

Arbeitslaststabilität mit EMC VPLEX

Best Practices-Planung

Abstract

Dieses White Paper enthält eine kurze Einführung in EMC® VPLEX™ und beschreibt, wie VPLEX die Arbeitslaststabilität des Rechenzentrums verbessert. Sie finden hier Best Practice-Empfehlungen für hohe Verfügbarkeit sowie Beschreibungen, wie VPLEX mit verschiedenen Ausfallsituationen umgeht.

Mai 2010

Copyright © 2010 EMC Corporation. Alle Rechte vorbehalten.

EMC ist der Ansicht, dass die Informationen in dieser Veröffentlichung zum Zeitpunkt der Veröffentlichung korrekt sind. Die Informationen können jederzeit ohne vorherige Ankündigung geändert werden.

DIE INFORMATIONEN IN DIESER VERÖFFENTLICHUNG WERDEN „SO WIE SIE SIND“ ZUR VERFÜGUNG GESTELLT. DIE EMC CORPORATION MACHT KEINE ZUSICHERUNGEN UND ÜBERNIMMT KEINE HAFTUNG JEDWEDER ART IM HINBLICK AUF DIE IN DIESEM DOKUMENT ENTHALTENEN INFORMATIONEN UND SCHLIESST INSBESONDERE JEDWEDE IMPLIZITE HAFTUNG FÜR DIE HANDELSÜBLICHKEIT UND DIE EIGNUNG FÜR EINEN BESTIMMTEN ZWECK AUS.

Für die Nutzung, das Kopieren und die Verteilung der in dieser Veröffentlichung beschriebenen EMC Software ist eine entsprechende Softwarelizenz erforderlich.

Eine aktuelle Übersicht über die EMC Produktnamen finden Sie unter „EMC Corporation – Handelsmarken“ auf emc2.de.

Alle anderen in diesem Dokument erwähnten Marken sind das Eigentum ihrer jeweiligen Rechtsinhaber.

Teilenummer h7138.1

Inhalt

Zusammenfassung	4
Einleitung	4
Zielgruppe	4
Übersicht über die VPLEX-Technologie	4
EMC VPLEX Cluster-Architektur.....	6
VPLEX-Device-Virtualisierung.....	7
Übersicht über die VPLEX-Hardware	7
Übersicht über die Bereitstellung.....	9
Bereitstellung von VPLEX Local	9
Verwendungsmöglichkeiten von VPLEX Local	10
Bereitstellung von VPLEX Metro in einem Rechenzentrum	10
Verwendungsmöglichkeiten einer VPLEX Metro-Bereitstellung im Rechenzentrum	11
Bereitstellung von VPLEX Metro zwischen Rechenzentren	11
Verwendungsmöglichkeiten einer VPLEX Metro-Bereitstellung zwischen Rechenzentren	12
Arbeitslaststabilität.....	13
Speicher-Array-Ausfälle	13
Best Practices.....	13
SAN-Ausfälle.....	14
Best Practice	15
Ausfälle von VPLEX-Komponenten	16
Ausfall des Fibre Channel-Ports.....	16
Ausfall des I/O-Moduls	17
Ausfall des Directors	17
Ausfall der Engine-Stromversorgung	18
Ausfall des Engine-Lüfters	18
Ausfall des Cluster-internen IP-Subnetzes	18
Ausfall des Cluster-internen Fibre Channel-Switches.....	18
Ausfall der VPLEX-Engine	18
Ausfall der Standby-Stromversorgung	18
Ausfall der Verbindung zwischen Clustern.....	19
Ausfall des Metadaten-Volumes.....	19
Ausfall des Dirty Region Log	19
Ausfall des Management-Servers	20
Ausfall der unterbrechungsfreien Stromversorgung.....	20
Ausfälle von VPLEX-Clustern	20
Host-Ausfälle.....	21
Rechenzentrumsausfälle	21
Fazit.....	21
Quellennachweise.....	21

Zusammenfassung

Die EMC® VPLEX™-Produktreihe ist die Lösung der nächsten Generation für Informationsmobilität und Zugriff innerhalb und zwischen Rechenzentren. Es ist die weltweit erste Plattform, die sowohl lokalen als auch verteilten Verbund ermöglicht.

Lokaler Verbund bietet die transparente Zusammenarbeit physischer Elemente an einem Standort. *Verteilter Verbund* erweitert den Zugriff zwischen zwei voneinander entfernten Standorten. VPLEX ist eine Lösung für den Verbund von *Speichern von EMC und anderen Anbietern*.

Die VPLEX-Lösung ergänzt die *virtuelle Speicherinfrastruktur* von EMC und stellt eine Ebene zur Unterstützung der virtuellen Speicherung zwischen Host-Computern, auf denen die Anwendungen des Rechenzentrums ausgeführt werden, und den Speicher-Arrays, die den von diesen Anwendungen verwendeten physischen Speicher bereitstellen, zur Verfügung.

In diesem White Paper wird erläutert, wie VPLEX verwendet werden kann, um verbesserte Stabilität für Anwendungen zu bieten, die in und zwischen Rechenzentren ausgeführt werden. Diese Fähigkeit wird als *Arbeitslaststabilität* bezeichnet.

Einleitung

In diesem White Paper wird veranschaulicht, wie die VPLEX-Technologie verwendet werden kann, um die Arbeitslaststabilität in den Rechenzentren zu verbessern. Durch Kombination der modernen Techniken und Vorgehensweisen mit den Best Practices für die VPLEX-Bereitstellung kann die Arbeitslaststabilität im Rechenzentrum optimiert werden, um Array-Ausfällen und sogar folgenschweren Ereignissen wie der Wartung des Rechenzentrums oder Stromausfall standzuhalten. Diese Funktionen werden zusammen mit einer kurzen Übersicht über die VPLEX-Technologie und den Einsatzmöglichkeiten vorgestellt. Anschließend werden die VPLEX-Hardware beschrieben und gängige Bereitstellungsoptionen der Technologie erläutert. Abschließend wird beschrieben, wie sich VPLEX in verschiedenen Ausfallsituationen verhält, die in der Umgebung auftreten können. Es gibt Best Practice-Empfehlungen für jeden Fehlertyp sowie zur Erreichung der optimalen Arbeitslaststabilität im Rechenzentrum mit VPLEX.

Zielgruppe

Dieses White Paper richtet sich an Speicherarchitekten und Speicheradministratoren, die wissen möchten, wie VPLEX die Stabilität der Speicherinfrastruktur des Rechenzentrums verbessern kann. Sie sollten mit den grundlegenden Konzepten von Speicher-Arrays, SANs (Storage Area Networks) und der Server-Infrastruktur vertraut sein.

Übersicht über die VPLEX-Technologie

EMC VPLEX führt eine neue Architektur ein, die die Erfahrungen von EMC aus über 20 Jahren Expertenwissen beim Entwurf, der Implementierung und der Perfektionierung von intelligenten Cache- und verteilten Datensicherungslösungen der Unternehmensklasse nutzt.

Basierend auf einem Fundament aus skalierbaren, hoch verfügbaren Prozessor-Engines kann die EMC VPLEX-Produktfamilie von kleinen über mittlere bis hin zu großen Konfigurationen nahtlos skaliert werden. VPLEX befindet sich zwischen den Servern und heterogenen Speicherkomponenten und verwendet eine einzigartige Cluster-Architektur, mit deren Hilfe Server in verschiedenen Rechenzentren Lese-/Schreibzugriff auf gemeinsam genutzte Blockspeichermedien erhalten.

Zu den einzigartigen Merkmalen dieser neuen Architektur gehören:

- **Scale-Out Cluster-Hardware** – klein anfangen und mit vorhersehbaren Service-Leveln wachsen.
- **Erweitertes Daten-Caching** – Verwendung eines großen SDRAM-Cache, um die Performance zu verbessern und die I/O-Latenz sowie Array-Konflikte zu reduzieren.
- **Verteilte Cache-Kohärenz** – Automatisierung von Freigabe, Ausgleich und Failover von I/O im Cluster.
- **Konsistente Anzeige** einer oder mehrerer LUNs über verschiedene VPLEX-Cluster hinweg. Dies gilt für Cluster innerhalb desselben Rechenzentrums ebenso wie für über synchrone Entfernungen miteinander verbundene Cluster und ermöglicht neue Modelle in den Bereichen Hochverfügbarkeit und Arbeitslastverlagerung.

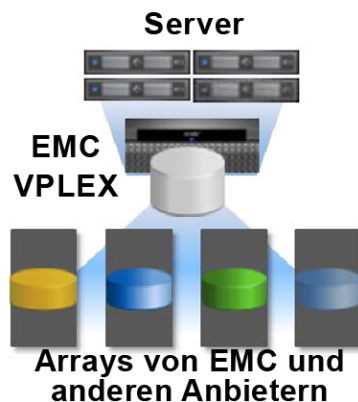


Abbildung 1: Fähigkeit des EMC VPLEX-Systems zum Verbund von heterogenem Speicher

EMC AccessAnywhere™, das mit VPLEX verfügbar ist, ist eine bahnbrechende Technologie von EMC, anhand derer die Freigabe, der Zugriff und die Verlagerung einer einzelnen Datenkopie aus der Ferne möglich sind. EMC GeoSynchrony™ ist das Betriebssystem von VPLEX.

