

10. Hardware

Die nachfolgenden Spezifikationen der beschriebenen Hardware-Komponenten geben Hilfestellung bei der Beschaffung. Sie ersetzen im Einzelfall jedoch keine Ausschreibung, da dabei auch die vergaberechtlichen Vorschriften einzuhalten sind. Die angegebenen Preise (Bruttopreise) sind Orientierungswerte, die bei größeren Stückzahlen gegebenenfalls deutlich unterschritten werden können.

Die in den folgenden Tabellen als „Mindestkriterien“ bezeichneten Zeilen enthalten Informationen, die als technische Mindestanforderungen für die jeweilige IT-Geräteklasse zu verstehen sind. Darüberhinausgehende Beschreibungen dienen der weiterführenden Information und haben empfehlenden Charakter.

a) Arbeitsplatzcomputer

Nachfolgend beschriebener Standard-PC für die Betriebssysteme Windows, Linux oder MacOS eignet sich zum generellen Einsatz in der Schule. Bei speziellen Anwendungen (z. B. Videoschnittsoftware, CNC, 3D-CAD) können höhere Anforderungen notwendig sein, die in der Regel vom Hersteller spezifiziert werden.

Datenblatt Arbeitsplatzcomputer		
Mindestkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, Festplatte, Garantie		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Systemleistung/ CPU	Um die Systemleistung zu überprüfen, eignet sich das Programm SYSmark 2014 oder das kostenlose Programm Cinebench R20. Bei aktuellen Komponenten kann davon ausgegangen werden, dass die geforderte Systemleistung bei folgenden Prozessoren erfüllt ist: ab Intel Pentium Gold ab Intel i3-6xxx ab Intel i5-6xxx ab Intel i7-6xxx alle AMD Ryzen	Mindestwerte Benchmark: SYSmark 2014 v1.5 (Windows 10, 64bit): 1200 Punkte oder Cinebench R20: 300/750 Punkte (Single/Multi-Core)
Grafikeinheit	Prozessoren verfügen oft über eine integrierte Grafikeinheit, welche für die meisten schulischen Anwendungen ausreichend ist. Eine aktuelle Prozessorgeneration bietet meist auch eine bessere Grafikleistung.	

Votum 2020

BIOS/UEFI	Manche Deploymentlösungen setzen einen Start im Legacy BIOS Modus voraus.	UEFI Modus und Legacy BIOS Modus
RAM	Um flüssiges Arbeiten zu ermöglichen, ist ausreichend Arbeitsspeicher erforderlich. Eine Erweiterung des Arbeitsspeichers (ohne Ausbau der vorhandenen Module) sollte möglich sein.	ab 8 GB RAM
Festplatte	Insbesondere beim Boot-Vorgang ist der schnelle Zugriff auf Daten gefordert. Daher empfiehlt sich der Einsatz einer Solid-State-Disk (SSD). Die typischen Transferraten liegen bei einer Anbindung über SATA III bei ca. 550 MB/s. Bei einem Anschluss über PCIe 3.0 x4 (M.2) sind höhere Transferraten möglich.	SSD: ab 240 GB
Grafik- / Sound-Anschlüsse	Grafik- und Soundanschlüsse sind meist auf dem Motherboard integriert, nur bei höheren Grafikanforderungen ist eine eigene Grafikkarte notwendig. Üblich sind mindestens ein digitaler Videoanschluss (HDMI) und Audio-Anschlüsse (Line in/out). Soll der PC zusätzlich an einen Beamer angeschlossen werden, ist ein weiterer kombinierter Audio-/Video-Ausgang sinnvoll (z. B. Zusatzkarte mit HDMI oder Display-Port).	frontseitige Audioanschlüsse für Kopfhörer/Mikrofon HDMI-Anschluss ggf. zusätzlich: weiterer HDMI-Anschluss oder Display-Port
USB-Anschlüsse	Sinnvoll sind mind. 4 USB-Anschlüsse, davon zwei leicht zugänglich an der Frontseite. USB 2.0 (bis 60 MByte/s) USB 3.0 (bis 500 MByte/s) USB 3.1 (bis 1200 MByte/s)	2 x USB 3.0 2 x USB 2.0 evtl. 1 x USB-C zwei USB-Anschlüsse an der Frontseite
LAN-Anschluss		1 GBit/s-Ethernet
Optisches Laufwerk	Gegebenenfalls ist es sinnvoll, einzelne Rechner (z. B. Lehrer-PC) mit einem optischen Laufwerk auszustatten (DVD-Brenner oder Blu-ray-Brenner).	

Votum 2020

Geräuschentwicklung	Insbesondere in Computerräumen ist auf möglichst geräuscharme Systeme zu achten (Netzteil, Lüfter).	bis zu 26 dB bei 50% Last bis zu 20 dB bei Büroanwendungen
Formfaktor, Gehäuse	Die unterschiedlichen Gehäusegrößen und -formen sind nicht exakt definiert. Verwendet werden die Begriffe Micro-PC, Mini-PC, Small-Form-Factor, All-in-One-PC. Je nach Einsatzort kann die maximale Größe festgelegt werden.	
Umweltfreundlichkeit / Ergonomie	„Energy Star“ beschreibt Mindestanforderungen für die Energieeffizienz. „Blauer Engel“ ist ein Umweltprüfzeichen mit Kriterien zu Energieverbrauch, Materialanforderungen, Recyclingfähigkeit und Geräuschemission. Es gibt weitere Zertifizierungen, die gegebenenfalls gefordert werden können, aber nicht immer ausgewiesen sind, z. B. TCO Certified Desktops 5 oder energieeffizientes Netzteil nach „80 Plus Silver“.	Energy Star 6.1 ggf: Blauer Engel (RAL-UZ 78a für PCs)
Garantie	optional: 5 Jahre „Vor-Ort-Garantie“ Gegebenenfalls kann bei einer Ersatzbeschaffung gefordert werden, dass ein an der Schule vorhandenes Systemimage auch auf den Ersatzgeräten läuft (Imagestabilität).	mindestens 3 Jahre „Vor-Ort-Garantie“ Eine über die gesetzliche Gewährleistung hinausgehende Garantie kann entfallen, wenn entsprechende Leistungen nach Umfang, Reaktions- und Wiederherstellungszeit (z. B. Reparaturleistungen, Ersatzbeschaffung) vergleichbar vom Sachaufwandsträger übernommen werden und dies schriftlich bestätigt wird.
Beschaffung	ggf. Aufstellen und Anschließen der PCs, Entsorgung der Verpackungen	
Preis	mit Intel i5-9xxx mit AMD Ryzen 5 32xxG jeweils incl. 3 Jahre Vor-Ort-Garantie 5 Jahre Vor-Ort-Garantie	ca. 500 € ca. 500 € ca. 100 €

b) Monitore

Datenblatt Monitor		
Mindestkriterien: Werte für Größe, Auflösung, Helligkeit		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Größe	Bildschirmdiagonalen von 24" sind Standard. Für Bildbearbeitung sind größere Monitore mit einer entsprechend höheren Auflösung empfehlenswert.	ab 23,5"
Panel	IPS-Panels bieten eine hohe Farbtreue, eine schnelle Reaktionszeit und einen großen Blickwinkel. VA-Panels bieten bessere Schwarzwerte bzw. einen höheren Kontrast.	IPS-Panel
Auflösung		bis 24" Bildschirm: ab 1920 x 1080 Pixel bzw. ab 1920 x 1200 Pixel bei Bildschirmen > 24": ab 2560 x 1440 Pixel
Helligkeit	In Klassenzimmern und Computerräumen mit nicht optimalen Lichtverhältnissen sollte der Monitor eine Helligkeit von mindestens 300 cd/m ² und ein gutes Kontrastverhältnis haben, um satte Farben und einen gut lesbaren Text darzustellen.	ab 250 cd/m ²
Reaktionszeit	Eine niedrige Reaktionszeit (grau zu grau) ist für die flüssige Darstellung von bewegten Inhalten notwendig.	max. 5 ms
Anschlüsse	Neben digitalen Eingängen ist zum Anschluss älterer Rechner auch ein VGA-Anschluss erforderlich.	HDMI oder DisplayPort, USB-C
Ergonomie	Der Monitor sollte in der Höhe und Neigung verstellbar sein.	Stabiler Standfuß, höhenverstellbar, neigbar

Votum 2020

Zertifizierung	<p>„Blauer Engel“ ist ein Umweltprüfzeichen mit Kriterien zu Energieverbrauch, Materialanforderungen, Recyclingfähigkeit und Geräuschemission.</p> <p>TCO Certified Displays ist ein Gütesiegel für Bildschirme, das u. a. ergonomische Kriterien (Helligkeit, Kontrast, Sehwinkel, reflexionsfreie Oberfläche) und auch die Anforderungen des „Energy Star“ beinhaltet.</p> <p>Zunehmend wird auch bei Monitoren ein EU-Energielabel ausgewiesen (z. B. EU-Energielabel A+).</p>	<p>Blauer Engel (RAL-UZ 78c für Monitore)</p> <p>TCO Certified Displays 7</p>
Zusatzoptionen	integrierte Lautsprecher, Kopfhörer- und Mikrofon-Anschlüsse, USB-Anschlüsse	
Garantie	Da aktuelle Monitore relativ günstig und haltbar sind, ist eine erweiterte Garantie nicht notwendig.	gesetzliche Gewährleistung
Preis	24"-Monitor: 27"-Monitor:	ab ca. 170 € ab ca. 250 €

c) Notebooks

Die Auswahl richtet sich nach den Mobilitätsanforderungen (Ersatz für einen Desktop-Computer oder mobiles Gerät) und der erforderlichen Ausstattung (z. B. DVD-Laufwerk, Schnittstellen). Nachfolgend ist ein Notebook für die Betriebssysteme Windows, Linux, MacOS oder Chrome OS beschrieben.

