edv-buchversand.de

Proxmox VE

Das umfassende Handbuch

» Hier geht's direkt zum Buch

DAS INHALTS-VERZEICHNIS

Dieses Inhaltsverzeichnis wird Ihnen von www.edv-buchversand.de zur Verfügung gestellt.

Inhalt

1 Was ist Proxmox? 21

1.1 Einführung in Proxmox VE: Features 21

1.2 Open Source 24

1.3 Development – selbst etwas zu Proxmox VE beitragen oder selbst entwickeln 25

1.4 Die Proxmox-VE-Dokumentation verbessern 26

1.5 Vorteile mit Proxmox VE 27

1.5.1 Kostenvorteile 27
1.5.2 Einfachere Lizenzierung 27
1.5.3 Vermeiden eines Vendor-Lock-ins 27
1.5.4 Einfache Administration 28

1.6 Hilfe erhalten 28

1.7 Projekthistorie 28

1.8 Was Sie schon wissen sollten und was Sie lernen werden 31

1.8.1 Was Sie schon wissen sollten 31
1.8.2 Was Sie lernen werden 32

2 Grundlagen der Virtualisierung 33

2.1 Vorteile durch den Einsatz von Virtualisierung 34

2.2 Was Sie auf einem einzelnen Proxmox-VE-Server tun können 35

2.3 Was Sie auf mehreren Proxmox-VE-Servern tun können 36

3 Architektur und Hardware 37

3.1 Architektur 37

3.1.1 Die Basis: Debian Linux mit einem Custom-Kernel von Proxmox 37
3.1.2 Proxmox-VE-Services 38
3.1.3 Sonstige relevante Linux-Services 46

3.2 Hardware 54

3.2.1 CPU 55
3.2.2 RAM 55

3.2.3 RAID-Controller oder HBA ... 57
3.2.4 System-Disk ... 59
3.2.5 Daten-Disks für VMs und Container ... 59
3.2.6 Netzwerkkarten ... 60
3.2.7 Switches ... 62

4 Installation und Updates ... 65

4.1 Installation ... 65
4.1.1 Systemvoraussetzungen ... 66
4.1.2 Installation über den ISO-Installer von Proxmox VE ... 67
4.1.3 Installation von Proxmox VE auf Basis eines Debian Linux ... 83
4.1.4 Automatische Installation ... 88

4.2 Updates und Upgrades ... 92
4.2.1 Quellen für Updates ... 92
4.2.2 Proxmox-Repositories ... 92
4.2.3 Installation von Updates ... 95
4.2.4 Major-Upgrades ... 98
4.2.5 Major-Upgrade von Proxmox VE 8 auf 9 ... 99

4.3 Die Upgrade-Schritte im Detail ... 105
4.3.1 VMs und Container migrieren oder herunterfahren ... 105
4.3.2 Repository-Einträge anpassen ... 106
4.3.3 Paketlisten aktualisieren ... 108
4.3.4 Dist-Upgrade durchführen ... 108
4.3.5 Alte oder obsolet gewordene Pakete entfernen ... 110

4.4 Zusätzliche Schritte bei Cluster-Setups ... 110

4.5 Abschließende Arbeiten ... 110

5 Benutzerverwaltung und Rechtemanagement ... 111

5.1 Die grundlegende Funktionsweise der rollenbasierten Zugriffskontrolle ... 111
5.1.1 Benutzer ... 111
5.1.2 Tokens ... 112
5.1.3 Gruppen ... 113
5.1.4 Privilegien ... 113
5.1.5 Rollen ... 114
5.1.6 Objekte ... 115

5.1.7 Resource Pools ... 116
5.1.8 Vererbung ... 117
5.2 Kombination der Komponenten und Anwendungsbeispiele ... 118
5.2.1 Beispiel: Die Administration bestimmter VMs an Entwickler delegieren ... 118
5.2.2 Beispiel: Anwendern erlauben, ihre VMs selbst neu zu starten ... 121
5.3 Berechtigungen konfigurieren und administrieren ... 122
5.3.1 Authentifizierung und Domänen (Realms) ... 122
5.3.2 2FA – Zwei-Faktor-Authentifizierung ... 132