Die VPLEX-Produktfamilie besteht aus zwei Produkten: VPLEX Local und VPLEX Metro.

- **VPLEX Local** ermöglicht ein vereinfachtes Management und unterbrechungsfreie Datenmobilität über heterogene Arrays hinweg.
- **VPLEX Metro** bietet Datenzugriff und -mobilität zwischen zwei VPLEX-Clustern innerhalb synchroner Entfernungen.



Abbildung 2: Angebot der EMC VPLEX-Produktfamilie mit Architekturgrenzen

Die VPLEX-Produktfamilie zeichnet sich durch eine einzigartige Scale-Up- und Scale-Out-Architektur aus. Dank des erweiterten Daten-Caching und der verteilten Cache-Kohärenz bieten VPLEX-Lösungen eine hohe Arbeitslaststabilität, automatische Freigabe, Verteilung und Failover von Speicher-Domains sowie lokalen und Remote-Datenzugriff mit vorhersehbaren Service-Levels.

VPLEX Local unterstützt den lokalen Verbund. VPLEX Metro bietet verteilte Verbundfähigkeiten und erweitert den Zugriff zwischen zwei Standorten in synchroner Entfernung. VPLEX Metro nutzt

AccessAnywhere, um die Freigabe, den Zugriff auf und die Verlagerung einer einzelnen Datenkopie aus der Ferne zu ermöglichen.

Die Kombination aus einem virtualisierten Rechenzentrum und EMC VPLEX bietet Kunden gänzlich neue Wege zur Lösung von IT-Problemen und zur Einführung neuer Datenverarbeitungsmodelle. Kunden haben jetzt folgende Möglichkeiten:

- Verschieben von virtualisierten Anwendungen zwischen Rechenzentren
- Arbeitslastausgleich und Verlagerung über mehrere Standorte hinweg
- Zusammenfassen von Rechenzentren und Bereitstellen von IT-Services rund um die Uhr

EMC VPLEX Cluster-Architektur

VPLEX verwendet eine einzigartige Cluster-Architektur, anhand derer Kunden die physischen Grenzen ihrer Rechenzentren überwinden können und Server in verschiedenen Rechenzentren Lese-/Schreibzugriff auf gemeinsam genutzte Blockspeichermedien erhalten.

Eine VPLEX Local-Konfiguration wird durch eine, zwei oder vier VPLEX-Engines definiert, die durch ihre vollständig redundanten Fabric-Verbindungen zwischen den Engines in einen einzigen Cluster integriert sind. Diese Cluster-Verbindung ermöglicht das Hinzufügen von VPLEX-Engines online und bietet so außergewöhnliche Skalierbarkeit für VPLEX Local- und VPLEX Metro-Konfigurationen. Sämtliche Verbindungen zwischen VPLEX Cluster-Knoten und zwischen VPLEX Metro-Konfigurationen sind vollständig redundant, um Schutz gegen den Ausfall einzelner Komponenten zu bieten.

Ein VPLEX-Cluster kann durch das Hinzufügen weiterer Engines größer skaliert werden und durch die Verbindung von Clustern zu VPLEX Metro (Verbindung zweier VPLEX-Cluster in mittlerer Entfernung) erweitert werden. VPLEX Metro unterstützt das transparente Verschieben und gemeinsame Nutzen von Arbeitslasten (einschließlich virtualisierter Hosts), die Konsolidierung von Rechenzentren und die Optimierung der Ressourcennutzung in Rechenzentren. Darüber hinaus bietet es unterbrechungsfreie Datenmobilität, heterogene Speicherverwaltung und verbesserte Anwendungsverfügbarkeit. VPLEX Metro unterstützt bis zu zwei Cluster, die sich im selben Rechenzentrum an zwei verschiedenen Standorten in synchroner Entfernung (bis zu ca. 100 Kilometer entfernt) befinden können.



Abbildung 3: Lokaler und verteilter Verbund mit EMC VPLEX Local und VPLEX Metro

EMC VPLEX erfüllt die Kundenerwartungen an High-End-Speicher hinsichtlich der Verfügbarkeit. High-End-Verfügbarkeit ist mehr als nur Redundanz – es bedeutet unterbrechungsfreie Betriebsabläufe und Upgrades sowie ständige Online-Verfügbarkeit. EMC VPLEX bietet Folgendes:

- AccessAnywhere mit vollständiger Konnektivität für Ressourcen über mehrere Cluster und Metro-Plex-Konfigurationen hinweg
- Datenmobilität und Migrationsoptionen zwischen heterogenen Speicher-Arrays
- Einhaltung von Service-Levels und Funktionalität auch bei wachsender Konsolidierung

-
- Vereinfachte Steuerung bei der Bereitstellung in komplexen Umgebungen
 - Dynamischer Datenlastausgleich zwischen Speicher-Arrays

VPLEX-Device-Virtualisierung

Mit den Device-Virtualisierungsfunktionen in VPLEX können Speicher-Devices als *Speicher-Volumes* in VPLEX angegeben werden, wo sie als *Erweiterungen* in Slices aufgeteilt oder gekapselt und zur Erstellung von *Verbund-Devices* verwendet werden können, die Hosts als *virtuelle Volumes* angeboten werden. VPLEX unterstützt verschiedene Device-Transformationen (virtuell-zu-physisch), darunter:

- Erweiterung: Eine Erweiterung ist ein Device, das einen fortlaufenden Seitenbereich in einem Speicher-Volume bildet. Eine Erweiterung kann ein Speicher-Volume vollständig kapseln oder einen Teil (Slice) eines Speicher-Volumes definieren. Eine Seite in VPLEX 4.0 umfasst 4 KB Speicher.
- RAID 0: Ein RAID 0-Device ist eine Zusammenfassung von zwei oder mehr Devices, auf denen die logischen Seiten eines Speichers auf die Devices verteilt werden, um die I/O-Performance zu verbessern, indem die Daten auf mehrere Spindeln verteilt werden.
- RAID-C: Ein RAID-C-Device ist eine Zusammenfassung von zwei oder mehr Devices, die logisch verkettet sind, um ein größeres Speicher-Device zu bilden.
- RAID 1: Ein RAID 1-Device benötigt zwei oder mehr gleich große lokale Devices, um eine Spiegelung durchzuführen. Jedes dieser Devices stellt eine vollständige Kopie der Daten bereit, und Schreibvorgänge auf das RAID 1-Device werden in alle Teile der Spiegelung übernommen.
- DR-1: Ein DR-1-Device ist ein verteiltes RAID 1-Device. Es funktioniert ähnlich wie RAID 1, aber die Teile des gespiegelten Devices werden von unterschiedlichen Clustern eines VPLEX-Systems bereitgestellt.

VPLEX 4.0 bietet zusätzlich zu den Device-Virtualisierungsfunktionen *verteilte Cache-Kohärenz*. Der VPLEX-Cache wird global verwaltet und ist zwischen den verschiedenen System-Directors konsistent. Zusammen liefern die Director-Caches die Illusion und das Verhalten, als ob jedes virtuelle Volume eine einzelne Festplatte ist, ungeachtet der Tatsache, dass die Daten dieses Volumes auf verschiedenen Devices verteilt sein können und in verschiedenen Rechenzentren gespeichert und zur Verfügung gestellt werden.

Übersicht über die VPLEX-Hardware

Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt beschrieben wurde, setzt sich das VPLEX 4.0-System aus einem oder zwei VPLEX-Clustern zusammen, die jeweils aus einer, zwei oder vier Engines bestehen. Eine VPLEX Engine ist ein Gehäuse mit zwei Directors, redundanter Stromversorgung, Lüftern, I/O-Modulen und Management-Modulen. Die Directors sind die „Arbeitstiere“ des Systems und für das Verarbeiten von I/O-Anforderungen von Hosts, Bereitstellen und Verwalten von Daten im verteilten Cache, Ermöglichen der virtuell-zu-physischen I/O-Übersetzungen und Interaktion mit den Speicher-Arrays zur I/O-Unterstützung zuständig.

Abbildung 4 veranschaulicht ein VPLEX Metro mit zwei 4-Engine-Clustern.

