ComConsult Research

Der Netzwerk Insider

Mai 2007

Systematische Weiterbildung für Netzwerk- und IT-Professionals

Schwerpunktthema

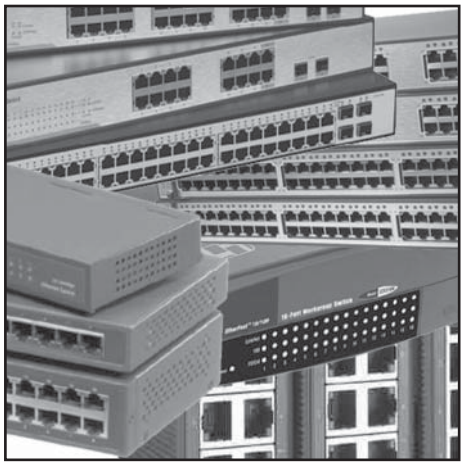
Dual-Vendor-Strategien im LAN

von Dr. Simon Hoff, Dr. Frank Imhoff

1. Vorbemerkungen

Monokulturen im Sinne der exklusiven Verwendung der Komponenten eines einzelnen Herstellers sind im LAN-Switching-Bereich noch die Regel. Dabei drängen Ausrüster auch bewusst durch herstellerspezifische Funktionen und Dienste bzw. deren herstellerspezifische Ergänzungen auf die ausschließliche Verwendung ihrer Komponenten.

Dem stehen wirtschaftliche Erwägungen entgegen. Warum sollte auf einer Netzebene (z.B. im Access-Bereich) nicht ein anderer Hersteller als auf einer anderen Netzebene (z.B. im Distribution-Bereich)



eingesetzt werden, sofern dies insgesamt wirtschaftlicher ist?

Die Schwierigkeiten liegen dabei nicht nur auf einer technischen Ebene (etwa in der Problematik der Freiheitsgrade in der Implementierung eines Protokolls, das zwischen den Geräten unterschiedlicher Hersteller genutzt wird). Kaufmännische und organisatorische Aspekte haben einen entscheidenden Anteil am Erfolg einer Dual-Vendor-Strategie.

Dieser Artikel analysiert Rahmenbedingungen, Konzepte, Szenarien und Vorgehensweisen für eine Dual-Vendor-Strategie.

weiter auf Seite 24

Zweitthema

Der schnelle Baum

von Markus Schaub

Mit dieser Ausgabe beginnen wir im Netzwerk-Insider eine Serie zu den elementaren Netzwerk-Grundlagen, die insbesondere die Neueinsteiger in den LAN-Markt unterstützen soll.

Den Anfang macht die Beschreibung des mittlerweile wichtigsten Layer-2-Redundanz-Verfahrens im LAN: der Rapid Spanning Tree, der seit einigen Jahren den ursprünglichen Spanning-Tree abgelöst hat. Allerdings gibt es im Low-End-Bereich immer noch Switche, die nur das alte Verfahren unterstützen.

Der seit Ende der 80er-Jahre existierende Spanning-Tree hat eine ganze Reihe von Mängeln aufzuweisen. Schnell lassen sich darunter zwei Hauptkritikpunkte ausmachen:

1. Die Umschaltzeiten des klassischen Spanning-Tree liegen jenseits dessen, was in modernen Netzen toleriert werden kann.

2. Durch das faktische Abschalten von Verbindungen wird jegliche Lastverteilung unterbunden und man hat jede Menge „totes Kapital“ in Form von ungenutzten Leitungen in seinen Kabelschächten liegen, die noch dazu an teuere Switch-Ports angeschlossen sind, aber keine Pakete transportieren.

weiter auf Seite 9

Kongress des Monats

ComConsult SIP-Forum 2007

auf Seite 6

Geleit

Unruhe im Wireless-Markt: IEEE 801.11n-Design mit Fragezeichen

auf Seite 2

Juni-Highlight

Sommerschule 2007

auf Seite 4

Zum Geleit

Unruhe im Wireless-Markt: IEEE 801.11n-Design mit Fragezeichen

Obwohl die offizielle Verabschiedung des IEEE 802.11n-Standards nicht vor August 2008 zu erwarten ist, sind seit der Verabschiedung des Draft 2.0 im März alle Signale auf Fahrt gesetzt. Der Draft wird allgemein so interpretiert, dass zukünftige Änderungen nur noch die Firmware betreffen, der Chip aber stabil ist. Das letzte Hindernis für eine großflächige Ausbreitung liegt im Nachweis der Interoperabilität der Produkte verschiedener Hersteller.

