

# Redundanzkonzepte für hierarchische Switch-Netzwerke

Das Thema Ausfallsicherheit gehört zu den wichtigsten Planungskomponenten für eine zuverlässige Switch-Vernetzung. Störungen durch Fehlkonfiguration führen nicht selten zum Ausfall der kompletten Kommunikationsinfrastruktur. Immense Folgekosten und Produktionsstillstände sind die Konsequenz. Eine gut geplante, redundante Verschaltung der Switches über das gesamte Netzwerk hinweg minimiert erwähnte Ausfallrisiken und erhöht die Verfügbarkeit im Netzwerk.

In diesem Techpaper lernen Sie die wichtigsten Protokolle für ein redundantes Netzwerk kennen und sehen anhand von Beispielen, wie ein hochverfügbarer Aufbau eines Three-Tier- oder Two-Tier-Netzwerkes aussieht.

---

Dieses Paper ist Teil der **Themenreihe „Switching-Lösungen“**.

Erfahren Sie mit Klick auf die Icons, welche weiteren Informationen es von LANCOM dazu gibt:

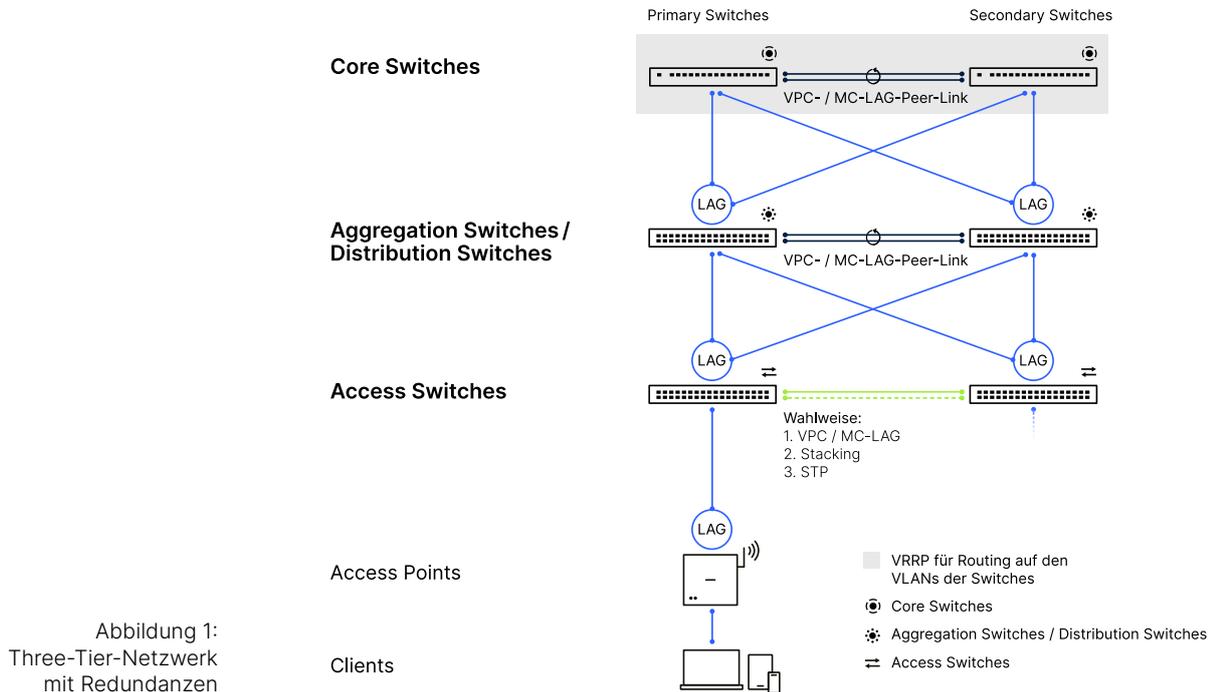


**Design Guide**  
Redundanz-  
konzepte für  
Switch-Netzwerke

---

## Die drei Redundanzkonzepte VPC, Stacking und STP

Eine doppelte Anbindung eines Switches an zwei darüberliegende Switches der Aggregation-/Distributions- oder Core-Ebene führt mit Link Aggregation Gruppen (LAG) zu einer sehr hohen Ausfallsicherheit (High Availability (HA)) und einem quasi unterbrechungsfreien Netzwerkbetrieb. Entscheidend ist hierbei, dass Loop-Prevention-Mechanismen die Schleifenbildung vermeiden. Für die Vernetzung zweier Switches untereinander können neben dem wenig effektiven Spanning Tree Protocol (STP) bessere Redundanzlösungen, wie Virtual Port Channel (VPC) oder Stacking, eingesetzt werden.



