



VMware speelt in op trend naar cloud computing

# Softwareleveranciers adopteren massaal vSphere 4

Onlangs heeft VMware de nieuwste versie van de ESX Server architectuur uitgebracht, VMware vSphere 4 genaamd. Een van de meest in het oog springende features is de geavanceerde vStorage Thin Provisioning-faciliteit.

De hedendaagse virtuele omgeving wordt gekenmerkt door de virtualisatie van cpu's en geheugen die dynamisch over Virtual Machines (VMs) kan worden verdeeld. Daarnaast zien we steeds vaker dat in de virtuele omgeving andere systeemcomponenten, waaronder storage en netwerken, worden gevirtualiseerd. Tegelijkertijd zijn softwareleveranciers van virtualisatieproducten bezig met de integratie van storage en netwerken binnen hun virtuele producten. Naast deze virtuele integratietendens wordt door steeds meer softwareleveranciers ingespeeld op de huidige cloud computing-golf door hun virtualisatieproducten te voorzien van het trendy label 'cloud computing'. Ook de grootste speler op de virtualisatiemarkt, VMware, pretendeert met de introductie van VMware vSphere 4 'het beste platform te hebben ontworpen voor het bouwen van een cloud-infrastructuur'. Dit voorjaar bracht VMware de nieuwste versie van de ESX Server architectuur uit, VMware vSphere 4 genaamd. Tegelijkertijd met deze annoncering is een nieuwe versie van de hypervisor, ESX 4.0 Server en gebruikers-interface voor vCenter geïntroduceerd. VMware heeft talrijke nieuwe voorzieningen voor het beheer van de storageomgeving aangebracht, die onder meer de bezettingsgraad van disken moet verbeteren. Ook

worden betere beheermogelijkheden van opslagbronnen en meer opties voor opslag-protocollen en het virtual disk format geboden. In dit artikel bespreken we in detail alle nieuwe aangebrachte wijzigingen op het gebied van vSphere Storage.

## Efficiënt gebruik van opslag

Een van de grootste uitdagingen van IT-managers is het verhogen van de bezettingsgraad van opslagsystemen. Een methode om deze zogenoemde storage disk utilization rate te verbeteren is de toepassing van thin provisioning binnen storage arrays. De efficiency van opslagsystemen is onder meer te vergroten door de cpu overhead terug te dringen, die het gevolg is van de I/O-activiteiten tussen de server en het opslagsysteem. Los van de toepassing van thin provisioning op storage array-niveau, biedt vSphere de mogelijkheid van thin provisioning op virtueel diskniveau tijdens de migratie van VMs. Bij de allocatie van een virtuele disk wordt in eerste instantie slechts 1MB toegewezen aan de datastore (zie kader). Naarmate de 1MB opslagruimte zich vult, kunnen gedeelten van 1MB automatisch aan de datastore worden toegevoegd. De VMware vStorage Thin Provisioning feature werkt op het Virtual Machine Disk (VMDK)-niveau, waarbij een VMDK-

bestand als een 'thick' of 'thin' kan worden gallocceerd. Let wel, virtual disk provisioning moet niet worden verward met dezelfde fysieke thin provisioning die mogelijk ondersteund wordt door de leverancier van een storage array. Het verschil tussen beide thin provisioning-systemen is dat VMware Thin Provisioning zich op virtual machine disk file niveau afspeelt en bij een storage array op disk block-level niveau. Dat betekent echter niet dat beide thin provisioning-systemen niet in combinatie kunnen worden gebruikt. Naast de besparing aan diskruimte voor nieuwe virtuele disks, kunnen bestaande virtuele disks in vSphere via thin provisioning van thick naar thin format worden getransformeerd, waarbij volgens VMware besparingen tot 40 procent aan diskruimte mogelijk zijn. Thin provisioning is binnen VMware vCenter Server geïntegreerd en wordt ondersteund met reports en threshold-instellingen voor het proactief beheer en groei van de opslagruimte. Een van de gevaren bij de toepassing van thin provisioning in het algemeen is oversubscription. Als toepassing van thin provisioning binnen een vSphere-omgeving tot oversubscription leidt, is met behulp van VMware Storage VMotion en de dynamische migratie van VMDKs dit probleem op te lossen. Dit gebeurt met behulp van VMFS Volume Grow, wat voorziet in de mogelijkheid om dynamisch de grootte van de datastore aan te passen.