Datenblatt Notebook		
Mindestkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, Festplatte, Display, Garantie		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Systemleistung/ CPU	<p>Um die Systemleistung zu überprüfen, eignet sich das Programm SYSmark 2014 oder das kostenlose Programm Cinebench R20.</p> <p>Typischerweise werden die Benchmarkwerte nur erreicht, wenn das Notebook an eine externe Stromquelle angeschlossen ist und nicht übermäßig erhitzt ist.</p> <p>Bei aktuellen Komponenten kann davon ausgegangen werden, dass die geforderte Systemleistung bei folgenden Prozessoren erfüllt ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> ab Intel i3-8xxxx ab Intel i5-63xxU ab Intel i5-73xxU ab Intel i7-66xxU ab AMD Ryzen 3 23xxU/H 	<p>Mindestwerte Benchmark: SYSmark 2014 v1.5 (Windows 10, 64bit): 1200 Punkte oder</p> <p>Cinebench R20: 300/750 Punkte (Single/Multi-Core)</p>
Grafikeinheit	Aktuelle Mobilprozessoren verfügen üblicherweise über eine integrierte Grafikeinheit. Eine aktuellere Prozessorgeneration bietet meist auch eine bessere Grafikleistung.	
BIOS/UEFI	Manche Deploymentlösungen setzen einen Start im Legacy BIOS Modus voraus.	UEFI Modus und Legacy BIOS Modus
RAM	Um flüssiges Arbeiten zu ermöglichen, ist ausreichend Arbeitsspeicher erforderlich.	ab 8 GB RAM

Votum 2020

Festplatte	<p>Insbesondere beim Boot-Vorgang ist der schnelle Zugriff auf Daten gefordert. Daher empfiehlt sich der Einsatz einer Solid-State-Disk (SSD).</p> <p>Chrome OS nutzt vorwiegend Cloudspeicher. Daher ist ggf. ein geringerer integrierter Speicher ausreichend.</p>	<p>Windows/Linux/macOS SSD: ab 240 GB</p> <p>Chrome OS ab 64 GB Flash-Speicher</p>
Display	<p>Empfohlen wird ein mattes Display (non-glare), da dieses Reflexionen vermeidet und somit ein angenehmeres Arbeiten ermöglicht. Bei Notebooks, die über einen Touchscreen verfügen (z. B. Convertibles), sind matte Displays dagegen kaum verfügbar.</p>	<p>Auflösung ab 1920 x 1080 Pixel</p> <p>Helligkeit ab 250 cd/m²</p>
Kamera	<p>Für Videokonferenzen ist eine integrierte Kamera vorteilhaft. Eine HD-Auflösung (720p) setzt mindestens 0,9 Megapixel bei einem Seitenverhältnis von 16:9 voraus. Für FullHD sind mindestens 2 Megapixel erforderlich.</p>	<p>ab 0,9 Megapixel</p>
Grafik- / Sound-Anschlüsse	<p>Zum Anschluss an einen Beamer oder externen Monitor ist ein Grafikananschluss notwendig. Üblich ist ein digitaler Anschluss (Display-Port, Mini-Display-Port, HDMI, Mini-HDMI). Ggf. sind Adapter notwendig.</p>	<p>Display-Port, Mini-Display-Port oder HDMI</p> <p>Kopfhörer/Mikrofon-Anschluss</p>
USB-Anschlüsse	<p>Sinnvoll sind mind. 2 USB-Anschlüsse.</p> <p>USB 2.0 (bis 60 MByte/s)</p> <p>USB 3.0 (bis 500 MByte/s)</p> <p>USB 3.1 (bis 1200 MByte/s)</p>	<p>2 x USB 3.0</p> <p>evtl. 1 x USB-C</p>
LAN-Anschluss	<p>Bei kleineren Notebooks ist der LAN-Anschluss nur über einen Adapter (z. B. USB-C auf RJ45-Adapter) möglich.</p>	<p>1 GBit/s-Ethernet</p>
WLAN	<p>Der WLAN-Standard 802.11ac (WiFi 5) ist noch üblich. Zunehmend werden Geräte mit dem neuen Standard 802.11ax (WiFi 6) angeboten.</p>	<p>802.11ac oder 802.11ax</p>

Votum 2020

weitere optionale Ausstattungen	integriertes Blu-ray- oder DVD-Laufwerk / Brenner integrierte Lautsprecher Kartenlesegerät Fingerprint-Sensor Kensington-Schutz Docking-Anschluss	
Umweltfreundlichkeit / Ergonomie	Das Zertifikat „Energy Star“ beschreibt Mindestanforderungen für die Energieeffizienz. Weitere Zertifizierungen sind bei Notebooks meist nicht ausgewiesen. Da Notebooks ggf. mechanisch stark beansprucht werden, sollte man auf robuste Geräte achten. Dies gilt z. B. für Geräte, die nach dem MIL-STD-810G zertifiziert sind.	Energy Star 6.1
Garantie	Üblicherweise werden Notebooks im Garantiefall zum Hersteller eingeschickt (z. B. Collect & Return). Gegebenenfalls ist auch eine „Vor-Ort-Garantie“ möglich.	mindestens 3 Jahre Garantie Eine über die gesetzliche Gewährleistung hinausgehende Garantie kann entfallen, wenn entsprechende Leistungen nach Umfang, Reaktions- und Wiederherstellungszeit (z. B. Reparaturleistungen, Ersatzbeschaffung) vergleichbar vom Sachaufwandsträger übernommen werden und dies schriftlich bestätigt wird.
Preis	mit Intel i5-10xxxx mit AMD Ryzen 5	ab 700 € ab 850 €

d) Tablets

Bei der Auswahl eines Tablets stehen das Betriebssystem und die damit verbundenen Anwendungen im Vordergrund.

Bei schuleigenen Tablets wird zur einfacheren Administration für Android-Tablets und iPads ein Mobile Device Management-System (MDM-System) empfohlen. Der Funktionsumfang bei der Nutzung eines MDM-Systems ist auch vom Betriebssystem der Geräte abhängig und ist somit bei der Auswahl der Geräte zu berücksichtigen.

Die Fingerbedienung eines Tablets wird durch eine kapazitive Technologie erkannt. Soll ein Tablet auch zum Schreiben (digitale Heftführung oder als Whiteboardersatz) geeignet sein, ist eine präzise Stifteingabe notwendig. Induktive Stifte (aktive Stifte) ermöglichen dies und unterstützen mehrere Druckstufen. Durch die Unterscheidung zwischen kapazitiver Berührung und induktivem Stift ist auch eine Handballenerkennung möglich.

Windows-Tablets

Datenblatt Windows-Tablet		
Mindestkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, interner Speicher, Display		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Systemleistung/ CPU	Um die Systemleistung zu überprüfen, eignet sich das kostenlose Programm Cinebench R20. Typischerweise werden die Benchmarkwerte nur erreicht, wenn das Tablet an eine externe Stromquelle angeschlossen ist und nicht übermäßig erhitzt ist. Bei aktuellen Komponenten kann davon ausgegangen werden, dass die geforderte Systemleistung bei folgenden Prozessoren erfüllt ist: ab Intel Core m3 7. Generation ab Intel i3-6xxxU ab Intel i5-6xxxU ab Intel i7-6xxxx	Mindestwerte Benchmark Cinebench R20: 200/400 Punkte (Single/Multi-Core)
RAM		ab 8 GB
interner Speicher		SSD ab 128 GB

Votum 2020

Display	Gefordert wird ein helles und blickwinkelstabiles Display mit einem Touchscreen und einem Digitizer oder einer vergleichbaren Technik zur Stifteingabe mit mehreren Druckstufen und einer zuverlässigen Handballenerkennung.	Bildschirmdiagonale ab 10" Auflösung ab 1920 x 1080 Pixel Helligkeit ab 400 cd/m ² Digitizer (Stifteingabe mit mehreren Druckstufen)
Kamera		Front- und Rückkamera Rückkamera ab 8 MegaPixel
WLAN	Der WLAN-Standard 802.11 ac ist noch üblich. Zunehmend werden Geräte mit dem neuen Standard 802.11ax (WiFi 6) angeboten.	802.11ac oder 802.11ax
Betriebssystem/ Software	Windows 10 S: Installation von Programmen aus dem Windows-Store Windows 10: Windows-Store oder normale Installation von Desktop-Programmen Drucken ist wie bei Desktop-Computern möglich.	Windows 10
Gewicht	ohne Tastatur und Schutzcover	unter 12": max 600 g ab 12": max 900 g
Sonstiges	Ein Gyroskop ist für AR- und VR-Anwendungen notwendig. Auf eine möglichst lange Akkulaufzeit sollte geachtet werden. Ein Hardcover zum Schutz der Geräte vor leichten Stößen ist empfehlenswert.	
Preis	Windows-Tablet Original-Tastatur Original-Stift Schutzcover	ab 700 € ab 130 € ab 75 € ab 30 €

Android-Tablets / ChromeOS-Tablets

Datenblatt Android-Tablet / ChromeOS-Tablet (Chromebook mit abnehmbarer Tastatur)		
Mindestkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, interner Speicher, Display		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Systemleistung/ CPU	Um die Systemleistung zu überprüfen, eignen sich das kostenlose Programm AnTuTu. Bei aktuellen Komponenten kann davon ausgegangen werden, dass die geforderte Systemleistung bei folgenden Prozessoren erfüllt ist: Qualcomm ab Snapdragon 660 MediaTek P Serie ab P60 MediaTek G Serie Exynos Serie 8 ab 8890 Exynos Serie 9, d.h. Exynos 9xx(x)	Mindestwerte Benchmark: AnTuTu v7 oder v8: 130.000 Punkte (Total Score)
RAM		ab 3 GB
interner Speicher	Eine Möglichkeit zur Erweiterung des internen Speichers mit einer Speicherkarte ist manchmal gegeben.	ab 64 GB
Display	Gefordert wird ein helles und blickwinkelstabiles Display mit einem Touchscreen und einem Digitizer oder einer vergleichbaren Technik zur Stifteingabe mit mehreren Druckstufen und einer zuverlässigen Handballenerkennung.	Bildschirmdiagonale ab 10" Auflösung ab 1920 x 1080 Pixel Helligkeit ab 400 cd/m ² Digitizer (Stifteingabe mit mehreren Druckstufen)
Kamera		Front- und Rückkamera Rückkamera ab 8 MegaPixel
WLAN	Der WLAN-Standard 802.11 ac ist noch üblich. Zunehmend werden Geräte mit dem neuen Standard 802.11ax (WiFi 6) angeboten.	802.11ac oder 802.11ax