Die Unterschiede zwischen den drei Protokollen VPC, Stacking und STP liegen in der Komplexität der Konfiguration, der Ausfallzeit bei Neustart der Switches und dem Preis der notwendigen Switches begründet.

	VPC	Stacking	STP
Komplexität & Konfigurations-Zeit	Mittel	Niedrig (nahezu Plug & Play)	Hoch
Hardware-Anforderungen → Kosten	Hoch	Mittel	Niedrig
Redundanz für Ausfallsicherheit	✓	✓	✓
Bandbreitenerhöhung & Lastverteilung (Aktiv / Aktiv)	✓	✓	–
100% Uptime des Netzwerkes	✓	– (Wartungszeitfenster notwendig)	✓
In-Service Software Upgrade (ISSU)	✓	–	–

Nachfolgend werden die drei Protokolle im Detail vorgestellt.



### Virtual Port Channel (VPC)

VPC gehört zur Multichassis Etherchannel [MCEC]-Familie und wird deswegen auch mit dem Synonym **MC-LAG (Multi-chassis Link Aggregation Group)** bezeichnet. Durch hohe Hardware-Anforderungen ist es die kostenintensivste der drei Redundanzlösungen und wird daher häufig in großen Netzwerkinfrastrukturen verwendet. Um die Ausfalltoleranz über Redundanzen zu erhöhen, erscheinen bei dieser Virtualisierungstechnologie zwei miteinander verbundene Switches als ein virtueller Link. VPC hat folgende Eigenschaften:

- **Redundanz und Lastverteilung:** Die Switches im virtuellen VPC-Verbund tauschen über ihren so genannten „Peer-Link“ konstant wichtige Informationen zum Netzwerk aus, wie z. B. MAC-Tabellen. Jeder Peer-Switch verarbeitet dazu die Hälfte des Datenaufkommens von der Zugriffsebene (Active / Active-Technologie). Im Gegensatz zu Stacking bleiben sie eigenständige Instanzen und nur die verbundenen Ports virtualisieren die gegenseitige Redundanz.
- **100% Uptime durch schnelle Konvergenz:** Im Falle eines Geräteausfalls oder einer Netzwerkänderung ermöglicht VPC eine schnelle Neuberechnung der Netzwerkpfade. Dadurch wird ein einzelner Ausfallpunkt eliminiert, was zu einer schnelleren Wiederherstellung der Dienste führt. Das andere Gerät des VPC-Verbundes übernimmt den gesamten Datenverkehr, damit das Netz aktiv bleibt. Dabei ist es nicht relevant, ob das ausgefallene Gerät bewusst heruntergefahren wurde, wie z. B. bei einem Firmware-Update (In-Service Software Upgrade (ISSU)) oder ein Defekt die Ursache war. So ist eine 100% Uptime des Netzwerks von Core- zur Endgeräte-Ebene realisierbar.
- **Eigenständiges Management:** Der Peer-Link ermöglicht es, dass die Switches als ein einziger logischer Link-Zugriffspunkt bzw. Layer-2-Knoten für ein drittes Gerät erscheinen. Bei dem dritten Gerät kann es sich um einen Switch, Server oder ein anderes Netzwerkgerät der darunterliegenden Zugriffsebene handeln, das die Link-Aggregationstechnologie unterstützt. Wie erwähnt sind die Peer-Switches weiterhin eigenständig verwaltbare Geräte, die einzeln neu gestartet oder aktualisiert werden können.
- **Erhöhte Bandbreite:** Durch das Bündeln des Peer-Links (Active / Active) erhöht sich die Bandbreite und Durchsatzkapazität zwischen den Geräten.

- **Einfachere Netzwerktopologie:** Da VPC LAG zwischen den Netzwerkschichten ermöglicht, wird der Bedarf an STP, das in traditionellen L2-Netzwerken zur Vermeidung von Schleifen verwendet werden, reduziert.
- **Unterstützung für Nicht-VPC-fähige Geräte:** VPC ermöglicht den Anschluss von Endgeräten oder Netzwerkkomponenten, die nicht VPC-fähig sind, an eine VPC-Umgebung, wodurch die Kompatibilität und Flexibilität des Netzwerks erhöht wird.
- **Leistungsstarke Switch-Hardware:** VPC stellt hohe Anforderungen an die verwendete Switch-Hardware, die das VPC-Protokoll unterstützen muss. Das kann die Geräteauswahl vor allem auf Access-Ebene einschränken und kostspielig werden lassen kann.