6 Die Firewall in Proxmox VE ... 135
6.1 Features ... 135
6.2 Vererbung von Regeln und Definitionen ... 136
6.3 Aliases und IPSets ... 138
6.4 Vordefinierte Ausnahmen im lokalen Netzwerk ... 139
6.5 Firewall-Regeln definieren ... 141
6.6 Automatisch gesetzte Firewall-Ausnahmen ... 143
6.7 Security Groups ... 144
6.8 Logging von Firewall-Verbindungen ... 144
6.9 Aktivierung der Firewall ... 145
6.10 Installation der proxmox-firewall ... 146
6.11 Beispiele für Firewall-Regeln ... 147

7 Backup und Restore mit dem integrierten vzdump ... 149
7.1 Überblick und Architektur ... 149
7.2 Features und Einschränkungen des integrierten vzdump-Backups ... 149
7.3 Live-Snapshots und VMA-Archive ... 150
7.4 Backup-Fleecing ... 153
7.5 Backup-Modus ... 155
7.6 Backup-Ziele, Dateiformate und Kompression ... 156
7.7 Retention (Haltezeiten) ... 158

7.8 Backups durchführen ... 159
7.8.1 Manuelle Backups (ad hoc) erzeugen ... 160
7.8.2 Geplante Backups mit Backup-Jobs ... 162
7.9 Wiederherstellung gesicherter VMs und Container ... 165
7.9.1 Restore eines Backups und Überschreiben der Original-VM/ des Original-Containers ... 165
7.9.2 Restore eines Backups auf eine neue VM oder einen neuen Container ... 166
7.9.3 Restore von KVM-VMs per CLI mit qmrestore ... 167
7.9.4 Restore von Containern per CLI mit pct restore ... 168
7.10 Backup-Voreinstellungen pro Node in /etc/vzdump.conf ... 168
7.11 Best Practices für vzdump-Backups ... 169

8 Administration der Nodes ... 173
8.1 CPU-Microcode-Updates ... 173
8.1.1 Einrichtung der Microcode-Firmware beim Bootvorgang ... 174
8.1.2 Prüfen der bekannten CPU-Sicherheitslücken und deren Mitigation ... 174
8.2 Disk-Management ... 175
8.2.1 SMART-Werte mit smartctl auslesen ... 176
8.2.2 SMART bei Verwendung von RAID-Controllern ... 178
8.2.3 NVME-Devices mit nvme-cli beobachten ... 178
8.3 Node-Management mit pvenode ... 180
8.4 Zertifikate in Proxmox VE ... 181
8.4.1 ACME-Protokoll für automatisierte Zertifikate ... 183
8.4.2 Einbinden von Proxmox in eine eigene Certificate Authority (CA) ... 187
8.5 Task-Logs auf den Nodes ... 188
8.5.1 Funktionsweise des Task-Logs ... 188
8.5.2 Anzeige und Nutzung der Task-Logs in der GUI ... 189
8.5.3 Task-Logs über die CLI anzeigen und filtern ... 190
8.6 Node-Bulk-Actions ... 191
8.6.1 Alle Gäste mit pvenode startall starten ... 191
8.6.2 Alle Gäste mit pvenode stopall stoppen ... 192
8.6.3 Alle Gäste migrieren mit pvenode migrateall ... 192
8.7 Nodes mit Wake on LAN starten ... 193

8.8 Optimierung und Best Practices ... 194
8.8.1 Das Swapping anpassen ... 194
8.8.2 Die Anzahl der Worker-Threads konfigurieren ... 195
8.9 Sicherheitshärtung eines Proxmox-VE-Servers ... 196
8.10 Speicherdeduplizierung mit Kernel Samepage Merging (KSM) ... 198
8.10.1 Die KSM-Konfiguration anpassen ... 199
8.10.2 Security-Aspekte von KSM ... 200
8.10.3 KSM deaktivieren ... 201

9 Netzwerkkonfiguration für Single-Server-Umgebungen ... 203
9.1 Networking-Support durch den Linux-Kernel ... 203
9.2 Netzwerkkonfiguration per GUI und /etc/network/interfaces ... 203
9.2.1 Konfiguration des Netzwerks in der GUI ... 204
9.2.2 Konfiguration mit einem Editor in der /etc/network/interfaces ... 205
9.2.3 Anwenden der neuen Konfiguration ... 205
9.3 Netzwerktypen in Proxmox VE ... 206
9.4 Networking mit Linux-Netzwerkkomponenten ... 206
9.4.1 Linux-Bridges ... 206
9.4.2 Linux-Bonds ... 209
9.4.3 Linux-VLAN ... 214
9.5 Networking mit dem Open vSwitch (OVS) ... 218
9.5.1 Wo Open vSwitch seine Stärken ausspielt ... 218
9.5.2 Einschränkungen durch Open vSwitch ... 218
9.5.3 Installation der Open-vSwitch-Pakete ... 219
9.5.4 Die Komponenten von Open vSwitch ... 220
9.5.5 Konfigurationsbeispiele ... 220
9.6 Networking mit dem Software Defined Networking (SDN) ... 223

