



# NETZWERK-LEITFADEN

*Komponenten wählen, Netze bauen und aufrüsten*

## NAS-Geräte optimieren

RAM, Platten, Netzwerk aufrüsten und erweitern  
Alten Geräten für wenig Geld Beine machen

## Netzwerke bauen

Multigigabit ohne Kabelmontage  
Günstige und schlaue Multigigabit-Switches

## WLAN-Beschleunigung

Darum ist Wi-Fi 7 überlegen  
Deutlich schneller: Erste Wi-Fi-7-Geräte im Test



## Fritzbox- und Router-Tuning

Leistungs- und Durchsatz-Checks für WLAN und Ethernet  
Schnelle Fritzboxen mit Zigbee • Cooles Zubehör • Günstige Gebrauchtrouter

€ 14,90  
CH CHF 27,90  
AT € 16,40  
LUX € 17,10





 heise academy

# Für erfolgreiche IT-Teams von morgen

## Weiterbildung als Erfolgsstrategie

Professionelle IT-Weiterbildung für Unternehmen – das bietet die heise academy. Als Tochter der heise group haben wir es uns zur Aufgabe gemacht, Unternehmen und ihre IT-Professionals mit digitaler Weiterbildung voranzubringen, Qualifikationslücken zu schließen und internes Lernen zu fördern.

## Ihre Zukunft, unser Plan

- Sofort einsetzbare Lernumgebung
- Vier verschiedene Lernformate – digital und vor Ort
- Große Auswahl an aktuellen IT-Themen
- Individuelle Lizenzen für Ihr Team
- Onboarding & persönliche Betreuung durch unser Sales Team



**Jetzt academy Pass 7 Tage kostenlos testen:**  
[heise-academy.de/Fuer-erfolgreiche-IT-Teams-von-morgen](https://heise-academy.de/Fuer-erfolgreiche-IT-Teams-von-morgen)

# Editorial

---

Liebe Leserin, lieber Leser,

---

jährlich bringt AVM neue Fritzboxen heraus und die diesjährigen haben es in sich: Die Berliner erweitern ihre Router-Armada um Modelle mit neuem WLAN gemäß der Spezifikation Wi-Fi 7. Diese WLAN-Technik deklassiert den Vorgänger Wi-Fi 6 um Längen: Bis zu 8 Gigabit pro Sekunde befördert Wi-Fi 7 netto, während Wi-Fi 6 bei rund 1,6 Gbit/s stehen bleibt. In diesem Heft finden Sie Tests zu je einer Kabel- und einer DSL-Fritzbox mit Wi-Fi 7.

Läuft eine Fritzbox erst mal, will man als Nächstes ihre Netzwerkleistung optimieren. Wir zeigen, wie Profis testen, ob bestimmte Internetserver ausreichend gut angebunden sind und wie Sie Lücken in der Mesh-Abdeckung aufspüren, um Sendestandorte von Mesh-Clients zu optimieren.

Bei Fritzbox-Routern und ihrem auf den anspruchsvollen Heim-Admin ausgerichteten FritzOS ist aber noch lange nicht Schluss. Mit OpenWrt setzen Sie spezielle Netzwerk-anwendungen um oder hauchen ehemaligen Abteilungsroutern neues Leben ein.

Generell können Firmen- und Heimnetz-Admins zurzeit aus dem Vollen schöpfen, wenn sie die Kapazität von Netzwerken erweitern wollen, in denen die Bits ihrem Vordermann auf die Hacken treten: Wi-Fi 7 beschleunigt lahrende WLANs und NBaseT macht einem überlasteten Ethernet Beine – der Doppelwumms für Netzwerke. Erste Hersteller von Routern, Access-Points und Mesh-Kits springen auf den Wi-Fi-7-Zug auf. Wir bewerten die mitunter sehr unterschiedlichen Angebote und erklären, woran Sie die schnellsten und attraktivsten Geräte erkennen. Und Ethernet-Netze lassen sich mittlerweile für kleines Geld auf Vordermann bringen: Anders als bei früheren Generationen muss man für NBaseT, also Multi-Gigabit-Ethernet, keine neuen Kabel verlegen. Es genügt ein NBaseT-Switch für weit unter 100 Euro.

Der Dauerbrenner der Modernisierung läuft aber bei NAS-Geräten: Die meisten Platten sind früher oder später voll und machen spätestens dann Platz für größere. Wir erklären, welche sich für NAS-Geräte gut eignen. Es gibt aber noch mehr lebensverlängernde Maßnahmen: Viele NAS kann man mit RAM aufrüsten und manche vertragen deutlich mehr, als der Hersteller angibt. Auch haben manche Hersteller bei der Konzeption ihrer NAS die heutigen Multi-Gigabit-Netzwerke nicht vorhergesehen – dennoch lassen sich diverse Geräte nachrüsten.

Viel Freude beim Lesen, Erkunden und Ausprobieren wünscht



Dušan Živadinović

# Inhalt

---

## FRITZBOX- UND ROUTER-TUNING

---

Die neue Fritzbox-Generation bringt die preisgünstige Smart-Home-Technik Zigbee und das schnelle Wi-Fi-7-WLAN mit. Lesen Sie, wie gut sie abschneiden und wie man die Netzwerk- und WLAN-Leistung optimiert.

- 6 Fritzbox- und Router-Tuning
- 8 Fritzbox 7690: DSL, Wi-Fi 7 und Zigbee
- 12 Zubehör für Fritzboxen
- 20 Durchsatzmessungen für Internetstrecken
- 28 Fritzbox: Durchsatz optimieren
- 34 Zweites Leben für Sophos-Firewalls
- 40 Heimnetzgrenzen überwinden mit OpenWrt

---

## WLAN-BESCHLEUNIGUNG

---

Bis zu fünfmal schneller ist das neue Wi-Fi 7 gegenüber Wi-Fi 6. Es verbessert aber nicht nur den Durchsatz, sondern auch die Latenz und die Robustheit. Wir beschreiben die wichtigsten Auswahlkriterien und testen erste Kandidaten.

- 48 Wie Wi-Fi 7 das WLAN beschleunigt
- 50 Wi-Fi 7: Funktion und Auswahlkriterien
- 60 Wi-Fi-7: Basisstationen unter 200 Euro
- 66 Wi-Fi 7: Netgear Mesh-Kit Orbi RBE973S

---

## NETZWERKE BAUEN

---

Dank sinkender Preise fasst Multigigabit-Ethernet in Heimnetzen allmählich Fuß. Wir tragen zusammen, wieviel es bringt und welche Switches Sie dafür brauchen — denn neue Kabel sind zu meist nicht erforderlich.

- 70 Wie man das LAN auf Trab bringt
- 74 Schlaue Multigigabit-Switches
- 80 Admin-Know-how: Ethernet-Switches
- 88 Switches für schnelles Ethernet
- 94 Multigigabit-Ethernet für Synology-NAS
- 101 LAN-Traber
- 102 Freifunk: Communities, Router, Meshing

---

## NAS-GERÄTE OPTIMIEREN

---

Die NAS-Gerätehersteller reden nicht gerne darüber, wir schon: Bei vielen NAS kann man weit mehr aufrüsten als nur die Platte, etwa per USB-Adapter auf 2G5-Ethernet. Und oft geht auch viel mehr RAM als zugesichert.

- 110 NAS geschickt aufrüsten und erweitern
- 116 Festplatten für Netzwerkspeicher
- 120 NAS-Arbeitsspeicher aufrüsten
- 124 Synology-NAS: Daten und VMs sichern
- 130 FAQ Netzwerkspeicher
- 134 Kaufberatung: Hardware für Heimserver
- 142 FAQ Heimserver
- 148 Flexibler Barebone-PC mit Ryzen-7-CPU
- 152 Zwei Ugreen-Netzwerkspeicher im Test
- 160 Vier x86-NAS im Vergleich

---

## ZUM HEFT

---

- 3 Editorial
- 159 Impressum
- 170 Vorschau: c't Photovoltaik

**c't NETZWERK-LEITFADEN**  
*Komponenten wählen, Netze bauen und aufrüsten*

**NAS-Geräte optimieren**  
116, 120 RAM, Platten, Netzwerk aufrüsten und erweitern  
110 Alten Geräten für wenig Geld Beine machen

**Netzwerke bauen**  
70 Multigigabit ohne Kabelmontage  
74 Günstige und schlaue Multigigabit-Switches

**WLAN-Beschleunigung**  
48 Darum ist Wi-Fi 7 überlegen  
60 Deutlich schneller: Erste Wi-Fi-7-Geräte im Test

**Fritzbox- und Router-Tuning**  
20 Leistungs- und Durchsatz-Checks für WLAN und Ethernet  
6, 8, 12, 34 Schnelle Fritzboxen mit Zigbee · Cooles Zubehör · Günstige Gebrauchtrouter

€ 14,90  
01.06.2024  
07 S. 16,40  
ISSN 4 17 118

4 196982 149007

# Fritzbox- und Router-Tuning

Um das Optimum aus einem WLAN-Router herauszuholen, sollte man die Engpässe im LAN und WLAN kennen und beseitigen. In dieser Rubrik erklären wir, wie Sie die richtigen Werkzeuge nutzen. Vorher geht es aber um die jüngsten Fritzboxen, die mit teils unerwartetem Innenleben überraschen. Den Anfang macht die Fritzbox 6670 Cable, mit der AVM zugleich auf den Wi-Fi-7-Zug aufspringt.

Von **Ernst Ahlers**



Fritzbox- und Router-Tuning	6
Fritzbox 7690: DSL, Wi-Fi 7 und Zigbee	8
Zubehör für Fritzboxen	12
Durchsatzmessungen für Internetstrecken	20
Fritzbox: Durchsatz optimieren	28
Zweites Leben für Sophos Firewalls	34
Heimnetzgrenzen überwinden mit OpenWrt	40

**W**er bei AVMs erster Fritzbox 6670 mit Wi-Fi 7 für Internet per TV-Kabel von enger Verwandtschaft mit ihrer älteren Schwester 6660 ausgeht, der liegt richtig. Beider Hardwarebasis bildet das Puma-7-Kit von MaxLinear: Ein System-on-Chip mit zwei 2 GHz schnellen Intel-Atom-Kernen und Netzwerk-Packet-Engine treibt die Router an, ein zum Chipsatz gehörendes DOCSIS-3.1-Modem holt das Internet herein.

Der DECT-Chip für Schnurlostelefone und Smart-Home-Geräte ist derselbe, die Schnittstellenbestückung weitgehend auch. Mit seinem langsamen USB-Port kann der neue Router wie schon der ältere keinen Blumentopf als Netzwerkspeicher gewinnen. Den Datenumschlag zwischen Internet und (W)LAN sollte er aber auch an kommenden 2-Gbit/s-Anschlüssen verlustfrei schaffen.

Die größte Neuerung pflanzt AVM mit dem Chip Nordic Semi nRF52833 in die Box. Er spricht vier Funkprotokolle: Bluetooth 5.4 mit Low Energy (BLE), NFC, Thread und Zigbee. Zigbee erweitert die Smart-Home-Möglichkeiten der Box drastisch.

Beim WLAN haben die Entwickler den Wavlink-600-Chip durch einen Qualcomm QCN6224 ersetzt.

Das in Version 7.61 vorliegende FritzOS bringt alle von Fritzboxen gewohnten Funktionen mit und ist weiterhin auf leichtes Einrichten zugeschnitten. Die 6670 spricht nun zwar Wi-Fi 7 (siehe Artikel „Wi-Fi 7: Netgear Mesh-Kit Orbi RBE973S“), aber wie ihre Ahnin nur über jeweils zwei MIMO-Streams in den gängigen WLAN-Funkbändern 2,4 und 5 GHz; das 6-GHz-Band klammert AVM aus. Die höherstufige Modulation (QAM4096 statt QAM1024) kann auf

kurzen Strecken bis zu 20 Prozent mehr Datenrate bringen (max. 2880 Mbit/s brutto statt 2400 Mbit/s mit einem 160 MHz breiten Signal im 5-GHz-Band).