### Stacking

Ein Stack ist eine Gruppe von Switches, die sich physikalisch wie ein Gerät verhalten. Alle Geräte im Stack müssen über die gleichen Stacking-Interfaces (Ports) verfügen und mit einer identischen Firmware-Version ausgestattet sein. Ähnlich wie bei einem Chassis- oder Blade-System wickeln die Stacking-Ports den gesamten Datenverkehr in Hardware und mit den genau dafür optimierten Protokollen ab. Die Stacking-Technologie lässt sich mit den folgenden Eigenschaften zusammenfassen:

- **Nahezu Plug- & Play-Konfiguration**
- **Layer-2-Vereinfachung:** Stacking kann man sich wie eine über Leitungen durchverbundene Backplane der einzelnen Switches vorstellen die nicht von den konfigurierten Layer2-Protokollen als Verbindung beachtet wird. Dadurch kann der Netzwerkverkehr gleichzeitig über mehrere Verbindungen übertragen werden, was den Durchsatz maximiert.
- **Kein Layer-3-Routing erforderlich:** Die intelligente Verteilung des Datenstroms innerhalb des Stacks erfordert kein Layer-3-Routing, da die internen Stacking-Protokolle die Verbindungen wie oben beschrieben behandeln.
- **Schnelle Ausfallsicherung und nahezu unterbrechungsfreie Weiterleitung:** Durch schnelle Erkennungs- und Link-Recovery-Technologien werden Stack-Verbindungen im Fehlerfall durch „Hitless Failover“ auf andere Switches übertragen, d. h. ohne Datenverlust.
- **Kein In-Service Software Upgrade:** Stacking hat den Nachteil, dass die gestackte Switches während der Aktualisierung der Firmware ausfallen und somit keine 100%ige Betriebszeit bei Software-Update oder -Reboot gegeben ist. Dennoch kann diese Option bei der Verwendung von Konfigurations-Wartungszeitfenstern als

Alternative zum VPC in Betracht gezogen werden. Während der Betriebszeit wird ein Active / Active-Betrieb mit maximalem Datendurchsatz von Core- zur Endgeräte-Ebene erreicht.

## STP



### Spanning Tree Protocol (STP)

Auf die technischen Unterschiede zwischen den aktuell zeitgemäßen Spanning-Tree-Standards **MSTP** (Multi-STP, IEEE 802.1s) und **RSTP** (RapidSTP, IEEE 802.1w) wird an dieser Stelle nicht eingegangen. Stattdessen wird auf die einschlägige Literatur verwiesen. Während sich VPC und Stacking auf physische Redundanz und Lastverteilung konzentrieren, bietet STP eine logische Lösung, um Netzwerkausfälle durch Schleifenbildung zu vermeiden und eine schnelle Wiederherstellung zu gewährleisten.

STP benötigt die zeitaufwändigste Konfiguration der drei vorgestellten Protokolle. Mit STP kann zwar eine Null-Ausfallzeit im Active / Passive-Betrieb zwischen Access-Switch-Ebene und Endgeräten erreicht werden, allerdings sollte wegen der Active / Passive-Redundanz von einem STP-Betrieb abgesehen werden. Dennoch gibt es einige Szenarien, in denen STP Vorteile bietet:

- Bei baubedingten Einschränkungen, die die Anzahl der möglichen Verbindungen begrenzen, ist STP die ideale Alternative. Dies minimiert das Risiko der Schleifenbildung insbesondere im Client-Access-Modus.
- Die Hardware-Anforderungen für das Protokoll sind gering, so dass es auch Einstiegs-Switches unterstützen und STP so zu einer sehr kosteneffizienten Lösung macht.

### Die unterstützenden Protokolle LACP, VRRP, DHCP-Relay und L3-Routing

Neben den drei bereits vorgestellten Protokollen, die das grundsätzliche Gesamtkonzept des Switch-Netzwerkes maßgeblich bestimmen, gibt es weitere Protokolle, deren Kenntnis für die anschließende Szenario-Beschreibung wichtig sind.

#### Link Aggregation Group (LAG) & Link Aggregation Control Protocol (LACP)

Die Technologie zur Realisierung von Link-Bündelung und Lastausgleich heißt LAG (Link Aggregation Group). Eine LAG kann als dynamischen Bündelung von mehreren

physikalischen Verbindungen zwischen Netzwerkgeräten zu einer einzigen logischen Verbindung verstanden werden.