Die WiFi-Alliance wird dieses Hindernis in den nächsten Wochen mit einem offiziellen Interoperability-Test beseitigen. Im Konsumer-Markt rollen bereits die Produkte an, vorneweg Apple und D-Link. Verschiedene Leistungstests zeigen, dass die Probleme früherer Generationen scheinbar überwunden sind. Zumindest können eine Reihe von Produkten stabile Nutzdatenraten von 70 bis 80 Mbit/s auch über größere Distanzen nachweisen.

Nun mehren sich die Anzeichen, dass noch in diesem Jahr die ersten namhaften Enterprise-Anbieter mit Produkten auf der Draft 2.0-Basis auf den Markt kommen werden, der Name Cisco wird in diesem Zusammenhang häufiger genannt. Der Blick hinter die Kulissen zeigt, dass viele Hersteller in ihren Entwicklungen weit fortgeschritten sind. Der erste namhafte Anbieter, der diesen Markt betritt, wird eine sofortige Welle entsprechender Produkte aller führenden Anbieter auslösen. Im Moment spricht also einiges dafür, dass der Wechsel auf 11n im Enterprise-Markt bis Ende des Jahres erfolgt.

Damit wird es Zeit, sich mit dem Standard näher zu befassen. Für viele wird dies ein unangenehmes Erwachen bringen. Bisher war die Botschaft des Standards klar:

- zwischen 300 und 600 Mbit/s Rohdatenrate, Nutzendatenraten über 100 Mbit/s
- dies kombiniert mit einer höheren Reichweite (keine falschen Erwartungen, hier wird im Kern die Reichweite angesprochen, die stabil ohne große Schankungen abgedeckt werden kann. Diese wird weiterhin bei maximal 25 oder 30m im Inhaus-Bereich liegen, je nach Umfeld auch darunter). Auch ansonsten sollte mit der erhöhten Reichweite vorsichtig umgegangen werden, je größer eine Zelle wird, desto mehr Teilnehmer können in der Zelle sein, die Schwankungen im Bedarf nehmen mit größeren Reichweiten deutlich zu

Alles in Allem klingt das doch gut, oder? Parallel müssen die Hersteller eine neue Produkt-Generation einläuten, da die mit 11n zu realisierenden Datenraten mehr CPU-Leistung und mehr Pufferspeicher erfordern.

Doch dies ist bei näherer Betrachtung zu kurz gedacht. Geht man näher ins Detail, dann kann man den Standard in 3 Teile zerlegen:

- eine Konsumer 2,4 GHz-Version mit 20MHz-Kanälen
- eine Enterprise 5 GHz-Version mit 20 MHz-Kanälen
- eine Enterprise 5 GHz-Version mit 40 MHz-Kanälen

Parallel muss mit zunehmender Leistung die Zahl der Antennen zunehmen, was bei gleichzeitig vorgegebenen Mindestabständen zwischen Antennen große Auswirkungen auf das Produktdesign hat. Wie auch immer, die volle Leistung wird IEEE 802.11n nur im 5 GHz-Bereich erzielen. Dies ist einerseits erfreulich, da der Wechsel in den 5 GHz-Bereich mit einer Reihe von Vorteilen verbunden ist (und mit einer Reihe von unangenehmen Problemen), aber andererseits wirft dies sofort die Frage der Einbindung der bestehenden 11b/g-Geräte auf. Rückwärts-Kompatibilität ist eines der großen Fragezeichen des 11n-Standards. Nicht, dass diese nicht im Standard vorgesehen ist, doch irgendwie macht sie keinen Sinn im Design.

Hinzu kommt ein anderes sehr ernst zu nehmendes Problem. Eine Schlüsselfrage im Wireless-Design ist seit Jahren der Wechsel von Einzelzellen auf ein flächendeckendes Design. In einigen Märkten wie Krankenhäusern und Warenhäusern ist dies zwar üblich, in der breiten Masse bisher nicht. Das macht auch durchaus Sinn, konnte doch allgemein mit dem Wechsel auf 11n eine komplette neue Generation von Produkten erwartet werden.

Nun ist aber die “Killer-Applikation” für ein flächendeckendes Wireless-Netzwerk Voice-over-Wireless. Vielleicht sollte man hier auch besser SIP-over-Wireless sagen, um damit zu unterstreichen, dass es nicht nur um Voice geht sondern um eine umfassende Einbindung mobiler Teilnehmer in Realzeit- und Kollaborations-Dienste.