Außerdem setzt die 6670 Enhanced Multi Link Single Radio (EMLSR) um, das eine Spielart der neuen Multi-Link-Operation (MLO) von Wi-Fi 7 ist (siehe Artikel „Wi-Fi 7: Funktion und Auswahlkriterien“). EMLSR verspricht mit kompatiblen Clients stabilere Verbindungen, weil die Geräte nahtlos zwischen den Bändern wechseln können, ohne sich neu verbinden zu müssen. Wer mit dem Smartphone streamend durch die Wohnung wandert, erlebt weniger Unterbrechungen. MLO aktiviert die Box aber nur, wenn alle Funkmodule auf denselben Funknetznamen konfiguriert sind.

## Ausgemessen

Folgerichtig hat das WLAN der 6670 zugelegt: Wir maßen mit dem Intel-BE200-Client bis zu 245 Mbit/s über 20 Meter durch Wände im 2,4-GHz-Band, die 6660 schaffte seinerzeit 182 Mbit/s gegen Intels AX200. Auf 5 GHz lag die Neue mit 223 zu 142 Mbit/s noch etwas weiter vorn. In der Nähe kam sie bestenfalls auf knapp 1100 Mbit/s; AVM hat im Labor leicht höhere Werte gemessen.

Beim WireGuard-VPN routete die 6670 anfangs mit angezogener Handbremse: Während unsere mit FritzOS 7.57 laufende 6660 Daten vom Roadwarrior mit 242 Mbit/s annahm und ihm mit 197 Mbit/s schickte, waren es bei der mit Firmware 7.61 betriebenen 6670 nur 90 und 86 Mbit/s (ein TCP-Stream, MTU 1450). Mit zehn TCP-Streams legte der Roadwarrior-Uplink auf 148 Mbit/s zu, die Gegenrichtung blieb unverändert. Die Firmware 7.62 brachte die 6670 dann auf klassenübliche WireGuard-Werte (229 / 177 Mbit/s, 1 TCP-Stream).

Mit 12 Watt Leistungsbedarf bei aktivem TV-Kabel-Link gibt sich die 6670 zahm gegenüber den kürzlich getesteten Wi-Fi-7-Mitbewerbern, die mit drei Funkmodulen 15 bis 20 Watt sofften.

## Fazit

AVMs erster Aufschlag in Sachen Wi-Fi 7 fliegt nur knapp übers Netz. 2 Gbit/s und mehr bekommt man erst im 6-GHz-Band, das der Fritzbox 6670 fehlt. Dafür bringt sie eine andere wichtige Wi-Fi-7-Neuerung namens EMLSR mit und lässt so stabilere Funkverbindungen erwarten. Außerdem kann die 6670 mit ihrem Zigbee-Interface deutlich mehr Smart-Home-Geräte einbinden als ihre Vorgänger. (ea) **ct**

## AVM Fritz!Box 6670 Cable

### WLAN-Router für Internet per TV-Kabel

Hersteller, URL	AVM GmbH, www.avm.de
WLAN (MIMO-Streams)	2 × Wi-Fi 7 (2) alias IEEE 802.11be-690 + be-2880, simultan dualband (2,4 und 5 GHz, kein 6 GHz), WPA3, DFS, WPS, MLO (EMLSR)
Bedienelemente	3 Tasten (WLAN, Fon/DECT, Connect/WPS), 5 Leuchten (Power/Cable, WLAN, Fon/DECT, Connect/WPS, Info)
Anschlüsse	1 × F-Buchse (TV-Kabel, DOCSIS 3.1), 5 × RJ45 (Ethernet, 1 × 2,5 Gbit/s, 4 × 1 Gbit/s), 1 × RJ11+TAE (Analogtelefon), 1 × USB 2.0 (480 Mbit/s), DECT-Basis, Zigbee
getestete Firmware	FritzOS 7.61
WLAN 2,4 GHz nah / 20 m <sup>1</sup>	318 / 164–245 Mbit/s
5 GHz nah / 20 m <sup>1</sup>	1070 / 193–223 Mbit/s
Leistungsaufnahme <sup>2</sup>	12,0 W (26,7 VA)
jährliche Stromkosten <sup>2</sup>	42 €
Preis	235 €

<sup>1</sup> gegen Intel BE200 (Treiber 23.30) <sup>2</sup> idle, mit DOCSIS-Link und 1 LAN-Host (2G5), bei Dauerbetrieb und 40 ct/kWh; mit Ethernet-WAN (2G5) und 1 LAN-Host (1G): 8,6 W (19,5 VA)



# Fritzbox 7690: DSL, Wi-Fi 7 und Zigbee

AVMs zweite Fritzbox mit modernem Wi-Fi-7-WLAN bringt das Internet per Telefonleitung ins Haus. Im Test zeigte sich: Mit kompatiblen Clients geht das geschmeidiger und schneller als mit Vorgängern, doch muss man auch auf manche Kleinigkeit verzichten.

Von **Ernst Ahlers** und **Dušan Živadinović**

**W**er von einer Fritzbox 7590AX oder einem älteren DSL-Modell auf die neue 7690 umsteigt, dürfte staunen, wie flink sich komplexe Browser-Konfigurationsseiten plötzlich aufbauen. Das ist ein angenehmer Nebeneffekt der frischen Hardwarebasis: In der 7690 steckt der System-on-Chip IPQ5300 (SoC) von Qualcomm. Darin rennen vier ARM-Cortex-A53-Kerne mit 1,1 GHz,

denen eine Network Processing Unit (NPU) zusätzlich unter die Arme greift. Ferner hat die 7690 der nur drei Jahre älteren AX-Box zwei auf 2,5 Gbit/s (2G5) beschleunigte Ethernetports voraus, schnelles Wi-Fi-7-WLAN mit vier MIMO-Streams und auch noch Zigbee-Funk fürs Smart Home.

Mit dem neuen SoC ist die Fritzbox 7690 für den schönsten DSL-Betrieb mit maximal 300 Mbit/s im



Downstream (Internet ins LAN) satt übermotorisiert: Zwischen den beiden flinken Ethernetports maßen wir einen NAT-Durchsatz von mindestens 2,3 Gbit/s. So kann man die Box ohne Einbußen weaternutzen, wenn der Provider einem beim Umstieg von DSL auf Glasfaser etwa ein Modem hinstellt.

Bei allen Verbesserungen sind aber auch Abstriche hinzunehmen: Einen ISDN-S0-Port gibt es nicht mehr und auch nur einen, mit 480 Mbit/s obendrein langsamen USB-Port. Als einfacher Netzwerkspeicher (NAS) taugt die 7690 folglich nur bei geringen Ansprüchen, mehr als rund 35 MByte/s schafft USB 2.0 nicht. Ebenso fehlt ein WLAN-Modul für das seit 2021 freigegebene 6-GHz-Band (Wi-Fi 6E und 7).

## Einrichtung

Wie bei anderen Fritzboxen begrüßt einen bei der Inbetriebnahme der 7690 ein Assistent im Browser, der durch die wichtigsten Konfigurationenpunkte und zu einem funktionierenden Heimnetz führt. Erfreulicherweise schaltet AVM nun die WLAN-Verschlüsselung WPA2+3 (Mixed Mode) standardmäßig ein, sowohl im internen als auch im Gastnetz. Damit sind moderne Clients noch etwas besser geschützt als mit WPA2.

Wenn man die Vorgaben übernimmt, ist die neue Wi-Fi-7-Funktion Multi-Link Operation (MLO, siehe Artikel „Wi-Fi 7: Funktion und Auswahlkriterien“) in der Spielart ELMSR aktiv (Enhanced Multi-Link Single Radio): Kompatible Clients können in zwei Funkbändern gleichzeitig logische Verbindungen halten und anstehende Daten dynamisch über den jeweils besseren Link schicken. Das senkt im Schnitt die Latenz, weil so öfter mal ein Zeitfenster frei ist als bei nur einem Funkband. Außerdem wird die Verbindung stabiler: Falls die Basis beispielsweise im

5-GHz-Band wegen Radarerkennung den Kanal wechseln muss oder ihr 5-GHz-Signal beim Client zu schwach ankommt, fließen die Daten nahtlos auf 2,4 GHz weiter, wenn auch wegen des schmaleren Signals langsamer.

Außerdem eignet sich die 7690 laut AVM auch für MLMR, also Multi-Link Multi Radio, der gleichzeitigen Übertragungen in mehreren Frequenzbändern. Zwar gibt es noch keine Mobilgeräte, die das können, aber mit anderen Wi-Fi-7-Fritzboxen soll es gehen. Windows 11 beherrscht MLO auch noch nicht, soll das aber bis zum Jahresende 2024 lernen. Wer sein WLAN mit unterschiedlichen Namen für die Funkbänder betreibt, muss auf MLO verzichten, weil es gleichnamige Zellen verlangt.

## Smart-Home

AVM gehört zu den wenigen Herstellern, die mehr als eine Smart-Home-Technik einbinden: Beginnend mit dem Fritzsmart-Gateway und fortgeführt mit den Fritzboxen 6670 Cable sowie der 7690, baut AVM in allen dreien sowohl die AVM-typische DECT-ULE-Technik als auch Zigbee-Funk ein. Das erspart einen sonst erforderlichen Zigbee-Hub und beide Smart-Home-Gerätegruppen sind unter demselben Webinterface vereint.

Die Zigbee-Funktionen hat AVM anfangs nur für Leuchtmittel und Steckdosen ausgelegt. Inzwischen kann man auch Repeater, Rollos, Sensoren, Taster und Schalter sowie Unterputzmodule einbinden. Allerdings lassen sich nicht bei allen Geräten alle hardwareseitig eingebauten Funktionen mit Fritzboxen nutzen. Wer sie braucht, muss sie doch wieder an einem konventionellen Zigbee-Hub anmelden und die zugehörige App verwenden. Zum Beispiel messen einige Zigbee-Steckdosen die Leistungsauf-



**Der blaue und der erste gelbe Ethernet-Port an der Fritzbox 7690 transportieren bis zu 2,5 Gbit/s. Eine ISDN-S0-Buchse gibt es wie schon bei anderen neuen Boxen nicht mehr.**

## AVM Fritz!Box 7690

### WLAN-Router für Internet per Telefonleitung

Hersteller, URL	AVM GmbH, <a href="http://www.avm.de">www.avm.de</a>
WLAN (MIMO-Streams)	2 × Wi-Fi 7 (4) alias IEEE 802.11be-1440 + be-5760, simultan dualband (2,4 und 5 GHz, kein 6 GHz), WPA3, DFS, WPS, MLO (EMLSR, MLMR)
Bedienelemente	3 Tasten (WLAN, Fon/DECT, Connect/WPS), 5 Leuchten (Power/DSL, WLAN, Fon/DECT, Connect/WPS, Info)
Anschlüsse	1 × RJ45 (Telefonleitung/DSL, Supervectoring, Profil 35b), 4 × RJ45 (Ethernet, 2 × 2,5 Gbit/s, 2 × 1 Gbit/s), 2 × RJ11 + 1 × TAE (2 × Analogtelefon), 1 × USB 2.0 (480 Mbit/s), DECT-ULE, Zigbee
getestete Firmware	FritzOS 7.61
NAT-Perf. PPPoE (DS / US)	2,3 / 2,3 Gbit/s
IP-zu-IP (DS / US)	2,3 / 2,4 Gbit/s
WLAN 2,4 GHz nah / 20 m <sup>1</sup>	421 / 211–293 Mbit/s
5 GHz nah / 20 m <sup>1</sup>	1297 / 200–474 Mbit/s
Leistungsaufnahme <sup>2</sup>	11,8 W (24,6 VA)
jährliche Stromkosten <sup>2</sup>	41 €
Preis	329 €

<sup>1</sup> gegen Intel BE200 (Treiber 23.50) in Dell XPS 13 (9340)

<sup>2</sup> idle, mit DSL-Link und 1 LAN-Host (2G5), bei Dauerbetrieb und 40 Cent/kWh; mit WAN per Ethernet (2G5) und 1 LAN-Host (2G5): 11,0 W (23,3 VA)

nahme von Verbrauchern, doch AVMs Zigbee-Implementierung erfasst diese Werte nicht. Einzelheiten führt AVM in der Liste der kompatiblen Geräte auf ([ct.de/wg2d](http://ct.de/wg2d)).

