überhaupt belastbar?

2.1 Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt®



- **Zuverlässigkeit** (Reliability): $R(t) = e^{-1/MTBF * t}$ als Wahrscheinlichkeitsmaß
 - Strukturdesign (Tier bzw. Kategorie), Redundanzen ($x*N$, $y*M$)
 - Komponenten (MTBF), Betriebsdauer etc.
- **Inhärente Verfügbarkeit:** $A_i = MTBF / (MTBF + MTTR)$
 - **MTBF:** Mittlere Zeit zwischen zwei (Anlagen-)Fehlern
 - **MTTR:** Mittlere Zeit zur Reparatur
 - Berücksichtigt keine Fehler durch menschliches Fehlverhalten
- **Operationale Verfügbarkeit:** $A_o = MTBM / (MTBM + MDT)$
 - **MTBM:** Mittlere Zeit zwischen zwei Instandsetzungen
 - **MDT:** Mittlere Zeit der Nichtverfügbarkeit
- Analyse des **Verhaltens** bei **geplanten** oder **nicht geplanten Ereignissen**
 - Prüfung des Systemerfolgs bei allen „**Single Points of Failure**“ (SPoF)
 - Prüfung des Systemerfolgs bei allen „**Double Points of Failure**“ (DPoF)

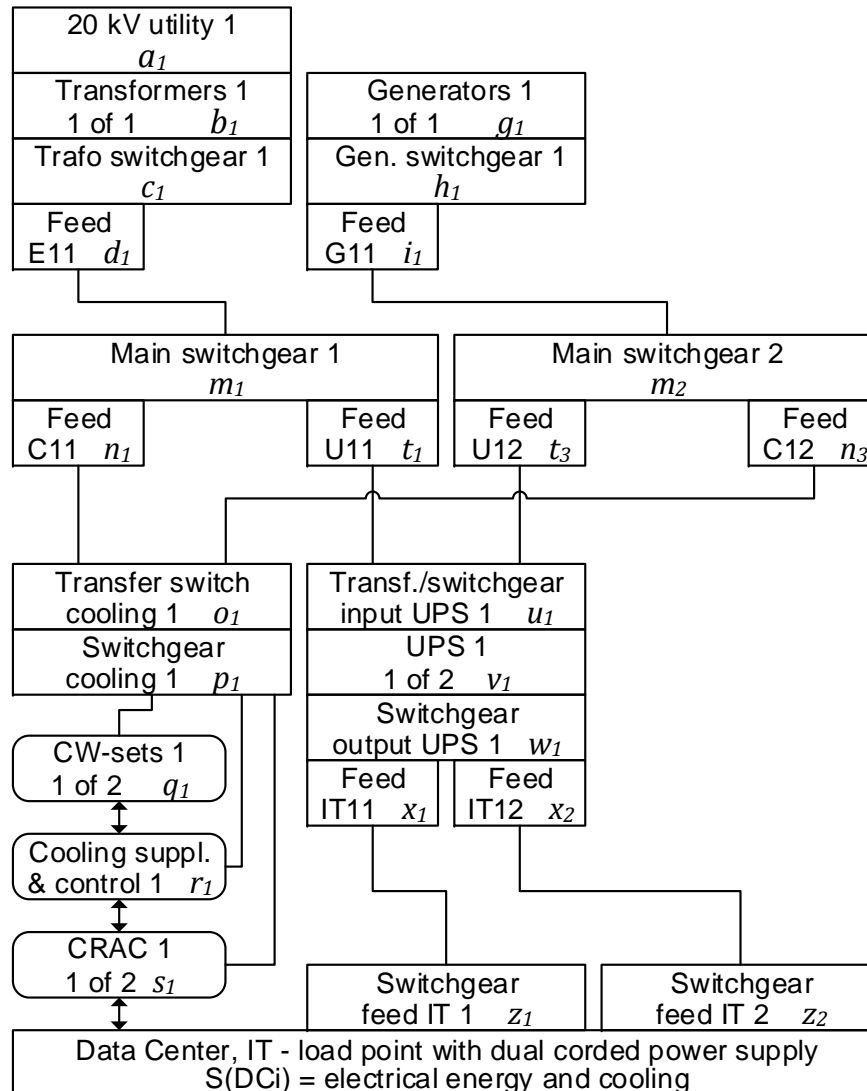
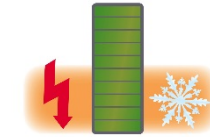
2.2 InfraOpt® Forschungs- und Entwicklungsvorhaben



- 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"
 - ...
- Juni 2014 – Mai 2016 : FuE-Vorhaben **InfraOpt® REALTIME**
 - FuE-Vorhaben für KMU, **Investitionsbank des Landes Brandenburg**
 - **Technische Universität Berlin, Prof. Strunz**; Associate Prof. C. M. Welzig (USA)



2.3 Praxisbeispiel - Aufgabenstellung



Optimiere die Verlässlichkeit der RZ-Versorgungsinfrastruktur

Analysiere:

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

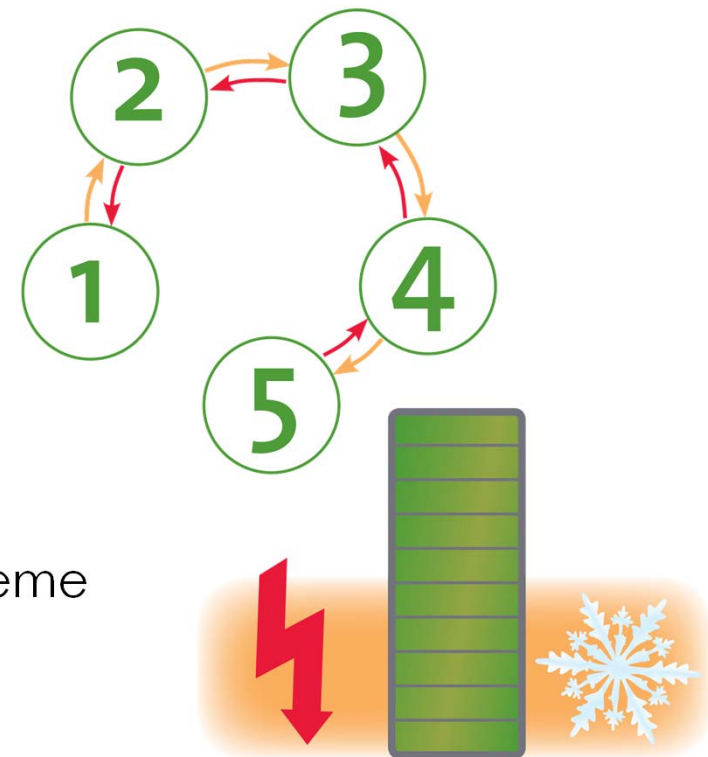
Variantenvergleich:

- Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit
- Minimiere 1- Fehlerquellen **SPoF**
- Minimiere Investitionskosten

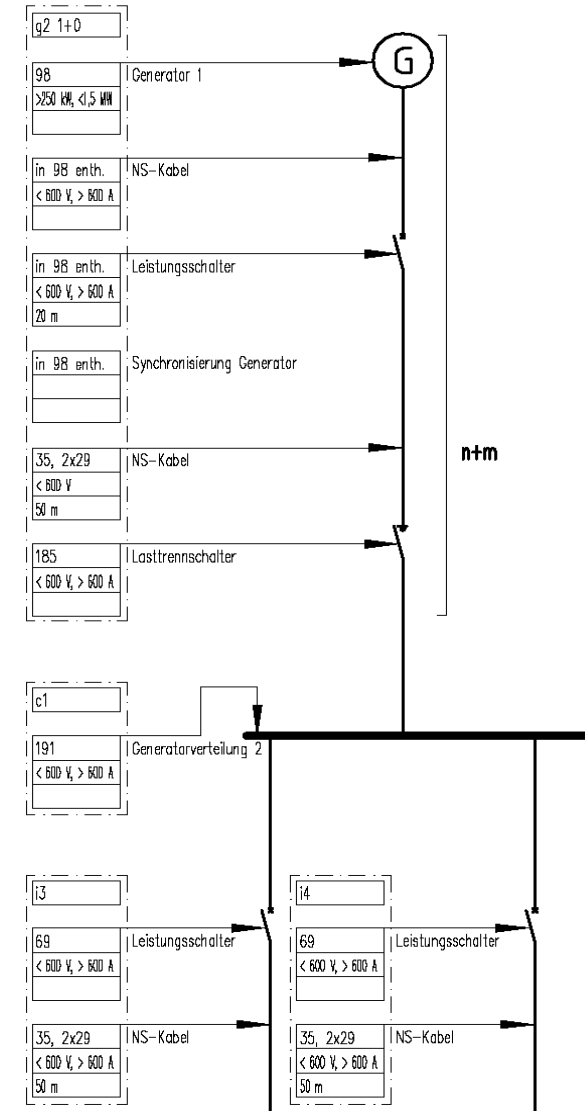
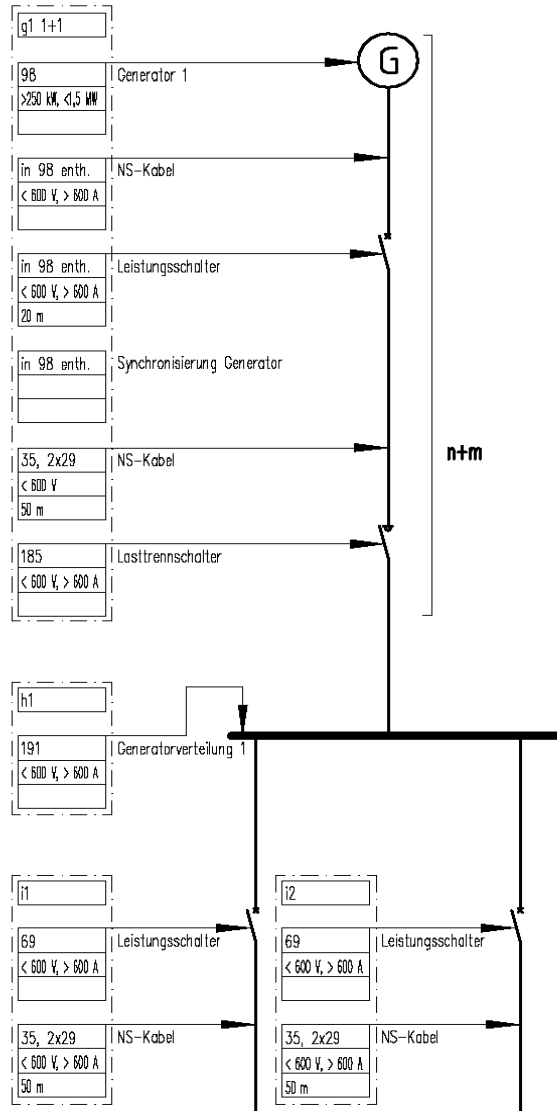
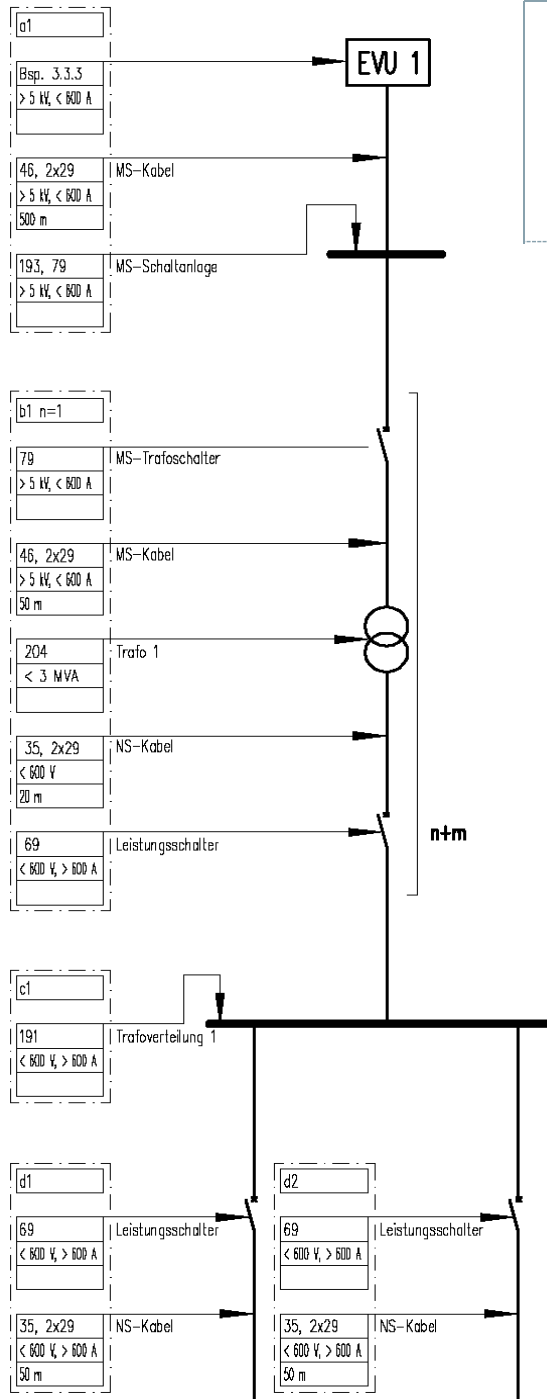
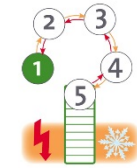
2.4 InfraOpt[®] –Dienstleistungsprozess