Und nun wird es unschön. Bisher ist in keiner Weise abzusehen, dass entsprechende Telefone im 5GHz-Bereich entwickelt werden, für die 40 MHz-Version ist es eigentlich auch fast undenkbar, allein schon wegen der Zahl dafür notwendiger Antennen und deren Mindestabstand. Auch ist das Stromversorgungsproblem bisher scheinbar nicht lösbar.

Im Rahmen des Geleitworts soll das nicht weiter vertieft werden, da es den Rahmen sprengt. Wir werden diese Dis-

Zweitthema

Der schnelle Baum

Fortsetzung von Seite 1

Markus Schaub ist als Consultant bei der Wachter & Karbon IT-Consulting GmbH & Co KG in den Bereichen Perfomance Quality Management und Service Level Management tätig. Zuvor bearbeitete er über 10 Jahre bei der ComConsult Technologie Information GmbH die Schwerpunkte Netzwerk-Design, IP-Infrastrukturen und VoIP, zu denen er viele erfolgreiche Vorträge und Seminare hielt und zahlreiche Veröffentlichungen schrieb.

mschaub@wachter-karbon.com

Wie die meisten Netzwerkbetreiber aus leidvoller Erfahrung wissen, gibt es noch mehr Probleme: den Spanning Tree selbst. Die Palette reicht von instabilen Spanning Trees, die gelegentlich unmotiviert ein Respanning durchführen über unerklärliche Loops bis hin zu Umschaltzeiten, die noch einmal über dem liegen, was eigentlich sein dürfte. Es klingt fast schon wie Hohn, wenn im Zuge der Standardisierung des RSTP ein langjähriges Mitglied der Arbeitsgruppen geäußert haben soll, dass mit dem RSTP der erste funktionstüchtige Spanning Tree auf den Markt kommt.

Im Prinzip lassen sich zwei Ursachen für diese Mängel ausmachen: zum einen die Zeit, die seit dem Ende der 80er nicht stehen geblieben ist und zum anderen der Standard selbst.

Als der Spanning Tree eingeführt wurde, ging man davon aus, dass viele Stationen an Netzwerk-Segmenten angeschlossen sind (vgl. Abbildung 1), und von VLANs hatte wohl noch nie jemand was gehört. Mit anderen Worten, an einem Bridge-Port waren mehr als eine Station angeschlossen und insbesondere konnte es sich dabei um mehr als eine weitere Bridge handeln.

Mit der Einführung von Switch-Systemen und der damit verbundenen Verbreitung von dedizierten Netzen ergaben sich andere Möglichkeiten. Um vorab nur schon mal ein Beispiel zu erwähnen: bereits bei der Erweiterung 802.1t des Spanning Tree wurde berücksichtigt, dass es Ports gibt, an denen keine weiteren Brücken, sondern nur noch Endsysteme angeschlossen sind, so genannte Edge-Ports. Diese Ports brauchen bei ihrer Aktivierung die klassischen Port-Stati Blocking, Listening, Lerning und Forwarding nicht mehr zu durchlaufen, da bei Zuschalten dieser Ports kein Loop geschlossen werden kann. Folglich können sie sofort vom Blocking in den Forwarding Status wechseln. Aber es gibt noch weitreichendere Konsequenzen, auf die im Folgenden genauer eingegangen wird.

Rapid Reconfiguration Spanning Tree

Bei der Entwicklung des Rapid Spanning Tree hat sich zwar das Verfahren geändert, das Endresultat, nämlich eine loopfreie (spanning) und vollständige (tree) Topologie, ist jedoch dasselbe wie beim klassischen Spanning Tree. Genau genommen geht die Übereinstimmung sogar so weit, dass die stabile Topologie beider Varianten identisch ist. Mit anderen Worten, würde man nur das Resultat nach „vollzogener“ Konvergenz betrachten, so könnte man nicht entscheiden, ob es durch das klassiche STP oder das moderne RSTP entstanden ist. Dies gilt unabhängig davon, ob es sich um die Konvergenz nach Inbetriebnahme eines geswitchten Netzes handelt oder um ein Respanning, sprich dem Umschalten auf Redundanz-Links.

Ziele

Ziel bei der Standardisierung des RST war es, einen Algorithmus zu entwickeln, der eine dramatisch kürzere Rekonfigurationszeit hat. Dazu wurden folgende Teilziele definiert und auch erreicht:

- **Eventgesteuerte Auslösung der Rekonfiguration**
  Bislang war der Spanning Tree ausschließlich timer-basiert. Um bei einem Switch eine Reaktion auf eine Topologieänderung auszulösen, musste er 10 BPDU-Pakete auf einem Port verpassen. Das ist in der heutigen Zeit nicht mehr angemessen. Vielmehr kann ein Switch sofort reagieren, wenn der Link auf down geht, schließlich ist es offensichtlich, dass er nach Wegfall des Links die nächsten BPDUs verpassen wird.