## Performance

Die moderneren ARM-Kerne im SoC der 7690 beschleunigen auch das VPN enorm gegenüber den angestaubten MIPS-Kernen im SoC der 7590AX: AVM wirbt mit der sechsfachen Geschwindigkeit, doch das bezieht sich anscheinend auf eine ältere 7590AX-Firmware.

Wir maßen mit WireGuard im PPPoE-Betrieb (Übertragungsverfahren bei DSL und Deutsche Telekom-Glasfaser) bei der 7590AX mit FritzOS 7.81 279 Mbit/s im Downstream (Internet ins LAN, ein TCP-Stream). Die 7690 lieferte in derselben Situation 915 Mbit/s, also das 3,3-fache und nicht ganz das Sechsfache, aber trotzdem eine bemerkenswerte Steigerung.

Je nach Übertragungsverfahren, VPN-Typ (IPsec oder WireGuard) und Anzahl der TCP-Ströme schwankt der Durchsatz, aber die 7690 ist gegenüber der AX stets mindestens zweimal so flink. Mit mehreren TCP-Streams über WireGuard knackte sie im Downstream sogar die Gigabit-Marke (1006 Mbit/s).

Im WLAN setzte sich das Spiel fort: Mit unserem neuen Wi-Fi-7-Client, dem Intel BE200 im Dell Notebook XPS 13 (Modell 9340), war die 7690 im Schnitt über alle Situationen (Frequenzband, Dis-

tanz) rund doppelt so schnell (Spannweite: 1,6- bis 2,4-fach) wie die 7590AX.

Mit den rund 1300 Mbit/s über wenige Meter im 5-GHz-Band (ein TCP-Stream, mehrere Durchläufe von Down- und Upstream gemittelt) ist die 7690 längst nicht ausgereizt: Wir maßen mit dem BE200-Client an anderen Wi-Fi-7-Basen schon Geschwindigkeitsspitzen von 4,2 Gbit/s. Mit schnelleren LAN-Ports könnte die 7690 womöglich mehr liefern als die beobachtete Downstream-Spitze von 2,3 Gbit/s (5 GHz nah, 6 TCP-Streams).

Bei allen Verbesserungen schafft die 7690 das Kunststück, mit rund 12 Watt im Idle-Zustand (DSL-Verbindung, ein LAN-Host mit 2G5-Link) noch etwas weniger Leistung zu saugen als die 7590AX (16 Watt, siehe „Sieben Mesh-Systeme mit Wi-Fi 6 im Vergleich, c't 9/2023, S. 20). Mit einem dritten Wi-Fi-7-Funkmodul fürs 6-GHz-Band läge sie vermutlich gleichauf, vielleicht sogar noch knapp drunter.

## Fazit

Mit der Fritzbox 7690 legt AVM einen grundlegend erneuerten Router für Internet per Telefonleitung (DSL) vor, der mit sehr hoher VPN-Leistung und modernem WLAN glänzt, aber mit rund 330 Euro auch einen stolzen Preis hat. Doch das ist wegen der bekannt langfristigen Firmware-Produktpflege eine gute Investition. Und falls Sie später zu Glasfaser-Internet mit externem Modem wechseln, kann die 7690 ihre Muskeln so richtig spielen lassen. (dz) **ct**

## Literatur

[1] Ernst Ahlers, Schnellstarter, Vier Wi-Fi-7-Basen mit drei Clients getestet, c't 4/2024, S. 50

[2] Ernst Ahlers, WLAN-Wettrennen, Sieben Mesh-Systeme mit Wi-Fi 6 im Vergleich, c't 9/2023, S. 20

## Liste kompatibler Zigbee-Geräte

[ct.de/wg2d](http://ct.de/wg2d)

**GRATIS:**  
Signatur-Updates  
bis Oktober 2024

# Ihr Erste-Hilfe-Set: Das Notfall-System für den Ernstfall

**NEUE VERSION 2023/24**

**Komplett auf 32 GByte USB-Stick.**  
Desinfec't startet direkt vom Stick.

**Auch als Heft + PDF mit 28% Rabatt**

**Das kann das c't-Sicherheitstool**  
Windows-Trojaner & andere Schädlinge finden und löschen  
Fernhilfe für Familien-PCs leisten

**Daten retten**  
Verloren geglaubte Fotos und Dateien finden und wiederherstellen  
Daten aus defektem NAS bergen

**Zusatz-Werkzeuge für Profis nutzen**  
Malware-Analyse mit Experten-Tools  
3 Extra-Scanner selbst konfigurieren  
Desinfec't erweitern

**DAS c't-Sicherheitstool als Download für USB-Sticks**  
► Entfernt Trojaner und Viren

Mit den Virensclannern des Sicherheitstools jagen Sie PC-Schädlinge, retten Ihre Daten und können auch gelöschte Daten wiederherstellen – ganz kinderleicht. Das und noch mehr bringt Ihnen c't Desinfec't 2023/24:

- DAS c't-Sicherheitstool als Download für USB-Sticks
- Windows-Trojaner & andere Schädlinge finden und löschen
- Verloren geglaubte Fotos und Dateien finden und wiederherstellen
- Daten aus defektem NAS bergen
- Für Profis: Malware-Analyse mit Experten-Tools

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Bundle Heft + PDF 19,90 € • Desinfec't-Stick 19,90 €

 [shop.heise.de/desinfect23](https://shop.heise.de/desinfect23)



Bild: Andreas Martini

# Zubehör für Fritzboxen

Hilfreiches Router-Zubehör gibt es nicht nur von AVM, sondern auch von weiteren Herstellern. Von der Rackmontage über externe Antennen bis hin zur Türsprechstelle haben wir nützliche Erweiterungen herausgesucht.

Von **Andrijan Möcker**

**S**eit dem Marktauftritt vor 20 Jahren hat es AVMs Fritz-Universum in Millionen deutsche Haushalte und sogar auf die andere Seite des Planeten geschafft. Viele Nutzer in allerhand Lebenslagen haben auch diverse Ideen ausgetüftelt. Nicht jede davon hat AVM vorgesehen und manche Nische überlässt das Unternehmen lieber anderen.

Umso schöner, dass es viel Zubehör gibt, das zu den Fritz-Produkten passt. An vielen Stellen setzt

AVM nämlich standardisierte oder zumindest gängige Schnittstellen ein. Doch nicht nur das: Über die Jahre haben sich einige Hersteller darauf spezialisiert, die Fritz'sche Welt zu ergänzen und passendes Zubehör für Sonderwünsche entwickelt, auf die AVM nicht eingeht.

In diesem Artikel zeigen wir eine Auswahl mehr oder minder außergewöhnlicher Produkte, mit denen Sie Ihre Fritzbox erweitern oder verbessern können.

Doch behalten Sie bei allem hier erwähnten im Sinn, dass AVM Zubehör von Drittherstellern weder offiziell getestet noch zertifiziert. Auf etwaigen von den Produkten mitverursachten Schäden bleiben Sie also sitzen.

## Rackmontage

Wer als ambitionierter Heimadministrator etwas auf sich hält und eine kabelgebundene Netzwerkverteilung hat, besitzt vermutlich auch einen kleinen 19-Zoll-Wandschrank - wenn nicht sogar ein großes, stehendes Rack.

Das 19-Zoll-Format hat sich für Gerätegestelle weltweit etabliert und ist in kleinen wie großen Verteilungen und Serverschränken üblich. Switches, Patchfelder, Server, USVs: Vieles gibt es im 19-Zoll-Format. Ideal, um die Netzwerkverteilung nicht nur übersichtlich, sondern auch zum Augenschmaus zu machen.

Leider - für semiprofessionelle Netzwerker - stimmt AVM seine Produktpalette nicht darauf ab; Fritz-Produkte im 19-Zoll-Format gibt es nicht. Natürlich kann man eine Fritzbox einfach auf einem 19-Zoll-Fachboden abstellen, doch dann zeigen die Anschlüsse nach hinten. Das entspricht nicht gerade dem 19-Zoll-Systemansatz, alles bis auf die Spannungsversorgung vorne zugänglich zu haben.

Eine Lösung für das Problem liefert der Zubehörhersteller REFBox: Unter dem Namen „Router-Rackmount“ fertigt REFBox Einschübe, in denen Gummibänder die Fritzboxen halten und alle wichtigen

Anschlüsse - LAN, USB und Telefonie - vorne ausführen. Das läuft über kurze Kabelstücke, die hinten an die Anschlüsse der Box gesteckt werden und vorne in einer Buchse im Blech münden.

Die Buchsen für das Internetmedium, also Glasfaser (GPON/AON), Telefonleitung (DSL) oder Koaxialkabel (DOCSIS), legt REFBox nicht nach vorne. Sie müssen im heimischen Umfeld auch eher selten rangiert werden. Wer das trotzdem möchte, kann Sets aus Keystone-Modulen und Patchkabeln für RJ45-, F- oder LC-Buchsen dazu bestellen. Jede Halterung besitzt zwei Keystone-Aufnahmen.

Außerdem haben alle Bleche zwei oder drei vorgebohrte Löcher für SMA-Buchsen, mit denen man Antennenanschlüsse für LTE und 5G oder - bei modifizierten Fritzboxen - für WLAN nach vorne legen kann.

Derzeit gibt es die REFBox-Rackmontagekits für die Modelle 4060, 5530, 5590, 6591, 6660, 6850, 6890, 7510, 7530 und 7590. Für flache Boxen im abgerundeten Gehäuse (z. B. 7590) gibt es Halterungen, die eine oder zwei Höheneinheiten belegen. Fritz-Router im eckigen Hochkantgehäuse (z. B. 4060) nehmen zwei Höheneinheiten ein. Die Preise für die Halterungen liegen zwischen 140 und 190 Euro für die Basisausstattungen. Patchkabel- und Keystone-Sets sowie Antennen-Pigtails kosten zusätzlich 7 bis 14 Euro.

Ähnlich umfangreiche Rackmount-Kits bekommt man beim österreichischen Webshop [racknex.com](http://racknex.com) und beim niederländischen Hersteller [rackmount.it](http://rackmount.it).

