

Windows-Clustertechnologien: Architektur des Clusterdienstes

Betriebssystem

Zusammenfassung

Der *Clusterdienst* ist eine von zwei Clustertechnologien, die für die Microsoft® Windows® 2000- und Microsoft Windows NT®-Serverproduktfamilien zur Verfügung stehen. Windows 2000- und Windows NT-Server, die den Clusterdienst ausführen, bieten Back-End-Anwendungen und -Diensten, die stets verfügbar sein müssen und eine hohe Datenintegrität erfordern, Unterstützung bei Fehlfunktionen. Zu diesen Back-End-Anwendungen zählen Unternehmensanwendungen wie Datenbanken, Dateiserver, die Unternehmensressourcenplanung und Messagingsysteme. Dieser Artikel beschäftigt sich mit der Architektur und den Funktionsmerkmalen des Clusterdienstes und erläutert Terminologie, Konzepte, Entwicklungsziele, Schlüsselkomponenten und geplante künftige Weiterentwicklungen.

Einführung

Der zuerst im Betriebssystem Windows NT Server 4.0 eingesetzte Clusterdienst wurde für das Betriebssystem Windows 2000 Server weiterentwickelt und verbessert. Der Clusterdienst ermöglicht das Verbinden mehrerer Server zu Serverclustern, um so für eine hohe Verfügbarkeit und einfache Verwaltung der Daten und Programme zu sorgen, die im Cluster ausgeführt werden. Dieser Dienst bietet drei Hauptvorteile der Clustertechnologie:

- **Bessere Verfügbarkeit.** Dienste und Anwendungen im Servercluster können bei einem Fehler einer Hardware- oder Softwarekomponente oder während der Ausführung geplanter Wartungsarbeiten weiter ausgeführt werden.
- **Bessere Skalierbarkeit** durch Unterstützung von Servern, die durch das Hinzufügen weiterer Prozessoren (bis zu maximal vier Prozessoren) erweitert werden können.
- **Bessere Verwaltung.** Administratoren können Geräte und Ressourcen im gesamten Cluster so verwalten wie einen einzelnen Computer.

Der Clusterdienst ist eine von zwei ergänzenden Windows-Clustertechnologien, die als Erweiterungen für die Basisbetriebssysteme Windows 2000 und Windows NT zur Verfügung stehen. Die zweite Clustertechnologie ist der *Netzwerklastenausgleich (Load Balancing)*, der den Clusterdienst durch die Unterstützung skalierbarer Cluster mit hoher Verfügbarkeit für Front-End-Anwendungen und -Dienste wie Internet- und Intranetsites, Webanwendungen und Microsoft Terminaldienste ergänzt.

Dieses Dokument beschäftigt sich ausschließlich mit der Architektur und den Funktionsmerkmalen des Clusterdienstes und erläutert Terminologie, Konzepte, Entwicklungsziele, Schlüsselkomponenten und geplante künftige Weiterentwicklungen. Im Abschnitt "Weitere Informationen" am Ende dieses Dokuments finden Sie eine Liste mit Verweisen auf weiterführende Informationen zum Clusterdienst und zum Netzwerklastenausgleich.

Entwicklungsrückblick

Computercluster wurden vor zehn Jahren erstmalig eingesetzt. G. Pfister, einer der ersten Architekten der Clustertechnologie, hat einen Cluster folgendermaßen definiert: Ein paralleles oder verteiltes System, das aus verschiedenen miteinander verbundenen Computern besteht, die als einzelne zusammengefasste Computerressource genutzt werden.

Durch Zusammenstellen mehrerer Computer zu einem einzelnen vereinheitlichten Cluster kann die Verarbeitungslast verteilt werden, ohne dass Benutzer oder Administratoren wissen müssen, dass mehr als ein Server beteiligt ist. Wenn z. B. eine Komponente im Servercluster ausfällt, kann der Cluster als Ganzes unter Verwendung einer Komponente auf einem der anderen Server im Cluster die Arbeit weiter verrichten. Dabei spielt es keine Rolle, ob eine Hardware- oder Softwarekomponente ausfällt.

Die mit dem Servercluster verbundenen Benutzer bemerken u. U. einen vorübergehenden Leistungsabfall, ohne jedoch den Zugriff auf den Dienst vollständig zu verlieren. Sollte mehr Verarbeitungsleistung benötigt werden, können Administratoren in einem fortlaufenden Aktualisierungsprozess neue Komponenten hinzufügen. Im Verlauf dieses Prozesses bleibt der Cluster als Ganzes online und für die Benutzer weiter verfügbar, während nach der Aktualisierung dem Cluster mehr Leistung zur Verfügung steht.

Die Anforderungen von Benutzern und Unternehmen haben sich maßgeblich auf Entwurf und Entwicklung des Clusterdienstes ausgewirkt. Von Anfang an war das Hauptziel der Entwicklung ein Betriebssystemdienst, der den Clusteranforderungen vieler Unternehmen und Organisationen und nicht nur kleinen spezifischen Marktsegmenten gerecht wird.

Aus den Marktuntersuchungen von Microsoft ging hervor, dass in kleinen und mittleren Betrieben ein zunehmender Bedarf an Systemen mit hoher Verfügbarkeit vorhanden ist, da Datenbanken und E-Mail immer wichtiger für das Tagesgeschäft geworden sind. Als wichtigste Anforderungen wurden eine einfache Installation und Verwaltung ermittelt, da in kleinen und mittleren Betrieben eher wenig IT-Personal vorhanden ist. Parallel ergaben die Untersuchungen von Microsoft einen zunehmenden Bedarf an Windows-Servern in Großunternehmen mit gestiegenen Anforderungen nach hoher Leistung und Verfügbarkeit. Die Ergebnisse der Marktuntersuchungen beeinflussten die Konzeption des Clusterdienstes und führten zu dessen Entwicklung als integrierte Erweiterung der Basisbetriebssysteme Windows 2000 und Windows NT. Diese ermöglicht das Verknüpfen mehrerer Server und Datenspeicherkomponenten zu einer einzelnen, einfach zu verwaltenden Einheit, dem *Servercluster*. Unternehmen beliebiger Größe können Servercluster einsetzen, um mühelos zu verwaltende Systeme mit hoher Verfügbarkeit bereitzustellen, auf denen Windows 2000- und Windows NT-Anwendungen ausgeführt werden. Der Clusterdienst bietet darüber hinaus Anwendungsschnittstellen und Tools, die zum Entwickeln neuer clusterfähiger Anwendungen benötigt werden.

Clusterterminologie

Clusterdienst ist die Windows 2000-Bezeichnung einer Microsoft-Technologie, die erstmals in Windows NT Server 4.0 Enterprise Edition als Microsoft Cluster Server (MSCS) zur Verfügung gestellt wurde. Bei Bezugnahme auf Komponenten, die einen Cluster bilden, werden einzelne Computer als *Knoten (Nodes)* oder *Systeme* bezeichnet. *Clusterdienst* bezieht sich auf die Zusammenstellung wichtiger Komponenten auf den einzelnen Knoten, die clusterspezifische Aufgaben ausüben. *Ressourcen* sind Hardware- und Softwarekomponenten innerhalb des Clusters, die vom Clusterdienst verwaltet werden. Eine Ressource ist *online*, wenn sie verfügbar ist und ihren Dienst dem Cluster bereitstellt. Zu den Ressourcen zählen physische Hardwaregeräte wie Laufwerke und Netzwerkkarten bzw. logische Objekte wie IP-Adressen (Internet Protocol), vollständige Anwendungen und Anwendungsdatenbanken. Eine *Ressourcengruppe* ist eine Zusammenstellung von Ressourcen, die vom Clusterdienst als einzelne logische Einheit verwaltet wird. Sie enthält alle Elemente, die bestimmte Anwendungsserver und -clients für die erfolgreiche Nutzung einer Anwendung benötigen. Wenn eine Clusterdienstaktion auf eine Ressourcengruppe angewendet wird, wirkt sich diese Aktion auf alle in der Gruppe enthaltenen Ressourcen aus.