10 Storage in Proxmox VE ... 225
10.1 Wie Proxmox Storage verwendet ... 225
10.2 File-Storage ... 225
10.3 Block-Storage ... 226

10.4 Storage-Typen ... 226
10.4.1 Standard-Storage-Plugins ... 226
10.4.2 Unterschiede und Entscheidungshilfen ... 228

10.5 Lokaler Storage für einzelne Server ... 229

10.6 Shared Storage für Cluster-Umgebungen ... 231
10.6.1 Zentralisierter Shared Storage: NFS, iSCSI und FibreChannel ... 232
10.6.2 Multipathing für iSCSI- und FC-Storages ... 242
10.6.3 Distributed Shared Storage: Hyperkonvergenz mit Ceph oder Gluster ... 249

10.7 Storage-Leistung messen und optimieren ... 251
10.7.1 Durchsatz (Throughput) ... 251
10.7.2 IOPS (Input/Output Operations Per Second) ... 252
10.7.3 Latenz (Latency) ... 253
10.7.4 Das Zusammenspiel der Kennzahlen ... 253
10.7.5 Performance testen ... 255

10.8 ZFS-Storage ... 261
10.8.1 ZFS-Grundlagen ... 261
10.8.2 Anforderungen für den Betrieb von ZFS ... 262
10.8.3 Administration ... 263
10.8.4 ZFS-Troubleshooting und Fehlerbehebung ... 271

11 Virtuelle Maschinen mit KVM ... 279

11.1 KVM als Hypervisor ... 279

11.2 QEMU als Basis und Management ... 280

11.3 VirtIO – paravirtualisierte Treiber für bessere Leistung ... 281
11.3.1 Die gängigsten VirtIO-Komponenten ... 281
11.3.2 VirtIO unter Linux ... 282
11.3.3 VirtIO unter Windows ... 282
11.3.4 VirtIO-Devices in sonstigen Betriebssystemen ... 282

11.4 QEMU Guest Agent ... 283
11.4.1 Vorteile durch den Einsatz des QEMU Guest Agents ... 283
11.4.2 Installation und Konfiguration ... 285
11.4.3 Den Guest Agent für eigene Zwecke nutzen ... 286

11.5 Eine virtuelle Maschine (KVM) anlegen ... 292
11.5.1 Allgemeine Einstellungen ... 293
11.5.2 Einstellungen zur Betriebssysteminstallation ... 295
11.5.3 Einstellungen zum System ... 296

11.5.4 Konfiguration virtueller Disks ... 301
11.5.5 Einstellungen zur virtuellen CPU ... 306
11.5.6 Extra CPU-Flags ... 312
11.5.7 Eigene CPU-Modelle definieren mit cpu-models.conf ... 314
11.5.8 RAM-Konfiguration und dynamisches Speichermanagement ... 316
11.5.9 Netzwerk ... 317
11.5.10 Bestätigung und Abschluss der Konfiguration ... 319

11.6 Arbeit mit virtuellen Maschinen (KVM) ... 320
11.6.1 Suspend und Hibernation ... 320
11.6.2 Per Kommandozeilen-Interface ... 321
11.6.3 Dynamisches Speichermanagement bei KVM-VMs (Memory Ballooning) ... 322
11.6.4 Folder-Sharing zwischen Hypervisor und Gast mit VirtIO-FS ... 323
11.6.5 Per Kommandozeilen-Interface ... 328

11.7 PCI- und USB-Geräte an VMs durchreichen ... 328
11.7.1 Anwendungsszenarien, Vor- und Nachteile ... 328
11.7.2 Mediated Devices ... 329
11.7.3 IOMMU als notwendige Grundlage ... 330
11.7.4 Resource-Mappings: Passthrough im Cluster und mit HA ... 336
11.7.5 Verwendung der Mappings in einer VM ... 341
11.7.6 Die Vorteile im Cluster-Betrieb ... 342