## Dynamische expansie

VMFS Volume Grow biedt een nieuwe manier om de grootte van een datastore op een VMFS volume te vergroten. Het com-



Figuur 1: VMware storage-architectuur (bron: VMware)

plementeert de dynamische LUN uitbreidingsfaciliteit, die de meeste van de huidige storage array's vandaag de dag wel ondersteunen. Na vergroting van een LUN kan VMFS Volume Grow ook daarna de grootte van het VMFS volume dynamisch aanpassen. Vóór de komst van vSphere was de enige optie om een bestaand VMFS volume te vergroten door een nieuwe LUN, via de zogenoemde spanning-methode, daaraan toe te voegen. Zelfs in geval van een LUN-vergroting waarop zich een VMFS volume bevond, moest via de command line een aparte diskpartitie worden gecreëerd en vervolgens aan het VMFS volume worden toegevoegd. Bij VMFS Volume Grow is het vergroten van het VMFS volume nu geïntegreerd binnen de vCenter GUI en kan via het VMFS Volume 'properties' worden uitgevoerd. Aangenomen dat er zich genoeg capaciteit op een bestaande extent aanwezig is, kan een VMFS volume dynamisch tot 2TB per LUN worden uitgebreid. Voor VMFS volumes die uit meerdere extents bestaan kan VMFS Volume Grow worden gebruikt om elk van deze extents tot 2TB te vergroten. Een datastore op basis van het

VMFS format kan dus worden uitgebreid door een hard disk-partitie als een extent toe te voegen. In het algemeen kan een volume uit maximaal 32 fysieke storage extents bestaan. Nieuwe extents kunnen dynamisch aan de datastore worden toegevoegd tijdens de creatie van een nieuwe VM op de datastore, of wanneer VMs binnen de datastore om meer opslagcapaciteit vragen.

## VSPHERE 4 REDUCEERT MIGRATIETIJD MET MAXIMAAL 75 PROCENT

### Vernieuwde Storage VMotion

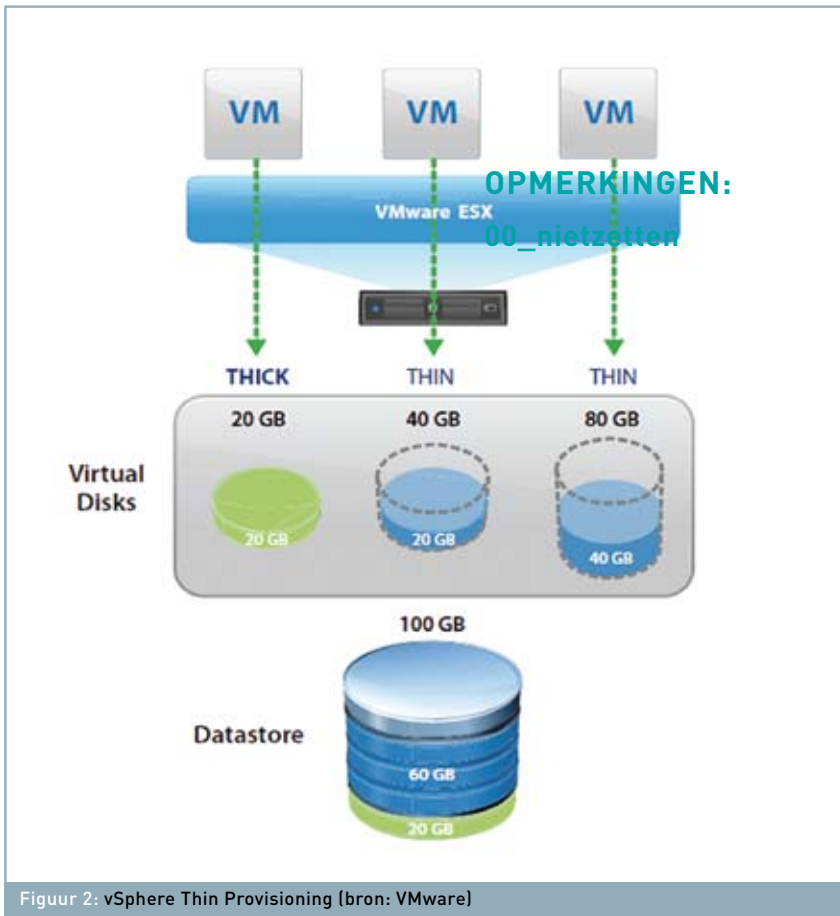
Storage VMotion bij de vorige ESX 3.5 release kende een aantal beperkingen, die nu in vSphere 4 zijn weggenomen. Zo is Storage VMotion binnen vCenter geïntegreerd en ondersteunt het de volledige migratie tussen datastores waarbij gekozen kan worden uit diverse opslagprotocollen. Ten eerste, de mogelijkheid om een VM te verhuizen van de ene naar de andere