Votum 2020

Betriebssystem/ Software	Für die Updates des Betriebssystems ist der Gerätehersteller zuständig. Daher sollten Hersteller gewählt werden, die System-Updates auch für ältere Geräte liefern. Die Installation von Apps ist über den Google Playstore oder über alternative Quellen möglich. Drucken funktioniert über Apps oder Google Cloud-Print.	ab Android 9 bzw. aktuelles Chrome OS
Gewicht	ohne Tastatur und Schutzcover	unter 12": max 600 g ab 12": max 900 g
Sonstiges	Ein Gyroskop ist für AR- und VR-Anwendungen notwendig. Auf eine möglichst lange Akkulaufzeit sollte geachtet werden. Ein Hardcover zum Schutz der Geräte vor leichten Stößen ist empfehlenswert.	
Preis	Android oder Chrome OS-Tablet Original-Tastatur Schutzcover	ab 350 € incl. orig. Stift ab 100 € ab 30 €

IPad-OS-Tablets

Datenblatt iPad (iPadOS-Tablet)		
Mindestkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, interner Speicher, Display		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Systemleistung/ CPU	Um die Systemleistung zu überprüfen, eignet sich das Programm AnTuTu. Aktuelle iPads (ab Apple A10-Prozessor) erfüllen die geforderte Systemleistung.	Mindestwerte Benchmark: AnTuTu v7 oder v8: 200.000 Punkte (Total Score)
RAM		ab 3 GB

Votum 2020

interner Speicher	Für eine umfassende Nutzung (z. B. mehrere Benutzer im shared-iPad-Modus, Erstellen von Erklärvideos, lokal gespeicherte digitale Schulbücher) sind mindestens 64 GB interner Speicher notwendig. Weniger Speicher schränkt insbesondere den Multi-User-Betrieb und multimediale Anwendungen stark ein.	ab 64 GB
Display	Alle aktuellen iPads bieten ein helles und blickwinkelstabiles Display mit der Möglichkeit der Stifteingabe mit mehreren Druckstufen und einer zuverlässigen Handballenerkennung.	Bildschirmdiagonale ab 10" Auflösung ab 1920 x 1080 Pixel Helligkeit ab 400 cd/m ² Digitizer (Stifteingabe mit mehreren Druckstufen)
Kamera		Front- und Rückkamera Rückkamera ab 8 MegaPixel
WLAN		802.11ac
Betriebssystem/ Software	Die Installation von Apps erfolgt über den Apple App-Store. Drucken ist über Air-Print möglich.	aktuelles iPadOS
Gewicht	ohne Tastatur und Schutzcover	unter 12": max 600 g ab 12": max 900 g
Sonstiges	Alle aktuellen iPads enthalten ein Gyroskop (für AR- und VR-Anwendungen) und verfügen über eine lange Akkulaufzeit. Ein Hardcover zum Schutz der Geräte vor leichten Stößen ist empfehlenswert.	
Preis	iPad mit 128 GB Original-Tastatur Original-Stift Schutzcover	ab 450 € ab 170 € ab 90 € ab 30 €

e) Thin Clients

Thin Clients sind rein für den Terminalserver-Zugriff konzipierte Endgeräte, bei denen Hardware und Software auf die dafür notwendigsten Funktionen reduziert sind.

Datenblatt Thin Client		
Mindestkriterien: Werte für Grafikeinheit, Anschlüsse, Ergonomie, Garantie		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
unterstützte Protokolle	Der Thin Client muss die zum Terminal-Server passenden Übertragungsprotokolle unterstützen.	RDP, Citrix ICA/HDX
Grafikeinheit		unterstützte Auflösung mind. 1920 x 1080 Pixel
Anschlüsse	üblich sind 2 digitale Monitor-Anschlüsse ggf. zusätzlich 1 x USB-C als Universalanschluss	mind. 1 digitaler Monitor-Anschluss (Display-Port, Mini-Display-Port, HDMI) mindestens 2 x USB 2.0 und 1 x USB 3.0 1 GBit/s-Ethernet
Umweltfreundlichkeit / Ergonomie		lüfterloses Design Leistungsaufnahme: max. 10W im Leerlauf (Idle-Mode)
Garantie	Üblicherweise werden Thin Clients im Garantiefall zum Hersteller eingeschickt (z. B. PickUp & Return).	mindestens 3 Jahre Garantie Eine über die gesetzliche Gewährleistung hinausgehende Garantie kann entfallen, wenn entsprechende Leistungen (z. B. Reparaturleistungen, Ersatzbeschaffung) vom Sachaufwandsträger übernommen werden und dies schriftlich bestätigt wird.
RAM		mind. 2 GB
Interner Speicher		mind. 8 GB
Preis		ab 250 €

f) Server

Server sollten nach dem jeweiligen Einsatzbereich ausgewählt werden. Nachfolgend sind je ein Standardserver (als nativer Server bzw. als Host mit einer virtuellen Serverinstanz) und ein Server zur Virtualisierung von Serversystemen spezifiziert.

Standardserver

Datenblatt Standardserver		
<p>Der Standardserver eignet sich z. B. zur Virtualisierung eines Servers für die Schulverwaltung (etwa 10 Arbeitsplätze), der die Rolle als Anmeldeserver und Fileserver übernimmt und auch kleinere servergestützte Programme (z. B. ASV) hostet.</p>		
<p>Mindestkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, LAN-Anschlüsse, Garantie</p>		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Systemleistung/ CPU	<p>Um die Prozessorleistung zu überprüfen, eignet sich der Benchmark SPEC CPU 2017 Integer Rates Base Results.</p> <p>Wegen des hohen Aufwandes für eigene Messungen, wird empfohlen, sich an der ausführlichen Datenbank von SPEC zu orientieren.</p> <p>https://www.spec.org/cpu2017/results/rint2017.html</p> <p>Die angegebenen Benchmarkwerte beziehen sich zum Teil auf Systeme mit zwei CPUs. In diesem Fall muss der Wert halbiert werden. Für den Einsatz in der Schule ist eine CPU ausreichend.</p> <p>Bei aktuellen Komponenten kann davon ausgegangen werden, dass die geforderte Systemleistung bei folgenden Prozessoren erfüllt ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> ab Intel Xeon E-22xxx ab Intel Xeon D-xxxxx ab Intel Xeon Bronze alle AMD EPYC 	<p>ab 4-Kern-CPU Benchmark SPEC-CPU 2017 SPECrate2017_int_base: ab 10 (bei 1 CPU)</p>

Votum 2020

RAM	Bei der Belegung der Steckplätze mit RAM-Modulen sollten die Herstellervorgaben bezüglich der Aufteilung auf die Speicherkanäle beachtet werden, um Leistungseinbußen zu vermeiden. Für eine spätere Erweiterungsmöglichkeit sollten noch Steckplätze zur Verfügung stehen. ECC-Arbeitsspeicher beinhalten eine Fehlerkorrektur, die für Server im Dauerbetrieb sinnvoll ist.	ab 32 GB RAM ab DDR 4 ECC 2133 MT/s
Festplatte (HDD)	Wichtig ist, dass Server-Festplatten für den Dauer-Einsatz verwendet werden. Ggf. können auch zwei Festplatten (für System und Daten) sinnvoll sein.	HDD: 1 x 2 TB
USB-Anschlüsse	Je nach vorgesehener Anwendung (z. B. Datensicherung mit mobilen USB-Festplatten), können USB-Anschlüsse an der Frontseite sinnvoll sein.	ab 4 x USB 3.0
LAN-Anschlüsse	Je nach vorgesehenem Einsatz sind mehrere LAN-Anschlüsse sinnvoll (z. B. Link Aggregation, Anbindung eines externen Storage).	2 x 1 GBit/s-Ethernet
Geräuschentwicklung	Falls der Server in einem Raum steht, in dem sich gelegentlich Personen aufhalten, ist auf geräuscharme Systeme zu achten (Netzteil, Lüfter).	
Formfaktor, Gehäuse	Üblich sind Tower oder 19"-Gehäuse zum Einbau in ein Rack.	Tower
Garantie	Sinnvoll ist eine „Vor-Ort-Garantie“ mit festgelegter Reaktionszeit. Beim Austausch defekter Festplatten kann festgelegt werden, dass diese aus Datenschutzgründen beim Kunden verbleiben.	mindestens 5 Jahre „Vor-Ort-Garantie“
Preis	Mit Intel Xeon E22xx, incl. 5 Jahre „Vor-Ort-Garantie“	ab 1.500 €

Virtualisierungsserver

Datenblatt Server (zur Virtualisierung von Serversystemen)		
Mindestkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, LAN-Anschlüsse, Garantie		
<p>Als Virtualisierungssystem wird primär VMware ESXi (kostenlose Version oder Essentials-Version) oder Microsoft Hyper-V eingesetzt. Die Hardware sollte so ausgelegt sein, dass mehrere Serversysteme virtualisiert werden können.</p>		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Systemleistung/ CPU	<p>Um die Prozessorleistung zu überprüfen, eignet sich der Benchmark SPEC CPU 2017 Integer Rates Base Results.</p> <p>Wegen des hohen Aufwandes für eigene Messungen, wird empfohlen, sich an der ausführlichen Datenbank von SPEC zu orientieren. https://www.spec.org/cpu2017/results/rint2017.html</p> <p>Die angegebenen Benchmarkwerte beziehen sich zum Teil auf Systeme mit zwei CPUs. In diesem Fall muss der Wert halbiert werden. Für den Einsatz in der Schule ist eine CPU ausreichend.</p> <p>Bei aktuellen Komponenten kann davon ausgegangen werden, dass die geforderte Systemleistung bei folgenden Prozessoren erfüllt ist: ab Intel Xeon Silver 4110 alle AMD EPYC</p>	<p>ab 8-Kern-CPU Benchmark SPEC-CPU 2017 SPECrate2017_int_base: ab 35 (bei 1 CPU)</p>
RAM	<p>Bei der Belegung der Steckplätze mit RAM-Modulen sollten die Herstellervorgaben bezüglich der Aufteilung auf die Speicherkanäle beachtet werden, um Leistungseinbußen zu vermeiden.</p> <p>Für eine spätere Erweiterungsmöglichkeit sollten noch Steckplätze zur Verfügung stehen.</p> <p>ECC-Arbeitsspeicher beinhalten eine Fehlerkorrektur, die für Server im Dauerbetrieb sinnvoll ist.</p>	<p>ab 64 GB RAM ab 2400 MT/s ECC RDIMMs</p>
Speichersystem	<p>4 SSDs im RAID-5-Verbund mit Hardware-Controller.</p>	<p>SSD: 4 x 1 TB</p>