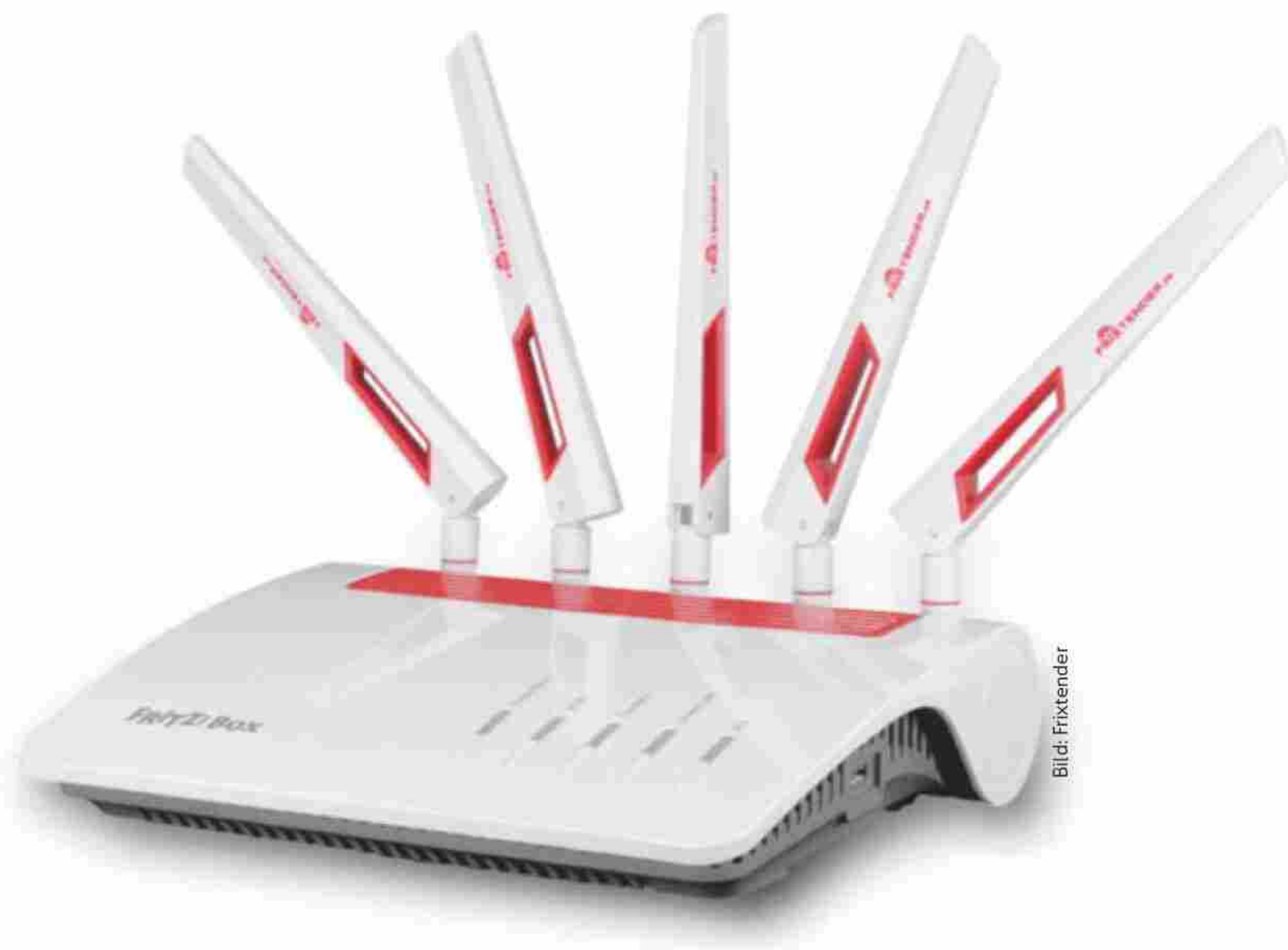
## Rundstrahler

Externe Antennen sind bei Routern wie Repeatern aus der Mode gekommen; alle aktuellen Fritzboxen und -Repeater bringen interne WLAN-Antennen mit. Das mag für viele funktionieren, doch wenn die Reichweite nicht genügt oder die Box aus dem 19-Zoll-Schrank herausfunken soll, könnte der Wunsch nach Anschlüssen für externe Antennen aufkommen.

Passende Sets aus SMA-Pigtails, designtreuen RP-SMA-Antennen und Antennenträgern bekommt man von Jörg Schötz, der unter dem Namen Frixten-der einen Webshop betreibt. Schötz' Angebot funktioniert, weil AVM bei den meisten Produkten Prüfbuchsen auf die Platine lötet. Der Händler stimmt die Sets auf die jeweiligen Buchsen sowie die Position auf der Platine ab und legt einen aufs Gehäuse abgestimmten Antennenträger bei, der an die Box gesteckt oder geklebt wird. Die Sets gibt es wahl-



**Rackmount-Kits wie die von REFBox, Racknex und Rackmount.IT bringen Fritzboxen geordnet in 19-Zoll-Gestellen unter und holen wichtige Anschlüsse zum komfortablen Rangieren nach vorne.**



**Der Webshop Frixender verkauft Sets aus Antennen und Adapterkabeln, um Fritzboxen größere WLAN-Strahler und somit mehr Reichweite zu verpassen. Diese 5590 hat fünf Antennen – drei Dual-Band-Antennen und zwei Single-Band-Antennen, eine für 2,4 GHz und eine für 5 GHz – für vier Streams insgesamt.**

weise mit Rundstrahlantennen unterschiedlicher vertikaler Öffnungswinkel oder einer Richtantenne mit 66 Grad horizontalem Öffnungswinkel. Auch gemischte Sets (Rundstrahl- und Richtantennen) und passendes Werkzeug führt der Händler. Je nach Umfang zahlt man zwischen 15 und 120 Euro für ein Set.

Die Liste der unterstützten Fritzboxen und Repeater ist ellenlang und reicht zum Teil ein Jahrzehnt zurück. Wir haben sie unter [ct.de/wa2m](http://ct.de/wa2m) verlinkt.

Einen Einbauservice bietet Schötz nicht an. Wer die Antennen nicht selber einbauen möchte, kann bei REFBox fertige Boxen kaufen. Derzeit gibt es die Modelle 4060, 5530, 5590, 6660, 6690, 6850, 7510, 7530 AX, 7590 AX sowie einige Fritz-Repeater mit größeren HF-Ohren. Dafür zahlt man jedoch saftig drauf: Für eine „REFBox 7590x3 AX“ mit drei Richtantennen muss man beispielsweise 375 Euro hinblättern – also rund 125 Euro mehr als für das Werksggerät.

## Mobile Spannungsversorgung

Ob leidenschaftlicher Camper, Fernfahrer oder digitaler Nomade: Wer viel unterwegs ist, gerne in der Pampa steht oder mehr als ein Gerät im Mobilheim hat, wird sich vermutlich schon einen Reiserouter gewünscht haben. Seit 2011 fertigt AVM auch Fritzboxen mit integriertem Mobilfunkmodem und das

jüngste Modell – die 6850 5G – besitzt namensgetreu ein 5G-Modem, das bis zu 1,3 Gbit/s Downlink-Datenrate erreicht. Die 6850 5G kostet zwar derzeit saftige 500 Euro, doch für Reisende, die viel Zeit in der mobilen Behausung verbringen, dürfte die Box dennoch attraktiv erscheinen. Alternativ nimmt man eine günstigere Fritzbox und steckt ein einigermaßen modernes Smartphone per USB-Tethering an – das Fritzbox-Betriebssystem FritzOS eignet sich dafür seit Jahren.

Die Spannungsversorgung erscheint auf den ersten Blick einfach: Fritzboxen verlangen 12 Volt, was in vielen Fahrzeugen der Bordspannung entspricht. Somit genügt ein Kabel mit DC-Hohlstecker für die Fritzbox auf der einen Seite und ein J563-Stecker alias „Zigarettenanzünder“ auf der anderen, um die Box mit auf Reisen zu nehmen, oder? Nicht ganz.

Fritzboxen und andere Geräte, die nicht für den Kfz-Einsatz gedacht sind, vertrauen auf eine stabilisierte Spannung aus dem mitgelieferten Netzteil. Die Bordspannung kann jedoch zwischen 6 Volt beim Motorstart und 15 Volt bei hohen Drehzahlen schwanken. Kurze, deutlich höhere Spitzen können auftreten. Große Lkw verwenden nahezu ausschließlich 24-Volt-Bordnetze. Schon die 15 Volt aus dem Pkw-Bereich können den Router grillen.

Doch es gibt gleich mehrere Möglichkeiten, um das Problem zu lösen – ohne Lüftergeräusch eines 230-Volt-Wechselrichters. Kfz-Spannungsreg-

ler, manchmal auch „Netzgerät“ genannt, bekommt man beispielsweise von Hama, Xoro oder Goobay für 10 bis 30 Euro. Sie geben stabilisierte 12 Volt aus und bei vielen gehören gleich mehrere DC-Hohlstecker zum Lieferumfang, sodass die Wahrscheinlichkeit für einen passenden hoch ist. AVM verwendet typischerweise Stecker mit 5,5 Millimeter Außen- und 2,5 Millimeter Innendurchmesser.

Damit die Box auch am Adapter keine Rauchzeichen schickt, muss man vor dem Kauf die Polarität prüfen: Auf dem AVM-Netzteil symbolisiert ein von einem Kreis eingefasster Punkt den DC-Hohlstecker. Rechts und links davon sind ein Plus- und ein Minusymbol, deren abgehende Verbindungen anzeigen, wo der jeweilige Pol am Stecker liegt. Gleiches gilt für Kfz-Spannungsregler mit festem Stecker, die man so einfach abgleichen kann. Universalregler mit drehbaren Wechselsteckern erfordern besondere Sorgfalt und einen Blick in die Anleitung.

## USB-C-Betrieb

Wer den Camper sowieso schon mit USB-Power-Delivery-Spannungsreglern bestückt hat, um Smartphones, Laptops und Tablets zu betanken, benötigt möglicherweise gar keinen separaten Spannungsregler mehr. Auch 12 Volt sind Teil der USB-Power-Delivery-Spezifikation (USB-PD) und werden auf Kommando von fähigen Netzteilen, Spannungswandlern und Powerbanks geliefert.

**Universelle Kfz-Spannungsregler wie der von Goobay geben eine stabilisierte Spannung aus und stellen so sicher, dass das gespeiste Gerät nicht beschädigt wird. Wer Fritzboxen im Camper ohne Regler betreibt riskiert Schäden.**



Bild: Goobay

Fritzboxen können ihr 12-Volt-Bedürfnis mangels USB-C-Port zwar nicht von sich aus kommunizieren, es gibt jedoch „USB-C Trigger Cables“ mit Hohlstecker auf der einen Seite und USB-C-Stecker inklusive PD-Chip auf der anderen. Der Chip erzählt der Quelle (Netzteil etc.) über den Konfigurationskanal, dass die Senke sich über 12 Volt freuen würde und dass es somit in Ordnung wäre, wenn diese von der USB-Basisspannung (5 Volt) auf 12 Volt hochschaltet. Diese Kabel bekommt man in Europa bei Elektronikhändlern, Amazon oder eBay für 10 bis 20 Euro. Bei AliExpress kosten sie unter 10 Euro.

Allerdings gibt es auch beim USB-C-Betrieb etwas zu beachten: In seltenen Fällen kann es sein, dass der USB-PD-Handshake mehrere hundert Millisekunden dauert; typischerweise sind es höchstens 100 Millisekunden. Während des Handshakes bekommt die Fritzbox 5 statt 12 Volt. Unterspannung könnte dazu führen, dass Fehler auftreten, die die Box gar nicht erst booten lassen. Passiert das, muss man den USB-C-Stecker zuerst einstecken und dann den DC-Hohlstecker.

Manche USB-C-Regler haben mehr als einen Port, um mehrere Geräte gleichzeitig zu versorgen, können aber nur eine Spannung erzeugen. Schließt man ein weiteres Gerät parallel zur Fritzbox an – etwa ein Smartphone, das maximal 9 Volt verträgt –, fällt der Regler entweder auf 5 Volt oder den kleinsten gemeinsamen Nenner zurück. In dem Fall lassen Sie die zusätzlichen Ausgänge besser ungenutzt.