datastore met wisseling van het storage protocol, waarbij de source- en target datastore gebaseerd mogen zijn op FC, iSCSI of NFS (alleen versie 3). Tevens kan de beheerder er voor kiezen om van thick naar thin virtual disk format of vice versa over te gaan tijdens de migratie van een VM met Storage VMotion. Verder is een aantal verbeteringen aangebracht om het migratieproces efficiënter te laten verlopen, evenals de vorige eis van ESX 3.5 om tweemaal zoveel cpu en geheugen te moeten hebben voor de migratie van een VM. VMware beweert dat de migratietijd met versie 4 maximaal met 75 procent kan worden gereduceerd. Storage VMotion maakt nu ook van een efficiënter block copy-mechanisme gebruik, Changed Block Tracking genaamd. Deze zet de VM slechts in enkele iteraties over naar de nieuwe datastore, in plaats van de virtual disk snapshot gebruikte methode in ESX 3.5. De hoeveelheid gebruikte cpu-cycles en geheugen worden, alweer volgens VMware, met een factor twee verlaagd. In een door Storage Magazine uitgevoerde test bleek inderdaad dat VMs zonder problemen van de ene datastore naar de andere konden worden verhuisd, tegelijkertijd met de verhuizing naar een andere ESX Server. Hoewel niet exact gemeten, lijkt de verhuizing op het eerste gezicht aanmerkelijk sneller te gaan dan onder versie 3.5.

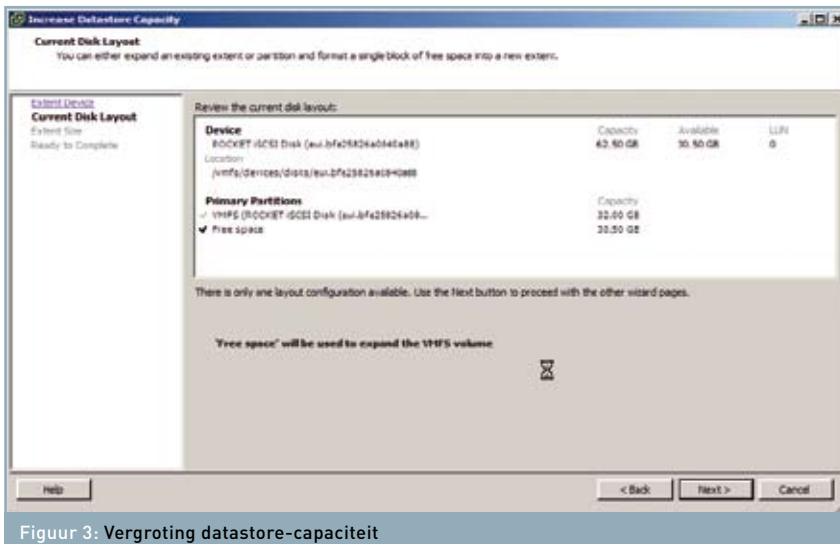
### Ondersteuning van iSCSI

VMware heeft met vSphere 4 belangrijke verbeteringen ten aanzien van de prestaties van het iSCSI stack voor zowel software iSCSI (dat wil zeggen, de iSCSI initiator die op de ESX laag draait) en hardware iSCSI (waarbij ESX van een hardware-geoptimaliseerde iSCSI HBA gebruikmaakt) aangebracht. Deze veranderingen moeten volgens VMware een 'dramatische verbetering' in zowel prestaties als functionaliteit van software- en hardware iSCSI te zien geven.

