



Empfehlungen zur IT-Ausstattung von Schulen

Votum 2022

**Beraterkreis zur IT-Ausstattung von Schulen
des Bayerischen Staatsministeriums für
Unterricht und Kultus**

Votum 2022

Erarbeitet von Vertretern folgender Institutionen:

Bayerisches Staatsministerium für
Unterricht und Kultus

Akademie für Lehrerfortbildung und
Personalführung

Staatsinstitut für Schulqualität und
Bildungsforschung
und erfahrenen Lehrkräften

München, Juli 2022

Herausgeber: Bayerisches Staatsministerium für
Unterricht und Kultus
Salvatorstraße 2
80333 München
<https://www.km.bayern.de>

Akademie für Lehrerfortbildung
und Personalführung
Kardinal-von-Waldburg-Str. 6-7
89407 Dillingen
<https://alp.dillingen.de>

Bezug: Das Votum 2022 ist im Internet unter der Adresse
<https://www.mebis.bayern.de/votum> abrufbar.

Grußwort



© Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus.

Digitale Kompetenzen eröffnen Zukunftschancen. Die Befähigung zur aktiven, mündigen und erfolgreichen Teilhabe unserer Schülerinnen und Schüler in unserer digitalen Welt ist eine zentrale Bildungs- und Erziehungsaufgabe.

Unsere Antwort auf eine zunehmend vernetzte Welt heißt vernetzte Bildung: Sie rückt die Interaktion von Lernenden und Lehrenden in den Mittelpunkt und beruht auf dem Zusammenwirken der ganzen Schulgemeinschaft. Bei der vernetzten Bildung fließen digitale und analoge Formen des Lernens zusammen und ermöglichen den Schülerinnen und Schülern einen größeren Lernerfolg.

Eine Grundvoraussetzung für vernetzte Bildung ist eine zeitgemäße technische Ausstattung an unseren Schulen. Schulaufwandsträger, Schulen und der Freistaat arbeiten intensiv zusammen, um für unsere Schülerinnen und Schüler die bestmögliche Lernumgebung zu schaffen.

Das vorliegende VOTUM leistet dazu einen wichtigen Beitrag, denn es greift aktuelle technische Entwicklungen auf und bezieht diese auf einen lernförderlichen und praktikablen Einsatz in der Schule. Aus dieser doppelten Perspektive von Technik und Pädagogik können wir mit dem aktualisierten VOTUM die stetige Verbesserung der schulischen IT-Landschaft an unseren Schulen im Freistaat weiter vorantreiben.

Den Mitgliedern des Beraterkreises zur IT-Ausstattung von Schulen danke ich herzlich für ihren Einsatz, ihre fachkundige Expertise und die vielen innovativen Ideen. Den Leserinnen und Lesern wünsche ich eine lohnende Lektüre des VOTUM 2022 und viele Impulse für die Gestaltung der digitalen Bildung an unseren Schulen.

München, im Juli 2022

Prof. Dr. Michael Piazzolo

Bayerischer Staatsminister

für Unterricht und Kultus

Grußwort.....	3
1. Konzeption und Planung von Schulnetzen	6
a) Konzeption von Schulnetzen.....	6
b) Verortung der Dienste und Ressourcen	8
c) Planung von IT-Systemen in der Schule	11
2. Beschaffung von schulischen IT-Systemen	13
a) Beschaffung von IT-Systemen	13
b) Gewährleistung und Garantie	15
c) Nutzungsdauer	15
d) gebrauchte Hardware	16
e) Leasing	16
3. Betreuung und Administration von schulischen IT-Systemen	16
a) Pädagogische Systembetreuung und technische IT-Administration an den Schulen.....	16
b) Einordnung der Supportanfragen nach Supportlevel.....	17
c) Administrative Aufgaben der technischen IT-Administration.....	19
d) Beratungs- und Fortbildungsangebote	20
e) Nutzungsordnung.....	21
4. Das digitale Klassenzimmer	22
a) Digitale Großbilddarstellung	23
b) Kamera	23
c) Analoge Tafel.....	24
d) Digitale Geräte für Schülerinnen und Schüler	24
e) Videokonferenzsysteme.....	27
f) Computer- und andere Fachräume	28
g) Sonderpädagogischer Förderbedarf und Inklusion.....	28
5. Cloudbasierte Anwendungen.....	29
a) BayernCloud Schule (ByCS).....	29
b) Fortbildungsangebot zur BayernCloud Schule	32
6. Weitere Einsatzbereiche von schulischen IT-Systemen.....	32
a) Unterrichtsbezogene Nutzung frei zugänglicher Computer für Schülerinnen und Schüler.....	32
b) Lehrerzimmer.....	33
c) Ausstattung für die Seminarausbildung.....	33
d) IT-Systeme für die Schulverwaltung.....	33
7. Vernetzung der Rechner, Schulhausvernetzung	34
a) Ethernet-Verkabelung (LAN)	35
b) Funknetz (WLAN)	37
c) Logische Trennung des lokalen Netzes in Teilnetze	39
8. Verbindung mit dem Internet	40
a) Internetzugang.....	40
b) Internetzugangsrouten mit Firewall	42
c) Webfilter	42

9. Auswahlkriterien für schulische IT-Systeme	44
a) Arbeitsplatzcomputer	44
b) Monitore.....	44
c) Notebooks.....	45
d) Tablets.....	45
e) Weitere Bauformen von Computern	46
f) Betriebssysteme für Arbeitsplatzcomputer, Notebooks und Tablets	46
g) Server und Serverbetriebssysteme, NAS.....	48
h) Terminalserver-Systeme	48
i) Software	49
j) Grundsätzliche Auswahlkriterien für Großbilddarstellungen	49
k) Interaktive Großbildmonitore	50
l) Beamer	51
m) Drahtlose Bildschirmübertragung	51
n) Extended Reality (XR)	53
10. Hardware-Spezifikationen für schulische IT-Systeme	53
a) Arbeitsplatzcomputer	53
b) Monitore.....	57
c) Notebooks.....	58
d) Tablets.....	63
e) Thin Clients.....	69
f) Server.....	70
g) NAS-Systeme	73
h) Beamer	79
i) Großbildmonitore	81
j) Dokumentenkameras.....	85
k) Drucker.....	86
l) 3D-Drucker	88
m) Strukturierte Gebäudeverkabelung	89
n) Access-Points	89
o) WLAN-Controller.....	92
p) Ethernet-Switches.....	93
q) Internetzugangsrouten	96
r) USB-Ladestation (Lade-Hub)	99
11. Weiterführende Literaturhinweise	101

Eine an pädagogischen Zielsetzungen orientierte IT-Ausstattung der Schulen ist eine wesentliche Voraussetzung zur Förderung der Medienkompetenz von Schülerinnen und Schülern und für den Einsatz digitaler Medien im Unterricht. Das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus will die Schulen und die für die IT-Ausstattung der Schulen zuständigen Schulaufwandsträger mit dem Votum in die Lage versetzen, Neuausstattungen und Ersatzbeschaffungen in bestmöglicher Weise vorzunehmen und den Schulen eine Orientierung bei der Erweiterung der schulischen Ausstattung und bei der Nutzung neuer Techniken geben.

1. Konzeption und Planung von Schulnetzen

Die Beschaffung von IT-Systemen, die für die Schule geeignet sind, muss unter Berücksichtigung der Anforderungen aus den schulspezifischen Zielen und Einsatzszenarien vorbereitet und entschieden werden. Die allgemeinen schulartübergreifenden Ziele und Inhalte der Medienerziehung und informationstechnischen Bildung sind in der Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus vom 24. Oktober 2012 Az.: III.4-5 S 1356-3.18-725 „Medienbildung – Medienerziehung und informationstechnische Bildung in der Schule“ festgehalten

(siehe <https://www.verkuendung-bayern.de/amtsblatt/dokument/kwmb1-2012-22-357/>).

Rechtliche Hinweise und Ausführungen zur Datensicherheit finden sich insbesondere in der Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus vom 14. Juli 2022 Az.: I.3-BO4000.0/45/59 „Hinweise zur Nutzung der IT-Infrastruktur und des Internetzugangs an Schulen (Schulische IT-Infrastruktur und Internetzugang)“ (siehe <https://www.verkuendung-bayern.de/baymb1/2022-436/>).

a) Konzeption von Schulnetzen

Die Konzeption eines Schulnetzes beeinflusst nachhaltig die pädagogische Arbeit der Lehrkräfte, des sonstigen pädagogischen Personals, die Nutzung durch die Schülerinnen und Schüler sowie die Art und den Umfang der administrativen Tätigkeiten in der Schule. Das Schulnetz muss deshalb insbesondere nach pädagogischen, didaktischen und auch rechtlichen Überlegungen konzipiert werden. Es stellt die technische Basis zur Umsetzung des Medienkonzepts dar.

Die Konzeption des Schulnetzes ist eine zentrale Aufgabe der Schule (Schulleitung, pädagogische Systembetreuung, Datenschutzbeauftragter, Lehrerkollegium, Medienkonzept-Team) in Zusammenarbeit mit dem Schulaufwandsträger.

Die nachfolgend aufgeführten IT-Strukturen sind in Schulen vorhanden. Abwandlungen und Mischformen ergeben sich aus den Anforderungen der jeweiligen Einsatzumgebung. Es wird darauf hingewiesen, dass keine pädagogische oder rechtliche Würdigung mit der folgenden Darstellung einhergeht. Rechtliche, insbesondere datenschutzrechtliche Aspekte, die bei der Planung von IT-Systemen an der Schule beachtet werden müssen, sind in 1.c) unter „Datenschutzrechtliche Aspekte bei Planung und Einsatz von IT-Systemen“ dargestellt.

Grundlegendes zur Netzwerkstruktur

Die dem Schulnetz zugrundeliegende Netzwerkstruktur bestimmt im Wesentlichen die Funktionalität sowie die Sicherheit im Netz und in den einzelnen Teilnetzen:

- Aufbau eines Netzwerks nach den gängigen Richtlinien (Primär-, Sekundärverkabelung in Glasfaser, Tertiärverkabelung in Kupfer, flächendeckendes WLAN) (siehe Kapitel 7: Vernetzung der Rechner, Schulhausvernetzung)
- Trennung von Verwaltungsnetz und Unterrichtsnetz z. B. logisch mit VLANs- oder über separate Internetanschlüsse
- Ggf. weitere Segmentierung in Teilnetze beziehungsweise VLANs, falls dies erforderlich ist (z. B. Unterrichtsnetz, Lehrernetz, WLAN-Netze für Lehrkräfte, Unterricht/BYOD, Gäste etc.)
- Definierte Übergänge zwischen den einzelnen Teilnetzen über entsprechende Firewall-Regeln (z. B. vom Verwaltungsnetz ins Unterrichtsnetz)
- Breitbandiger Internetanschluss (siehe Kapitel 8: Verbindung mit dem Internet)

Verwaltungsnetz

Im Verwaltungsnetz wird mit sensiblen und personenbezogenen Daten gearbeitet. Diese werden vollständig oder zum Teil dort gespeichert (z. B. auf einem Server innerhalb der Verwaltung).

Das Verwaltungsnetz ist ein besonders geschütztes Netzwerk, in dem entsprechende Sicherheitsrichtlinien gelten, z. B. Zugang nur über individuelle Benutzerauthentifizierung mit klar geregelten Zugriffsrechten und einer physischen Zutrittskontrolle zum Verwaltungsbereich der Schule. Es können noch weitere strengere Sicherheitsrichtlinien definiert werden, z. B. kein WLAN-Zugang zum Verwaltungsnetz.

Das Verwaltungsnetz benötigt Zugang zum Internet. Gegebenenfalls können einzelne Verwaltungsdienste (z. B. ASV) in eine Cloud oder zu einem externen Dienstleister ausgelagert werden. In diesem Fall ist ein entsprechender Auftragsverarbeitungsvertrag (AVV) nach Art. 28 DSGVO notwendig.

Externer Zugang zum Verwaltungsnetz

Ein externer Zugang zum Verwaltungsnetz kann unter Berücksichtigung entsprechender Sicherheitsrichtlinien gewährt werden (z. B. VPN-Zugang mit Zwei-Faktor-Authentifizierung).

Unterrichtsnetz

Im Unterrichtsnetz stehen Verfügbarkeit und Ermöglichung möglichst vielfältiger Einsatzszenarien und unterrichtlicher Methoden im Vordergrund. Nicht erforderliche Restriktionen beim Zugang sind in diesem Netz hinderlich und können das pädagogische Wirken beeinträchtigen. Die Verzahnung von häuslichem oder mobilem Arbeiten und Präsenzunterricht soll problemlos möglich sein.

Zentral angebotene Dienste, z. B. innerhalb der BayernCloud Schule, erweitern die pädagogischen Möglichkeiten und entlasten zugleich die pädagogische Systembetreuung und Schulaufwandsträger. Dazu ist es nötig, dass die Schule über einen möglichst breitbandigen und unkomplizierten Zugang zum Internet verfügt.

Authentifizierung

Schülerinnen, Schüler und Lehrkräfte sowie sonstiges pädagogisches Personal können mit schuleigenen oder privaten Geräten über das Netzwerk der Schule auf das Internet zugreifen. Eine individuelle Authentifizierung im Netzwerk der Schule ist dazu nicht notwendig. Eine benutzerbezogene Anmeldung kann innerhalb der Schule sinnvoll sein, wenn auf Ressourcen und Dienste (z. B. Schulserver) innerhalb der Schule zugegriffen werden soll.

Die Authentifizierung bei Cloud-Diensten erfolgt, sofern dies notwendig ist, wenn darauf zugegriffen wird. Die Angebote der BayernCloud Schule verfügen über eine zentrale Nutzerauthentifizierung (Single Sign-On). Die Datensicherheit wird durch den Anbieter gewährleistet und vertraglich vereinbart.

Protokollierung

Eine umfassende Protokollierung der Aktivitäten der Schülerinnen und Schüler, der Lehrkräfte sowie des sonstigen an der Schule tätigen Personals innerhalb der Schule wird in der Regel nicht notwendig sein und ist in den meisten Fällen auch nicht sinnvoll (z. B. Protokollierung der Internetzugriffe). Falls diese dennoch erfolgen soll, muss die datenschutzrechtliche Zulässigkeit nach üblichen Kriterien wie Zweck, Erfordernis, Erlaubnis und Datensparsamkeit gewährleistet sein.

Innerhalb der genutzten Clouddienste kann eine Protokollierung der Schüleraktivitäten erfolgen (z. B. Protokollierung der Anmeldeversuche oder Protokollierung von Lernaktivitäten). Dies ist üblicherweise in den Nutzungsbedingungen des Clouddienstes geregelt.

Zugang zum WLAN

Wenn der Zugang zum WLAN ausschließlich dem Internetzugriff dient, sind keine erhöhten Sicherheitsanforderungen notwendig. Es genügt z. B. eine WPA2/WPA3-Verschlüsselung mit einem gemeinsamen Schlüssel (Pre-Shared Key). Eine zusätzliche Authentifizierung mit persönlichen Zugangsdaten ist nicht notwendig. Der gemeinsame Schlüssel kann innerhalb der Schule bekannt gegeben werden und sollte regelmäßig, z. B. jährlich, geändert werden.

Internetzugang mit Webfilter

Der Zugang zum Internet sollte möglichst frei und ohne merkliche Beeinträchtigung möglich sein. Gleichzeitig ist es geboten, dass bspw. jugendgefährdende Inhalte und Schadsoftware (z. B. Phishing-Requests, Malware und Command and Control Requests) aus dem schulischen Netz gehalten werden. Dies kann über eine entsprechende Firewall und eine DNS-Filterung sichergestellt werden.

b) Verortung der Dienste und Ressourcen

Grundlegend bei der Konzeption oder Weiterentwicklung von Schulnetzen ist die Entscheidung, wo die (personenbezogenen) Daten gespeichert und verarbeitet werden sollen. Die Auslagerung zu externen Anbietern oder in eine Cloud kann die Verfügbarkeit und IT-Sicherheit erhöhen sowie für eine Entlastung der pädagogischen

Systembetreuung sowie Schulaufwandsträger sorgen. Bei einer Auslagerung sind die entsprechenden datenschutzrechtlichen Regelungen, z. B. der Abschluss eines Auftragsverarbeitungsvertrags (Art. 28 DSGVO), zu beachten.

Lokale Strukturen

Netzwerke in Unternehmen oder Behörden stellen alle erforderlichen Ressourcen innerhalb des eigenen Netzwerks bereit. Berechtigungen werden je nach Aufgabenbereich sehr differenziert vergeben, unternehmensfremde Personen oder Geräte sind nicht zugelassen. Ein Zugriff von außen auf die internen Ressourcen erfolgt ggf. über einen VPN-Zugang. Diese Netzwerke bieten ein hohes Maß an Sicherheit, gleichzeitig ist ihre Verwaltung aufwändig und erfordert grundlegende Expertise.

An Schulen sind Netzwerke, die an diese lokalen Strukturen angelehnt sind, meist in Form von Windows-Domänen-Netzwerken realisiert. Es gibt üblicherweise für alle Benutzerinnen und Benutzer personenbezogene Accounts, die den Zugriff auf die internen Ressourcen ermöglichen.

Offene Strukturen

Lehrkräfte, Schülerinnen und Schüler arbeiten am Computer vielfach zu Hause bzw. mobil. Sie sollen sowohl Daten als auch Geräte in der Schule und am Heimarbeitsplatz nutzen können.

In diesem Fall ist für den Einsatz lehrer- oder schülereigener mobiler Endgeräte im Unterrichtsnetz eine Öffnung der schulischen IT-Strukturen erforderlich. Gleichzeitig kann man die Ressourcen und den Administrationsaufwand in der Schule reduzieren, wenn man davon ausgeht, dass die persönlichen Daten von Lehrkräften, des sonstigen pädagogischen Personals oder von Schülerinnen und Schülern primär auf persönlichen Geräten oder gegebenenfalls auf einer Plattform im Internet verarbeitet werden, die den Anforderungen an Datenschutz und Datensicherheit genügt. In der schlankesten Form einer offenen schulischen IT-Struktur stellt die Schule nur noch die Netzwerkinfrastruktur mit WLAN und einem Internetzugang zur Verfügung. Die Nutzung der Infrastruktur, z. B. einer Lernplattform, erfolgt innerhalb des rechtlichen Rahmens nach den pädagogischen Festlegungen der Schule bzw. der verantwortlichen Lehrkraft.

Cloudbasierte Strukturen

Der Cloud-Begriff wird heute allgemein für die Nutzung von Ressourcen im Internet oder in anderen Netzwerken verwendet. Daten, Rechenleistung und Programme befinden sich nicht auf dem Endgerät, sondern in der Regel auf einem externen Server (z. B. Datenspeicher in einem Rechenzentrum, Lernplattformen, Schul-Cloud, Webanwendungen, Chat- und Videokonferenzsysteme). Die Nutzung schulexterner Cloudstrukturen kann durch die Schule so ausgestaltet werden, dass sie ihrer organisatorischen und rechtlichen Verantwortung gerecht wird, wie z. B. bei der Nutzung der BayernCloud Schule.

Viele Ressourcen sind mittlerweile im Internet verfügbar, die orts- und zeitunabhängig von Schülerinnen, Schülern, Lehrkräften und dem sonstigen pädagogischen Personal genutzt werden können. Beispiele dafür sind Möglichkeit, Daten untereinander zu teilen, oder Kalender mit der Möglichkeit, gemeinsame Termine zu vereinbaren. E-Mail,

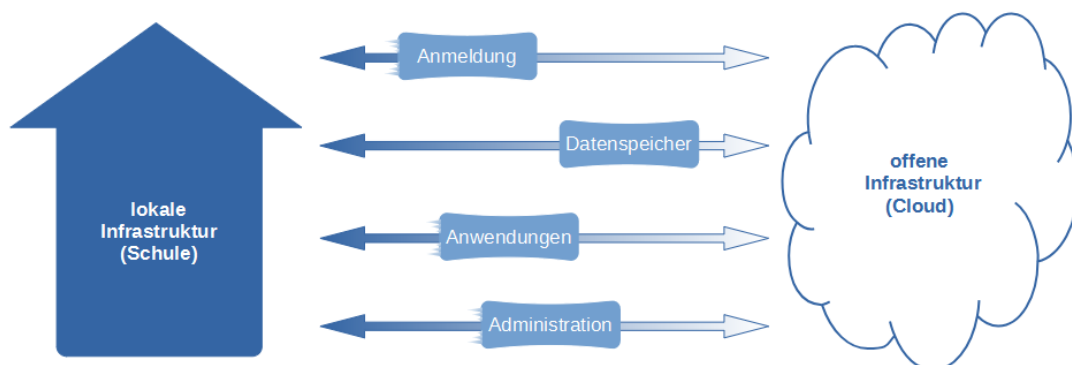
Messenger, Online-Office-Anwendungen und Videokonferenzsysteme sowie multifunktionale Kollaborationsplattformen ermöglichen sowohl eine synchrone als auch asynchrone Kommunikation und Zusammenarbeit über das Internet.

Cloud-Lösungen zeichnen sich durch eine flexible Skalierbarkeit aus: Zusätzliche Rechenleistung, weiterer Speicherplatz oder weitere Anwendungen können zeitlich variabel genutzt werden. Der Aufwand für schulinterne Serverbereitstellung, Backup, Klimatisierung, Stromversorgung sowie Administration ist aus Sicht der Schule und des Schulaufwandsträgers deutlich reduziert.

Für die sinnvolle Nutzung von cloudbasierten Strukturen ist eine gut ausgebaute interne Netzstruktur mit flächendeckendem WLAN und eine breitbandige Internetverbindung erforderlich.

Hybride Strukturen

Ein Schulnetz entwickelt sich entsprechend den pädagogischen Anforderungen und technischen wie rechtlichen Möglichkeiten weiter. Aufgrund der unterschiedlichen Ausprägungen sind Mischformen bzw. Abwandlungen der obigen Strukturen möglich. Hybride Strukturen kombinieren bewährte Funktionen und Eigenschaften aus beiden Grundstrukturen, z. B. Domäne mit lokaler Nutzung und Cloudcomputing. Dabei können einzelne Komponenten des Schulnetzes entweder mehr dem Bereich der lokalen Infrastruktur (links) oder dem Bereich des Cloudcomputings (rechts) zugeordnet und situativ angepasst werden.



Eine hybride Schulnetzstruktur stellt eine Mischform aus lokalen Strukturen und offenen, cloudbasierten Strukturen dar.

Beispiel für ein hybrides Unterrichtsnetz:

Das folgende Konfigurationsbeispiel eines hybriden Schulnetzes ist in seinen Ausprägungen in beide Richtungen anpassbar, d. h., dass die Infrastruktur agil in Richtung lokaler Strukturen, aber auch in Richtung cloudbasierter Strukturen verändert werden kann:

- Klassische Client/Server-Architektur für alle stationären Geräte in der Schule
- individuelle Anmeldung nur für Lehrkräfte mit Zugriff auf Home-Laufwerk und Drucker-Anbindung
- drahtloser Zugriff mit mobilen Endgeräten auf ein lokales Tauschlaufwerk und das Internet

- breitbandiger Internetzugang für alle Lehrkräfte und Schülerinnen und Schüler
- Lehrkräfte, das sonstige pädagogische Personal, Schülerinnen und Schüler nutzen cloudbasierte Kollaborations- und Kommunikationswerkzeuge und Lernplattformen.
- Das Modell des hybriden Schulnetzes kombiniert bewährte Funktionen und Eigenschaften aus beiden Grundstrukturen: Domäne mit lokaler Nutzung und Cloudcomputing. Es kann zudem als eine Übergangslösung von klassischen lokalen Strukturen hin zu cloudbasierten Strukturen verstanden werden.

IT-Systemlösungen für Schulen

Für Schulen wird eine Fülle von IT-Systemlösungen angeboten. Die Produkte bieten eine Vielzahl an Funktionen an, um unabhängig von der Schulart allen Bedürfnissen und Anforderungen gerecht zu werden. Auch wenn die einzelne Schule unter Umständen nur einen kleinen Teil des Funktionsumfangs nutzt, sind Systemlösungen häufig sehr komplex. Gegebenenfalls entsteht eine langfristige Bindung an ein Produkt und den dazugehörigen Support. Zur Umsetzung eines weiterzuentwickelnden Medienkonzepts ist es für eine Schule jedoch wichtig, flexibel und offen für Entwicklungen, Ergänzungen und Anpassungen zu sein. Der Weg hin zu cloudbasierten Kollaborations- und Kommunikationswerkzeugen, der mit der BayernCloud Schule umgesetzt wird, darf dabei durch die Systemumgebung nicht behindert werden.

c) Planung von IT-Systemen in der Schule

Schulisches Medienkonzept

Aus dem schulischen Medienkonzept (siehe <https://www.mebis.bayern.de/medienkonzepte>) leitet sich ab, wie im Schulnetz gearbeitet wird und welche Ressourcen die Lehrkräfte, das sonstige pädagogische Personal, Schülerinnen und Schüler für die unterrichtliche und außerunterrichtliche Arbeit im Schulhaus sowie zur Vor- und Nachbereitung zu Hause benötigen. Über den Ausstattungsplan wird die Ausstattung mit Arbeitsplatzcomputern und Servern, die Nutzung von mobilen Endgeräten, der Anmeldeprozess und der Zugang zu lokalen oder cloudbasierten Daten und Diensten festgelegt. Die technische Umsetzung eines Schulnetzes nach einer bestimmten IT-Struktur (siehe Kapitel 1.a) „Konzeption von Schulnetzen“) muss sich vor allem an den pädagogischen Zielen der Schule orientieren, wie sie im Mediencurriculum des Medienkonzepts beschrieben werden. Das schulische Medienkonzept hat damit weitreichende Auswirkungen auf die unterrichtlichen Abläufe bzw. die Arbeit der Schülerinnen, Schüler, Lehrkräfte und des sonstigen pädagogischen Personals sowie die Ausgestaltung der pädagogischen und der technischen IT-Administration durch die Schule bzw. den Schulaufwandsträger.

Zur Entlastung der IT-Administration durch die Schulaufwandsträger und zum schulübergreifenden Austausch der pädagogischen Systembetreuerinnen und Systembetreuer kann es von Vorteil sein, wenn mehrere Schulen im Zuständigkeitsbereich eines Schulaufwandsträgers mit einheitlichen IT-Systemen unter Berücksichtigung der schulart- bzw. schulspezifischen Besonderheiten ausgestattet werden.

Lehr- und lernförderliche Arbeitsumgebungen

Die Konzeption und Ausstattung der Klassenzimmer legen grundlegend fest, wie im einzelnen Klassenzimmer mit digitalen Medien und Werkzeugen gearbeitet werden kann und welche Arbeitsformen damit im Zusammenspiel mit der übrigen Klassenzimmergestaltung (z. B. Tischformen, flexible Pinnwände, Tafelanordnung) unterstützt werden.

Die Gestaltung und Ausstattung der Unterrichtsräume sollen teambasierte und kompetenzorientierte Lern- und Arbeitsprozesse unterstützen und unterschiedliche didaktisch begründete Lern- und Sozialformen wie Partner- und Gruppenarbeit unter Nutzung digitaler Instrumente ermöglichen.