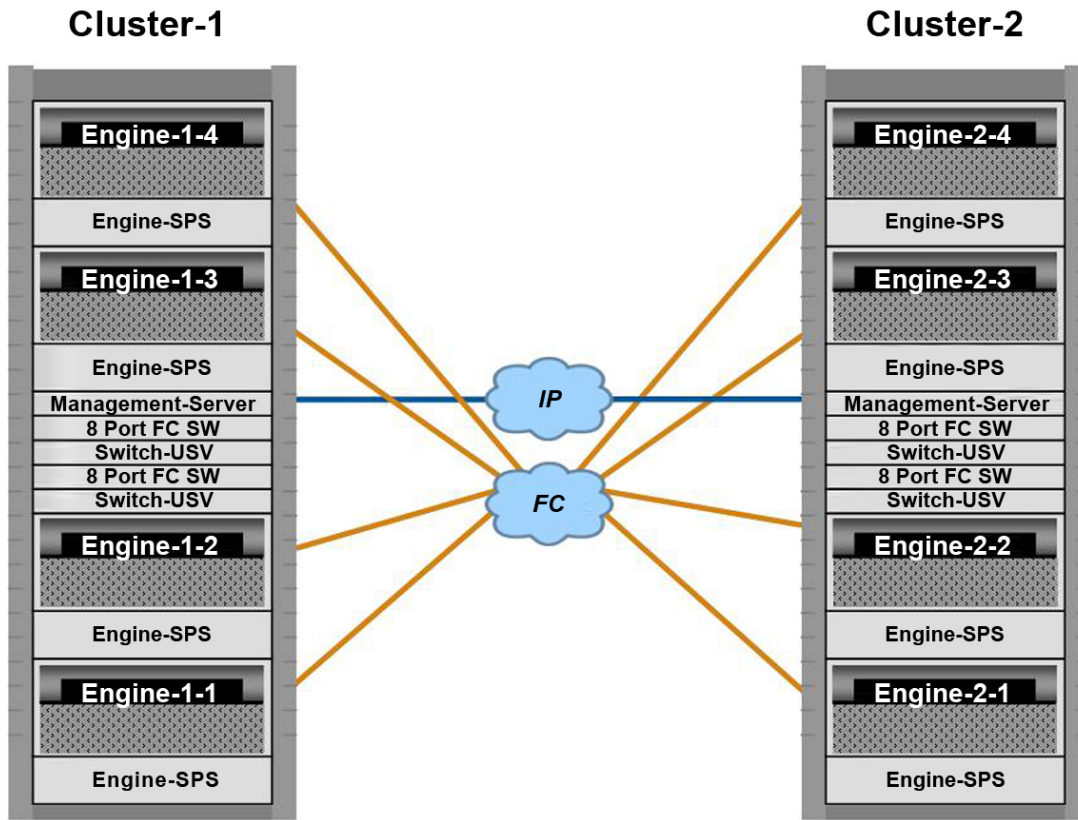


Abbildung 4: VPLEX Metro mit zwei großen Clustern

Abbildung 5 ist eine Abbildung einer VPLEX Engine. Dieses Foto zeigt die 12 von der Engine unterstützten I/O-Module, wobei jeweils sechs einem Director zugeordnet sind. Jeder Director hat zwei 8 Gb/s Fibre Channel I/O-Module mit vier Ports für die Front-End-SAN-Konnektivität (Host) und zwei 8 Gb/s Fibre Channel I/O-Module mit vier Ports für die Back-End-SAN-Konnektivität (Speicher-Array). Jedes dieser Module hat effektiv 10 Gb/s PCI-Bandbreite zu den CPUs ihres jeweiligen Director. Ein fünftes I/O-Modul stellt zwei Ports mit 8 Gb/s Fibre Channel-Konnektivität für die Cluster-interne Kommunikation und zwei Ports mit 8 Gb/s Fibre Channel-Konnektivität für die Cluster-übergreifende Kommunikation bereit. Das sechste I/O-Modul enthält vier Ports mit 1 Gb/s Ethernet, wird jedoch derzeit nicht verwendet.

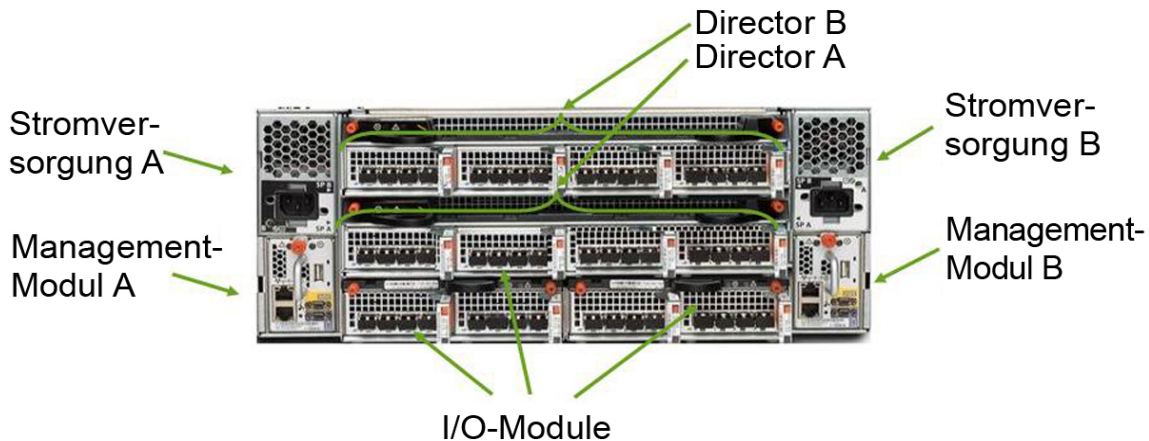


Abbildung 5: VPLEX-Engine und ihre Komponenten

Die Engine verfügt über zwei redundante Stromversorgungs-Netzteile, die jeweils die volle Stromversorgung des Gehäuses bereitstellen können. Redundante Management-Module bieten IP-Konnektivität für die Directors vom Management-Server, der für jeden Cluster bereitgestellt wird. Zwei private IP-Subnetze ermöglichen redundante IP-Konnektivität zwischen den Directors eines Clusters und dem Management-Server des Clusters. Vier redundante Lüfter sind für die Kühlung des Engine-Gehäuses zuständig und unterstützen ein 3+1-Konfigurationsmodell, das auch beim Ausfall eines Lüfters für ausreichend Kühlung sorgt.

Jede Engine wird durch eine redundante Standby-Stromversorgung unterstützt, die vorübergehende Stromausfälle bis zu 5 Minuten überbrücken kann.

Cluster, die zwei oder mehr Engines enthalten, sind mit einem Paar Fibre Channel-Switches ausgestattet, die redundante Fibre Channel-Konnektivität mit Unterstützung der Cluster-internen Kommunikation zwischen den Directors ermöglichen. Jeder Fibre Channel-Switch wird durch eine dedizierte unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) gesichert, die vorübergehende Stromausfälle überbrückt.

Übersicht über die Bereitstellung

VPLEX unterstützt mehrere verschiedene Bereitstellungsmodelle, um unterschiedliche Anforderungen zu erfüllen. In den nächsten Abschnitten werden diese verschiedenen Modelle und ihre Verwendungsmöglichkeiten erläutert.

Bereitstellung von VPLEX Local

Abbildung 6 veranschaulicht eine typische Bereitstellung eines VPLEX Local-Systems. VPLEX Local-Systeme werden in kleinen, mittleren und großen Konfigurationen unterstützt, die aus einer, zwei oder vier Engines bestehen und Systeme mit dementsprechend zwei, vier oder acht Directors umfassen.