Alweer volgens eigen zeggen: "dit kan leiden tot een verbetering van de iSCSI stack efficiency met als resultaat een afname van 7-26 procent van de cpu-belasting tijdens het lezen en 18-52 procent bij het schrijven." In een eerste door Storage Magazine snel uitgevoerde iSCSI-test via een 10GbE netwerk op basis van Iometer bleek inderdaad dat de cpu-belasting bij random- en sequentiële I/O onder verschillende



Figuur 2: vSphere Thin Provisioning (bron: VMware)



Figuur 3: Vergroting datastore-capaciteit

blocklengtes gemiddeld met 15 procent afnamen. Bij random I/O's was nauwelijks sprake van een toename, waar wél de hoop op was gevestigd. Sequentieel werd gemiddeld wel een toename van 10 procent gemeten. Verder ondersteunt vSphere 4 Jumbo Frames op zowel NFS en iSCSI storageprotocollen op zowel 1GbE als 10GbE NICs. In theorie een nuttige uitbreiding, maar tot op heden wordt in de praktijk, afgezien van bepaalde toepassingen, daarbij nog maar

weinig prestatieverbetering geconstateerd. De uitvoering van asynchrone I/O's is altijd een punt van zorg geweest binnen de ESX-omgeving. vSphere 4 belooft een verbetering bij gelijktijdig gebruik van het storage stack met een I/O mode die vCPUs op de guest OS in staat stelt om andere taken uit te kunnen voeren. In een begin dit jaar uitgevoerde eerste test met Oracle DB OLTP werd een verbetering in de prestatie met 5 procent geconstateerd. Dat is natuurlijk

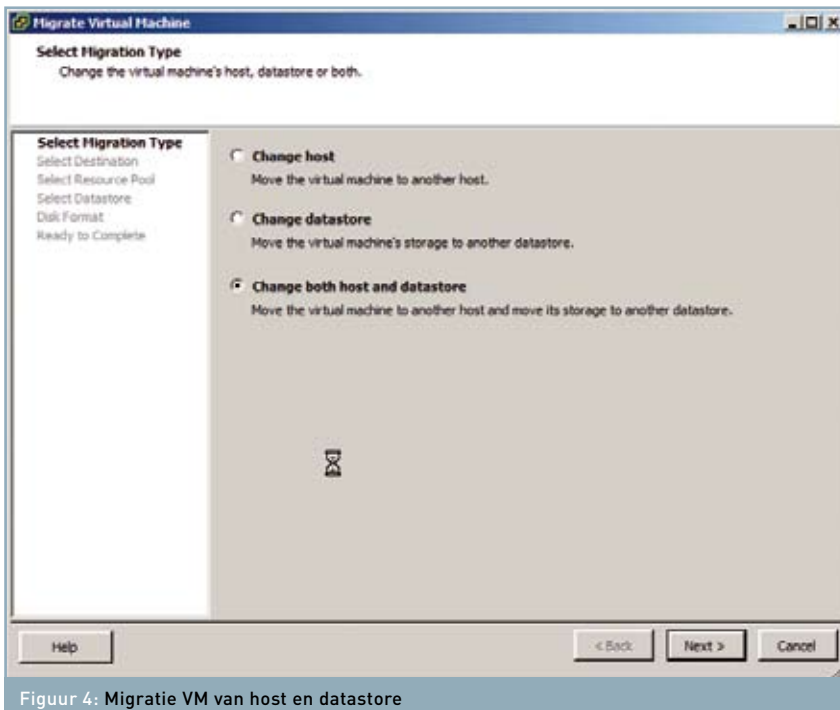
niet zo spectaculair, maar toegegeven, het is een begin.

### VMware Paravirtualized SCSI

In de vorige ESX Server-versies waren de geëmuleerde versies van de hardware Bus-Logic en LSI Logic HBA's de enig beschikbare keuzes. Het voordeel van het gebruik van deze full virtualized HBA's was dat de meeste guest OSes wel drivers voor beide HBAs ondersteunen. Het gebruik daarvan sloot echter de mogelijkheid tot prestatieoptimalisatie in een virtuele omgeving uit. Om dit tekort op te heffen, biedt ESX 4.0 het gebruik van een nieuwe virtuele storage adapter, de 'Paravirtualized SCSI' (PVSCSI) adapter. PVSCSI adapters zijn hoogpresterende storageadapters die een hogere doorvoer en lagere cpu-belasting voor VMs bieden. Ze zijn het meest geschikt voor omgevingen waarbij guest applications een zeer hoge I/O-belasting genereren. Het gebruik van een PVSCSI-adapter draagt verder bij aan de prestatieverbetering van het storage stack, naast de al van vorige ESX versies bekende paravirtual devices, waaronder de netwerk adapter VMXNET. PVSCSI-emulatie verbetert de efficiency door ver-