Datenschutzrechtliche Aspekte bei Planung und Einsatz von IT-Systemen

- Bei Einführung bzw. Änderung eines IT-Systems ist stets die Datenschutzbeauftragte bzw. der Datenschutzbeauftragte der Schule miteinzubeziehen. Insbesondere ist ihr bzw. ihm Gelegenheit zur Stellungnahme vor dem erstmaligen Einsatz oder einer wesentlichen Änderung eines automatisierten Verfahrens, mit dem personenbezogene Daten verarbeitet werden, zu geben (Art. 12 Abs. 1 BayDSG).
- Werden Verfahren eingesetzt, bei denen personenbezogene Daten verarbeitet werden, müssen diese von der Schule in der Regel nach Art. 30 DSGVO bei der Beschreibung von Verarbeitungstätigkeiten im Verarbeitungsverzeichnis der Schule berücksichtigt werden. Weiterhin muss die Schule bei der Erhebung personenbezogener Daten grundsätzlich die Informationspflichten nach Art. 13 bzw. Art. 14 DSGVO sicherstellen.
- In der Regel werden zwischen Schulen und Cloud-Anbietern AVVe (Auftragsverarbeitungsverträge) geschlossen. Es empfiehlt sich, die entsprechenden Verträge insbesondere darauf zu überprüfen, dass der Dienstleister die bei ihm gespeicherten personenbezogenen Daten nicht für eigene Zwecke, sondern nur im Auftrag und im Rahmen der Weisungen der Schule verarbeitet, diesbezüglich Verschwiegenheit zusagt und nach Ende der Vereinbarung die Daten löscht oder sie an die Schule zurückgibt (vgl. Art. 28 DSGVO).
- Daneben ist bei der Planung und dem Einsatz von Verarbeitungsverfahren wie cloudbasierten Anwendungen auf §46 BaySchO mit Anlage 2 zu achten.
- Bei der (nur ausnahmsweise zulässigen) Nutzung von lehrereigenen Endgeräten ist in datenschutzrechtlicher Hinsicht zu beachten, dass die Schule für schulische Datenverarbeitungen verantwortlich bleibt (Art. 4 Nr. 7 DSGVO). Diese Verantwortung besteht auch dann, wenn Lehrkräfte dienstliche Daten auf ihren Privatgeräten verarbeiten.
- Allgemein ist unter dem Aspekt der Datensparsamkeit darauf zu achten, dass die Zahl der beauftragten Dienstleister bzw. Anbieter möglichst geringgehalten wird.
- Die Anforderungen an eine zulässige Verarbeitung personenbezogener Daten außerhalb der EU bzw. des EWR-Raums sind noch nicht abschließend durch die Datenschutzaufsichtsbehörden geklärt, vgl. zur Thematik des Drittlandtransfers z. B. die Ausführungen des Bayerischen Landesbeauftragten für den Datenschutz in dessen 31. Tätigkeitsbericht, Kap. 2.2 (abrufbar unter BayLfD, 31. Tätigkeitsbericht,

<https://www.datenschutz-bayern.de/tbs/tb31/k2.html#2.2>) sowie 39. Aktuelle Kurzinformation (AKI) des Bayerischen Landesbeauftragten für den Datenschutz (LfD) „Office-Anwendungen aus Drittstaaten bei bayerischen öffentlichen Stellen“ (siehe <https://www.datenschutz-bayern.de/datenschutzreform2018/aki39.html>).

Planungsteam

Zur Vorbereitung von Investitionsmaßnahmen im IT-Bereich wird empfohlen ein Planungsteam einzurichten. Es sollte dazu mindestens aus Vertretern der Schulleitung, des Schulaufwandsträgers und der pädagogischen Systembetreuung der Schule bestehen. Das Planungsteam der Schule orientiert sich am bestehenden Ausstattungsplan des Medienkonzepts, prüft Realisierungsmöglichkeiten und beobachtet die konkrete Umsetzung. Insbesondere bei komplexeren Planungen im Bereich vernetzter Systeme (Schulhausvernetzung) sollen auch schulexterne Experten (z. B. Beratung digitale Bildung, IT-Experten des Schulaufwandsträgers, externe Dienstleister) in die Planung eingebunden werden. Die Feinplanung, technische Spezifikation und konkrete Umsetzung erfolgen durch den zuständigen Schulaufwandsträger bzw. den von ihm beauftragten Dienstleister in Abstimmung mit Vertretern der Schule.

Bei Bedarf wird der Ausstattungsplan des Medienkonzepts angepasst. Unterstützende Materialien zur Evaluation, Überarbeitung und Weiterentwicklung der Medienkonzepte im Rahmen der inneren Schulentwicklung sind abrufbar unter <https://www.mebis.bayern.de/mk/p/2853>.

Beratung und Unterstützung

Die informationstechnische bzw. medienpädagogische Beratung digitale Bildung kann die Schulen und die Schulaufwandsträger bei der Konzeption und Planung der Schulnetze sowie bei der Inanspruchnahme diverser staatlicher Förderprogramme beraten und unterstützen (siehe <https://www.mebis.bayern.de/infoportal/bdb>).

2. Beschaffung von schulischen IT-Systemen

a) Beschaffung von IT-Systemen

Bei IT-Beschaffungen für den Unterrichtsbereich stehen die methodisch-didaktischen und medienpädagogischen Ziele der jeweiligen Schule im Vordergrund. Unbenommen der fachlich-pädagogischen Empfehlungen in diesem Votum bedarf es bei einer konkreten Beschaffungsmaßnahme im Einvernehmen mit dem Schulaufwandsträger einer Ausschreibung gemäß den gesetzlichen Bestimmungen. Zu beachten sind dabei rechtliche Aspekte, z. B. des Förder-, Vergabe-, Lizenz-, Vertrags- und Datenschutzrechts. Eine Beschaffung, die sich ausschließlich auf die fachlichen Empfehlungen dieses Votums stützt, kann im Einzelfall zu rechtlichen Problemen führen.

Auf folgende weitere Aspekte ist bei der Beschaffung von IT-Systemen zu achten:

- Auf Wirtschaftlichkeit und Administrierbarkeit der Systeme sollte im Dialog mit dem Schulaufwandsträger geachtet werden. Ebenso sollte man die im Kollegium vorhandene Erfahrung berücksichtigen.
- Bei Neuanschaffungen sollte das komplette IT-System einschließlich einiger Ersatzgeräte beschafft werden. So ist es z. B. sinnvoll, schulische Einheiten in einem Zug vollständig mit identischer Hardware und Software auszustatten.
- Bei einer Beschaffungsmaßnahme sollten ergänzende Dienstleistungen wie Garantien, rascher Austausch, qualifizierte Betreuung, Installation oder Administrationshilfen in die Kaufentscheidung mit einbezogen werden.
- Der betreuende Fachhändler sollte über genügend Fachkompetenz und Erfahrung mit schulischen IT-Systemen verfügen. Unabhängig von den verschiedenen Organisationsformen der technischen IT-Administration sollen eine vollständige Installation, ein formelles Abnahmeprotokoll sowie ein längerfristig verfügbarer technischer Vor-Ort-Support mit einer angemessen kurzen Reaktionszeit gewährleistet sein.

Ergonomische Anforderungen, die Einhaltung von Umwelt-, Arbeits- und Sozialstandards sowie Nachhaltigkeitsanforderungen sollten beachtet werden:

- Geräuscentwicklung (Arbeitsplatzcomputer, Notebooks, Beamer und Drucker)
- Tastatur mit geneigtem und leicht bedienbarem Tastaturfeld mit leisem Anschlag und Tastenhub, geeignet zum Tastschreiben
- Bildschirm mit matter Oberfläche, Höhe und Neigung verstellbar
- Drucker mit geringer Feinstaubemission, insbesondere in Büro- oder Unterrichtsräumen oder bei hohem Druckaufkommen
- Einhaltung von Arbeits- und Sozialstandards (siehe Kapitel 11: Weiterführende Literaturhinweise: „Ergonomie und Nachhaltigkeit“)
- Umweltfreundliches Material von Verpackungen mit Rücknahme und fachgerechter Entsorgung durch den Anbieter
- Rücknahme von Altgeräten durch den Lieferanten entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen mit Rücknahme und fachgerechter Entsorgung durch den Anbieter
- Umweltprüfzeichen (siehe auch Kapitel 11, Weiterführende Literaturhinweise: „Ergonomie und Nachhaltigkeit“)
 - „Blauer Engel“ ist ein Umweltprüfzeichen mit Kriterien zu Energieverbrauch, Materialanforderungen, Recyclingfähigkeit und Geräuschemission. Heute findet man den Blauen Engel fast ausschließlich nur noch bei Druckern.
 - „Energy Star“ ist ein Prüfsiegel der USA, das häufig anzutreffen ist, aber auf EU-Ebene keine Berücksichtigung mehr findet.
 - „TCO Certified“ ist ein Prüfsiegel, das vom Dachverband der schwedischen Angestellten- und Beamten-gewerkschaft für die ergonomische Qualität und Nachhaltigkeit von Büroumgebungen vergeben wird.

- „EU Energielabel“ muss verpflichtend ausgewiesen werden, wenn es für die Produktgruppe vorhanden ist (z. B. Displays). Eine Farbskala von grün (sehr gut) bis rot (sehr schlecht) ermöglicht eine schnelle Orientierung.
- „EPEAT“ ist ein US-Prüfsiegel, das IT-Produkte nach Umweltstandards zertifiziert.

b) Gewährleistung und Garantie

Beim Erwerb von IT-Ausstattung ist es oftmals zu empfehlen, ergänzend zur gesetzlichen Gewährleistung eine darüberhinausgehende Garantieleistung des Anbieters oder Herstellers in Anspruch zu nehmen, um im Fall eines Defekts eine möglichst rasche Reparatur bzw. einen Ersatz sicherzustellen.

- Eine „Vor-Ort-Garantie“ bedeutet, dass im Schadensfall ein Techniker des Herstellers oder eines von ihm beauftragten Unternehmens an die Schule kommt, um ein defektes Gerät unmittelbar zu reparieren oder zu ersetzen. Der Abschluss einer „Vor-Ort-Garantie“ mit festgelegter Reaktionszeit ist besonders für Geräte zu empfehlen, die nicht problemlos transportiert werden können oder die für die Infrastruktur zwingend erforderlich sind.
- Bei einer „PickUp&Return-“ bzw. „Collect&Return-Garantie“ muss ein defektes Gerät ggf. abgebaut, verpackt und zur Abholung durch einen Paketdienst oder eine Spedition bereitgestellt werden. Der Versand und Rücktransport ist für die Schule in der Regel kostenfrei.
- Ist keine konkrete Regelung festgelegt, muss ein defektes Gerät üblicherweise auf eigene Kosten zum Anbieter bzw. Hersteller gebracht werden (z. B. „Bring-In-Garantie“).

Die Ausprägungen der Garantieleistungen können sich bei verschiedenen Anbietern stark unterscheiden und sollten deshalb vor Vertragsabschluss bzw. Kauf sorgfältig geprüft werden.

c) Nutzungsdauer

IT-Geräte und IT-Komponenten sollten so beschafft werden, dass eine wirtschaftlich sinnvolle Nutzungsdauer möglich ist.

- Nach derzeitigen Praxiserfahrungen beträgt die Nutzungsdauer für Tablets ca. 3 Jahre, für Notebooks ca. 5 Jahre und für Arbeitsplatzcomputer bis zu 7 Jahre. Bei Servern ist die Nutzungsdauer üblicherweise an die Dauer der Garantieleistung durch den Hersteller (in der Regel 5 Jahre Vor-Ort-Garantie) gekoppelt.
- Bei aktiven Netzwerkkomponenten (z. B. Router, Switches, Access-Points) kann von einer Nutzungsdauer von 10 Jahren ausgegangen werden, wobei Internetzugangsrouter in der Regel bei einer Änderung des Internetzugangs getauscht werden müssen. Auch bei Access-Points ist ein früherer Austausch sinnvoll, wenn auf eine aktuellere WLAN-Technologie umgestellt werden soll.
- Bei passiven Netzwerkkomponenten (z. B. Verkabelung, Patchfelder) kann von einer Nutzungsdauer von 20 Jahren ausgegangen werden, so dass dieser Bereich besonders sorgfältig geplant werden sollte.

d) gebrauchte Hardware

In der Praxis zeigt sich häufig, dass der Erwerb gebrauchter Hardware im Allgemeinen nicht wirtschaftlich ist, da sich der Aufwand für die Einrichtung und den Support vor allem durch die sich ergebende heterogene Ausstattung deutlich erhöht. Ebenso greift zumeist nur eine kürzere bzw. reduzierte Gewährleistung und es wird keine zusätzliche Garantie angeboten. Daher sollte nach Möglichkeit auf gebrauchte Hardware verzichtet werden.

e) Leasing

Die Beschaffung einer Rechnerausstattung über Leasingverträge kommt vor allem dort in Betracht, wo die Verfügbarkeit der jeweils neuesten Technik unabdingbar ist. Im schulischen Einsatz sollte wegen der bis zu fünfjährigen Nutzungsdauer eine wirtschaftliche Ausgestaltung der Leasingverträge über die gesamte Laufzeit gesichert sein. Insbesondere bei vorzeitiger Erneuerungsoption der Rechnerausstattung können Leasingmodelle auch für Schulen interessant sein. Leasingverträge sind vor allem bei Druckern und Kopierern mit hohem Druckaufkommen üblich.

3. Betreuung und Administration von schulischen IT-Systemen

a) Pädagogische Systembetreuung und technische IT-Administration an den Schulen

Pädagogische Systembetreuung

Die pädagogische Systembetreuung durch Lehrkräfte liegt in den Händen der Schule. Deren Tätigkeitsschwerpunkt bilden organisatorische, koordinierende sowie pädagogische Aufgaben. Im Mittelpunkt stehen dabei pädagogisch-didaktische Fragestellungen und die fachliche Begleitung der schulischen Anwenderinnen und Anwender. Nur in einem vertretbaren Rahmen zählen auch technische Aufgaben (Hard- und Software) zum Aufgabenprofil.

Das Aufgabenfeld der pädagogischen Systembetreuung umfasst damit insbesondere die Beratung und Unterstützung des Kollegiums beim Computereinsatz im Unterricht, die Organisation und Durchführung schulinterner Lehrerfortbildungen im Bereich digitaler Medien und – gemeinsam mit den Fachverantwortlichen – das Setzen von Impulsen zum Einsatz digitaler Medien und Werkzeuge im Fachunterricht.

Die pädagogischen Systembetreuerinnen und Systembetreuer sind auch an der Planung und Beschaffung der IT-Systeme beteiligt. Im Aufgabenbereich der Administration sowie Wartung und Pflege bilden sie die Schnittstelle zwischen Schule und Schulaufwandsträger. Das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus misst der Ausstattung von Schulen mit Informations- und Kommunikationstechnik eine große Bedeutung bei und hat die Systembetreuung an den Schulen mit der Bekanntmachung vom 17. März 2000 (KWMBI I 2000 S. 86) geregelt (siehe https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayVV_2230_1_1_1_2_4_UK_024).

Je nach Komplexität der Aufgaben und Systeme kann es sinnvoll sein, die Aufgaben der pädagogischen Systembetreuung an den Schulen auf mehrere Personen aufzuteilen. Dies fördert ein modernes Wissensmanagement und bietet eine Redundanz bei der Betreuung der schulischen IT-Systeme.

Technische IT-Administration

Die technische IT-Administration – im Sinne der IT-Administration der technischen Infrastrukturen wie der Netzwerke und Hardware – ist Aufgabe der Schulaufwandsträger. Nach Art. 3 des Bayerischen Schulfinanzierungsgesetzes (BaySchFG) zählt die Bereitstellung, Einrichtung, Ausstattung, Bewirtschaftung und Unterhaltung der Schulanlage zum Sachaufwand. Dies bezieht die IT-Infrastruktur in den Schulen mit ein. Die Kommunale Unfallversicherung Bayern (KUVB) weist auch darauf hin, dass Personal eingesetzt werden sollte, welches Lehrkräfte bei der Arbeit mit digitalen Geräten unterstützt und die technische Betreuung der IT-Infrastruktur und IT-Ausstattung an den Schulen übernimmt.

Sofern die Aufgaben der technischen IT-Administration auch die Verarbeitung personenbezogener Daten umfassen oder umfassen können, ist als Rechtsgrundlage regelmäßig ein Auftragsverarbeitungsvertrag (AVV) erforderlich, da die Verantwortlichkeit für die Einhaltung der datenschutzrechtlichen Bestimmungen bei der Schule liegt.

b) Einordnung der Supportanfragen nach Supportlevel

Regelmäßig anfallende Tätigkeiten und Anfragen lassen sich üblicherweise je nach Schwierigkeit drei verschiedenen Supportlevel zuordnen. Bei der Meldung von Problemen an der IT-Hard- oder Software gehen pädagogische Systembetreuung und technische IT-Administration stufenweise vor. In der Schule stellt die pädagogische Systembetreuung häufig den ersten Ansprechpartner dar, da sie in der Regel vor Ort verfügbar ist. Dies wird als First-Level-Support bezeichnet.

First-Level-Support: Lösung von Standardproblemen, Problemannahme und qualifizierte Fehlermeldung

Der First-Level-Support kann einfache Standardprobleme selbst lösen und weitergehende Probleme analysieren. Beispielhafte Aufgaben des First-Level-Supports sind:

- Pflege von Nutzerzugängen (z. B. Passwort zurücksetzen)
- Gerät neustarten
- Kabelsteckverbindung prüfen
- Gerät mit schuleigenem WLAN verbinden

Kann das aufgetretene Problem nicht mit einfachen Mitteln der dargestellten Art gelöst werden, analysiert die pädagogische Systembetreuung so weit wie möglich die Ursache und nimmt Kontakt mit dem Second-Level-Support auf. Sie gibt eine qualifizierte Fehlerbeschreibung und unterstützt bei Bedarf bei einer Fernwartung durch Remote-Zugriff.

Second-Level-Support: Bearbeitung von nicht vom First-Level-Support gelösten Problemen im Bereich Systemwartung und –pflege sowie Administration

Durch den Second-Level-Support werden Probleme bearbeitet, die mit Mitteln des First-Level-Supports nicht behoben werden können. Außerdem werden dauerhafte oder anlassbezogene Aufgaben der Systemwartung und -pflege durchgeführt. Hierzu zählen im schulischen Umfeld zum Beispiel:

- Installation von Updates
- Inbetriebnahme von Neugeräten
- Einspielen von Images bzw. Konfigurationsprofilen
- Installation neuer Software
- Aufnahme von Geräten in das zentrale Gerätemanagementsystem

Anlassbezogen oder bei speziellen Problemen reichen auch diese Maßnahmen nicht aus, um eine Störung zu beseitigen. Dies ist insbesondere der Fall, wenn Fehlerquellen nicht auf der Installations- bzw. Konfigurationsebene gefunden werden können oder größere Neubeschaffungen anstehen.

Third-Level-Support: Lösung spezieller Probleme, die insbesondere Eingriffe in die Programme, Betriebssysteme, Komponentensteuerungen oder Datenbanken erfordern

Typische Aufgabenbereiche für den Third-Level-Support sind:

- Aufbau und Konfiguration von Nutzerstrukturen
- Erstellen und Anpassen von Images bzw. Konfigurationsprofilen für schuleigene Endgeräte und Server
- Aufbau und Konfiguration der Netzwerkinfrastruktur
- Fehleranalyse und -behebung im Netzwerk

Umsetzung an den Schulen

Während der First-Level-Support häufig von den pädagogischen Systembetreuerinnen und Systembetreuern, also von Lehrkräften erbracht wird (siehe KMBek „Systembetreuung an Schulen“), sind Second- und Third-Level-Support durch den Schulaufwandsträger sicherzustellen. Dies kann durch dessen eigenes Personal oder durch Beauftragung von externen Firmen im Rahmen von Einzelaufträgen oder Wartungsverträgen mit entsprechenden Kontingenten erfolgen.

Für eine effiziente und qualitätsvolle Ausgestaltung der IT-Administration eignen sich insbesondere Supportstrukturen zur Betreuung mehrerer Schulen eines Schulaufwandsträgers bzw. Zusammenschlüsse zu interkommunalen Strukturen auf regionaler Ebene, z. B. durch Zweckvereinbarungen, Zweckverbände oder beauftragte Kommunalunternehmen. Der Aufbau professioneller Administrationsstrukturen wird über die Richtlinien zur Bayerischen IT-Administrationsförderung (BayARn) auf Basis der Zusatz-Verwaltungsvereinbarung „Administration“ zum DigitalPakt Schule 2019 bis 2024 und einer ergänzenden Landesförderung unterstützt (siehe <https://www.km.bayern.de/administration>). Regionale Investitionsmaßnahmen für den Aufbau von regionalen Strukturen für die professionelle Administration und Wartung digitaler Infrastrukturen im Zuständigkeitsbereich von Schulträgern sind zusätzlicher

Fördergegenstand in der Förderrichtlinie „digitale Bildungsinfrastruktur an bayerischen Schulen (dBIR)“ (siehe <https://www.km.bayern.de/digitalpakt>).

Wichtig beim Aufbau von professionellen Strukturen für die IT-Administration ist es, diese grundlegend erweiterbar und skalierbar anzulegen, um sie bei einem Ausbau der IT-Infrastrukturen an den steigenden Administrationsbedarf anpassen zu können.

c) Administrative Aufgaben der technischen IT-Administration

Installation von Betriebssystemen und Software

Angesichts einer großen Zahl von Endgeräten an den Schulen ist es für eine effiziente Aufgabenerfüllung notwendig, die Installation von Betriebssystemen und Software zu automatisieren. Bewährt hat sich in der Vergangenheit das Klonen eines Modellarbeitsplatzes auf andere Arbeitsplätze, oft in Verbindung mit dem Einsatz von Protektorsoftware zur Absicherung gegen Veränderungen. Da damit aber die Verteilung neuer Software auf die Arbeitsstationen sehr aufwändig ist, wird dieses Verfahren zunehmend durch zentrale Gerätemanagementlösungen ersetzt. Auch der Einsatz rein webbasierter Anwendungen und die Nutzung von Clouddiensten reduzieren den Aufwand für das lokale Softwaremanagement-System, so dass die Installation und Aktualisierung der Betriebssysteme im Vordergrund stehen.

Mobile-Device-Management (MDM)

Unter einem Mobile-Device-Management (MDM) versteht man ein System zur zentralen Verwaltung von mobilen und stationären Endgeräten sowie Apps. Da nicht nur mobile Geräte verwaltet werden, sind auch die Begriffe „Unified Endpoint Management (UEM)“ und „Unified Device Management (UDM)“ gebräuchlich. Die Verwaltung umfasst dabei die Inventarisierung von Geräten sowie die Software-, Daten- und Richtlinienverteilung. Die MDM-Software läuft in der Regel auf einem lokalen Server (on premises) oder in der Cloud. Über eine Verwaltungskonsole (z. B. per Webzugriff) können die IT-Verantwortlichen der Schule die Geräte zentral und remote konfigurieren bzw. verwalten. Neu angeschaffte schuleigene Geräte sollten soweit möglich bereits vom autorisierten Händler im verwendeten MDM registriert und dadurch mit der von der technischen IT-Administration vorgesehenen Initialinstallation und -konfiguration versehen werden. Die Einbindung schülereigener Geräte in ein von der Schule genutztes MDM setzt die vorherige informierte Einwilligung der Schülerin oder des Schülers bzw. seiner Erziehungsberechtigten voraus.

Sicherheitsupdates

Auch bei modernen Betriebssystemen und Anwendungen werden immer wieder Sicherheitslücken bekannt, die dazu führen können, dass Endgeräte angreifbar werden. Diese Gefährdung lässt sich durch die regelmäßige Installation von Sicherheitsupdates beziehungsweise die regelmäßige Aktualisierung sicherheitskritischer Software (z. B. Browser, E-Mail-Client, PDF-Reader) oder durch den Verzicht auf Software (z. B. Java) reduzieren.

Dringend geboten ist ein ständig aktueller Sicherheitsstand bei Servern und aktiven Netzwerkkomponenten, um Angriffe auf solche zentralen Zugriffspunkte und damit das Risiko der Kompromittierung des gesamten Netzwerks zu vermeiden.

Virenschutz

Viren-Scanner bieten einen Schutz durch die automatische Überprüfung von transportablen Medien, E-Mail-Anhängen oder aus dem Internet heruntergeladenen Dateien. Bei aktuellen Windows-Systemen ist dieser Schutz mit dem Windows Defender bereits im Betriebssystem enthalten und wird automatisch mit den Windows-Updates aktualisiert.

Systeme zur Datensicherung

Zur lokalen Datensicherung an der Schule stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, z. B.

- externe Festplatten bzw. SSD-Speicher
- NAS-Systeme (Network Attached Storage)
- SAN-Systeme (Storage Area Network)

Eine regelmäßige Datensicherung sollte automatisiert und ohne Benutzereingriffe mit spezialisierter Software erfolgen, um eine zuverlässige und regelmäßige Durchführung zu gewährleisten. Zunehmend werden auch cloudbasierte Datensicherungslösungen angeboten, die als Ergänzung für eine lokale Datensicherung innerhalb der Schule sinnvoll sein können. Dabei sind die datenschutzrechtlichen Bestimmungen zu beachten.

Weitere Informationen zu den verschiedenen Themen sind unter <https://www.km.bayern.de/schule-digital/datensicherheit-an-schulen.html> zu finden.

d) Beratungs- und Fortbildungsangebote

Zentrale Angebote

Zentrale Beratungs- bzw. Fortbildungsangebote werden in Bayern gebündelt durch folgende Stellen angeboten:

- IT-Ausstattung: Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung
(<https://alp.dillingen.de/akademie/it-beratung>)
- Medieneinsatz: Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung
(<http://www.isb.bayern.de>)
Stabsstelle Medien.Pädagogik.Didaktik
(<https://links.alp.dillingen.de/stabsstelle>)

Mit der Fortbildungsinitiative SCHULNETZ werden allen pädagogischen Systembetreuerinnen und Systembetreuern vielfältige Schulungen zum Aufbau von und Umgang mit vernetzten IT-Systemen angeboten:

- Im moderierten Online-Seminar „*Systembetreuung an Schulen – Einführung und Orientierung*“ werden die Aufgaben der pädagogischen Systembetreuung und die Organisation dieser Aufgaben erörtert.
- Die beiden jeweils einwöchigen Präsenzkurse „*Basiskurs I: Grundlagen der Schulvernetzung*“ und „*Basiskurs II: Medieneinsatz und Datensicherheit*“ vermitteln praktische Grundkenntnisse zur Betreuung des Schulnetzes, Beratung des Kollegiums und Durchführung schulinterner Lehrerfortbildungen.

Diese Lehrgänge werden von der Akademie Dillingen in Zusammenarbeit mit der Regionalen Lehrerfortbildung durchgeführt. An der Akademie Dillingen werden regelmäßig weiterführende Lehrgänge für die pädagogischen Systembetreuerinnen und Systembetreuer angeboten (siehe <https://schulnetz.alp.dillingen.de>).