Servercluster

Das für die Entwicklung des Clusterdienstes verwendete Modell basiert auf einem *freigabelosen* Modell der Clusterarchitektur. Dieses Modell beschreibt, wie Server in einem Cluster Geräte und Ressourcen in lokalen Systemen und Clustern verwalten und verwenden. In einem freigabelosen Cluster ist jeder Server Besitzer und Verwalter seiner lokalen Geräte. Vom Cluster gemeinsam genutzte Geräte, wie z. B. gemeinsam genutzte Laufwerke und Verbindungsmedien, werden zu beliebigen Zeitpunkten von einem einzelnen Server verwaltet und dessen Besitz zugeordnet.

Das freigabelose Modell erleichtert die Verwaltung von Laufwerken und Standardanwendungen. Es benötigt keine besonderen Verkabelungen und Anwendungen und ermöglicht dem Clusterdienst die Unterstützung standardmäßiger Windows 2000- und Windows NT-Anwendungen und -Datenträgerressourcen.

Der Clusterdienst unterstützt für lokale Serverspeichergeräte und Medienverbindungen Windows 2000- und Windows NT-Standardtreiber. Externe vom Cluster genutzte Speichergeräte benötigen dagegen SCSI-Geräte (Small Computer System Interface). Der Clusterdienst unterstützt standardmäßige PCI-basierte SCSI-Verbindungen, einschließlich SCSI-Verbindungen über Fibre Channel- und SCSI-Bus mit mehrfachen Initiatoren. Dadurch ändert sich jedoch grundsätzlich nicht die Nutzung von Geräten und Medienverbindungen durch den Clusterdienst. Glasfaserverbindungen sind SCSI-Geräte, die auf einem Fibre Channel- anstatt auf einem SCSI-Bus betrieben werden. Die Fibre Channel-Technologie kapselt SCSI-Befehle im Fibre Channel sowie SCSI-Befehle ein, auf die der Clusterdienst zurückgreift, wie z. B. **Reserve/Release** und **Bus Reset**. Diese Befehle funktionieren weiterhin wie über Standard-SCSI-Verbindungen (ohne Glasfaser).

Die folgende Abbildung veranschaulicht Komponenten eines Serverclusters mit zwei Knoten, die aus Servern entweder unter Windows 2000 Advanced Server oder unter Windows NT Server 4.0 Enterprise Edition bestehen können, mit gemeinsam genutzten Speichergeräteverbindungen über SCSI oder SCSI über Fibre Channel.

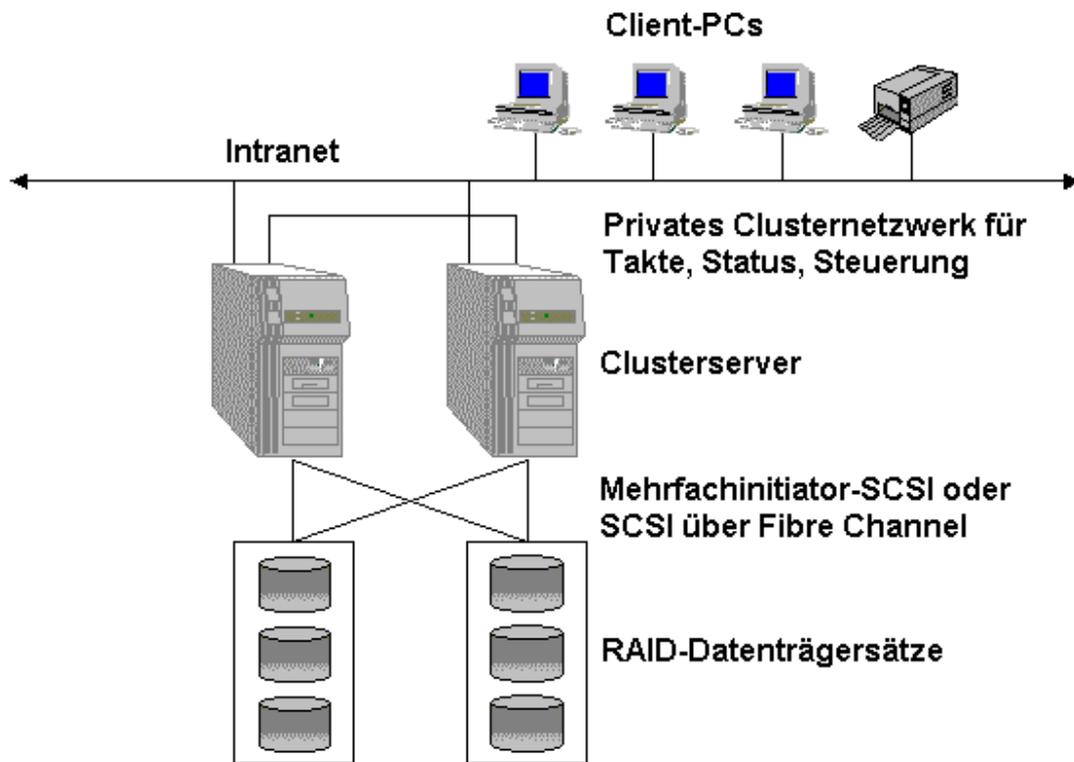


Abbildung 1: Servercluster mit zwei Knoten, entweder unter Windows 2000 Advanced Server oder unter Windows NT Server 4.0 Enterprise Edition

Windows 2000 Datacenter Server unterstützt Cluster mit vier Knoten und Geräteverbindungen über Fibre Channel-Switches. Die folgende Abbildung veranschaulicht Komponenten in einem Cluster mit vier Knoten.