## GRAAG HIER NOG EEN STREAMER STREAMER STREAMER STREAMER STREAMER

mindering van het aantal virtuele interwrrupts, bundeling bij de verwerking van I/O requests en de afhandeling van I/O interrupts. Verder wordt het aantal context switches tussen de guest en de VM monitor gereduceerd. Volgens een white paper van VMware zijn met software iSCSI een efficiencyverbetering van 20 procent en bij Fibre Channel tot 40 procent efficiencyverbetering met PVSCI te behalen. PVSCSI zijn niet geschikt voor DAS-omgevingen. VMware beveelt als primaire adapter voor de boot disk de full virtualized HBA aan (default is LSI Logic). Daarnaast een aparte PVSCSI-adapter voor de disk waarop bijvoorbeeld een database staat. Er zijn PVSCSI-adapters voor de volgende OSes beschikbaar (voor VMs die minimaal op hardware versie 7 draaien): Windows Server 2003/2008 en RedHat Linux (RHEL5). Boot disks, record/replay, fault tolerance en MSCS Clustering worden echter niet ondersteund.



Figuur 4: Migratie VM van host en datastore

### VMDirectPath I/O for Storage

Nieuw is ook de VMDirectPath I/O device. Deze handelt de werkbelasting, die een constante en frequente toegang tot I/O devices vraagt, sneller af en verbetert daarmee de cpu-efficiency. Het biedt een VM directe toegang tot de onderliggende hardware devices, waarmee een HBA direct aan een enkele VM kan worden gekoppeld, zodat de HBA dan niet langer de toegang tot devices hoeft te delen met andere VMs. Andere virtualization features (waaronder VMotion), hardware-onafhankelijke en deling van fysieke I/O devices zijn dan niet meer beschikbaar voor VMs die van VMDirectPath I/O gebruikmaken. VMDirectPath I/O wordt 'experimentally' ondersteund voor de volgende storage I/O devices: QLogic QLA25xxx 8 Gb en Emulex Lpe12000 8Gb Fibre Channel adapters en LSI 3442e-R en 3801e 3 Gb SAS adapters.

### Pluggable Storage Architecture (PSA)

De in vSphere geïntroduceerde PSA biedt third party storageleveranciers de mogelijkheid om een plug-in te ontwikkelen voor het gebruik van multi-path functionaliteit in hun storageproducten in combinatie met vSphere. Dergelijke plug-in modules communiceren met de storage array bij de selectie van het juiste data path en in het gebruik van parallelle toegangspaden om daarmee de storage array optimaal te laten presteren. Default wordt van de VMware Native Multipath Driver (NMP) gebruikgemaakt, die ook round-robin multi-pathing onder-

## DE SYSTEEMBEHEERDER GAAT ER MET DEZE RELEASE OOK OP VOORUIT

steunt. Indien er een plug-in beschikbaar is, kan het module worden gebruikt voor het beheer van de verbinding tussen de ESX Server en het storagestelsel. De basisversie van deze pluggable storage modules biedt Path Selection Plug-in (PSP) voor een optimale data path-selectie, waarmee een hoge beschikbaarheid en betrouwbaarheid wordt

bereikt. Storageleveranciers kunnen met behulp van de meer geavanceerde Storage Array Type Plug-in (SATP) het I/O verkeer via meerdere toegangskanaal bundelen, met als doel het bereiken van een optimale I/O load balancing en hoge beschikbaarheid. Deze pluggable storagearchitectuur wordt door middel van speciale vStorage API's for multi-pathing geïmplementeerd. Daarnaast zijn er API's voor data protection die samenwerken met VMware's standaard Consolidated Backup (CBDP). Net zoals CBDP bieden deze API's de mogelijkheid om de als gevolg van een back-upprocedure veroorzaakte extra processingbelasting de ESX Servers meer te ontlasten. De API's stellen back-up tools in staat deze rechtstreeks met de ESX Server te koppelen en de VMs die daarop draaien. Daarvoor is geen installatie nodig van additionele software. Met behulp van deze API's kunnen back-up tools efficiënter een incrementele, differentiële en full-image back-up en restore van een VM uitvoeren.