Regionale und lokale Angebote

An den Dienststellen der Ministerialbeauftragten sowie an den Regierungen und den Staatlichen Schulämtern sind weitere Beratungs- und Unterstützungssysteme eingerichtet. Die Beratung digitale Bildung gliedert sich in die medienpädagogische Beratung (mBdB) und die informationstechnische Beratung digitale Bildung (iBdB). (siehe <https://www.mebis.bayern.de/p/39324>).

Unterstützt werden die Schulen auch durch die zum Schuljahr 2021/2022 etablierten Innovationsteams Digitale Bildung: Beraterinnen und Berater digitale Bildung beraten im Tandem mit Schulentwicklungsmoderatorinnen und -moderatoren individuell vor Ort beim digitalen Change-Management und bringen dabei ihre jeweilige spezifische Expertise in informationstechnischer, medienpädagogischer sowie prozessualer Hinsicht in die Begleitung der Schulen ein.

Das schulindividuelle Medienkonzept umfasst neben Mediencurriculum und Ausstattungsplan auch eine Fortbildungsplanung für die Lehrkräfte der Schule. Bei deren Umsetzung werden die Schulen seit dem Schuljahr 2019/2020 durch ein vom Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus neu etabliertes Referenten- und Expertennetzwerk unterstützt. Dieses steht für Maßnahmen der Staatlichen Lehrerfortbildung im Bereich der Digitalen Bildung auf zentraler, lokaler und regionaler sowie insbesondere auf schulinterner Ebene zur Verfügung. Über 200 Lehrkräfte mit jeweils spezifischer Expertise in einzelnen Themenfeldern der Digitalen Bildung stehen für Präsenzveranstaltungen zur Verfügung.

Die kommunalen Medienzentren der kreisfreien Städte und Landkreise stellen Schulen unterrichtsbezogene Medien zur Verfügung und leisten pädagogische Beratung zum Einsatz von digitalen Medien im Unterricht (siehe <https://www.mebis.bayern.de/infoportal/medienzentren>).

Zu Fragen des Datenschutzes stehen an allen staatlichen Realschulen, Gymnasien und beruflichen Schulen, für Grund- Mittel- und Förderschulen je Schulamtsbezirk Datenschutzbeauftragte zur Verfügung (siehe <https://www.mebis.bayern.de/p/17456>).

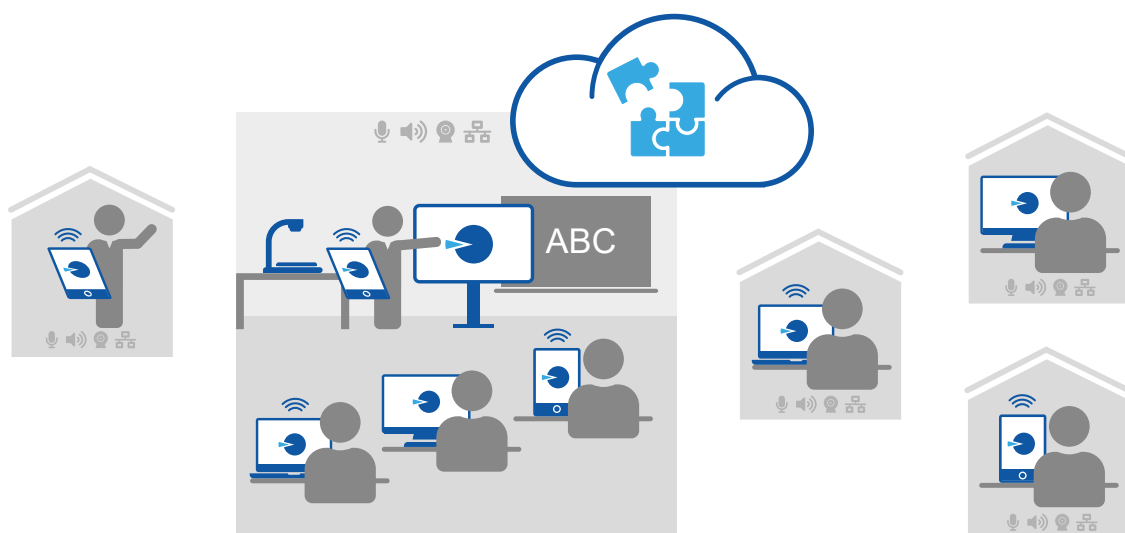
e) Nutzungsordnung

Mit den Schülerinnen und Schülern sowie den Lehrkräften, dem sonstigen pädagogischen Personal und dem Verwaltungspersonal ist eine Nutzungsordnung zum

Umgang mit dem EDV-System zu vereinbaren. Zu beachten ist, dass datenschutzrechtlich eine Protokollierung der Tätigkeiten im lokalen Netz, der Arbeit mit sogenannten Lernumgebungen oder der Internet-Nutzung, die zeitlich begrenzte Speicherung der Log-Dateien und das Vornehmen von Stichproben gemäß Telekommunikationsgesetz nur dann zulässig sind, wenn die Nutzerinnen und Nutzer (z. B. Lehrkräfte) eine entsprechende Einwilligungserklärung abgegeben haben oder die EDV-Einrichtungen der Schule ausschließlich zu schulischen Zwecken genutzt werden dürfen und ein entsprechender Anlass vorhanden ist. Diese Punkte sollten in einer Nutzungsordnung geregelt werden. Ebenso sollten die technischen und organisatorischen Voraussetzungen zum Einsatz privater Endgeräte im Schulnetz sowie die private Nutzung der schulischen EDV-Infrastruktur in einer Nutzungsvereinbarung geregelt sein. Die dort vereinbarten Regeln sollten prinzipiell unabhängig vom benutzten Endgerät sein. In der Nutzungsordnung sollte auch auf rechtliche Aspekte, z. B. mögliche Urheberrechtsverletzungen im Umgang mit dem Internet (Upload bzw. Download von Dateien), hingewiesen werden. In der KMBek vom 14. Juli 2022 Az.: I.3-BO4000.0/45/59 „Hinweise zur Nutzung der IT-Infrastruktur und des Internetzugangs an Schulen (Schulische IT-Infrastruktur und Internetzugang)“ ist im Anhang ein „Muster für eine Nutzungsordnung zur Nutzung der IT-Infrastruktur und des Internetzugangs an Schulen“ enthalten, das auf die jeweilige Situation in der eigenen Schule angepasst werden kann. Weitere Informationen sind unter <https://www.km.bayern.de/schule-digital/datensicherheit-an-schulen.html> zu finden.

4. Das digitale Klassenzimmer

Der Ausbau von Räumen, in denen regelmäßig Unterricht stattfindet, zu digitalen Klassenzimmern ist für die zielführende und nachhaltige Umsetzung der digitalen Bildung in der Schule empfehlenswert:



Beispielhafte Ausstattung eines digitalen Klassenzimmers

Das digitale Klassenzimmer besteht aus einem Lehrercomputer (Desktop-PC, Notebook oder Tablet), einer Präsentationseinrichtung (digitale Großbilddarstellung, Dokumentenkamera oder entsprechende Vorrichtung für ein mobiles Endgerät, Audiosystem) und der drahtlosen Nutzungsmöglichkeit von digitalen Endgeräten für Schülerinnen und Schüler mit Zugang zum Schulnetz bzw. Internet. Dadurch ist der Zugriff auf die für den digitalen Unterricht notwendigen internetbasierten Ressourcen sichergestellt, z. B. auf Lernplattformen wie mebis, Videokonferenzsysteme wie Visavid und die weiteren Angebote der BayernCloud Schule. Anzustreben ist eine technisch möglichst einheitliche, niederschwellig zu bedienende Ausstattung aller Unterrichtsräume.

In besonderen Situationen kann es ausnahmsweise erforderlich sein, das digitale Klassenzimmer ganz oder teilweise in den virtuellen Raum zu verlagern (z. B. zur Durchführung von Distanzunterricht unter den Voraussetzungen des §19 Abs. 4 BaySchO). Lehrkräfte, Schülerinnen und Schüler arbeiten dann zusätzlich oder ausschließlich über digitale Kommunikations- und Kollaborationswerkzeuge. Es ist hilfreich, im Schulhaus weitere dafür geeignete Arbeitsplätze für Lehrkräfte, sonstiges pädagogisches Personal, Schülerinnen und Schüler einzurichten.

a) Digitale Großbilddarstellung

Die digitale Großbilddarstellung kann mit einem fest installierten Beamer oder einem Großbildmonitor mit ausreichender Größe realisiert werden. Beide Systeme gibt es auch mit einer interaktiven Funktion für Benutzereingaben (interaktiver Beamer, interaktive Beamer/Whiteboard-Kombination, Touchdisplay). Die dadurch ermöglichte direkte Bedienung und Nutzbarkeit als digitale Schreibfläche wird vor allem im Grund- und Förderschulbereich als vorteilhaft erachtet, da die Schülerinnen und Schüler die Interaktionen der Lehrkraft besser nachvollziehen können (Auge-Hand-Koordination). Ein mit Stift bedienbares mobiles Endgerät bietet in Verbindung mit der entsprechenden Software die gleiche Funktionalität wie eine unmittelbar interaktive Großbilddarstellung. Mittels einer drahtlosen Bildübertragung können die Lehrkräfte bzw. die Schülerinnen und Schüler den Bildschirminhalt eines mobilen Geräts auf der Großbilddarstellung wiedergeben. Die sinnvolle Nutzung derartiger interaktiver Präsentationseinrichtungen setzt eine entsprechende Schulung und Einarbeitungszeit zum Erwerb der notwendigen technischen und didaktischen Kompetenzen bei den Lehrkräften voraus.

b) Kamera

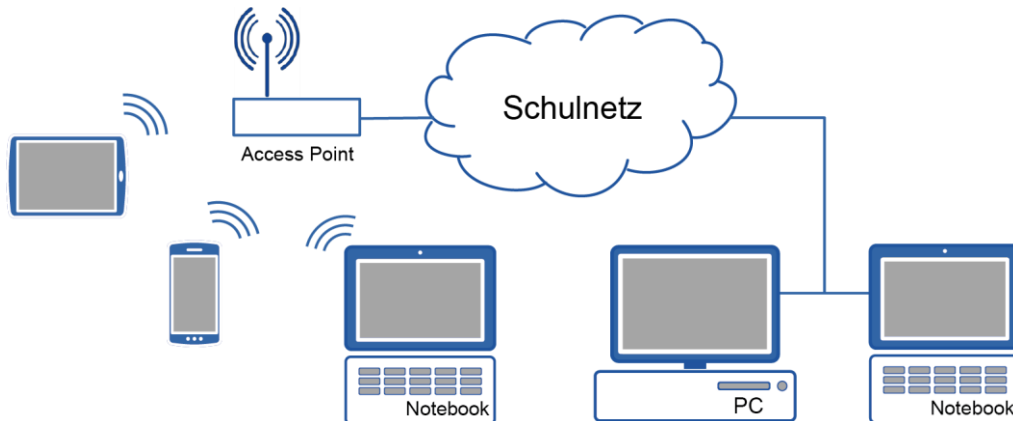
Eine Kamera, die Textvorlagen, Bilder und dreidimensionale Objekte auf die Großbilddarstellung und einen Computer übertragen kann, ist für den Unterricht sinnvoll. Dabei sollten sich Abläufe als Video aufzeichnen lassen, so dass bspw. physikalische oder chemische Versuche reproduzierbar sind oder Erklärvideos erstellt werden können.

Diese Funktionalität kann zum Beispiel durch eine Dokumentenkamera, eine Webcam oder ein Tablet bzw. Smartphone mit entsprechendem Stativ bereitgestellt werden.

c) Analoge Tafel

Es wird empfohlen, zusätzlich zur digitalen Präsentationseinrichtung eine klassische Tafel oder eine andere (analoge) Schreibfläche zur Verfügung zu stellen. Diese ist unabhängig von der Verfügbarkeit der technischen Infrastruktur nutzbar, einfach im Gebrauch und dient u. a. zur Demonstration des Umgangs mit analogen Werkzeugen (z. B. Zirkel und Geodreieck).

d) Digitale Geräte für Schülerinnen und Schüler



Für das regelmäßige, flexible und nachhaltige Arbeiten mit digitalen Medien und Werkzeugen wird eine 1:1-Ausstattung der Schülerinnen und Schüler mit digitalen Endgeräten immer häufiger anzutreffen sein. Aus didaktischen Gründen sollte zumindest angestrebt werden, dass sich beim Einsatz digitaler Werkzeuge im Durchschnitt höchstens zwei Schülerinnen und Schüler ein Gerät teilen.

Die Infrastruktur des digitalen Klassenzimmers ermöglicht die drahtlose Nutzung digitaler Endgeräte im Unterricht. Eine entsprechende Netzwerkinfrastruktur, insbesondere WLAN und eine Internetanbindung mit ausreichender Bandbreite, sind dabei wesentliche Voraussetzungen. Die Räume sollten mit einer ausreichenden Anzahl von Steckdosen und einer abschließbaren USB-Ladestation (mit integrierter Ladefunktionalität) ausgestattet sein.

Schülereigene mobile Geräte (Privatgeräte)

BYOD (Bring Your Own Device) beschreibt ein Konzept, bei dem Schülerinnen und Schüler ein privates Notebook oder Tablet als persönliches Lernwerkzeug mitbringen und für schulische Zwecke einsetzen. Dies geschieht ggf. unter Einhaltung bestimmter von der Schule festgelegter technischer Mindestkriterien und möglicherweise unter Einbindung in ein schulisches MDM-System. Bei der Gerätebeschaffung ist auch eine finanzielle Unterstützung durch Dritte und/oder eine organisatorische Unterstützung der erwerbenden Erziehungsberechtigten bzw. volljährigen Schülerinnen und Schülern beim Beschaffungsprozess durch die Schule möglich. Werden im Vorfeld der Gerätebeschaffung von Seiten der Schule technische Mindestkriterien definiert (z. B. beim Betriebssystem), kann beispielsweise eine Homogenität bei den mobilen Endgeräten erreicht werden, die ggf. den administrativen Aufwand reduziert und die Integration der Privatgeräte in die schulische Infrastruktur erleichtert.

Die Besonderheiten des BYOD-Ansatzes sind insbesondere:

- Die mobilen Endgeräte werden an verschiedenen Lernorten genutzt, beispielsweise zu Hause (z. B. im Distanzunterricht oder zur Erledigung der Hausaufgaben).
- Es handelt sich um Privatgeräte, die sowohl zu schulischen wie auch privaten Zwecken genutzt werden können. Ggf. lassen sich dadurch Doppelbeschaffung im privaten und schulischen Bereich vermeiden.
- Eine technische wie didaktische Herausforderung kann gegebenenfalls in der Heterogenität schülereigener Geräte liegen.
- Die Einbindung schülereigener mobiler Endgeräte in ein schulisches MDM-System setzt eine informierte Einwilligung der Erziehungsberechtigten und/oder Schülerinnen und Schüler voraus. Hierbei sollte über die konkreten Einschränkungen durch das MDM und die Zugriffsmöglichkeiten der Schule informiert werden.
- Die Installation von Apps auf Geräten, die nicht zum Schulvermögen gehören, darf nur durch den Eigentümer oder anderweitig Verfügungsberechtigten oder im Einvernehmen mit ihm erfolgen.
- Wenn Schülerinnen und Schüler von der Schule zur Installation von Apps bzw. Programmen auf eigenen Geräten veranlasst werden, können hierdurch verursachte Beeinträchtigungen, z. B. durch Datenabflüsse oder Schadcodes, u. U. der Schule zuzurechnen sein.
- Die Administration der schülereigenen mobilen Geräte liegt regelmäßig nicht im Verantwortungsbereich der Schule. Die Schule sollte dennoch gemeinsam mit den Erziehungsberechtigten bzw. Schülerinnen und Schülern in einem Konzept Zuständigkeiten und Regelungen zur Konfiguration und Administration festlegen, z. B. Installation der Anwendungen, Updates, Herstellen eines Netzwerkzugriffs.

Schuleigene mobile Geräte (Geräte im Eigentum der Schulaufwandsträger)

Bei schuleigenen mobilen Geräten ist die organisatorische und technische Betreuung einzuplanen:

- Die technische IT-Administration der schulischen IT-Infrastrukturen liegt im Zuständigkeitsbereich der Schulaufwandsträger, die in der Erfüllung dieser Aufgabe aktuell durch staatliche Förderungen unterstützt werden.
- Bei wechselndem Einsatz muss der Transport, das Austeilen, Einsammeln und Aufbewahren der Geräte organisiert werden. Es sind ausreichend sichere Lademöglichkeiten für die schuleigenen mobilen Endgeräte vorzusehen.
- Da auf einem mobilen Endgerät nach der Verwendung eventuell personenbezogene Daten wie z. B. Bilder, Filme, Dokumente oder Browserverläufe lokal gespeichert sind, haben Datenschutz und Datensicherheit hier besondere Bedeutung. Sie werden insbesondere durch geeignete Nutzungskonzepte (z. B. Gastmodus), Information, Verhaltensregeln, Sicherung der schülereigenen Ergebnisse, sicheres Löschen von Daten früherer Nutzer insb. vor der Aushändigung des mobilen Endgeräts an andere Benutzerinnen und Benutzer sichergestellt.
- Es sollte eine zentrale Möglichkeit zum Zurücksetzen, Klonen oder zur Neuinstallation der Geräte gegeben sein (z. B. durch ein Mobile-Device-Management, MDM).

- Viele Tablets sind nur in Verbindung mit einem individuellen Online-Account beim Hersteller sinnvoll nutzbar.
- Vor der Beschaffung und Verwendung schuleigener mobiler Geräte sollten damit verbundene rechtliche Fragen (z. B. Haftung, Datenschutz) geklärt werden.

Lehrerdienstgeräte und Schülerleihgeräte

Lehrerdienstgeräte und Schülerleihgeräte unterscheiden sich von anderen schuleigenen Geräten für den wechselnden Unterrichtseinsatz dadurch, dass sie über einen längeren Zeitraum als personenbezogene Geräte von den Schülerinnen und Schülern oder Lehrkräften und sonstigem pädagogischen Personal genutzt und mit nach Hause genommen werden. Die Weisungsbefugnis über die Verwendung liegt weiterhin bei der Schule, so dass die Installation bestimmter Software ohne Einwilligung der Schülerinnen und Schüler, Lehrkräfte oder des sonstigen pädagogischen Personals durchgeführt werden kann.

- Je nach schulischem Anwendungskonzept können die persönlich zugeordneten Geräte entweder durch die Schule, den Schulaufwandsträger oder durch die Nutzerin bzw. den Nutzer administriert werden, wobei die Schule ggf. die Möglichkeit hat, die Geräte zurückzusetzen.
- Schülerleihgeräte werden (typischerweise) an Schüler entliehen, die kein eigenes Gerät haben. Basis der Nutzung ist ein zwischen Schulaufwandsträger und Schüler/Schülerinnen geschlossener Leihvertrag, der konkrete Nutzungsrechte gibt und als erforderlicher Nachweis der Ausgabe dient.
- Lehrerdienstgeräte sind dagegen Arbeitsmittel, die vom Dienstherrn aus dem Schulvermögen zum weisungsgebundenen Einsatz zur Verfügung gestellt werden; rechtliche Basis ist das Beschäftigungsverhältnis. Die Ausgabe sollte dokumentiert und damit nachvollziehbar sein.
- Die Verwendung der schuleigenen Geräte richtet sich nach den Nutzungsordnungen, die die Schule nach Maßgabe der hierfür geltenden Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus in Abstimmung mit dem Schulaufwandsträger der Schule erlässt (siehe KMBek vom 14. Juli 2022 Az.: I.3-BO4000.0/45/59 „Hinweise zur Nutzung der IT-Infrastruktur und des Internetzugangs an Schulen (Schulische IT-Infrastruktur und Internetzugang)“ einschließlich entsprechender Muster-Nutzungsordnungen in der Anlage). Weitergehende Hinweise und aktuelles Informationsmaterial zur Nutzung schulischer IT-Infrastrukturen und zur IT-Sicherheit sind auf der Homepage des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus unter <https://www.km.bayern.de/schule-digital/datensicherheit-an-schulen.html> zu finden.
- Bei der Bereitstellung von Lehrerdienstgeräten handelt es sich nicht um Leihverträge zwischen Lehrkraft und Schulaufwandsträger, sondern um die Bereitstellung von Arbeitsmitteln im Sinne einer Überlassung zum weisungsgebundenen Einsatz als Arbeitsmittel im Beschäftigungsverhältnis.

e) Videokonferenzsysteme

Videokonferenzsysteme sind cloubasierte Anwendungen, die eine synchrone Kommunikation mit Bild und Ton ermöglichen. Funktionen der Zusammenarbeit wie Steuerung durch einen Moderator, die Aufteilung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer in Gruppenräume oder Bildschirmfreigabe sind regelmäßig integriert.

Bei Auswahl und Einsatz von Videokonferenzsystemen ist besonders auf die Einhaltung der datenschutzrechtlichen Voraussetzungen zu achten (vgl. oben 1.c)), insb. die „Aktuelle Kurzinformation (AKI)“ des Bayerischen Landesbeauftragten für den Datenschutz (LfD) zu „Office-Anwendungen aus Drittstaaten bei bayerischen öffentlichen Stellen“ (siehe <https://www.datenschutz-bayern.de/datenschutzreform2018/aki39.html>).

- Im Rahmen der BayernCloud steht allen bayerischen Schulen das datenschutzkonforme Videokonferenzwerkzeug Visavid kostenlos zur Verfügung.
- Meist genügt für den Zugang der Teilnehmerinnen und Teilnehmer ein aktueller Browser. Um den vollen Funktionsumfang nutzen zu können, ist in manchen Fällen die Verwendung proprietärer Client-Software des Herstellers erforderlich.
- Üblicherweise werden alle aktuellen Betriebssysteme unterstützt, so dass Videokonferenzen mit unterschiedlichen Endgeräten wie Arbeitsplatzcomputern, Notebooks, Tablets oder Smartphones ermöglicht werden.
- Die Qualität integrierter Kameras ist in der Regel ausreichend. An Geräte ohne Kamera kann eine externe Webcam angeschlossen werden. Zur Anzeige von Präsentationen oder anderen Dokumenten ist ein ausreichend großes Display zur Darstellung vorteilhaft, so dass ein Smartphone für diese Anwendungen in der Regel ungeeignet ist.
- Wichtig für die Nutzung von Videokonferenzsystemen ist eine gute Audioqualität. Diese wird am einfachsten mit einem Headset erreicht, das mit dem benutzten Endgerät verbunden ist.

Technisch und organisatorisch unaufwändig lassen sich Videokonferenzen mit kleineren Gruppen (z. B. Klassenverbände) von bis zu 30 Teilnehmern durchführen, die einzeln über eigene Geräte eingebunden sind. Aufwändiger in der technischen Umsetzung sind Videokonferenzen, bei denen sich in einer Präsenzveranstaltung einzelne Personen oder Gruppen zuschalten und die Audioübertragung des gesamten Raums ermöglicht werden soll. Ein „Kompendium Videokonferenzsysteme“ ist auf den Seiten des BSI (siehe Kapitel 11, Weiterführende Literaturhinweise: „IT-Technik und IT-Sicherheit“) einzusehen.

Integrierte Videokonferenzlösungen

Nehmen nicht nur Einzelpersonen, sondern Personengruppen an einer Videokonferenz teil, sollte die Ausstattung des digitalen Klassenzimmers um integrierte Videokonferenzlösungen mit spezieller Hardware ergänzt werden. Das Einsatzszenario und die verwendete Videokonferenzsoftware müssen bei der Auswahl der Hardware berücksichtigt werden. Eine integrierte Videokonferenzlösung lässt sich modular aus Einzelkomponenten zusammenstellen oder als Komplettsystem mit integrierter Kamera, Mikrofonen und Lautsprecher erwerben.

Die Konferenzkameras solcher Komplettsysteme können als Funktionalitäten die Abbildung unterschiedlicher Bildwinkel, Autotracking, Erfassung von Teilnehmenden, Anpassung der Farbdarstellung sowie Fernsteuerung mitbringen.

Die integrierten Mikrofonarrays können einen größeren Radius und einen weiteren Winkelbereich abdecken und sich auf einen Sprecher fokussieren. Rausch- und Echounterdrückung verbessern die akustische Verständlichkeit. Für größere Räume empfiehlt sich eine Lösung, die durch zusätzliche Mikrofone erweitert werden kann, um alle Mitwirkenden optimal zu erfassen.

f) Computer- und andere Fachräume

Der Computerraum als klassischer Fachraum für das Fach Informatik bzw. Informationstechnologie, aber auch für den digital gestützten Unterricht im Klassenverband stellt eine spezifische Form des digitalen Klassenzimmers dar, in der zusätzlich eigene Computer-Arbeitsplätze für die Schülerinnen und Schüler zur Verfügung stehen.

Falls es die räumlichen Möglichkeiten zulassen, sollten die Computer so angeordnet werden, dass methodisch-didaktisch begründete Arbeits- und Sozialformen wie Gruppenarbeit unterstützt werden. Hilfreich ist es, wenn die Lehrkraft alle Bildschirme im Blick hat und bei Fragen der Schülerinnen und Schüler die einzelnen Arbeitsplätze schnell erreichen kann. Aus ergonomischen Gründen werden für die Arbeit am Computer Drehstühle empfohlen. Ergänzend dazu sind – wenn es die räumlichen Möglichkeiten zulassen – zusätzliche Tische zur Arbeit ohne Computer sinnvoll.

In anderen Fachräumen, z. B. für Biologie, Physik, Chemie, Musik, Kunst, Werkstätten, Labore, können über die Grundausstattung des digitalen Klassenzimmers hinaus weitere, gegebenenfalls leistungsfähigere Computer, z. B. zur Messwerterfassung, für Simulationsprogramme oder für den Videoschnitt, sowie zusätzliche Peripheriegeräte, z. B. Messsonden, Funkmikrophone, Grafiktablets, Plotter oder 3D-Drucker erforderlich sein.

g) Sonderpädagogischer Förderbedarf und Inklusion

Für Kinder und Jugendliche mit sonderpädagogischem Förderbedarf können an den Förderschulen bzw. im Rahmen der Inklusion spezielle Peripheriegeräte notwendig sein. Dies betrifft besonders Ein- und Ausgabegeräte. Beispiele hierfür sind spezielle Braille-Tastaturen und -Drucker im Förderschwerpunkt Sehen, elektronische Kommunikationshilfen im Rahmen der Unterstützten Kommunikation, programmgesteuerte Sprachkontrolle bzw. Bildtelefonie im Förderschwerpunkt Hören und Sprache oder programmierbare Tastaturen im Förderschwerpunkt körperlich-motorische Entwicklung. Auch an der Schule für Kranke sind besondere Peripheriegeräte notwendig, z. B. um die Integration in den Unterricht der Stammschule zu gewährleisten. Nähere Informationen sind bei den Fachberatungen oder der Beratung digitale Bildung für Förderschulen erhältlich.

5. Cloubasierte Anwendungen

Ergänzend oder alternativ zu lokal installierter Software werden auch immer mehr cloubasierte Anwendungen über das Internet bereitgestellt. Diese laufen auf Servern bei den entsprechenden Diensteanbietern. Die Interaktion ist dabei fast immer über einen Browser möglich. Alternativ kann sie über einen eigenen Client erfolgen, der zusätzliche Funktionen bietet.