Wichtig ist außerdem, dass die Quelle genug Strom liefert; es gibt zwei 12-Volt-Profile in der USB-Power-Delivery-Spezifikation: eines mit maximal 1,5 Ampere und eines mit 3 Ampere. Welche Profile Ihr Regler unterstützt, verrät sein Datenblatt. Was passiert, wenn man die Grenzen überschreitet, hängt ganz von der Quelle ab. Viele PD-Chips besitzen einen Überlastungsschutz.

Im Betrieb ohne USB- und Telefon-Zubehör dürfen jedoch die wenigsten Fritzboxen die 1,5-Ampere-Grenze reißen. AVM gibt die Leistungsaufnahme der 6850 5G mit durchschnittlich 6 und maximal 18 Watt an, also 0,5 bis 1,5 Ampere bei 12 Volt. Im Test von 2021 maßen wir rund 4 Watt ohne Datenverkehr [1].

## Repeater-Außengehäuse

Ob Nachrichten am Tablet, Videotelefonie am Smartphone oder Fußball-Livestream – WLAN im Garten ist praktisch. Wettertaugliche Repeater hat AVM allerdings nie angeboten, sodass man sich damit begnügen musste, die Geräte innen ans Fenster zu



**Eine Richtantenne wie diese von WILAnet kann den Durchsatz an LTE- und 5G-Fritzboxen erheblich steigern. Nahezu alle Mobilfunkmodelle haben SMA-Anschlüsse für diesen Zweck.**

stellen. Doch das ist nicht immer möglich und außentaugliche WLAN-Basen anderer Hersteller integrieren sich nicht ins Fritz-Mesh-Universum.

Die Lösung gibts von REFBox in Form eines wetterfesten Gehäuses mit transparenter Tür. In der Basisausstattung, die rund 60 Euro kostet, besitzt die Kiste eine Schukosteckdose für den Repeater an der Rückwand. Die Steckdose muss von einer Elektrofachkraft angeklemt werden, dann ist die Kiste einsatzbereit. Optional installiert REFBox bis zu vier Antennenanschlüsse für modifizierte Repeater auf der Unterseite. Auch eine zweite Kabelverschraubung für ein Netzkabel kann man auf Wunsch bekommen. Eine Outdoor-Box mit vier Antennenanschlüssen und Schließzylinder statt Dreikant-Öffner kostet rund 104 Euro – zuzüglich Fritz-Repeater und Elektrikertermin.

Die Kiste darf dabei natürlich nicht in der Sonne hängen, sonst macht der Repeater im Sommer hitzefrei und verliert möglicherweise ein paar Jahre Lebenszeit, weil die Komponenten häufig an der Temperaturgrenze laufen.

Wem die REFBox-Kiste mit Repeater und Elektrikertermin zu teuer ist, der kann einen Fritz-Repeater 3000 (AX) mittels Power over Ethernet in einer Outdoor-Kiste betreiben. Das klappt mit einem standardkonformen PoE-Injektor (IEEE 802.3af/at genügt) und einem aktiven 12-Volt-PoE-Splitter (5,5 × 2,5 mm DC-

Buchse) sowie einem Netzkabel zum Installationsort, am besten einem wetterfesten Schaltschrank. Das PoE-Set kostet etwa 30 Euro, ein kleiner Schaltschrank 20 bis 40 Euro. Kaufvorschläge haben wir unter [ct.de/wa2m](https://www.ct.de/wa2m) verlinkt.

Wie bei der Steckdosenvariante hängen die restlichen Kosten von den Umständen ab. Aber Sie benötigen keine Elektrofachkraft, wenn Sie nur Netzkabel verlegen und anschließen.

## Richtantennen für Mobilfunk

Manchmal muss es Internet per Mobilfunk sein, weil kein anderes Medium greifbar ist. Wenn dann aber das Signal des nächsten Funkturms zu schwach ankommt, kann eine externe Antenne den Netzzugang beschleunigen. Bis auf die Fritzbox 6820 haben alle aktuellen Mobilfunk-Fritzboxen SMA-Antennenanschlüsse, und Antennensets findet man im Netz unter dem Namen „LTE Richtantenne“ zuhauf.

Vor dem Zuschlag ist jedoch etwas Recherche erforderlich, um die nächste Enttäuschung zu vermeiden: Die Website [cellmapper.net](https://www.cellmapper.net) verrät auf ihrer Karte, wo sich die nächste Basisstation befindet, und welche Funktechnik sie auf welchen Frequenzbändern liefert. Ob GSM, LTE oder 5G angezeigt wird, wählt man links im Menü „Provider“ aus.



Damit die Antenne gute Ergebnisse liefert, muss sie auf die eingesetzten Frequenzen abgestimmt sein – darauf muss man beim Kauf achten. Mobilfunkfrequenzen setzen Bandkennziffern ein, statt die Frequenzen auszuschreiben. Üblich sind die Bänder 1 (2100 MHz), 3 (1800 MHz), 7 (2600 MHz), 8 (900 MHz), 20 (800 MHz), 28 (700 MHz) und 78 (3500 MHz). Außerdem darf das Kabel nicht zu lang sein, damit der Antennengewinn darin nicht flöten geht. Zu den Sets gehören oft vergleichsweise dünne Antennenleitungen; wir empfehlen höchstens fünf Meter Kabellänge.

Typischen Sets liegen Mastschellen zum Befestigen der Antennen an handelsüblichen Rundmasten mit 30 bis 60 Millimetern Durchmesser bei. Sitzt bereits ein Sat-Spiegel oder eine UKW-Antenne inklusive Kabeldurchführung auf dem Dach, hat man wenig Arbeit. Falls der Platz am Mast nicht mehr genügt, bestellt man eine Mastverlängerung.

Sofern Sie Ihr Gebäude mit einem Blitzschutz ausgerüstet haben oder eine Blitzschutzpflicht besteht, sollten beziehungsweise müssen zusätzliche

Antennen und Mastverlängerungen mit einbezogen werden.

Weitere Tipps zum Verbessern des Mobilfunkempfangs und dem Umgang mit Cellmapper finden Sie in [2].

## Wahlübersetzer

Die Macht der Gewohnheit ist in Bezug auf Technik ein Problem, denn die Entwicklung schreitet voran und Hersteller verabschieden sich immer wieder von alten Standards. An modernen Fritzboxen garantiert AVM etwa nicht mehr dafür, dass Analogtelefone mit Impulswählverfahren noch funktionieren. Wer überhaupt noch auf die Idee kommt, ein analoges Festnetztelefon über RJ11- oder TAE-Stecker an die Box zu stöpseln, sollte das Gerät daher im Mehrfrequenzwählverfahren (MFV) betreiben.

Doch das schmeckt nicht jedem. Ob dekoratives Museumsstück oder drohende Enterbung, wenn der Fernsprechtischapparat 611 mit zeitgenössischer Wählscheibe bei den (Groß-)Eltern nicht mehr funk-

# JETZT IM ABO GÜNSTIGER LESEN

**GRATIS!**

## 2x Make testen mit über 30% Rabatt

### Ihre Vorteile im Plus-Paket:

- ✓ Als **Heft** und
- ✓ **Digital** im Browser, als PDF oder in der App
- ✓ Zugriff auf **Online-Artikel-Archiv**
- ✓ **Geschenk**, z. B. Make: Tasse

Für nur **19,40 €** statt ~~27 €~~

Jetzt bestellen:

[make-magazin.de/miniabo](http://make-magazin.de/miniabo)



tioniert – manchmal muss eine Lösung her, um ehrwürdige Altelektronik weiterzubetreiben. Glücklicherweise nimmt die Friedrich Reiner GmbH das Problem ernst; unter [telefonmanufaktur.de](http://telefonmanufaktur.de) betreibt sie einen Webshop, in dem man unter anderem IWW-MFV-Konverter kaufen kann.

Einen simplen Übersetzer zwischen den Wählwelten bekommt man für 73 Euro mit Versand. Das Gerät besitzt ein 15 Zentimeter langes Anschlusskabel mit RJ11-Stecker zum Anschließen an den Router; ein TAE-F-Adapter liegt bei. Das Telefon schließt man an die eingebaute RJ11-Buchse an. Eine TAE-F-Buchse mit RJ11-Stecker kann man optional dazu bestellen.

Wer das alte Telefon ganz in die neue Welt holen möchte, muss 90 Euro auf die virtuelle Ladentheke legen: Der „Konverter digital mit Zusatzfunktionen“ ergänzt IWW-Fernsprecher pfiffig um die Stern- und Rautewahlfunktion, sechs Kurzwahlspeicher und Wahlwiederholung. Das funktioniert, indem das Gerät Verzögerungen beim Wählen detektiert. Zieht

man etwa die 2 bis zum Anschlag und wartet dann drei Sekunden bis zum Loslassen, wählt das Gerät den Stern.

## Türsprechstellen

Das Überhören der Türklingel ist für einen selbst und den, der davor steht, ziemlich nervig. Wer das vermeiden möchte, kann die alte Schelle durch eine Türsprechstelle ersetzen und diese mit der Fritzbox verbinden. Eine Türsprechstelle lässt nicht nur alle Telefone im Haus klingeln, sie stellt auch eine Sprachverbindung her, über die man Gäste um Geduld und Postboten ums Abstellen des Paketes vor der Tür bitten kann – die kommen ja bekanntlich immer dann, wenn man gerade den Pfannkuchen wendet.

Die Fritzbox versteht sich an allen Telefonschnittstellen mit Türsprechanlagen: a/b (analoge Telefonie), ISDN, DECT und VoIP. Den geringsten Installationsaufwand hat man wohl mit der DoorLine Slim DECT von Telegärtner. Sie hat zwei Klingeltaster, wird als DECT-Handset im Router eingebucht und per Telefon konfiguriert.

DECT-Empfang an der Tür und eine Spannungsversorgung mit 12 Volt DC sind die einzigen Voraussetzungen für die Sprechstelle. Der typische, zweidradige Klingeldraht genügt somit. Dafür legt Telegärtner ein Steckernetzteil bei; ein Netzteil für die Hutschiene, das den Platz des Klingeltrafos im Elektroverteiler einnehmen kann, bietet der Hersteller aber ebenso. Die DoorLine Slim DECT kostet derzeit rund 359 Euro.

Etwas günstiger zum Ziel kommt man, wenn man die Klingelleitung zur Fritzbox verlängern kann. Die TFS-200-Serie von Auerswald wird über die a/b-Schnittstelle mit dem Router verbunden und darüber auch mit Spannung versorgt. Es gibt sie ab 259 Euro mit einem, zwei, drei oder vier Klingeltastern; pro Taster zahlt man 10 Euro zusätzlich. Sowohl die DoorLine Slim DECT als auch die TFS-200-Serie bringen potenzialfreie Relais mit, um bei Wahl der richtigen Ziffer einen Türöffner auszulösen.