### Storage management

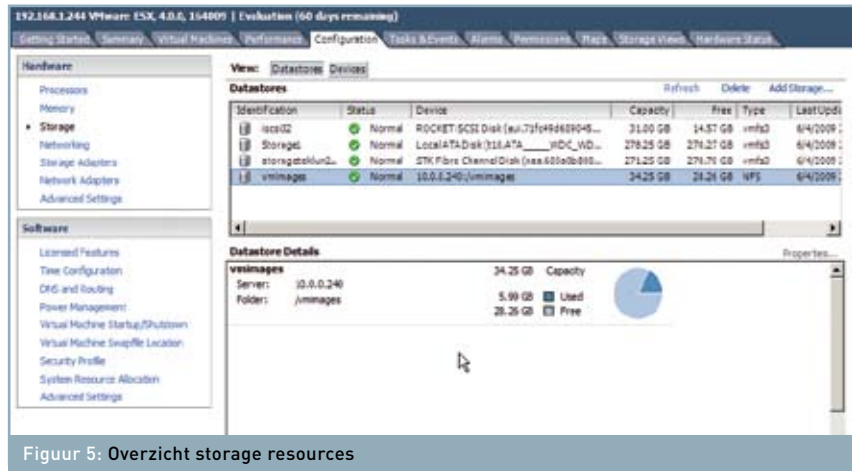
Het aantal storage resources is bij groot-schalige toepassingen in virtuele omgevingen aanmerkelijk toegenomen. Er is dan ook een grote behoefte aan een geautomatiseerde tool en beheer van deze virtuele resources. Met de komst van vSphere is de vCenter beheeromgeving verbeterd en aangevuld met verschillende nieuwe storage specifieke voorzieningen. Daarmee krijgt de beheerder een betere controle over de virtuele storageomgeving. Zo zijn onder meer de proactieve alerts en alarmmeldingen verbeterd. Dit geldt eveneens voor de instelling van quotas op basis van datastores op basis van een VM. In vSphere wordt een datastore als een object binnen vCenter

(Advertentie)

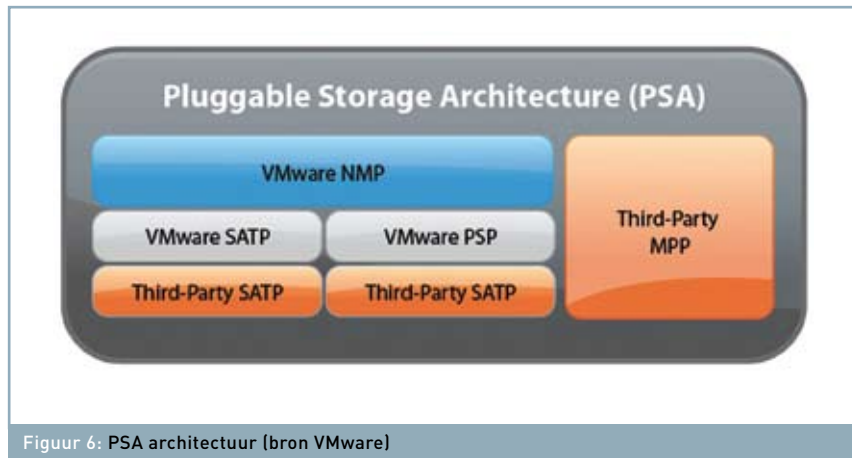
gezien en verschaft de beheerder, in de vorm van een storage lay-out, een gedetailleerd inzicht van alle betrokken componenten. De nieuwe storagetopologiekaarten bieden de beheerder de juiste sleutelinformatie over de beschikbare datapaden en de groepering van objecten die van deze storage resources gebruikmaken. Omdat elke VM en ESX Server nu zijn eigen storage menutab heeft, kan een beheerder snel vaststellen welke storage resources aan welke objecten zijn gekoppeld. Nieuwe storage-prestatiegrafieken bieden de beheerder de mogelijkheid om op basis daarvan allerlei waarschuwingen en alarmmeldingen voor een VM, ESX of datastore-object in te stellen.

