

ÜBUNG 10

Spanning Tree

NETZWERKTECHNIK / SEMESTER 3 UND 4

1

AGENDA

- 01 ZWECK VON STP
- 02 STP BETRIEB
- 03 WEITERENTWICKLUNG VON STP

2

01

Zweck von STP

Copyright 2025 / Berndt Sevik

3

3

NETZWERKTECHNIK / SEMESTER 3 und 4

Redundanz in Layer 2 Netzwerken

- Dieses Thema behandelt die **Ursachen von Schleifen in einem Layer-2-Netzwerk** und erklärt kurz, wie das Spanning-Tree-Protokoll funktioniert.
- **Redundanz ist ein wichtiger Bestandteil des hierarchischen Designs**, um einzelne Fehlerpunkte zu eliminieren und Störungen von Netzwerkdiensten für Nutzer zu verhindern.
- Redundante Netze erfordern die **Hinzufügung physischer Pfade, aber logische Redundanz** muss ebenfalls Teil des Designs sein.
- **Alternative physische Pfade** für Daten, die das Netzwerk durchqueren können, ermöglicht es Nutzern, trotz Pfadstörungen auf Netzwerkressourcen zuzugreifen.
- Redundante Pfade in einem geschalteten Ethernet-Netzwerk können jedoch sowohl physische als auch logische Layer-2-Schleifen verursachen.
- **Ethernet-LANs erfordern eine schleifenfreie Topologie** mit genau einem Pfad zwischen je zwei Geräten.
- Eine Schleife in einem Ethernet-LAN kann die **kontinuierliche Weiterleitung von Ethernet-Frames verursachen**, bis eine Verbindung unterbrochen wird und die Schleife dadurch aufgehoben wird.



[Quelle: CCNAV7: Switching, Routing, and Wireless Essentials v7.0 (SRWE), by Cisco Networking Academy, Cisco Press]

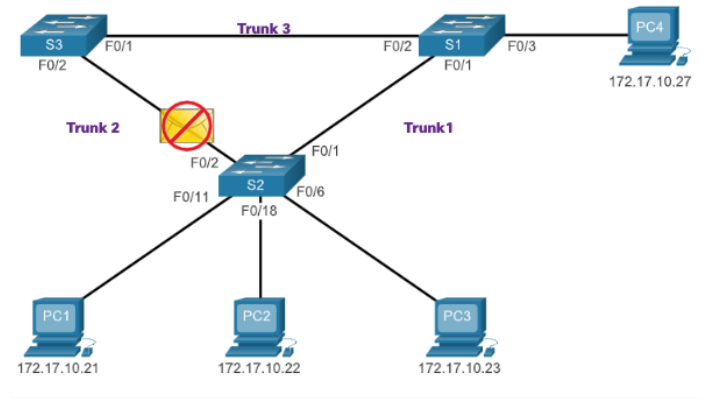
tgm | Technologisches Gewerbemuseum | Höhere technische Bundes-Lehr- und Versuchsanstalt

4

4

Spanning Tree Protocol

- Das Spanning Tree Protocol (STP) ist ein **Loop-Prevention-Netzwerkprotokoll**, das Redundanz ermöglicht und gleichzeitig eine loopfreie Layer-2-Topologie schafft.
- STP **blockiert logisch physische Schleifen** in einem Layer-2-Netzwerk und verhindert, dass Frames für immer das Netzwerk umkreisen.

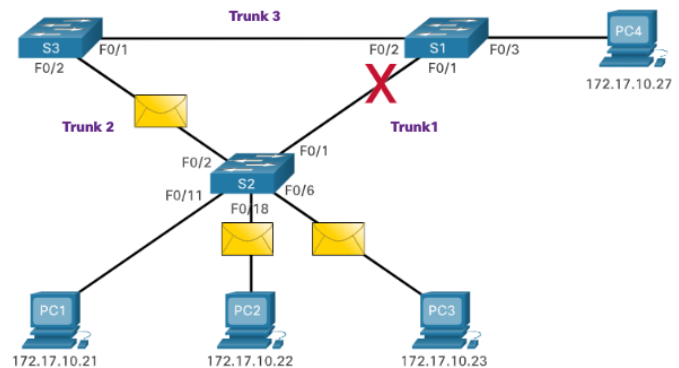


S2 drops the frame because it received it on a blocked port.

5

STP Neuberechnung

- STP **kompensiert einen Ausfall im Netzwerk**, indem es zuvor blockierte Ports neu berechnet und öffnet.