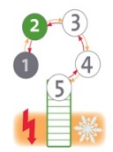
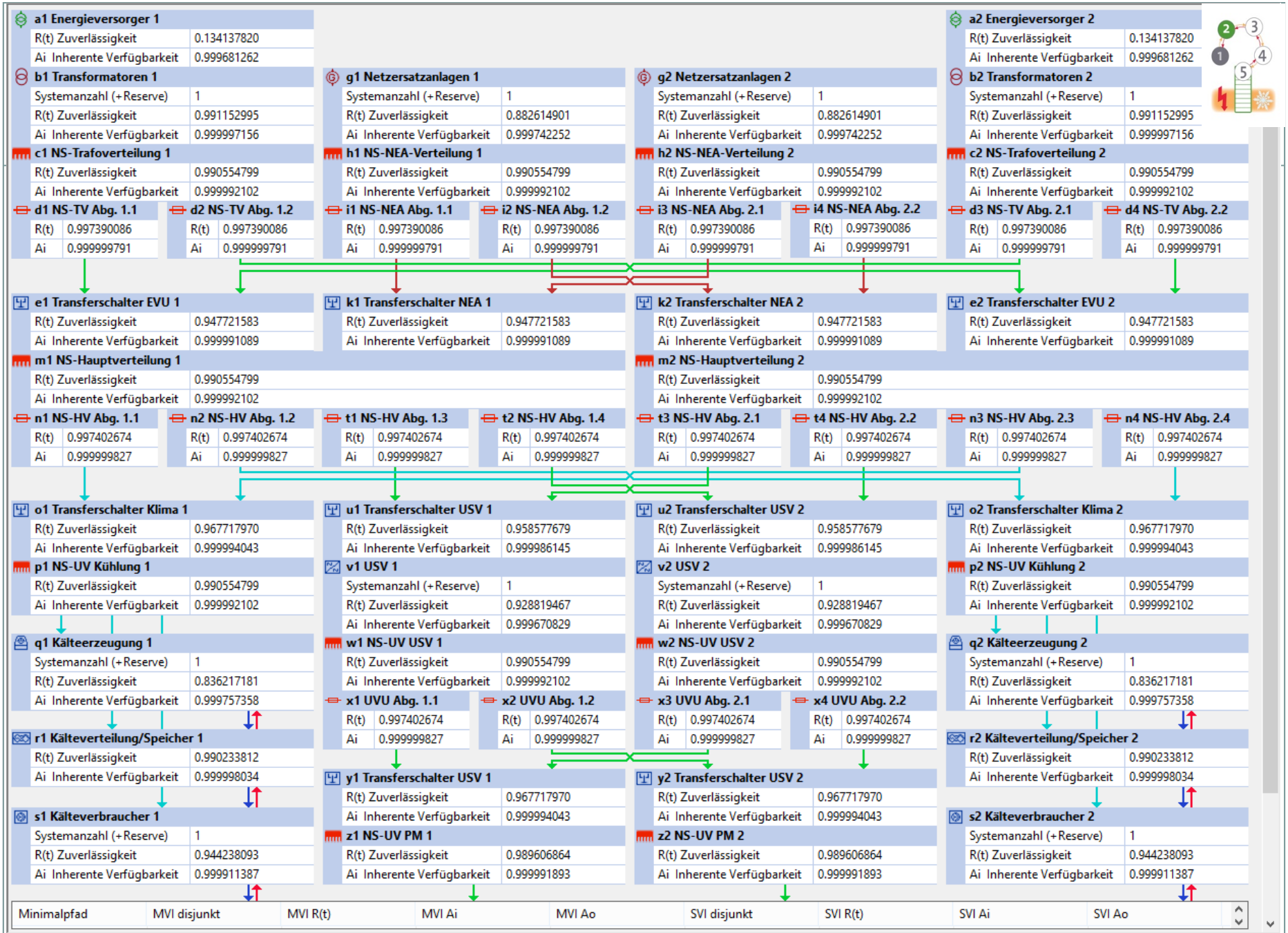
Fünf Schritte zur Optimierungsvariante:

1. **Aufnahme** der RZ-Infrastruktur
2. **Modellierung** der RZ-Infrastruktur
3. **Aufbereitung** der Zuverlässigkeitsdaten
4. **Berechnung** $R(t)$, A_i , A_o
5. **1- und 2-Fehlersimulation** über alle Teilsysteme



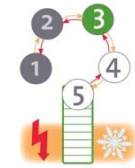
2.5 Aufnahme der RZ-Infrastruktur





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

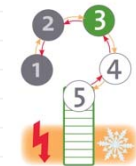
2.6 Aufbereitung der Zuverlässigkeitsdaten