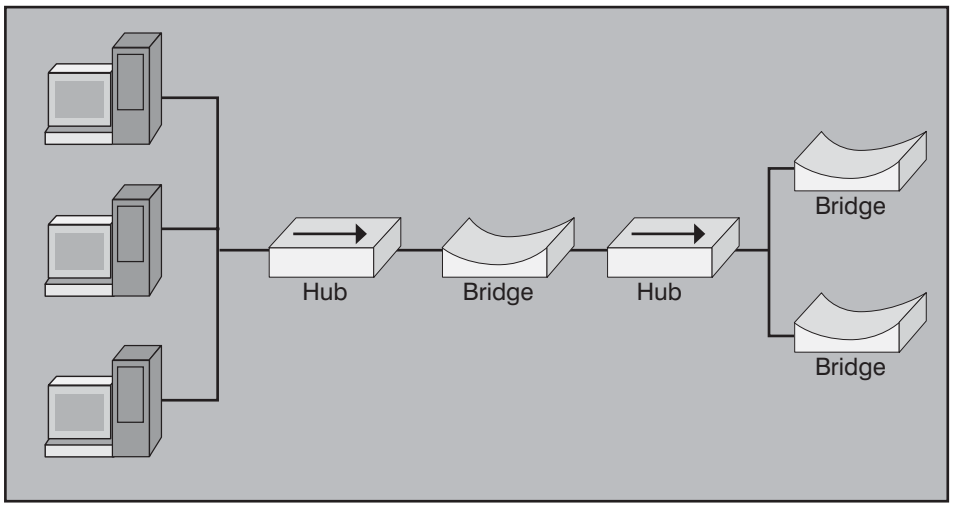


Abbildung 1

Der schnelle Baum

- **Angemessene Reaktion auf Änderungen**
  Viele Fehlerfälle können lokal behoben werden und müssen keine Auswirkungen auf die gesamte Topologie haben. Beispielsweise ist es häufig möglich die Änderungen auf zwei bis drei Switches zu beschränken, wenn ein Link ausgefallen ist.

- **Portbasierte Auswertung von Informationen**
  Zu Zeiten der Entwicklung des klassischen Spanning Tree ging man von Bridges aus, die nur wenige Ports haben, nicht von den heutigen Multiportsystemen. Damals hatte eine Bridge nur eine einzige Bridge-Table, die als Ganzes gepflegt wurde. Heute sind moderne Switches in der Lage, ihre Tabellen port-bezogen zu bearbeiten. Das hat, wie im Folgenden noch erläutert wird, insbesondere Konsequenzen auf die Verbreitung von Topologieänderungen.

Als letzen Punkt wäre noch die Abwärtskompatibilität anführen, die für den gemischten Betrieb von Switches, die RSTP und nicht RSTP fähig sind, notwendig ist.

Bevor nun auf den neuen Spanning Tree eingegangen werden kann, zunächst eine kurze Wiederholung dessen, was von seinem klassischen Vorfahren her bekannt ist und auch bei RSTP noch Gültigkeit hat.

Root Brigde

Um die Kompatibilität zum STP zu erhalten, wird auch beim RSTP zunächst eine Root gewählt (vgl. Abbildung 2). Das Verfahren ist dabei - ebenfalls aus Kompatibilitätsgründen - dasselbe wie schon beim STP:

Zunächst tauschen die Brücken BPDU-Frames aus und diejenige Brücke gewinnt die Wahl, die die kleinste Priorität besitzt. Die Priorität ist ein pro Bridge/Switch konfigurierbarer Parameter. Haben zwei Switches dieselbe Priorität, weil beispielsweise mit den Default-Werten gearbeitet wird, so werden die MAC-Adresse der Switches zu Tie-Breakern: der Switch mit der kleinsten MAC-Adresse wird Root.

Die Priorität sollte auf alle Fälle gesetzt werden, da ansonsten die Auswahl der Root dem Zufall überlassen wird und zu Topologien führen kann, die nicht gewollt sind.