Votum 2020

	Bei mehr Speicherbedarf können auch zusätzlich HDDs eingebaut oder ein externes Speichersystem über ein 10 GBit/s-Netzwerk angebunden werden.	
USB-Anschlüsse		2 x USB 3.0
LAN-Anschlüsse	Je nach vorgesehenem Einsatz sind mehrere LAN-Anschlüsse sinnvoll (z. B. Link Aggregation, Anbindung eines externen Storage). Sinnvoll sind 10 GBit/s-Ethernet-Anschlüsse. Falls die Infrastruktur nicht darauf ausgelegt ist, kann über eine Link-Aggregation von 1 GBit/s-Anschlüssen ein höherer Datendurchsatz erreicht werden.	2 x 10 GBit/s-Ethernet
Verwaltung	Zur Fernwartung des Servers über das Netzwerk kann eine Managementcard (Out of Band Management) sinnvoll sein.	Out of Band Management
Gehäuse		19"-Gehäuse
Stromversorgung		Redundantes Netzteil
Garantie	Sinnvoll ist eine „Vor-Ort-Garantie“ mit festgelegter Reaktionszeit Beim Austausch defekter Festplatten kann festgelegt werden, dass diese aus Datenschutzgründen beim Kunden verbleiben.	mindestens 5 Jahre „Vor-Ort-Garantie“ maximale Reaktionszeit: nächster Arbeitstag
Preis		ab 5.000 €

g) NAS-Systeme

NAS-Systeme (Network Attached Storage) sind ursprünglich als Datenablagen konzipierte Speichersysteme mit großem Festplattenspeicherplatz, die direkt aus dem Netzwerk erreichbar sind. Mittlerweile bieten NAS-Systeme eine Vielzahl weiterer Zusatzdienste an (z. B. Backup-Server, einfacher Virtualisierungs-Server, Medienserver, Web-Server, SQL-Server, VPN-Server, Speicher für Videoüberwachung, Cloud-Dienste). Die Lese- und Schreibrechte auf Daten können benutzerspezifisch geregelt werden, die Zugriffe sind mit unterschiedlichen Protokollen möglich, z. B. über smb, AppleTalk, ftp, http oder bei mobilen Geräten über Apps. Für differenzierte Zugriffsrechte bieten NAS-Systeme auch Schnittstellen zu gängigen Verzeichnisdiensten (z. B. Active Directory oder LDAP) an.

Aktuelle NAS-Systeme bieten auch die Möglichkeit, virtuelle Maschinen auf dem NAS-System zu betreiben. Diese Funktion ist jedoch eher für den Home-Bereich gedacht; die Virtualisierung von Serversystemen erfordert sehr viel Rechenleistung und ist bei den derzeitigen NAS-Systemen nur eingeschränkt möglich.

NAS-Systeme für den Unterrichtsbetrieb

Datenblatt NAS-System für den Unterrichtsbetrieb		
Mindestkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, LAN-Anschlüsse		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Systemleistung/ CPU	Für viele Serverdienste oder gleichzeitige Zugriffe mehrerer Personen und eine kurze Reaktionszeit ist ein leistungsfähiger Prozessor erforderlich.	ab Quadcore-Prozessor (x86-Architektur) mit mind. 1,5 GHz Taktfrequenz
RAM	Für viele Serverdienste, gleichzeitige Zugriffe mehrerer Personen und eine hohe Schreib- und Lesegeschwindigkeit ist ausreichend Arbeitsspeicher erforderlich.	ab 4 GB
Konfiguration	Die normale Konfiguration erfolgt über eine Weboberfläche. Der Zugriff auf das Dateisystem über SSH sollte möglich sein. Sinnvoll ist es, wenn die NAS-Box Systemmeldungen (Speicherplatz oder Festplattenfehler) per E-Mail verschickt.	Konfiguration über eine Weboberfläche (Webinterface auf Deutsch) Zugriffsmöglichkeit über SSH Benachrichtigung per E-Mail bei Systemwarnungen
Festplatten-Einschübe	Sinnvoll sind NAS-Systeme mit mind. 4 Festplatteneinschüben.	4 Festplatteneinschübe mit 3,5"

Festplatten (HDD)	Es sollten SATA-Festplatten verwendet werden, die für den Dauerbetrieb (Servereinsatz oder NAS-Einsatz, 24/7) geeignet sind. Ggf. kann es sinnvoll sein, eine weitere Festplatte (als Vorrat) zu beschaffen, damit im Falle eines Festplattendefekts entsprechend schnell reagiert werden kann.	4 SATA-Platten je 4 TB, geeignet für den Dauerbetrieb (NAS-Festplatten) Hot-Swap-Fähigkeit; ggf. Hot-Spare-Festplatte
Controller	Hardware-Controller mit der Möglichkeit, unterschiedliche Raid-Level zu realisieren (z. B. RAID 1, RAID 5, RAID 6, ggf. Hotspare) Festplatten sollen im laufenden Betrieb gewechselt werden können.	Hardware-Controller mit RAID 5, RAID 6
LAN-Anschlüsse	Sinnvoll sind derzeit 2-4 RJ45-LAN-Anschlüsse mit Gigabit-Ethernet und der Möglichkeit der Link-Aggregation. ggf. Einschubmöglichkeit für 10 GBit/s-Netzwerkkarte	2 x 1 GBit/s-Ethernet
Leistung (Datendurchsatz, Verbindungen)	Bei 2 Netzwerkanschlüssen sollte der Datendurchsatz 200 MByte/s betragen (bei RAID 5, Windows Upload/Download), bei 4 Netzwerkkarten 400 MByte/s. Die Zahl der maximal gleichzeitig möglichen Verbindungen sollte ausreichend hoch sein.	200 MByte/s (Windows Upload/Download bei RAID 5) 500 gleichzeitige Verbindungen
USB-Anschlüsse	Sinnvoll sind mind. 2 USB-Anschlüsse mit USB 3.0 zum Anschluss eines Backup-Mediums.	2 x USB 3.0
Benutzerverwaltung	Möglichkeit der lokalen Benutzerverwaltung, Gruppenverwaltung und ggf. Active-Directory- oder LDAP-Authentifizierung (Benutzerverwaltung über einen Windows-Server) ggf. Quota-Regelung für Benutzer	2000 Benutzerkonten Quota-Regelung für die Benutzer
Zugriffsmöglichkeiten	Die Benutzer sollten auf das NAS mit gängigen Werkzeugen zugreifen können (Windows-Zugriffe bzw. SMB, AppleTalk, nfs, ftp, http). Für den Zugriff mit mobilen Geräten sollte eine App verfügbar sein.	Zugriffe über SMB v2, AppleTalk, nfs, ftp, http, https App für mobile Geräte

Votum 2020

optionale Zusatzfunktionen	<p>Je nach vorgesehenem Einsatz können Zusatzfunktionen von Interesse sein, die viele NAS-Systeme anbieten:</p> <p>Cloudspeicher (z. B. Nextcloud)</p> <p>SQL-Server</p> <p>iSCSI-Speicher: z. B. als externer Speicher für Virtualisierungslösungen</p> <p>Verschlüsselung</p> <p>Virens Scanner</p> <p>Automatisierte Backupfunktion</p> <p>Medienserver</p> <p>RADIUS-Server</p>	
weitere optionale Ausstattungen	<p>Reset-Knopf (Passwort zurücksetzen)</p> <p>Kensington-Schutz</p> <p>HDMI-Anschluss</p>	
Energieverbrauch	<p>Üblich sind bis zu 50 W im Betrieb (mit 4 Festplatten) und bis zu 30 W im Standby (HDD-Ruhezustand). Bei einigen NAS-Systemen lässt sich ein Sleep-Modus einstellen (max 1 W). Wenn das NAS im Sleep-Modus ist, dauert der erste Zugriff länger (Starten des Systems, Hochfahren der Festplatten).</p>	<p>max. 50 W (Betrieb)</p> <p>max. 30 W (Standby)</p> <p>max. 1 W (Sleep-Modus)</p>
Geräuschentwicklung	<p>Falls das NAS in einem Raum steht, in dem sich gelegentlich Personen aufhalten, ist auf geräuscharme Systeme zu achten (Netzteil, Lüfter). Leistungsstarke NAS-Systeme sind üblicherweise lauter.</p>	<p>max. 23 dB (im Betriebs-Modus, bei laufenden Festplatten)</p>
Garantie	<p>ggf. mit Vorab-Zustellung eines Ersatzgeräts</p>	<p>3 Jahre Garantie</p>
Preis	<p>NAS mit 4 Festplatten je 4 TB</p>	<p>ab 1.100 €</p>

Einfache NAS-Systeme zur Datensicherung

Datenblatt Einfaches NAS (z. B. zur Datensicherung)		
Mindestkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, LAN-Anschlüsse		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Systemleistung/ CPU	Für kleine Benutzergruppen (höchstens fünf gleichzeitige Zugriffe) oder als Backupsystem ist ein Embedded-Prozessor ausreichend.	ab Quadcore-Embedded-Prozessor mit mind. 1 GHz Taktfrequenz
RAM		ab 2 GB
Konfiguration	Die normale Konfiguration erfolgt über eine Weboberfläche. Der Zugriff auf das Dateisystem über SSH sollte möglich sein. Sinnvoll ist es, wenn die NAS-Box Systemmeldungen (Speicherplatz oder Festplattenfehler) per E-Mail verschickt.	Konfiguration über eine Weboberfläche (Webinterface auf Deutsch) Zugriffsmöglichkeit über SSH Benachrichtigung per E-Mail bei Systemwarnungen
Festplatten-Einschübe	Sinnvoll sind NAS-Systeme mit mind. 2 Festplatteneinschüben	2 Festplatteneinschübe mit 3,5"
Festplatten (HDD)	Es sollten SATA-Festplatten verwendet werden, die für den Dauerbetrieb (Servereinsatz oder NAS-Einsatz, 24/7) geeignet sind. Ggf. ist es sinnvoll, eine weitere Festplatte (als Vorrat) zu beschaffen, damit im Falle eines Festplattendefekts entsprechend schnell reagiert werden kann.	2 SATA-Platten je 4 TB geeignet für den Dauerbetrieb (NAS-Festplatten)
RAID-Level	JBOD, RAID 0/1	RAID 1
LAN-Anschlüsse	Standard ist derzeit ein RJ45-LAN-Anschluss mit Gigabit-Ethernet.	1 GBit/s-Ethernet
USB-Anschlüsse	Sinnvoll sind mind. 2 USB-Anschlüsse mit USB 3.0 zum Anschluss eines Backup-Mediums.	2 x USB 3.0
Benutzerverwaltung	Möglichkeit der lokalen Benutzerverwaltung, Gruppenverwaltung	Mehrere Benutzerkonten