- **Aufbereiten aller Teilsysteme** des Zuverlässigkeitsmodells in InfraOpt[®]
 - bestehend aus definierten Komponenten
 - beliebige Anzahl von Komponenten je Teilsystem möglich
- **Einpflege und Zuordnung von Zuverlässigkeitsdaten** aus folgenden Quellen:
 - statistische Erhebungen des Rechenzentrums-Betreibers
 - Zuverlässigkeitsdaten von Herstellern und Zulieferern
 - Zuverlässigkeitsdaten aus IEEE Std. 493-2007

Zuverlässigkeit des Systems - s2 Kälteverbraucher 2

Typ	Quelle	Komp.Nr.	Rt	Ai	Ao	MTBF	MTTR	MTTM	MDT	MTBM	Dim.Koeff.	Dimension
Leistungsschalter; 600 V; Einsc...	IEEE Std 493-2007 gold Book	67	0.9997920...	0.9999998...	0.9997981...	42129480....	6.000000	2.0000	2.019000	9998.0000		
Kabel; überirdisch; kein Rohr; ...	IEEE Std 493-2007 gold Book	20	0.9998798...	0.9999999...	0.9999999...	72896904....	2.500000	0.0000	0.078000	816772.00...	0.003281	50.00
Kabelverbindung	IEEE Std 493-2007 gold Book	29	0.9996292...	0.9999999...	0.9999999...	23624073....	0.750000	0.0000	0.750000	23624073....	1.000000	2.00
Steuereinheit; für Kompressor...	IEEE Std 493-2007 gold Book	129	0.9998487...	1.0000000...	0.9999822...	57926964....	0.000000	1.0000	1.045000	58733.0000		
Verrohrung; Wasser; > 5,08 ≤ 1...	IEEE Std 493-2007 gold Book	155	0.9796792...	0.9999670...	0.9999669...	426692.00...	14.080000	0.0000	14.083000	426692.00...		
Filtersieb; Wasser; ≤ 10,16 cm	IEEE Std 493-2007 gold Book	175	0.9992007...	1.0000000...	1.0000000...	10955614....	0.000000	0.0000	0.000000	3116.0000		
Ventil; Geradsitzventil, normal ...	IEEE Std 493-2007 gold Book	228	0.9999037...	1.0000000...	0.9999996...	91044470....	0.000000	0.0000	0.400000	1031837.0...		
Ventil; Geradsitzventil, normal ...	IEEE Std 493-2007 gold Book	228	0.9999037...	1.0000000...	0.9999996...	91044470....	0.000000	0.0000	0.400000	1031837.0...		
Ventil; Geradsitzventil, normal ...	IEEE Std 493-2007 gold Book	228	0.9999037...	1.0000000...	0.9999996...	91044470....	0.000000	0.0000	0.400000	1031837.0...		
Ventil; Geradsitzventil, normal ...	IEEE Std 493-2007 gold Book	228	0.9999037...	1.0000000...	0.9999996...	91044470....	0.000000	0.0000	0.400000	1031837.0...		
Pumpe; zentrifugal; integrierte...	IEEE Std 493-2007 gold Book	163	0.9925154...	0.9999936...	0.9998973...	1166025.6...	7.400000	1.0000	0.599000	5836.0000		
Ventil; 3-Wege; Mischungsreg...	IEEE Std 493-2007 gold Book	237	0.9995708...	1.0000000...	0.9999806...	20409317....	0.000000	1.0000	1.020000	52836.0000		
Verdampfer; Kühlröhre; direkt;...	IEEE Std 493-2007 gold Book	82	0.9958128...	0.9999926...	0.9998991...	2087724.0...	15.380000		0.290000	2876.0000		
Gebläse; ohne Antrieb	IEEE Std 493-2007 gold Book	12	0.9998253...	1.0000000...	0.9999609...	50160988....	0.000000	0.0000	0.069000	1765.0000		
Antrieb; regulierbare Geschwi...	IEEE Std 493-2007 gold Book	138	0.9781723...	0.9999583...	0.9999259...	396929.10...	16.550000	3.0000	6.218000	83966.0000		
Filter; mechanisch; für Luftme...	IEEE Std 493-2007 gold Book	110	0.9998400...	1.0000000...	0.9999821...	54745647....	0.000000	0.0000	0.044000	2464.0000		



Komponente

Hinzufügen Ändern aufwärts

Entfernen Duplizieren abwärts

Leeren System kopieren

Zuverlässigkeit Einzelsystem

Zuverlässigkeit R(t):

Verfügbarkeit inherent Ai:

Verfügbarkeit operativ Ao:

Redundanzkonfiguration

Komponentenanzahl n(+m):

Ersatzsystem vorhanden:

Identische Systeme insgesamt:

Zuverlässigkeit des Systems

Zuverlässigkeit R(t):

Verfügbarkeit inherent Ai:

Verfügbarkeit operativ Ao:

Funktionszustand des Systems

Normalbetrieb

abgeschaltet und inaktiv

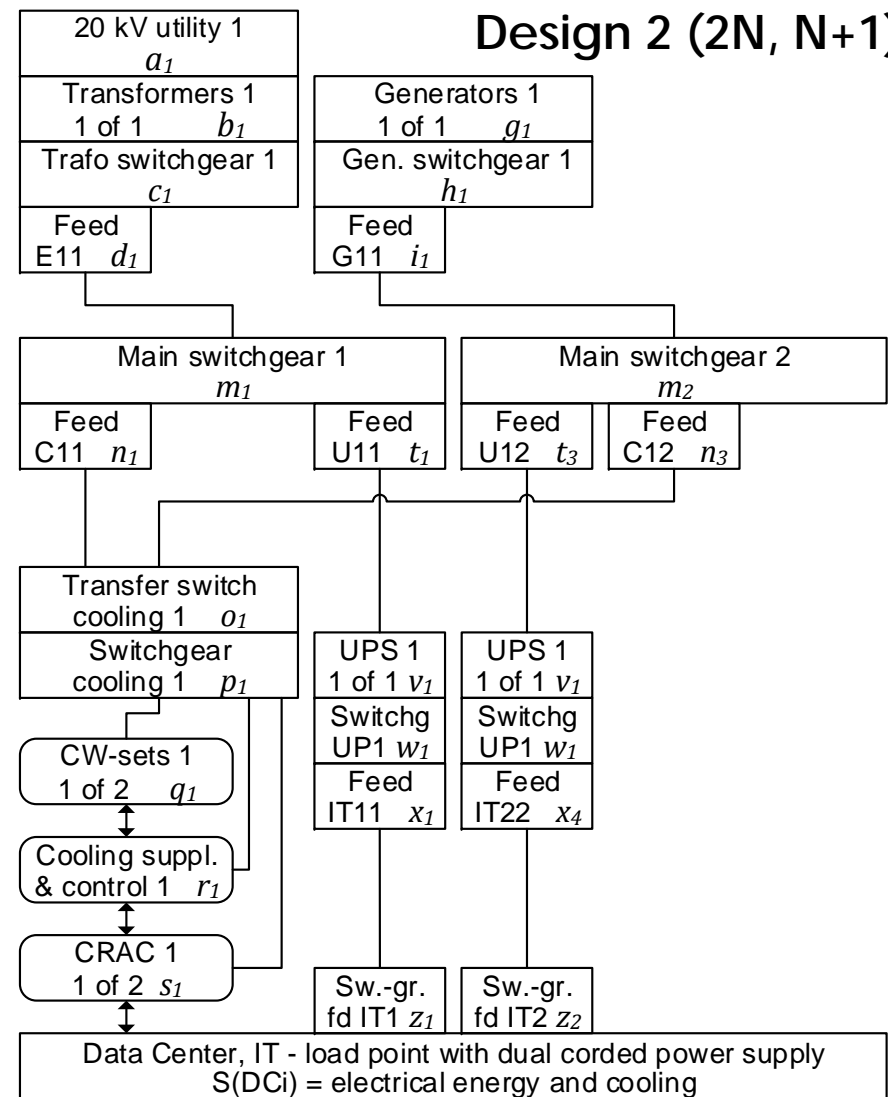
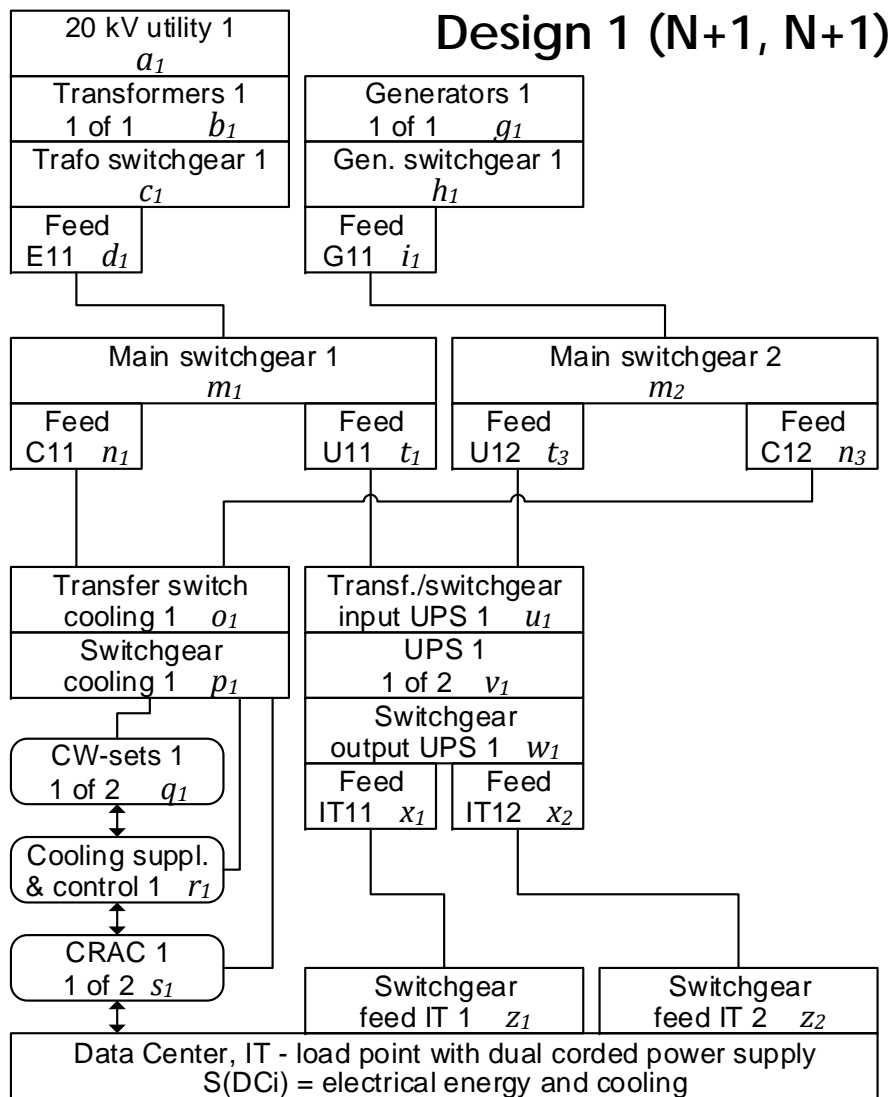
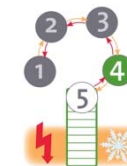
entfernt und überbrückt

Boolesches Modell

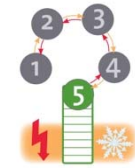
P1 P2d P3d P4 P5 P6 P7 P8 P9 P10 P11 P12 P13 P14 P15 P16

Manuelle Dateneingabe:

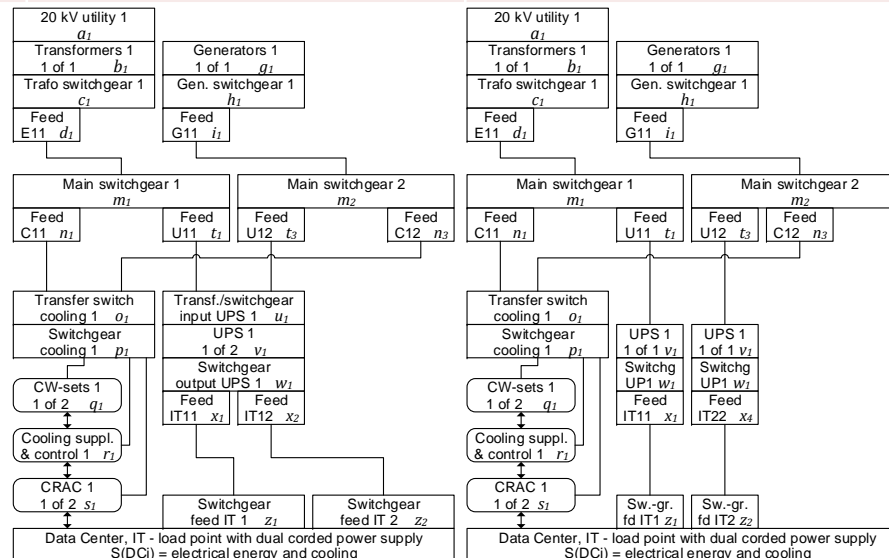
3.1 Versorgungsinfrastruktur – Designvergleich