MSCS-Cluster mit 4 Knoten

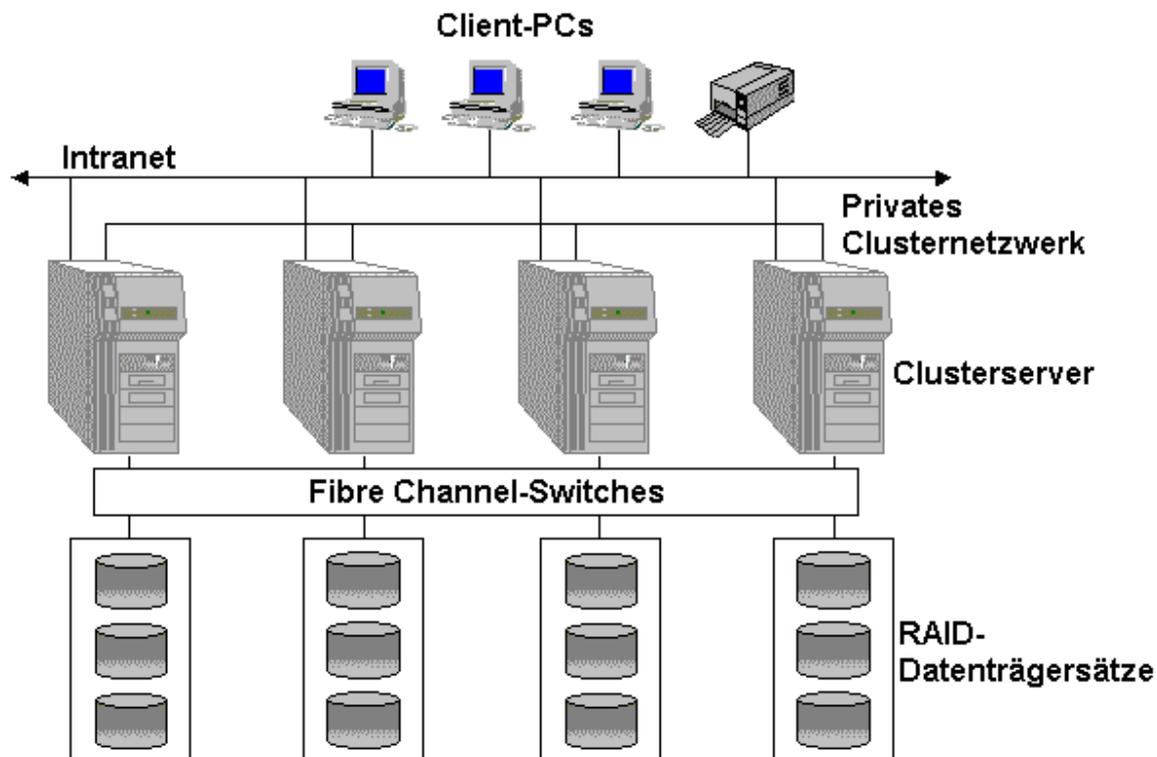


Abbildung 2: Servercluster mit vier Knoten unter Windows 2000 Datacenter Server Virtuelle Server

Anwendungen und Dienste, die auf einem Knoten eines Serverclusters ausgeführt werden, werden den Benutzern und Arbeitsstationen als *virtuelle Server* angezeigt. Für die Benutzer und Clientcomputer entspricht das Verbinden mit einer Anwendung oder einem Dienst in einem Servercluster dem Verbinden mit einem einzelnen physischen Server. Tatsächlich erfolgt die Verbindung jedoch mit einem virtuellen Server, der von einem beliebigen Knoten im Cluster betrieben werden kann.

Anwendungen, die auf den einzelnen Knoten eines Serverclusters ausgeführt werden, werden vom Clusterdienst als *eindeutige virtuelle Server* angezeigt und verwaltet. Mehrere virtuelle Server, die mehrere Anwendungen repräsentieren, können in einem Cluster betrieben werden (siehe die folgende Abbildung).

Virtuelle Server (physische Ansicht)

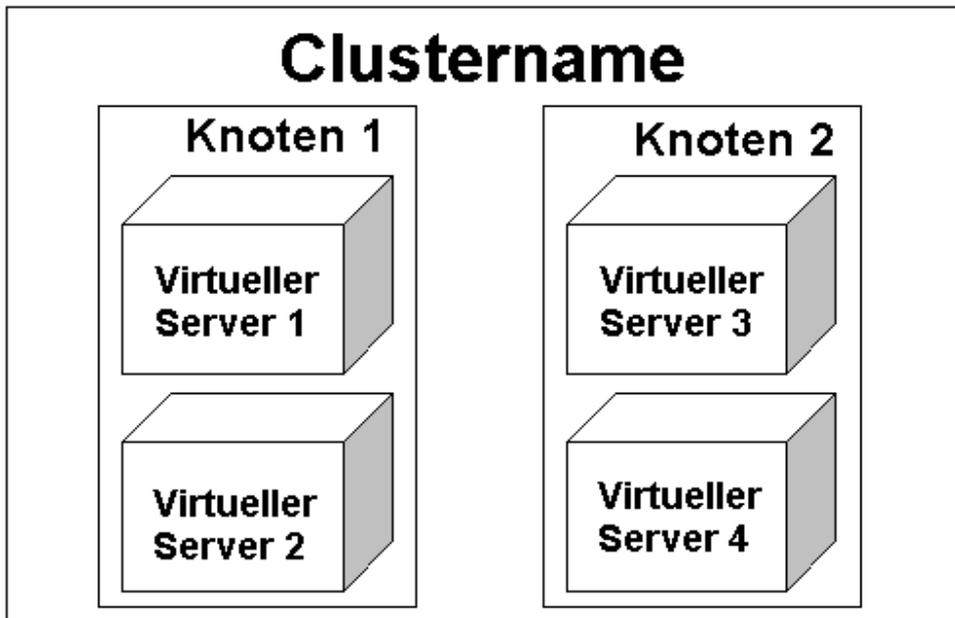


Abbildung 3: Physische Ansicht virtueller Server unter dem Clusterdienst

Anwendungsclientverbindungen mit dem virtuellen Server über ein TCP/IP-Netzwerk werden durch eine Clientsitzung hergestellt, die nur die IP-Adresse kennt, die der Clusterdienst als Adresse des virtuellen Servers veröffentlicht. Der Clusterdienst verwaltet die IP-Adresse als eine zu einer Anwendungsressourcengruppe gehörende Ressource. Diese Clientansicht des

Virtuelle Server (Clientansicht)

Knoten 1	Knoten 2	Virtueller Server 1	Virtueller Server 2	Virtueller Server 3	Virtueller Server 4
		Internet Information Server	MTS MSMQ	Microsoft Exchange	SQL Server
IP-Adresse 1.1.1.2 Name im Netzwerk WHECNode1	IP-Adresse 1.1.1.3 Name im Netzwerk WHECNode2	IP-Adresse 1.1.1.4 Name im Netzwerk WHEC-VS1	IP-Adresse 1.1.1.5 Name im Netzwerk WHEC-VS2	IP-Adresse 1.1.1.6 Name im Netzwerk WHEC-VS3	IP-Adresse 1.1.1.7 Name im Netzwerk WHEC-VS4

virtuellen Servers wird in der folgenden Abbildung veranschaulicht.

Abbildung 4: Clientansicht der virtuellen Server des Clusterdienstes

Bei einem Anwendungs- oder Serverfehler verschiebt der Clusterdienst die gesamte Ressourcengruppe auf einen anderen Knoten im Cluster. Ist ein solcher Fehler aufgetreten, erkennt der Client einen Fehler in seiner Sitzung mit der Anwendung und versucht den Aufbau einer neuen Verbindung entsprechend der ursprünglichen Verbindung. Da der

Clusterdienst lediglich die IP-Adresse des virtuellen Servers einem funktionierenden Knoten im Cluster neu zuweist, kann die Clientsitzung die Verbindung mit der Anwendung erneut herstellen, ohne wissen zu müssen, dass die Anwendung nun auf einem anderen Knoten im Cluster ausgeführt wird.

Wichtig ist die Anmerkung, dass trotz der hieraus folgenden hohen Verfügbarkeit der Anwendung oder des Dienstes alle auf die ursprüngliche Sitzung (Session) bezogenen Informationen verloren gehen. Der Clusterdienst sorgt zwar für eine hohe Verfügbarkeit, bietet jedoch keine Fehlertoleranz für Anwendungen. Um eine Fehlertoleranz zu implementieren, muss die Anwendung eine Transaktionslogik verwenden, damit die Clientdaten mithilfe fehlertoleranter Semantiken in der Serverdatenbank gespeichert werden.

