

## Inhaltsverzeichnis

<b><u>INHALTSVERZEICHNIS</u></b>		<b><u>I</u></b>
<b><u>1</u></b>	<b><u>STÖRFÄLLE UND IHRE AUSWIRKUNG AUF DIE NETZWERKVERFÜGBARKEIT</u></b>	<b><u>1</u></b>
1.1	Verkabelung	2
1.1.1	Link-Ausfall	2
1.1.2	Wackelkontakt (Port Flapping)	4
1.1.3	Schlechte Übertragungsqualität	5
1.1.4	Bemerkungen zur Planung	6
1.2	Ausfall von Netzwerkkomponenten	7
1.2.1	Nicht-modulare Komponenten	8
1.2.2	Modulare Komponenten	9
1.2.3	Soft-Fehler	11
1.2.4	Störfall-Vermeidung und automatische Behebung	13
1.3	Ausfall von Servern	14
1.4	Ausfall von Endgeräten	14
1.5	Kaskadierung als Risikofaktor	15
1.6	Steigerung der Verfügbarkeit durch redundante Auslegung	19
<b><u>2</u></b>	<b><u>KONZEPT DER GEFAHRENKLASSEN</u></b>	<b><u>22</u></b>
<b><u>3</u></b>	<b><u>DER BEDARF NACH LASTVERTEILUNG</u></b>	<b><u>25</u></b>
3.1	Verfügbare Techniken	25
3.1.1	Link Aggregation	25
3.1.2	Multilink Aggregation	26
3.1.3	Adapter Load Balancing	27
3.1.4	Multiple Spanning Tree	28
3.1.5	Lastverteiltes Routing	28
3.1.6	Load Balancing/Session-Switching/Layer-4-Switching	29
3.2	Optimierung der Kosten	31

3.3	Optimierung der Bearbeitungszeit	31
<b>4</b>	<b><u>KLASSIFIZIERUNG VON NETZWERKEN</u></b>	<b>32</b>
4.1	Anwendungsszenarien	32
4.1.1	Anforderungen typischer Anwendungen	32
4.1.2	Problematische Protokolle und Anwendungen	35
4.2	Ein-Standort-Netzwerke	39
4.2.1	Kleine Netzwerke (200 bis 500 Anschlüsse)	39
4.2.2	Mittlere Netzwerke (500 bis 2.500 Anschlüsse)	54
4.2.3	Große Netzwerke (2.500 bis 10.000 Anschlüsse)	63
4.3	Mehr-Standort-Netzwerke	72
4.3.1	Kleine Netzwerke (500 bis 1.000 Anschlüsse)	72
4.3.2	Mittlere Netzwerke (1.000 bis 10.000 Anschlüsse)	76
4.3.3	Große Netzwerke (mehr als 10.000 Anschlüsse)	84
4.4	Beispielhafte Zuordnung zu Gefahrenklassen	94
4.4.1	Beispiel 4.2.1.1: Hauptverwaltung der Bank-1	94
4.4.2	Beispiel 4.2.1.3: Werk 1 einer Kalkwerk-Firmengruppe	94
4.4.3	Beispiel 4.2.2.1: Ein Verlagsgroßhandel	94
4.4.4	Beispiel 4.3.1.1: Ein EVU-Unternehmen	95
4.4.5	Beispiel 4.3.2.1: WAN-Verbund eines Industriegasherstellers	95
<b>5</b>	<b><u>LAYER-1-VERFAHREN: PORT-REDUNDANZ</u></b>	<b>96</b>
5.1	Arbeitsweise von Layer-1-Redundanz	96
5.2	Einsatz-Szenarien für Layer-1-Redundanz	100
5.3	Bewertung der Marktsituation	101
<b>6</b>	<b><u>LAYER-2-VERFAHREN: SPANNING TREE</u></b>	<b>102</b>
6.1	Spanning Tree (IEEE 802.1D-1998; 802.1t-2001)	102
6.1.1	Überblick	103
6.1.2	BPDU Format und STP-Parameter	107
6.1.3	Berechnung der aktiven Topologie	114