11.8 Grafikkarten in VMs verwenden ... 343
11.8.1 GPU mit PCI-(Express-)Passthrough ... 343
11.8.2 GPU als VirtIO-GPU einer VM bereitstellen ... 344
11.8.3 GPU als VirGL-GPU in Linux VMs ... 345
11.8.4 GPU als PCI-(Express-)Passthrough in einen LXC-Container ... 345

12 LXC-Container ... 347

12.1 Grundlagen der Container-Virtualisierung ... 347
12.1.1 Architektur und Isolationsmechanismen ... 348
12.1.2 Unprivilegierte und privilegierte Container ... 348
12.1.3 LXC im Vergleich mit Docker: System- gegen Anwendungsvirtualisierung ... 349

12.2 Das Proxmox Container Toolkit (PCT) ... 350

12.3 LXC-Images und Templates ... 350

12.4 Storage und Mount-Points in LXC-Containern ... 352
12.4.1 Das Root-Filesystem rootfs ... 352
12.4.2 Zusätzliche Mount-Points mp[n] ... 353
12.5 Erstellung und Konfiguration von Containern ... 354
12.5.1 Erstellung eines LXC-Containers über die GUI ... 354
12.5.2 Einen neuen LXC-Container per CLI erzeugen ... 366
12.6 Migration und Hochverfügbarkeit ... 367
12.6.1 Migration von Containern ... 368
12.7 Management eines LXC-Containers ... 368
12.7.1 Fernzugriff und Ausführung von Befehlen ... 368

13 Subscriptions ... 371
13.1 Grundlagen der Subscription ... 371
13.1.1 Unterschied zum lizenzbasierten Finanzierungsmodell ... 372
13.2 Subscription-Level ... 373
13.3 Wahl der passenden Subscription ... 374
13.3.1 Welche Support-Leistungen benötigen Sie? ... 374
13.3.2 Wie viele CPUs haben Ihre Server? ... 374
13.4 Die Anzahl und Level der Subscriptions bestimmen ... 375
13.4.1 Subscriptions für Single-Server-Umgebungen ... 375
13.4.2 Subscriptions für Cluster-Umgebungen ... 375
13.5 Subscription-Management ... 376
13.5.1 Subscription auf einem Server hinterlegen ... 376
13.5.2 Subscription eines Servers auslesen ... 377

14 Migration zu Proxmox VE ... 379
14.1 Planung der Migration ... 379
14.1.1 Bestandsaufnahme (Inventarisierung) ... 379
14.1.2 Storage- und Netzwerk-Analyse ... 380
14.1.3 Treiber für unterschiedliche Hypervisor-Umgebungen ... 380
14.2 Migrationspfade und Werkzeuge ... 382
14.2.1 Migration von VMware vSphere (ESXi) ... 382
14.2.2 Migration von Microsoft Hyper-V oder anderen Systemen ... 386

14.3 Nach der Migration: Die Pflichtschritte ... 389
14.3.1 Alte Gast-Tools entfernen ... 389
14.3.2 VirtIO-Treiber installieren ... 389
14.3.3 Hardware auf VirtIO umstellen ... 390
14.3.4 QEMU Guest Agent installieren und aktivieren ... 390
14.4 Weitere Migrationspfade ... 390

15 Cluster mit Proxmox VE ... 391
15.1 Einführung in den Cluster-Bau mit Proxmox VE ... 391
15.2 Das Proxmox Cluster File System pmxcfs ... 392
15.3 Cluster-Kommunikation mit der Corosync Cluster Engine ... 394
15.3.1 Dediziertes Netzwerk für Corosync ... 395
15.3.2 Redundanz mit mehreren Corosync-Links schaffen ... 396
15.3.3 Geringe Latenzen sicherstellen ... 396
15.3.4 Anforderungen an Bandbreite ... 396
15.4 Basics des Cluster-Baus: Das Quorum ... 397
15.5 GUI, CLI und Editoren als Werkzeuge ... 398
15.5.1 GUI ... 399
15.5.2 Kommandozeile (CLI): pvecm, der Proxmox VE Cluster Manager ... 399
15.5.3 Editoren ... 400
15.6 Best Practices ... 400
15.7 Erstellen eines Proxmox-VE-Clusters ... 402
15.7.1 Namensauflösung ... 402
15.7.2 Zeitabgleich mit NTP ... 404
15.7.3 Schritt 1: Erstellen des Clusters auf dem ersten Node ... 407
15.7.4 Schritt 2 (optional): Join-Informationen abrufen ... 411
15.7.5 Schritt 3: Weitere Nodes hinzufügen ... 412
15.8 Cluster-Administration in der Praxis ... 415
15.8.1 Einen Node sicher aus dem Cluster entfernen ... 415
15.9 Status des Clusters prüfen und monitoren ... 416
15.9.1 Der schnelle Cluster-Check mit pvecm status ... 416
15.9.2 Corosync-Netzwerke mit corosync-cfgtool prüfen ... 418
15.10 Das Problem mit 2-Node-Clustern und mögliche Lösungen ... 419
15.10.1 Manuelles Erzwingen eines Quorums in Notfallsituationen ... 419