Ressourcengruppe

Virtuelle Server im Clusterdienst sind *Ressourcengruppen*. Eine Ressourcengruppe kann nur einem Knoten gleichzeitig gehören. Einzelne Ressourcen innerhalb einer Gruppe müssen auf dem Knoten vorhanden sein, der gegenwärtig Besitzer der Gruppe ist. Es ist nicht möglich, dass verschiedene Server im Cluster zu einem beliebigen Zeitpunkt Besitzer verschiedener Ressourcen derselben Ressourcengruppe sind.

Mit jeder Gruppe ist eine clusterübergreifende Richtlinie verknüpft, die angibt, auf welchem Server die Gruppe bevorzugt ausgeführt wird und auf welchen Server die Gruppe bei einem Fehler verschoben werden soll. Jede Gruppe hat ferner einen eigenen Netzwerkdienstnamen (Network Service Name) und eine eigene Netzwerkdienstadresse (Network Service Address), die Netzwerkclients zum Herstellen von Bindungen mit Diensten verwenden, die die Ressourcengruppe bereitstellt. Bei einer Störung können Ressourcengruppen als Ganzes vom fehlerhaften Knoten auf einen anderen im Cluster verfügbaren Knoten verschoben werden.

Architektur des Clusterdienstes

Der Clusterdienst wurde als getrennter, isolierter Komponentensatz entwickelt, der mit dem Betriebssystem interagiert. Dank dieser Konzeption mussten keine komplexen Abhängigkeiten beim Verarbeitungssystemzeitplan (Processing System Schedule) zwischen Clusterdienst und Betriebssystem eingeführt werden. Um jedoch Clusterfunktionen ermöglichen zu können, waren verschiedene Änderungen am Basisbetriebssystem erforderlich. Dazu zählen:

- Unterstützung des dynamischen Erstellens und Löschens von Netzwerknamen und -adressen
- Änderung des Dateisystems zum Ermöglichen des Schließens geöffneter Dateien während des Aufhebens von Laufwerkbereitstellungen
- Ändern des E/A-Teilsystems zum Ermöglichen der gemeinsamen Nutzung von Festplatten- und Datenträgersätzen durch mehrere Knoten

Neben den genannten Änderungen und einigen geringfügigen Modifikationen wurden die Clusterfunktionen des Clusterdienstes so erstellt, dass sie auf der vorhandenen Basis der Betriebssysteme Windows 2000 und Windows NT aufsetzen.

Clusterkomponenten

Der Clusterdienst besteht aus mehreren eng verknüpften und zusammenwirkenden Komponenten und Prozessen:

- **Der Knoten-Manager** verwaltet die Clustermemberschaft und überwacht den Status der anderen Knoten im Cluster.
- **Der Configuration Database-Manager** verwaltet die Clusterkonfigurationsdatenbank.
- **Der Protokoll-Manager** schreibt Änderungen in das Wiederherstellungsprotokoll, das auf der Quorumressource gespeichert wird.

- **Der Checkpoint-Manager** speichert Daten in einer Protokolldatei, die von der Quorumressource verwaltet wird.
- **Der Ressourcen-Manager** trifft alle Verwaltungsentscheidungen für Ressourcen und Ressourcengruppen und löst die entsprechenden Aktionen aus, wie z. B. Start, Neustart und Failover.
- **Der Failover-Manager** arbeitet mit dem Ressourcen-Manager zusammen, um Ressourcen und Ressourcengruppen zu verwalten und um Failovervorgänge auszulösen.
- **Der Event Processor** verbindet alle Komponenten des Clusterdienstes, verwaltet gemeinsame Vorgänge und steuert die Initialisierung des Clusterdienstes.
- **Der Communications-Manager:** verwaltet die Kommunikation mit allen anderen Knoten des Clusters.
- **Der Global Update-Manager:** stellt einen globalen Aktualisierungsdienst bereit, der von anderen Komponenten innerhalb des Clusterdienstes verwendet wird.
- **Der Ressourcenmonitor** wird in einem oder mehreren getrennten Prozessen ausgeführt und kommuniziert mit dem Clusterdienst über Remoteprozeduraufrufe (Remote Procedure Calls/RPCs), um den Status der einzelnen Cluster mittels Rückrufe an die Ressourcen zu überwachen.

Der Knoten-Manager

Der Knoten-Manager wird auf allen Knoten ausgeführt und verwaltet eine lokale Liste der zum Cluster gehörenden Knoten. Der Knoten-Manager sendet regelmäßig Nachrichten, die Takte genannt werden, an seine Gegenstücke auf den anderen Knoten im Cluster, um Störungen zu entdecken. Wichtig ist dafür, dass alle Knoten im Cluster stets über dieselbe Sicht der Clustermitgliedschaft verfügen.

Erkennt ein Knoten eine Übertragungsstörung bei einem anderen Knoten, sendet er eine Nachricht an das gesamte Cluster, die bewirkt, dass alle Mitglieder ihre Sicht der aktuellen Clustermitgliedschaft überprüfen. Dieser Vorgang wird *Neugruppierungsereignis (Regroup Event)* genannt. Der Clusterdienst verhindert Schreibvorgänge auf allen Datenträgern, die von allen Knoten im Cluster genutzt werden, bis sich die Mitgliedschaft stabilisiert hat. Wenn der Knoten-Manager auf einem Knoten nicht reagiert, wird dieser aus dem Cluster entfernt. Seine aktiven Ressourcengruppen werden auf einen aktiven Knoten verschoben.

Anmerkung Sollte der Clusterdienst oder eine seiner Komponenten fehlerhaft arbeiten, werden die Ressourcen auf dem gestörten Knoten unter der Annahme angehalten, dass sie auf einem aktiven verfügbaren Knoten im Cluster neu gestartet werden.

Der Configuration Database-Manager

Der Configuration Database-Manager implementiert die Funktionen, die zum Verwalten der Konfigurationsdatenbank des Clusters benötigt werden. Die Konfigurationsdatenbank enthält Informationen zu allen physischen und logischen Entitäten in einem Cluster. Zu diesen Entitäten zählen der Cluster selbst, die Clusterknotenmitgliedschaft, die Ressourcentypen und Beschreibungen bestimmter Ressourcen, wie z. B. Datenträger und IP-Adressen.

Anhand der dauerhaften und flüchtigen Informationen, die in der Konfigurationsdatenbank gespeichert sind, wird der Ist- und Sollstatus des Clusters überwacht. Die auf den einzelnen Knoten des Clusters ausgeführten Configuration Database-Manager arbeiten zusammen, damit die Konfigurationsinformationen im gesamten Cluster konsistent bleiben. Mithilfe einphasiger Commits wird die Konsistenz der Kopien der Konfigurationsdatenbank auf allen Knoten sichergestellt. Der Configuration Database-Manager stellt ferner eine Schnittstelle zu der Konfigurationsdatenbank bereit, die von anderen Komponenten des Clusterdienstes genutzt werden kann. Diese Schnittstelle ähnelt der Registrierungsschnittstelle, die von den Win32-APIs (Schnittstelle für Anwendungsprogrammierung) zur Verfügung gestellt wird. Der Hauptunterschied zum Clusterdienst ist, dass Änderungen an einem Clusterknoten vom Checkpoint-Manager des Clusterdienstes an alle im Cluster betroffenen Knoten atomar

weitergegeben werden.

Der Protokoll-Manager

Der Protokoll-Manager überprüft regelmäßig auf allen Knoten die Kopie der Clusterdatenbank, um die Konsistenz sicherzustellen. Gemeinsam mit dem Checkpoint-Manager sorgt der Protokoll-Manager dafür, dass das Wiederherstellungsprotokoll der Quorumressource die aktuellsten Clusterdatenbankinformationen enthält.