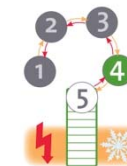
3.2 Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt64



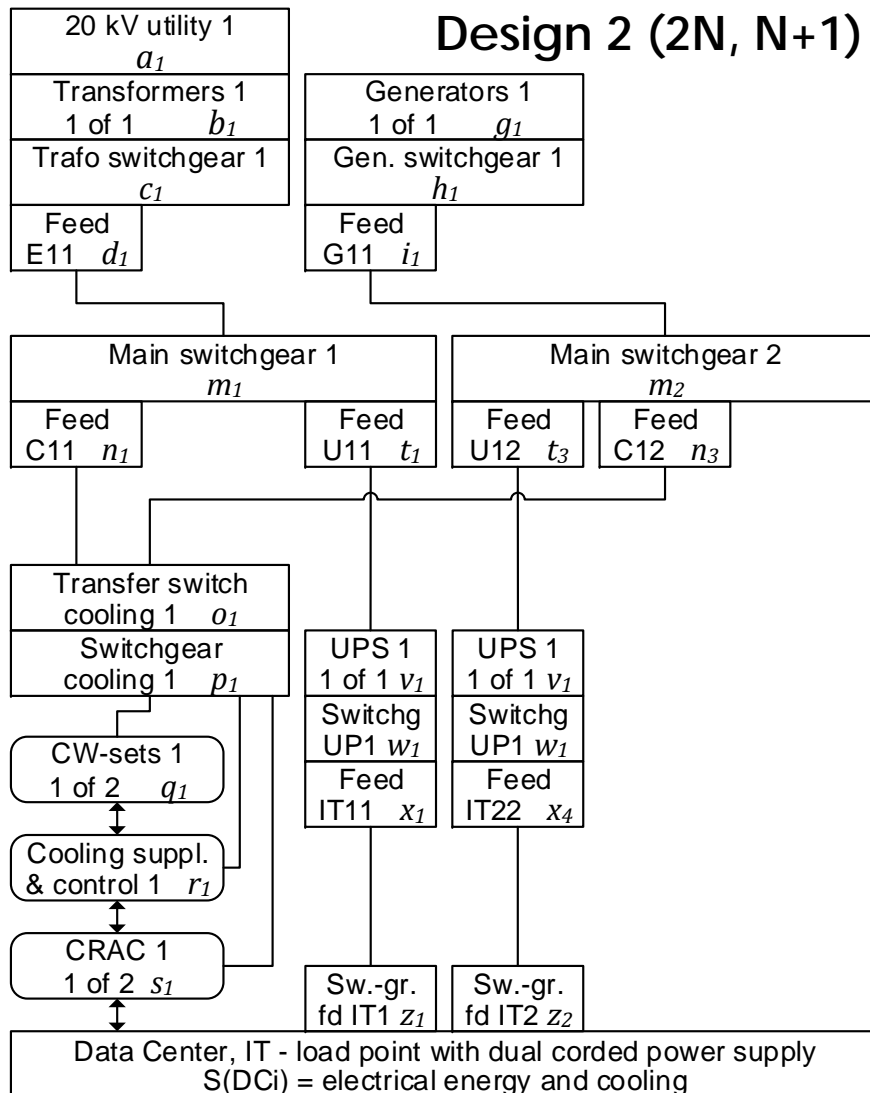
	Design 1	Design 2
Anzahl Teilsyst. N	25	26
Zuverlässigk. R(t=1y)	0,82629	0,83885
Inh. Verfügbrkt. A_i	0,99996	0,99998
Op. Verfügbrkt. A_o	0,99261	0,99392
SinglePointsOfFailure	5/25 (20 %)	3/26 (11 %)
DoublePointsOfFail.	146/300 (49 %)	169/325 (48 %)



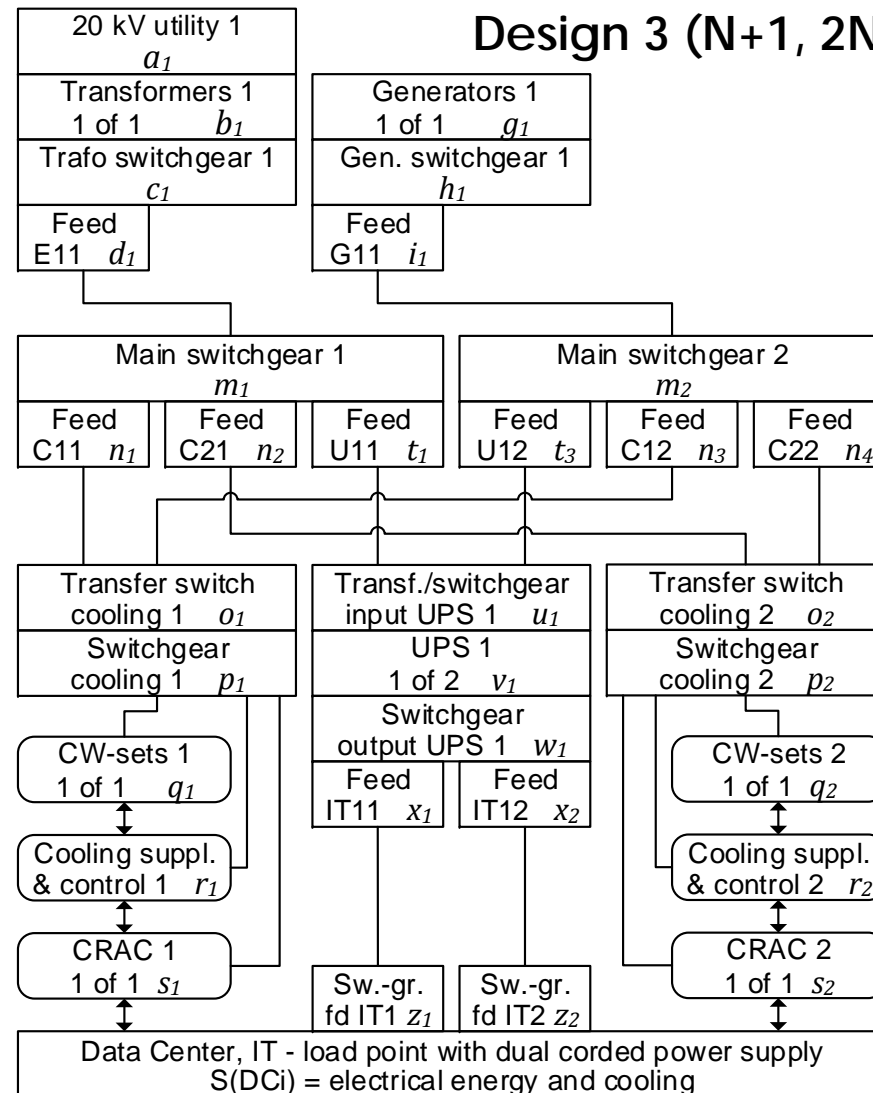
3.3 Versorgungsinfrastruktur - Designvergleich