Votum 2020

Zugriffsmöglichkeiten	Die Benutzer sollten auf das NAS mit gängigen Werkzeugen zugreifen können. Für den Zugriff von mobilen Geräten sollte eine App verfügbar sein.	Zugriffe über SMB, App für mobile Geräte
optionale Zusatzfunktionen	Je nach vorgesehenem Einsatz können Zusatzfunktionen von Interesse sein, die viele NAS-Systeme anbieten: Verschlüsselung Backupfunktion	
Energieverbrauch	Üblich sind bis zu 20 W im Betrieb (mit 2 Festplatten) und bis zu 8 W im Standby (HDD-Ruhezustand). Bei einigen NAS-Systemen lässt sich ein Sleep-Modus einstellen (max 1 W). Wenn das NAS im Sleep-Modus ist, dauert der erste Zugriff länger (Starten des Systems, Hochfahren der Festplatten).	max. 20 W (Betrieb) max. 8 W (Standby) max. 1 W (Sleep-Modus)
Geräuschentwicklung	Falls das NAS in einem Raum steht, in dem sich gelegentlich Personen aufhalten, ist auf geräuscharme Systeme zu achten (Netzteil, Lüfter). Leistungsstarke NAS-Systeme sind üblicherweise lauter.	max. 19 dB (im Betriebs-Modus, bei laufenden Festplatten)
Garantie		2 Jahre Garantie
Preis	NAS mit 2 Festplatten je 4 TB	ab 450 €

h) Beamer

Für die Lichterzeugung von Beamern gibt es unterschiedliche Technologien:

Entladungslampen sind derzeit die am häufigsten verwendeten Leuchtmittel bei Beamern. Ihre Lebensdauer liegt typischerweise bei ca. 4000 Stunden, so dass ein gelegentlicher Lampenwechsel am Beamer erforderlich sein kann. Die Lampen benötigen eine Aufwärmphase und erreichen die volle Helligkeit erst nach ca. 1 Minute. Beamer mit Entladungslampen bieten derzeit das beste Preis-Leistungsverhältnis.

LED-Beamer, Laser-Beamer oder kombinierte LED-/Laser-Beamer verwenden LED- bzw. Laserlichtquellen. Diese Leuchtmittel haben eine Lebensdauer von typischerweise bis zu 20.000 Stunden. Die volle Helligkeit erreichen diese Beamer bereits nach wenigen Sekunden. Auch bezüglich des häufigen Ein-/Ausschaltens sind diese Beamer unempfindlich.

Für die Bilderzeugung gibt es im Wesentlichen die DLP- und die LCD-Technologie. Beide Techniken haben durch die Art der Bilderzeugung bedingte Vor- und Nachteile.

Die benötigte Lichtstärke ist neben den räumlichen Gegebenheiten auch abhängig von der angestrebten Bildgröße.

Datenblatt Beamer		
Mindestkriterien: Werte für Lichtstärke, Auflösung, Anschlüsse		
Aktuelle Beamer bieten verschiedene Helligkeitsstufen an (z. B. Normal-Modus und Eco-Modus). Bei der angegebenen Lichtstärke, bei der Lampenlebensdauer und beim Betriebsgeräusch muss die jeweilige Helligkeitsstufe betrachtet werden. Häufig wird in Datenblättern nur der jeweils günstigste Wert genannt.		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Lichtstärke	Auch für wechselnde Lichtverhältnisse und nicht optimal geeignete Präsentationsflächen sollte der Beamer über eine ausreichende Helligkeit verfügen.	ab 3400 Lumen im Normal-Modus (ANSI-Lumen bzw. nach ISO/IEC 21118)
Auflösung	Idealerweise sollte die native Auflösung des Beamers der des Monitors entsprechen. Für LED-Beamer, Laser-Beamer bzw. LED/Laser-Beamer und auch für Ultrakurzstanz-Beamer sind derzeit aus Preisgründen bei der Auflösung noch Abstriche zu machen.	Standard-Beamer ab 1920 x 1080 Pixel bzw. ab 1920 x 1200 Pixel LED- / Laser-Beamer ab 1280 x 720 Pixel bzw. ab 1280 x 800 Pixel Ultrakurzstanz-Beamer ab 1280 x 720 Pixel bzw. ab 1280 x 800 Pixel

Votum 2020

Lampen-lebensdauer	Entladungslampe: LED / Laser-Lichtquelle: LED / Laser-Lichtquellen können nicht gewechselt werden.	4000 Std. (Normal-Modus, Original-Ersatzlampe: 150 €) 20.000 Std.
Anschlüsse	Aktueller Standard sind zwei HDMI- und ein VGA-Eingang.	2 digitale Eingänge (HDMI oder DisplayPort)
optionale Anschlüsse / Schnittstellen	Ein Netzwerkanschluss (LAN/WLAN) kann zur Steuerung des Beamers und zur Einbindung in die Infrastruktur sinnvoll sein. Sowohl ein analog als auch ein digital eingespeistes Audio-Signal wird über den analogen Audio-Ausgang ausgegeben (zum Anschluss externer Lautsprecher). Soll ein Adapter für die kabellose Bild- und Tonübertragung verwendet werden, wird dafür ein HDMI-Anschluss benötigt. Die Stromversorgung dieser Geräte kann über HDMI/MHL oder über USB erfolgen. In diesem Fall wird am USB-Port eine ausreichende Stromstärke benötigt.	USB VGA, LAN, WLAN, analoger Audio-Ausgang
Geräuschentwicklung	Die in den Datenblättern angegebenen Werte für das Betriebsgeräusch sind nicht bei allen Anbietern exakt vergleichbar.	28 dB (Eco-Modus) 37 dB (Normal-Modus)
Garantie	Für Schulen geben einige Hersteller durch die Registrierung des Geräts eine erweiterte Garantie von drei Jahren. Dies trifft oft auch auf die Lampe zu, wobei die Garantiezeit normalerweise durch eine Betriebsstundenanzahl begrenzt wird.	3 Jahre Garantie
Preis	Beamer mit Entladungslampe (1920 x 1200 Pixel) Laser-Beamer (1280 x 800 Pixel) Ultrakurzstanz-Beamer (1280 x 800 Pixel) interaktiver Ultrakurzstanz-Beamer (1280 x 800 Pixel mit Finger-Touch-Funktion)	ab 500 € ab 1.000 € ab 1.000 € ab 1.300 €

i) Großbildmonitore

Neben speziellen Großbildmonitoren, die für den Dauerbetrieb ausgelegt sind, sind auch Consumer-Geräte (Fernseher) erhältlich, die jedoch hinsichtlich Helligkeit und Kontrast unter den hier angegebenen Werten liegen.

Nicht-interaktive Großbildmonitore

Datenblatt Großbildmonitor		
Mindestkriterien: Werte für Oberfläche und Helligkeit, Auflösung, Garantie		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Oberfläche und Helligkeit	Für wechselnde Lichtverhältnisse sollte die Präsentationsfläche möglichst wenig spiegeln. Die Oberfläche sollte möglichst kratzunempfindlich sein (z. B. Mohs-Härtegrad 7). Es sollte darauf geachtet werden, dass ein Sicherheitsglas verwendet wird.	ab 350 cd/m ² mattes Display gehärtetes Glas
Auflösung	Das Seitenverhältnis ist standardmäßig 16:9.	ab 3840 x 2160 Pixel
Lautsprecher	integrierte Lautsprecher	ab 2 x 10 W
Reaktionszeiten (Pixel)	Eine niedrige Reaktionszeit des Panels ist für die flüssige Darstellung von bewegten Inhalten notwendig.	maximal 8 ms
Anschlüsse	Um bei Bewegtbildern (> 30 Bilder/s) die volle Auflösung nutzen zu können sind HDMI 2.0-Anschlüsse erforderlich. Ansonsten genügen HDMI 1.4-Anschlüsse. 4K-Inhalte sind oft HDCP-2.2-geschützt. Für die Zuspiegelung durch externe Geräte, z. B. mit BluRay-Playern, muss der HDMI-Anschluss HDCP-2.2-fähig sein. Gegebenenfalls sind weitere Schnittstellen sinnvoll: <ul style="list-style-type: none"> • VGA (für ältere Notebooks) • Audio-Eingang • Audio-Ausgang • USB • Netzwerk 	1 HDMI-2.0-Anschluss 1 weitere digitale Schnittstelle (HDMI oder DisplayPort)

Energieverbrauch	Der Energieverbrauch von Großbildmonitoren kann je nach Modell erheblich variieren.	
Drahtlosverbindung	Manche Monitore verfügen bereits über integrierte Möglichkeiten zur drahtlosen Bild- und Tonübertragung von mobilen Endgeräten aus.	
Garantie		mindestens 5 Jahre „Vor-Ort-Garantie“
Preis	Großbildmonitor 65" Großbildmonitor 75" Großbildmonitor ab 80"	ab 1.400 € ab 2.800 € ab 4.000 € (jeweils zzgl. Halterung)

Interaktive Großbildmonitore (Touchscreens)

Für die interaktive Funktionalität kommen Infrarot-Technologie und kapazitive Displays zum Einsatz. Beide Systeme weisen bauartbedingte Vor- und Nachteile auf. Interaktive Großbildmonitore sollten deshalb von der Schule zusammen mit der voraussichtlich zum Einsatz kommenden Tafelsoftware getestet werden. Neben dem Handling der Stifte und dem subjektiven Schreibgefühl sollte vor allem auf die Verzögerung beim Schreiben und auf die Parallaxe beim Aufsetzen des Stifts geachtet werden.