Liegt wenigstens eine vieradrige Leitung zur Klingel, ist darüber eventuell auch Fast-Ethernet (100 Mbit/s) möglich. IP-Türklingeln eröffnen weitere Möglichkeiten wie Kamerabilder auf dem Fritz-Fon, NFC-Chips für Bewohner zur Türöffnung oder Fingerabdruckleser. Die Auswahl, die man in diesem Bereich derzeit hat, würde diesen Artikel aber sprengen. Das erwähnte Zubehör sowie einige weitere Beispiele finden Sie deshalb unter [ct.de/wa2m](http://ct.de/wa2m). (amo) **ct**



Bild: Telegärtner

**Die schlicht gehaltene Telegärtner DoorLine Slim DECT wird als drahtloses Telefon in die Fritzbox eingebucht. Sie benötigt lediglich DECT-Empfang und 12 Volt Gleichspannung am Installationsort, was die Montage erheblich erleichtert.**

## Literatur

[1] Dušan Živadinović, Wegbereiter, Stationärer Mobilfunkrouter: Fritzbox 6850 5G, c't 25/2021, S. 74

[2] Andrijan Möcker, LTE ≠ LTE, 4G-Mobilfunk: Datenturbo statt Schneckeninternet, c't 8/2022, S. 140

## Links zum Zubehör

[ct.de/wa2m](http://ct.de/wa2m)



# data2day

**Die Konferenz für Data Scientists,  
Data Engineers und Data Teams**

**18. und 19. September 2024 • Heidelberg**

**Themenschwerpunkte:**

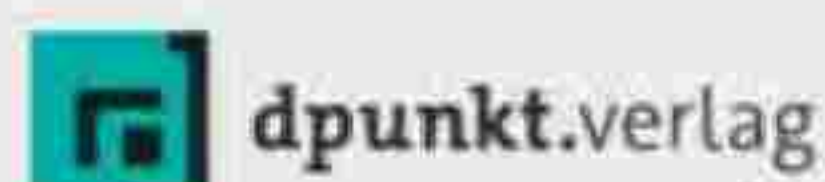
- Large Language Models, Knowledge Graphs und RAG in der Praxis
- Data Contracts – der Treiber für Automatisierung
- Datenarchitekturen im Reality Check
- EU AI Act, Compliance und Explainable AI

**Workshops am 17. September**

**data2day.de**

**Jetzt  
Tickets  
sichern!**

Veranstalter



Gold-Sponsor



Silber-Sponsoren





# Durchsatzmessungen für Internetstrecken

Die Internetgeschwindigkeit zu messen ist tricky. Und die Messwerte lassen sich nur dann richtig bewerten, wenn man die Eigenschaften der verschiedenen Dienste und Werkzeuge versteht. Hier die besten Tools und Tricks.

Von **Dušan Živadinović**

**E**s gibt viele Gründe, die Geschwindigkeit von Internetanschlüssen, von bestimmten Internetstrecken oder von privaten Netzwerken zu messen, beispielsweise Übertragungsholperer, Prüfung von Tarifzusagen, Bedarfsabschätzungen für Backups auf fernen Servern oder einfach nur Neugierde. Aus Anwendersicht kann man zwei Gruppen

von Messwerkzeugen unterscheiden: von Dienstleistern angebotene, deren Server an unveränderlichen Positionen im Netzwerk stehen; diese legen die Dienstleister fest. Die andere große Gruppe besteht aus Messprogrammen, die man an beiden Enden einer Strecke selbst installiert. Es gibt aber auch Werkzeuge, die zu beiden Gruppen gehören.

## Messdienste

Im Folgenden erklären wir, wie die beiden Gruppen arbeiten und wie man die Messwerte bewertet. Zur ersten Gruppe gehören auf Webbrowser oder auf Apps zugeschnittene Angebote wie die der Firmen Ookla (speedtest.net), Cloudflare (speed.cloudflare.com) oder der bayerischen Etrality GmbH (speedcheck.org). Eine Liste gängiger Messanbieter finden Sie über [ct.de/wk1m](https://ct.de/wk1m). Der Dienst von Ookla ist sehr verbreitet und nicht immer gleich als solcher zu erkennen; manche Netzbetreiber installieren Ooklas Server im eigenen Netz und suggerieren, es sei ihr eigener, darunter Vodafone, die Telekom, aber auch Google Fiber. Auch VeeApps, Betreiber des Dienstes speedsmart.net bietet Server zur Installation auf fremder Hardware an.

Manche Dienste kann man auch über Kommandozeilenprogramme ansprechen, was für Admins interessant sein dürfte, die ferngewartete Anschlüsse oder virtuelle Server ohne grafisches User-Interface analysieren wollen. Ookla bietet dafür das Tool `speedtest-cli` (siehe [ct.de/wk1m](https://ct.de/wk1m)). Es liefert dieselben Ergebnisse wie die Browsertechnik von Ookla.

Das Kommando ist für Linux, macOS und Windows erhältlich. Alternativ kann man `speedtest-cli` im Docker-Container betreiben, der die Leitung stündlich misst und die Ergebnisse grafisch darstellt (alle Download-Links finden Sie über [ct.de/wk1m](https://ct.de/wk1m)).

Die Diensteanbieter versprechen, die Kapazität Ihres Internetanschlusses zu messen. Ob das gelingt, hängt aber von mehreren Faktoren ab. Zunächst sollten VPN-Tunnel abgeschaltet sein, es sei denn, Sie möchten den Durchsatz des Tunnels messen. Es gibt aber keine „absolute Internetgeschwindigkeit“, sondern immer nur Messwerte für die Strecke vom Client (Ihr PC, Smartphone oder Router) zum Server eines Messanbieters.

Die Messwerte kommen um so näher an das Maximum heran, je kürzer die Datenpakete zum Messpunkt des Anwenders laufen; das liegt an den Eigenschaften der TCP-Flusskontrolle, siehe [ct.de/wk1m](https://ct.de/wk1m). Umgangssprachlich spricht man auch von „Entfernungen“ zwischen Client und Server, aber es sind keine geometrischen Distanzen, sondern in Millisekunden gemessene Paketlaufzeiten gemeint (Latenz).

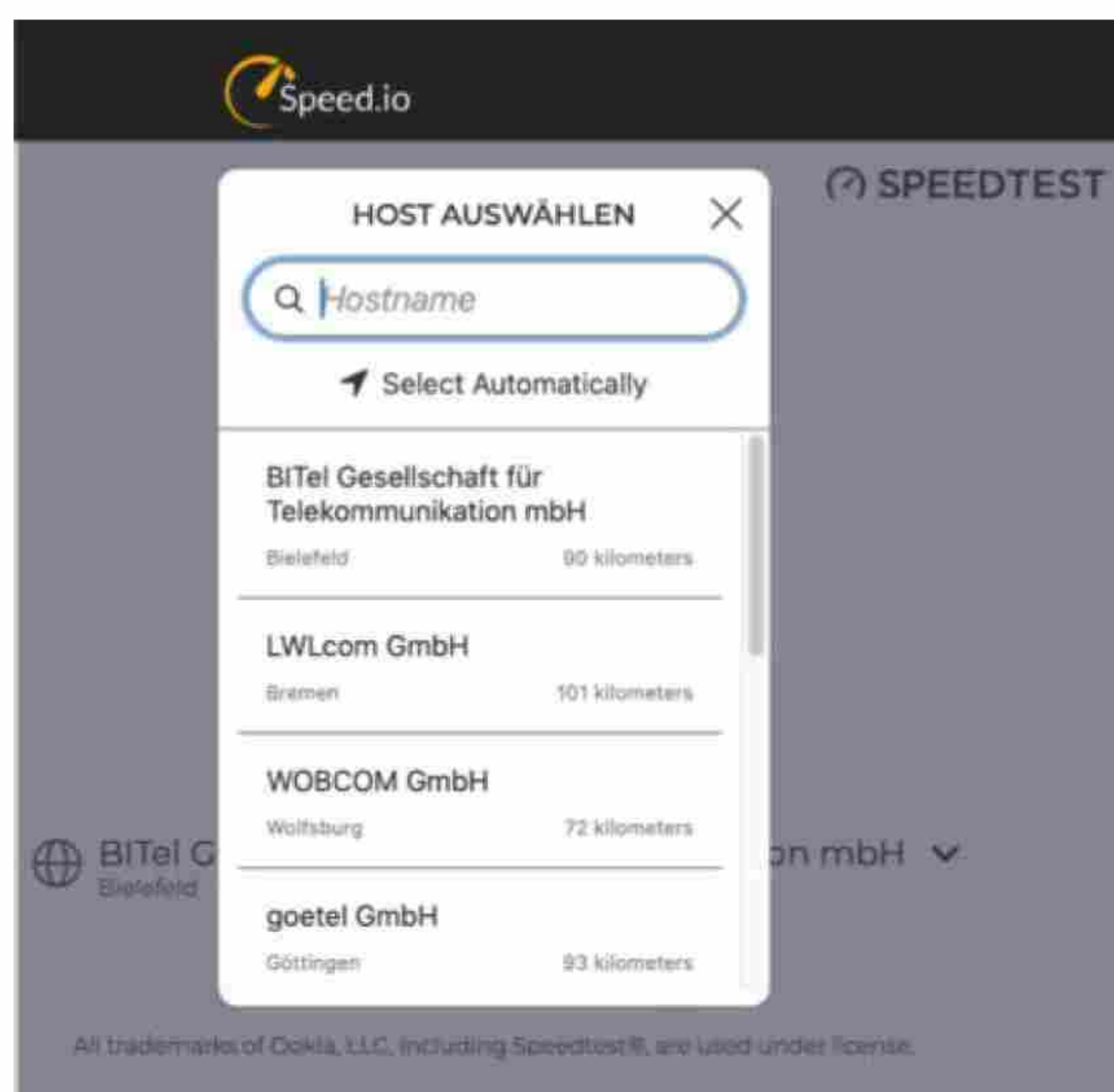
Deshalb wäre es zum Beispiel bei DSL-Anschlüssen ideal, wenn die Messserver gleich in allen DSLAMs stünden, denn die sind oft nur wenige Dutzend bis hundert Meter vom Heimrouter entfernt. Dafür sind DSLAMs aber schon platzmäßig gar nicht ausgelegt. Mit Glück interessiert sich ein Provider für den Messservice und bietet dem Dienstleister Platz in einem seiner Rechenzentren an. Das ist beispielsweise bei der Telekom der Fall: So können Telekom-Kunden die Kapazität ihrer Anschlüsse zu einem „nahe gelegenen“ Messserver von Ookla ermitteln.