Designated Bridge

Ist ein LAN-Segment an zwei oder mehr Switches angeschlossen, so handeln diese Switches untereinander aus, welche Bridge die Pakete in Richtung der Root

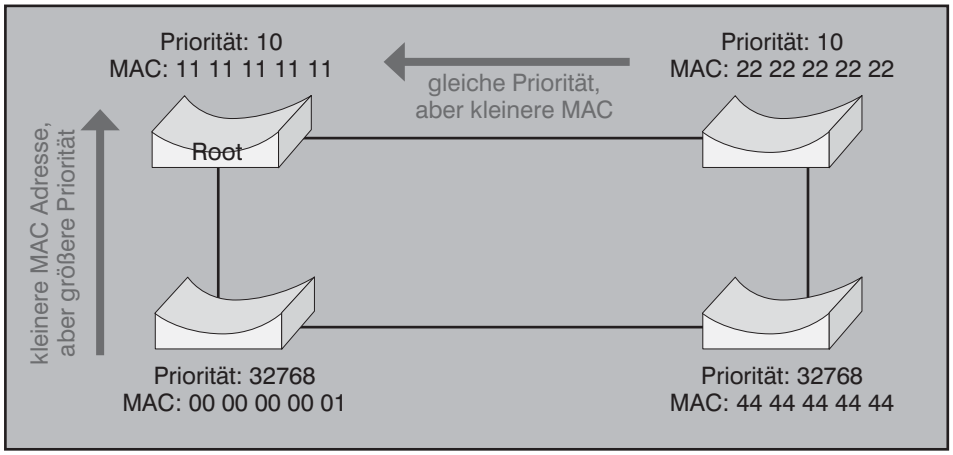


Abbildung 2

weiterleitet (vgl. Abbildung 3). Um Loops zu verhindern, kann das nur eine Bridge sein. Diese Bridge wird zur so genannten Designated Bridge. Entscheidend dafür, wer zur Designated Bridge wird, ist nicht mehr die Bridge Priorität, sondern in erster Linie die Pfadkosten, die sich von dieser Bridge bis zur Root hin ergeben. Die Bridge mit den niedrigsten Kosten wird Designated Bridge. Haben zwei Switches dieselben Pfadkosten, so wird die Portpriorität als zweites Kriterium herangezogen. Sollten auch die Prioritäten identisch sein, beispielsweise weil man sie bei den Default-Werten belassen hat, so kommt als nächstes Kriterium die Port-ID zum Zuge. Es mag den Leser verwundern, aber auch hier gilt, die niedrigste ID macht das Rennen. Sollten alle drei zuvor genannten Kriterien bei zumindest zwei Switches identisch sein, so wird als letztes anhand der kleinsten MAC-Adresse entschieden, welche Bridge Designated Bridge wird.

Die Kosten und Portprioritäten sind konfigurierbare Parameter und sollten ebenfalls beim Design bedacht werden.