6

Probleme mit redundanten Links

- Pfadredundanz stellt mehrere Netzwerkdienste bereit, indem sie die **Möglichkeit eines einzelnen Fehlerpunkts eliminiert**.
- Wenn mehrere Wege zwischen zwei Geräten in einem Ethernet-Netzwerk existieren und keine Spanning-Tree-Implementierung auf den Switches vorhanden ist, tritt eine **Layer-2-Schleife** auf.
- Eine Layer-2-Schleife kann zu **Instabilität der MAC-Adresstabelle, Linksättigung und hoher CPU-Auslastung** bei Switches und Endgeräten führen, wodurch das Netzwerk unbrauchbar wird.
- **Layer-2-Ethernet verfügt über keinen Mechanismus zur Erkennung und Eliminierung von Endlosschleifen.**
- **Sowohl IPv4 als auch IPv6 bieten einen Mechanismus**, der die Anzahl der Paketwiederholungen durch Layer-3-Netzwerkgeräte begrenzt.
 - Ein Router dekrementiert die **TTL** (Time to Live) in jedem IPv4-Paket und das Hop-Limit-Feld in jedem IPv6-Paket.
 - Sobald diese Felder auf 0 dekrementiert sind, verwirft der Router das Paket.
- **Ethernet und Ethernet-Switches besitzen keinen vergleichbaren Mechanismus** zur Begrenzung der Wiederholungen von Layer-2-Frames durch einen Switch. STP wurde speziell als Schleifenvermeidungsmechanismus für Layer-2-Ethernet entwickelt.

7

Layer 2 Schleifen

Ohne aktiviertes STP können Layer-2-Schleifen entstehen, die dazu führen, dass Broadcast-, Multicast- und unbekannte Unicast-Frames endlos wiederholt werden.

- Wenn eine Schleife auftritt, ändert sich die MAC-Adresstabelle eines Switches ständig durch die Aktualisierungen der Broadcast-Frames, was zu einer Instabilität der MAC-Datenbank führt.
- Dies kann eine hohe CPU-Auslastung verursachen, wodurch der Switch keine Frames mehr weiterleiten kann.
- Ein unbekannter Unicast-Frame liegt vor, wenn der Switch die Ziel-MAC-Adresse nicht in seiner MAC-Adresstabelle hat und den Frame über alle Ports außer dem Eingangsport weiterleiten muss.

8

Broadcast Storm

- Ein Broadcast-Sturm ist eine ungewöhnlich hohe Anzahl von Broadcasts, die das Netzwerk innerhalb eines bestimmten Zeitraums überlasten.
- Broadcast-Stürme können ein Netzwerk innerhalb von Sekunden lahmlegen, indem sie Switches und Endgeräte überlasten.
- Ursachen für Broadcast-Stürme können Hardwareprobleme wie eine defekte Netzwerkkarte (NIC) oder eine Layer-2-Schleife im Netzwerk sein.
 - Layer-2-Broadcasts, wie z. B. ARP-Anfragen, sind in Netzwerken sehr häufig.
 - Layer-2-Multicasts werden vom Switch in der Regel wie Broadcasts weitergeleitet.
- **Ein Host, der sich in einer Layer-2-Schleife befindet, ist für andere Hosts im Netzwerk nicht erreichbar.** Aufgrund der ständigen Änderungen in seiner MAC-Adresstabelle weiß der Switch außerdem nicht, über welchen Port er Unicast-Frames weiterleiten soll.
- Um diese Probleme in einem redundanten Netzwerk zu vermeiden, muss auf den Switches ein Spanning Tree aktiviert sein. **Meist ist Spanning Tree standardmäßig aktiviert**, um Layer-2-Schleifen zu verhindern.

Spanning Tree Algorithmus

- STP basiert auf einem Algorithmus, den Radia Perlmán während ihrer Tätigkeit für Digital Equipment Corporation entwickelte und 1985 in der Publikation „**An Algorithm for Distributed Computation of a Spanning Tree in an Extended LAN**“ veröffentlichte.
- Ihr **Spanning-Tree-Algorithmus (STA) erzeugt eine schleifenfreie Topologie**, indem er eine **einzigste Root-Bridge auswählt**, über die alle anderen Switches einen einzigen Pfad mit den geringsten Kosten bestimmen.
- STP verhindert Schleifen, indem es mithilfe strategisch platzierter „**Blocking-State**“-Ports einen schleifenfreien Pfad durch das Netzwerk konfiguriert.
- Die Switches, die STP ausführen, können Ausfälle kompensieren, indem sie die zuvor blockierten **Ports dynamisch entsperren und den Datenverkehr über die alternativen Pfade leiten**.

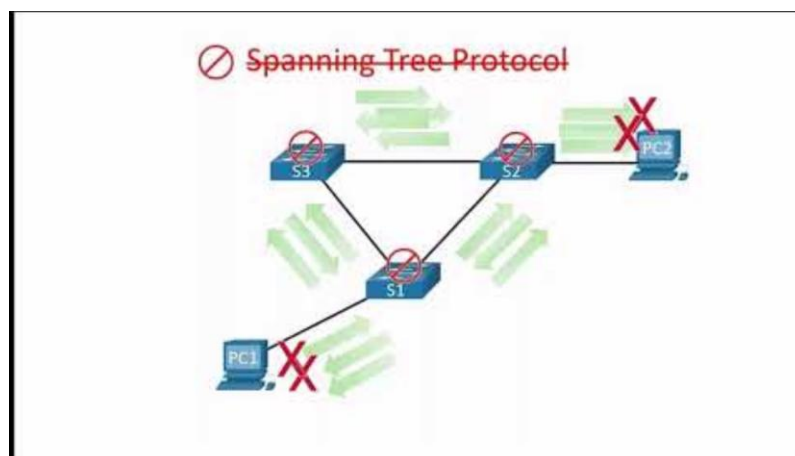
Spanning Tree Algorithmus

Wie erzeugt die STA eine schleifenfreie Topologie?