LACP ist das Akronym für „Link Aggregation Control Protocol“. Als Teil des globalen Standards IEEE 802.1AX (Link Aggregation) ist LACP somit ein Protokoll für die automatische Konfiguration und Wartung von Link Aggregation Gruppen. LACP verwendet LACPDUs (LACP-Datenpakete, Request-Response-Prinzip) als automatisierten Verhandlungsmechanismus zwischen zwei oder bei gleichzeitiger Verwendung von VPC oder Stacking auch mehreren Netzwerkgeräten, so dass ein logisch gruppierter Link entsprechend seiner Konfiguration automatisch gebildet und gestartet werden kann. LACP ist auch für die Aufrechterhaltung des Link-Status zuständig und tauscht ständig Informationen über die Datenpakete aus. Es reagiert daher dynamisch auf Änderungen im Netz, ohne dass eine Neukonfiguration erforderlich ist.

Neben der Redundanz durch zwei unabhängige physikalische Verbindungen teilt das mit der LAG verbundene LACP-Protokoll nicht nur die Last zwischen den von ihm betriebenen Verbindungen auf, sondern erkennt mit Hilfe von LACPDUs automatisch und ohne erkennbaren Datenverlust, ob eine Verbindung ausgefallen ist oder neu verbunden wird, was den Durchsatz maximiert. Gerade der letzte Punkt ist ein großer Vorteil gegenüber STP, da dieses nur eine der beiden physikalischen Verbindungen nutzt und die andere Verbindung immer nur für den Verbindungsaufbau verwendet.

### **Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP)**

VRRP ist ein standardisiertes Layer 3-Netzwerkprotokoll, das durch Redundanzen und Lastverteilung eine automatische Zuweisung und dynamische Failover-Funktionalität für die Verfügbarkeit von Routern, oder in diesem Fall Switches mit Routing-Funktionalität, bietet. So kann die Netzwerkverfügbarkeit insbesondere sicherheitskritischer Dienste durch den nahtlosen Übergang zu einem Backup-Gerät sichergestellt werden. Zusätzlich lässt sich damit in sehr großen Netzwerken (Campus mit mehr als 10.000 Ports) das auf Layer-3 benötigte Routingkonzept vereinfachen, da die zwei Geräte im VRRP als ein Default-Gateway virtualisiert werden können.

### **DHCP-Relay**

Da in Two-Tier- oder Three-Tier-Netzwerken zumeist ein separater DHCP-Server auf leistungsstarker Hardware existiert, ist es wichtig, dass Switches der Aggregation- / Distribution- und Access-Ebene die DHCP-Relay-Agent-Funktion konfiguriert haben.

Diese Funktion leitet die DHCP-Anfragen an den einen zentralisierten DHCP-Server weiter und verhindert IP-Adressen-Konflikte.

### Layer-3-Routing-Funktionen

Um die Sicherheit und Möglichkeit der Zugriffskontrolle, dynamisches Wachstum des Netzwerks und gute Stabilität (Forwarding vs. Flooding) über eine logische und vor allem effiziente Trennung von Subnetzen zu realisieren, sind Routing-Funktionen essentiell. Damit jeder Switch weiß, wer sein Router ist, wird eine Routing-Tabelle erstellt, die als jederzeit gültige „Adressdatenbank“ dient. Dynamisches Routing stellt sicher, dass sich alle „Router“, also hier Layer-3-fähige Switches (L3), untereinander unterhalten und diese Routing-Tabelle selbstständig aufbauen. Damit wird dynamisch über die Route des Datenverkehrs innerhalb des Netzwerkes immer wieder neu entschieden, was für beste Netzwerkperformance sorgt. Gängige Routingverfahren sind OSPFv2/v3 und BGP4, wobei erst genanntes nur im internen Netzwerk geläufig ist.

## Beispielsszenarien für redundante Switch-Netzwerke

Nachdem nun alle Protokolle in ihrer Kernfunktion bekannt sind, folgt deren Anwendung in Beispielsszenarien mit Modellen aus dem [LANCOM Switch-Portfolio](#).

Die gezeigten Beispiele behandeln dreistufige Switch-Netzwerke. Falls bei Ihnen ein Two-Tier-Netzwerk mit Aggregation- / Distribution- und Access-Ebene ausreichend ist, kann die Core-Ebene wegfallen. Die beschriebenen Lösungsansätze bleiben gültig und können als Empfehlung für die Praxis verstanden werden.