Der Checkpoint-Manager

Clusterfähige Anwendungen nutzen zum Speichern von Informationen die Konfigurationsdatenbank. Doch auch nicht clusterfähige Anwendungen können Informationen in der Knotenregistrierung speichern. Der Checkpoint-Manager verwaltet die Knotenregistrierungsinformationen im Wiederherstellungsprotokoll der Quorumressource. Diese Informationen werden als *Prüfpunkt* bezeichnet. Der Checkpoint-Manager schreibt Prüfpunkte aus dem Registrierungsressourcenschlüssel angegebener Ressourcen auf den Quorumdatenträger. So wird dafür gesorgt, dass das Wiederherstellungsprotokoll der Quorumressource die aktuellsten Clusterdatenbankinformationen enthält.

Der Ressourcen-Manager

Die Aufgaben des Ressourcen-Managers sind das Beenden und Starten von Ressourcen, das Verwalten von Ressourcenabhängigkeiten und das Auslösen des Failovers von Ressourcengruppen. Der Ressourcen-Manager empfängt von den Ressourcenmonitoren und vom Knoten-Manager Ressourcen- und Systemstatusinformationen. Er nutzt diese Informationen zum Treffen von Entscheidungen über Ressourcengruppen.

Der Failover-Manager

Der Failover-Manager bestimmt, welche Knoten im Cluster Besitzer bestimmter Ressourcengruppen werden. Nach Abschluss des Aushandelns der Ressourcengruppenbesitzer übergeben Knoten, die Besitzer einer einzelnen Ressourcengruppe sind, die Steuerung der Ressourcen in der Ressourcengruppe an den entsprechenden Ressourcen-Manager. Wenn Störungen bei Ressourcen innerhalb einer Ressourcengruppe nicht von dem Knoten behoben werden können, der Besitzer der Gruppe ist, arbeiten die Failover-Manager auf den einzelnen Knoten im Cluster zusammen, um den Besitzer der Ressourcengruppe neu auszuhandeln. Ist eine Ressource fehlerhaft, kann der Ressourcen-Manager die Ressource neu starten oder gemeinsam mit ihren abhängigen Ressourcen offline setzen. Wird die Ressource offline gesetzt, bedeutet dies für den Failover-Manager, dass der Besitz der Ressource einem anderen Knoten zugeordnet und die Ressource im Besitz des neuen Knotens neu gestartet werden soll. Dieser Vorgang wird als *Failover* bezeichnet.

Failover

Ein Failover kann automatisch auf Grund eines nicht geplanten Hardware- oder Anwendungsausfalls oder manuell durch den Administrator des Clusters ausgelöst werden. Der Algorithmus für beide Fälle ist identisch. Bei einem manuell ausgelösten Failover werden die Ressourcen jedoch ordnungsgemäß heruntergefahren, während sie bei einem automatisch ausgelösten Failover gezwungenermaßen heruntergefahren werden. Wenn ein gesamter Knoten in einem Cluster fehlerhaft ist, werden dessen Ressourcengruppen auf einen oder mehrere verfügbare Server im Cluster verschoben. Das automatische Failover entspricht nahezu der geplanten administrativen Neuzuweisung des Ressourcenbesitzes. Jedoch ist das automatische Failover komplizierter, da der fehlerhafte Knoten nicht ordnungsgemäß heruntergefahren wird. Beim automatischen Failover muss bestimmt werden, welche Gruppen auf dem fehlerhaften Knoten ausgeführt wurden und welche Gruppen den Besitz der verschiedenen

Ressourcengruppen übernehmen sollen. Alle Knoten im Cluster, die die Ressourcengruppen betreiben können, handeln untereinander den Besitz aus. Diese Verhandlung basiert auf der Leistungsfähigkeit der Knoten, der aktuellen Auslastung, den Anwendungsrückmeldungen oder der *Knotenpräferenzliste*, die zum Zuweisen einer Ressourcengruppe zu einem Knoten verwendet wird. Nach Abschluss der Verhandlungen über die Ressourcengruppen aktualisieren alle Knoten im Cluster ihre Datenbanken und behalten somit die Übersicht darüber, welcher Knoten Besitzer der jeweiligen Ressourcengruppe ist.

In Clustern mit mehr als zwei Knoten kann die Knotenpräferenzliste für die einzelnen Ressourcengruppen einen bevorzugten Server sowie zwei oder mehrere favorisierte Alternativen angeben. Auf diese Weise ist ein *kaskadierendes Failover* möglich, bei dem eine Ressourcengruppe mehrere Serverstörungen überstehen kann, indem sie bei der nächsten Störung auf den nächsten Server in ihrer Knotenpräferenzliste verschoben wird.

Clusteradministratoren können diese Funktionalität zum Einrichten verschiedener Knotenpräferenzlisten für die einzelnen Ressourcengruppen auf einem Server nutzen, sodass die Gruppen bei einem Serverausfall auf die weiterhin funktionierenden Server im Cluster verteilt werden.

Bei einer Alternative zu diesem Schema, die häufig *N+1-Failover* genannt wird, werden die Knotenpräferenzlisten aller Clustergruppen eingerichtet. Die Knotenpräferenzliste gibt die Standbyclusterknoten an, auf die Ressourcen beim ersten Failover verschoben werden sollen. Die Standbyknoten sind Server im Cluster, die sich meistens im Leerlauf befinden oder deren eigene Arbeitsauslastung zurückgestellt werden kann, wenn die Arbeitsauslastung eines fehlerhaften Servers auf den Standbyknoten verschoben werden muss.

Ein Schlüsselfaktor für die Clusteradministration bei der Wahl zwischen kaskadierendem und N+1-Failover ist das Vorhandensein von Überschusskapazität des Clusters für die Übernahme eines ausgefallenen Servers. Beim kaskadierenden Failover wird davon ausgegangen, dass alle anderen Server im Cluster über eine bestimmte Überschusskapazität verfügen, um einen Teil der Arbeitsauslastung eines ausgefallenen Servers übernehmen zu können. Beim N+1-Failover wird angenommen, dass der "+1"-Standbyserver hauptsächlich die Überschusskapazität bereitstellt.

Failback

Nachdem ein Knoten wieder online gebracht wurde, kann der Failover-Manager einige Ressourcengruppen wieder zurück auf den wiederhergestellten Knoten verschieben. Dieser Vorgang wird *Failback* genannt. Für Ressourcengruppen muss ein bevorzugter Besitzer definiert sein, damit sie auf einen wiederhergestellten oder neu gestarteten Knoten verschoben werden können. Ressourcengruppen, für die der wiederhergestellte oder neu gestartete Knoten der bevorzugte Besitzer ist, werden vom aktuellen Besitzer auf den wiederhergestellten oder neu gestarteten Knoten verschoben. Der Clusterdienst bietet einen Schutz gegen ein Failback von Ressourcengruppen zu Zeiten mit hoher Auslastung oder auf Knoten, die noch nicht ordnungsgemäß wiederhergestellt oder neu gestartet wurden. Die Failbackeigenschaften einer Ressourcengruppe können die Uhrzeiten angeben, zu denen das Failback möglich ist. Ferner kann bestimmt werden, wie oft das Failback versucht werden soll.

Der Event Processor

Der Event Processor dient als elektronische Vermittlungszentrale, die Ereignisse an auf den Knoten im Cluster ausgeführten Anwendungen und Clusterdienstkomponenten sendet und von diesen empfängt. Der Event Processor führt verschiedene Dienste aus, wie z. B. das Übermitteln von Signalereignissen an clusterfähige Anwendungen und das Verwalten von Clusterobjekten. Ferner ist der Event Processor der anfängliche Eingangspunkt für den Beitritt zu einem Servercluster. Beim Start des Clusterdienstes auf einem Knoten ist der externe Status des Knotens *offline*, bis der Event Processor den Knoten-Manager auffordert,

den Beitritt zu einem Cluster oder das Bilden eines Clusters zu starten.