Es wird empfohlen, interaktive Großbildmonitore mit der mebis-Tafel zu testen (siehe <https://mebis.bayern.de/infoportal/tafel/tafel-support>)

Datenblatt Interaktiver Großbildmonitor (Touchscreen)		
Mindestkriterien: Werte für Oberfläche und Helligkeit, Auflösung, Garantie		
<p>Um einen PC an einen interaktiven Großbildmonitor anzuschließen, ist die Übertragung von Bild, Ton und Mausfunktionalität erforderlich. Dies kann über folgende Anschlüsse erfolgen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • HDMI (Bild und Ton), USB (Mausfunktion), • OPS (Open Plugable Specification, Bild-, Ton-, Mausfunktion) • VGA (Bild, eingeschränkte Auflösung), Klinke (Ton), USB (Mausfunktion) <p>Der Anschluss mobiler Geräte (Tablets, Smartphones) erfolgt über integrierte Displayadapter (Bild- und Tonübertragung).</p>		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
siehe Großbildmonitor	Alle Merkmale/Werte für nicht interaktive Großbildmonitore gelten auch für interaktive Großbildmonitore.	
Touchpunkte	Für Gestensteuerungen und gleichzeitiges Arbeiten muss das Display über Multitouch verfügen.	Display erfasst mindestens 8 gleichzeitige Berührungspunkte
Integrierter PC	Einige Hersteller bieten integrierte PCs mit an, die z. B. als Einschubmodul über eine OPS-Schnittstelle (Open Pluggable Specification) angebunden werden.	Automatische Versorgung mit Updates durch den Hersteller
Onboard-Funktionen	Auch ohne angeschlossenen PC sollte der Großbildmonitor nutzbar sein.	Schreibfunktion (Tafel) Internet-Browser Mediaplayer
Energieverbrauch	Displays mit Infrarot-Technologie haben typischerweise einen höheren Energieverbrauch als kapazitive / induktive Technologien.	Infrarot-Technologie: typisch bis 500 W kapazitiv/induktiv: typisch bis 200 W
Preis	84" bis 86": Halterung und Seitentafeln:	ab 4000 € ab 1500 €

j) Dokumentenkameras

Dokumentenkameras (Visualizer) ermöglichen die Darstellung von Objekten über eine Großbilddarstellung. Sie ersetzen damit Tageslichtprojektoren und bieten darüber hinaus weitere Funktionen wie die Darstellung von Printmedien oder räumlichen Gegenstände.

Dokumentenkameras werden über einen Display-Anschluss (VGA oder HDMI) direkt mit dem Beamer verbunden und können auch ohne Computer betrieben werden.

Eine Möglichkeit zum Speichern von Arbeitsergebnissen (z. B. auf USB-Stick, Speicherkarte oder über den angeschlossenen PC) sollte vorgesehen sein.

Datenblatt Dokumentenkamera		
Mindestkriterien: Werte für Auflösung, Bildfrequenz, Zoom, Anschlüsse		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Auflösung	Die Ausgangsauflösung der Kamera sollte mindestens Full HD (1920 x 1080 Pixel) betragen. Dies entspricht ca. 2 Megapixel.	Ausgangsauflösung mind. 1920 x 1080 Pixel
Bildfrequenz	Für die Darstellung von Bewegtbildern sind mind. 30 Bilder/s nötig.	mind. 30 Bilder/s
Zoom	Digitalkameras bieten üblicherweise einen optischen und zusätzlich einen digitalen Zoom.	mind. 6-fach optischer Zoom
Anschlüsse	HDMI-Eingang zum Anschluss eines PC HDMI-Ausgang zum Beamer	HDMI-Eingang HDMI-Ausgang
optionale Anschlüsse		VGA USB Cardreader
Lichtquelle		LED-Licht, abschaltbar
Funktionen	Umschalter zwischen Dokumentenkamera, HDMI-Eingang bzw. VGA-Eingang (zur Darstellung eines angeschlossenen PC am Beamer, ggf. auch, wenn die Dokumentenkamera ausgeschaltet ist) Erstellen und Speichern von Bildern und Videos auf USB-Stick, Speicherkarte oder direkt auf den PC deutschsprachige Menüführung	
Preis		ab 600 €

k) Drucker

Im Bereich der Schulverwaltung oder als zentraler Drucker für Lehrkräfte bietet es sich an, zum Drucken, Kopieren und Scannen zentrale Großgeräte (z. B. als Leasinggeräte) einzusetzen.

Als dezentraler Drucker mit geringem Druckvolumen ist ein netzwerkfähiger Monochrom- oder Farb-Seitendrucker empfehlenswert. Bei der Beschaffung sind die Verbrauchskosten (Gesamtkosten pro Seite bzw. monatliche Gesamtkosten) zu beachten.

Falls mobile Geräte (Tablets, Smartphones) einen Druckerzugriff haben sollen, sollte darauf geachtet werden, dass der Drucker auch die herstellerspezifischen Protokolle unterstützt (z. B. Apple AirPrint) bzw. cloudfähig ist (z. B. für Google Cloud-Print).

Datenblatt Drucker (dezentraler Drucker mit geringem Druckvolumen)		
Mindestkriterien: Werte für Auflösung, Anschlüsse		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Typ, Format	Laser-/Tintenstrahldrucker, SW/Farbe, DIN A4 oder DIN A3	
Auflösung		ab 1200 x 1200 dpi
Geschwindigkeit		Zeit bis zur ersten Seite max. 30s mind. 30 Seiten/min nach ISO/IEC 24734:2014
Papierzufuhr	Für Einzelblätter (z. B. Brief- umschläge, Folien) ist eine eigene Mehrzweckzufuhr sinnvoll.	Papierkassette 250 Blatt, Mehrzweckzufuhr
Duplex		Duplexdruck 10 Seiten/min
Anschlüsse	LAN-Anschluss (RJ45), ggf. zusätzlich eine Wireless-LAN- Schnittstelle	1 GBit/s-Ethernet

Cloudbasierte Druckdienste	Cloudbasierte Druckdienste ermöglichen das Ausdrucken von mobilen Geräten aus, auch über das Internet, alternativ können die Dienste auch über einen PC freigegeben werden. Apple AirPrint, Google Cloud Print, herstellereigene Lösungen	
Zubehör	zweites bzw. größeres Papierfach	
Umweltfreundlichkeit / Ergonomie	Das Zertifikat „Energy Star“ beschreibt Mindestanforderungen für die Energieeffizienz. Das Zertifikat „Blauer Engel“ ist ein Umweltprüfzeichen mit Kriterien zu Energieverbrauch, Materialanforderungen, Recyclingfähigkeit und Geräuschemission.	Energy Star Blauer Engel (RAL-UZ 205 für Drucker)
Druckkosten	Druckkosten können bei den einzelnen Geräten stark schwanken.	s/w-Seite: < 2 Cent Farbseite: < 10 Cent
Preis	Bei sehr preisgünstigen Geräten sind die Druckkosten oft sehr hoch. Daher sollten bei der Anschaffung auch die Kosten der Ersatzkartuschen und ihr Druckvolumen berücksichtigt werden.	s/w-Laserdrucker: ab 150 € Farbdrucker: ab 200 € (mit erweiterten Funktionen wie Duplexdruck, Mehrzweck-Papierzufuhr und drahtlosem Drucken) Farblaser-Multifunktionsgerät: ab 270 €

I) 3D-Drucker

3D-Drucker eignen sich in der Schule zur Veranschaulichung räumlicher Strukturen (z. B. Prototypen bei CAD, räumliche Modelle in der Mathematik oder in den Naturwissenschaften, Gebäude- und Architekturmodelle in der Kunsterziehung). Aufgrund der leichteren Handhabung eignen sich für die Schule vorzugsweise Filamentdrucker, die nach dem Schmelzschichtungsverfahren mit Kunststoffen (FDM, Fused Deposition Modelling) arbeiten. Bei der Anschaffung und beim Betrieb derartiger Geräte in der Schule sind die geltenden Sicherheitsbestimmungen einzuhalten (siehe Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RISU), <https://www.km.bayern.de/lehrer/unterricht-und-schulleben/sicherheit.html>). Eine kurze Einführung und weiterführende Informationen sind unter <https://schulnetz.alp.dillingen.de/materialien/3D-Druck.pdf> abrufbar.

Datenblatt 3D-Drucker		
Mindestkriterien: Werte für Schichtdicke, Druckplatte		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Technologie	Schmelzschichtungs-Verfahren (FDM)	
Druckmaterial	Filamentdraht, Ø 1,75 mm oder Ø 2,85 mm, je nach Drucker. Die höhere Verbreitung hat Ø 1,75 mm. Kunststoffe: PLA, ABS, HIPS, PETG, Nylon, Tough PLA, Flex PLA, CPE, PVA u. a.	PLA oder ABS
Extruder	1-2 Extruder, wählbare Temperatur bis zu 260 °C Düsendurchmesser: 0,25 / 0,40 / 0,60 / 0,80 mm	Düsendurchmesser: 0,4 mm
Schichtdicke	ab 0,02 mm, u.a. abhängig von der gewählten Düse	bis 0,1 mm
Druckplatte	Auf der Druckplatte entsteht das Objekt. Für die Verarbeitung vieler Kunststoffe ist eine beheizbare Druckplatte notwendig.	beheizbar
Objektgröße	abhängig von der Größe des Druckers und der Druckplatte: von 100 mm x 100 mm x 100 mm bis 500 mm x 500 mm x 500 mm und darüber hinaus	ca. 200 mm x 200 mm x 200 mm ist eine gängige Größe
Bauform	offen/geschlossen, ggf. abschließbar	geschlossen
Preis	Aus didaktischen Gründen kann ggf. auch der Erwerb eines Bausatzes sinnvoll sein, der üblicherweise günstiger erhältlich ist.	ab 1.000 €

m) Strukturierte Gebäudeverkabelung

Die nachfolgenden Empfehlungen für aktive Netzwerkkomponenten gehen von einer aktuellen Netzwerk-Infrastruktur aus, der eine strukturierte Gebäudeverkabelung zugrunde liegt (siehe auch Kapitel 6, Vernetzung der Rechner, Schulhausvernetzung). Insbesondere sind dies:

- Zentraler Serverraum im Schulgebäude (Gebäudehauptverteiler) mit breitbandiger Internetanbindung, Router, NAS, Server, L3-Switch
- Mehrere Bereichsverteiler innerhalb der Schule (L2-Switches)
- Backbone-Verkabelung (zwischen Gebäudehauptverteiler und Bereichsverteiler) mit 10 GBit/s Glasfaser (Sekundärverkabelung)
- Verbindung zwischen Bereichsverteiler und Anschlussdosen am Arbeitsplatz mit 1 GBit/s Kupfer (Tertiärverkabelung)

n) Access-Points

Ein Access-Point ermöglicht den Zugriff auf das Schulnetz bzw. Intranet über WLAN. Bei mehreren Access-Points erleichtert ein Controller die Administration des Netzes. Zu unterscheiden sind Standard-Access-Points (Fat-APs), die mit oder ohne Controller betrieben werden können, und Access-Points, die ausschließlich im Zusammenspiel mit einem Controller betrieben werden können (Thin-APs). Bei Thin-APs läuft üblicherweise die gesamte WLAN-Kommunikation über den Controller. Deshalb muss bei dieser Betriebsart auch das Netzwerk auf die zusätzliche Belastung ausgelegt sein.