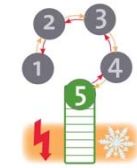
Design 2 (2N, N+1)



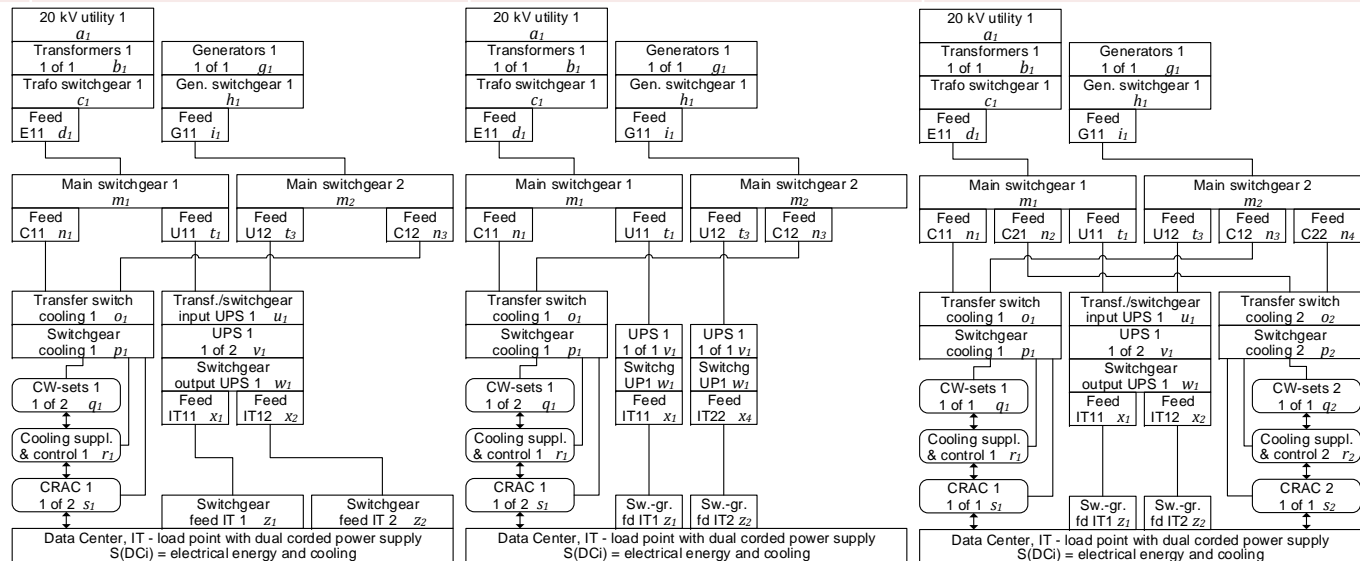
Design 3 (N+1, 2N)



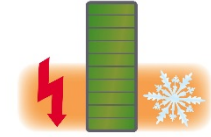
3.4 Verlässlichkeitsanalyse mittels InfraOpt64



	Design 1	Design 2	Design 3
Anzahl Teilsyst. N	25	26	32
Zuverlässigk. R(t=1y)	0,82629	0,83885	0,83733
Inh. Verfügbrkt. A_i	0,99996	0,99998	0,99998
Op. Verfügbrkt. A_o	0,99261	0,99392	0,99854
Single Points of Failure	5/25 (20 %)	3/26 (11 %)	2/32 (6 %)
Double Points of Failr.	146/300 (49 %)	169/325 (48 %)	376/496 (23 %)