Port-Rollen

Entsprechend der Bridge-Rollen werden

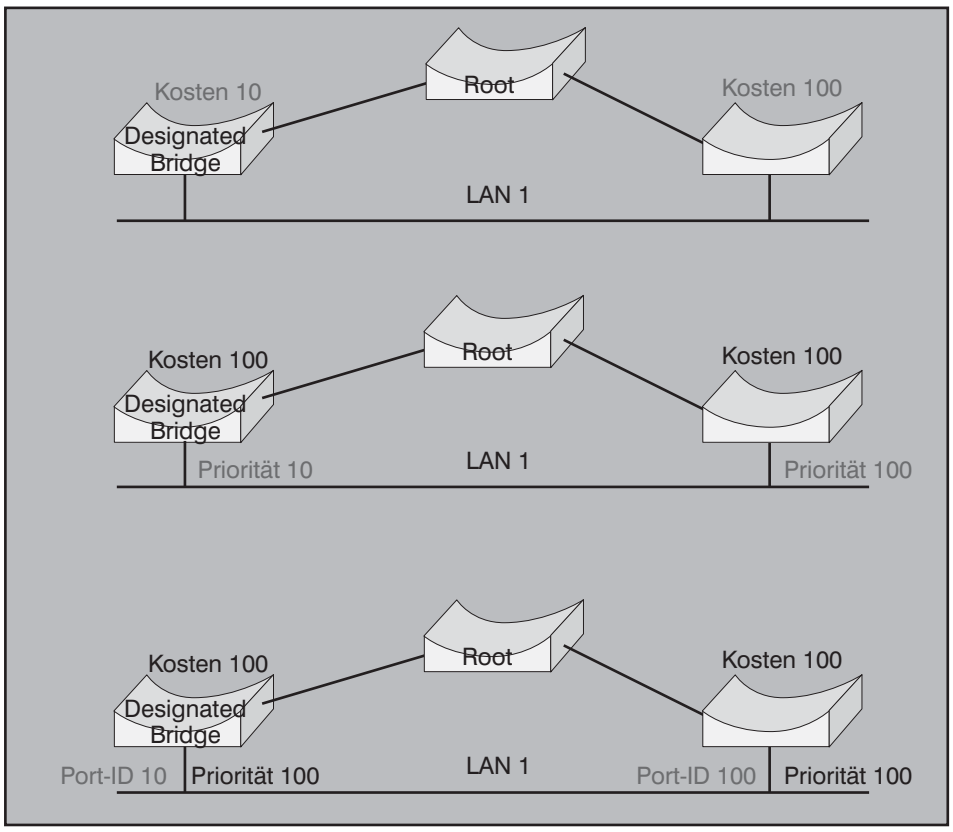


Abbildung 3

Schwerpunktthema

Dual-Vendor-Strategien im LAN

Fortsetzung von Seite 1

Dr. Simon Hoff ist technischer Direktor bei der ComConsult Beratung und Planung GmbH und unter anderem verantwortlich für den Bereich IT-Sicherheit. Dr. Hoff blickt auf jahrelange Projekterfahrung in Forschung, Standardisierung, Entwicklung und Betrieb in den Bereichen IT-Infrastrukturen, mobiler und drahtloser Kommunikationssysteme zurück.

Dr. Frank Imhoff ist technischer Direktor und Senior Consultant der ComConsult Beratung und Planung GmbH. Er blickt auf jahrelange Erfahrung in Forschung, Entwicklung und Betrieb von lokalen Netzen, Voice-over-IP, Wireless Local Area Networks sowie anderen Mobilfunk- und Telekommunikationssystemen zurück. Zu diesen Themenbereichen sind von ihm bereits zahlreiche Veröffentlichungen erschienen und Seminare betreut worden.

2. Technische Ebene

Eine Dual-Vendor-Strategie bietet sich grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten an. Zum einen ist es möglich, an verschiedenen Standorten eines Unternehmens Komponenten verschiedener Hersteller einzusetzen, aber innerhalb eines Standortes immer nur Komponenten eines Herstellers zu verwenden. Zum anderen ist der Einsatz von Komponenten verschiedener Hersteller an einem Standort eines Unternehmens denkbar, wenn pro Netzebene nur Komponenten eines Herstellers verwendet werden.

Ein wesentliches Argument für eine solche Dual-Vendor-Strategie ist zunächst darwinistischer Natur: Die Auswahl an Netzkomponenten vergrößert sich, und die jeweilig besseren Komponenten können für Aufbau, Umbau oder Erweiterung eines Netzes eingesetzt werden. Dies trägt zur Erhöhung der Qualität des Netzes bei. Mit der gestiegenen Konkurrenz gewinnt außerdem automatisch die Produkt-Evolution an Qualität und Tempo.

2.1 Standort-Modell: Hersteller-homogene Standorte

Bei dieser Variante werden innerhalb eines Standortes nur Komponenten eines einzigen Herstellers eingesetzt. Verschiedene Standorte können aber Komponenten verschiedener Hersteller einsetzen.

Um eine Interoperabilität sicherzustellen, müssen neben der standortübergreifenden Kommunikation insbesondere Aspekte betrachtet werden, die sich aus der Mobilität von Clients ergeben.

2.1.1 Standortübergreifende Kommunikation

Normalerweise sind hier keine Probleme zu erwarten, sofern zwischen den Standorten eine WAN-Technik mit standardisierter Routing/MPLS-Funktionalität eingesetzt wird und die verwendeten Produkte der verschiedenen Hersteller diese Funktionen unterstützen.

Probleme können unter Umständen bei dynamischem Routing auftreten. Hier müssen Standardprotokolle eingesetzt werden
.

2.1.2 Mobilität

Wird im LAN eine Netzzugangskontrolle eingesetzt, müssen Hersteller-spezifische Konzepte beachtet werden. Kritisch wird dieser Bereich, wenn ein Roaming von Clients zwischen Standorten unterstützt werden soll. Zu betrachten ist dabei der Wechsel eines mobilen Endgeräts von einem Standort mit Komponenten des einen Herstellers zu einem Standort mit Komponenten des zweiten Herstellers. (siehe Abbildung 1)