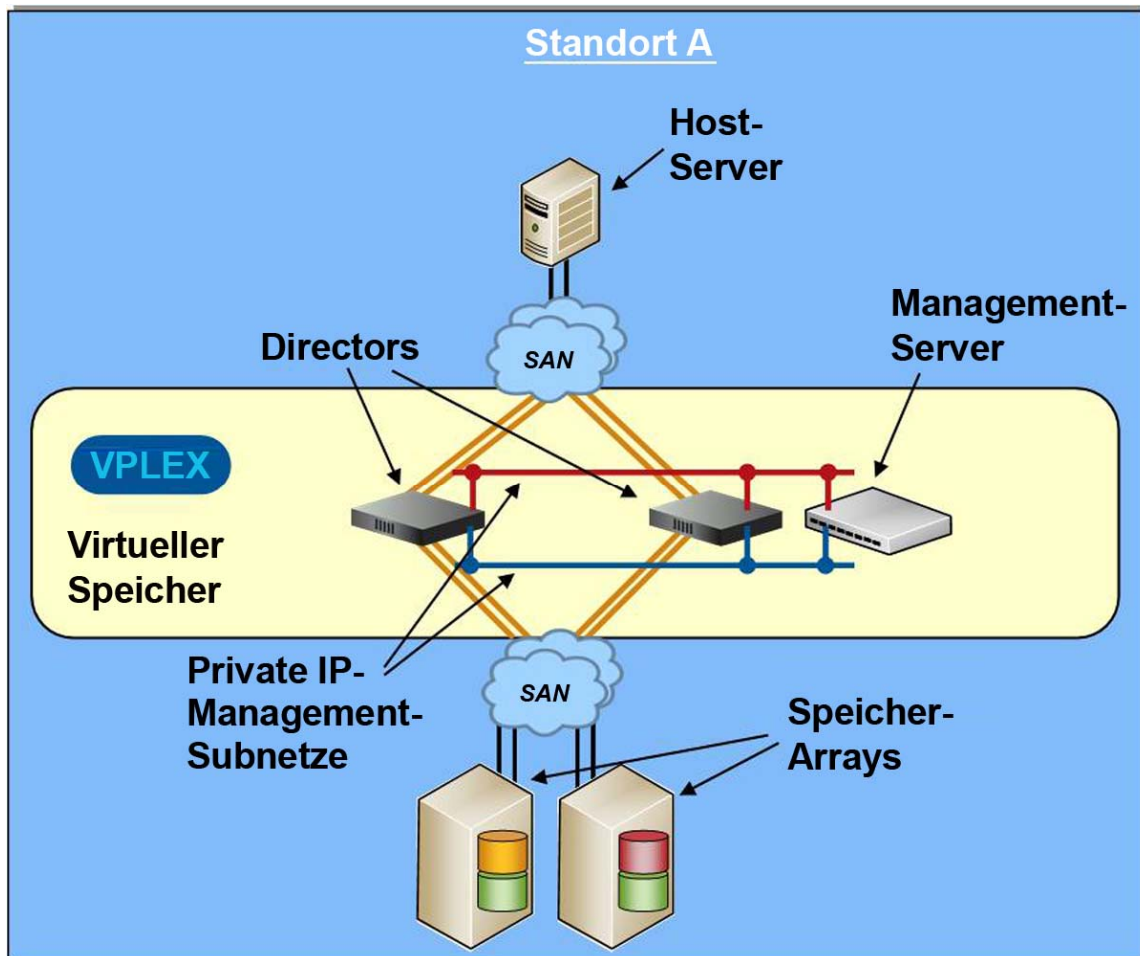


Abbildung 6: Beispiel für eine kleine Bereitstellung von VPlex Local

Verwendungsmöglichkeiten von VPlex Local

VPlex Local kann verwendet werden, wenn die virtuellen Speicherfunktionen für Arbeitslastverlagerung, Arbeitslaststabilität und vereinfachtes Speichermanagement in einem einzelnen Rechenzentrum gewünscht werden und die Skalierungskapazität von VPlex Local ausreicht, um die Anforderungen dieses Rechenzentrums zu erfüllen. Wenn es sich um eine Anlage im größeren Maßstab handelt, sollten Sie VPlex Metro (nachfolgend erläutert) oder mehrere Instanzen von VPlex Local bereitstellen.

Bereitstellung von VPlex Metro in einem Rechenzentrum

Abbildung 7 veranschaulicht eine typische Bereitstellung eines VPlex Metro-Systems in einem einzelnen Rechenzentrum. VPlex Metro-Systeme bestehen aus zwei Clustern, die jeweils eine, zwei oder vier Engines enthalten. Die Cluster in einer VPlex Metro-Bereitstellung müssen nicht dieselbe Anzahl von Engines enthalten. Beispielsweise wird ein 2 x 4 VPlex Metro-System mit einem Cluster, das zwei Engines enthält, und einem Cluster, das vier Engines enthält, unterstützt.

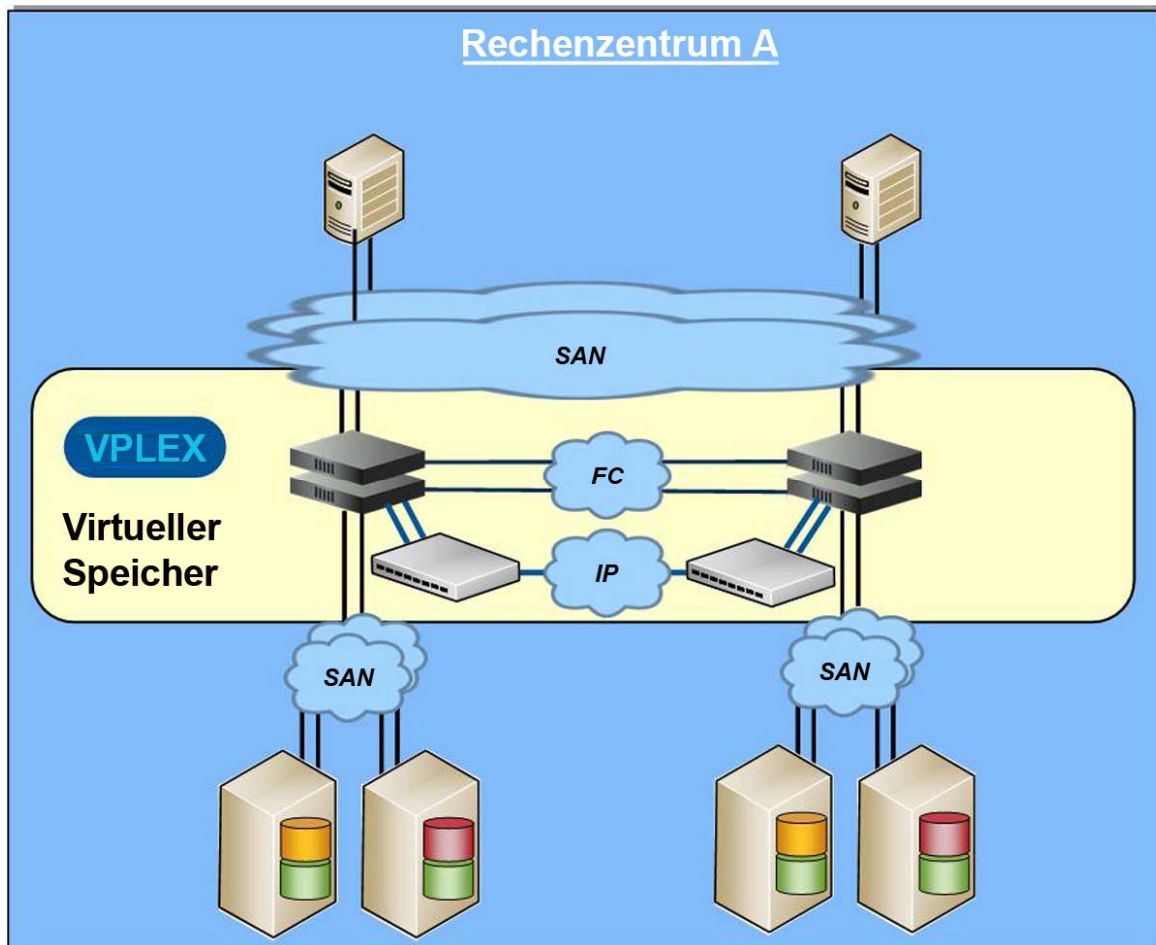


Abbildung 7: Beispiel für eine VPLEX Metro-Bereitstellung in einem Rechenzentrum

Verwendungsmöglichkeiten einer VPLEX Metro-Bereitstellung im Rechenzentrum

VPLEX Metro kann verwendet werden, wenn die virtuellen Speicherfunktionen für Arbeitslastverlagerung, Arbeitslaststabilität und vereinfachtes Speichermanagement in einem einzelnen Rechenzentrum gewünscht werden und die Skalierungskapazität von VPLEX Local nicht ausreicht oder wenn zusätzliche Stabilität erforderlich ist.

VPLEX Metro bietet folgende zusätzlichen Stabilitätsvorteile gegenüber VPLEX Local. Die beiden Cluster von VPLEX Metro können bis zu 100 km voneinander entfernt stehen. Dies bietet hervorragende Flexibilität für die Bereitstellung in einem Rechenzentrum und ermöglicht, dass die beiden Cluster an den entgegengesetzten Enden des Rechenzentrums oder auf verschiedenen Etagen stehen, um eine bessere Fehlerisolierung zwischen den Clustern zu erreichen. Auf diese Weise können die Cluster beispielsweise in verschiedenen Brandschutzzonen aufgestellt werden, was die unterschiedliche Handhabung von lokalen Ausfällen wie bei einem örtlich begrenzten Feuer und von Ausfällen des kompletten Systems ermöglicht.

Bereitstellung von VPLEX Metro zwischen Rechenzentren

Abbildung 8 veranschaulicht die Bereitstellung eines VPLEX Metro-Systems zwischen zwei Rechenzentren. Diese Bereitstellung ist ähnlich wie im Abschnitt „Bereitstellung von VPLEX Metro in einem Rechenzentrum“, außer dass die Cluster hier in separaten Rechenzentren

platziert wurden. Das bedeutet in der Regel, dass separate Hosts Verbindungen zu jedem Cluster herstellen. Cluster-Anwendungen können beispielsweise einen Satz Anwendungs-Server in Rechenzentrum A haben und einen weiteren Satz in Rechenzentrum B, um zusätzliche Vorteile durch Stabilität und Arbeitslastverlagerung zu bieten. Wie schon im vorigen Abschnitt beschrieben, ist für verteilte Volumes zu beachten, dass beim Ausfall eines Standorts oder des primären Clusters die manuelle I/O-Wiederaufnahme am sekundären Standort erforderlich ist.