Cloubasierte Anwendungen ermöglichen es, ortsunabhängig zu arbeiten und bieten unterschiedliche Instrumente z.B. für die Kommunikation und Kollaboration (z. B. gemeinsame Datenablagen, Kalender, Kommunikationswerkzeuge wie Messenger oder Videokonferenzsysteme). Online-Office-Lösungen ermöglichen auch die gleichzeitige Bearbeitung gemeinsamer Text-, Tabellenkalkulations- oder Präsentationsdokumente. Die Dateien der Benutzer liegen dabei auf einem Cloud-Speicher.

Cloubasierte Produkte sind datenschutzrechtlich anspruchsvoll. Die im Kapitel 1.c) unter „Datenschutzrechtliche Aspekte bei Planung und Einsatz von IT-Systemen“ genannten Voraussetzungen einer cloubasierten Lösung sind vor der Entscheidung für ein Produkt stets zu prüfen, insbesondere sind die Vorgaben des Art. 28 DSGVO und der Abschnitt 4 und 7 der Anlage 2 zu §46 BaySchO zu berücksichtigen.

Das Arbeiten mit cloubasierten Kollaborations- und Kommunikationswerkzeugen ist Bestandteil zeitgemäßer schulischer Bildung. Dateien und interaktive Inhalte können geteilt und gemeinsam genutzt oder erarbeitet werden. Über Messenger oder Foren kann asynchron kommuniziert werden. Audio- oder Videokonferenzen ermöglichen einen synchronen Austausch. Die BayernCloud Schule (ByCS) ist das staatlich zentral bereitgestellte Angebot für solche Cloubanwendungen. Sie bündelt verschiedene Dienste, die der gesamten Schulfamilie das digitale Lernen und Arbeiten erleichtern.

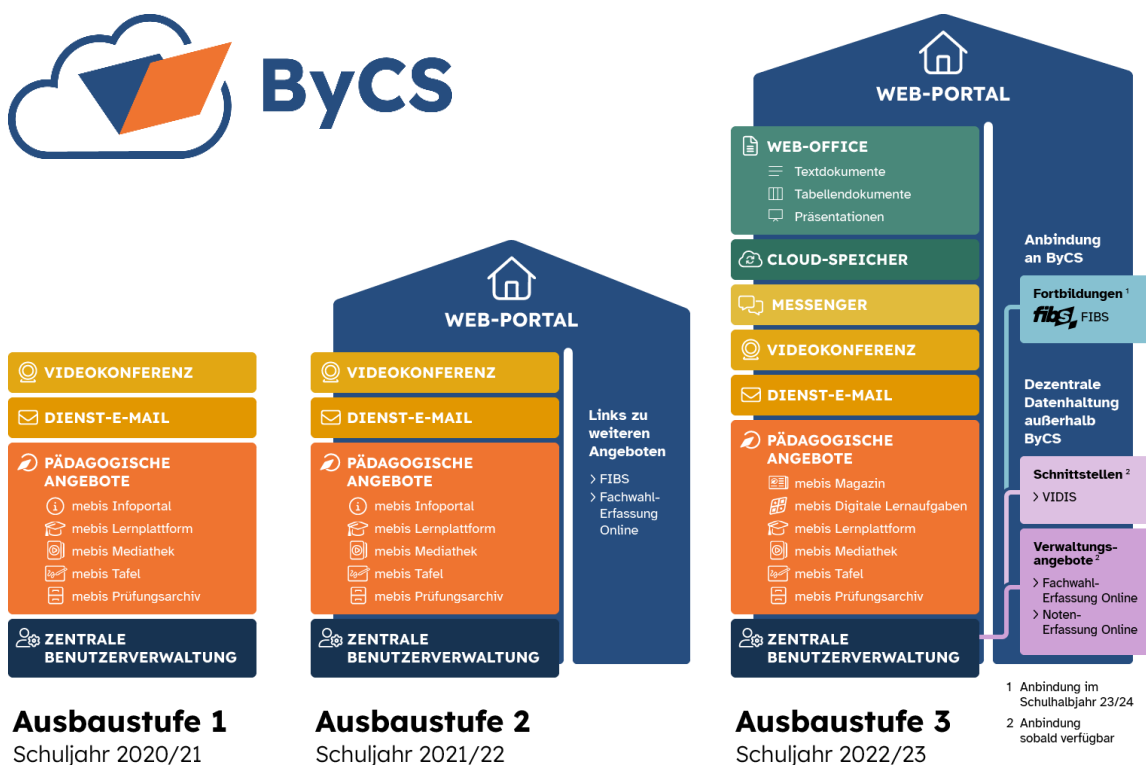
a) BayernCloud Schule (ByCS)

Im Rahmen der BayernCloud Schule wird bayerischen Schulen ein stetig wachsendes, auf schulische Aufgaben zugeschnittenes Softwarepaket bereitgestellt. Die Nutzerinnen und Nutzer erhalten neben Werkzeugen für die digitale Kommunikation und Kollaboration ein vielseitiges Angebot an online verfügbaren Lern- und Lehrinhalten. Die für bayerische Schulen und Behörden im Ressortbereich des Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus kostenlos nutzbaren Angebote der BayernCloud Schule entlasten (Datenschutz-)Verantwortliche, pädagogische Systembetreuung und Schulaufwandsträger.

Die Angebote im Rahmen der BayernCloud Schule sind so ausgewählt und konfiguriert, dass sie den Ansprüchen des Datenschutzes (DSGVO) Genüge leisten, wodurch rechtliche Unsicherheiten bei der Einführung und Anwendung reduziert und die Nutzung ein Bestandteil des Unterrichts werden kann.

Die BayernCloud Schule befindet sich derzeit noch im Aufbau. Während einige Komponenten (mebis, Visavid, Dienst-E-Mail) bereits umgesetzt sind und schon an den Schulen Verwendung finden, werden andere Komponenten (Cloud-Speicher, Messenger, Web-Office) demnächst bereitgestellt oder sind langfristig geplant (z. B. Anbindung an FIBS, Fachwahl-Erfassung Online, Noten-Erfassung Online, VIDIS zur

Anbindung von Schulverlagsinhalten). Die nachfolgende Grafik zeigt die verschiedenen Ausbaustufen für die BayernCloud Schule:



Web-Portal und zentrales Identitätsmanagement (IDM)

Das Web-Portal der BayernCloud Schule vereint mit seinen Komponenten ByCS-Website und -Dashboard die Anwendungen der BayernCloud Schule und schulspezifische Angebote unter einem Dach: Mit dem Web-Portal erhält die Schulfamilie einen individuellen und niederschweligen Zugang zu den digitalen Anwendungen und Inhalten der BayernCloud Schule.

Im internen Bereich der ByCS werden alle schon aktiven Angebote der BayernCloud Schule in einer intuitiven Oberfläche, dem ByCS-Dashboard, zusammengefasst. Gemäß ihren Rollen und Rechten erhalten Anwenderinnen und Anwender ihr individuelles Dashboard, d. h. es werden nur Anwendungen (z. B. die Fortbildungsplattform FIBS für Lehrkräfte), Inhalte, Aktivitäten sowie weitere zentrale medienpädagogische Angebote, z. B. der ALP Dillingen oder des ISB, angezeigt, die für sie relevant sind. Zudem bekommen Schulen die Möglichkeit, in einem Redaktionssystem eigene Angebote und Inhalte speziell für Nutzerinnen und Nutzer der Schule zu verlinken.

Die freizugängliche ByCS-Website <https://www.bycs.de> stellt einen ausführlichen Informations- und Support-Bereich zur Verfügung. Interessierte und Hilfesuchende erhalten hier einen umfassenden Überblick über die Anwendungen der BayernCloud Schule.

Der einheitliche und vernetzte Zugang zum Angebot der ByCS wird durch die zentrale Benutzerverwaltung sichergestellt. In diesem Zusammenhang wurde die mebis Nutzerverwaltung zur ByCS-Administration weiterentwickelt. Alle Anwendungen werden künftig mit nur einer persönlichen Kennung, der ByCS-Kennung, genutzt. Visavid, alle

Komponenten von mebis, die Dienst-E-Mail und andere Anwendungen sind über die gleichen Zugangsdaten erreichbar (Single-Sign-on, Dienst-E-Mail im Same-Sign-on).

Im engen Zusammenspiel mit der ByCS-Administration bildet das Web-Portal den neuen Dreh- und Angelpunkt für verschiedene Szenarien des Lehrens und Lernens.

Videokonferenzlösung Visavid

Visavid ist ein für alle bayerischen Schulen kostenloses und datenschutzkonformes Videokonferenzwerkzeug. Es handelt sich dabei um eine speziell auf den schulischen Einsatz ausgerichtete, browserbasierte Software, die nicht nur für die Durchführung z. B. von Elternsprechtagen und Distanzunterricht eingesetzt werden kann. Darüber hinaus können z. B. auch Beratungsgespräche datenschutzkonform online durchgeführt werden.

Visavid ist speziell auf den Unterricht ausgerichtet, endgeräteunabhängig nutzbar und bietet u. a. Gruppenräume, unterschiedliche Möglichkeiten zur Bildschirmfreigabe, barrierefreie Bedienung, Chatfunktion, Dateiaustausch zum Verteilen von Arbeitsmaterialien bei gleichzeitiger Bildschirmfreigabe und viele andere Funktionen. Visavid kann auf iOS- und Android-Endgeräten auch über eine App genutzt werden.

Dienst-E-Mail

Staatliche Schulen können im Rahmen der BayernCloud Schule für Lehrkräfte, sonstiges pädagogisches Personal sowie Verwaltungskräfte Dienst-E-Mail-Accounts in Anspruch nehmen. Sie dienen dem datenschutzkonformen Austausch untereinander sowie dem dienstlichen Kontakt zu Schülerinnen und Schülern sowie zu Erziehungsberechtigten unter Beachtung des Datenschutzes und der Datensparsamkeit. Zudem können auch Funktionspostfächer angelegt werden, auf die mehrere Personen Zugriff haben (z. B. Sekretariate). Ferner eignen sich diese auch für die Adressierung von einzelnen Funktionsträgern bzw. Ansprechpartnern innerhalb einer Schule, bspw. des Datenschutzbeauftragten. Es kann somit personellen Wechseln zügig Rechnung getragen werden, da nur die Zuweisung des Funktionspostfachs an den oder die gewünschten Nutzer erfolgen muss. Neben Funktionspostfächern können auch Verteilerlisten angelegt werden. An deren Mitglieder wird automatisch eine Kopie der Mail gesendet. Als Beispiel wäre hier eine Verteilerliste für alle Lehrkräfte einer Schule zu nennen. Darüber hinaus bietet das webbasierte System auch eine Adressbuch- und Kalenderfunktion. In letztere wird das Videokonferenzsystem Visavid integriert werden. So können zukünftig über den Kalender unkompliziert Videokonferenzen geplant und die Einladungen per Mail versendet werden.

Lernplattform mebis

Die Teilangebote von mebis werden als zentraler pädagogischer Bestandteil in die ByCS aufgenommen. Die Lernplattform bietet zahlreiche E-Learning-Aktivitäten an. In Kursen können Inhalte wie Unterrichtsmaterial, Aufgaben, Tests oder interaktive audiovisuelle Medien für Schülerinnen und Schüler bereitgestellt werden. Tafelbilder, die mit der virtuellen mebis-Tafel erstellt werden, können direkt in einen E-Learning-Kurs integriert werden, genauso wie Inhalte des Prüfungsarchivs oder der Mediathek, welche nach didaktischen Kriterien ausgewählte Medien anbietet. Über die Kursaustauschplattform

teachSHARE können Lehrkräfte geprüfte Kurse mit anderen Lehrenden teilen oder bestehende Angebote für die eigenen Schülerinnen und Schüler bereitstellen. Außerdem stehen in mebis ein Kurzlinkangebot und ein umfangreiches Infoportal – künftig „Magazin“ – zur Verfügung.

Web-Office, Cloud-Speicher und Messenger

Web-Office-Anwendungen und ein Cloud-Speicher werden die Möglichkeiten zur digitalen Kommunikation erweitern und künftig auch die Möglichkeit zur digitalen Kollaboration schaffen, also das gemeinsame Bearbeiten von Texten oder das Teilen von Präsentationen ermöglichen. Bei den Web-Office-Anwendungen wird auf die Kompatibilität zu lokal installierten Office-Anwendungen geachtet. Zur Erleichterung der asynchronen Kommunikation zwischen Schülerinnen und Schülern und Lehrkräften wird es auch einen Messenger als Teil der BayernCloud Schule geben. Er wird einen sicheren Austausch von Sprach- und Textnachrichten ermöglichen. Alle genannten Systeme sind sowohl über Browser als auch über eine App zu bedienen.

b) Fortbildungsangebot zur BayernCloud Schule

Parallel zum stufenweisen Ausbau der BayernCloud Schule wird für Lehrkräfte ein umfangreiches Fortbildungsangebot der Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung in Dillingen fortlaufend weiterentwickelt und ausgebaut. Eine Übersicht der bereits nutzbaren Selbstlernkurse findet sich auf der Übersichtsseite unter <https://selbstlernkurse.alp.dillingen.de/course/index.php?categoryid=56>. Weitere Kurse zur ByCS werden in Zukunft folgen.

Neben diesen Selbstlernkursen werden auch eSessions zu dem Themenbereich angeboten, die über die Suche mit dem Schlagwort „BayernCloud“ auf der Homepage der Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung unter <https://alp.dillingen.de/> gefunden werden können.

6. Weitere Einsatzbereiche von schulischen IT-Systemen

a) Unterrichtsbezogene Nutzung frei zugänglicher Computer für Schülerinnen und Schüler

Arbeitsinseln, Bibliotheken, Lernlandschaften oder Aufenthaltsräume können durch eine entsprechende IT-Ausstattung mit Arbeitsplatzrechnern bzw. WLAN- und Internetzugang ergänzt werden. Diese Orte werden auch außerhalb des regulären Unterrichts zu schulischen Zwecken genutzt. So kann sichergestellt werden, dass alle Schülerinnen und Schüler einen schulischen Zugang zu einem internetfähigen Computer haben, der bspw. im Kiosk-Modus betrieben werden kann, bzw. mit einem persönlich zugeordneten Gerät über das schulische WLAN das Internet nutzen können.

b) Lehrerzimmer

Im Lehrerzimmer sind in der Regel ebenfalls Computerarbeitsplätze mit Internetzugang sowie Drucker und Scanner (üblicherweise als Multifunktionsgeräte) eingerichtet. Es empfiehlt sich, dass für den Zugriff auf das Verwaltungsnetz weitere Geräte für Lehrkräfte zur Verfügung stehen.

Sollte das Lehrerzimmer regelmäßig für Konferenzen bzw. Fortbildungen genutzt werden, ist – ähnlich wie beim digitalen Klassenzimmer – eine Ausstattung mit einer Großbilddarstellung mit Audiosystem und einer Kamera zur Darstellung von Dokumenten oder Objekten empfehlenswert.

c) Ausstattung für die Seminarausbildung

Räume, die üblicherweise für den Lehrbetrieb im Rahmen der Seminarausbildung genutzt werden, sollen mindestens der Ausstattung eines digitalen Klassenzimmers entsprechen. Dies beinhaltet einen Lehrerarbeitsplatz (Desktop-PC, Notebook oder Tablet), eine Präsentationseinrichtung (Großbilddarstellung, Dokumentenkamera oder entsprechende Vorrichtung, Audiosystem) und die Möglichkeit, digitale Geräte drahtlos zu nutzen.

Aus den Mitteln des Masterplans BAYERN DIGITAL II zur Verbesserung der IT-Ausstattung an Ausbildungsseminaren und Seminarschulen werden alle Referendarinnen und Referendare bzw. Lehramtsanwärterinnen und Lehramtsanwärter sowie die Seminarlehrkräfte im Rahmen einer zentralen Beschaffung mit einem Ausbildungstablet einschließlich erforderlichem Zubehör ausgestattet. Dies schafft die Grundlagen dafür, in der zweiten Phase der Lehrerbildung die im Studium erworbenen digitalen Lehrkompetenzen zu erweitern und unter Anleitung der Seminarlehrkräfte in der konkreten Unterrichtssituation praktisch zu erproben.

Zudem ist eine darüberhinausgehende Ausstattung, z. B. mit Tabletswagen oder weiteren fachspezifischen Peripheriegeräten, sinnvoll, die es ermöglicht, digital gestützte Unterrichtsszenarien mit unterschiedlichen Geräten vorzustellen und ausgiebig zu testen.

Seminarveranstaltungen an wechselnden Orten, z. B. im Grund-, Mittel- und Förderschulbereich, sollten ebenfalls die Möglichkeit bieten, digital gestützte Unterrichtsformen auszuprobieren. Dies erfordert gegebenenfalls eine transportable Grundausstattung für ein digitales Klassenzimmer, z. B. Notebooks, Tablets, Beamer, Dokumentenkamera, Audiosystem, ggf. 4G/5G-WLAN-Router.

Ebenso ist es sinnvoll, an ausgewählten Standorten, z. B. an Medienzentren oder an Seminarschulen, digitale Unterrichtslabore einzurichten, in denen der Umgang mit unterschiedlichen Geräten eingeübt werden kann.

d) IT-Systeme für die Schulverwaltung

Über den unterrichtlichen Bereich hinaus ist der IT-Einsatz auch zur Unterstützung der Schulverwaltung von erheblicher Bedeutung. Das Amtliche Schulverwaltungsprogramm (ASV) ist als Client/Server-System mit einer Datenbank je Schule bzw. Schulzentrum konzipiert. Bei der Verwendung mehrerer Verwaltungsrechner mit ASV ist eine

Vernetzung dieser Rechner notwendig und die Installation der ASV-Serverkomponente (DSS) auf einem Server sinnvoll. Einen Überblick über die Hilfs- und Beratungsangebote zur ASV sowie die Kontaktdaten der Multiplikatoren findet man unter

<https://www.asv.bayern.de/beratung/multiplikatoren.html>.

Für Verwaltungsrechner ist ein Zugang zum Internet notwendig, wobei besondere Schutzmaßnahmen bei Vernetzung und Internetzugang erforderlich sind.

Eine detaillierte Zusammenstellung von Hinweisen und Regelungen zum Datenschutz finden sich in der KMBek vom 14. Juli 2022 Az.: I.3-V0781.4/96/30 „Vollzug des Datenschutzrechts an staatlichen Schulen (VollzBek DS – Schulen)“ des Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus und auf der Informationsseite zum Datenschutz unter <http://www.km.bayern.de/ministerium/recht/datenschutz.html>.

Ausführliche Informationen zu Schutzmaßnahmen für IT-Systeme in der Schulverwaltung finden sich auf der Informationsseite zur Datensicherheit unter <https://www.km.bayern.de/schule-digital/datensicherheit-an-schulen>.

7. Vernetzung der Rechner, Schulhausvernetzung

Für die Schulhausvernetzung sind gewisse Mindestanforderungen zu erfüllen:

- Datenschutz und Datensicherheit sind insbesondere im Verwaltungsbereich von herausgehobener Bedeutung.
- Die zentralen Komponenten eines Netzwerks (z. B. Router mit Internetanbindung, konfigurierbare Switches, Server, NAS) müssen gegen physisch unberechtigte Zugriffe und Nichtverfügbarkeit besonders geschützt werden. Weitere Informationen sind unter <https://www.km.bayern.de/schule-digital/datensicherheit-an-schulen.html> zu finden.
- Ein physischer Schutz kann dadurch gewährleistet werden, dass diese Komponenten in einem separaten verschlossenen Serverraum oder in abschließbaren Verteilerschränken untergebracht werden.
- Die Switches, die die Verbindung zwischen Sekundär- und Tertiärverkabelung herstellen, sollten in abschließbaren Verteilerschränken (Bereichsverteiler) untergebracht sein.
- Eine ausreichende Kühlung bzw. Klimatisierung von Serverräumen und Verteilerschränken erhöht die Verfügbarkeit und Lebensdauer der Geräte und ist deshalb anzuraten.
- Eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) kann sicherstellen, dass Server oder NAS-Systeme im Falle eines Stromausfalls ordnungsgemäß heruntergefahren werden, um eventuellen Schaden und damit verbundenen Datenverlust zu vermeiden.
- Ebenso müssen die zentralen Komponenten eines Netzwerks gegen Manipulationen und vor unberechtigten Zugriffen geschützt sein. Eine Absicherung erreicht man dadurch, dass der Konfigurationszugang zu den Geräten mit sicheren Passwörtern versehen und aus dem Unterrichtsnetz grundsätzlich nicht möglich ist.

- Schulnetze müssen zu bestimmten Zeiten (z. B. Unterrichtsbeginn und -ende) besondere Lastspitzen verarbeiten können. Gleichzeitige An- und Abmeldevorgänge oder Multimediaanwendungen und -zugriffe verursachen ein hohes Datenaufkommen und erfordern hoch performante Netzwerkhardware sowie Internetanbindungen. Dies gilt sowohl für die kabelgebundene Infrastruktur als auch für die Funknetze. Beim Zugriff auf cloudbasierte Dienste ist eine ausreichende Dimensionierung der Internetzugangsbandbreite erforderlich.
- Bei der Schulhausvernetzung gilt es mit Blick auf die technische Entwicklung vorausschauend zu planen und frühzeitig die nötigen technischen Rahmenbedingungen zu schaffen.
- Die Integration aller Arbeitsplätze sowie aller Schüler- und Lehrergeräte in ein leistungsfähiges Rechnernetz ist heute Standard. Es wird empfohlen, mit der Planung, der Installation, der Wartung sowie der Reparatur einen darauf spezialisierten Dienstleister zu beauftragen. Die pädagogische Systembetreuung muss in die Administrationsmöglichkeiten des Rechnernetzes eingewiesen werden.

a) Ethernet-Verkabelung (LAN)

Eine strukturierte, dienstneutrale Gebäudeverkabelung stellt eine Basisinfrastruktur dar. Die Netzwerkinfrastruktur wird dabei nicht mehr nur für die Informationstechnik, sondern auch für die Kommunikationstechnik sowie gegebenenfalls für Bereiche der Gebäude- und Gebäudeleittechnik genutzt und sollte daher großzügig geplant werden. Die Planungsrichtlinien für Kommunikationsnetze sind zu beachten (siehe Kapitel 11, „Weiterführende Literaturhinweise“). Grundsätzlich sollen in allen Räumen ausreichend Netzwerkressourcen vorgesehen bzw. im Zuge einer Ertüchtigung der schulischen Netzwerkinfrastrukturen erreicht werden.

In großen vernetzten Umgebungen unterscheidet man zwischen

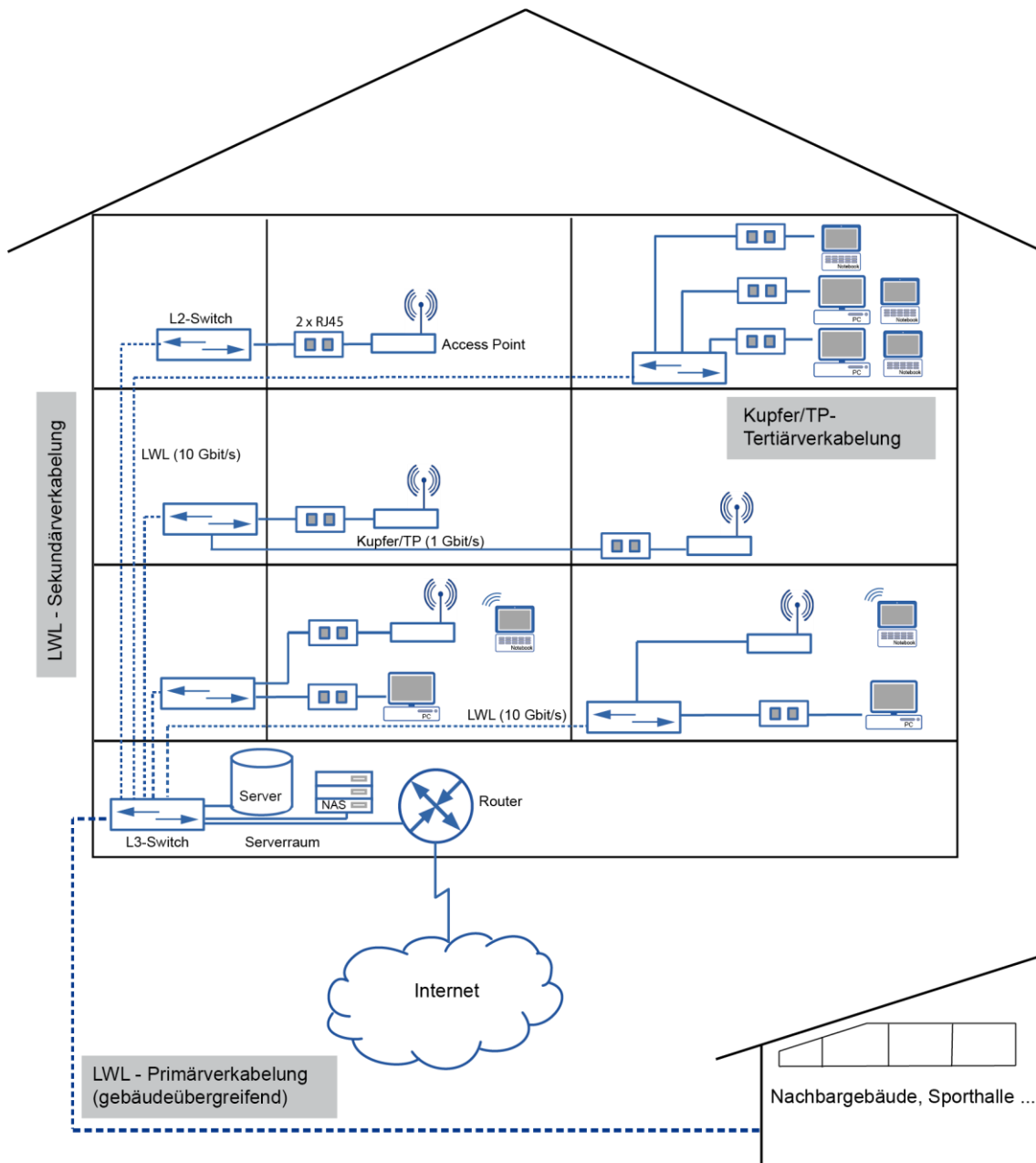
- Primärverkabelung (gebäudeübergreifendes Campusnetzwerk; typisch: Lichtwellenleiter)
- Sekundärverkabelung (Backbone-Verkabelung innerhalb eines Gebäudes; Lichtwellenleiter, derzeit typische Übertragungsrate 10 GBit/s)
- Tertiärverkabelung (Arbeitsplatzverkabelung; Twisted-Pair-Kupfer-Verkabelung, derzeit typische Übertragungsrate 1 GBit/s)

Die Anbindung fester Arbeitsplätze und weiterer netzwerkfähiger nicht mobiler Clients (z. B. Drucker, interaktive Tafeln, zunehmend auch Beamer oder Dokumentenkameras) wird üblicherweise über eine Kupferverkabelung (Twisted-Pair-Verkabelung) mit Gigabit-Ethernet (1 GBit/s) durchgeführt. Im Backbone-Bereich wird 10 Gigabit-Ethernet (10 GBit/s) auf Lichtwellenleiter (LWL)-Basis empfohlen. Für jeden Arbeitsplatz sollte für gegebenenfalls zukünftige Erweiterungen mindestens eine LAN-Doppeldose (2 x RJ45) vorgesehen werden. Für die Anbringung von Access-Points sowie gegebenenfalls für den Anschluss von Beamern sind Stromsteckdosen und Netzwerkdosen im Deckenbereich sinnvoll.