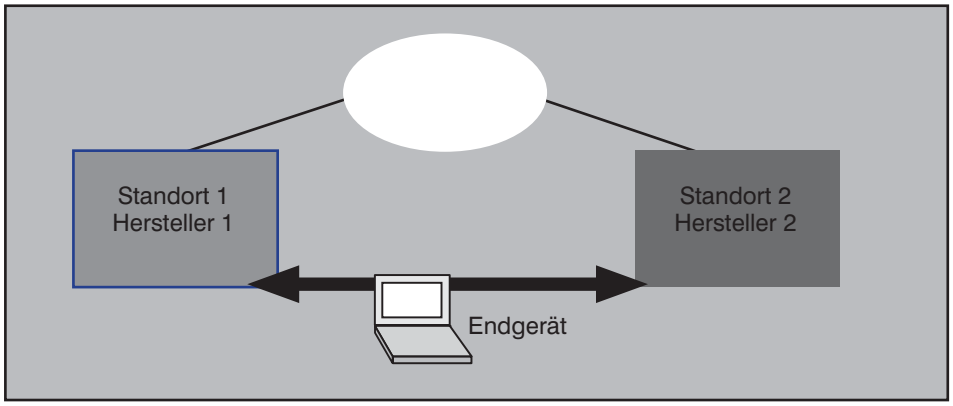


Abbildung 1: Roaming von Endgeräten zwischen Standorten

Die meisten Methoden zur Implementierung einer Netzzugangskontrolle basieren auf IEEE 802.1X. Dabei wird die Zugangskontrolle unmittelbar am Netzwerk-Port durchgeführt. Die Unterstützung von Roaming erfordert bei einer auf IEEE 802.1X basierte Netzzugangskontrolle die zwischen den Standorten abgestimmte und möglichst einheitliche Verwendung von EAP-Methoden (d.h. den verwendeten Authentifizierungsmethoden).

Weitergehende Sicherheitsmechanismen, die der Integritätsprüfung der Client-Konfiguration dienen und oft EAP als Träger verwenden, basieren oft auf herstellerspezifischen Funktionen im Netz (wie z.B. Cisco Network Admission Control, NAC). Dabei wird typischerweise eine dedizierte EAP-Methode zur Übertragung der Informationen der Client-Integrität verwendet (z.B. EAP-FAST bei NAC). Ein Roaming zwischen Standorten mit unterschiedlichen Herstellern erfordert dann auch eine Harmonisierung der verwendeten Sicherheitsfunktionen zur Integritätsprüfung der Client-Konfiguration.

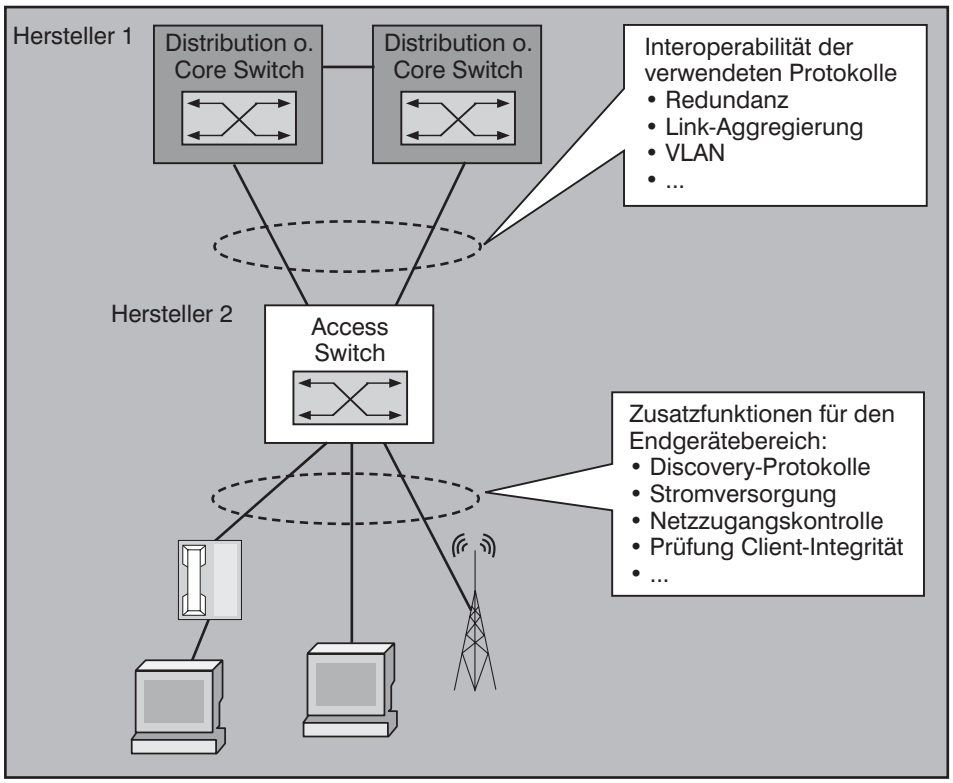


Abbildung 2: Kritische Schnittstellen

2.2 Access-Modell: Dual-Vendor-Konzepte im LAN

Eine Dual-Vendor-Strategie kommt zunächst für große und mittlere Standorte in Frage, die im Allgemeinen über die Netzebenen Core-Bereich, ggf. Distribution-Bereich und Access-Bereich verfügen. Für die Integration des zweiten Herstellers bietet sich folgende Aufteilung an:

- Innerhalb des Core-Bereichs und, wenn vorhanden, im Distribution-Bereich sollten nur Komponenten eines Herstellers eingesetzt werden.

- Innerhalb des Access-Bereichs sollten möglichst nur Komponenten des zweiten Herstellers eingesetzt werden. Es erfolgt möglichst keine Mischung mit Komponenten des für die anderen Netzebenen eingesetzten Herstellers.

  Für eine Migration sollte zumindest sichergestellt werden, dass an einem Distribution Switch ausschließlich Access Switches eines Herstellers angebunden werden. Eine Migration für das Access-Modell kann schrittweise erfolgen, wobei einzelne Gebäude (im Sinne des Einzugsbereichs der entsprechenden Distribution Switches) in einem Schritt migriert werden sollten.

Die Schnittstelle zwischen Access-Bereich und der nächsthöheren Netzebene muss herstellerübergreifend harmonisiert werden. Für den Endgerätebereich ist für den Mischbetrieb beider Hersteller im Access-Bereich zu beachten, dass sich die herstellerspezifischen Funktionen unterscheiden und auch für standardisierte Funktionen spezifische Erweiterungen zu berücksichtigen sind. Generell gilt, dass die Interoperabilität der eingesetzten Protokolle im Einzelfall durch entsprechende Tests geprüft werden sollte, sofern die Hersteller hier nicht eine entsprechende Aussage machen. Abbildung 2 zeigt die kritischen Elemente im Überblick.

2.2.1 Anbindung der Access Switches

Für den Einsatz unterschiedlicher Hersteller im Access-Bereich und im Distribution- bzw. im Core-Bereich muss die Interoperabilität der Protokolle zwischen den Netzebenen zugesichert werden. Die folgenden Ausführungen zeigen, dass für die wesentlichen Bereiche auf standardisierte Mechanismen zurückgegriffen werden kann, was die Implementierung der hier betrachteten Dual-Vendor-Strategie erheblich erleichtert.

Redundanzmechanismen

STP (Spanning Tree Protocol, siehe IEEE 802.1D-1994) ist derzeit nur noch als Notfall-Variante vorzusehen, wenn alte Komponenten ohne RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol, siehe IEEE 802.1D-2004) eingebunden werden müssen. STP wird seit langem von den Herstellern unterstützt und eine Interoperabilität kann weitgehend zugesichert werden.

Kritischer ist die Situation bei herstellerspezifischen Erweiterungen von STP. Beispielsweise können gewisse Cisco-spezifische Ergänzungen zum STP in einem Dual-Vendor-Szenario ggf. nicht mehr eingesetzt werden. Dies betrifft unter anderem Verfahren zur beschleunigten Umschaltung (z.B. BackboneFast). Dies kann aber auch durch RSTP erreicht werden. Die Abbildung von STP auf verschiedene VLAN ist ein weiterer Aspekt, der bei einer Interoperabilitätsbetrachtung bewertet werden muss. Das Cisco Per-VLAN-STP (PVST+) wird z.B. von HP ProCurve nicht unterstützt. In dieser Situation kommt das standardisierte MSTP (Multiple Spanning Tree Protocol gemäß IEEE 802.1s, jetzt integriert in IEEE 802.1Q) in Frage.

Link-Aggregierung

Eine Link-Aggregierung (IEEE 802.3ad) gestattet eine Zusammenfassung von mehreren physikalischen Leitungen zu einer logischen Leitung und ist nutzbar für Fast Ethernet und Gigabit Ethernet. Für herstellerspezifische Funktionen im Bereich der Link-Aggregierung ist oft keine Interoperabilität gegeben. Ein Beispiel ist Cisco EtherChannel (FEC, GEC), ein Vorläufer von IEEE 802.3ad.

VLAN

Die Aushandlung einer VLAN-Konfiguration zwischen Switches kann das Fehlerrisiko von VLAN-Konfigurationen reduzieren.