Aus der Sicht der anderen Knoten im Cluster und der Verwaltungsschnittstellen des Clusterdienstes kann ein Knoten einen von drei Zuständen aufweisen. Diese Zustände werden den anderen Knoten im Cluster angezeigt und vom Event Processor verwaltet. Die möglichen Zustände des Clusterdienstes sind:

- **Offline.** Der Knoten ist kein vollständig aktives Mitglied des Clusters. Der Knoten und sein Clusterdienst werden ggf. nicht ausgeführt.
- **Online.** Der Knoten ist ein vollständig aktives Mitglied des Clusters. Er empfängt Aktualisierungen der Clusterdatenbank, trägt zum Quorumalgorithmus bei, verwaltet Takte und kann Ressourcengruppen besitzen und ausführen.
- **Angehalten.** Der Knoten ist ein vollständig aktives Mitglied des Clusters. Er empfängt Aktualisierungen der Clusterdatenbank, trägt zum Quorumalgorithmus bei, verwaltet Takte aber kann jedoch keine Ressourcengruppen besitzen und ausführen. Dieser Zustand ist für das Durchführen von Wartungsaufgaben vorgesehen. *Online* und *Angehalten* werden von der Mehrzahl der Komponenten des Clusterdienstes als gleichwertige Zustände behandelt.

Der Communications-Manager

Die Clusterdienste auf allen Knoten tauschen kontinuierlich Informationen untereinander aus. Die Kommunikation in Zwei-Wege- oder Vier-Wege-Clustern ist direkt, d. h. alle Knoten tauschen mit allen anderen Knoten Informationen aus. Die clusterinterne Kommunikation verwendet einen RPC-Mechanismus, um eine zuverlässige Übermittlung aller Nachrichten sicherzustellen.

Der Global Update-Manager

Der Configuration Database-Manager nutzt die vom Global Update-Manager bereitgestellten Aktualisierungsdienste, um Änderungen an der Clusterdatenbank gleichermaßen auf alle Knoten zu replizieren.

Ressourcenmonitore

Ressourcenmonitore sind passive Kommunikationsschichten, die keine Vorgänge auslösen, sondern als Vermittler zwischen dem Clusterdienst und den Ressourcen-DLLs agieren. Wenn der Clusterdienst eine Ressource anfordert, überträgt der Ressourcenmonitor diese Anforderung an die entsprechende Ressourcen-DLL. Muss eine Ressourcen-DLL den Status melden oder den Clusterdienst über ein Ereignis informieren, sorgt der Ressourcenmonitor dafür, dass die Informationen erfolgreich übermittelt werden.

Der Ressourcenmonitor wird in einem vom Clusterdienst getrennten Prozess ausgeführt, um den Clusterdienst vor Ressourcenfehlern zu schützen und um bei Ausfall des Clusterdienstes Maßnahmen zu ergreifen. Wenn der Ressourcenmonitor einen Clusterdienstaustausfall erkennt, setzt er alle Ressourcen und Gruppen auf dem betreffenden Knoten offline.

Auf jedem Clusterknoten werden ein oder mehrere Ressourcenmonitore ausgeführt.

Standardmäßig startet der Clusterdienst nur einen Ressourcenmonitor, der mit allen vom Knoten betriebenen Ressourcen interagiert.

Anmerkung Mithilfe von **Clusterverwaltung** oder einer anderen Verwaltungsanwendung kann ein Administrator den standardmäßigen einzelnen Ressourcenmonitor außer Kraft setzen.

Clusterressourcen

Der Clusterdienst verwaltet alle Ressourcen als identische Objekte, die als DLLs (Dynamically Linked Libraries) implementiert werden. Zur Ausführung in einem Servercluster müssen Ressourcen über eine Ressourcen-DLL nur einige einfache Schnittstellen und Eigenschaften offenlegen. Microsoft stellt Ressourcen-DLLs bereit, die sowohl clusterfähige als auch nicht clusterfähige Anwendungen unterstützen.

Der Ressourcenmonitor lädt eine bestimmte Ressourcen-DLL als privilegierten Code in seinen Adressraum, der unter dem Systemkonto ausgeführt wird. Das Systemkonto wird ausschließlich vom Betriebssystem und von in das Basisbetriebssystem integrierten Diensten verwendet. Durch Verwenden des Systemkontos kann der Clusterdienst verschiedene Funktionen im Kontext des Betriebssystems ausführen. Weitere Informationen zur Architektur der Systemdienste, Adressierung und Kontosicherheit unter Windows 2000 und Windows NT finden Sie unter:

http://www.microsoft.com/ntserver/nts/exec/prodstrat/nt_foundation.asp

(englischsprachig).

Alle von Microsoft bereitgestellten Ressourcen-DLLs für clusterfähige Microsoft-Anwendungen werden in einem *Ressourcenmonitor* genannten Prozess ausgeführt. DLLs unabhängiger Softwarehersteller oder anderer Anbieter werden gemäß der Konfiguration durch den Clusteradministrator in mindestens einem weiteren Ressourcenmonitor ausgeführt. Ressourcenmonitore werden vom Clusterdienst bei Bedarf erstellt, wenn eine Ressource installiert oder auf einem Clusterknoten gestartet wird.

Wenn die Funktionalität von Ressourcen von der Verfügbarkeit anderer Ressourcen abhängig ist, können diese Abhängigkeiten in die Ressourcen-DLL integriert werden. Der Clusterdienst verwendet die Ressourcen-DLL, um Ressourcen online zu bringen und ihre Interaktion mit anderen Ressourcen im Cluster zu verwalten. Ist eine Ressource von anderen Ressourcen abhängig, bringt der Clusterdienst diese erst dann online, nachdem die Ressourcen, von denen die Ressource abhängig ist, in der korrekten Reihenfolge online gebracht wurden.

Ressourcen werden auf ähnliche Weise offline gesetzt. Der Clusterdienst setzt Ressourcen erst dann offline, nachdem alle abhängigen Ressourcen offline gesetzt wurden. Dadurch werden beim Laden von Ressourcen Ringabhängigkeiten verhindert.

Eine Ressourcen-DLL kann ferner den Computertyp und die Geräteverbindung festlegen, der/die von der Ressource benötigt wird. Für eine Datenträgerressource ist z. B. ein Knoten als Besitzer erforderlich, der physisch mit dem Datenträger verbunden ist. Darüber hinaus können in der Ressourcen-DLL lokale Neustartrichtlinien und die während eines Failovers gewünschten Maßnahmen bestimmt werden.