- **Auswahl einer Root-Bridge:** Diese Bridge (Switch) dient als Referenzpunkt für den Aufbau des Spanning Tree im gesamten Netzwerk.
- **Blockierung redundanter Pfade:** STP stellt sicher, dass zwischen allen Zielen im Netzwerk nur ein logischer Pfad existiert, indem redundante Pfade, die eine Schleife verursachen könnten, gezielt blockiert werden. Wenn ein Port blockiert ist, wird der Datenverkehr über diesen Port verhindert.
- **Erstellung einer schleifenfreien Topologie:** Ein blockierter Port bewirkt, dass die Verbindung zwischen den beiden Switches nicht weiterleitet. Dadurch entsteht eine Topologie, in der jeder Switch nur einen einzigen Pfad zur Root-Bridge hat, ähnlich wie die Äste eines Baumes, die mit der Wurzel verbunden sind.
- **Neuberechnung bei Verbindungsausfall:** Die physischen Pfade sind weiterhin vorhanden, um Redundanz zu gewährleisten. Diese Pfade sind jedoch deaktiviert, um Schleifen zu verhindern. Wird der Pfad benötigt, um einen Ausfall eines Netzkabels oder Switches zu kompensieren, berechnet STP die Pfade neu und gibt die Blockierung der erforderlichen Ports frei, sodass der redundante Pfad aktiv wird. STP-Neuberechnungen können auch immer dann erfolgen, wenn ein neuer Switch oder eine neue Verbindung zwischen Switches zum Netzwerk hinzugefügt wird.

11

Video - Observe STP Operation



12

02

STP Betrieb

Copyright 2025 / Berndt Sevik 13

13

NETZWERKTECHNIK / SEMESTER 3 und 4

Schritte zu einer schleifenfreien Topologie

Mithilfe der STA (Strategic Access Terminal) erstellt STP (Strategic Access Terminal) in **vier Schritten** eine schleifenfreie Topologie:

1. Wahl der **Root-Bridge**.
2. Wahl der **Root-Ports**.
3. Wahl der **Designated Ports**.
4. Wahl der **alternativen (blockierten) Ports**.
 - Während der STA- und STP-Funktionen verwenden Switches **Bridge Protocol Data Units (BPDUs)**, um Informationen über sich selbst und ihre Verbindungen auszutauschen. BPDUs werden zur Wahl der Root-Bridge, der Root-Ports, der Designated Ports und der alternativen Ports verwendet.
 - **Jede BPDU enthält eine Bridge-ID (BID)**, die den sendenden Switch identifiziert. Die BID ist an vielen STA-Entscheidungen beteiligt, darunter die Rollen der Root-Bridge und der Ports.
 - Die BID **enthält einen Prioritätswert, die MAC-Adresse des Switches und eine erweiterte System-ID**. Der niedrigste BID-Wert ergibt sich aus der Kombination dieser drei Felder.

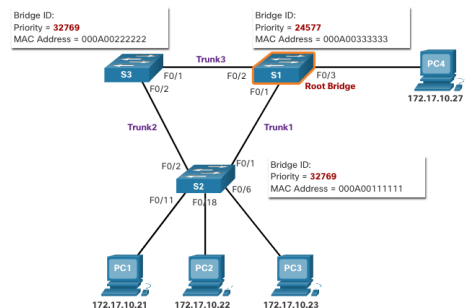
14

Schritte zu einer schleifenfreien Topologie

- **Bridge-Priorität:** Der Standardwert für die Priorität aller Cisco-Switches ist der Dezimalwert 32768. Der Bereich liegt zwischen 0 und 61440 in Schritten von 4096. Eine niedrigere Bridge-Priorität ist vorzuziehen. Die Bridge-Priorität 0 hat Vorrang vor allen anderen Prioritäten.
- **Erweiterte System-ID:** Die erweiterte System-ID ist ein Dezimalwert, der zur Bridge-Priorität in der BID addiert wird, um das VLAN für diese BPDU zu identifizieren.
- **MAC-Adresse:** Wenn zwei Switches mit derselben Priorität und derselben erweiterten System-ID konfiguriert sind, erhält der Switch mit der MAC-Adresse mit dem niedrigsten Wert (hexadezimal) die niedrigere BID.

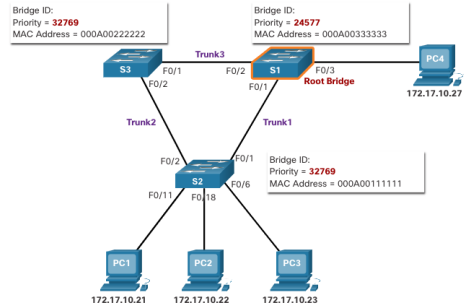
(1) Wahl der Root Bridge

- **Die STA (Station Area Network) legt einen einzelnen Switch als Root Bridge fest und verwendet diesen als Referenzpunkt für alle Pfadberechnungen.**
 - Die Switches tauschen BPDUs (Broadcast-Precision-Bridge Units) aus, um die schleifenfreie Topologie aufzubauen, beginnend mit der Auswahl der Root Bridge.
- **Alle Switches in der Broadcast-Domäne nehmen am Wahlprozess teil.**
 - Nach dem Start sendet ein Switch alle zwei Sekunden BPDUs. Diese BPDUs enthalten die BID (Broadcast Identifier) des sendenden Switches und die BID der Root Bridge, die als Root-ID bezeichnet wird.
- **Der Switch mit der niedrigsten BID wird zur Root Bridge.**
 - Zunächst deklarieren sich alle Switches als Root Bridge und setzen ihre eigene BID als Root-ID. Schließlich ermitteln die Switches durch den Austausch von BPDUs, welcher Switch die niedrigste BID hat, und einigen sich auf eine gemeinsame Root Bridge.