Zunehmend ist es auch üblich, über die vorhandene Ethernet-Verkabelung Audio- oder Video-Signale (z. B. mit Ethernet-HDMI-Extender) zu übertragen oder diese zur Stromversorgung (Power over Ethernet (PoE)) zu nutzen.

Beispiel für eine strukturierte Gebäudeverkabelung

Nachfolgend ist eine strukturierte Gebäudeverkabelung mit Primär-, Sekundär- und Tertiärverkabelung symbolhaft dargestellt:



Strukturierte Gebäudeverkabelung mit Primär- Sekundär- und Tertiärverkabelung

b) Funknetz (WLAN)

Der Einsatz von mobilen Endgeräten, insbesondere Tablets oder Smartphones, ist ohne eine Funkanbindung nicht sinnvoll möglich. Ein Funknetz ergänzt eine strukturierte Gebäudeverkabelung, kann diese jedoch nicht ersetzen. Für stationäre IT-Geräte ist eine kabelgebundene Anbindung an das lokale Netz zu bevorzugen.

Die Anbindung von WLAN-fähigen Clients wird über Access-Points realisiert. Letztere sind per Kabel in das lokale Netz eingebunden. Für eine flächendeckende WLAN-Versorgung muss das Gebäude über eine entsprechende kabelbasierte Erschließung verfügen, um Access-Points geeignet positionieren zu können.

Wenn WLAN die zentrale Netzzugangstechnik im Klassenzimmer ist und intensiv im Unterricht genutzt wird, kann vereinfacht von der Installation eines Access-Points pro Klassenzimmer ausgegangen werden. Bei komplizierten baulichen Situationen ist ggf. eine professionelle Ausleuchtung zur Planung der WLAN-Infrastruktur sinnvoll.

- Möglich sind derzeit Übertragungsraten bis in den Gigabit-Bereich (Standards nach IEEE 802.11ac (WiFi 5) und IEEE 802.11ax (WiFi 6)). Zu beachten ist, dass Übertragungsqualität und -reichweite oftmals schwer einschätzbaren Umgebungseinflüssen (z. B. Stahlbetonwände) unterliegen. Zu beachten ist, dass sich alle angemeldeten Clients die am Access-Point verfügbare Bandbreite aufteilen.
- Bei einer schlechten Übertragungsqualität wird die Übertragungsrate drastisch reduziert. In der Praxis wird selten mehr als ein Drittel der Brutto-Übertragungsrate zwischen dem Access-Point und dem Client erreicht.
- Bei Neuinstallationen sollte der Standard IEEE 802.11ax / WiFi 6 berücksichtigt werden. Geeignete Access-Points unterstützen die Clients im 2,4 GHz- und im 5 GHz-Bereich und bieten ausreichend hohe Übertragungsraten. Die Anbindung der Access-Points an das lokale Netz erfolgt dabei über Gigabit-Ethernet mit Übertragungsraten von 1 bzw. 2,5 GBit/s.
- Bei der Planung einer WLAN-Infrastruktur ist auch darauf zu achten, dass die Schule über eine ausreichend große interne LAN- sowie Internetbandbreite (Download und Upload) verfügt und entsprechend leistungsfähige Netzwerkkomponenten verwendet werden. Nur so können ein stabiler Netzzugriff und die performante Nutzung externer Ressourcen gewährleistet werden.

WLAN-Controller

Eine WLAN-Infrastruktur mit mehreren Access-Points sollte über einen zentralen WLAN-Controller administriert werden. Dies ermöglicht eine schnelle Anpassung oder Erweiterung sowie ein zentrales Monitoring des WLAN-Netzes. Controller gibt es „on premises“ als Software auf einem Computer oder als separate Hardware und als cloudbasierte Variante. Cloudbasierte Controller sind, je nach Hersteller, auch mandantenfähig, d. h., die WLAN-Netzwerke mehrerer Schulen lassen sich zentral über eine Plattform administrieren.

Grundsätzlich müssen die Access-Points zum Controller kompatibel sein. Dies bedingt die Festlegung auf einen Systemanbieter bzw. Hersteller. Bei Planung und Beschaffung empfiehlt es sich, auf eine Technologie zu setzen, die erweiterbar ist und auch in Hochlastumgebungen stabil funktioniert.

Alternative Strukturen

WLAN-Mesh-Systeme und WLAN-Repeater sind weitere mögliche Ansätze für eine WLAN-Infrastruktur, die in einer Schule nicht zu empfehlen sind.

WLAN-Mesh-Systeme können in einem Gebäude eine großflächige WLAN-Abdeckung ermöglichen, ohne dass alle Access-Points jeweils an ein kabelgebundenes Netzwerk angeschlossen sind. Mesh-Systeme bestehen aus sog. Satelliten und einer Basisstation. Sie bilden die Knoten des Mesh-Netzwerks. Alle Knoten kommunizieren untereinander über das Funknetz. Die zur Steuerung genutzten Signale und Datenübertragungen verringern die Bandbreite des Gesamtsystems. Mesh-Systeme sind nicht herstellerübergreifend kompatibel.

WLAN-Repeater sind nicht geeignet, ein Funknetz mit den schultypischen Lastszenarien aufzubauen. Repeater verstärken Funksignale und vergrößern die Reichweite einer Funkzelle, sie erhöhen aber nicht die Bandbreite innerhalb des Empfangsbereichs.

Zugriffsschutz

Der Zugriff auf vertrauliche Ressourcen und Daten der Schule (z. B. Dateifreigaben) über das WLAN der Schule muss abgesichert werden und darf nur autorisierten Personen möglich sein. Erreicht werden kann dies z. B. durch

- Eine verschlüsselte Verbindung (z. B. mit WPA2 bzw. WPA3), deren Schlüssel (Pre-Shared Key) nur den autorisierten Nutzerinnen und Nutzern (z. B. Lehrkräften) bekannt ist. Eine individuelle Authentifizierung ist notwendig, wenn auf sensible Daten (z. B. personenbezogene Daten) der Schule zugegriffen wird.
- Eine weitere Möglichkeit bildet eine zentrale individuelle Netzwerkauthentifizierung (z. B. Hotspot-Lösung mit Captive Portal-Authentifizierung oder IEEE 802.1x und Radius-Server). Diese Variante erhöht den Verwaltungsaufwand und die Sicherheit durch die Limitierung der Zugriffsberechtigungen. Die Sicherheit der Datenübertragung bleibt dabei im Vergleich zum oben genannten WPA2/WPA3 unberührt. Eine weitere Authentifizierung gegen einen Anwendungsserver oder Datenspeicher kann zusätzlich notwendig sein.

Von der Nutzung von WLAN in Verwaltungsnetzen wird abgeraten, da eine räumliche Begrenzung dieser Netze ausschließlich auf den Verwaltungsbereich nicht möglich ist.

Ein vollständig separates, vom eigentlichen Schulnetz logisch getrenntes WLAN-Netz mit Internetzugang ist eine weitere Zugangsmöglichkeit. Ein Zugriff auf schulinterne Ressourcen ist dabei nicht vorgesehen. Dies ist z. B. bei BayernWLAN, einer Initiative des Bayerischen Staatsministeriums der Finanzen und für Heimat so realisiert. Informationen dazu sind unter <https://www.ldbv.bayern.de/breitband/bayernwlan.html> zu finden.

Im Ausnahmefall können auch Internetverbindungen über das Mobilfunknetz über sogenannte LTE-Router eingesetzt werden.

Gesundheitliche Aspekte bei der Verwendung von WLAN

WLAN nutzt zur Datenübertragung Frequenzen im 2,4 GHz- und 5 GHz-Bereich. Alle in Deutschland zugelassenen technischen Geräte für den Aufbau von Funknetzwerken

halten die empfohlenen strahlungsrelevanten Höchstwerte ein. Bei einem flächen-deckenden WLAN-Einsatz, z. B. bei Installation eines Access-Points je Klassenzimmer, kann die erforderliche Sendeleistung pro Access-Point reduziert und damit die punktuelle Strahlenbelastung minimiert werden.

WLAN-Systeme emittieren zur drahtlosen Informationsübertragung hochfrequente elektromagnetische Felder. Gesundheitliche Risiken dieser Felder wurden national und international, u. a. auch im Rahmen des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms, untersucht. Unterhalb der empfohlenen Höchstwerte sind vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) keine negativen gesundheitlichen Auswirkungen nachgewiesen. Messungen zeigen, dass bei der Anwendung von WLAN und anderen drahtlosen Übertragungstechniken die empfohlenen Höchstwerte bei Weitem nicht erreicht werden (siehe https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/emf/info-bluthooth-und-wlan.pdf?__blob=publicationFile&v=7 sowie gleichlautende LT-Druck-sache 16/2362).

Ergänzende Hinweise zu Auswirkungen elektromagnetischer Felder bietet das Bayerische Staatsministerium für Gesundheit und Pflege unter <https://www.stmgp.bayern.de/vorsorge/umwelteinwirkungen/elektromagnetische-strahlung> und das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz unter <https://www.stmuv.bayern.de/themen/strahlenschutz/index.htm> an.

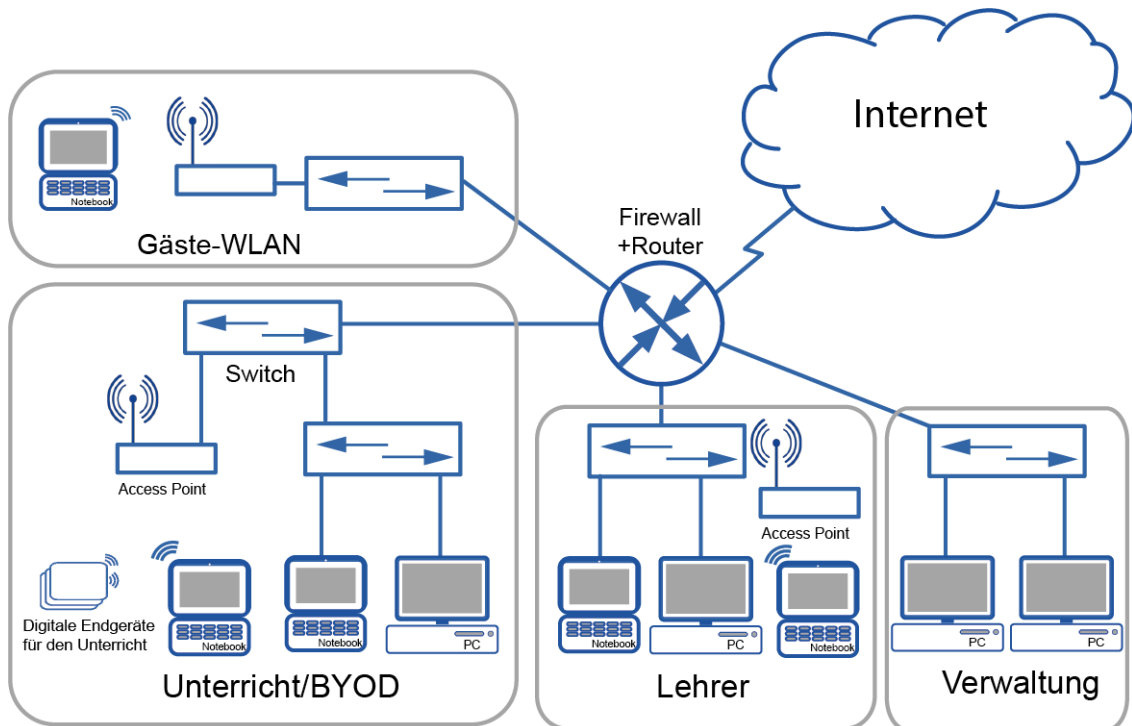
Der Netzzugang mit Notebooks, Tablets oder Smartphones per WLAN ist, aufgrund einer geringeren Strahlung, einer Mobilfunkverbindung vorzuziehen (siehe z. B. BfS: "Tipps für Nutzer*innen von Smartphones und Tablets", <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/mobilfunk/vorsorge/smartphone-tablet/smartphone-tablet.html>).

c) Logische Trennung des lokalen Netzes in Teilnetze

Zur Gewährleistung eines hohen und differenzierten Schutzniveaus ist es sinnvoll, Verwaltungsbereich, Lehrerbereich und Schüler-/Unterrichtsbereich in verschiedene Teilnetze zu trennen. Jedes dieser Teilnetze ist ein eigenes logisches Netz, in dem eigene Sicherheitsstandards definiert werden können. Die Teilnetze können über VLANs (bei Nutzung derselben physikalischen Verkabelung) oder über eine getrennte Verkabelung gebildet werden.

Zur Verbindung von Teilnetzen bzw. zur Kommunikation zwischen den Teilnetzen ist ein Router oder ein Layer-3-Switch nötig. Damit lassen sich kontrollierbare Übergänge einrichten. Durch Firewall-Regeln wird festgelegt, zwischen welchen Teilnetzen kommuniziert und wie jeweils auf das Internet zugegriffen werden kann.

In nachfolgender Grafik ist eine beispielhafte Trennung des Schulnetzes in verschiedene Teilnetze dargestellt, die durch einen zentralen Router verbunden sind:



Beispielhafte Darstellung verschiedener Teilnetze in der Schule

Über WLAN-Multi-SSID lassen sich auch unterschiedliche WLAN-Netze und Einsatzvarianten definieren (z. B. Lehrer-WLAN, Unterricht-/BYOD-WLAN, Gäste-WLAN etc.). So kann für die jeweiligen Teilnetze, Nutzergruppen und Einsatzzwecke bestimmt werden, auf welche Ressourcen, wie Internet oder interne Dienste, diese zugreifen dürfen. Im Unterrichtsnetz sollten Lehrkräfte, das sonstige pädagogische Personal, Schülerinnen und Schüler zusammenarbeiten und auf die gleichen Ressourcen (z. B. Drucker, drahtlose Bildschirmübertragung) zugreifen können. Auch Störungen oder Überlastungen sind so üblicherweise auf die jeweiligen Teilnetze beschränkt.

Eine weitere Trennung in mehrere Teilnetze innerhalb des Unterrichtsnetzes kann aus denselben Gründen sinnvoll sein, z. B. in einzelne Computerräume, Klassenbereiche, Fachräume.

8. Verbindung mit dem Internet

a) Internetzugang

Ein ausreichend leistungsstarker Internetzugang ist für Schulen unverzichtbar. Um in Zeiten einer zunehmenden Verlagerung von Ressourcen und Diensten ins Internet Online-Angebote in der Schule sinnvoll nutzen zu können, ist eine möglichst hohe Bandbreite sowohl im Up- als auch im Downstream notwendig. Erklärtes Ziel der Bayerischen Staatsregierung ist die Anbindung der Schulen über einen breitbandigen Glasfaseranschluss.

Grundsätzlich werden aktuell drei unterschiedliche Techniken beim kabelgebundenen Internetzugang angeboten: DSL (Digital Subscriber Line), Kabelnetz und Glasfaser. Die Techniken unterscheiden sich hinsichtlich Bandbreite und Stabilität deutlich. DSL verwendet die vorhandenen Kupferkabel des Telefonnetzes und hat aufgrund technischer und physikalischer Beschränkungen nur eine geringe maximale Bandbreite ohne weitere Steigerungsmöglichkeit. Im Kabelnetz wird der Breitbandzugang über die Kabelfernsehtetze realisiert. Es handelt sich dabei um ein „Shared Medium“, das heißt, die vorhandene Bandbreite wird auf die Anschlussinhaber aufgeteilt. Es kann somit unabhängig von der gebuchten maximalen Bandbreite zu deutlichen Leistungsschwankungen in Stoßzeiten kommen.

Lichtwellenleiter (LWL, Glasfaser) haben die genannten Bandbreitenbeschränkungen bzw. Leistungsschwankungen nicht und ermöglichen eine erheblich höhere maximale Bandbreite. Im Kontext des Breitbandzugangs einer Schule ist aufgrund der deutlich besseren Skalierbarkeit und Zukunftssicherheit unbedingt ein Glasfaseranschluss anzustreben.

Im Bereich der DSL-Anschlüsse sind aktuell bis zu 250 Mbit/s im Downstream und 40 Mbit/s im Upstream möglich. Im Kabelnetz sind Datenraten von bis zu 1.000 Mbit/s im Down- und 50 Mbit/s im Upstream möglich. Glasfaser-Anschlüsse sind sowohl mit symmetrischer als auch asymmetrischer Bandbreitenaufteilung buchbar. Hier werden Datenraten von z. B. 1.000 Mbit/s im Down- und Upstream angeboten.

Neben der Bandbreite sind die Verfügbarkeit und der Support wichtige Leistungsmerkmale. Geschäfts- bzw. Business-Anschlüsse bieten oft den notwendigen Service und eine kurzfristigere Entstörung.

Bandbreitenmessung

Die Bundesnetzagentur bietet unter <https://breitbandmessung.de> eine Möglichkeit zur Messung der eigenen, tatsächlichen Bandbreite des Internetzugangs. Diese Prüfung sollte zu verschiedenen Tages- und Wochenzeiten mehrmals durchgeführt werden. Um Effekte des lokalen Netzwerks ausschließen zu können, ist der Test von einem kabelgebundenen LAN-Anschluss möglichst nah am Router auszuführen. Sollte die vertraglich gebuchte Bandbreite von der gemessenen, tatsächlichen Bandbreite signifikant abweichen, sollte in einem ersten Schritt der Anbieter informiert werden. In einem zweiten Schritt kann geprüft werden, ob ein Anbieterwechsel notwendig ist, sofern die Bandbreitendabweichungen weiterhin bestehen.

Richtwert für den Bandbreitenbedarf

Der Bandbreitenbedarf einer Schule ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Schulart und Schüleranzahl sind grundlegende Kalkulationsgrößen. Die Anwendungsart und -intensität ergeben sich aus den schulischen Nutzungsszenarien. In besonderem Maße ist bei der Nutzung externer Lernplattformen, Videokonferenztools oder von Cloud-Diensten der deutlich zunehmende Bedarf an Upstream-Geschwindigkeit zu berücksichtigen. Das Aufrufen und Abspeichern von Daten bei Cloud-Diensten führt vor allem am Unterrichtsanfang und -ende zu hohen Netzbelastungen.

Für typische Anwendungsszenarien, wie zum Beispiel die aktive Medienarbeit und das Speichern von Daten auf Cloudspeichern, kann zur Berechnung vereinfacht von einem

symmetrischen Bandbreitenbedarf von etwa 1 MBit/s pro aktivem Nutzer ausgegangen werden. Insgesamt sollte die verfügbare Internetbandbreite einer Schule – abhängig von der Schulgröße – idealerweise nicht weniger als 100 MBit/s und 40 MBit/s im Upstream betragen.

Mit zunehmender Schülerzahl sollte ein weiterer Internetzugang für die Schule zur Lastverteilung und Steigerung der Ausfallsicherheit erwogen werden. Schulen, die noch keinen Breitbandzugang zum Internet haben, wird empfohlen, über ihre Kommune eine Aufnahme in den Ausbaubereich im Rahmen der verschiedenen Breitband- bzw. Gigabitförderprogramme des Freistaats Bayern und des Bundes zu erwirken.

Der Internetzugang über das Mobilfunknetz per LTE/5G kann den kabelgebundenen Zugang flexibel ergänzen oder als Backupverbindung herangezogen werden. Bei der Wahl des Mobilfunktarifs ist darauf zu achten, dass dieser keine Volumenbegrenzung hat. Verschiedene Anbieter haben oftmals spezielle Bildungstarife in ihrem Angebot.

b) Internetzugangsroutern mit Firewall

Dem Internetzugangsroutern der Schule kommt als zentraler Übergangsknotenpunkt, an dem effektiv der Datenfluss zwischen dem lokalen Netz und dem Internet gesteuert werden kann, eine besondere Bedeutung zu. Der Router sollte den Einsatz unter hohen Lastbedingungen gewährleisten, unterschiedliche Netze anbinden können, differenzierte Firewall-Einstellungen bieten und gegebenenfalls einen redundanten Internetanschluss ermöglichen. Internetzugangsroutern aus dem Heimbereich bieten diese Eigenschaften nicht.

Bereits mit einer Standardkonfiguration bieten Internetzugangsroutern einen guten Schutz gegen Angriffe oder ungewollte Zugriffe aus dem Internet.

Dedizierte Firewall-Systeme und UTM

Umgebungen mit hohen Sicherheitsanforderungen setzen komplexe und aufwändig zu konfigurierende Firewalls bzw. UTM-Systeme (Unified-Threat-Management) ein, die oft über den Sicherheitsbedarf einer Schule hinausgehen. Diese Systeme integrieren neben klassischen Filtern auf IP- und Protokollebene zusätzliche Sicherheits- und Filterfunktionen wie Authentifizierung, VPN, Intrusion-Detection, Intrusion-Prevention oder Content-Filter.

Die komplexe Konfiguration und Administration sind neben den meist anfallenden regelmäßigen Lizenzgebühren zu bedenkende Kriterien.

c) Webfilter

Der Schutz der Kinder und Jugendlichen vor unerwünschten Inhalten aus dem Internet ist Anliegen und Auftrag der Schule. Dazu wurden als technisches Hilfsmittel Webfilter entwickelt, die den Zugang zu Internet-Ressourcen kontrollieren sollen, um Kinder und Jugendliche vor schwierigen Situationen im Umgang mit digitalen Medien, vor allem der Konfrontation mit unangemessenen Inhalten, zu bewahren.

Der Einsatz eines Webfilters entbindet die Schule jedoch nicht von ihrer zentralen Aufgabe, die Medienkompetenz der Schülerinnen und Schüler zu fördern. Diese werden

durch die Lehrkräfte und dem sonstigen pädagogische Personal zum verantwortungsbewussten Arbeiten mit Medien angeleitet und dabei begleitet. Die zunehmende Digitalisierung erfordert den kompetenten, selbstverantwortlichen Umgang mit digitalen Medien auch insofern, als das Internet außerhalb der schulischen Infrastruktur für Kinder und Jugendliche immer häufiger als selbstverständliche Ressource überall und zumeist ohne Beschränkungen verfügbar ist.

Es besteht daher keine grundsätzliche Verpflichtung für Schulen, eine technische Lösung einzusetzen, um unerwünschte Internetseiten zu filtern bzw. Internetaktivitäten zu protokollieren.

Wenn sich eine Schule für einen Webfilter entscheidet, um die kontinuierliche und präventive Aufsicht der Schule zu unterstützen, kann die Berücksichtigung folgender Kriterien bei der Auswahl hilfreich sein:

Betriebsstabilität, Performanz und technische Zuverlässigkeit

Ein Webfilter beeinflusst an einem zentralen Punkt die Anbindung des Unterrichtsnetzes an das Internet. Ein dauerhaft stabiler und zuverlässiger Betrieb ist deshalb unabdingbar. Der Webfilter darf die Internetverbindung oder das Aufrufen von Webseiten nicht merklich verlangsamen und muss mit allen Desktop-Computern, Notebooks, Tablets und weiteren mobilen Endgeräten funktionieren. Die Filterung von http- und https-Seiten muss gleichermaßen möglich sein.

Integration in das Unterrichtsnetz

Ein Webfilter muss in das Unterrichtsnetz der Schule integrierbar sein und sich in das Nutzungskonzept der Schule einfügen. Auf den schüler- bzw. lehrereigenen Geräten sollte der Webfilter funktionieren, ohne dass dort Änderungen an der Konfiguration vorgenommen werden müssen.

Inhaltliche Zuverlässigkeit

Bei der bestimmungsgemäßen Arbeit im Unterricht sollte man den Webfilter nicht bemerken. Üblicherweise werden Webfilter danach bewertet, wie zuverlässig diese unerwünschten Webseiten sperren. Ebenso wichtig ist, dass Webfilter erwünschte Webseiten und Dienste zulassen und den Unterricht nicht behindern.

Globale Einstellung durch die Schule

Die Schule sollte eine einfache Möglichkeit haben, die Filterung zu beeinflussen (z. B. Auswahl der zu filternden Kategorien, eigene Blacklist/Whitelist). Sinnvoll ist es, wenn die Filterregeln entsprechend dem Alter, der Medienkompetenz, der Selbstverantwortung, der Einsichtsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler und der jeweiligen Einsatz- und Beaufsichtigungssituation global voreingestellt werden können.

Nutzung durch die Lehrkraft

Flexible Differenzierungen der Filtereinstellungen in einzelnen Unterrichtsstunden und für einzelne Klassen sind oft unpraktikabel. Der Unterricht am Computer sollte möglich sein, ohne dass die Lehrkraft im Vorfeld den Filter zwingend anpassen muss.

Protokollierung der Web-Zugriffe

Werden von einem Webfilter personenbezogene Daten in Logdateien gespeichert, sind die Anforderungen des Datenschutzes zu beachten.

Technische Umsetzung

Webfilter über einen Proxyserver erlauben sehr differenzierte Einstellungen anhand von Benutzerkennungen, Computerkennungen oder auch differenzierte zeitliche Einstellungen (z. B. Ausschalten der Filterregeln für einzelne Unterrichtsstunden). Bei der Filterung von https-Seiten und bei der Arbeit mit mobilen Geräten bereiten Proxyserver häufig Probleme. Zahlreiche Apps bei Smartphones und Tablets funktionieren unter Verwendung eines (auch transparenten) Proxyservers nicht wie gewünscht.

Eine Alternative ist eine Filterung über den DNS-Dienst, der von allen Geräten für den Internetzugriff verwendet wird. Eine externe DNS-Filterung bindet keine Ressourcen in der Schule, erlaubt jedoch keine differenzierten Filtereinstellungen innerhalb der Schule. DNS over HTTPS (DoH) ist ein Standard, der in der Lage ist, die DNS-Filterung auszuhebeln, wenn es einem Client gelingt, einen geeigneten DNS-Server anzusprechen, der keine Filterung verwendet. Aktuell wird DoH noch nicht flächendeckend eingesetzt. Grundsätzlich kann diese Lücke über Firewall-Einstellungen am Router oder über dedizierte Firewall-Systeme geschlossen werden. Außerdem kann die Einstellmöglichkeit von DoH im Browser an verwalteten Endgeräten über entsprechende Richtlinien unterbunden werden. Alternativtechniken zu DoH sind DNS over TLS (DoT) oder DNS over QUIC (DoQ).

9. Auswahlkriterien für schulische IT-Systeme

a) Arbeitsplatzcomputer

Desktop-Computer mit separat angeschlossenem Monitor, Tastatur und Maus sind die klassischen Arbeitsplatzcomputer, die in allen Verwaltungs- und Büroumgebungen zum Einsatz kommen. Die ergonomischen Anforderungen an Büroarbeitsplätze lassen sich mit diesen Computern am besten erfüllen. In Schulen kommen Desktop-Computer überall dort zum Einsatz, wo fest installierte Computer sinnvoll sind, z. B. in Computerräumen, in Lehrerzimmern oder in der Schulverwaltung. Desktop-Computer gibt es in allen Leistungsklassen, vom Standard-Büro-Computer bis zu leistungsfähigen Workstations für CAD-Anwendungen, Grafik- oder Videobearbeitung.