Dank der Ressourcen-DLLs unter Windows NT Server 4.0 Enterprise Edition kann der Clusterdienst die folgenden Ressourcen unterstützen:

- **Datei- und Druckfreigaben**
- **Allgemeine Dienste und Anwendungen**
- **Physische Datenträger**
- **Microsoft Distributed Transaction Coordinator (MSDTC)**
- **Internet Information Server (IIS)**
- **Message Queuing**
- **Netzwerkadressen und -namen**

Windows 2000 Advanced Server und Windows 2000 Datacenter Server enthalten Ressourcen-DLLs für die folgenden weiteren Dienste:

- **Verteiltes Dateisystem (Distributed File System, DFS)**
- **DHCP-Dienst (Dynamic Host Configuration Protocol)**
- **Network News Transfer Protocol (NNTP)**
- **Simple Message Transfer Protocol (SMTP)**
- **Windows Internet Name Service (WINS)**

Mithilfe von Ressourcen-DLLs unabhängiger Softwarehersteller kann der Clusterdienst weitere Anwendungen unterstützen. Die Schnittstelle der Ressourcen-DLL wurde als Teil des SDK (Software Development Kit) des Clusterdienstes formal spezifiziert und veröffentlicht. Mittels dieser Schnittstelle können Anwendungsentwickler Ressourcen-DLLs entwickeln, die die Ausführung ihrer Anwendungen in auf dem Clusterdienst basierenden Serverclustern unterstützen. Anwendungen, die dem Clusterdienst Ressourcen-DLLs bereitstellen, werden

clusterfähig genannt. Clusterfähige Anwendungen bieten eine bessere Skalierbarkeit und die Vorteile des Failovers.

Eine Datenbankserveranwendung kann z. B. eine Datenbankressourcen-DLL bereitstellen, damit der Clusterdienst ein Failover einer einzelnen Datenbank von einem Knoten auf einen anderen Knoten im Cluster durchführt. Ohne die anwendungsspezifische Datenbankressourcen-DLL kann der Clusterdienst nur ein Failover der gesamten Serveranwendung (und aller ihrer Datenbanken) durchführen. Durch das Bereitstellen einer anwendungsspezifischen Datenbankressourcen-DLL wird die Datenbank an Stelle des Serverprogramms die Basiseinheit für das Failover. Nachdem die Serveranwendung nicht länger die vom Clusterdienst verwaltete Ressource ist, können mehrere Server gleichzeitig auf verschiedenen Knoten im Cluster mit jeweils eigenen Datenbanken ausgeführt werden. Das Bereitstellen einer Anwendungsressourcen-DLL ist der erste Schritt in Richtung des Erzielens einer den gesamten Cluster betreffenden Skalierbarkeit und eine Voraussetzung jeder clusterfähigen Anwendung.

Ohne eine anwendungsspezifische Ressourcen-DLL kann der Clusterdienst nur die allgemeine Serverressourcen-DLL verwenden, die der Clusterdienst zur Verfügung stellt. Bei dieser allgemeinen Server-DLL erfolgt ein Failover der gesamten Serveranwendung und aller ihrer Datenbanken. Da eine Ressource auf nur einem Knoten im Cluster aktiv sein kann, würde dadurch das Cluster auf eine einzelne ausgeführte Instanz eines Anwendungsserverprogramms und die mit diesem verknüpften Datendateien beschränkt. Eine aktuelle Liste mit Serveranwendungen, die Ressourcen-DLLs für den Clusterdienst bereitstellen, finden Sie unter: <http://www.microsoft.com/ntserver/ntserverenterprise/exec/overview/Clustering/partnerlist.asp> (englischsprachig).

Clusterverwaltung

Der Clusterdienst bietet eine Automatisierungsschnittstelle für die Verwaltung von Clusterressourcen, Knoten und den Cluster selbst. Anwendungen und Verwaltungstools, wie z. B. **Clusterverwaltung** können über Remoteprozeduraufrufe (RPCs) auf diese Schnittstelle zugreifen. Dabei spielt es keine Rolle, ob das Tool auf einem Knoten im Cluster oder auf einem externen Computer ausgeführt wird. Die Verwaltungsschnittstelle ist in mehrere Kategorien unterteilt, von denen jede mit einer bestimmten Clusterkomponente, wie z. B. Knoten, Ressourcen, Ressourcengruppen und dem Cluster selbst, verknüpft ist. Weitere Informationen zum Verwenden der Automatisierungsschnittstelle zum Hinzufügen von Verwaltungstools zum Clusterdienst finden Sie unter *Base Services* im Platform Software Development Kit (SDK):

<http://msdn.microsoft.com/library/default.htm> (englischsprachig).

Weitere Informationen zum Verwenden von **Clusterverwaltung** finden Sie in der Hilfe zu Windows 2000 Advanced Server und Windows 2000 Datacenter Server.

Clusterbildung und -betrieb

Die folgenden Abschnitte erläutern kurz das Verhalten von Knoten während Erstellung und Betrieb eines Clusters. Ausführliche Informationen zur Installation des Clusterdienstes finden Sie in der Hilfe und den Implementierungsleitfäden zu Windows 2000 und Windows NT Server 4.0 Enterprise Edition.

Erstellen eines Clusters

Der Clusterdienst bietet ein Dienstprogramm zur Clusterinstallation, mit dem Administratoren die Clustersoftware auf einem Computer installieren und einen neuen Cluster erstellen können. Um einen neuen Cluster zu erstellen, wird das Dienstprogramm auf dem Computer ausgeführt, der als erstes Mitglied des Clusters

bestimmt wurde. Im ersten Schritt wird der neue Cluster definiert, indem ein Clustername festgelegt und die Clusterdatenbank sowie die anfängliche Clustermitgliedliste erstellt werden.

Der zweite Schritt beim Erstellen eines Clusters sieht vor, dass der Administrator häufig genutzte Geräte hinzufügt, die allen Mitgliedern des Clusters zur Verfügung stehen sollen. Der neue Cluster wird mit einem Knoten sowie eigenen lokalen Datenspeichergeräten und Clusterressourcen eingerichtet. Dies sind in der Regel Datenträger- oder Datenspeicher- sowie Verbindungsmittelnressourcen.

Im letzten Schritt beim Erstellen eines Clusters wird das Installationsprogramm auf allen weiteren Computern ausgeführt, die Mitglieder des Clusters werden sollen.

Beim Hinzufügen eines neuen Knotens zum Cluster erhält dieser vom ersten Mitglied des Clusters eine Kopie der vorhandenen Clusterdatenbank.

Beitreten zu einem Cluster

Der Clusterdienst wird auf allen Knoten vom Dienststeuerungs-Manager unter Windows 2000 oder Windows NT gestartet. Nach dem Start des Clusterdienstes konfiguriert dieser seine lokalen nicht freigegebenen Geräte und stellt diese bereit. Während des Startvorgangs belässt der Knoten die für das Cluster vorgesehenen Geräte offline, da andere Knoten die Geräte verwenden könnten. Jeder Knoten startet einen Erkennungsprozess, um die anderen Mitglieder des Clusters zu bestimmen. Wenn ein Knoten ein anderes Mitglied des Clusters erkannt hat, führt er eine Authentifizierungssequenz durch.

Das erste Clustermitglied authentifiziert den neuen Knoten und gibt einen Erfolgsstatus zurück, wenn der neue Server erfolgreich authentifiziert werden kann. Wenn der neue Knoten nicht als Mitglied erkannt wird oder ein ungültiges Kontokennwort hat, wird der Beitritt zum Cluster abgelehnt. Nach erfolgreicher Authentifizierung wird die Clusterdatenbank auf dem neuen Knoten überprüft. Ist diese veraltet, sendet der Clusterknoten, der den neuen Server authentifiziert, an diesen eine aktualisierte Kopie der Datenbank. Nach Empfang der replizierten Datenbank kann der beitretende Knoten in dieser nach freigegebenen Ressourcen suchen und diese bei Bedarf online bringen.

Bilden eines Clusters

In jedem Cluster wird eine Ressource als *Quorumressource* festgelegt. Die Quorumressource gewährleistet die Datenintegrität und Einheit des Clusters. Sie spielt bei Vorgängen im Cluster eine wichtige Rolle. Sie muss vorhanden sein, damit Vorgänge wie das Beitreten zu einem Cluster oder das Bilden eines Clusters möglich sind.