6.1.4	Topologieänderungen	120
6.1.5	Löschen der Adresstabellen bei Topologieänderungen	123
6.1.6	Änderungen von STP durch IEEE 802.1t-2001	124
6.2	Rapid Reconfiguration Spanning Tree	125
6.2.1	Überblick	126
6.2.2	BPDU-Format und RSTP-Parameter	129
6.2.3	Berechnung der aktiven Topologie	137
6.2.4	Punkt-zu-Punkt-Verbindungen und Edge Ports	144
6.2.5	Topologieänderungen	146
6.2.6	Löschen der Adresstabellen bei Topologieänderungen	152
6.2.7	Frame-Duplizierung und Frame-Reihenfolge	156
6.2.8	Mischbetrieb von STP und RSTP	160
6.2.9	Einsatz-Szenarien für Rapid Spanning Tree	162
6.3	Multiple Spanning Tree Protocol (MSTP)	164
6.3.1	MSTP-Überblick	168
6.3.2	Berechnung der aktiven Topologie	173
6.3.3	Topologieänderungen bei Multiple Spanning Tree	183
6.3.4	Einsatz-Szenarien für Multiple Spanning Tree	183
6.4	Bewertung und Marktsituation	186
6.4.1	Klassischer Spanning Tree	186
6.4.2	Rapid Reconfiguration Spanning Tree	186
6.4.3	Multiple Spanning Tree	188
6.4.4	Marktsituation	190

## **7 LAYER-2-VERFAHREN: LOAD BALANCING 191**

7.1	Link Aggregierung	191
7.2	Der Standard IEEE 802.3ad - IEEE 802.3/2002	193
7.2.1	Überblick	193
7.2.2	Ziele, Anforderungen, Einschränkungen	194
7.2.3	Funktionsweise der IEEE 802.3 Link Aggregierung	197
7.2.4	Link Kontrolle und Link Aggregation Control Protocol	201
7.2.5	Das Marker Protokoll	222



9.1.4	Multipath Routing – Lastverteilung über verschiedene Wege	254
9.1.5	Veralten von Einträgen	259
9.1.6	VLSM und CIDR	259
9.1.7	Route Aggregation	262
9.2	Route Information Protocol (RIP)	266
9.2.1	Algorithmus	266
9.2.2	Tuning Mechanismen	271
9.2.3	Equal Cost Loadbalancing auch bei RIP?	273
9.2.4	Umgang mit Subnetzen	274
9.2.5	Protokollspezifikationen von RIP Version 1	276
9.2.6	Änderungen in RIP Version 2	278
9.2.7	Weitere Probleme	280
9.3	Open Shortest Path First (OSPF)	281
9.3.1	Einführung	281
9.3.2	Kosten von OSPF	282
9.3.3	Strukturelemente von OSPF	288
9.3.4	Paketformate und Datenbankeinträge von OSPF	295
9.3.5	Austausch von Informationen innerhalb einer Area	310
9.3.6	Von der Topologiedatenbank zur Routing-Tabelle	326
9.3.7	Beispiele eines Standortnetzes	332
9.3.8	Area-Konzept	340
9.3.9	Externe Routen	354
9.3.10	Besondere Area-Typen	358
9.3.11	Besondere Probleme bei Weitverkehrsverbindungen	361
9.3.12	Wählverbindungen (Demand Circuit)	365
9.3.13	Authentisierung	370
9.3.14	Anwendungsbeispiele	374
9.4	Enhanced Interior Gateway Protocol (EIGRP)	380
9.4.1	Einführung	380
9.4.2	Metrik von EIGRP	381
9.4.3	Funktionsprinzipien	384
9.4.4	Route Aggregation	392

9.4.5	Lastverteilung bei EIGRP	394
9.4.6	Anwendungsbeispiele	396
9.5	Bewertung und Marktsituation	398
9.5.1	Bewertung RIP	398
9.5.2	Bewertung OSPF	399
9.5.3	Bewertung EIGRP	400