Die klassischen Betriebssysteme für Arbeitsplatzcomputer sind Windows, Linux oder MacOS. In Verwaltungs- und Büroumgebungen hat sich Windows weitgehend durchgesetzt und ist auch an Schulen am weitesten verbreitet.

b) Monitore

Arbeitsplatzmonitore sind Bildschirme, die an Arbeitsplatzcomputer angeschlossen werden. Bei Notebooks, Tablets oder Smartphones dienen sie der Erweiterung des integrierten Displays. Die Größe von Monitoren wird durch die Kombination von

Bildschirmdiagonale und Seitenverhältnis beschrieben. Die erforderliche Bildschirmgröße wird durch die Nutzeranforderungen und Platzverhältnisse bestimmt. Bei Schülerarbeitsplätzen (z. B. im Computerraum) kommen typischerweise Monitore ab 24" mit einem Seitenverhältnis von 16:9 oder 16:10 zum Einsatz. Bei Lehrer- und Büroarbeitsplätzen kann ein zweiter Monitor sinnvoll sein.

Statt zweier Monitore kann auch ein Breitbild-Monitor verwendet werden. Dabei muss sichergestellt sein, dass der angeschlossene Rechner das benötigte Seitenverhältnis und die zugehörige Auflösung unterstützt.

c) Notebooks

Klassische Notebooks mit einem größeren Display (ab ca. 15") sind ein Ersatz für Desktop-Computer. Sie kommen, vor allem dann zum Einsatz, wenn der Platz beschränkt ist, wenn die Geräte häufiger transportiert werden oder wenn nicht ständig damit gearbeitet und deshalb auf ergonomische Erfordernisse weniger Wert gelegt wird. Die Systemleistung von klassischen Notebooks entspricht der von Standard-Desktop-Computern. Als Betriebssysteme für Notebooks werden wie bei Desktop-Computern Windows, Linux (bei x86-PCs) oder MacOS (bei MacBooks) und seit einigen Jahren auch Chrome OS (bei Chromebooks) angeboten.

Angeschlossen an externe Peripheriegeräte wie Monitor, Tastatur und Maus, eignet sich ein Notebook auch als Ersatz für einen Desktop-Computer. Dies kann über eine Docking-Station oder eine Verkabelung (z. B. über USB-C, ggf. unter Verwendung eines Adapters) erfolgen.

d) Tablets

Tablets sind wie Smartphones unkompliziert und ohne eine physische Tastatur bedienbar. Weitere Vorteile sind die schnelle Einsatzbereitschaft, lange Akkulaufzeiten, geringes Gewicht, integrierte Foto- und Video-Funktionen und vor allem die hohe Mobilität. Weniger geeignet sind Tablets für Anwendungen, die Tastatur und Maus oder eine große Bildschirmdarstellung benötigen (z. B. für Office-Anwendungen).

Neben der Touch-Funktionalität mit Fingern bieten viele Tablets auch die Möglichkeit einer Stifteingabe, wobei hier spezielle (meist induktive) Stifte mit mehreren Druckstufen zum Einsatz kommen. Gleichzeitig ist bei dieser Art der Stiftbedienung die Touch-Funktion deaktiviert, so dass der Handballen wie beim Schreiben auf Papier auf dem Tablet aufliegen kann.

Tablets haben ein anderes Bedienkonzept als Notebooks. Dies setzt auch ein entsprechend geeignetes Betriebssystem und speziell für den Tablet-Einsatz entwickelte Anwendungen (Apps) voraus.

Es gibt sie mit den vorinstallierten Betriebssystemen Android, Chrome OS, iPadOS und Windows. Bei dessen Auswahl sollte eine einfache Administrierbarkeit, zum Beispiel über ein MDM-System, berücksichtigt werden (vgl. oben 3.c)).

Tablets in der Grundschule

Der Erwerb von Medienkompetenz spielt bereits in der Grundschule bzw. in der Grundschulstufe der Förderschule eine große Rolle. Für die Lernumgebung der Grundschule erweisen sich dabei Tablets oft als sinnvoller als Desktop-PCs oder Notebooks.

Der hohe Aufforderungscharakter, die intuitive Bedienbarkeit und bestehende Vorerfahrungen der Kinder aus dem häuslichen Umfeld ermöglichen einen unkomplizierten Einstieg in die Arbeit mit digitalen Medien. Auch neue digitale Präsentationsformen sind dadurch umsetzbar. Die Multifunktionalität von Tablets sowie die hohe räumliche, zeitliche und methodische Flexibilität erlauben, nicht zuletzt wegen der kompakten Größe und des geringen Gewichts, ergänzend zu den analogen bzw. haptischen Lernzugängen eine hohe Methodenvielfalt und optimale Umsetzung der geforderten Lehrplaninhalte.

Da auch die in den Grundschulen verwendeten Apps, Programme und Plattformen eine gute Performance verlangen, sollte bei der Geräteauswahl auf ausreichende Leistung geachtet werden. Je nach vorgesehenem Einsatzzweck sollte ggf. ein Tablet gewählt werden, das mit einem induktiven Stift bedienbar ist, um Apps mit Stifteingabe (z. B. Schwungübungen, digitaler Notizblock, Grafiksoftware) nutzen zu können. Auch auf Erweiterungsmöglichkeiten sollte geachtet werden (Speichermedien, Anschlüsse für Kopfhörer oder Mikrofon, Anschlussmöglichkeit für eine Tastatur). Dies gewährleistet eine reichhaltigere Nutzung und ermöglicht die Anpassung an die fortschreitende Souveränität der Kinder im Umgang mit digitalen Arbeitsgeräten. Sinnvoll ist eine robuste stoßabsorbierende Schutzhülle für die Geräte.

e) Weitere Bauformen von Computern

Es werden auch mobile Geräte mit Touch-Display und abnehmbarer Tastatur angeboten, die die Brücke zwischen Notebooks und Tablets schlagen sollen. Dabei ist zu beachten, dass Notebooks und Tablets unterschiedliche Bedienkonzepte haben, die nicht für jede Anwendung geeignet sind.

Bei Tablets erwartet man leichte und handliche Geräte mit Stiftbedienung und integrierten Kameras, bei Notebooks eine gut bedienbare Tastatur mit Touchpad und eine deutlich höhere Systemleistung.

Bei Convertibles bzw. 2-in-1-Geräten ist die Tastatur bzw. das Display umklappbar. Den Anspruch, die Vorzüge von Notebooks und Tablets zu vereinen, erfüllen diese Geräte nur bedingt. Geräte, die über ein schmales Gehäuse verfügen, nähern sich beim Gewicht Tablets immer mehr an. Der Schreibkomfort ist bei einigen Geräten mit Tablets vergleichbar.

f) Betriebssysteme für Arbeitsplatzcomputer, Notebooks und Tablets

Windows

Microsoft Windows ist an Schulen bei Desktop-Computern und Notebooks das am häufigsten genutzte Betriebssystem.

Auch Tablets sind mit vorinstalliertem Windows-Betriebssystem erhältlich. Vorteilhaft dabei ist, dass neben den Apps aus dem Microsoft-Store viele andere Windows-Programme von Drittanbietern zum Einsatz kommen können und in einer gewohnten PC-Umgebung gearbeitet wird. In Verbindung mit einer Tastatur wird dadurch ein „Systembruch“ zu Windows-Arbeitsplatzcomputern vermieden.

Bei Neuanschaffungen von Windows-PCs sollte ein aktuelles Windows-Betriebssystem zum Einsatz kommen (z. B. Windows 11), da hier die geringsten Probleme mit Gerätetreibern und Anwendungsprogrammen zu erwarten sind. Für Schulen werden die Professional-, Enterprise- oder Education-Versionen von Windows empfohlen. Das FWU hat mit Microsoft Vereinbarungen zum Bezug von Windows-Betriebssystemen und Anwendersoftware abgeschlossen, die derzeit noch von Schulen genutzt werden können (siehe <http://www.fwu.de/1702/rahmenvertrag-zwischen-dem-fwu-und-microsoft> bzw. <https://www.microsoft.com/de-de/education/buy/fwu-vertrag>).

Microsoft hat die Lizenzen für den Bildungsbereich unter <https://www.microsoft.com/de-de/education/how-to-buy/default.aspx> dargestellt.

Ältere Betriebssysteme, für die keine neuen Sicherheitsupdates angeboten werden, sollten baldmöglichst aktualisiert, ausgetauscht bzw. speziell abgesichert werden.

Linux

Linux ist eine frei erhältliche Open-Source-Software und stellt eine Alternative zu Windows dar. Linux bietet für alle Standardanwendungen wie z. B. Office, Bild- und Videobearbeitung freie Software an. Auch fächerspezifische Lernprogramme stehen unter Linux zur Verfügung.

MacOS

MacOS ist das Desktop-Betriebssystem für Apple-Computer (z. B. MacBook, iMac). Viele klassische Softwareprodukte stehen unter MacOS zur Verfügung. Upgrades auf die jeweils aktuelle Betriebssystemversion sind kostenlos verfügbar. Für Updates und für den Zugriff auf den App-Store ist eine Apple-ID notwendig.

Chrome OS

Chrome OS ist ein von Google entwickeltes Betriebssystem, das für Desktop-PCs, Notebooks oder Tablets angeboten wird. Chrome OS setzt eine Internetverbindung und einen Google-Account voraus, der gegebenenfalls mit Google Workspace for Education verwaltet werden kann. Die meisten Programme laufen als Web-Anwendungen, die Daten können in der Google-Cloud gespeichert werden.

Mobile-Betriebssysteme

Die Betriebssysteme Android, iOS und iPadOS sind primär für mobile Geräte (Tablets und Smartphones) und einen energieeffizienten Betrieb ausgelegt. Sie unterstützen Apps (z. B. aus zertifizierten App-Stores) und webbasierte Anwendungen.

Android ist eine von Google entwickelte, freie Software. Apps können über verschiedene App-Stores installiert werden. Darunter gibt es auch solche, die nur freie Software vertreiben, ohne dass ein Benutzeraccount nötig ist. Ein einfacher Betrieb ist über die

vorinstallierte Google-Umgebung und den dazugehörigen App-Store möglich. Dazu ist eine Anmeldung mit einem Google-Benutzer-Account nötig.

Auf dem iPad können nur über den Apple-Store weitere Apps installiert werden. Dazu ist die Anmeldung mit einer Apple-ID notwendig.

Bei Android, iOS und iPadOS können Apps zentral verwaltet und verteilt werden. Die Betriebssysteme bieten Anpassungsmöglichkeiten für Anforderungen im Bildungs- und Erziehungsbereich.

In allen Anwendungsfällen sind hinsichtlich der Zulässigkeit der Verarbeitung personenbezogener Daten außerhalb der EU bzw. des EWR-Raums die Ausführungen zu den datenschutzrechtlichen Aspekten bei Planung und Einsatz von IT-Systemen in Kapitel 1.c) zu beachten.

g) Server und Serverbetriebssysteme, NAS

Zentrale Dienste können als Cloud-Dienste, auf angemieteten Servern im Internet oder auf lokalen Servern in der Schule bereitgestellt werden. Für die datenschutzrechtlichen Hinweise zu Cloud-Lösungen siehe Kapitel 1.c).

Für den Einsatz als lokaler Fileserver (Datenablage oder Dateiaustausch), als Backup-System und ggf. auch für weitere Serverdienste (z. B. Medienserver) eignen sich NAS-Systeme (NAS - Network Attached Storage). Die Administration eines NAS erfolgt über eine Weboberfläche und ist sehr viel einfacher als bei einem traditionellen Server. In professionellen Umgebungen werden SAN (Storage Area Network) eingesetzt. Es handelt sich dabei um ein Speichernetzwerke, welche zur Übertragung und Speicherung großer Datenmengen konzipiert sind. Für Schulen sind SAN eher überdimensioniert und nicht zu empfehlen.

Für umfangreichere Serverdienste (z. B. Domänencontroller, Webserver, Datenbanken) kommen primär Windows- oder Linux-Server in Betracht. Bei Serverbetriebssystemen sind zur Administration fundierte Kenntnisse nötig.

Sind an einer Schule mehrere Server im Einsatz, werden diese am sinnvollsten als virtuelle Maschinen auf einem leistungsfähigen physikalischen Server (z. B. mit VMware-ESXi oder Microsoft-HyperV) betrieben. Dies spart erhebliche Ressourcen und erleichtert die Administration der Serversysteme (siehe Kapitel 1.a) „Konzeption von Schulnetzen“).

h) Terminalserver-Systeme

Bei der klassischen Client-Server-Infrastruktur werden die Anwendungen auf dem Client installiert und ausgeführt, die Daten sind auf einem Server gespeichert. Bei einem Terminalserver-System dienen die Clients hingegen nur als Zugangscomputer, die für die Eingaben von Tastatur und Maus und für die Bildschirmdarstellung zuständig sind, die Anwendungen sind auf einem Server installiert und werden dort ausgeführt. Dort ist auch die Rechenleistung erforderlich. Ein weiterer Einsatzbereich ist die Bereitstellung von Heimarbeitsplätzen, z. B. im Verwaltungsbereich. Dafür gibt es sehr sichere Lösungen über VPN-Verbindungen.

Wird auf einen Terminalserver über das Internet zugegriffen, ist auf eine Internetanbindung mit entsprechender Bandbreite und vor allem geringer Latenz zu achten. Dies ist bei Internetanschlüssen von Schulen nicht immer gegeben.

Im pädagogischen Netz der Schule stehen Terminalserver-Systeme sowohl der Tendenz zu mobilen Einsatzszenarien bzw. flexiblen Lernsettings als auch der zunehmenden Nutzung von sich weiterentwickelnden Clouddiensten entgegen. Außerdem setzt der gleichzeitige Zugriff vieler Benutzerinnen und Benutzer auf einen Terminalserver sehr performante und damit teure Lösungen voraus.

i) Software

Vor der Beschaffung von Software sollten die gesamten damit verbundenen Ressourcen und Kosten betrachtet werden, z. B. Installation der Software, Schulung der Lehrkräfte, ggf. notwendige Supportverträge mit dem Hersteller, Wechselwirkungen mit anderer Software.

Für Standardanwendungen ist in großem Umfang freie oder für die Schulen kostenlose Software erhältlich, die in der Regel den Anforderungen der Schule genügt. Auch bei pädagogischer Software und ggf. Branchensoftware sollte primär auf Open-Source-Software oder kostenfreie Software gesetzt werden.

Bei der Entscheidung für eine Branchensoftware sollte vor allem an beruflichen Schulen auf die Belange der Ausbildungsbetriebe Rücksicht genommen werden.

j) Grundsätzliche Auswahlkriterien für Großbilddarstellungen

Die digitale Großbilddarstellung kann derzeit mit einem Beamer oder einem Flachbildschirm mit entsprechender Größe realisiert werden. Beide Systeme gibt es auch mit einer interaktiven Funktion der Benutzereingaben.

Auswahlkriterien für Großbilddarstellungen

Beamer	Großbildmonitor
• sehr große Projektionsfläche ist möglich • eventuell störende Lüftergeräusche • ggf. störende Schattenbildung • ggf. körniges Bild • Auf Lichtverhältnisse sollte geachtet werden (ggf. Verdunklung des Raums). • Gegebenenfalls sind externe Lautsprecher erforderlich	• Projektionsfläche ist auf die Bildschirmfläche begrenzt • keine Lüftergeräusche • keine Schattenbildung • hohe Auflösung • hoher Kontrast (Eine Verdunklung des Raums ist normalerweise nicht nötig.) • Gegebenenfalls sind externe Lautsprecher erforderlich

Zusätzliche Auswahlkriterien für interaktive Großbilddarstellungen

Interaktives Whiteboard mit Beamer	Interaktiver Beamer mit Whiteboard	Interaktiver Großbildmonitor
- Die Interaktivität wird durch die Projektionsfläche erfasst. - Die Projektionsfläche ist in der Regel nicht beschreibbar. - Wird zunehmend durch die anderen beiden Systeme abgelöst	- Die Interaktivität wird durch den Beamer erfasst. - Die Projektionsfläche kann mit geeigneten Stiften beschrieben werden. - Eine Kalibrierung wird von Zeit zu Zeit notwendig.	- Die drahtlose Bild- und Tonübertragung ist häufig bereits integriert. - Integriertes Betriebssystem; Großbildmonitor kann autark verwendet werden.

k) Interaktive Großbildmonitore

Interaktive Großbildmonitore können üblicherweise auch ohne externen PC betrieben werden. Ebenso bieten sie eine integrierte Tafelfunktion.

Interaktive Großbildmonitore werden mit unterschiedlichen Techniken angeboten, die sich auch auf die Bedienung der Geräte auswirken: optische, kapazitive, induktive und hybride Berührungserkennung.

Bei den interaktiven Lösungen gibt es je nach eingesetzter Software sehr unterschiedliche Bedienkonzepte und Umsetzungsvarianten. Neben der herstellereigenen Software werden zahlreiche browserbasierte und lokal installierte Lösungen angeboten, z. B. die mebis-Tafel.

Das Schreiben auf den Flächen sollte sich komfortabel anfühlen (ähnlich wie bei einer klassischen Tafel) und die Stifte geräuscharm eingesetzt werden können. Der Tafelanschrieb sollte annähernd so präzise möglich sein wie bei einer klassischen Tafel (sauberes Schriftbild).

Es ist ratsam, dass das Kollegium die Modelle unterschiedlicher Hersteller kennenlernt und in die Entscheidung, welches Modell beschafft werden soll, mit einbezogen wird.

Da interaktive Großbildmonitore von unterschiedlichen Personen eingesetzt werden, ist eine Höhenverstellung von Nutzen. Zu berücksichtigen ist eine geeignete Verkabelung (Zugentlastung, Länge, Signalstärke und -richtung, Übertragungsrate). Großbildmonitore verfügen häufig über ein integriertes Android-Betriebssystem mit vorinstallierten Apps (z. B. Annotationsapp, Browser). Ähnlich wie bei Tablets empfiehlt sich auch hier eine zentrale Administrationsmöglichkeit für Updates und die Bereitstellung neuer Apps.

Zusätzlich kann ein PC (extern oder intern) dauerhaft an den Großbildmonitor angeschlossen sein. Die Verwendung eines Einschub-PCs mit z. B. OPS-Schnittstelle macht zusätzliche Kabelverbindungen hierfür überflüssig und beugt Fehlern durch falsch oder nicht gesteckte Anschlüsse vor.

Sollen die Inhalte von Smartphones oder Tablets per WLAN über den Bildschirm dargestellt werden, sind ggf. Zusatzgeräte erforderlich (siehe dazu Kapitel 9.m), „Drahtlose Bildschirmübertragung“).

l) Beamer

Klassenzimmer-Beamer sollten bevorzugt als Ultrakurzdistanz-Beamer über der Projektionsfläche festmontiert sein. Diese reduzieren die Schattenbildung und verhindern, dass Lehrkräfte bei einer Präsentation in den Lichtstrahl des Beamers blicken. Neben der Darstellungsqualität sollte dabei auch auf Handhabung, genügend Anschlussmöglichkeiten und Lüftergeräusch geachtet werden. Eine Fernbedienung ist aus didaktischen Gründen sinnvoll.

In größeren Räumen oder bei größeren Projektionsflächen sind an der Decke installierte Beamer sinnvoll. Zusätzliche Anschlussmöglichkeiten, z. B. für Notebooks oder Dokumentenkameras, sollten im Bereich des Lehrerarbeitsplatzes generell vorgesehen werden.

Zur drahtlosen Darstellung von Inhalten von Smartphones oder Tablets über den Beamer sind ggf. Zusatzgeräte zum Anschluss an den Beamer erforderlich (siehe dazu Kapitel 9.m), „Drahtlose Bildschirmübertragung“).

m) Drahtlose Bildschirmübertragung

Mit Screen Mirroring bzw. Casting ist es möglich, Bildschirminhalte (Mirroring) oder nur einzelne Medieninhalte (Casting / Streaming) von mobilen Endgeräten drahtlos auf eine Großbilddarstellung zu übertragen.

Zur drahtlosen Bildschirmübertragung sind grundsätzlich folgende Lösungen möglich:

- Hardware in Form eines HDMI-Dongles
- Werksseitig eingebaute Lösungen in Beamer, interaktiver Tafel, Dokumentenkamera oder TV-Gerät
- Multifunktionsgeräte oder -adapter mit mehreren Übertragungstechnologien
- Software-Lösungen auf Arbeitsplatzrechnern

Technologien für die drahtlose Bildschirmübertragung

Miracast	Chromecast	AirPlay
• Bevorzugte Lösung für Windows-Geräte (Notebooks, Tablets) und für die meisten Android-Geräte • Mit den meisten Android- und Windows-Geräten ohne zusätzliche Apps ansteuerbar • Funktioniert mit und ohne WLAN-Infrastruktur und bietet die Möglichkeit von Touch-Back-Funktionalität	• Bevorzugte Lösung für Chromebooks und viele Android-Geräte • Mit einem Chrome-Browser auch für Windows-, Linux- und MacOS-Geräte nutzbar, verschiedene Apps können direkt an den Chromecast-Adapter streamen. • Eine Netzwerk-Infrastruktur ist erforderlich, Adapter und mobile Geräte müssen im selben Netzwerk sein.	• Bevorzugte Lösung für Apple-Geräte • Mit Apple-Geräten ohne Zusatzsoftware nutzbar • AirPlay-Adapter (Apple-TV) und iPads bzw. Mac-Books befinden sich üblicherweise im selben Netzwerk.

Die Adapter werden meist an den HDMI-Eingang eines Displays oder Beamers und an eine Stromquelle angeschlossen und unterstützen jeweils eine oder mehrere Übertragungstechnologien. Für eine flexible Nutzung mit vielfältigen Endgeräten ist es sinnvoll, wenn die Geräte alle drei Technologien unterstützen.

Eine weitere Möglichkeit der drahtlosen Bildübertragung bieten Softwarelösungen, die auf einem Arbeitsplatzrechner installiert werden, der mit einem Beamer oder einem Display verbunden ist. Das mobile Gerät verbindet sich direkt oder über eine App dabei mit dem PC und überträgt den Bildschirminhalt.

Auswahlkriterien für eine drahtlose Bildschirmübertragung

- Welche Übertragungsstandards sollen unterstützt werden?
- Sollen gegebenenfalls mehrere mobile Geräte gleichzeitig dargestellt werden?
- Gibt es eine Software für bzw. eine Anbindung an ein zentrales Gerätemanagement?
- Muss auf den mobilen Geräten eine App zur drahtlosen Bildschirmübertragung installiert werden?
- Ist die Lösung mit der vorhandenen Netzwerk-Infrastruktur einsetzbar?
- Kann während der Übertragung des Bildschirminhalts weiterhin über das WLAN auf das Internet zugegriffen werden?
- Welche Möglichkeiten der Steuerung stehen zur Verfügung (App / Webbrowser / Maus / Tastatur / Tastenfeld / Fernbedienung)?

- Ist die Versorgung mit Updates gesichert bzw. sind Updates stets kostenlos möglich?
- Ist das Gerät für einen Dauerbetrieb vorgesehen?
- Verfügt das Gerät über eine Touch-Back-Funktionalität (Steuerung des Tablets oder Notebooks über eine interaktive Projektionsfläche)?

Vor der Anschaffung einer bestimmten Lösung sollte diese mit der eigenen Infrastruktur getestet werden. Weiterführende Informationen zur drahtlosen Bildschirmübertragung finden sich auf den Materialenseiten von SCHULNETZ unter <https://schulnetz.alp.dillingen.de>.

n) Extended Reality (XR)

Virtual Reality (VR) bezeichnet die Darstellung und Wahrnehmung einer computer-generierten virtuellen Umwelt. Eine Überblendung der echten Umgebung mit virtuellen Elementen nennt man auch Mixed Reality (MR) oder Augmented Reality (AR). Extended Reality fasst dabei alle genannten Techniken unter einem Oberbegriff zusammen.

Die Wahrnehmung einer virtuellen Umwelt gelingt mit VR-Brillen. Kameras und Sensoren, die sich in der Brille befinden oder fest im Raum montiert sind, erfassen die Position des Akteurs und auch Körper- und Augenbewegungen. Mit der Unterstützung durch weitere Geräte (3D-Sound-Boxen, Haptik-Westen, -Handschuhe) gelingt die Einbettung (Immersion) der Nutzerin bzw. des Nutzers in die virtuelle Welt immer realistischer. Für die Echtzeitdarstellung ist jedoch eine hohe Rechenleistung erforderlich.

Im schulischen Bereich sind z. B. virtuelle Begehungen von weit entfernten, historischen oder fiktionalen Orten oder die räumliche Darstellung von Objekten möglich. In der beruflichen Ausbildung verbreitet sich die VR-Technik immer weiter, da diese einen sicheren und kostengünstigen Zugang zu unterschiedlichen Techniken und Modellvarianten bietet. Ebenso kann z. B. der Umgang mit Maschinen gefahrlos und dennoch realitätsnah vermittelt werden.

10. Hardware-Spezifikationen für schulische IT-Systeme

Die nachfolgenden Spezifikationen der beschriebenen Hardware-Geräteklassen geben Hilfestellung bei der Beschaffung. Sie ersetzen jedoch keine Ausschreibung unter Einhaltung der vergaberechtlichen Vorschriften. Die angegebenen Preise (Bruttopreise) sind Orientierungswerte, die in einem dynamischen Marktumfeld gewissen Veränderungen unterliegen bzw. insbesondere bei größeren Stückzahlen gegebenenfalls deutlich unterschritten werden können.

a) Arbeitsplatzcomputer

Der nachfolgend beschriebene Standard-PC für die Betriebssysteme Windows, Linux oder MacOS eignet sich als Arbeitsplatzcomputer zum regulären Einsatz in der Schule. Bei speziellen Anwendungen (z. B. professionelle Videoschnittsoftware, CNC, 3D-CAD)

können höhere Anforderungen notwendig sein, die in der Regel vom Hersteller spezifiziert werden.