Abbildung 8: Beispiel für eine VPlex Metro-Bereitstellung zwischen Rechenzentren

Verwendungsmöglichkeiten einer VPlex Metro-Bereitstellung zwischen Rechenzentren

Die Bereitstellung von VPlex Metro zwischen zwei Rechenzentren wird empfohlen, wenn zusätzliche Arbeitslaststabilität gewünscht wird, die davon profitiert, dass die Anwendungsdaten in beiden Rechenzentren vorhanden sind. Diese Bereitstellung wird außerdem in folgenden Fällen empfohlen:

- Anwendungen in einem Rechenzentrum müssen auf Daten in einem anderen Rechenzentrum zugreifen.
- Eine Anwendung möchte die Arbeitslast zwischen den beiden Rechenzentren verteilen.
- Ein Rechenzentrum hat nicht mehr genügend Speicherplatz, Energie oder Kühlung zur Verfügung.

Arbeitslaststabilität

In den nächsten Abschnitten beschäftigen wir uns mit verschiedenen Fehlern, die in Rechenzentren auftreten können, und erläutern, wie VPLEX verwendet werden kann, um zusätzliche Stabilität für Anwendungen zu bieten und die Arbeitslast über diese Fehler hinweg zu verteilen. Wir unterscheiden folgende Fehlerklassen und Service-Ereignisse:

- Speicher-Array-Ausfälle (geplant und ungeplant)
- SAN-Ausfälle
- Ausfälle von VPLEX-Komponenten
- Ausfälle von VPLEX-Clustern
- Host-Ausfälle
- Rechenzentrumsausfälle

Speicher-Array-Ausfälle

Zur Überbrückung von geplanten und ungeplanten Speicher-Array-Ausfällen unterstützt VPLEX die Fähigkeit, die Daten eines virtuellen Volumes zwischen zwei oder mehr Speicher-Volumes¹ mit einem RAID 1-Device zu spiegeln. Abbildung 9 enthält die Abbildung eines virtuellen Volumes, das zwischen zwei Arrays gespiegelt wurde. Sollte ein Array (geplant oder ungeplant) ausfallen, kann das VPLEX-System mit dem verbleibenden Teil der Spiegelung die I/O-Verarbeitung weiter durchführen. Bei der Wiederherstellung des ausgefallenen Speicher-Volumes werden die Daten aus dem noch funktionierenden Volume auf den wiederhergestellten Teil übertragen.

Best Practices

- Wichtige Daten sollten Sie auf zwei oder mehr Speicher-Volumes spiegeln, die sich in separaten Arrays befinden.
- Für optimale Performance sollten diese Speicher-Volumes identisch konfiguriert sein und vom selben Array-Typ bereitgestellt werden.

¹ Bis zu acht Teile pro Spiegelungs-Volume werden unterstützt.

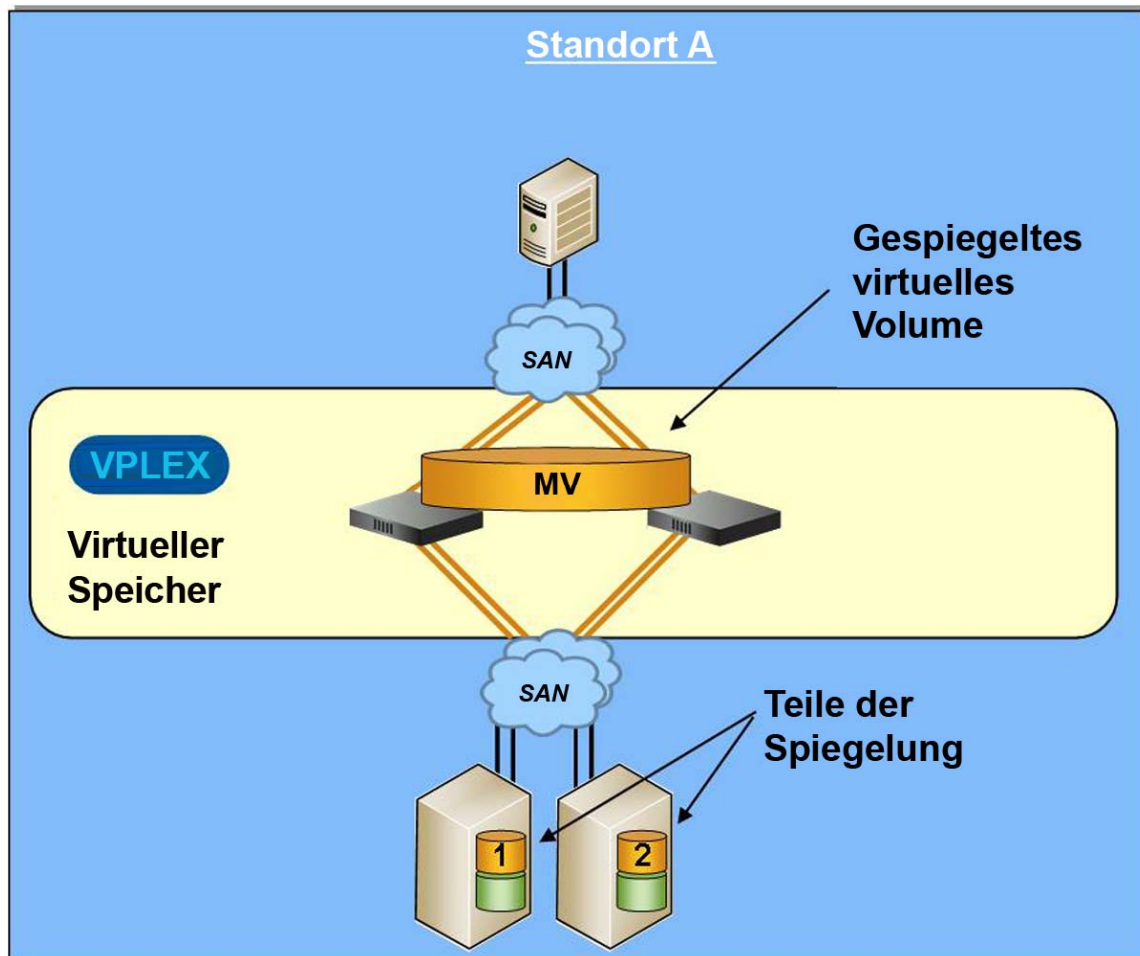


Abbildung 9: Beispiel für die Verwendung von RAID 1-Spiegelung zum Schutz vor Array-Ausfällen

SAN-Ausfälle

Wenn ein Paar redundanter Fibre Channel-Fabrics mit VPLEX verwendet wird, sollten die VPLEX-Directors sowohl für die Front-End-Konnektivität (Host-seitig) als auch für die Back-End-Konnektivität (Speicher-Array-seitig) mit beiden Fabrics verbunden werden. Diese Bereitstellung ermöglicht zusammen mit der Fabric-Isolierung die Überbrückung von Ausfällen im VPLEX-System, die eine gesamte Fabric betreffen, sodass das System bei diesem Fehlertyp kontinuierlichen Datenzugriff bieten kann. Die Hosts müssen ebenfalls mit beiden Fabrics verbunden werden und Multipathing-Software verwenden, um kontinuierlichen Datenzugriff bei solchen Ausfällen bereitzustellen. Abbildung 10 veranschaulicht eine Dual-Fabric-Bereitstellung nach Best Practice-Empfehlungen.