Einfluss der Standard BIDs

- **Da die Standard-Bridge-ID (BID) 32768 ist, können zwei oder mehr Switches dieselbe Priorität haben.** In diesem Fall, wenn die Prioritäten gleich sind, wird der Switch mit der niedrigsten MAC-Adresse zur Root-Bridge. Der Administrator sollte den gewünschten Root-Bridge-Switch mit einer niedrigeren Priorität konfigurieren.
- In der Abbildung sind alle Switches mit der gleichen Priorität 32769 konfiguriert. Hier ist die MAC-Adresse ausschlaggebend dafür, welcher Switch zur Root-Bridge wird. **Der Switch mit dem niedrigsten hexadezimalen MAC-Adresswert ist die bevorzugte Root-Bridge.** In diesem Beispiel hat S2 den niedrigsten Wert für seine MAC-Adresse und wird daher für diese Spanning-Tree-Instanz als Root-Bridge gewählt.
- **Hinweis:** Die Priorität aller Switches ist 32769. Dieser Wert basiert auf der Standard-Bridge-Priorität von 32768 und der erweiterten System-ID (VLAN-1-Zuordnung), die jedem Switch zugeordnet ist (32768+1).



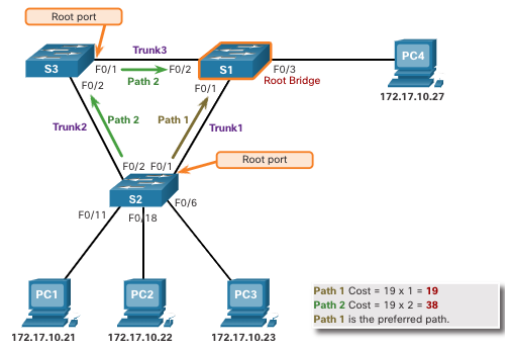
Ermitteln der Kosten für den Root Pfad

- **Sobald die Root-Bridge für eine bestimmte Spanning-Tree-Instanz ausgewählt wurde, ermittelt die STA die besten Pfade zur Root-Bridge von allen Zielen in der Broadcast-Domäne.** Die Pfadinformationen, die als interne Root-Pfadkosten bezeichnet werden, ergeben sich aus der Summe aller einzelnen Portkosten entlang des Pfades vom Switch zur Root-Bridge.
- **Beim Empfang einer BPDU addiert ein Switch die Eingangsportkosten des Segments,** um seine internen Root-Pfadkosten zu bestimmen.
- **Die Standard-Portkosten hängen von der Port-Geschwindigkeit ab.** Die Tabelle zeigt die von IEEE empfohlenen Standard-Portkosten.
- **Obwohl Switch-Ports standardmäßig Portkosten zugeordnet sind, lassen sich diese konfigurieren.** Die Möglichkeit, einzelne Portkosten zu konfigurieren, gibt dem Administrator die Flexibilität, die Spanning-Tree-Pfade zur Root-Bridge manuell zu steuern.

Link Speed	STP Cost: IEEE 802.1D-1998	RSTP Cost: IEEE 802.1w-2004
10 Gbps	2	2,000
1 Gbps	4	20,000
100 Mbps	19	200,000
10 Mbps	100	2,000,000

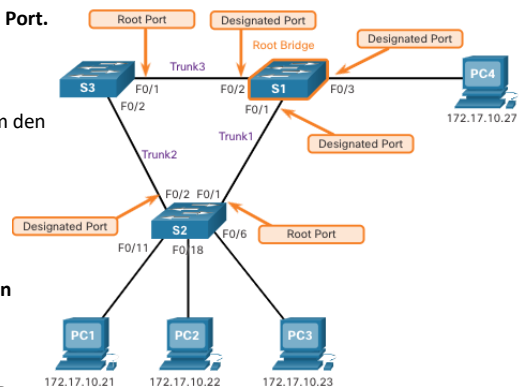
(2) Root Ports bestimmen

- Nachdem die Root-Bridge bestimmt wurde, wählt der STA-Algorithmus den Root-Port aus.
 - Jeder Nicht-Root-Switch wählt einen Root-Port. Der Root-Port ist der Port, der hinsichtlich der Gesamtkosten zur Root-Bridge am nächsten liegt. Diese Gesamtkosten werden als interne Root-Pfadkosten bezeichnet.
- Die internen Root-Pfadkosten entsprechen der Summe aller Portkosten entlang des Pfades zur Root-Bridge, wie in der Abbildung dargestellt.
 - Pfade mit den niedrigsten Kosten werden bevorzugt, alle anderen redundanten Pfade werden blockiert. Im Beispiel betragen die internen Root-Pfadkosten von S2 zur Root-Bridge S1 über Pfad 1, während die internen Root-Pfadkosten über Pfad 2 38 betragen. Da Pfad 1 die geringeren Gesamtpfadkosten zur Root-Bridge aufweist, wird er bevorzugt, und F0/1 wird zum Root-Port auf S2.