### Szenario 1: 100% Uptime-Switch-Netzwerk mit VPC-fähigen Access Switches

Dieses Szenario ist für große Enterprise- und Campus-Netzwerke mit hohen Redundanzansprüchen geeignet. Die maximale Access-Port-Anzahl inklusive 100% Redundanz beträgt ca. **60.000**.



Bei einem Core-Switch mit 32 Ports wird in der Regel ein Port für den Uplink zu z. B. Datacenter / WAN genutzt und weitere 2 bis 8 für eine VPC mit Redundanz- und Performance-Ansatz reserviert. Somit ergeben sich bei 6 VPC Verbindungen 25 verbleibende Ports. Auf Aggregations- / Distributions-Ebene werden redundant Switches mit jeweils 48 Ports angeschlossen. Daran können wiederum auf Access-Ebene Switches ebenfalls mit max. 48 Ports angebunden werden. Somit ergeben sich

$$25 \times 48 \times 48 = \mathbf{57.600 \text{ Ports}}$$

Für die Realisierung dieses Szenarios müssen alle Switches von der Core- bis zur Access-Ebene VPC-fähig sein. Dadurch ist zwar die Anzahl möglicher Switches begrenzt, aber eine hohe Bandbreite im Active/Active-Prinzip mit 100% Uptime möglich. Zusätzlich erfüllt In-Service-Software-Update (ISSU) höchste Anforderungen an die Netzwerkverfügbarkeit.

In diesem Szenario werden daher die neuen, bald verfügbaren und performance-stärksten LANCOM Switches eingesetzt, wie z. B. der Core Switch LANCOM CS-8132F, der Aggregation / Distribution Switch LANCOM YS-7154CF sowie die Access Switches der XS-4500-Serie. Die XS-4500-Serie ermöglicht erstmals den Anschluss von Wi-Fi 7-fähigen Access Points, wie z. B. dem LANCOM LX-7500.

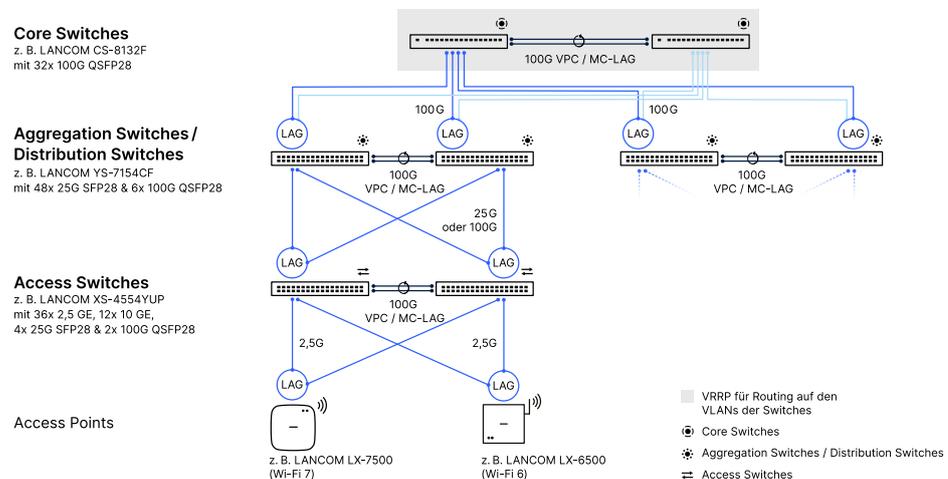


Abbildung 2:  
Szenario mit Einsatz von VPC-fähigen Access Switches

Die Switches jeder Netzwerk-Ebene werden per 100G VPC-Peer-Links miteinander verbunden. Die untergeordneten Ebenen werden dann über LAG, abhängig von den jeweiligen Uplink-Ports der Access Switches mit 100G oder 25G, redundant verbunden. Ebenfalls zu erkennen ist, dass Switches der Core-Ebene im VPC-Verbund auch VRRP konfiguriert haben. Dies dient zur Vereinfachung der späteren Routing-Konfiguration der darunterliegenden Ebenen, da Switches bei VPC ihre jeweilige IP-Adresse behalten und diese erst durch VRRP auf eine gemeinsame vereinfacht wird. Damit erscheinen die Switches der Core- und Aggregation- / Distribution-Ebene von der Access-Ebene ausgehend als jeweils nur ein L3-Routing-Gateway. Nicht eingezeichnet sind die Hilfsprotokolle DHCP-Relay und dynamisches Routing wie OSPF. Diese sollten entsprechend ihrer vorgestellten Funktion konfiguriert und genutzt werden, um das Segmentieren des Netzwerks mit VLANs so einfach wie möglich zu machen.