Bei der Beschaffung sollte bereits auf die Möglichkeit der Erweiterung des Netzes geachtet werden (Skalierbarkeit). Der Einsatz professioneller Geräte ermöglicht den stabilen Betrieb auch bei vielen gleichzeitigen Zugriffen.

Datenblatt Access-Point		
Mindestkriterien: Werte für WLAN-Standard, Übertragungsraten, Konfiguration, Authentifizierung, Multi-SSID, LAN-Schnittstelle, Stromversorgung, Client-Isolation		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
WLAN-Standard	Aktuelle Standards: 802.11ac (Wave 2) / WiFi 5 802.11ax / WiFi 6 (in der Einführung) In der Regel bedienen diese Geräte neben 11ac/ax-fähigen Geräten im 5 GHz-Band auch 11n-Clients im 2,4 GHz-Frequenzband.	IEEE 802.11ac 2,4 GHz und 5 GHz

Übertragungsraten	<p>Übertragungsraten brutto, im 2,4 GHz-Bereich): bis 150 MBit/s (Mimo 1x1) bis 300 MBit/s (Mimo 2x2) bis 450 MBit/s (Mimo 3x3)</p> <p>Übertragungsraten (brutto, 802.11ac-Standard im 5 GHz-Bereich): bis 433 MBit/s (Mimo 1x1) bis 867 MBit/s (Mimo 2x2) bis 1300 MBit/s (Mimo 3x3) bis 1733 MBit/s (Mimo 4x4)</p> <p>Übertragungsraten (brutto, 802.11ax-Standard im 5 GHz-Bereich): bis 600 MBit/s (Mimo 1x1) bis 1,2 GBit/s (Mimo 2x2) bis 1,8 GBit/s (Mimo 3x3) bis 2,4 GBit/s (Mimo 4x4) bis 4,8 GBit/s (Mimo 4x4)</p>	<p>2,4 GHz: ab 300 MBit/s 5 GHz: ab 867 MBit/s</p>
Konfiguration	Gegebenenfalls sollte zusätzlich die Konfiguration über ein Webinterface möglich sein.	zentrales Management über einen WLAN-Controller möglich
Sendeleistung	<p>Wenn externe Antennen angebracht werden, muss die Sendeleistung um den Antennengewinn reduziert werden.</p> <p>Um die Reichweite zu beschränken oder um Störungen zu benachbarten Access-Points zu vermeiden, bzw. die Strahlenbelastung zu minimieren, kann es ebenfalls sinnvoll sein, die Sendeleistung zu reduzieren.</p>	Die maximale Sendeleistung sollte reduzierbar sein.
Authentifizierung	Üblich sind heute noch WPA2-PSK (Preshared Key) und WPA2-Enterprise (802.1x in Verbindung mit einem Radius-Server). WPA3 befindet sich in der Markteinführung.	WPA2-PSK und WPA2-Enterprise (802.1x)
Multi-SSID	Multi-SSID ermöglicht die Bereitstellung mehrerer Funkzellen (SSIDs) in unterschiedlichen Teilnetzen (VLANs) für unterschiedliche Benutzergruppen (z. B. Lehrer, Schüler etc.)	Multi-SSID VLAN-Unterstützung nach 802.1q

LAN-Schnittstelle	Ggf. können auch 2 LAN-Schnittstellen sinnvoll sein (z. B. separate Konfigurationsschnittstelle).	1 GBit/s-Ethernet
Stromversorgung	PoE (Power-over-Ethernet) ist Standard. Gegebenenfalls zusätzlich externes Netzteil	PoE, IEEE 802.3af oder 802.3at
Antennen	Externe Antennen können durch spezielle Richtcharakteristiken das Sende- und Empfangsverhalten positiv beeinflussen; im Klassenzimmer reichen meist die eingebauten Standardantennen (Rundstrahler).	
Client-Isolation	Beim Betrieb des Access-Points als Hotspot ist es sinnvoll, die Kommunikation der WLAN-Clients untereinander zu unterbinden. Oft führt dies jedoch zu Schwierigkeiten bei der drahtlosen Bildschirmübertragung oder beim drahtlosen Drucken.	Client-Isolation einstellbar
Elektromagnetische Verträglichkeit	Durch die EMV-Zertifizierung (Elektromagnetische Verträglichkeit) nach EN 60601-1-2 ist ein Access-Point auch für den Einsatz in medizinischen Umgebungen zugelassen.	EMV-Zertifizierung nach EN 60601-1-2
Garantie		mind. 3 Jahre Garantie
Service	Der Hersteller sollte über eine gut gepflegte (eventuell deutschsprachige) Internetpräsenz verfügen und darüber kostenlos Firmware-Updates, Datenblätter und Zusatzinfos (z. B. Konfigurationsbeispiele) anbieten.	Kostenfreie Versorgung mit Firmware-Updates
Preis	Access-Point ggf. weitere Kosten für den Controller	ab 200 €

o) WLAN-Controller

Ein WLAN-Controller ermöglicht die zentrale Konfiguration, das zentrale Management und ein übersichtliches Monitoring der WLAN-Access-Points in einem Netz. Die Funktionsweise des WLAN-Controllers ist herstellerabhängig. Auch arbeiten WLAN-

Controller üblicherweise nur mit Access-Points des gleichen Herstellers zusammen. Service und Support sollten langfristig sichergestellt sein.

Übersicht zu WLAN-Controllern	
Funktionsweise eines WLAN-Controllers	
Management eigenständiger Access-Points (Fat-APs)	Der Controller dient nur zur Konfiguration und zur Überwachung der Access-Points. Ansonsten sind die Access-Points eigenständig und funktionieren auch ohne Controller. Die WLAN-Nutzdaten laufen nicht über den Controller.
Zentrale Komponente für den Betrieb von Thin-APs	Die Access-Points können nicht eigenständig betrieben werden. Alle WLAN-Nutzdaten laufen über den Controller.
Implementierung von WLAN-Controllern	
eigenständiger Hardware-Controller (Appliance)	Der Controller ist ein eigenes Gerät. Dies ist üblich, wenn alle WLAN-Nutzdaten über den Controller laufen.
Zusatzfunktion auf einem Access-Point oder Router	Der Controller ist ein Zusatzdienst auf einem Access-Point oder Router. Gegebenenfalls muss dieser Dienst eigens lizenziert werden.
Serverdienst	Der Controller wird als Software auf einem schuleigenen Windows- oder Linux-Server installiert.
Cloud-Service	Der Controller wird als Cloud-Service angeboten. Diese Variante ist gegebenenfalls auch mandantenfähig und ermöglicht das zentrale Management mehrerer Standorte bzw. Schulen. Zur Konfiguration benötigen die Access-Points eine Internetverbindung. Üblicherweise entstehen hier auch Kosten für den Betrieb des Cloud-Service.
Funktionen eines WLAN-Controllers	
übliche Funktionen	<ul style="list-style-type: none"> • automatische Erkennung neuer Access-Points • zentrale Konfiguration aller Access-Points • zentrales Monitoring aller Access-Points • automatisches Firmware-Rollout für alle Access-Points
optionale Funktionen	<ul style="list-style-type: none"> • Betrieb einer Captive-Portal-Lösung • Benachrichtigung per E-Mail, wenn Fehler auftreten

p) Ethernet-Switches

Eine Netzwerk-Infrastruktur wird mit managebaren VLAN-fähigen Layer-2-Switches und gegebenenfalls mit einem zentralen Layer-3-Switch (mit Routing- und Firewall-funktionen) aufgebaut.

Nicht managebare Switches können in kleineren Umgebungen oder zur Versorgung von POE-fähigen Geräten zum Einsatz kommen.