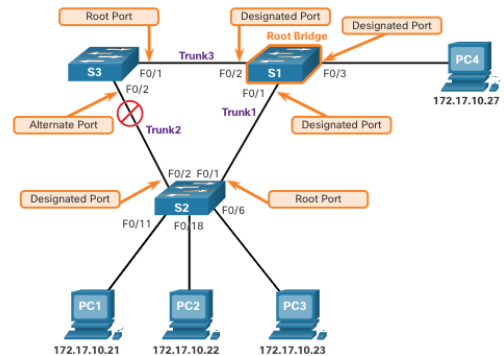
(3) Designated Ports bestimmen

- Jedes Segment zwischen zwei Switches verfügt über einen designierten Port.
 - Dieser designierte Port ist derjenige Port im Segment, der den kostengünstigsten internen Pfad zur Root-Bridge aufweist.
 - Anders ausgedrückt: Der designierte Port bietet den besten Weg, um den Datenverkehr zur Root-Bridge zu empfangen.
- Alle Ports, die weder Root- noch designierte Ports sind, werden als alternative oder blockierte Ports bezeichnet.
- Alle Ports der Root-Bridge sind designierte Ports.
- Wenn ein Ende eines Segments ein Root-Port ist, ist das andere Ende ein designierter Port.
- Alle an Endgeräte angeschlossenen Ports sind designierte Ports.
- In Segmenten zwischen zwei Switches, in denen keiner der Switches die Root-Bridge ist, ist der Port des Switches mit dem kostengünstigsten Pfad zur Root-Bridge ein designierter Port.



(3) Alternate (Blocked) Ports bestimmen

- Wenn ein Port weder ein Root-Port noch ein designierter Port ist, wird er zu einem alternativen (oder Backup-)Port.
- Alternative Ports befinden sich im Zustand „Verwerfen“ oder „Blockieren“, um Schleifen zu verhindern.
- In der Abbildung hat die STA Port F0/2 auf S3 als alternativen Port konfiguriert.
- Port F0/2 auf S3 befindet sich im Zustand „Blockieren“ und leitet keine Ethernet-Frames weiter.
- Alle anderen Ports zwischen den Switches befinden sich im Zustand „Weiterleiten“. Dies ist der Teil von STP zur Schleifenvermeidung.



Wähle einen Root-Port aus mehreren gleichwertigen Pfaden aus

- Niedrigste Sender BID
- Niedrigste Sender Port Priority
- Niedrigste Sender Port ID

Wähle einen Root-Port aus mehreren gleichwertigen Pfaden aus

Niedrigste Sender-BID: Diese Topologie besteht aus vier Switches, wobei **Switch S1 die Root-Bridge** ist.

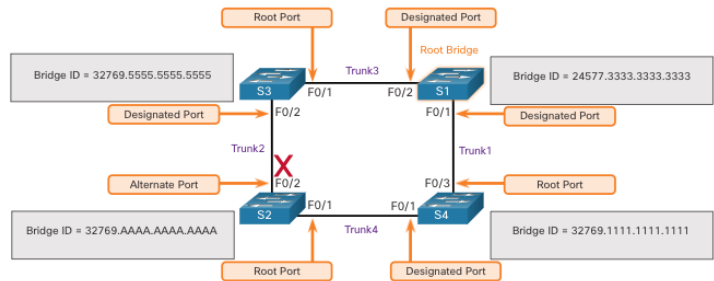
Port F0/1 von Switch S3 und Port F0/3 von Switch S4 wurden als Root-Ports ausgewählt, da sie die niedrigsten Pfadkosten zur Root-Bridge für ihre jeweiligen Switches aufweisen.

S2 verfügt über zwei Ports, F0/1 und F0/2, mit Pfadkosten gleicher Höhe zur Root-Bridge.

Die Bridge-IDs von S3 und S4 werden verwendet, um bei Gleichstand die richtige Wahl zu treffen. Dies wird als Sender-BID bezeichnet.

S3 hat die BID 32769.5555.5555.5555 und S4 die BID 32769.1111.1111.1111.

Da S4 die niedrigere BID hat, wird Port F0/1 von S2, der mit S4 verbunden ist, zum Root-Port.



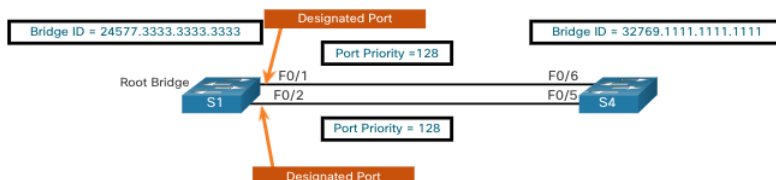
Wähle einen Root-Port aus mehreren gleichwertigen Pfaden aus

Niedrigste Sender-Portpriorität: Diese Topologie besteht aus zwei Switches, die über zwei gleichwertige Pfade miteinander verbunden sind. S1 ist die Root-Bridge, daher sind beide Ports Designated Ports.