Auf Endgeräte-Ebene, wie hier z. B. mit Access Points dargestellt, sind Geräte mit zwei Ethernet-Schnittstellen für vollständige Redundanz empfehlenswert. Da LANCOM

Access Switches die sogenannte Non-stop-PoE-Funktion beinhalten, bleibt die Stromversorgung der angeschlossenen Geräte auch im Switch-Reboot- oder Switch-Update-Fall erhalten, solange ein zweiter alternativer Datenpfad existiert.

### Szenario 2: Zuverlässiges Switch-Netzwerk mit einer Kombination aus VPC und Stacking

Bei diesem Szenario steht die Betrachtung der Kosten pro Port im Vordergrund. Sofern auf Access-Ebene mit einem Wartungszeitfenster geplant werden kann, ist dieses Szenario mit Stacking auf Access-Ebene das empfohlene Mittel der Wahl. Im Gegensatz zum ersten Szenario auf Aggregation- / Distribution-Ebene können hier z. B. der LANCOM XS-6128QF sowie auf Access-Ebene die kostengünstigere GS-4500- statt XS-4500-Serie zum Einsatz kommen. Da nun auf Access-Ebene mit bis zu acht Switches im Stack geplant werden kann, erhöht sich die Portanzahl auf maximal **460.800** Ports (25\*48\*48\*8). Die Portanzahl ist damit, bei immer noch vertretbarer Redundanz und einem nahezu 100% Netzwerkbetrieb (Wartungszeitfenster notwendig), signifikant erhöht.

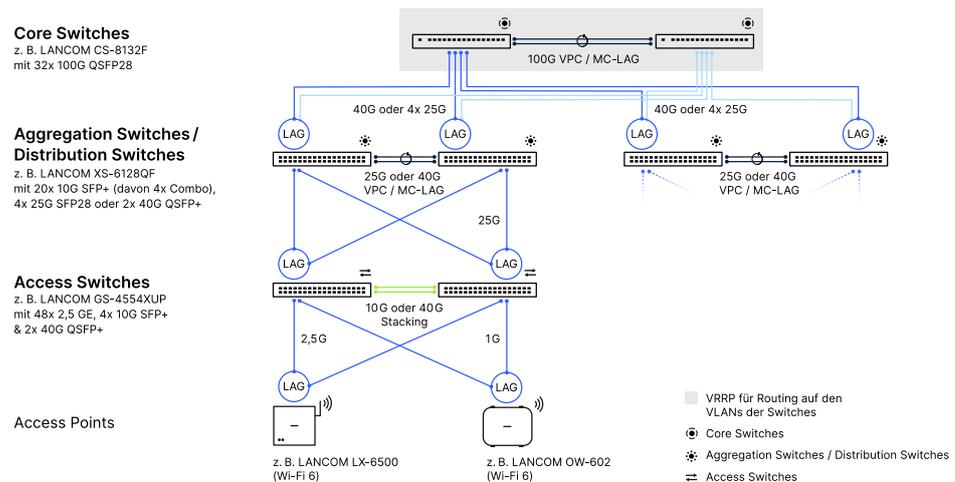


Abbildung 3:  
Szenario mit einer Kombination  
aus VPC und Stacking

Auf Grund der enormen Portanzahl sei auf Core-Ebene auf die L3-Routingprotokolle VRRP und ARF (Advanced Routing and Forwarding) hingewiesen. VPC bleibt auf Core- und Aggregation- / Distribution-Ebene bestehen und erfüllt damit, wie schon beim ersten Szenario, auf diesen beiden Ebenen den wichtigen ISSU-Ansatz. Anstelle von VPC wird auf Access-Ebene die Redundanzlösung Stacking eingesetzt, was die Anzahl einsetzbarer Access Switches des LANCOM Portfolios erhöht. DHCP-Relay bleibt genauso wie die Nutzung von LAGs zwischen den Ebenen analog zum ersten Szenario erhalten. Auf Grund von Einschränkungen beim Stacking ist eine Downtime von ca. fünf Minuten während eines Firmware-Updates des Switch-Stacks zu beachten, die die Planung eines Wartungszeitfensters notwendig macht.

### Szenario 3: Kostengünstigstes Switch-Netzwerk mit einer Kombination aus VPC und STP

In diesem Szenario bleibt die Konfiguration der Core- und auf Aggregation- / Distribution-Ebene mit VPC und LAG wie bereits zuvor unverändert. Lediglich die eingesetzten LANCOM Switches wie LANCOM XS-5116QF und LANCOM GS-3652XUP sorgen für divergierende Uplink-Geschwindigkeiten.