15.10.2 Einen Cluster um ein Quorum-Device erweitern ... 420
15.10.3 Ein QDevice entfernen ... 422

15.11 Konkurrierende Aktionen durch Locks verhindern ... 423
15.11.1 Locking im Allgemeinen und unter Proxmox VE ... 423
15.11.2 Manuelles Entfernen von Locks (Unlock) ... 424

16 Migration im Live-Betrieb ... 425

16.1 Live-Migration von VMs und Containern ... 425
16.1.1 Funktionsweise und Unterschiede ... 425
16.1.2 Voraussetzungen für die Migration ... 426
16.1.3 Eine Migration durchführen ... 426

16.2 Storage-Migration ... 427
16.2.1 Funktionsweise der Storage-Migration bei QEMU/KVM-VMs ... 428

16.3 Live-Migration von VMs mit lokalen Disks ... 429

16.4 Automatische Optimierung: TRIM nach der Migration ... 430

16.5 Remote-Migration von VMs und Containern zu externen Proxmox-VE-Servern ... 431
16.5.1 Vorbereitung des Zielnodes ... 432
16.5.2 Remote-Migration auf dem Quellnode starten ... 433

16.6 Optimierungsmöglichkeiten für Enterprise-Umgebungen ... 433
16.6.1 Das dedizierte Migrationsnetzwerk ... 434
16.6.2 Secure oder Insecure Migration? ... 434
16.6.3 Bandbreitenlimitierung ... 435

17 Hyperkonvergenz mit Proxmox VE und Ceph ... 437

17.1 Was ist Ceph? ... 437
17.1.1 Features ... 437
17.1.2 Object-Storage, Block-Storage und Filesystem in einem ... 438
17.1.3 Unterschied zu SAN- und NAS-Systemen ... 439
17.1.4 Das Konzept der Hyperkonvergenz (HCI) ... 440
17.1.5 Die CRUSH-Map ... 442
17.1.6 Failure-Domains ... 444
17.1.7 Der CRUSH-Algorithmus ... 444

17.2 Architektur und Komponenten ... 445
17.2.1 Ceph-Daemons ... 445

17.2.2 Logische Einheiten ... 450
17.3 Voraussetzungen und Sizing eines Proxmox-VE-HCI-Clusters ... 454
17.3.1 Netzwerkanforderungen ... 455
17.3.2 Hardware-Sizing ... 459
17.4 Installation und Initialisierung ... 464
17.4.1 Installation der Ceph-Pakete ... 464
17.4.2 Erstellen der Monitore und Manager ... 469
17.4.3 Einrichten der OSDs ... 472
17.5 Konfiguration von Pools und Storage ... 477
17.5.1 Erstellen eines Ceph-Pools ... 478
17.5.2 Einbindung externer Ceph-Pools als RBD-Storage in Proxmox VE ... 481
17.6 CephFS – das verteilte Dateisystem ... 482
17.6.1 Einsatzszenarien ... 483
17.6.2 Einrichtung ... 483
17.7 Wartung und Betrieb ... 488
17.7.1 systemd-Daemons ... 488
17.7.2 Administration und Module des Managers ... 490
17.7.3 Verwendung der OSD Global Flags ... 491
17.7.4 Umgang mit Disk-Ausfällen ... 493
17.7.5 Cluster-Erweiterung ... 494
17.8 Monitoring und Troubleshooting ... 494
17.8.1 Die wichtigsten CLI-Befehle ... 495
17.8.2 Häufige Probleme und Lösungen ... 496
17.9 Best Practices: Scrubbing-Einstellungen anpassen ... 498