S4 verfügt über zwei Ports mit gleichwertigen Pfaden zur Root-Bridge. Da beide Ports mit demselben Switch verbunden sind, ist die Sender-BID (S1) identisch. Daher ergibt sich im ersten Schritt ein Gleichstand.

Als Nächstes wird die Portpriorität des Senders (S1) betrachtet. Die Standard-Portpriorität beträgt 128, daher haben beide Ports auf S1 dieselbe Priorität. Auch hier ergibt sich ein Gleichstand.

Wäre jedoch einer der Ports auf S1 mit einer niedrigeren Priorität konfiguriert, würde S4 den benachbarten Port in den Weiterleitungszustand versetzen. Der andere Port auf S4 befände sich im Blockierungszustand.

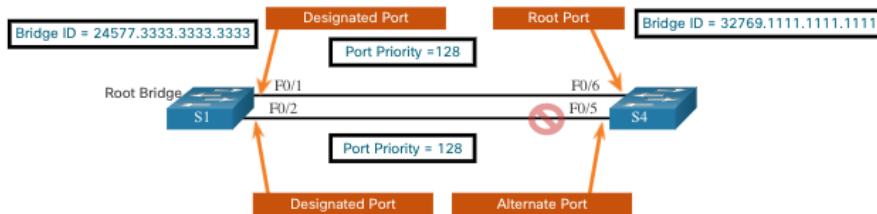


Wähle einen Root-Port aus mehreren gleichwertigen Pfaden aus

Niedrigste Sender-Port-ID: Als letztes Entscheidungskriterium dient die niedrigste Sender-Port-ID.

Switch S4 hat BPDUs von Port F0/1 und Port F0/2 auf S1 empfangen. Die Entscheidung basiert auf der Sender-Port-ID, nicht auf der Empfänger-Port-ID.

Da die Port-ID von F0/1 auf S1 niedriger ist als die von Port F0/2, wird Port F0/6 auf Switch S4 zum Root-Port. Dieser Port auf S4 ist mit Port F0/1 auf S1 verbunden. Port F0/5 auf S4 wird zu einem alternativen Port und in den Blockierungszustand versetzt.



STP Timer und Port Zustände

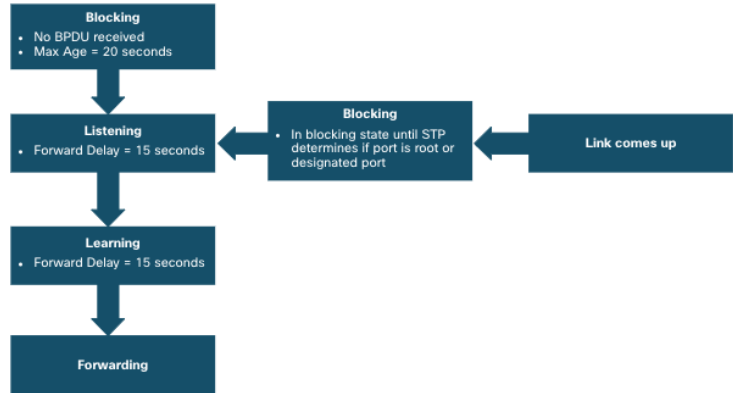
Für die STP-Konvergenz **werden drei Timer benötigt:**

- **Hello-Timer** – Die Hello-Zeit ist das Intervall zwischen BPDUs. Der Standardwert beträgt 2 Sekunden, kann aber auf 1 bis 10 Sekunden angepasst werden.
- **Forward-Delay-Timer** – Die Forward-Delay-Zeit ist die Zeit, die der Switch im Listening- und Learning-Zustand verbringt. Der Standardwert beträgt 15 Sekunden, kann aber auf 4 bis 30 Sekunden angepasst werden.
- **Max-Age-Timer** – Das Max-Age-Timer ist die maximale Wartezeit eines Switches, bevor er versucht, die STP-Topologie zu ändern. Der Standardwert beträgt 20 Sekunden, kann aber auf 6 bis 40 Sekunden angepasst werden.

Hinweis: Die Standardwerte können auf der Root-Bridge geändert werden, die die Werte dieser Timer für die STP-Domäne festlegt.

STP Timer und Port Zustände

STP gewährleistet einen logischen, schleifenfreien Pfad im gesamten Broadcast-Bereich. Der Spanning Tree wird anhand der Informationen bestimmt, die durch den Austausch von BPDU-Frames zwischen den verbundenen Switches gewonnen werden. Wechselt ein Switch-Port direkt vom Blockierungs- in den Weiterleitungszustand, ohne während des Übergangs Informationen über die vollständige Topologie zu erhalten, kann dies vorübergehend eine Datenschleife verursachen. Aus diesem Grund kennt STP fünf Portzustände, von denen vier, wie in der Abbildung dargestellt, betriebsbereit sind. Der deaktivierte Zustand gilt als nicht betriebsbereit.