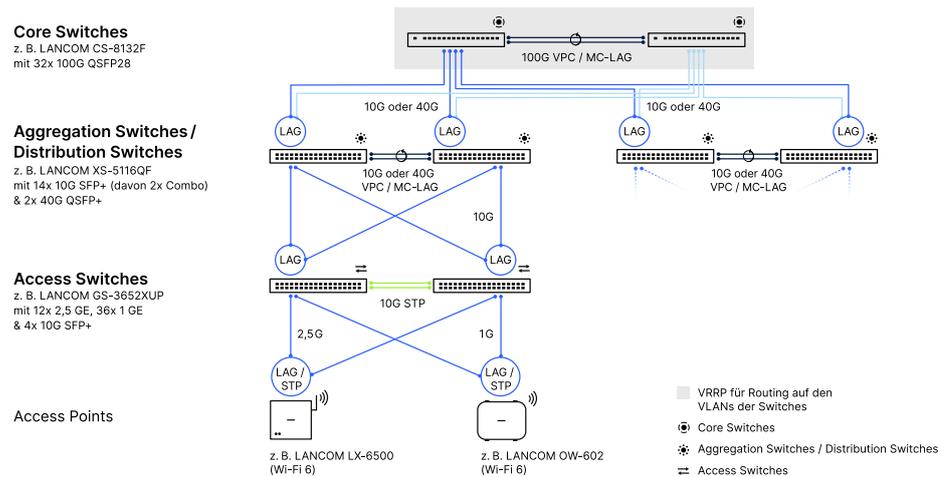


Abbildung 4:  
Szenario mit einer Kombination  
aus VPC und STP

Auf Access-Ebene wird STP statt VPC oder Stacking konfiguriert. Dies hat den Vorteil, dass das Protokoll kaum Hardware-Performance benötigt und die Auswahl der möglichen Access-Switches abermals steigt (z. B. LANCOM GS-3600-Serie). Durch das Active / Passive-Prinzip und dem hohen Konfigurationsaufwand ist STP nur begrenzt einsetzbar.

Im Folgenden werden zwei typische Beispiele gezeigt, anhand derer der Einsatz von STP deutlich wird.

#### Szenario 3.1: STP bei dezentralen Standorten

Die beiden Aggregation/Distribution Switch-Stacks sind als zwei voneinander unabhängige Einheiten an verteilten Standorten zu verstehen. Beide Stacks sind nun per LACP und darauf konfiguriertem STP an das Backbone angebunden, in dem auch das Gateway zum WAN liegt. Wird nun z. B. bei unvorhersehbaren Ereignissen die Verbindung vom rechten Stack zum WAN-Gateway unterbrochen, kann dieser immerhin noch über den linken Stack ins WAN routen, ohne, dass der Standort komplett abgeschnitten wäre. Solange kein Fehlerfall vorliegt, ist also die mittlere

Verbindung zwischen den Stacks nicht aktiv. In der Access-Ebene bleibt in dem Szenario weiterhin die Empfehlung, anstelle von STP LACP zu verwenden.