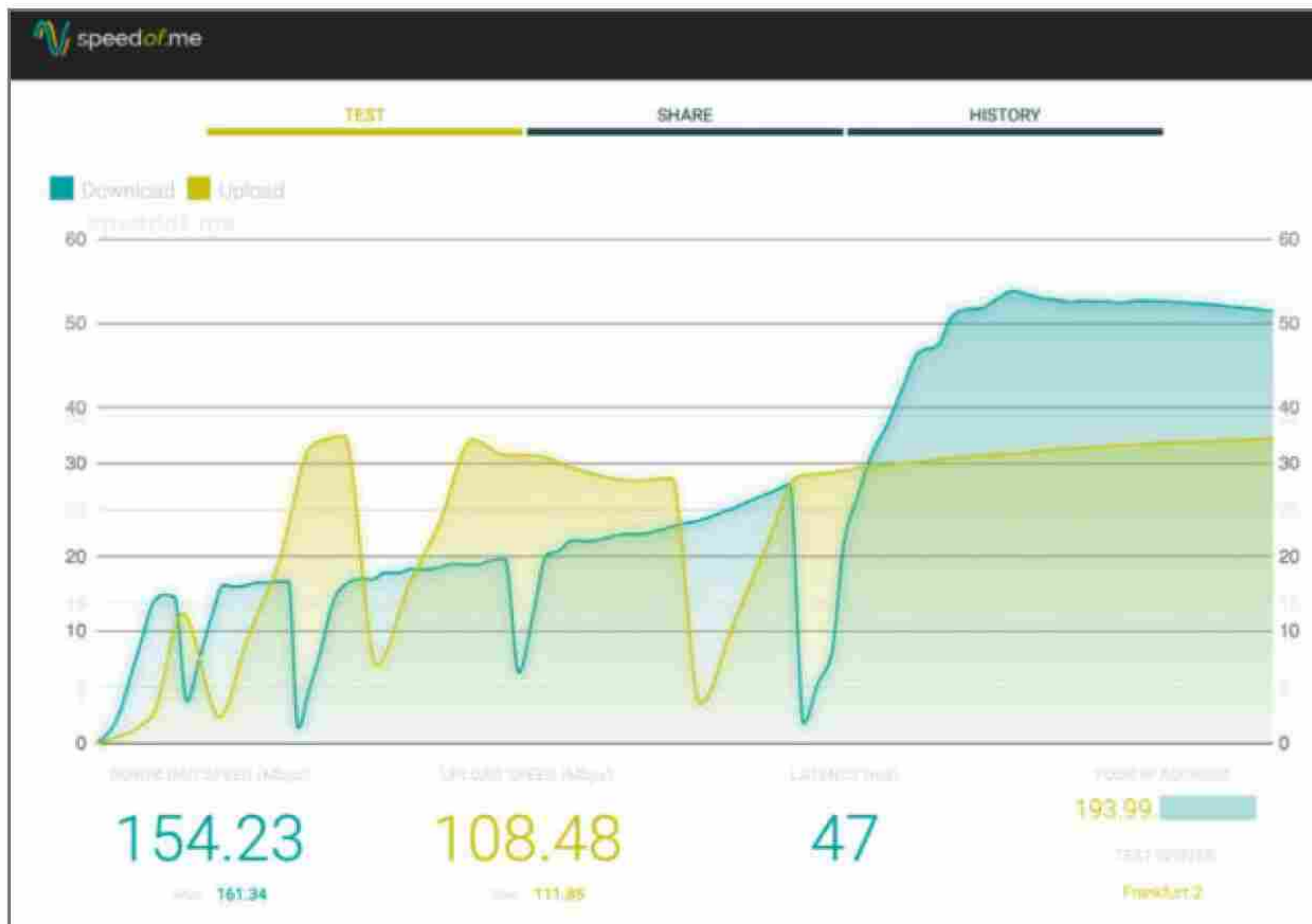
Andere Anbieter müssen mit Rechenzentren von Internetdrehkreuzen wie dem DE-CIX in Frankfurt vorliebnehmen, zu denen die Datenpakete länger unterwegs sind. Aber es können auch beliebige andere Positionen im Internet sein, etwa bei Firmen oder Instituten, die einem Messserver Quartier gewähren.

Steuert man einen solchen Dienst per Browser oder App an, ermittelt der Anbieter mittels eigener Methoden seinen nächstgelegenen Messserver und stellt die Client-Server-Beziehung her. Auf die Wahl hat man oft keinen Einfluss und es ist nicht ersichtlich, wie schnell die Serverhardware angebunden ist. Wir haben gelegentlich Messserver gefunden, die offensichtlich nur mit Fast-Ethernet (100 Mbit/s) angebunden waren. Dabei zeigt das Tool bestenfalls 94 Mbit/s an, auch wenn der Internetanschluss schneller ist.

Viele Anbieter informieren unzureichend darüber, welche Rolle die netzwerktechnische Distanz spielt und geben sie nur mittelbar als Latenzwert zum Server an. Bei manchen kann man Server per Hand

**Webdienste, die „mal eben“ den Durchsatz des Internetzugangs messen, sind beliebt. Um die Ergebnisse korrekt einzuordnen, ist meist noch Nacharbeit erforderlich. Doch für die Wahl des besten, weil netzwerktechnisch nächsten Servers spielt die Kilometerentfernung natürlich keine Rolle.**





**Wenn bei DSL-, Kabel- oder Glasfaseranschlüssen regelmäßig Latenzen jenseits von 30 Millisekunden herauskommen, sollte man einen anderen Messserver wählen oder gleich einen anderen Messanbieter suchen.**

wählen, aber als Auswahlkriterium wird nicht immer die Paketlaufzeit genannt, sondern manchmal nur die geografische oder sogar gar keine. Wünschenswert wäre die Nennung von Domainnamen der Server, damit man die Paketlaufzeit selbst per Ping-Befehl messen kann.

Solange die Distanz zum Server unklar ist, sollte man bei der Bewertung der Durchsatzangaben zurückhaltend sein. Man kann sie im Prinzip nur dann für bare Münze nehmen, wenn sie nahe am Maximum der tariflich zugesagten Datenrate des Providers liegen. Werte darunter können viele Ursachen haben, beispielsweise eine zu langsame und wegen unvermeidlicher Übertragungsfehler stotternde WLAN-Anbindung. Nehmen Sie lieber gleich das Ethernetkabel; es verliert keine Datenpakete. Oft kommt bei genaueren Untersuchungen heraus, dass der verwendete Messserver weit entfernt oder die Strecke dorthin immer mal wieder überlastet ist. Das ist bei Kabel- und Mobilfunkanschlüssen der Fall, bei denen sich viele Nutzer Teile der Netzwerkinfrastruktur teilen (Shared Medium). Ein klarer Hinweis auf „viel Verkehr“ oder große Distanz zum Server sind hohe Latenzen und hohe Latenzschwankungen (Jitter).

Für moderne Anschlüsse auf Glasfaser-, Kupfer- oder Mobilfunkbasis gilt: Wenn die Messwerte regelmäßig oberhalb von 30 Millisekunden liegen, sollte man einen anderen Messserver oder gleich einen

anderen Messanbieter suchen. Bei Satellitenanschlüssen gilt: Je näher die Umlaufbahn des Satelliten zur Erde, desto kürzer die Latenz. Starlink erreicht rund 40 Millisekunden (niedrige Umlaufbahn, Low Earth Orbit, LEO), bei anderen Betreibern können es leicht auch 300 Millisekunden und mehr sein (z. B. Geosynchronous Equatorial Orbit, GEO).

Wer die Laufzeit zum Server genau ermitteln will, schneidet während der Speedmessungen den Verkehr mit und pickt in Wireshark die Server-IP-Adresse des längsten Datenstroms heraus. Dann kann



**Beim Messdienst fast.com kennt man die Strecke zum Messserver zwar auch nicht im Detail, aber er sagt verlässlich, wie gut sich Ihre Netflix-Anbindung zum Streamen von Netflix-Filmen eignet.**

man beispielsweise mit dem Befehl `tracert` (Linux, macOS) beziehungsweise `tracert` auf Windows) die Laufzeit und die Anzahl der Backbone-Router auf der Strecke zum Ziel ermitteln.

Je mehr Router, desto höher die Wahrscheinlichkeit für Überlastung. Ein überlasteter Router bekommt mehr Pakete zugestellt, als er weiterleiten kann, und verwirft daher Pakete. Oft sind Border-Router, die zu einem anderen Netzbetreiber weiterleiten, unterdimensioniert.

Die Kapazität der Border-Router hängt von Verträgen der Netzbetreiber untereinander ab. Die Preise bestimmen zumeist die Großen, Kleine kaufen dann nur ökonomisch vertretbare Kapazitäten mit geringen Reserven ein oder versuchen, den großen Betreiber über Umwege wie große Internet-Drehkreuze zu meiden.

Unterm Strich bleibt: Webdienste kann man für eine schnelle, aber grobe Einschätzung der Leitungskapazität heranziehen, wenn man weiß, welche Strecke getestet wurde.

Server unter dem Dach von Providern stehen vermutlich sehr nahe an den Anschlüssen der Kunden. Unsere Stichproben für die Dienste von Vodafone und Telekom belegen das. Die Laufzeiten zu deren Messservern liegen sogar unter denen zu den Webservern mit Webshops.

Oft interessiert aber nicht die Anschlusskapazität, sondern die gesamte Strecke zu einem Streaminganbieter. Geben Sie mal `fast.com` in Ihren Browser ein: Die Messung startet ohne Ihr Zutun und gibt Aufschluss über die Strecke zum nächstgelegenen Ausspielpunkt von Netflix-Streams; dort steht nämlich auch der `fast`-Messserver. Für Admins, die die Eignung von Kundenanschlüssen für Netflix per SSH-Sitzung aus der Ferne messen wollen: Der dänische Entwickler Sindre Sorhus hat eine Client-Variante mit `Node.js` als Kommando fürs Terminal implementiert und auf GitHub veröffentlicht.

## Stille Ausnahmen

Unter den Diensten, die mit einem fest installierten Server arbeiten, gibt es eine große und stille Gruppe: Das sind Serviceabteilungen der Netzbetreiber, die sich um Kundenanschlüsse kümmern. Sie nutzen vom Broadband-Forum spezifizierte Methoden, um etwa bei Kundenbeschwerden detaillierte Antworten liefern zu können oder um die Servicequalität des Netzwerks im Auge zu behalten.

Die Spezifikation TR-143 gründet auf dem für Router entwickelten Fernwartungs- und Monitoring-



**Fritzboxen enthalten neben dem iPerf3-Server für Messungen aus dem Internet und dem Heimnetz noch zwei weitere Server für Fernwartungszwecke von Providern.**

protokoll TR-069, jetzt TR-369. TR-143-Server sind deshalb sehr nahe an den Anschlüssen positioniert (am Übergang zu einem externen Fernverkehrsnetz, Point-of-Presence, POP); TR-143-Clients stecken in den Kunden- Routern. Die Messungen erfolgen in der Regel auf Kundenwunsch und den Vorgang stoßen Servicemitarbeiter aus der Ferne an.

Nützlich an TR-143 ist, dass es ausschließlich die Routerleistung und die Streckenkapazität zum Internetprovider misst, und zwar automatisch. Der Router wählt aus einer Liste von Messgegenstellen die mit der kürzesten Paketlaufzeit aus und startet die Messung selbstständig. Das erspart die Einrichtung einer Messinstanz auf einem PC hinter dem Router und dadurch, dass nur zwischen Router und Server gemessen wird, bleibt das oft drosselnde WLAN aus-

geklammert, sodass Provider tatsächlich ein gutes Abbild der Anschlussleistung bekommen.

## Living in a Box

Einige Hersteller haben die Funktion im Webinterface ihrer Router für Anwender zugänglich gemacht; man startet die Messung per Mausklick. Das ist etwa beim Zyxel LTE7480-M804 der Fall. So kann man mal eben ermitteln, wie schnell der Router über die aktuelle LTE-Strecke Daten bezieht und sendet.

Auch der verbreitete Fritzbox-Router kann die Leistung seiner Internetleitung messen, sogar auf mehrere Arten, siehe Menü „Hilfe und Info/FRITZ!Box Support“. Dort lässt sich der integrierte iPerf3-Server aktivieren (dazu gleich mehr) und zwar sowohl für Messungen mit einem Client aus dem LAN oder WLAN als auch für Analysen aus dem Internet. Über den Port 4711 laufen Kombi-Messungen mit TCP oder UDP, während für reine UDP-Messungen der Port 4712 dient.

Außerdem bringt das FritzOS seit der Version 7.5x auch Messfunktionen gemäß TR-471 mit, dem Nachfolger von TR-143. Darauf greifen bisher ausschließlich Netzbetreiber zurück; ein Webinterface für Anwender wie es Zyxel bietet, wäre wünschenswert. Wer sich für Details interessiert: Das Broadband-Forum hat eine Implementierung als Teil des Projekts Open Broadband-UDP Speed Test auf GitHub veröffentlicht (OB-UDPST). Das zugehörige Werkzeug misst die IP-Kapazität mittels UDP-Paketen. In gefreezten Fritzboxen findet man die Implementierung unter dem Namen `udpst`.

Alternativ kann man in der Fritzbox die Round-Trip-IP-Performance gemäß dem Two-Way Active Measurement Protocol (TWAMP) messen. TWAMP erscheint interessant, weil es die Paketlaufzeit und -verlustrate für Up- und Downlink gleichzeitig ermittelt. AVM hat wie etwa Nokia oder Juniper die Variante TWAMP light implementiert (RFC 5357), die Fritzbox ist dabei der Session Reflector. Um TWAMP zu verwenden, braucht man auf der Gegenseite einen TWAMP-Controller wie den quelloffenen `twampy` von Nokia.