18 Asynchrone Replikation mit der Proxmox Storage Replication ... 499
18.1 Funktionsweise der Storage-Replikation ... 500
18.2 Failover-Szenarien beim Einsatz der Storage-Replikation ... 501
18.3 Voraussetzungen für die Storage-Replikation ... 502
18.4 Einrichten der Storage-Replikation ... 502
18.4.1 Lokalen ZFS-Storage konfigurieren ... 502
18.4.2 Replikationsjob anlegen ... 503
18.4.3 Überwachung und Verwaltung der Replikation ... 503
18.4.4 Best Practices und Optimierungen ... 504

19 Hochverfügbarkeit mit Proxmox-VE-Clustern 505

19.1 Was bedeutet HA in Proxmox VE? 505

19.2 Voraussetzungen für einen stabilen HA-Betrieb 507

19.2.1 Mehrere Server in einem Management-Cluster 507
19.2.2 Shared Storage wie Ceph, NFS, iSCSI/FC 507
19.2.3 Redundanz und 24/7-fähige Komponenten 508
19.2.4 Latenz-Anforderungen von Corosync 508
19.2.5 NTP muss funktionieren 508
19.2.6 Einsatz eines QDevice bei 2- oder 4-Node-Clustern 509

19.3 Der HA-Stack in Proxmox VE 509

19.3.1 Der Proxmox VE Cluster Resource Manager 509
19.3.2 Der Proxmox VE Local Resource Manager 510
19.3.3 Zusammenspiel des CRM mit den LRMs 511
19.3.4 Watchdog 511
19.3.5 Hardware-Watchdog statt Linux-Softdog verwenden 512

19.4 Basics des Cluster-Baus: Fencing – der Schutz vor Datenkorruption 513

19.4.1 Weshalb wird Fencing in einem HA-Cluster gebraucht? 513
19.4.2 Fencing sorgt für die Wahrung der Datenkonsistenz 514

19.5 Konfiguration und Praxis 515

19.5.1 HA-Management per GUI 516
19.5.2 Den HA-Manager per CLI nutzen 517
19.5.3 Regeln zur Node- und Ressourcenaffinität 518
19.5.4 Cluster Resource Scheduler (CRS) – intelligente Platzierung 520
19.5.5 Umgang mit geplanten Wartungsarbeiten 522