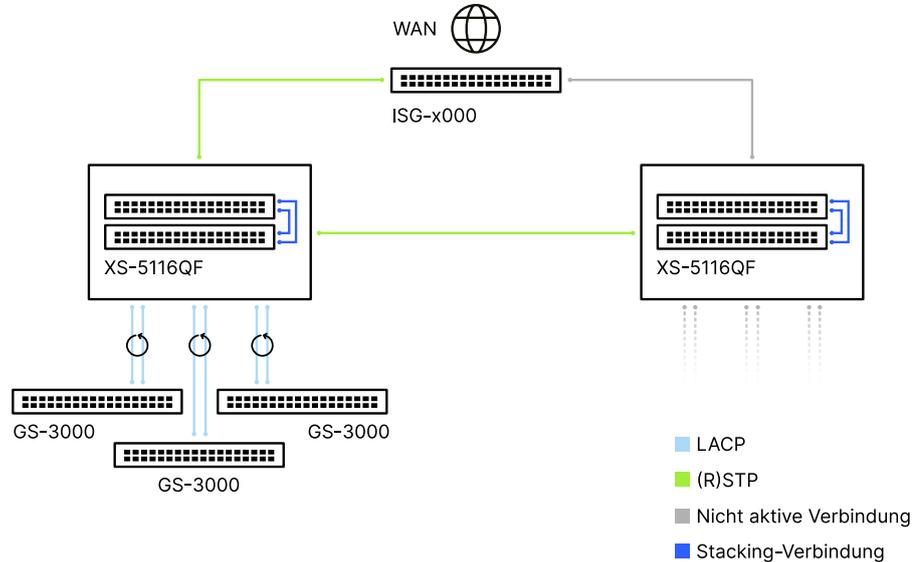


Abbildung 5:  
STP bei dezentralen Standorten

### Szenario 3.2: STP bei vielen kaskadierten Access Switches

Dieses Szenario ist dann ideal, wenn bei begrenztem Budget eine große Anzahl an Access-Ports realisiert werden muss. Oftmals wird dann der Rotstift beim Stack von Aggregation Switches angesetzt, da die große Zahl an Access Switches nicht vermeidbar ist. Um nicht vollständig auf Redundanz verzichten zu müssen, wird auf der Access-Ebene ein Ring konfiguriert, bei dem STP aktiviert werden muss. Natürlich ist es auch hier möglich, zusätzlich doppelte Verbindungen über LACP aufzubauen. Dies kann hier aber auf Grund des Kostenpunkts ebenfalls weggelassen werden.

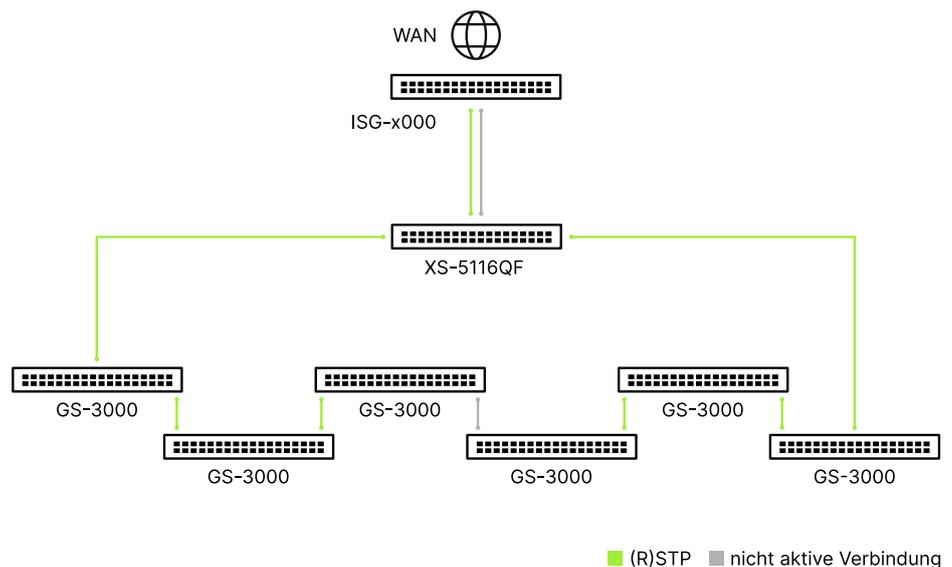


Abbildung 6:  
STP bei vielen kaskadierten  
Access Switches

## Fazit

Mit der Portfolio-Erweiterung um die Core-Ebene wird LANCOM zum One-Stop-Shop für Netzwerk-Planer und -Administratoren von Campus-Netzen.

Auch wenn die aufgezeigten Szenarien nicht den Anspruch haben, jedes in der Praxis vorkommende Netzwerk-Design abzubilden, geben die Beispiele dennoch einen guten Überblick über das, was mit LANCOM Core, Aggregation / Distribution und Access Switches möglich ist. Mit den vorgestellten Redundanzkonzepten VPC, Stacking und STP kann je nach Anwendungsfall und Budget die beste Lösung für jede Netzwerkanforderung gefunden werden.

---

### Sie planen den Aufbau oder die Erweiterung Ihres Netzwerkes mit LANCOM Switches?

---

Erfahrene LANCOM Techniker bzw. die Spezialisten unserer Systempartner helfen Ihnen bei der Planung und dem Aufbau und Betrieb eines bedarfsgerechten, leistungsfähigen und zukunftssicheren LANCOM Netzwerk-Designs.

Sie haben Fragen zu unseren Switches oder suchen einen LANCOM Vertriebspartner?

Rufen Sie uns gerne an:

Vertrieb Deutschland

+49 (0)2405 49936 333 (D)

+49 (0)2405 49936 122 (AT, CH)

---