Datenblatt Arbeitsplatzcomputer für Windows, Linux, MacOS		
Kernkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, Massenspeicher, Garantie		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Systemleistung/ CPU	Um die Systemleistung zu überprüfen, eignet sich das Programm SYSmark 2018 oder das kostenlose Programm Cinebench R20 bzw. R23. Bei aktuellen Komponenten kann davon ausgegangen werden, dass die geforderte Systemleistung bei folgenden Prozessoren erfüllt ist: ab Intel i3-8xxx ab Intel i5-8xxx ab Intel i7-6xxx alle AMD Ryzen ab AMD Ryzen 3 3100 ab AMD Ryzen 5 1600X ab AMD Ryzen 7 1800X alle Ryzen 9 & Threadripper ab Apple M1	Benchmark-Mindestwerte Sysmark 2018 Overall Performance: 1.200 Punkte oder Cinebench R20: 360/1.400 Punkte (Single/Multi-Core) oder Cinebench R23: 900/3.600 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.	
BIOS/UEFI	Manche Managementlösungen 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

Massenspeicher	Insbesondere beim Boot-Vorgang ist der schnelle Zugriff auf Daten gefordert. Daher empfiehlt sich der Einsatz einer Solid-State-Disk (SSD). Typische Anbindungen sind SATA III und PCIe (M.2). Bei letzterer sind höhere Übertragungsraten 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/DisplayPort-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 480 MBit/s) USB 3.0 (bis 5 GBit/s) USB 3.1 (bis 10 GBit/s) USB 3.2 (bis 20 GBit/s) USB 4 (bis 40 GBit/s)	Mind. 4 USB-Anschlüsse, davon 2 mit mind. USB 3.x an der Frontseite evtl. 1 x USB-C
LAN-Anschluss		1 GBit/s-Ethernet (RJ 45)
Geräuschentwicklung	Insbesondere in Computerräumen ist auf möglichst geräuscharme Systeme zu achten (Netzteil, Lüfter).	
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		zertifiziert nach TCO Certified Desktops oder gleichwertigen Kriterien

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 Schulaufwandsträger übernommen werden und dies schriftlich bestätigt wird.
Beschaffung/ Entsorgung	ggf. Aufstellen und Anschließen der PCs, Entsorgung der Verpackungen bzw. der Geräte nach Ablauf der Nutzungsdauer	
Preis	mit Intel i5-12xxx mit AMD Ryzen 5 32xxG jeweils incl. 3 Jahre Vor-Ort-Garantie	ca. 650 € ca. 580 €

b) Monitore

Datenblatt Monitor		
Kernkriterien: Werte für Größe, Auflösung, Helligkeit		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
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 1.920 x 1.080 Pixel bzw. ab 1.920 x 1.200 Pixel bei Bildschirmen > 24": ab 2.560 x 1.440 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
Zertifizierung	Verpflichtend wird bei Monitoren ein EU-Energielabel ausgewiesen (Neufassung ab 1.3.2021). Bei der geforderten Helligkeit ist z. B. die Energieeffizienzklasse bis E bei 24"-Monitoren angemessen.	EU-Energielabel bis E zertifiziert nach TCO Certified Displays oder gleichwertigen Kriterien

Zusatzoptionen	integrierte Lautsprecher, Kopfhörer- und Mikrophon-Anschlüsse, USB-Anschlüsse	
Garantie	Da aktuelle Monitore relativ günstig und haltbar sind, ist eine zusätzliche Garantie nicht wirtschaftlich.	gesetzliche Gewährleistung
Preis	24"-Monitor: 27"-Monitor:	ab 150 € ab 220 €

c) Notebooks

Die Auswahl richtet sich nach den Mobilitätsanforderungen (Ersatz für einen Desktop-Computer oder mobiles Gerät) und der erforderlichen Ausstattung (z. B. Schnittstellen). Nachfolgend werden Notebooks für die Betriebssysteme Windows, Linux oder MacOS sowie Chrome OS-Geräte technisch beschrieben.

Windows-, Linux-, MacOS- Notebook

Datenblatt Notebook für Windows, Linux, MacOS		
Kernkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, Massenspeicher, Display, Garantie		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Systemleistung/ CPU	Um die Systemleistung zu überprüfen, eignet sich das Programm SYSmark 2018 oder das kostenlose Programm Cinebench R20 bzw. R23. Typischerweise werden die Benchmarkwerte nur erreicht, wenn das Notebook an eine externe Stromquelle angeschlossen ist und nicht übermäßig erhitzt ist. Bei aktuellen Komponenten kann davon ausgegangen werden, dass die geforderte Systemleistung bei folgenden Mobilprozessoren erfüllt ist: ab Intel i5-8xxx (+alles außer Y) ab Intel i7-8xxx (+alles außer Y) ab AMD Ryzen 3 4300U ab AMD Ryzen 5 3500U ab AMD Ryzen 7 3700U alle AMD Ryzen 9 ab Apple M1	Benchmark-Mindestwerte Sysmark 2018 Overall Performance: 1.100 Punkte oder Cinebench R20: 350/1.200 Punkte (Single/Multi-Core) oder Cinebench R23: 850/3.000 Punkte (Single/Multi-Core)

Grafikeinheit	Aktuelle Mobilprozessoren verfügen üblicherweise über eine integrierte Grafikeinheit. Eine aktuellere Prozessorgeneration bietet meist auch eine bessere Grafikleistung.	
BIOS/UEFI	Manche Managementlösungen 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
Massenspeicher	Insbesondere beim Boot-Vorgang ist der schnelle Zugriff auf Daten gefordert. Daher empfiehlt sich der Einsatz einer Solid-State-Disk (SSD).	SSD: ab 240 GB
Display	Empfohlen wird ein mattes Display (non-glare), da dieses Reflexionen vermeidet und somit ein ergonomischeres Arbeiten ermöglicht. Bei Notebooks, die über einen Touchscreen verfügen (z. B. Convertibles), sind matte Displays dagegen kaum verfügbar.	Auflösung ab 1.920 x 1.080 Pixel Helligkeit ab 250 cd/m ²
Kamera	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.	ab 0,9 Megapixel
Grafik- / Sound-Anschlüsse	Zum Anschluss an einen Beamer oder externen Monitor ist ein Grafikanschluss notwendig. Üblich ist ein digitaler Anschluss (Display-Port, Mini-Display-Port, HDMI, Mini-HDMI). Ggf. sind Adapter notwendig.	USB-C mit Videofunktionalität oder HDMI/Display-Port Kopfhörer/Mikrophon-Anschluss
USB-Anschlüsse	Sinnvoll sind mind. 3 USB-Anschlüsse.	2 x USB 3.x 1 x USB-C
LAN-Anschluss	Bei kleineren Notebooks ist der LAN-Anschluss nur über einen Adapter (z. B. USB-C auf RJ45-Adapter) möglich.	1 GBit/s-Ethernet

WLAN	Der WLAN-Standard 802.11ac (WiFi 5) ist noch üblich. Zunehmend werden Geräte mit dem neuen Standard 802.11ax (WiFi 6) angeboten.	802.11ac oder 802.11ax
weitere optionale Ausstattungen	integrierte Lautsprecher Kartenlesegerät Fingerprint-Sensor Kensington-Schutz Docking-Anschluss	
Gehäuse	Da Notebooks ggf. mechanisch stark beansprucht werden, sollte man auf robuste Geräte achten.	
Umweltfreundlichkeit / Ergonomie		zertifiziert nach TCO Certified Notebooks oder gleichwertigen Kriterien
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
Preis	mit Intel i5-11xxxx mit AMD Ryzen 5	ab 500 € ab 500 €

Chrome OS-Geräte

Für eine minimale (clientseitige) Gerätenutzung (wenig Anforderungen, da vorwiegend browsergestützte Anwendungen, z. B. Internetrecherche, Videokonferenzen im Browser, Office-Anwendungen im Browser) genügen Chrome OS-Geräte mit den nachfolgend angegebenen Mindestanforderungen.

Für eine umfassende Nutzung (z. B. Nutzung von Apps, Erstellen und Bearbeiten von Inhalten, Programmieren) sind Chrome OS-Geräte mit einer deutlich höheren Leistung notwendig.

Datenblatt Chrome OS-Geräte (Chromebook, Chromebox, Chrome OS-Tablet)		
Kernkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, Speicherplatz, Display, Garantie, Verfügbarkeit von Updates		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Systemleistung/ CPU	Um die Systemleistung zu überprüfen, eignet sich das Programm Passmark. Typischerweise werden die Benchmarkwerte nur erreicht, wenn das Gerät 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: Für minimale Nutzung: ab Intel Pentium N5000 ab Intel Celeron N4000 ab AMD A6 ab MediaTek Helio P60T bzw. MT8183 Qualcomm Snapdragon 7c Für umfassende Nutzung: ab Intel Core i3 ab AMD Athlon ab AMD Ryzen	Benchmark-Mindestwerte Passmark (aktueller CPU-Mark): 1.600 (für minimale Nutzung) 3.000 (für umfassende Nutzung)
Grafikeinheit	Aktuelle Mobilprozessoren verfügen üblicherweise über eine integrierte Grafikeinheit. Eine aktuellere Prozessorgeneration bietet meist auch eine bessere Grafikleistung.	
RAM		ab 4 GB RAM
Speicherplatz	Chrome OS nutzt vorwiegend Cloudspeicher.	ab 64 GB Flash-Speicher

Display (entfällt bei Desktop-Geräten mit externem Monitor)	Empfohlen wird ein mattes Display (non-glare), da dieses Reflexionen vermeidet und somit ein ergonomischeres Arbeiten ermöglicht.	Auflösung ab 1.920 x 1.080 Pixel Helligkeit ab 250 cd/m ²
Touchscreen	Viele Modelle verfügen über eine Touchscreen Funktionalität, etliche sind zusätzlich per Stift (USI) bedienbar (Convertible/Tablet)	
Kamera (entfällt bei Desktop-Geräten mit externem Monitor)	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.	ab 0,9 Megapixel
Grafik- / Sound-Anschlüsse	Zum Anschluss an einen Beamer oder externen Monitor ist ein Grafikananschluss notwendig. Üblich ist ein digitaler Anschluss (USB-C mit Videofunktionalität, HDMI/Display-Port). Ggf. sind Adapter notwendig.	USB-C mit Videofunktionalität oder HDMI/Display-Port Kopfhörer/Mikrofon-Anschluss
USB-Anschlüsse	Sinnvoll sind mind. 2 USB-Anschlüsse.	1 x USB 3.0 1 x USB-C
LAN-Anschluss	Bei kleineren ChromeOS-Geräten ist der LAN-Anschluss nur über einen Adapter (z. B. USB-C auf RJ45-Adapter) möglich.	1 GBit/s-Ethernet
WLAN	Der WLAN-Standard 802.11ac (WiFi 5) ist noch üblich. Zunehmend werden Geräte mit dem neuen Standard 802.11ax (WiFi 6) angeboten.	802.11ac oder 802.11ax

Garantie	Üblicherweise werden Chromebooks 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 Schulaufwandsträger übernommen werden und dies schriftlich bestätigt wird.
Verfügbarkeit von Updates	Automatic Update Expiration (AUE): Der Update-Zeitraum für Chrome OS Geräte beträgt generell 8 Jahre ab Erscheinungsdatum	ab Kaufdatum mind. 5 Jahre AUE
Preis	Für minimale Nutzung: mit Mediatek MT8183 Für umfassende Nutzung: mit Intel i3-11xxxx	ab 200 € ab 350 €

d) Tablets

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

Bei der Nutzung eines Tablets als Notebookersatz sind leistungsfähigere Geräte notwendig. Neben ggf. einem größeren Bildschirm oder entsprechenden Docking-Möglichkeiten (z. B. über USB-C) sind insbesondere bei Windows-Geräten leistungsfähigere Prozessoren nötig, die sich an den Anforderungen für ein Notebook orientieren.

Für den Einsatz mit wechselnden Benutzern wird zur einfacheren Administration ein Mobile Device Management-System (MDM-System) empfohlen. Der Funktionsumfang eines verwendeten MDM-Systems ist vom Betriebssystem der Geräte abhängig und 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 Whiteboard Ersatz) geeignet sein, ist eine präzise Stifteingabe notwendig, z. B. durch induktive Stifte (aktive Stifte) mit mehreren Druckstufen. Durch die Unterscheidung zwischen kapazitiver Berührung und induktivem bzw. aktivem Stift ist eine Handballenerkennung möglich.

Nachfolgend werden Windows-Tablets, Android-Tablets und iPadOS-Tablets technisch beschrieben.

Windows-Tablets

Der Einsatz als eines Windows-Tablets als Notebookersatz erfordert eine höhere Leistung (siehe Notebooks).

Datenblatt Windows-Tablet		
Kernkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, interner Speicher, Display		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Systemleistung/ CPU	Um die Systemleistung zu überprüfen, eignet sich das kostenlose Programm Cinebench R20 bzw. R23. 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 8. Generation bzw. Intel Pentium Gold 6500Y ab Intel i3-7xxxU ab Intel i5-7xxxU ab Intel i7-7xxxx	Benchmark-Mindestwerte Cinebench R20: 200/400 Punkte (Single/Multi-Core) oder Cinebench R23: 700/1.300 Punkte (Single/Multi-Core) Als Notebook-Ersatz (kein Mindestkriterium im Sinne der Richtlinie "Sonderbudget Lehrerdienstgeräte" (SoLD)): Cinebench R20: 350/1.200 Punkte (Single/Multi-Core) oder Cinebench R23: 850/3.000 Punkte (Single/Multi-Core)
RAM		ab 8 GB
Massenspeicher	Mehr Speicherplatz ist insbesondere bei multimedialen Anwendungen zu empfehlen.	SSD ab 128 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. Bei der Nutzung als Notebookersatz ist ein größeres Display (ab 12") sinnvoll.	Bildschirmdiagonale ab 10" Auflösung ab 1.920 x 1.080 Pixel Helligkeit ab 350 cd/m² Stifteingabe mit mehreren Druckstufen muss möglich sein (Digitizer).
Kamera		Front- und Rückkamera Rückkamera ab 8 Megapixel

WLAN	Der WLAN-Standard 802.11ac (WiFi 5) 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/11 S: Installation von Programmen aus dem Windows-Store Windows 10/11: Windows-Store oder normale Installation von Desktop-Programmen	Windows 10/11
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. Bei der Verwendung als Notebookersatz sollte der Anschluss von USB-Geräten und einem externen Bildschirm (z. B. über USB-C) möglich sein.	
Preis	Windows-Tablet Original-Tastatur Original-Stift Schutzcover als Notebook-Ersatz (inkl. Tastatur und Stift)	ab 550 € ab 100 € ab 100 € ab 30 € ab 1.000 €

Android-Tablets

Datenblatt Android-Tablet		
Kernkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, interner Speicher, Display		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Systemleistung/ CPU	Um die Systemleistung zu überprüfen, eignen sich das kostenlose Programm AnTuTu. Bei aktuellen Komponenten kann davon ausgegangen werden, dass die geforderte Systemleistung beifolgenden Prozessoren erfüllt ist: Qualcomm ab Snapdragon 662 Exynos 9xx(x) Ab Kirin 8xx Mediatek Helio P90T	Benchmark-Mindestwerte AnTuTu v7 oder v8: 170.000 Punkte (Total Score)
RAM		ab 3 GB
interner Speicher	Mehr Speicher ist insbesondere bei multimedialen Anwendungen zu empfehlen.	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 1.920 x 1.080 Pixel Helligkeit ab 350 cd/m² Stifteingabe mit mehreren Druckstufen muss möglich sein (Digitizer).
Kamera		Front- und Rückkamera Rückkamera ab 8 Megapixel
WLAN	Der WLAN-Standard 802.11ac (WiFi 5) ist noch üblich. Zunehmend werden Geräte mit dem neuen Standard 802.11ax (WiFi 6) angeboten.	802.11ac oder 802.11ax

Betriebssystem/ Software	Für die Updates des Betriebssystems ist der Gerätehersteller zuständig. Daher sollten Hersteller gewählt werden, die regelmäßige Updates über einen längeren Zeitraum auch für ältere Geräte liefern. Die Installation von Apps ist über Google Play oder über alternative Quellen möglich.	ab Android 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	Android-Tablet Original-Tastatur Schutzcover	ab 330 € incl. orig. Stift ab 100 € ab 30 €

iPadOS-Tablets

Datenblatt iPadOS-Tablet		
Kernkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, interner Speicher, Display		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Systemleistung/ CPU	Um die Systemleistung zu überprüfen, eignet sich das Programm AnTuTu. Aktuelle iPads (ab Apple A13- Prozessor) erfüllen die geforderte Systemleistung.	Benchmark-Mindestwerte AnTuTu v7 oder v8: 450.000 Punkte (Total Score)
RAM		ab 3 GB
interner Speicher	Mehr Speicher ist insbesondere bei multimedialen Anwendungen zu empfehlen.	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 1.920 x 1.080 Pixel Helligkeit ab 350 cd/m ² Stifteingabe mit mehreren Druckstufen muss möglich sein (Digitizer).
Kamera		Front- und Rückkamera Rückkamera ab 8 Megapixel
WLAN	Der WLAN-Standard 802.11ac (WiFi 5) ist noch üblich. Zunehmend werden Geräte mit dem neuen Standard 802.11ax (WiFi 6) angeboten.	802.11ac oder 802.11ax
Betriebssystem/ Software	Die Installation von Apps erfolgt über den Apple App-Store.	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). Ein Hardcover zum Schutz der Geräte vor leichten Stößen ist empfehlenswert.	
Preis	iPad Original-Tastatur Original-Stift Schutzcover als Notebook Ersatz (iPad Pro 12,9" incl. Tastatur und Stift)	ab 350 € ab 170 € ab 90 € ab 30 € ab 1.500 €

e) Thin Clients

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

Datenblatt Thin Client		
Kernkriterien: Werte für Grafikeinheit, Anschlüsse, Ergonomie, Garantie		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
unterstützte Protokolle	Der Thin Client muss die zum Terminal-Server passenden Übertragungsprotokolle unterstützen.	RDP, Citrix ICA/HDX
Grafikeinheit		unterstützte Auflösung mind. 1.920 x 1.080 Pixel
Anschlüsse	üblich sind 2 digitale Monitor-Anschlüsse sinnvoll sind mind. 3 USB-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 (RJ45)
Umweltfreundlichkeit / Ergonomie		lüfterloses Design Leistungsaufnahme: max. 10 W 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 Schulaufwandsträger 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 werden Standardserver (als nativer Server bzw. als Host mit einer virtuellen Serverinstanz) und Server zur Virtualisierung von Serversystemen technisch beschrieben.

Standardserver

Datenblatt Standardserver		
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.		
Kernkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, LAN-Anschlüsse, Garantie		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Systemleistung/ CPU	Um die Prozessorleistung zu überprüfen, eignet sich der Benchmark SPEC CPU 2017 Integer Rates Base Results. Wegen des hohen Aufwands für eigene Messungen wird empfohlen, sich an der ausführlichen Datenbank von SPEC zu orientieren. https://www.spec.org/cgi-bin/osgresults?conf=rint2017 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. Bei aktuellen Komponenten kann davon ausgegangen werden, dass die geforderte Systemleistung bei folgenden Prozessoren erfüllt ist: - alle Intel Xeon E - alle Intel Xeon D (ab 4 Kerne) - alle Intel Xeon W - ab Intel Xeon Bronze - alle AMD EPYC	ab 4-Kern-CPU Benchmarkwerte SPEC-CPU 2017 SPECrate2017_int_base: ab 10 (bei 1 CPU)

RAM/ Transferrate	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 3.200 MT/s
Speichersystem	Wichtig ist, dass Server-Festplatten für den Dauereinsatz 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.	mind. 2 x USB 3.x
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“ maximale Reaktionszeit: nächster Arbeitstag
Preis	Mit Intel Xeon E23x incl. 5 Jahre „Vor-Ort-Garantie“	ab 1.500 €

Virtualisierungsserver

Datenblatt Server (zur Virtualisierung von Serversystemen)		
Kernkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, LAN-Anschlüsse, Garantie		
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.		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Systemleistung/ CPU	Um die Prozessorleistung zu überprüfen, eignet sich der Benchmark SPEC CPU 2017 Integer Rates Base Results. Wegen des hohen Aufwands für eigene Messungen wird empfohlen, sich an der ausführlichen Datenbank von SPEC zu orientieren. https://www.spec.org/cgi-bin/osgresults?conf=rint2017 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. Bei aktuellen Komponenten kann davon ausgegangen werden, dass die geforderte Systemleistung bei folgenden Prozessoren erfüllt ist: alle Intel Xeon E (ab 8 Kerne) alle Intel Xeon W (ab 8 Kerne) ab Intel Xeon Silver 4110 alle AMD EPYC	ab 8-Kern-CPU Benchmarkwerte SPEC-CPU 2017 SPECrate2017_int_base: ab 35 (bei 1 CPU)
RAM/ Transferrate	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 64 GB RAM ab 3.200 MT/s ECC RDIMM

Speichersystem	4 SSDs im RAID-5-Verbund mit Hardware-Controller. Bei mehr Speicherbedarf können auch zusätzlich Laufwerke eingebaut oder ein externes Speichersystem über ein 10 GBit/s-Netzwerk angebunden werden.	SSD: 4 x 1 TB
USB-Anschlüsse	Je nach vorgesehener Anwendung können USB-Anschlüsse an der Frontseite sinnvoll sein.	mind. 2 x USB 3.x
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	Intel Xeon Silver 43xxx	ab 6.500 €

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 Virtualisierungsserver, Medienserver, Web-Server, SQL-Server, VPN-Server, Cloud-Dienste). Die Lese- und Schreibrechte auf Daten können benutzerspezifisch geregelt werden, die Zugriffe sind mit unterschiedlichen Protokollen möglich, z. B. über SMB, AppleTalk, nfs, 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, da die Virtualisierung von Serversystemen hohe Rechenleistung erfordert und bei den derzeitigen NAS-Systemen nur eingeschränkt möglich ist.

Nachfolgend werden einfache NAS-Systeme zur Datensicherung und NAS-Systeme für den Unterrichtsbetrieb technisch beschrieben.

Einfache NAS-Systeme zur Datensicherung

Datenblatt Einfaches NAS (z. B. zur Datensicherung)		
Kernkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, LAN-Anschlüsse		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
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 (RJ45)
USB-Anschlüsse	Sinnvoll sind mind. 2 USB-Anschlüsse mit USB 3.0 zum Anschluss eines Backup-Mediums.	2 x USB 3.0

Benutzer- verwaltung	Möglichkeit der lokalen Benutzer- verwaltung, Gruppenverwaltung	Mehrere Benutzerkonten
Zugriffsmöglich- keiten	Die Benutzerinnen und Benutzer sollten auf das NAS mit gängigen Werkzeugen (Windows-Zugriffe bzw. SMB, AppleTalk, nfs, ftp, http) 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)
Geräusch- entwicklung	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 als leistungsschwächere NAS- Systeme.	max. 23 dB (im Betriebs- Modus, bei laufenden Festplatten)
Garantie		2 Jahre Garantie
Preis	NAS mit 2 Festplatten je 4 TB	ab 500 €

NAS-Systeme für den Unterrichtsbetrieb

Datenblatt NAS-System für den Unterrichtsbetrieb		
Kernkriterien: Werte für Systemleistung/CPU, RAM, LAN-Anschlüsse		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Systemleistung/ CPU	Für viele Serverdienste oder gleichzeitige Zugriffe mehrerer Personen und eine kurze Reaktionszeit ist ein leistungsfähiger Prozessor erforderlich. Werden optionale Zusatzfunktionen verwendet (siehe unten), ist ein leistungsstärkerer Prozessor sinnvoll.	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. Die Nutzung von Zusatzfunktionen erfordert einen größeren Arbeitsspeicher. NAS-Systeme bieten häufig die Möglichkeit, den Arbeitsspeicher zu erweitern.	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 bis zu 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 (RJ45)
Leistung (Datendurchsatz, Verbindungen)	Bei 2 Netzwerkanschlüssen sollte der Datendurchsatz 200 MByte/s betragen (bei RAID 5, Windows Upload/Download), bei 4 Netzwerkanschlüssen 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 zur lokalen Benutzerverwaltung, Gruppenverwaltung und ggf. Active-Directory- oder LDAP-Authentifizierung (Benutzerverwaltung über einen Windows-Server) ggf. Quota-Regelung für Benutzer	2.000 Benutzerkonten Quota-Regelung für die Benutzer
Zugriffsmöglichkeiten	Die Benutzerinnen und Benutzer sollten auf das NAS mit gängigen Werkzeugen (Windows-Zugriffe bzw. SMB, AppleTalk, nfs, ftp, http) zugreifen können. Für den Zugriff mit mobilen Geräten sollte eine App verfügbar sein.	Zugriffe über SMB v2, AppleTalk, nfs, ftp, http, https App für mobile Geräte

optionale Zusatzfunktionen	Je nach vorgesehenem Einsatz können Zusatzfunktionen von Interesse sein, die viele NAS-Systeme anbieten: Cloudspeicher SQL-Server iSCSI-Speicher (z. B. als externer Speicher für Virtualisierungslösungen) Verschlüsselung Virens Scanner Automatisierte Backupfunktion Medienserver RADIUS-Server	
weitere optionale Ausstattungen	Reset-Knopf (Passwort zurücksetzen) Kensington-Schutz HDMI-Anschluss	
Energieverbrauch	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).	max. 50 W (Betrieb) max. 30 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 als leistungsschwächere NAS-Systeme.	max. 23 dB (im Betriebs-Modus, bei laufenden Festplatten)
Garantie	ggf. mit Vorab-Zustellung eines Ersatzgeräts	3 Jahre Garantie
Preis	NAS mit 4 Festplatten je 4 TB	ab 1.000 €

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. 4.000 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.

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.

Datenblatt Beamer		
Kernkriterien: Werte für Lichtstärke, Auflösung, Anschlüsse		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Lichtstärke	Auch für wechselnde Lichtverhältnisse und nicht optimal geeignete Präsentationsflächen sollte der Beamer über eine ausreichende Helligkeit verfügen.	Ab 3.400 Lumen im Normal-Modus (ANSI-Lumen bzw. nach ISO/IEC 21118)
Auflösung	Idealerweise sollte die native Auflösung des Beamers der des Monitors entsprechen. Für Ultrakurzdistanz-Beamer sind derzeit aus Preisgründen bei der Auflösung noch Abstriche zu machen.	Standard-Beamer ab 1.920 x 1.080 Pixel bzw. ab 1.920 x 1.200 Pixel Ultrakurzdistanz-Beamer ab 1.280 x 720 Pixel bzw. ab 1.280 x 800 Pixel
Lampen-lebensdauer	Entladungslampe: LED / Laser-Lichtquelle: LED / Laser-Lichtquellen können nicht gewechselt werden.	4.000 Std. (Normalmodus) 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
Drahtlos- verbindung	Manche Beamer verfügen bereits über integrierte Standardmöglichkeiten (z. B. Miracast) zur drahtlosen Bild- und Tonübertragung von mobilen Endgeräten, ohne dass hierfür eine App des Herstellers auf dem Mobilgerät installiert werden muss.	
Geräusch- entwicklung	Die in den Datenblättern angegebenen Werte für das Betriebsgeräusch sind nicht bei allen Anbietern exakt vergleichbar.	28 dB (Eco-Modus) 37 dB (Normal-Modus)
Umweltfreund- lichkeit / Ergonomie		zertifiziert nach TCO Certified Projectors oder gleichwertigen Kriterien
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 (1.920 x 1.200 Pixel)	ab 500 €
	Original-Ersatzlampe	ab 150 €
	Ultrakurzdistanz-Beamer (1.920 x 1.080 Pixel)	ab 1.100 €
	interaktiver Ultrakurzdistanz-Beamer (1.280 x 800 Pixel mit Finger-Touch-Funktion)	ab 1.400 €
	Laser-Beamer (1.920 x 1.200 Pixel)	ab 1.200 €
	Laser-Ultrakurzdistanz-Beamer (1.920 x 1.200 Pixel)	ab 1.850 €
	Interaktiver Laser-Ultrakurzdistanz-Beamer (1.920 x 1.200 Pixel mit Stift und Gestensteuerung)	ab 2.300 €

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.