Layer-2-Switches

Datenblatt Ethernet-Switch (managebarer VLAN-fähiger Layer-2-Switch zum Einsatz in einem Bereichsverteiler)		
Mindestkriterien: Werte für Schnittstellen, VLANs, Leistung, Garantie		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Konfiguration	Die übliche Konfiguration erfolgt über ein Webinterface des Routers. Ein Konsolenanschluss ermöglicht einen Zugang unabhängig von der IP-Konfiguration. Neue Technologien setzen auf die Möglichkeit einer cloudbasierten Konfiguration der Geräte.	Konfiguration über ein Webinterface
Schnittstellen	Üblich sind 24 oder 48 Ethernet-Ports (RJ45) mit 10/100/1000 MBit/s (Autosensing) und zusätzlich 2-4 Uplink-Ports mit 1 GBit/s SFP oder 10 GBit/s SFP+.	ab 24 Ethernet-Ports mit 10/100/1000 MBit/s ab 2 SFP+ Ports mit 10 GBit/s
PoE	Zur Stromversorgung angeschlossener Netzwerkgeräte (z. B. WLAN-Access-Points, IP-Telefone, Web-Kameras) ist PoE (Power over Ethernet) Standard. PoE nach IEEE 802.3af: (max. Leistung pro Port: 15,4 W) PoE+ nach IEEE 802.3at (max. Leistung pro Port: 30 W) Die PoE-Gesamtleistung sollte über der benötigten Leistung liegen.	PoE+ nach IEEE 802.3at PoE+-Gesamtleistung: mind. 300W
VLANs		VLAN-Unterstützung nach 802.1Q
Status-Anzeigen		Verschiedenfarbige LED-Leuchten für Status, Aktivität, Geschwindigkeit der Ethernet-Ports.

zusätzliche Funktionen	<p>Rapid Spanning-Tree (Loop-Protection)</p> <p>QoS (Quality of Service) bei VoIP</p> <p>ggf. Port-Mirroring und Protokollierung fehlerhafter Datenframes (Fehlersuche)</p> <p>ggf. Link Aggregation (Bündeln von Uplink-Ports für höhere Bandbreiten)</p>	
Montage	Montage im Rack	19 Zoll-Gerät
Leistung	<p>Die interne Switching-Kapazität (Bandbreite der Backplane) sollte der (doppelten) Gesamtkapazität aller Ports entsprechen.</p> <p>Der Datendurchsatz in Mpps (Million Packets per Second) gibt an, wie viele Pakete der Switch verarbeiten kann (üblicherweise mit 64 Byte-Paketen gemessen). Eine sinnvolle Größenordnung für den erforderlichen Datendurchsatz kann man aus der Switching-Kapazität ermitteln, wenn man mit einer durchschnittlichen Paketgröße von 2000 Bit kalkuliert.</p> <p>Weitere Leistungsparameter können sein: Latenzzeit, Paketpuffergröße</p> <p>Nicht alle Anbieter geben vergleichbare Werte für die Leistungsfähigkeit an.</p>	<p>Switch mit 24 Ethernet- und 2 SFP+-Ports: Switching-Kapazität: 88 GBit/s Datendurchsatz: mind. 44 Mpps</p> <p>Switch mit 48 Ethernet- und 4 SFP+-Ports: Switching-Kapazität: 176 GBit/s Datendurchsatz: mind. 88 Mpps</p>
Garantie		5 Jahre Garantie
Service	kostenfreie Versorgung mit Firmware-Updates, Serviceadresse	
Preis	<p>PoE-Switch mit 24 Ethernet- und 4 SFP+-Ports</p> <p>PoE-Switch mit 48 Ethernet- und 4 SFP+-Ports</p>	<p>ab 1.000 €</p> <p>ab 1.200 €</p>
SFP-Module	<p>SFP+-Modul mit 10 GBit/s:</p> <p>Bei SFP-Modulen (GBICs) muss auf den richtigen LWL-Anschluss (ST, SC, LC) geachtet werden.</p>	ab 150 €

Layer-3-Switches

In großen schulischen Netzwerken (z. B. differenzierte Aufteilung des lokalen Netzes in Teilnetze mit Unterrichtsnetz, Lehrernetz, Verwaltungsnetz, WLAN-Netze, etc.) kann ein zentraler Layer-3-Switch, der das schulinterne Routing übernimmt, sinnvoll sein.

Bei einer weniger differenzierten Aufteilung des lokalen Netzes (z. B. Unterrichtsnetz, Lehrernetz) kann diese Aufgabe auch der Internetzugangsroutern mit übernehmen.

Datenblatt Layer-3-Switch		
Mindestkriterien: Werte für Schnittstellen, VLANs, Leistung, Garantie		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Layer-2 Merkmale	Alle Merkmale für Layer-2-Switches gelten auch für Layer-3-Switches.	
Leistung	Layer-3-Switches unterscheiden beim Datendurchsatz nicht zwischen Routing und Switching. Die interne Switching-/Routing-Kapazität (Backplane) sollte der (doppelten) Gesamtkapazität aller Ports entsprechen.	
Routing		statisches Routing
Firewall		ACL-Filterung basierend auf Ziel/Quell-IP auf VLAN-Basis
mögliche zusätzliche Funktionen	DHCP-Server DHCP-Relay (Weiterleitung von DHCP-Anfragen) QoS (Quality of Service) bei VoIP Bandbreitenbeschränkung per Port	
Preis	Layer-3-Switch mit 24 Ethernet- und 4 SFP+-Ports Layer-3-Switch mit 24 Ethernet- und 16 SFP+-Ports	ab 1.000 € ab 5.000 €
SFP-Module	SFP+-Modul mit 10 GBit/s:	ab 150 €

q) Internetzugangsrouten

Ein Internetzugangsrouten (Access-Router) verbindet das Schulnetz mit dem Internet. Der Router bietet dazu Übergänge vom lokalen Netz (auf Ethernet-Basis) auf ein Weitverkehrsnetz (DSL, Kabelnetz). Dieser Übergang ist eine wichtige Schnittstelle und erfordert eine präzise Konfiguration und eine stabile Funktion.

Professionelle Router, wie sie überwiegend im kommerziellen Umfeld eingesetzt werden, bieten differenzierte Firewall-Funktionen. Speziell für Schulen werden auch vorkonfigurierte Kommunikationsserver angeboten (Computer auf Linux-Basis). Bei diesen ist zu prüfen, ob sie den Erfordernissen der Schule bzw. den nachfolgenden Empfehlungen im Datenblatt (z. B. Routing-Durchsatz) genügen.

Einfache DSL-Router, wie sie im privaten Bereich eingesetzt werden, sind für die meisten Schulen nicht geeignet, da diese nicht für den Internetanschluss von mehreren hundert Geräten ausgelegt sind, nur ein lokales Netz verwalten können und keine differenziert konfigurierbare Firewall besitzen.

Nachfolgend ist ein schulgeeigneter Hardware-Router beschrieben.

Datenblatt Internetzugangsrouten		
Mindestkriterien: Werte für LAN-Schnittstellen, WAN-Schnittstellen, Routing-Durchsatz		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Werte
Konfiguration	Die übliche Konfiguration erfolgt über ein Webinterface des Routers. Ein Konsolenanschluss ermöglicht einen Zugang unabhängig von der IP-Konfiguration. Neue Technologien setzen auf die Möglichkeit einer cloudbasierten Konfiguration der Geräte.	Konfiguration über ein Webinterface
LAN-Schnittstellen	4 x 1 Gigabit-Ethernet-Ports, die als Router-Ports in unterschiedliche Netze getrennt werden können (z. B. Unterrichtsnetz, Lehrernetz, Verwaltungsnetz). Einzelne LAN-Ports können in Verbindung mit einem externen Modem auch als zusätzliche WAN-Schnittstellen geschaltet werden (z. B. für Load-Balancing).	4 x 1 GBit/s-Ethernet-Ports, als Router-Ports konfigurierbar

WAN-Schnittstellen	Eine oder mehrere WAN Gigabit-Ethernet-Schnittstellen, konfigurierbar für externes Modem (z. B. PPPoE, je nach Provider) z. B. DSL-Schnittstelle mit integriertem Modem für ADSL/ADSL2+, VDSL, SDSL (Annex B/J), LWL	1 zur WAN-Technologie kompatible Schnittstelle (z. B. DSL, Kabel, Ethernet)
VLANs	Zusätzlich zu den physikalischen Schnittstellen lassen sich Subinterfaces bzw. VLANs konfigurieren, über die weitere Teilnetze angesprochen werden können.	Unterstützung von VLANs nach 802.1q, Routing zwischen VLANs
Firewall	Eine Stateful-Inspection-Firewall ermöglicht die richtungsabhängige Paketfilterung und Überwachung des Status der einzelnen Verbindung. Die Firewall muss konfigurierbar sein nach Quelle, Ziel und Dienst (IP-Adressen, Schnittstellen, Ports).	Stateful Inspection Firewall, konfigurierbar nach Quelle, Ziel, Dienst
Routing-Durchsatz	Wenn der Router auch zur Trennung verschiedener Netze (z. B. Unterrichtsnetz, Lehrernetz, Verwaltungsnetz) eingesetzt werden soll, sollte der Durchsatz entsprechend höher sein.	Routing-Durchsatz mind. 800 MBit/s
VPN	VPN-Verbindungen (über IPSEC, SSL oder L2TP) ermöglichen einen sicheren Remote-Zugriff über das Internet (z. B. zur Fernwartung, Anschluss einer Zweigstelle, Remote-Zugriff einzelner Lehrkräfte). Gegebenenfalls ist eine eigene VPN-Client-Software erforderlich. Wenn viele gleichzeitige VPN-Verbindungen nötig sind, erfordert dies einen leistungsstärkeren (und teureren) Router.	Unterstützung von 5 gleichzeitigen VPN-Verbindungen über IPSEC
Zusatzfunktionen	Weitere Zusatzfunktionen (DNS Relay bzw. DNS Proxy, DHCP, Dynamisches DNS) sind üblicherweise an allen Routern integriert.	DHCP-Server für alle Teilnetze, DNS-Relay
Jugendschutzfilter	Viele Internetzugangsroutern bieten eine Unterstützung für die Nutzung eines Jugendschutzfilters (Webfilter auf DNS-Basis). Dieser muss üblicherweise eigens lizenziert werden.	

Votum 2020

Hotspot-Gateway	Einige Router bieten ein Hotspot-Gateway an (z. B. für ein Schüler- oder Gäste-WLAN). Die Authentifizierung erfolgt über einen Radius-Server, der ggf. lizenziert werden muss.	
Montage	19"-Zoll-Gerät zum Einbau in einem Rack bzw. Tischgerät	19"-Gerät bzw. 19"-Einbaurahmen
Garantie		mindestens 3 Jahre Garantie
Service	Der Hersteller sollte über eine gut gepflegte (eventuell deutschsprachige) Internetpräsenz verfügen und darüber kostenlos Firmware-Updates, Datenblätter und Zusatzinfos (z. B. Konfigurationsbeispiele) anbieten.	Kostenfreie Versorgung mit Firmware-Updates
Preis	VPN-Router (z. B. 100 gleichzeitige VPN-Verbindungen) oder Router mit höheren Routing-Bandbreiten können erheblich teurer sein.	ab 200 €

München, Juli 2020

gez.
Georg Schlagbauer
Studiendirektor