19.6 Einen HA-Cluster deaktivieren 523

20 Mit Hook-Skripten auf Events reagieren 525

20.1 Hook-Skripte in Backups 525

20.1.1 Hook-Events für Backups 526
20.1.2 Beispiel für ein einfaches Backup-Hook-Skript 529

20.2 Hook-Skripte in VMs und Containern 529

20.2.1 VM- und Container-Hook-Events 530
20.2.2 Beispiel für ein einfaches VM- bzw. Container-Hook-Skript 530

21 Templates und Clones ... 533

21.1 VM- und Container-Templates ... 533

21.2 Ein VM-Template vorbereiten und erzeugen ... 534

21.2.1 Autarkie mit Full Clones ... 534

21.2.2 Speicherplatzoptimierte Linked Clones ... 535

21.3 LXC-Appliances als Container-Templates ... 536

21.4 cloud-init für extern bereitgestellte Images ... 537

21.5 Proxmox-VE-Backups als Templates nutzen ... 538

22 Automatisierung mit der Proxmox-API ... 539

22.1 Der RESTful-Ansatz ... 540

22.1.1 Alles ist eine Ressource ... 540

22.1.2 Aktionen auslösen mit HTTP-Verben ... 540

22.1.3 Zustandslosigkeit (Statelessness) ... 541

22.1.4 Wege der Authentifizierung ... 541

22.1.5 Datenaustausch via JSON ... 542

22.2 Architektur und Komponenten ... 542

22.3 Authentifizierung ... 543

22.3.1 Ticket-basierte Authentifizierung ... 543

22.3.2 API-Tokens ... 545

22.4 Werkzeuge für den API-Zugriff ... 547

22.4.1 pvesh für eine lokale Nutzung der API ... 547

22.4.2 curl: API-Zugriff über ein Netzwerk ... 548

22.4.3 Client-Bibliotheken: Das Rad nicht neu erfinden ... 549

22.5 Arbeiten mit der API: Konzepte und Stolpersteine ... 549

22.5.1 Daten lesen mit GET ... 549

22.5.2 Aktionen ausführen mit POST, PUT und DELETE ... 550

22.5.3 Synchrone und asynchrone Tasks ... 550

22.5.4 Status einer UPID überwachen ... 551

23 Backups mit dem Proxmox Backup Server (PBS) ... 555

23.1 Einführung und Architektur ... 555

23.1.1 Warum vzdump nicht mehr ausreicht ... 555

23.1.2 Was der PBS besser macht ... 556
23.1.3 Kaskadierung mehrerer PBS ... 558

23.2 Planung und Installation ... 560
23.2.1 Installationsmethoden ... 560
23.2.2 Hardware-Anforderungen und -Sizing ... 562

23.3 Einrichtung und Konfiguration ... 564
23.3.1 Datastores verwalten ... 564
23.3.2 Benutzerverwaltung und Berechtigungen ... 565

23.4 Integration in Proxmox VE ... 568
23.4.1 Hinzufügen des PBS als Storage ... 568
23.4.2 Client-Side Encryption (Verschlüsselung) ... 570

23.5 Backup und Restore in der Praxis ... 570
23.5.1 Backup-Jobs in Proxmox VE ... 571
23.5.2 Wiederherstellung von Backups ... 571

23.6 Wartung und Pflege ... 572
23.6.1 Pruning – Entsorgung abgelaufener Backups ... 573
23.6.2 Garbage Collection ... 573
23.6.3 Verify-Jobs ... 575

23.7 Air-Gapped mit Offsite-Sync, Tape-Backup und S3-Anbindung ... 576
23.7.1 Remote-Sync – der digitale Bunker ... 576
23.7.2 Tape-Backup ... 576

23.8 Ruhig schlafen ... 577

24 Erweiterte Netzwerkkonfiguration für Enterprise- und Cluster-Umgebungen ... 579

24.1 Physisches Cluster-Netzwerkdesign ... 579
24.1.1 Dediziertes oder konvergentes Netzwerk? ... 580
24.1.2 Multi-Chassis Link Aggregation (MLAG/Stacking) ... 584

24.2 Stern- oder Mesh-Topologie? ... 588
24.2.1 Switch-basierte Stern-Topologie ... 588
24.2.2 Direkt verkabelte Mesh-Topologie ... 589
24.2.3 Implementierung der Mesh-Topologie ... 591

24.3 Segmentierung von VM-Netzwerken ... 603
24.3.1 VLANs an VM-Interfaces ... 603
24.3.2 VLANs auf dedizierten Bridges ... 604
24.3.3 Guest-Based VLAN-Tagging für Firewalls oder Router ... 605

24.3.4 Layer-3/4-Isolation durch Firewall-Regeln ... 606
24.3.5 Isolation aller Interfaces untereinander ... 607

25 Software-Defined Networking (SDN) in Proxmox VE ... 609

25.1 Grundlagen des Software-Defined Networkings ... 609

25.2 Integration in Proxmox VE ... 610

25.3 Anforderungen an die physische Netzwerkanbindung ... 611

25.4 Die Komponenten des Proxmox-VE-SDN: Zone, VNet und Subnet ... 613
25.4.1 Zonen ... 614
25.4.2 VNet ... 615
25.4.3 Subnet ... 616

25.5 Zone-Types und deren Technologien ... 616
25.5.1 Simple Zone ... 616
25.5.2 VLAN-Zone ... 618
25.5.3 QinQ-Zone ... 619
25.5.4 VXLAN-Zone ... 620
25.5.5 EVPN-Zone ... 622

25.6 Einsatz eines Routing-Controllers für EVPN-Zonen ... 623
25.6.1 Die Controller-Typen EVPN, BGP und IS-IS ... 623
25.6.2 Einrichtung des EVPN-Controllers ... 625
25.6.3 Routing und NAT ... 625

25.7 IP Address Management: IPAM und DHCP ... 626
25.7.1 IPAM-Plugins ... 626
25.7.2 Automatisches DHCP ... 627

25.8 Praktische Beispiele für den Einsatz des SDN ... 628
25.8.1 Szenario 1: Die isolierte Testumgebung ... 629
25.8.2 Szenario 2: Mandantenfähigkeit oder Multi-Tenant-Umgebung ... 629
25.8.3 Szenario 3: Die automatisierte CI/CD-Pipeline ... 630

Index ... 631