### Conclusie

Een belangrijke vernieuwing binnen vSphere op het gebied van storage, is ongetwijfeld de geavanceerde virtuele storage thin provisioning-faciliteit. Niet dat thin provisioning een nieuwe technologie is binnen de wereld van de storage arrays, maar de toepassing als zodanig is dat wel binnen de virtuele storageomgeving. Onafhankelijk van de toegepaste fysieke storage array kan de beheerder met vSphere nu van thin provisioning gebruikmaken. Verder kunnen tijdens het overzetten van VMs ook van type storage worden gewisseld, naar een iSCSI of FC SAN, of NFS v3. Volume. Daarbij kan tevens worden gekozen voor de omzetting naar thick of thin format (behalve NFS). Niet alleen nieuw te creëren virtuele disken zijn in thin format op te slaan, maar ook de al langer bestaande thick disken kunnen naderhand nu ook naar thin format worden geconverteerd. Het is duidelijk dat in een bestaande VMware-omgeving dit tot aanmerkelijke kostenbesparingen op storagecapaciteit kan leiden. De systeembeheerder gaat er met deze release ook op vooruit, want eindelijk hoort het ergerlijke lange wachten, en soms crashen met de vorige 3.x GUIs, tot het verleden. Niet alleen vanwege het gebrek aan bepaalde



Figuur 5: Overzicht storage resources



Figuur 6: PSA architectuur (bron VMware)

## VMWARE ZET WEER BELANGRIJKE STAP OP DE WEG NAAR VOLLEDIGE VIRTUALISATIE VAN HET DATACENTER

beheerfunctionaliteit is er niet voor niets een wildgroei aan third party tools en hulpmiddelen voor de VMware-omgeving ontstaan. vSphere maakt met de nieuwe storage lay-out menu's ook de storagearchitectuur van de virtuele omgeving inzichtelijker.

Met de release van vSphere heeft VMware weer een belangrijke stap gezet op de weg naar volledige virtualisatie van het datacenter. Het is nu weer de beurt aan de concurrentie om aan te haken en bij te blijven. De afstand tussen VMware en de naaste concurrentie was immers al aanzienlijk, maar is met de komst van vSphere 4.0 nog eens met een factor x vergroot. ■

### Datastores

Op basis van de volgende formule is in de onderstaande tabel de voorspelbare wear out van Datastores zijn logische containers, analoog aan file systems, die de specifieke eigenschappen van een storage device verbergen en een uniform model bieden voor de opslag van VM-bestanden. Datastores kunnen worden gebruikt voor de opslag van iso-bestanden, VM templates en floppy images en zijn gebaseerd op VMware's Virtual Machine File Systems (VMFS) format, een speciaal high performance file system format dat geoptimaliseerd is voor de opslag van VMs. VMFS is in feite een cluster file system en ondersteunt dan ook gedistribueerde file locking, waardoor meerdere VMs veilig in een SAN kunnen draaien en meerdere ESX/ESXi host via een iSCSI of FC SAN een stel LUNs kunnen delen (zogenoemde shared storage).