4.1 Interpretation der Metriken

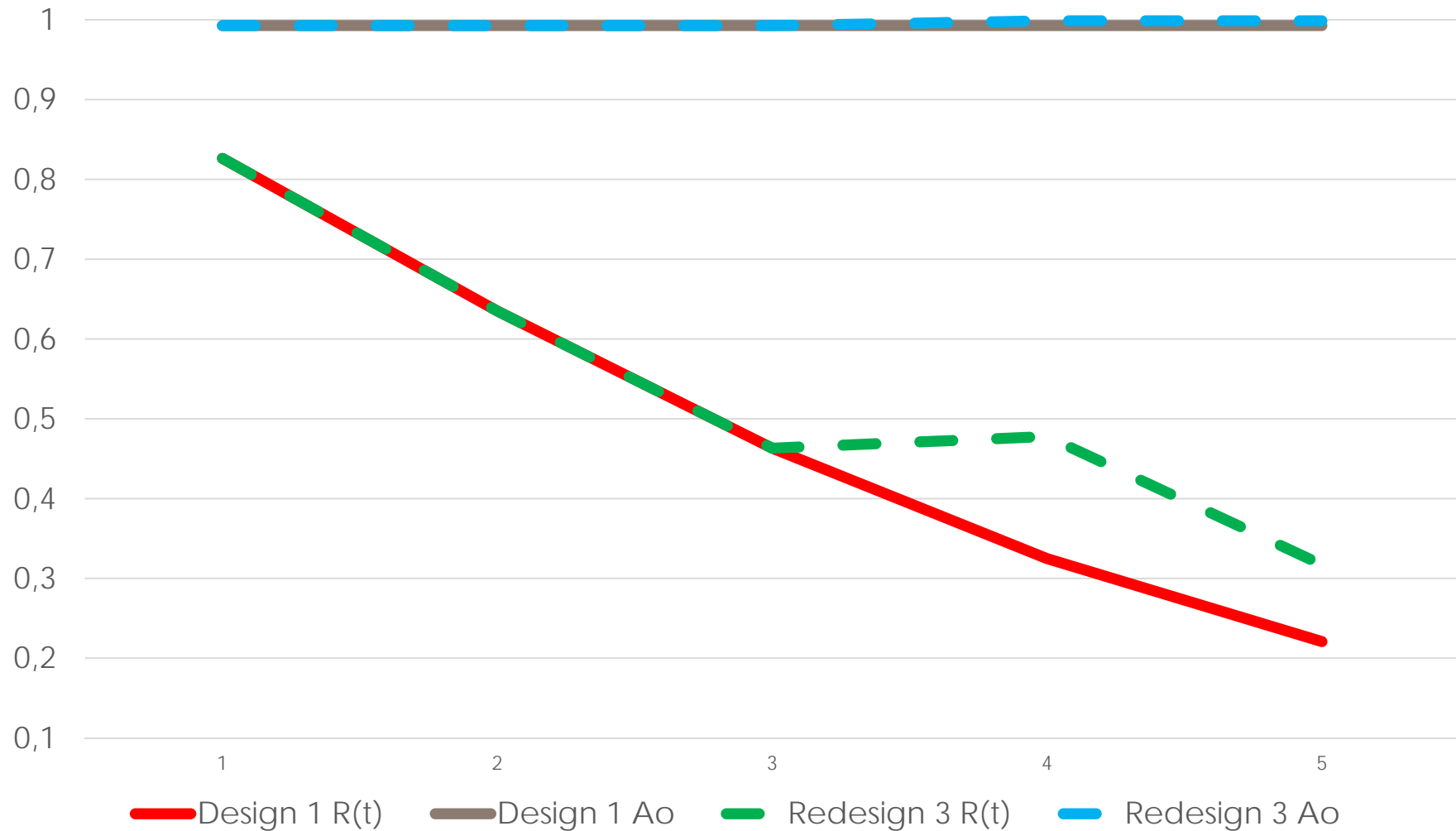
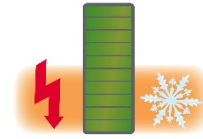


Verlässlichkeitsanalyse: $R(t)$, A_i , A_o , SPoF, DPoF

- Verbesserung der **Zuverlässigkeit** $R(t)$ oder 1- bzw. 2-**Fehlertoleranz**
 - Erfordert i. A. Investitionen in die Versorgungsinfrastruktur
 - Identifikation der problematischen Teilsysteme
- Verbesserung der **Inhärenten Verfügbarkeit** A_i
 - Anpassung der Wartungs- und Servicepläne
 - Materialbevorratung, kritische Teilsysteme im Standby
- Verbesserung der **Operationalen Verfügbarkeit** A_o
 - Einführung bzw. Verbesserung der Managementsysteme
 - Schulungen und Qualifikationen
 - Infrastrukturelle Anpassung zur Fehlervermeidung
 - Verbesserung der Objektsicherheit
 - Schutz vor Elementarereignissen

4.2 Zuverlässigkeit und Operationale Verfügbarkeit

Design 1: $R(t = 1 \dots 5 \text{ Jahre}) \Rightarrow$ Redesign 3: $R(t = 4 \dots 5 \text{ Jahre})$

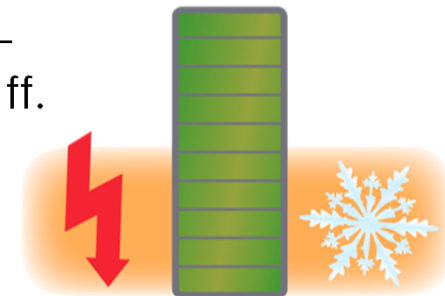


4.3 InfraOpt[®] – für Planer, Betreiber, Entscheider

Verlässlichkeit: Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Fehlertoleranz

Voraussetzung zum **Vergleichen** bzw. **Optimieren** von Varianten ist **Quantifizieren** – „ohne geeignete Metrik keine nützliches Maß“.

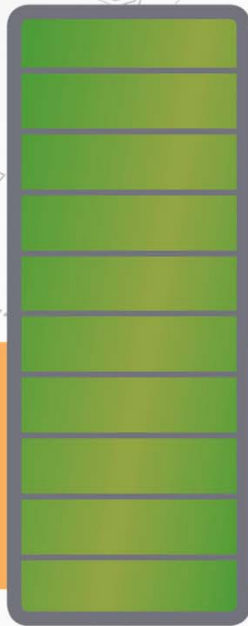
- **Variantengengenüberstellung** verschiedener RZ-Designs, Tier-Modell- bzw. RZ-Kategorie- bzw. Verfügbarkeitsklassen-Validierung
- Vergleich von **beliebigen Redundanzanordnungen** ($x * N, y * M$)
- Vergleich von Komponenten mit **unterschiedlichen MTBF** bzw. **MTTR**
- **Schalt- bzw. Wartungssituationen**, Bestimmung des „herabgesetzten Ausfallsicherungsgrades“ nach DIN EN 50600-2-2
- **Identifizieren** von **Schwachstellen**, präventiv und im laufenden Betrieb, Investitionsplanung
- Optimieren von **Wartungs- und Serviceplänen**
- Fortlaufende **Zuverlässigkeitsbewertung** eines Informationssicherheits-Managementsystems nach DIN ISO / IEC 27000 ff.
- **Zuverlässigkeitsmanagement** konform zur VDI 4003:2007 in den Phasen Planung und Verifizierung



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[®]