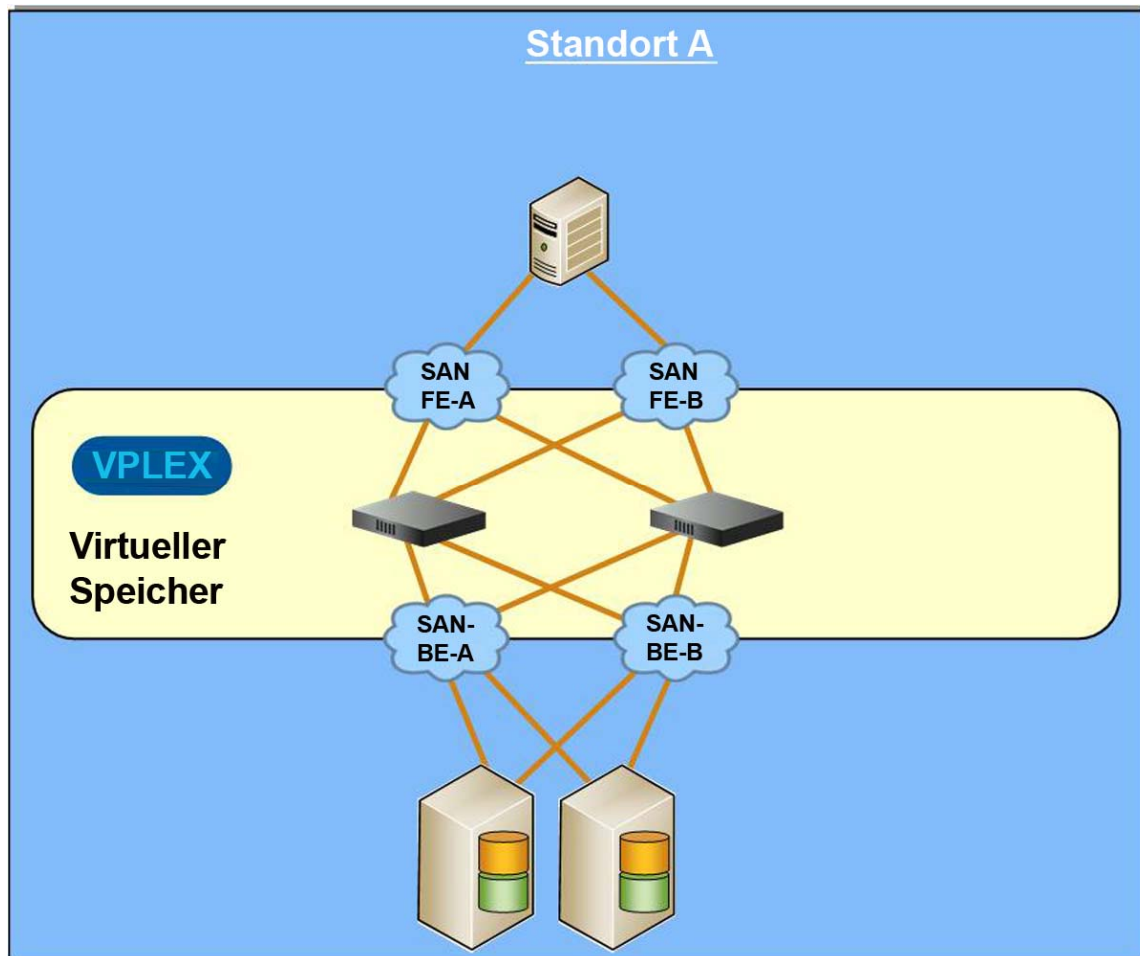


Abbildung 10: Empfohlene Verwendung einer Dual-Fabric-Bereitstellung

Best Practice

- I/O-Module sollten mit redundanten Fabrics verbunden werden. In einer Bereitstellung mit Fabrics A und B wird beispielsweise empfohlen, dass die Director-Ports wie hier angeschlossen werden: Abbildung 11.

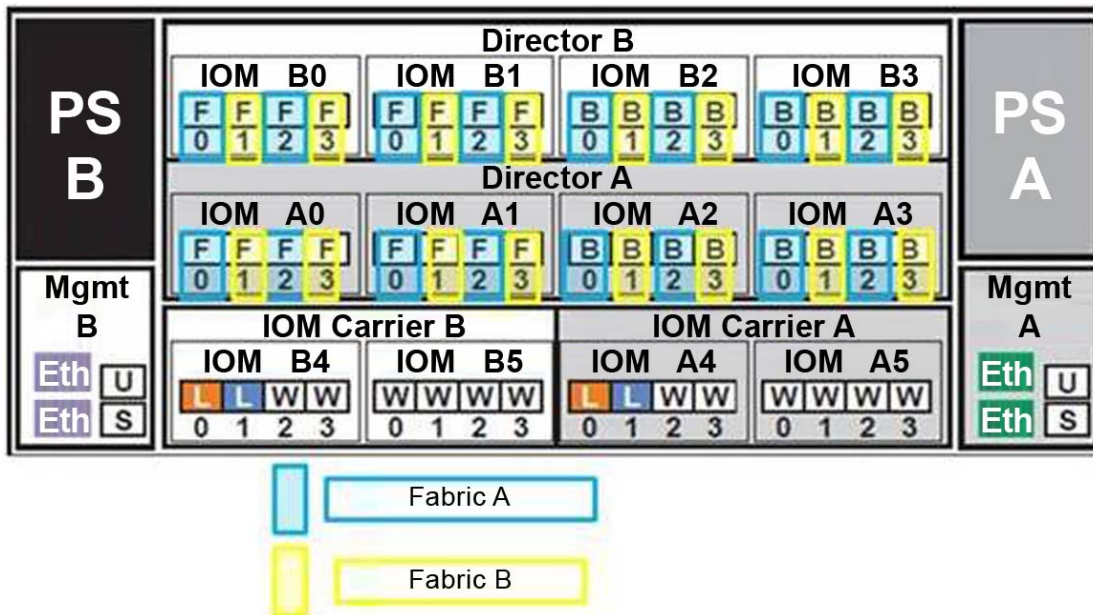


Abbildung 11: Empfohlene Fabric-Zuordnungen für FE- und BE-Ports

Ausfälle von VPLEX-Komponenten

Alle kritischen Verarbeitungskomponenten eines VPLEX-Systems verwenden mindestens paarweise Redundanz, um maximalen Zugriff auf die Daten zu bieten. In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie Ausfälle von VPLEX-Komponenten gehandhabt werden und welche Best Practices angewendet werden sollten, damit die Anwendungen solche Ausfälle überbrücken können.

Alle Komponentenausfälle in einem VPLEX-System werden durch Ereignisse angezeigt, die beim EMC Service Center gemeldet werden, um eine zeitnahe Bearbeitung und Reparatur des Fehlerzustands abzusichern.

Ausfall des Fibre Channel-Ports

Die gesamte VPLEX-Kommunikation erfolgt über redundante Pfade, die die Fortsetzung der Kommunikation auch bei Ausfällen von Ports ermöglichen. Diese Redundanz lässt zu, dass Multipathing-Software in den Host-Servern I/Os um Pfadausfälle, die durch Port-Ausfälle oder andere Ereignisse mit Pfadverlust im SAN verursacht werden, herumleiten und erneut übertragen können.

VPLEX verwendet seine eigene Multipathing-Logik, um von jedem Director redundante Pfade zu Back-End-Speichern aufrechtzuerhalten. Auf diese Weise kann VPLEX Port-Ausfälle in den Back-End-VPLEX-Ports sowie in den Back-End-Fabrics und den Array-Ports, die den physischen Speicher mit VPLEX verbinden, überbrücken.

Die SFP-Transceiver (Small Form-Factor Pluggable), die für die Konnektivität mit VPLEX verwendet werden, sind wartungsfähige FRUs (Field Replaceable Units).

Best Practices

- Stellen Sie sicher, dass es einen Pfad von jedem Host zu mindestens einem Front-End-Port auf Director A und zu mindestens einem Front-End-Port auf Director B gibt. Wenn das VPLEX-System zwei oder mehr Engines enthält, vergewissern Sie sich, dass der Host mindestens einen „A-Seiten“-Pfad auf einer Engine und mindestens einen „B-Seiten“-Pfad

auf einer separaten Engine hat. Für maximale Verfügbarkeit kann jeder Host einen Pfad zu mindestens einem Front-End-Port auf jedem Director haben.

- Verwenden Sie Multipathing-Software auf den Host-Servern, um bei Pfadausfällen für zeitnahe Reaktionen und kontinuierliche I/O zu sorgen.
- Stellen Sie sicher, dass jeder Host einen Pfad zu jedem virtuellen Volume durch jede Fabric hat.
- Vergewissern Sie sich, dass die LUN-Zuordnung und -Maskierung für jedes Speicher-Volume von einem Speicher-Array zu VPLEX die Volumes aus mindestens zwei Ports des Arrays in mindestens zwei verschiedenen Fabrics darstellt und mit mindestens zwei verschiedenen Ports verbunden ist, die von zwei unterschiedlichen Back-End-I/O-Modulen jedes Directors im VPLEX-Cluster bedient werden.
- Das Fabric-Zoning muss Hosts redundanten Zugriff auf die VPLEX Front-End-Ports bieten und VPLEX redundanten Zugriff auf die Array-Ports ermöglichen.

Ausfall des I/O-Moduls

Die I/O-Module in VPLEX stellen dedizierte Rollen bereit. Jeder VPLEX-Director hat zwei Front-End-I/O-Module, zwei Back-End-I/O-Module und ein COM-I/O-Modul für die Konnektivität innerhalb und zwischen Clustern. Jedes I/O-Modul ist eine wartungsfähige FRU. In den folgenden Abschnitten werden das Systemverhalten und die Best Practices für die Maximierung der Verfügbarkeit bei solchen Ausfällen beschrieben.

FE-I/O-Modul

Wenn ein FE-I/O-Modul ausfällt, werden alle mit diesem I/O-Modul verbundenen Pfade unterbrochen und fallen aus. Befolgen Sie die auf Seite 16 aufgelisteten Best Practices, um sicherzustellen, dass Hosts über redundante Pfade zu ihren Daten verfügen.

Wird ein I/O-Modul entfernt und ersetzt, wird der betreffende Director zurückgesetzt.

BE-I/O-Modul

Wenn ein BE-I/O-Modul ausfällt, werden alle mit diesem I/O-Modul verbundenen Pfade unterbrochen und fallen aus. Befolgen Sie die auf Seite 16 aufgelisteten Best Practices, um sicherzustellen, dass jeder Director über einen redundanten Pfad zu jedem Speicher-Volume über ein separates I/O-Modul verfügt.

Wird ein I/O-Modul entfernt und ersetzt, wird der betreffende Director zurückgesetzt.