BRAM DONS IS ONAFHANKELIJK IT-ANALIST;  
INFO@IT-TRENDWATCH.NL



# Houdini

Terwijl politici en burgers zich opmaken voor een aantal magere jaren, durft het bedrijfsleven voorzichtig weer aan investeren te denken. Ondanks lagere omzetten is de datagroei onverminderd doorgegaan. Gaan we binnenkort weer storage bijbestellen, of heeft de investeringsstop ons tijd gegeven om na te denken? De ontwikkelingen in techniek en aanbod hebben ondertussen niet stilgestaan. De opslagcapaciteit van disk drives neemt exponentieel toe. De groei van de hoeveelheid data maakt dat de access-dichtheid steeds verder afneemt. Voor veel organisaties is dat nu gedaald tot het niveau van 500 GB 7200 rpm drives. Voor het SAN is back-up de zwaarste applicatie geworden. De datagroei bestaat voor een flink deel uit write-only data, bestanden die worden opgeslagen en zelden of nooit worden gelezen. Daardoor groeit wel de omvang, maar niet het gebruik van de opslagsystemen. De IOPS-behoefte daalt ook door de overgang naar 64-bits besturingssystemen die veel meer intern geheugen aankunnen. Neem Microsoft Exchange. De 32-bits 2003-versie genereerde ongeveer één IO per seconde (IOPS) per gebruiker. Microsoft claimt dat de nieuwe 2010-versie nog maar 0,2 IOPS per gebruiker zal vragen en daardoor genoeg neemt met lokale SATA disks. Terug naar DAS? Dat zou een ware contrarevolutie zijn. Weg met SAN en NAS? Zo ver is het nog niet, maar er zit meer in dan je op het eerste gezicht zou denken. SANs brachten twintig jaar geleden de oplossing voor enkele nijpende problemen. Ze boden een fysieke ruimte voor grote aantallen schijven. Parallelgebruik van drives (RAID) zorgde voor hoge prestaties. En door het centraliseren van opslagcapaciteit verbeterde het nuttig gebruik. Twintig jaar later is er veel veranderd. De servers uit die tijd hadden bij lange na niet de IO-capaciteit om zelf als storage controller op te kunnen treden. Nu zijn er steeds meer storagefabrikanten, zoals HP en IBM, die standaard serverhardware gebruiken. Sommigen zien zelfs af van intelligente controllers en laten al het werk door een paar multicore cpu's van Intel of AMD uitvoeren. Met SAS (Serial Attached SCSI) beschikken ze over een krachtig en goedkoop back-end netwerk, zodat er honderden drives aan een server kunnen worden gekoppeld. De eerste kandidaat voor DAS is waarschijnlijk de database server. Dat blijft een applicatie die zeer veel IOPS genereert. De datagroei is echter beperkt en de omvang bescheiden: een terabyte is voor veel organisaties genoeg om alle actieve databases op te slaan. Daarom kiezen we voor Solid State Disks (SSD). Ze zijn per gigabyte nogal prijzig, maar door de beperkte omvang hebben we aan een paar duizend euro per database server genoeg. Als we die SSD's direct aan de server koppelen,

besparen we ons de vertraging van het SAN. Tot voor kort viel die vertraging in het niet bij de toegangstijd van de disks, maar SSD's leveren hun antwoord vijftig maal sneller. SSD's in de server laten de databases vliegen, met als gevolg blijde gebruikers. Al eens een virtueel SAN gezien? Ik bedoel niet een SAN dat virtuele LUNs of volumes levert, maar een SAN dat zelf als virtuele server op een hypervisor draait. Let op, want is een beetje een Houdini-act. Men neme een hardwareserver met de gebruikelijke interne RAID1-set. Daarop installeren we onze favoriete hypervisor, naar keuze van Citrix (Xen), Microsoft of VMware. Vervolgens maken we op de

## BACK-UP IS ZWAARSTE APPLICATIE GEWORDEN

lokale disk één virtuele server aan met het image van een storage appliance. Deze praat waarschijnlijk iSCSI, CIFS en NFS. Aan deze virtuele server koppelen we een flink doos externe disk drives, als JBOD of achter een RAID controller. Tenslotte biedt de virtuele storage server via iSCSI of NFS opslagruimte aan de hypervisor, die daarop alle andere virtuele servers installeert. Die servers krijgen op hun beurt ook weer opslagruimte van de storage appliance. Maar wat als die server uit valt? Database servers zijn best in staat om zelf voor dataveiligheid en continuïteit te zorgen. Ze kunnen in tandem draaien, waarbij de hot-standby alle transacties van de master naspeelt. Ze kunnen snapshots en intelligente back-ups maken. Twee database servers, op twee locaties met een snelle netwerkkoppeling, kunnen zo voor prima redundantie zorgen. Dat geldt ook voor fileservers, mailservers en hypervisors, eventueel geholpen door de snapshot- en replicatiefuncties van de virtuele storage appliance. Steeds vaker gaat het om software die onderdeel is van de applicatie zelf, zodat we ons minder zorgen hoeven te maken over de samenwerking tussen twee producten. Dataveiligheid wordt standaardfunctionaliteit. Daarmee zal de kwaliteit flink omhoog gaan, terwijl de kosten drastische omlaag gaan. Eindelijk krijgen we bij onze nieuwe auto ook de remmen meegeleverd! ■

ERNST LOPES CARDOZO IS PRINCIPAL CONSULTANT, ARANEA CONSULT,  
(E.LOPES.CARDOZO@ARANEA.NL)