Operative Details zu jedem Zustand

Port State	BPDU	MAC Address Table	Forwarding Data Frames
Blocking	Receive only	No update	No
Listening	Receive and send	No update	No
Learning	Receive and send	Updating table	No
Forwarding	Receive and send	Updating table	Yes
Disabled	None sent or received	No update	No

Per-VLAN STP

STP kann für den Betrieb in Umgebungen mit mehreren VLANs konfiguriert werden. In PVST-Versionen (Per-VLAN Spanning Tree) von STP wird für jede Spanning-Tree-Instanz eine Root-Bridge gewählt. Dadurch ist es möglich, für verschiedene VLAN-Gruppen unterschiedliche Root-Bridges zu verwenden.

STP betreibt für jedes einzelne VLAN eine separate STP-Instanz. Sind alle Ports aller Switches Mitglieder von VLAN 1, existiert nur eine Spanning-Tree-Instanz.

03

Weiterentwicklung von STP

Verschiedene Versionen von STP

- Viele Fachleute verwenden die Begriffe **Spanning Tree und STP synonym für die verschiedenen Implementierungen des Spanning Tree Protocol**, wie beispielsweise das Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) und das Multiple Spanning Tree Protocol (MSTP). Um Spanning-Tree-Konzepte korrekt zu vermitteln, ist es wichtig, die jeweilige Implementierung oder den Standard im Kontext zu nennen.
- Die **aktuelle IEEE-Dokumentation zum Spanning Tree Protocol (IEEE-802-1D-2004) besagt: „STP wurde durch das Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) abgelöst.“** Das IEEE verwendet „STP“ für die ursprüngliche Implementierung des Spanning Tree Protocol und „RSTP“ für die in IEEE-802-1D-2004 spezifizierte Version.
- Switches müssen explizit für den Rapid Spanning Tree-Modus konfiguriert werden, um das Rapid Spanning Tree-Protokoll ausführen zu können.

Verschiedene Versionen von STP

STP Variety	Description
STP	This is the original IEEE 802.1D version (802.1D-1998 and earlier) that provides a loop-free topology in a network with redundant links. Also called Common Spanning Tree (CST), it assumes one spanning tree instance for the entire bridged network, regardless of the number of VLANs.
PVST+	Per-VLAN Spanning Tree (PVST+) is a Cisco enhancement of STP that provides a separate 802.1D spanning tree instance for each VLAN configured in the network. PVST+ supports PortFast, UplinkFast, BackboneFast, BPDU guard, BPDU filter, root guard, and loop guard.
802.1D-2004	This is an updated version of the STP standard, incorporating IEEE 802.1w.
RSTP	Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) or IEEE 802.1w is an evolution of STP that provides faster convergence than STP.
Rapid PVST+	This is a Cisco enhancement of RSTP that uses PVST+ and provides a separate instance of 802.1w per VLAN. Each separate instance supports PortFast, BPDU guard, BPDU filter, root guard, and loop guard.
MSTP	Multiple Spanning Tree Protocol (MSTP) is an IEEE standard inspired by the earlier Cisco proprietary Multiple Instance STP (MISTP) implementation. MSTP maps multiple VLANs into the same spanning tree instance.
MST	Multiple Spanning Tree (MST) is the Cisco implementation of MSTP, which provides up to 16 instances of RSTP and combines many VLANs with the same physical and logical topology into a common RSTP instance. Each instance supports PortFast, BPDU guard, BPDU filter, root guard, and loop guard.

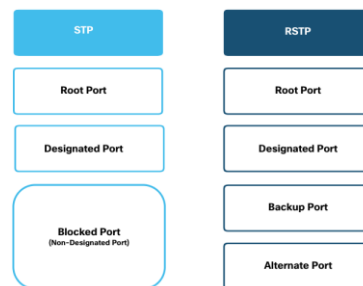
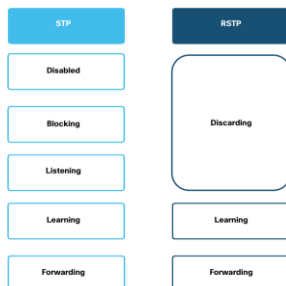
RSTP Konzepte

- **RSTP (IEEE 802.1w) löst den ursprünglichen Standard 802.1D ab und ist dabei abwärtskompatibel.** Die Terminologie von 802.1w STP entspricht weitgehend der des ursprünglichen IEEE 802.1D STP. Die meisten Parameter sind unverändert geblieben. Anwender, die mit dem ursprünglichen STP-Standard vertraut sind, können RSTP problemlos konfigurieren. Sowohl STP als auch RSTP verwenden denselben Spanning-Tree-Algorithmus, um Portrollen und Topologie zu bestimmen.
- RSTP beschleunigt die Neuberechnung des Spanning Tree bei Änderungen der Layer-2-Netzwerktopologie. **In einem korrekt konfigurierten Netzwerk kann RSTP eine deutlich schnellere Konvergenz erreichen, teilweise in nur wenigen Hundert Millisekunden.** Ist ein Port als alternativer Port konfiguriert, kann er sofort in den Weiterleitungszustand wechseln, ohne auf die Netzwerkkonvergenz warten zu müssen.

Hinweis: Rapid PVST+ ist die Cisco-Implementierung von RSTP pro VLAN. Bei Rapid PVST+ läuft für jedes VLAN eine unabhängige RSTP-Instanz.