COM-I/O-Modul

Wenn ein COM-I/O-Modul eines Directors ausfällt, wird der Director zurückgesetzt und alle von diesem Director bereitgestellten Services gestoppt. Mit den Best Practices auf Seite 16 wird sichergestellt, dass jeder Host redundanten Zugriff auf seinen virtuellen Speicher über mehrere Directors hat, sodass der Host beim Zurücksetzen eines einzelnen Directors nicht den Zugriff auf seinen Speicher verliert.

Wird ein I/O-Modul entfernt und ersetzt, wird der betreffende Director zurückgesetzt.

Ausfall des Directors

Der Ausfall eines Directors führt dazu, dass alle Services von diesem Director ausfallen. Jede VPLEX-Engine verfügt aus Redundanzgründen über ein Director-Paar. VPLEX-Cluster mit zwei oder mehr Engines haben den Vorteil der zusätzlichen Redundanz, die durch die zusätzlichen Directors bereitgestellt wird. Jeder Director in einem Cluster kann denselben Speicher zur Verfügung stellen. Mit den auf Seite 16 beschriebenen Best Practices kann ein Host Director-Ausfälle überbrücken, indem er redundante Pfade zu seinem virtuellen Speicher erstellt, die durch Ports von anderen Directors verlaufen. Die Kombination aus der Multipathing-Software auf den Hosts und den redundanten Pfaden, die durch unterschiedliche Directors des VPLEX-Systems verlaufen, kann der Host den Ausfall eines Directors überbrücken.

In einem System mit mehreren Engines kann ein Host Zugriff auf seine Daten auch in dem unwahrscheinlichen Fall erhalten, dass mehrere Directors ausfallen, indem er Pfade zu seinem virtuellen Speicher nutzt, die von jedem Director im System zur Verfügung gestellt werden.

Jeder Director ist eine wartungsfähige FRU.

Ausfall der Engine-Stromversorgung

Die Stromversorgung der VPLEX-Engine ist vollständig redundant und bei Ausfall eines einzelnen Stromversorgungs-Netzteils sind keine Service- oder Funktionsausfälle zu befürchten.

Jede Stromversorgung ist eine wartungsfähige FRU und kann ohne Unterbrechung des Systems entfernt und ersetzt werden.

Ausfall des Engine-Lüfters

Die Lüfter der VPLEX-Engine sind vollständig redundant und bei Ausfall eines einzelnen Lüfters sind keine Service- oder Funktionsausfälle zu befürchten. Jede Engine enthält vier Lüfter. Bei Ausfall eines einzelnen Lüfters sorgen die verbleibenden drei Lüfter für eine ausreichende Kühlung des Systems. Falls zwei Lüfter ausfallen, wird die Engine automatisch heruntergefahren, um Schäden durch Überhitzung zu vermeiden.

Jeder Lüfter ist eine wartungsfähige FRU und kann ohne Unterbrechung des Systems entfernt und ersetzt werden.

Ausfall des Cluster-internen IP-Subnetzes

Jeder VPLEX-Cluster verfügt über zwei private lokale IP-Subnetze, die die Directors mit dem Management-Server verbinden. Diese Subnetze werden für den Management-Verkehr sowie zum Schutz vor Cluster-interner Partitionierung verwendet. Beim Verbindungsverlust in einem dieser Subnetze kann es vorkommen, dass einige Mitglieder im Subnetz nicht mehr mit anderen Mitgliedern des Subnetzes kommunizieren können. Dies führt jedoch nicht zu Service- oder Management-Ausfällen, da ein redundantes Subnetz vorhanden ist.

Ausfall des Cluster-internen Fibre Channel-Switches

Jeder VPLEX-Cluster mit zwei oder mehr Engines verwendet ein Paar dedizierter Fibre Channel-Switches für die Cluster-interne Kommunikation zwischen den Directors im Cluster. Es werden zwei redundante Fibre Channel-Fabrics erstellt, und jeder Switch arbeitet mit einer anderen Fabric zusammen. Der Verlust eines einzelnen Fibre Channel-Switches führt nicht zu Verarbeitungs- oder Service-Ausfällen.

Ausfall der VPLEX-Engine

In VPLEX-Clustern, die zwei oder mehr Engines enthalten, führt das unwahrscheinliche Ereignis eines Engine-Ausfalls zum Service-Verlust von den Directors dieser Engine, aber die von den Directors in den verbleibenden Engines bereitgestellten virtuellen Volumes sind weiterhin verfügbar. „Best Practices“ auf Seite 16 beschreibt die Best Practice des Erstellens von redundanten Pfaden zu einem virtuellen Volume auf Directors von verschiedenen Engines in VPLEX-Clustern mit mehreren Engines.

Ausfall der Standby-Stromversorgung

Jede VPLEX-Engine wird durch zwei Standby-Stromversorgungen (SPS) unterstützt, die eine Überbrückungszeit von fünf Minuten bieten, sodass das System einen vorübergehenden Stromausfall überbrücken kann. Eine einzelne SPS liefert genügend Strom für die angeschlossene Engine. VPLEX stellt zwei SPS für hohe Verfügbarkeit bereit.

Jede SPS ist eine FRU und kann ohne Unterbrechung der vom System bereitgestellten Services ausgewechselt werden. Die Aufladezeit für eine SPS beträgt bis zu 5,5 Stunden, und die Akkus in der SPS können zwei aufeinander folgende 5-Minuten-Stromausfälle überbrücken.

Ausfall der Verbindung zwischen Clustern

Jeder Director in einem VPLEX-System hat zwei Verbindungen, die der Kommunikation zwischen Clustern dienen. Jede dieser Verbindungen sollte konfiguriert werden (z. B. nach Zone), um Pfade zu jedem Director im Remote-Cluster bereitzustellen. Auf diese Weise ist die vollständige Konnektivität zwischen Directors auch dann verfügbar, wenn eine einzelne Verbindung ausfällt. Wenn ein Director beide Verbindungen verliert, werden alle I/Os zwischen den beiden Clustern ausgesetzt, um die Schreibreihenfolge-Semantik einzuhalten und sicherzustellen, dass der Remote-Standort ein wiederherstellbares Image beibehält. Falls dies eintritt, werden die Remote-Spiegelungen aufgeteilt und vom Benutzer konfigurierte Regeln, so genannte *Entfernungsregeln*, ausgeführt, um zu bestimmen, welcher VPLEX-Cluster weiterhin I/Os für eine bestimmte Remote-Spiegelung akzeptieren soll. Diese Regeln können pro Device konfiguriert werden, sodass einige Volumes in einem Cluster verfügbar bleiben und andere Volumes im anderen Cluster verfügbar bleiben.

Sobald die ausgefallene Verbindung repariert wurde, kann die I/O wiederhergestellt und die Resynchronisierung gestartet werden, um die Remote-Spiegelung wiederherzustellen. Diese Vorgänge erfolgen automatisch, es sei denn, Sie konfigurieren die Volumes so, dass eine manuelle Wiederaufnahme der I/O erforderlich ist, um die Koordination mit Servervorgängen sicherzustellen. Die Device-I/O kann sofort erfolgen, ohne zu warten, bis die Resynchronisierung abgeschlossen ist.

Ausfall des Metadaten-Volumes

VPLEX verwaltet seinen Konfigurationsstatus, auch als *Metadaten* bezeichnet, auf Speicher-Volumes, die von Speicher-Arrays im SAN bereitgestellt werden. Jeder VPLEX-Cluster hat seine eigenen Metadaten, die die lokalen Konfigurationsinformationen für diesen Cluster sowie ggf. die verteilten Konfigurationsinformationen, die von Clustern gemeinsam verwendet werden, beschreiben. Es ist unbedingt zu empfehlen, das Metadaten-Volumen für jeden Cluster mit mehreren Back-End-Speicher-Volumes zu konfigurieren, die von verschiedenen Speicher-Arrays desselben Typs zur Verfügung gestellt werden. Die von diesen Speicher-Arrays bereitgestellten Datensicherungsfunktionen wie RAID 1 und RAID 5 sollten verwendet werden, um die Integrität der Metadaten des Systems sicherzustellen. Darüber hinaus wird empfohlen, Sicherungskopien der Metadaten zu erstellen, wenn Konfigurationsänderungen am System vorgenommen werden.

VPLEX verwendet diese dauerhaften Metadaten beim Start des gesamten Systems und lädt die Konfigurationsinformationen in jeden Director. Wenn Änderungen an der Systemkonfiguration vorgenommen werden, werden diese Änderungen in das Metadaten-Volumen geschrieben. Falls der Zugriff auf das Metadaten-Volumen unterbrochen wird, stellen die VPLEX-Directors weiterhin ihre Virtualisierungs-Services anhand der im Speicher vorhandenen Kopie der Konfigurationsinformationen zur Verfügung. Bleibt der Speicher, der das Metadaten-Device unterstützt, weiterhin unerreichbar, sollten Sie ein neues Metadaten-Device konfigurieren. Nachdem das neue Device zugewiesen und konfiguriert wurde, wird die im Speicher vorhandene Kopie des Metadaten-Device, das vom Cluster verwaltet wird, auf das neue Metadaten-Device übertragen.

Es können keine Konfigurationsänderungen vorgenommen werden, wenn kein Zugriff auf das dauerhafte Metadaten-Device verfügbar ist.