Die Quorumressource hat eine Entscheidungsfunktion, wenn ein Cluster erstellt wird oder die Netzwerkkommunikation zwischen Knoten in einem Cluster die Bildung mehrerer Cluster durch dieselbe Gruppe von Knoten vorübergehend nicht verhindern kann. Um ein Cluster zu bilden, muss der Knoten den Besitz der Quorumressource anstreben und übernehmen. Wenn z. B. ein Knoten während des Erkennungsprozesses keinen Cluster erkennen kann, versucht der Knoten, sein eigenes Cluster zu bilden, indem er auf die Quorumressource zugreift.

Gegenwärtig ist der einzige Ressourcentyp, der als Quorumressource verwendet werden kann, ein physischer Datenträger mit folgenden Attributen:

- Einer Methode der dauerhaften Vermittlung, mit deren Hilfe ein einzelner Knoten die physische Steuerung der Quorumressource erreichen und behalten kann. Die SCSI-Datenträgerbefehle **Reserve** und **Release** ermöglichen z. B. eine dauerhafte Vermittlung.
- Physischer Speicher, auf den alle Knoten im Cluster zugreifen können.
- Unterstützung von NTFS.

Anmerkung Künftig können andere Hersteller clusterfähige Quorumressourcentypen entwickeln, wenn die obigen Voraussetzungen erfüllt werden. Weitere Informationen zum Entwickeln clusterfähiger Produkte finden Sie unter "Platform SDK Components for Windows Base Services Developers" in MSDN Online:

<http://msdn.microsoft.com/developer/sdk/winbase.asp> (englischsprachig).

Die Quorumressource speichert die aktuellste Version der Konfigurationsdatenbank in Form von Wiederherstellungsprotokollen, die die knotenunabhängige Speicherung von Clusterkonfigurations- und -statusdaten enthalten. Wenn ein Knoten einem Cluster beitrifft oder ein Cluster bildet, aktualisiert der Clusterdienst die eigene Kopie der Konfigurationsdatenbank des Knotens. Wenn ein Knoten einem vorhandenen Cluster beitrifft, kann der Clusterdienst die Daten von den anderen aktiven Knoten abrufen. Wenn jedoch ein Knoten einen Cluster zu bilden beginnt, sind keine anderen Knoten vorhanden.

Der Clusterdienst nutzt die Wiederherstellungsprotokolle der Quorumressource, um folgende Aufgaben auszuführen:

- Sicherstellen, dass nur eine Gruppe aktiver, kommunizierender Knoten als ein Cluster betrieben werden darf.
- Gewährleisten, dass ein Knoten nur dann ein Cluster bilden kann, wenn er die Steuerung der Quorumressource übernehmen kann.
- Dafür sorgen, dass ein Knoten nur dann einem Cluster beitreten bzw. in einem vorhandenen Cluster bleiben kann, wenn er mit dem Knoten Daten austauschen kann, der die Quorumressource steuert.

Verlassen eines Clusters

Wenn ein Knoten einen Cluster mithilfe eines geplanten Herunterfahrens verlässt, sendet er an alle anderen Mitglieder des Clusters die Nachricht **ClusterExit**, um diese über das Verlassen zu informieren. Der Knoten wartet nicht auf Antworten und fährt unmittelbar mit dem Herunterfahren von Ressourcen und Schließen aller Clusterverbindungen fort. Da die verbleibenden Knoten die erwähnte Nachricht erhalten haben, starten sie nicht denselben Neugruppierungsvorgang zum erneuten Einrichten der Clustermittglieder, der erfolgt, wenn ein Knoten unerwartet ausfällt oder die Netzwerkkommunikation unterbrochen wird.

Künftige Weiterentwicklungen

Bei der künftigen Weiterentwicklung der Windows-Produkte liegt der Schwerpunkt beim Clusterdienst auf den folgenden Bereichen:

- Zertifizierung und Unterstützung noch größerer Clusterkonfigurationen mit noch mehr Knoten.
- Einfachere Installation und Überprüfung von Clusterkonfigurationen, einschließlich der Unterstützung neuer Hardwaretypen.
- Einfachere, leistungsfähigere Verwaltung von auf Clustern basierenden Anwendungen und Diensten mit fortgesetztem Schwerpunkt auf einer Skripts unterstützenden, entfernten und unbeaufsichtigten Verwaltung.
- Ausdehnung der auf Clustern basierenden Verfügbarkeits- und Skalierbarkeitsvorteile auf noch mehr Systemdienste.
- Stärkere Integration der Infrastruktur und Schnittstellen aller auf Windows basierenden Clustertechnologien zur Verbesserung der Leistung, Flexibilität und Verwaltung.
- Fortgesetzte Unterstützung unabhängiger Softwarehersteller und Entwickler zur Vereinfachung von Entwicklung, Installation und Unterstützung clusterfähiger Anwendungen, um Verfügbarkeit und Skalierbarkeit zu erhöhen.

Weitere Informationen

Bücher

Windows NT Microsoft Cluster Server von Richard R. Lee, Osborne McGraw-Hill, 1999.

In Search of Clusters von Gregory F. Pfister, Prentice-Hall, 1998.

Windows NT Cluster Server Guidebook von David Libertone, Prentice Hall, 1998.

Windows NT Backup & Recovery von John McMains and Bob Chronister, Osborne McGraw-Hill, 1998.

Windows NT Clustering Blueprints von Mark A. Sportack, SAMS Publishing, 1997.

Abonnements

Microsoft TechNet (Tel.: 800-344-2121, Durchwahl 3118, 06:30 Uhr bis 17:30 P.M. (Pazifische Zeit) oder siehe:

<http://www.microsoft.com/technet/subscription/about.asp> (englischsprachig))

Websites

Auch auf der Microsoft-Website sind weitere Informationen zu den Windows-Clustertechnologien zu finden.

Weitere Informationen zur Windows 2000 Server-Produktfamilie finden Sie unter:

<http://www.microsoft.com/Windows/server/> (englischsprachig)

Weitere Informationen zu Windows NT Server 4.0 Enterprise Edition finden Sie unter:

<http://www.microsoft.com/ntserver/ntserverenterprise/> (englischsprachig)

Weitere Informationen zu Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Windows NT Server finden Sie unter:

<http://www.microsoft.com/ntserver/ntserverenterprise/exec/overview/reliabilitypv.asp> (englischsprachig)

Dokumentationen zur Architektur der Windows-Basisdienste, einschließlich der Windows-Clustertechnologien, finden Sie unter *Base Services* im Platform Software Development Kit (SDK):

<http://msdn.microsoft.com/library/default.htm> (englischsprachig)

- oder in-

MSDN Online: Platform SDK Components for Windows Base Services Developers

<http://msdn.microsoft.com/developer/sdk/winbase.asp> (englischsprachig)

Weitere Informationen zu den Windows-Clustertechnologien finden Sie unter:

<http://www.microsoft.com/ntserver/ntserverenterprise/exec/overview/clustering/default.asp>

Eine Liste clusterfähiger Produkte von Microsoft-Partnern finden Sie unter:

<http://www.microsoft.com/ntserver/ntserverenterprise/exec/overview/Clustering/partnerlist.asp> (englischsprachig)

Microsoft TechNet: High Availability-Artikel zum Verwenden des Clusterdienstes finden Sie unter:

<http://www.microsoft.com/technet/avail/> (englischsprachig)