---

## **10 ROUTERREDUNDANZ-PROTOKOLLE** **401**

---

10.1	Motivation	401
10.2	Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP)	403
10.2.1	Überblick	403
10.2.2	Virtuelle Adressen	404
10.2.3	Advertisements (Hello Pakete) und Fehlerumschaltung	405
10.2.4	Einsatzbeispiele	407
10.2.5	VRRP statt Spanning Tree?	411
10.2.6	Die Funktion "Critical Service"	412
10.2.7	Paketformat	413
10.2.8	ICMP-Redirects, ARP und Proxy-ARP	414
10.2.9	Aktuelle Einschränkungen und Nebenwirkungen	415
10.3	Hot Standby Router Protocol (HSRP)	419
10.3.1	Überblick	419
10.3.2	Paketformat	420
10.3.3	Interface Tracking	421
10.3.4	Mehrere Hot Standby-Gruppen: MHSRP	421
10.3.5	Token Ring	421
10.3.6	Einschränkungen	422
10.4	Vergleichsübersicht VRRP/HSRP	423
10.5	Sicherheitsaspekte beim Einsatz von VRRP/HSRP	425
10.5.1	Authentifizierung	425
10.5.2	Man-in-the-Middle Angriffe	426
10.6	Bewertung und Marktsituation	428

<b>11</b>	<b><u>LAYER-4/7 VERFAHREN</u></b>	<b>430</b>
11.1	Layer-4-Switching	432
11.1.1	Einsatzszenarios	435
11.1.2	Redundanz-Konzepte mit Layer-4-Switching	437
11.2	Layer-7-Switching	441
11.3	Lokale Load Balancer (Single Site Load Balancer)	442
11.3.1	Immediate Binding	444
11.3.2	Delayed Binding	446
11.4	Mehr-Standort-Load-Balancer (Multisite Load Balancer)	448
11.5	Caching für weitverteilte Mehr-Standort-Konzepte	452
11.6	Bewertung und Marktrelevanz	454
<b>12</b>	<b><u>DESIGNALTERNATIVEN UND GESAMTBEWERTUNG</u></b>	<b>457</b>
12.1	Designklassen von Netzwerken	459
12.1.1	Klasse A: reines Layer-2-Design	459
12.1.2	Klasse B: Layer-3-Abschottung des RZ/der Server	466
12.1.3	Klasse C: Layer 3 im Gebäude und im Backbone/RZ	472
12.1.4	Klasse D: Modulare Komponenten auf den Etagen	479
12.2	Verschiedene Möglichkeiten der Etagenbindung	481
12.2.1	Alternative 1: Stackbildung	483
12.2.2	Alternative 2: Zweifach-Kaskade	484
12.2.3	Alternative 3: Vierfach-Kaskade	486
12.2.4	Alternative 4: Nichtredundante Vierfach-Kaskade	487
12.3	Kostenrechnungen an Hand von Praxisbeispielen	489
12.3.1	Kosten der Designvarianten für das Beispiel-Netzwerk	489
12.3.2	Kostenbeispiele für <1000 Anschlüsse	494
12.3.3	Kostenbeispiel für 2300 Anschlüsse	495
12.3.4	Kosten für modulare Switches auf den Etagen	496
12.3.5	Kosten für ringförmige Gelände-Backbones	501
12.4	Festlegung von Netztypen für unterschiedliche Anforderungen	504
12.4.1	Netztyp 1: unkritisches Netzwerk	505

12.4.2	Netztyp 2: Netzwerk mit moderaten Anforderungen	506
12.4.3	Netztyp 3: Netzwerk mit hohen Anforderungen	507
12.5	Entscheidungshilfen und Empfehlungen	509
12.5.1	Allgemeine Empfehlungen	509
12.5.2	Einordnung der Praxisbeispiele	514
12.6	Fazit	517

---

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS** **519**

---

**TABELLENVERZEICHNIS** **528**

---

**INDEX** **529**

---

**ABKÜRZUNGEN** **532**