Ausfall des Dirty Region Log

VPLEX Metro verwendet Dirty Region Logging zum Aufzeichnen von Informationen darüber, welche Bereiche einer aufgeteilten und verteilten Spiegelung aktualisiert wurden, während ein

Teil der Spiegelung abgekoppelt war. Diese Informationen werden für jeden abgekoppelten Teil der Spiegelung beibehalten. Falls kein Zugriff mehr auf das Volume möglich ist, markieren die Directors den gesamten Teil als veraltet und erfordern eine vollständige Resynchronisierung dieses Teils, sobald er wieder mit der Spiegelung verbunden wird.

Ausfall des Management-Servers

Jeder VPLEX-Cluster hat einen dedizierten Management-Server, der Management-Zugriff auf die Directors bietet und Management-Konnektivität für den Remote-Zugriff auf den Peer-Cluster in einer VPLEX Metro-Umgebung unterstützt. Da die I/O-Verarbeitung der VPLEX-Directors nicht von den Management-Servern abhängt, werden durch den Ausfall eines Management-Servers die I/O-Verarbeitung und die von VPLEX bereitgestellten Virtualisierungs-Services nicht unterbrochen.

Ausfall der unterbrechungsfreien Stromversorgung

In VPLEX-Clustern mit zwei oder mehr Engines unterstützt ein Paar Fibre Channel-Switches die Cluster-interne Kommunikation zwischen den Directors in diesen Engines. Jeder Switch hat eine dedizierte USV, die bei einem vorübergehenden Stromausfall Reservestrom bereitstellt. Durch die USV-Geräte können Fibre Channel-Switches nach einem Stromausfall bis zu fünf Minuten weiterarbeiten. Die untere USV im Rack liefert außerdem Reservestrom für den Management-Server.

Ausfälle von VPLEX-Clustern

VPLEX Metro unterstützt zwei Arten verteilter Devices: *regional verteilte virtuelle Volumes* und *virtuelle Remote-Volumes*. Regional verteilte virtuelle Volumes stellen synchronisierte Kopien (Spiegelungen) der Volume-Daten in jedem Cluster zur Verfügung. Das gespiegelte Volume verhält sich wie ein einzelnes Volume und funktioniert ähnlich wie ein virtuelles Volume, das ein RAID 1-Device verwendet, jedoch mit dem zusätzlichen Vorteil, dass jeder Cluster eine Kopie der Daten verwaltet. Die virtuellen Remote-Volumes bieten Zugriff auf ein virtuelles Volume, dessen Daten sich in einem Cluster befinden. Virtuelle Remote-Volumes sind wie regional verteilte virtuelle Volumes in der Lage, die Vorteile des verteilten kohärenten VPLEX-Cache und seinen Pre-fetch-Algorithmus zu nutzen, um eine bessere Performance als eine SAN-Erweiterungslösung zu ermöglichen.

Für jedes regional verteilte virtuelle Volume identifiziert eine Entfernungsregel, welcher VPLEX Metro-Cluster bei einem Kommunikationsausfall zwischen den beiden Clustern einen Teil seiner Spiegelung abkoppeln (aus dem Service entfernen) soll. Diese Regeln definieren effektiv einen Vorzugsstandort (den Gewinner), falls die Kommunikation zwischen den Clustern unterbrochen wird. Es gibt zwei Bedingungen, die zu einer Unterbrechung der Cluster-Kommunikation führen: eine ist der Ausfall der Verbindung zwischen Clustern, wie in „Ausfall der Verbindung zwischen Clustern“ erläutert wird, und die andere ist ein Cluster-Ausfall. In diesem Abschnitt wird die letztere Ausfallmöglichkeit beschrieben. Beim Ausfall eines Clusters verarbeitet das regional verteilte virtuelle Volume, dessen Entfernungsregel besagt, dass der verbleibende Standort der Vorzugsstandort wird, weiterhin I/Os auf dem verbleibenden Teil des Device. Bei den Volumes, deren Entfernungsregeln besagen, dass sie bei Kommunikationsausfall abgekoppelt werden sollen, wird die I/O angehalten. Da sich ein Cluster-Ausfall nicht von einem Verbindungsausfall unterscheiden lässt, soll durch dieses Verhalten die Integrität der Daten auf diesen verteilten Geräten erhalten werden.

Es gibt zwei Ausfallsituationen für virtuelle Remote-Volumes: Erstens, wenn der Cluster, der den physischen Datenträger für das virtuelle Volume bereitstellt, ausfällt, kann auf das virtuelle Remote-Volume nicht mehr zugegriffen werden. Das zweite Szenario tritt ein, wenn der Remote-Cluster ausfällt (der Cluster, der keinen physischen Datenträger für dieses Volume hat), bleibt der Zugriff auf das virtuelle Volume vom Host-Cluster (dem Cluster mit den physischen Daten) erhalten, nicht jedoch vom Remote-Cluster.

Host-Ausfälle

Auch wenn dies keine von VPLEX bereitgestellte Funktion ist, ist das Host-basierte Clustering eine wichtige Technik für die Maximierung der Arbeitslaststabilität. Beim Host-basierten Clustering kann eine Anwendung bei Host-Ausfällen durch Verwendung eines Aktiv/aktiv- oder eines Aktiv/passiv-Verarbeitungsmodells ihren Service weiterhin bereitstellen. In Kombination mit den oben erwähnten VPLEX-Funktionen ergibt sich eine Infrastruktur mit äußerst hoher Verfügbarkeit.

Rechenzentrumsausfälle

Wird VPLEX Metro zwischen zwei Rechenzentren verteilt, kann es zum Schutz vor Datenverlust bei Rechenzentrumsausfällen verwendet werden, indem die Daten zwischen den beiden Rechenzentren gespiegelt werden. Diese Bereitstellung kann den Datenzugriff bei Rechenzentrumsausfällen wie in „Ausfälle von VPLEX-Clustern“ beschrieben weiter verbessern (wenn der Ausfall des Rechenzentrums zum Ausfall eines der VPLEX-Cluster in VPLEX Metro führt). Der Datenzugriff bleibt für regional verteilte virtuelle Volumes erhalten, deren Vorzugs-Cluster das verbleibende Rechenzentrum ist. Für Volumes, deren Vorzugs-Cluster das ausgefallene Rechenzentrum ist, kann der Zugriff auf die Daten für diese Volumes im anderen Cluster durch den Aufruf eines manuellen Befehls zur Wiederaufnahme der angehaltenen I/O wiederhergestellt werden. In Kombination mit der Failover-Logik für Host-Cluster stellt dies eine Infrastruktur zur Verfügung, die in der Lage ist, den Service-Betrieb selbst bei ungeplanten Rechenzentrumsausfällen schnell wiederherzustellen.

Einige Rechenzentrumsausfälle werden durch Stromausfall im Rechenzentrum verursacht. VPLEX verwendet Standby und USV, um vorübergehende Stromausfälle von bis zu fünf Minuten zu überbrücken. Dies muss mit einer ähnlichen Infrastrukturunterstützung für Hosts, Netzwerkkomponenten und Speicher-Arrays kombiniert werden, um eine umfassende Lösung zur Überbrückung von Stromausfällen zu erhalten. Dauert der Stromausfall länger als fünf Minuten, kann VPLEX keine Virtualisierungs-Services mehr bereitstellen. Die Durchschreib-Caching-Eigenschaften von VPLEX stellen sicher, dass die Anwendungsdaten in die Back-End-Speicher-Arrays geschrieben wurden, bevor die Daten dem Host bestätigt werden.

Fazit

VPLEX stellt umfassende interne Hardware- und Software-Redundanz zur Verfügung, die nicht nur eine hohe Verfügbarkeit der VPLEX-Services bietet, sondern auch die Arbeitslaststabilität der zugehörigen Infrastruktur verbessert. In Kombination mit den Best Practices für Host-basiertes Clustering, Multipathing, Fabric-Redundanz, Sicherung der Speichermedien und Standby-Strominfrastruktur bietet die Gesamtlösung eine solide Grundlage für die zuverlässige Verfügbarkeit von virtuellem Speicher.

Quellennachweise

Weitere Informationen zur virtuellen Speicherinfrastruktur und den Funktionen von VPLEX 4.0 finden Sie in den folgenden White Papers:

- *Implementierung und Planung von Best Practices für EMC VPLEX – Technische Hinweise*
- *Verwendung von Virtualisierungsplattformen von VMware mit EMC VPLEX – Best Practices-Planung*
- *Unterbrechungsfreie Speicherverlagerung: Geplante Ausfälle mit EMC VPLEX – Best Practices-Planung*

-
- *vMotion Over Distance für Microsoft, Oracle und SA – Auf Basis von VCE Vblock 1, EMC Symmetrix VMAX, EMC CLARiiON und EMC VPLEX – Überblick über Architektur*
 - *Implementierung von EMC VPLEX und Microsoft Hyper-V und SQL Server mit verbesserter Failover-Cluster-Unterstützung – Angewandte Technologie*