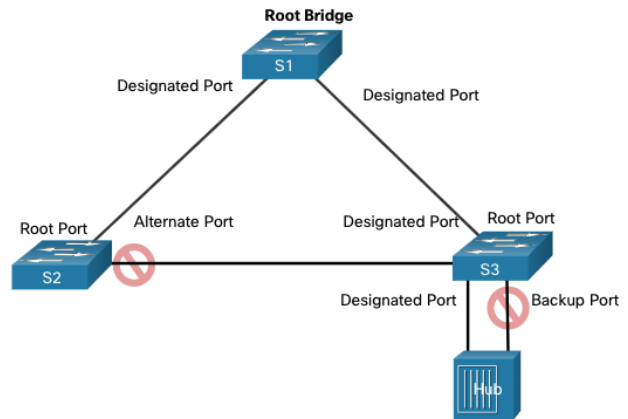
RSTP Port Zustände und Rollen

- **In RSTP gibt es nur drei Portzustände, die den fünf möglichen Betriebszuständen in STP entsprechen.** Die Zustände „Deaktiviert“, „Blockiert“ und „Abhören“ gemäß 802.1D werden zu einem einzigen Zustand „Verwerfen“ gemäß 802.1w zusammengefasst.
- Root-Ports und Designated Ports sind sowohl bei STP als auch bei RSTP identisch. **Allerdings gibt es bei RSTP zwei Portrollen, die dem Blockierungszustand von STP entsprechen.** In STP ist ein Port blockiert, wenn er weder der Designated Port noch der Root-Port ist. RSTP verwendet hierfür zwei Portrollen.



RSTP Port Zustände und Rollen

- Der **alternative Port** bietet einen alternativen Pfad zur Root-Bridge.
- Der **Backup-Port** dient als **Ausweidlösung für ein gemeinsam genutztes Medium**, beispielsweise einen Hub. Backup-Ports sind weniger verbreitet, da Hubs heutzutage als veraltete Geräte gelten.



PortFast und BPDU Guard

- Wenn ein Gerät an einen Switch-Port angeschlossen oder ein Switch eingeschaltet wird, durchläuft der Port die Zustände „Listening“ und „Learning“ und wartet jeweils auf den Ablauf des Forward-Delay-Timers. Diese Verzögerung beträgt 15 Sekunden pro Zustand, insgesamt also 30 Sekunden. Dies kann für DHCP-Clients, die einen DHCP-Server suchen, problematisch sein, da der DHCP-Prozess ein Timeout verursachen kann. Die Folge ist, dass ein IPv4-Client keine gültige IPv4-Adresse erhält.
- Wenn ein Switch-Port mit PortFast konfiguriert ist, wechselt er sofort vom Blocking- in den Forwarding-Zustand und vermeidet so die 30-Sekunden-Verzögerung. Sie können PortFast auf Access-Ports verwenden, um Geräten, die an diese Ports angeschlossen sind, sofortigen Netzwerkzugriff zu ermöglichen. PortFast sollte **ausschließlich auf Access-Ports** verwendet werden. Wenn Sie PortFast auf einem Port aktivieren, der mit einem anderen Switch verbunden ist, riskieren Sie eine Spanning-Tree-Schleife.
- Ein PortFast-fähiger Switch-Port sollte niemals BPDUs empfangen, da dies darauf hindeuten würde, dass der Switch mit dem Port verbunden ist und möglicherweise eine Spanning-Tree-Schleife verursachen kann. Cisco-Switches unterstützen eine Funktion namens BPDU Guard. Ist diese Funktion aktiviert, wird der Switch-Port beim Empfang einer BPDU sofort in den Fehlerzustand versetzt. Dies schützt vor potenziellen Schleifen, indem der Port effektiv abgeschaltet wird. Der Administrator muss die Schnittstelle manuell wieder aktivieren.

Alternativen zu STP

- Im Laufe der Jahre stiegen die Anforderungen von Unternehmen an Ausfallsicherheit und Verfügbarkeit ihrer LANs. Ethernet-LANs entwickelten sich von wenigen miteinander verbundenen Switches, die an einen einzigen Router angeschlossen waren, zu komplexen hierarchischen Netzwerkstrukturen mit Access-, Distribution- und Core-Layer-Switches.
- Je nach Implementierung kann Layer 2 neben dem Access-Layer auch den Distribution- oder sogar den Core-Layer umfassen. Solche Architekturen können Hunderte von Switches mit Hunderten oder sogar Tausenden von VLANs beinhalten. STP wurde im Rahmen von RSTP und MSTP durch Erweiterungen an die erhöhte Redundanz und Komplexität angepasst.
- Ein wichtiger Aspekt des Netzwerkdesigns ist die schnelle und vorhersagbare Konvergenz bei Ausfällen oder Topologieänderungen. Spanning Tree bietet nicht dieselbe Effizienz und Vorhersagbarkeit wie Routing-Protokolle auf Layer 3. Layer-3-Routing ermöglicht redundante Pfade und Schleifen in der Topologie, ohne Ports zu blockieren. Aus diesem Grund migrieren einige Umgebungen vollständig zu Layer 3, außer an den Verbindungen zum Access-Layer-Switch. Das heißt, die Verbindungen zwischen Access-Layer-Switches und Distribution-Switches erfolgen auf Layer 3 anstatt auf Layer 2.