Nachfolgend werden nicht-interaktive Großbildmonitore sowie interaktive Großbildmonitore technisch beschrieben.

Nicht-interaktive Großbildmonitore

Datenblatt Großbildmonitor		
Kernkriterien: Werte für Oberfläche und Helligkeit, Auflösung, Garantie		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Oberfläche und Helligkeit	Für wechselnde Lichtverhältnisse sollte die Präsentationsfläche möglichst wenig spiegeln (z. B. mattes Display). Je nach Montageort im Raum sollte die Oberfläche möglichst kratzunempfindlich sein (z. B. Mohs-Härtegrad 7).	ab 350 cd/m ²
Auflösung	Das Seitenverhältnis ist standardmäßig 16:9.	ab 3.840 x 2.160 Pixel
Lautsprecher	integrierte Lautsprecher	ab 2 x 10 W

Reaktionszeiten	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 Blu-Ray-Playern, muss der HDMI-Anschluss HDCP-2.2-fähig sein. Gegebenenfalls sind weitere Schnittstellen sinnvoll (VGA, Audio-Ein/Ausgang, USB, Netzwerk)	1 HDMI-2.0-Anschluss 1 weitere digitale Schnittstelle (HDMI, DisplayPort oder USB-C)
Betriebszeiten, Lebensdauer	Großbildmonitore im schulischen Einsatz sollten für mehrstündigen Dauerbetrieb ausgelegt sein und über eine entsprechende Lebensdauer verfügen.	Betriebszeiten: ab 12 Stunden pro Tag Lebensdauer: ca. 50.000 Stunden
Energieverbrauch	Der Energieverbrauch von Großbildmonitoren kann je nach Modell erheblich variieren.	
drahtlose Bildschirmübertragung	Manche Monitore verfügen bereits über integrierte Standardmöglichkeiten (z. B. Miracast) zur drahtlosen Bild- und Tonübertragung von mobilen Endgeräten, ohne dass hierfür eine App des Herstellers auf dem Mobilgerät installiert werden muss.	
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 bzw. induktive Displays zum Einsatz. Beide Systeme weisen bauartbedingte Vor- und Nachteile auf. Interaktive Großbildmonitore sollten deshalb von der Schule zusammen mit der 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://www.mebis.bayern.de/p/33036>).

Um einen Computer an einen interaktiven Großbildmonitor anzuschließen, ist die Übertragung von Bild, Ton und Mausfunktionalität erforderlich. Dies kann über folgende Anschlüsse erfolgen:

- HDMI (Bild und Ton), USB (Mausfunktion),
- OPS (Open Pluggable Specification, Bild-, Ton-, Mausfunktion)
- VGA (Bild, eingeschränkte Auflösung), Klinke (Ton), USB (Mausfunktion)

Der Anschluss mobiler Geräte (Tablets, Smartphones) erfolgt über Systeme zur drahtlosen Übertragung (Bild- und Tonübertragung), die evtl. bereits in den Großbildmonitor integriert sind. Hier sind die Eigenheiten der verschiedenen Standards zu beachten (siehe Kapitel 9.m), „Drahtlose Bildschirmübertragung“).

Datenblatt Interaktiver Großbildmonitor (Touchscreen)		
Kernkriterien: Werte für Oberfläche und Helligkeit, Auflösung, Garantie		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Oberfläche und Helligkeit	Für wechselnde Lichtverhältnisse sollte die Präsentationsfläche möglichst wenig spiegeln (z. B. mattes Display). 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
Auflösung	Das Seitenverhältnis ist standardmäßig 16:9.	ab 3.840 x 2.160 Pixel
Lautsprecher	integrierte Lautsprecher	ab 2 x 10 W
Reaktionszeiten	Eine niedrige Reaktionszeit des Panels ist für die flüssige Darstellung von bewegten Inhalten notwendig.	maximal 8 ms
Touchpunkte	Für Gestensteuerungen und gleichzeitiges Arbeiten muss das Display über Multitouch verfügen.	Display erfasst mindestens 8 gleichzeitige Berührungspunkte

Einschub-PC	Einige Hersteller bieten integrierte PCs mit an, die z. B. als Einschubmodul über eine OPS-Schnittstelle (Open Pluggable Specification) angebunden werden.	
integriertes Betriebssystem / Verfügbarkeit von Updates	Auch ohne angeschlossenen PC sollte der Großbildmonitor nutzbar sein, beispielsweise durch ein integriertes Android-System mit entsprechenden Apps: • Schreibfunktion (Tafel) • Internet-Browser • Mediaplayer Ggf. ist ein zentrales Gerätemanagement, etwa zum Zurücksetzen, für App-Installationen oder Updates verfügbar.	integriertes Betriebssystem mit integrierter Hardware mit mindestens 3 GB RAM und 32 GB internen Speicher Automatische Versorgung mit Updates durch den Hersteller
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 Blu-Ray-Playern, muss der HDMI-Anschluss HDCP-2.2-fähig sein. Gegebenenfalls sind weitere Schnittstellen sinnvoll (VGA, Audio-Ein-/Ausgang, USB, Netzwerk)	1 HDMI-2.0-Anschluss 1 weitere digitale Schnittstelle (HDMI oder Display-Port) USB-A, um Toucheingaben auf einen angeschlossenen PC zu übertragen ggf. USB-C für die kombinierte Übertragung von Bild und Ton sowie Toucheingaben
Betriebszeiten, Lebensdauer	Großbildmonitore im schulischen Einsatz sollten für mehrstündigen Dauerbetrieb ausgelegt sein und über eine entsprechende Lebensdauer verfügen.	Betriebszeiten: ab 12 Stunden pro Tag Lebensdauer: ca. 50.000 Stunden
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

drahtlose Bildschirm-übertragung	Manche Monitore verfügen bereits über integrierte Möglichkeiten zur drahtlosen Bild- und Tonübertragung von mobilen Endgeräten aus (z. B. Miracast), ohne dass hierfür eine App des Herstellers auf dem Mobilgerät installiert werden muss.	
Garantie		mindestens 5 Jahre „Vor-Ort-Garantie“
Preis	84" bis 86": Halterung und Seitentafeln:	ab 4.000 € ab 1.500 €

j) Dokumentenkameras

Dokumentenkameras (Visualizer) ermöglichen die Darstellung von Dokumenten und Objekten über eine Großbilddarstellung. Sie ersetzen damit Tageslichtprojektoren.

Dokumentenkameras werden über einen Display-Anschluss (VGA oder HDMI) direkt mit der Großbilddarstellung 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		
Kernkriterien: Werte für Auflösung, Bildfrequenz, Zoom, Anschlüsse		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Auflösung	Die Ausgangsauflösung der Kamera sollte mindestens FullHD (1.920 x 1.080 Pixel) betragen. Dies entspricht ca. 2 Megapixel.	Ausgangsauflösung mind. 1.920 x 1.080 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 zur Großbilddarstellung	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 Rechners an der Großbilddarstellung, 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 500 €

k) Drucker

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.

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.

Datenblatt Drucker (dezentraler Drucker mit geringem Druckvolumen)		
Kernkriterien: Werte für Auflösung, Anschlüsse		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Typ, Format	Laser-/Tintenstrahldrucker, SW/Farbe, DIN A4 oder DIN A3 Beim Laserdrucker werden im Gegensatz zum Tintenstrahldrucker Feinstaubpartikel freigesetzt. Bisher konnte eine Gesundheitsgefährdung nicht nachgewiesen werden. Es bietet sich an, dass in Räumen mit Laserdruckern für eine ausreichende Belüftung gesorgt wird.	
Auflösung		ab 1.200 x 1.200 dpi

Geschwindigkeit		Zeit bis zur ersten Seite max. 30s mind. 30 Seiten/min nach ISO/IEC 24734:2014
Papierzufuhr	Für Einzelblätter (z. B. Briefumschläge, Folien) ist eine eigene Mehrzweckzufuhr sinnvoll.	Papierkassette 250 Blatt, Mehrzweckzufuhr
Duplex		Duplexdruck 10 Seiten/min
Anschlüsse	LAN-Anschluss, ggf. zusätzlich eine Wireless-LAN-Schnittstelle	1 GBit/s-Ethernet (RJ45)
drahtloses Drucken	Viele Hersteller bieten Möglichkeiten an, drahtlos zu Drucken, z.B. per NFC, WiFi Direct, Apple AirPrint oder per herstellereigener App. Cloudbasierte Druckdienste ermöglichen das Ausdrucken von mobilen Geräten aus, auch über das Internet, alternativ können die Dienste auch über einen PC freigegeben werden. Bei Nutzung letzterer sind datenschutzrechtliche Vorgaben zu beachten.	
Zubehör	zweites bzw. größeres Papierfach	
Umweltfreundlichkeit / Ergonomie		ggf zertifiziert nach: Blauer Engel oder gleichwertigen Kriterien
Druckkosten	Druckkosten können bei den einzelnen Geräten stark schwanken. Bei sehr preisgünstigen Geräten sind die Druckkosten oft hoch. Daher sollten bei der Anschaffung auch die Kosten der Ersatzkartuschen und ihr Druckvolumen berücksichtigt werden.	SW: < 2 Cent pro Seite Farbdruck: < 10 Cent pro Seite
Preis	Die tatsächlichen Preise können auf Grund erweiterter Funktionen wie Duplexdruck, Mehrzweck-Papierzufuhr und drahtlosem Drucken von den genannten abweichen.	SW-Laserdrucker: ab 200 € Farbdrucker: ab 220 € (mit erweiterten Funktionen wie Duplexdruck, Mehrzweck-Papierzufuhr und drahtlosem Drucken) Farblaser-Multifunktionsgerät: ab 500

I) 3D-Drucker

3D-Drucker eignen sich in der Schule zur Veranschaulichung räumlicher Strukturen (z. B. Prototypen bei CAD, räumliche Modelle in der Mathematik, in den Naturwissenschaften bzw. zur Unterstützung in der sonderpädagogischen Förderung, 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>).

Datenblatt 3D-Drucker		
Kernkriterien: Werte für Schichtdicke, Druckplatte		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Technologie	Schmelzschichtungsverfahren (FDM)	
Druckmaterial	Filament mit einem Durchmesser Ø 1,75 mm oder Ø 2,85 mm. Die höhere Verbreitung hat Ø 1,75 mm. Kunststoffe: PLA, ABS, HIPS, PETG, Nylon, Tough PLA, Flex PLA, CPE, PVA u. a.	PLA oder PETG
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	max. 0,1 mm
Druckplatte	Für die Verarbeitung vieler Kunststoffe ist eine beheizbare Druckplatte notwendig.	beheizbar
Objektgröße	abhängig von der Größe des Druckers und der Druckplatte.	ca. 200 mm x 200 mm x 200 mm
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 500 €
-------	---	----------

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 7, Vernetzung der Rechner, Schulhausvernetzung). Diese besteht insbesondere aus folgenden Elementen:

- Zentraler Serverraum im Schulgebäude (Gebäudehauptverteiler) mit breitbandiger Internetanbindung, Router, NAS, Server, L3-Switch
- Mehrere Bereichsverteiler innerhalb der Schule (L2-Switches)
- ggf. gebäudeübergreifende Campusvernetzung mit Lichtwellenleitern (Primärverkabelung)
- 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

Access-Points ermöglichen 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 an dieser Stelle auf die zusätzliche Belastung ausgelegt sein.

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

Datenblatt Access-Point		
Kernkriterien: Werte für WLAN-Standard, Übertragungsraten, Konfiguration, Authentifizierung, Multi-SSID, LAN-Schnittstelle, Stromversorgung, Client-Isolation		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
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	Übertragungsraten (brutto, 802.11ac-Standard im 2,4 GHz-Bereich): bis 150 MBit/s (Mimo 1x1) bis 300 MBit/s (Mimo 2x2) bis 450 MBit/s (Mimo 3x3) Übertragungsraten (brutto, 802.11ac-Standard im 5 GHz-Bereich): bis 433 MBit/s (Mimo 1x1) bis 867 MBit/s (Mimo 2x2) bis 1.300 MBit/s (Mimo 3x3) bis 1.733 MBit/s (Mimo 4x4) 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)	2,4 GHz: ab 300 MBit/s 5 GHz: ab 867 MBit/s
Konfiguration	Gegebenenfalls sollte zusätzlich die Konfiguration über ein Webinterface möglich sein. Neue Technologien setzen auf die Möglichkeit einer cloudbasierten Konfiguration der Geräte.	zentrales Management über einen WLAN-Controller möglich

Sendeleistung	Wenn externe Antennen angebracht werden, muss die Sendeleistung um den Antennengewinn reduziert werden. 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.	Die maximale Sendeleistung sollte reduzierbar sein.
Authentifizierung	Üblich sind heute noch WPA2-PSK (Pre-Shared 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. Lehrkräfte, Schülerinnen und Schüler etc.) oder Anwendungsbereiche. (Abweichende Bezeichnungen für Multi-SSID sind möglich.)	Multi-SSID VLAN-Unterstützung nach 802.1q
LAN-Schnittstelle	Ggf. können auch 2 LAN-Schnittstellen sinnvoll sein (z. B. als 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. (Abweichende Bezeichnungen für „Client-Isolation“ sind möglich.)	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 desselben 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 Controller (virtuelle Appliance oder Hardware)	Der Controller ist ein eigenes Gerät oder eine eigenständige virtuelle Appliance auf einem Virtualisierungsserver. Dies ist vor allem dann 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-Services.
Funktionen eines WLAN-Controllers	
übliche Funktionen	• automatische Erkennung neuer Access-Points • zentrale Konfiguration aller Access-Points • zentrales Monitoring aller Access-Points • automatisches Rollout von Firmware-Updates für alle Access-Points
optionale Funktionen	• 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 Firewallfunktionen) aufgebaut. Nicht managebare Switches können in kleineren Umgebungen zur lokalen Erweiterung im Klassenzimmer oder Büro zum Einsatz kommen.

PoE (Power over Ethernet) ermöglicht die Stromversorgung angeschlossener Endgeräte (z. B. Access-Points, IP-Telefone) über die Netzwerkleitung.

Nachfolgend werden Layer-2-Switches zum Einsatz in einem Bereichsverteiler und zentrale Layer-3-Switches technisch beschrieben.

Layer-2-Switches

Datenblatt Ethernet-Switch (managebarer VLAN-fähiger Layer-2-Switch zum Einsatz in einem Bereichsverteiler)		
Kernkriterien: Werte für Schnittstellen, VLANs, Leistung, Garantie		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Konfiguration	Die übliche Konfiguration erfolgt über ein Webinterface des Switches. 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 1 GBit/s und zusätzlich 2 bis 4 Uplink-Ports mit 10 GBit/s SFP+.	ab 24 Ethernet-Ports mit 1 GBit/s und mind. 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 PoE++ nach IEEE 802.3bt: in der Markteinführung; max. Leistung pro Port: 90 W Die genannte PoE-Ausgangsleistung (PSE) liegt über der nutzbaren Anschlussleistung (PD).	PoE+ nach IEEE 802.3at PoE+-Gesamtleistung: mind. 300 W
VLAN-Fähigkeit		VLAN-Unterstützung nach IEEE 802.1q
Lüfter	Die Lüfter in einem Switch entwickeln oft störende Geräusche. Beim Einsatz im Klassenzimmer sollte eine lüfterlose Variante gewählt werden.	Lüfterloses Design
Status-Anzeigen		Verschiedenfarbige LED-Leuchten für Status, Aktivität, Geschwindigkeit der Ethernet-Ports.

zusätzliche Funktionen	Rapid Spanning-Tree (Loop-Protection) QoS (Quality of Service) bei VoIP ggf. Port-Mirroring und Protokollierung fehlerhafter Datenframes (Fehlersuche) Link Aggregation (Bündeln von Up-link-Ports für höhere Bandbreiten)	
Montage	Montage im Rack	19“-Gerät
Leistung	Die interne Switching-Kapazität (Bandbreite der Backplane) sollte der (doppelten) Gesamtkapazität aller Ports entsprechen. 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 2.000 Bit kalkuliert. Weitere Leistungsparameter können sein: Latenzzeit, Paketpuffergröße Nicht alle Anbieter geben vergleichbare Werte für die Leistungsfähigkeit an.	Switch mit 24 Ethernet- und 2 SFP+-Ports: Switching-Kapazität: 88 GBit/s Datendurchsatz: mind. 44 Mpps Switch mit 48 Ethernet- und 4 SFP+-Ports: Switching-Kapazität: 176 GBit/s Datendurchsatz: mind. 88 Mpps
Garantie		5 Jahre Garantie
Service	kostenfreie Versorgung mit Firmware-Updates, Serviceadresse	
Preis	PoE-Switch mit 24 Ethernet- und 4 SFP+-Ports PoE-Switch mit 48 Ethernet- und 4 SFP+-Ports	ab 800 € ab 1.400
SFP-Module	SFP+-Modul mit 10 GBit/s: Bei SFP-Modulen (GBICs) muss auf den richtigen LWL-Anschluss (ST, SC, LC) und auf Herstellerkompatibilität geachtet werden.	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.) ist ein zentraler Layer-3-Switch sinnvoll, der das schulinterne Routing übernimmt.

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

Datenblatt Layer-3-Switch		
Kernkriterien: Werte für Schnittstellen, VLANs, Leistung, Garantie		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
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) Internetzugangsrouter

Ein Internetzugangsrouter (Access-Router) verbindet das Schulnetz mit dem Internet. Der Router bietet dazu Übergänge vom lokalen Netz (auf Ethernet-Basis) auf ein Weitverkehrsnetz (DSL, Kabelnetz, Glasfasernetz). 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 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.

Datenblatt Internetzugangsrouters		
Kernkriterien: Werte für LAN-Schnittstellen, WAN-Schnittstellen, Routing-Durchsatz		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
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). Eine sinnvolle Ergänzung kann ein SFP-Port sein. Dieser würde eine Vernetzung der Switches mit dem Router über Glasfaser ermöglichen.	4 x 1 GBit/s-Ethernet-Ports (RJ45), 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+, VDSL2, SDSL (Annex B/J), LWL	Eine oder mehrere zur WAN-Technologie kompatible Schnittstellen (z. B. DSL, Kabel, Ethernet)

VLAN-Fähigkeit	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 bzw. Bandbreite des Internetzugangs (falls größer)
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 leistungstärkeren (und teureren) Router.	Unterstützung von mind. 5 gleichzeitigen VPN-Verbindungen über IPSEC
Zusatzfunktionen	Weitere Zusatzfunktionen (DNS Relay bzw. DNS Proxy, DHCP, Dynamisches DNS) sind üblicherweise an allen Routern integriert. Bei der Verwendung mehrerer WAN-Schnittstellen ermöglicht eine Lastverteilung die gleichzeitige Verwendung der WAN-Schnittstellen und sorgt zugleich für Ausfallsicherheit.	DHCP-Server für alle Teilnetze DNS-Relay Load-Balancing auf mehrere WAN-Verbindungen
Jugendschutzfilter	Viele Internetzugangsroutern bieten eine Unterstützung für die Nutzung eines Jugendschutzfilters (Webfilter auf DNS-Basis). Dieser muss üblicherweise eigens lizenziert werden.	

Hotspot-Gateway	Einige Router bieten ein Hotspot-Gateway an (z. B. für ein Gäste-WLAN). Die Authentifizierung erfolgt über einen Radius-Server, der ggf. lizenziert werden muss.	
Montage	19"-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 €

r) USB-Ladestation (Lade-Hub)

Eine USB-Ladestation ist eine Vorrichtung, in die mobile Endgeräte wie z. B. Tablets oder Notebooks gelegt oder gestellt und aufgeladen werden können. USB-Ladestationen gibt es in verschiedenen Bauformen, z. B. als Koffer, Wagen, Spind oder Schrank. Die Bauform orientiert sich an der Verwendung der Ladestation. USB-Ladestationen besitzen ein integriertes Netzteil, so dass auf weitere Netzteile für den Anschluss der Geräte verzichtet werden kann. Der Anschluss der Ladekabel erfolgt in der Regel entweder über USB-A oder USB-C. USB-Ladestationen gibt es in verschiedenen Größen. Es lassen sich damit bis zu 40 Geräte aufladen.

Neben USB-Ladestationen für Tablets gibt es Ladestationen für Notebooks. Notebook-Ladestationen unterscheiden sich in der Größe und in der elektrischen Leistung der Anschlüsse. Es ist darauf zu achten, dass die Ladestation die Notebooks nicht langsamer auflädt als das Netzteil des Geräts. Üblich sind mind. 65 Watt je zu ladendem Gerät.

Ein Aufladen mittels USB-C mit dem Ladestandard USB-PD (USB Power Delivery) bietet die Möglichkeit, dass Ladegerät und Endgerät eine höhere Leistung zur Verkürzung der Ladezeit wählen. Der Standard USB-EPR (extended power range) ist eine Erweiterung des USB-PD Standards und bietet eine erhöhte Ladeleistung. Der Standard USB-PPS (programmable power supplies) ermöglicht dem Endgerät, je nach Akkustand die benötigte Ladeleistung aufzunehmen. Neben diesen Standards bieten einige Hersteller eigene Schnellladefunktionen an, die jedoch herstellerspezifisch und nur für ausgewählte Produkte verfügbar sind.

Datenblatt USB-Ladestation		
Kernkriterium: Anschlüsse		
Merkmal	Erläuterung / Hinweise	Empfohlen
Anschlüsse	Die Stromversorgung erfolgt über ein integriertes Netzteil. Die Ladestation besitzt entweder USB-A- oder USB-C-Anschlüsse.	Ladestation für 8 Geräte mit 8 x USB-A- oder USB-C-Anschlüssen Ladestation für 24 Geräte mit 24 x USB-A- oder USB-C-Anschlüssen
Bauform/ Gerätegröße	USB-Ladestationen gibt es für verschiedene Gerätegrößen. Diese orientieren sich oft nach der Anzahl und Displaygröße der aufzuladenden Geräte. Die Verwendung von Schutzhüllen oder Tastaturen bei Tablets sollte bei den Abmessungen der Geräte mitberücksichtigt werden	
Zusatzfunktionen	Ladestationen können über einen integrierten USB-Hub zum Synchronisieren von Geräten verwendet werden. In diesem Fall besitzt die Ladestation einen USB- B Anschluss und ist mit einem Hauptschalter ausgeschattet. Außerdem können sie auch zur Aufbewahrung von Tablets verwendet werden. Abschließbare Ladestationen bieten einen einfachen Diebstahlschutz. Der Ladestandard USB-PD kann ein schnelleres Aufladen über USB-C ermöglichen. Weitere Schnellladestandsards sind USB EPR und USB PPS. Einige Ladestationen verfügen über eine Netzwerkschnittelle und einen Access Point. Damit kann lokal ein WLAN-Hotspot zur Verfügung gestellt werden. Dieser Hotspot ersetzt jedoch keine WLAN-Infrastruktur.	
Garantie		mindestens 2 Jahre Garantie

Preis	USB-Ladestation für 8 Tablets	ab 200 €
	USB-Ladewagen für 24 Tablets	ab 1.000 €
	USB-Ladewagen für 24 Laptops	ab 1.400 €

11. Weiterführende Literaturhinweise

Vielfältige Beratungs- und Fortbildungsangebote sind im Kapitel 3.d) dargestellt. Die nachfolgend genannten Veröffentlichungen sollen die Empfehlungen dieses Votums ergänzen und es im Blick auf eine Gesamtausstattung der Schule mit Einrichtungen, Geräten und Programmen abrunden:

Medienbildung an bayerischen Schulen

- Bekanntmachung „Medienbildung. Medienerziehung und informationstechnische Bildung in der Schule“, Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, Az.: III.4-5 S 1356-3.18 725, München 24.10.2012, <https://www.verkuendung-bayern.de/amtsblatt/dokument/kwmbi-2012-22-357>
- Digitale Bildung in Schule, Hochschule und Kultur. Die Zukunftsstrategie der Bayerischen Staatsregierung, Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, München 2016, https://www.km.bayern.de/download/13284_stmbw_digitalebildung_2016.pdf
- Informationen zur Medienkonzept-Initiative, <https://www.mebis.bayern.de/medienkonzepte>

Datenschutz und Recht

- Informationsseite zum Datenschutz, Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, München, <https://www.km.bayern.de/ministerium/recht/datenschutz.html>
- Bekanntmachung „Vollzug des Datenschutzrechts an staatlichen Schulen (VollzBek DS – Schulen)“, Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, Az.: I.3-V0781.4/96/30, München 14.07.2022, <https://www.verkuendung-bayern.de/baymbi/2022-435/>
- Bekanntmachung „Hinweise zur Nutzung der IT-Infrastruktur und des Internetzugangs an Schulen (Schulische IT-Infrastruktur und Internetzugang)“, Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, Az.: I.3-BO4000.0/45/59, München 14.07.2022, <https://www.verkuendung-bayern.de/baymbi/2022-436/>

IT-Technik und IT-Sicherheit

- Planungsrichtlinien für Kommunikationsnetze beim Freistaat Bayern, Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren, München 2010, <https://www.lrz.de/services/netz/verkabelung/richtlinien.pdf>

- Sichere Internetanbindung von Schulen, Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung, Dillingen 2010, https://schulnetz.alp.dillingen.de/materialien/Sichere_Internetanbindung_1.pdf
- Proxy-Server in der Schule, Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung, Dillingen 2021, <https://schulnetz.alp.dillingen.de/materialien/ProxyServer.pdf>
- Informationsseite zur Datensicherheit an Schulen, Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, <https://www.km.bayern.de/schule-digital/datensicherheit-an-schulen.html>
- Kompendium Videokonferenzsysteme, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/Empfehlungen-nach-Angriffszielen/Remote/Videokonferenzsysteme/videokonferenzsysteme_node.html

Ergonomie und Nachhaltigkeit

- Bildschirm- und Büroarbeitsplätze - Leitfaden für die Gestaltung, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, DGUV Information 215-410, <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/409>
- Verpflichtungserklärung zur Einhaltung von Arbeits- und Sozialstandards in der öffentlichen ITK-Beschaffung, <https://www.itk-beschaffung.de/Verpflichtungserklaerung-2019>
- ILO Kernarbeitsnormen – Sozialstandards im Rahmen der Welthandelsordnung für menschenwürdige Arbeitsbedingungen, <https://www.ilo.org/berlin/arbeits-und-standards/kernarbeitsnormen/lang--de/index.htm>
- Das zentrale Portal für nachhaltige Beschaffung öffentlicher Auftraggeber, <http://www.nachhaltige-beschaffung.info>
- Empfohlene Siegel, Umweltbundesamt, <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/siegelkunde>
- Blauer Engel, Bundesumweltministerium, <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt>
- TCO (Tjänstemännens Centralorganisation, Schweden), <https://tcocertified.com/de>
- EPEAT (Electronic Product Environmental Assessment Tool, US-amerikanische Umweltbehörde), <https://www.epeat.net>
- Energy Star, European Commission, https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-products/energy-star_en

München, Juli 2022

gez.

Peter Botzenhart

Studienrat

v2a