Und schließlich bietet AVM über `zack.avm.de` auch einen Messdienst für Browser, die sich über die Fritzbox hinweg mit einem AVM-Server verbinden. Die Implementierung scheint noch ausbaufähig. Beispielsweise sollte die Webseite unter anderem die Anzahl der Backbone-Router (Hops) auf der Strecke zum Server angeben. Im Test klappte das mit dem Chrome-Browser zuverlässiger als mit Safari und

Firefox. Bei manchen Durchläufen kamen keine Upload-Messungen zustande.

## Alles in eigener Hand

Zur zweiten großen Gruppe der Messwerkzeuge zählen wir Tools, die man selbst auf Client und Server installiert und parametrisiert, weil man genau die Beziehung zwischen bestimmten Clients und bestimmten Servern untersuchen will. Es geht also um Analysen von bestimmten Strecken, beispielsweise zwischen Filialen oder Instituten.

Zu dieser Gruppe gehören viele Kommandozeilenbefehle, darunter das Unix-Urgestein `ttcp`, von dem viele weitere abgeleitet sind. Zu den `ttcp`-Verwandten gehören das beliebte `iPerf3`, `nttcp`, `nuttcp` oder auch das von Microsoft entwickelte `NTtcp`, das Windows-Admins gerne verwenden – die Reihe ließe sich beliebig fortsetzen.

Bemerkenswert erscheint `iPerf3`, weil es ein Schlaglicht auf die zur Jahrtausendwende noch sehr dürftigen Eigenschaften des TCP-Stacks wirft: Das erste `iPerf` wurde nämlich entwickelt, um TCP-Verbindungen zu optimieren.

Genau gesagt ging es um die beste Einstellung der Window Size des TCP-Protokolls. Von dessen Größe hängt ab, wie viele Daten insgesamt auf einer Strecke gleichzeitig unterwegs sein können. Wenn zu klein, liegt ein Teil der Sendekapazität brach. Wenn zu hoch, kommt es zur Staubildung und Paketverlusten. Die TCP-Stacks der Internet-Steinzeit konnten diesen Wert noch nicht selbst optimieren.

Viele ältere Windows-Versionen waren berüchtigt dafür, die Window-Größe zu klein einzustellen und damit Downloads zu bremsen. Manche Programmierer entwickelten daher Tuning-Tools, die eine Strecke vermessen und die Window Size für Windows optimal einstellen, darunter etwa `cFosSpeed`. Die Einstellungen solcher Tools wirken sich unmittelbar auf die Effizienz der TCP-Flusskontrolle aus ([ct.de/wk1m](http://ct.de/wk1m)).

Heute setzt man `iPerf3` hauptsächlich für Durchsatzmessungen ein. Dafür installiert man das Binary auf Server und Client und stellt zunächst sicher, dass die serverseitige Firewall den Verkehr für Port 5201 durchlässt. Anschließend startet man das Tool auf dem Server mit dem Befehl `iperf3 -s`. Den Client startet man mit dem Befehl `iperf3 -c Hostname`. Ohne weitere Parameter überträgt er zehn Sekunden lang Daten und gibt den Geschwindigkeitsmittelwert aus.

Das Tool bietet zahlreiche Optionen für verschiedene Szenarien. Beispielsweise kann man mehr als einen Datenstrom senden (`-P n`), um parallele Aus-



lastung mit mehreren Clients zu simulieren, UDP anstatt TCP-Pakete senden (-u) oder die Verkehrsrichtung umdrehen (-R). Für längere Übertragungen setzt man beispielsweise -t 30. Manche Strecken brauchen auch ein paar Sekunden, um ihre maximale Geschwindigkeit zu erreichen. Dann weist der Parameter -o 5 iPerf3 an, die Messwerte der ersten fünf Sekunden zu verwerfen.

Trotzdem eignen sich die Messwerte von iPerf3 und ähnlichen Tools nicht, um die Leistung von Strecken unter Alltagsbedingungen zu bewerten. Ein Grund liegt darin, dass die meisten Strecken durchgehend bidirektional genutzt werden, ein anderer, dass oft keine großen Dateien, sondern viele kleine Pakete in unregelmäßiger Folge gesendet werden.

Um solche Situationen abzubilden, könnte man bei iPerf3 die Option --bidir verwenden. Wenn man dann noch parallel Ping-Pakete hin und her sendet und alle Ergebnisse zusammenfasst, bekommt man eine Ahnung davon, wie sich eine Strecke im Alltag verhält. Das ist wünschenswert, um etwa die Reaktionsgeschwindigkeit von Webseiten oder Datenbank- und SSH-Sitzungen zu ermitteln und um abzuschätzen, wie gut sie sich für Audio- und Video-Konferenzen eignet.

## Apples Responsiveness

Moderne Werkzeuge simulieren Alltagssituationen umfassender und ersparen gegenüber iPerf3 und ähnlichen Werkzeugen viel Aufwand. Zu dieser

neuen Gruppe gehört Apples Befehl networkQuality, der auf macOS seit der Version Monterey erhältlich ist. networkQuality gründet auf dem Entwurf zu einer IETF-Spezifikation (ct.de/wk1m). Auf GitHub sind Client- und Server-Implementierungen in Go auch für andere Betriebssysteme erhältlich.

Apple zielt damit auf Messungen der Reaktionsgeschwindigkeit (Responsiveness) oder anders gesagt, auf die Eigenschaften von Strecken, die sich mehrere Geräte oder Apps teilen sollen. Das Kommando prüft den Up- und Downstream gleichzeitig und bewertet die Güte der Leitung (Low, Medium oder High). Dafür hat Apple die Einheit Roundtrips Per Minute (RPM) eingeführt – ein Maß für die Menge der Transaktionen pro Minute.

Die iOS- und iPadOS-Implementierung hat Apple hauptsächlich für Entwickler ausgelegt. Hier zeigen wir, wie man das Tool auf macOS nutzt. Der Test erfordert ein einziges Kommando:

```
networkQuality
```

Eine Beispielausgabe sieht wie folgt aus:

```
Uplink capacity: 212.011 Mbps
Downlink capacity: 239.968 Mbps
Responsiveness: High (45 ms | 1334 RPM)
Idle Latency: 12.3 ms | 5000 RPM
```

Das wichtigste Ergebnis steht in der dritten Zeile: Der Befehl bewertet die Reaktionsgeschwindigkeit

**ct DATEN SCHÜTZEN**  
Ihre Verteidigung gegen Werbung, Spam & Überwachung

**Schutz vor Überwachung**  
Wie Überwachungstools Mitarbeiter ausspionieren  
Smart TVs: Spione im Wohnzimmer

**Daten und Geld**  
Wie Sie Ihre Daten im Internet löschen lassen  
So passen Händler Preise dynamisch an

**Ihr gutes Recht**  
Schadenersatz für unrechtmäßige E-Mail-Verkäufe  
CharlFP & Co.: Reklame juristische Folgen

**So wehren Sie die**  
Zwei Werbeflacker im Vergleich: AdWords  
Razzi versus Reklamer: Pläne und An

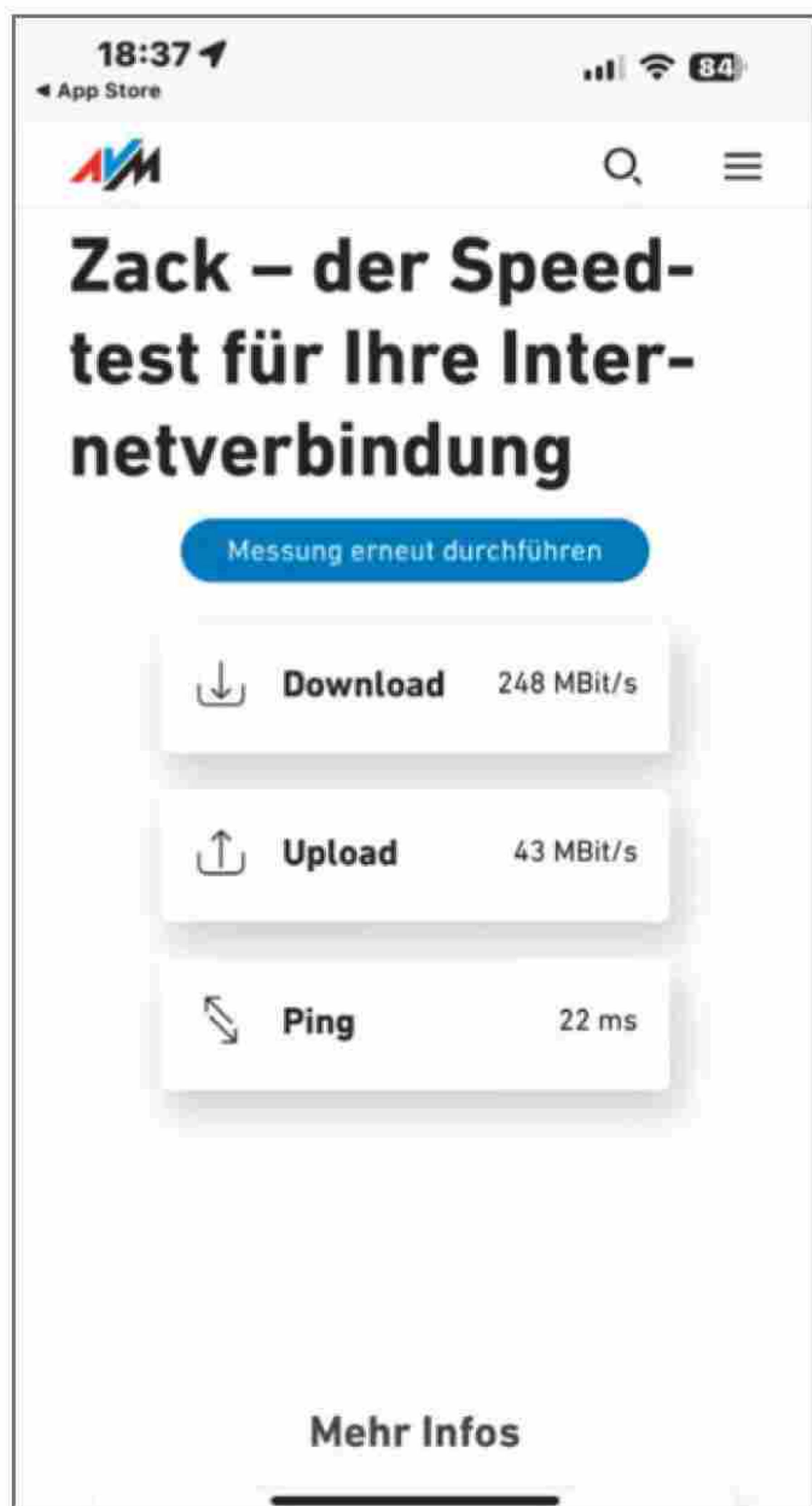
**Auch als Heft + PDF mit 28% Rabatt**

# IHRE DATEN, IHRE KONTROLLE!

## Verteidigen Sie sich gegen Spam und Überwachung

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Heft + PDF 19,90 €

[shop.heise.de/ct-datenschutz24](https://shop.heise.de/ct-datenschutz24)



**AVM bietet speziell für Browser, die über eine Fritzbox hinweg kommunizieren, einen eigenen Messdienst an. Im Test klappte aber nicht jeder Messdurchlauf.**

(Responsiveness) mit „hoch“. Wenn dort Low steht, ist die Leitung oder Apples Testserver ausgelastet und man sollte nur eingeschränkte Dienstqualität erwarten (z. B. Aussetzer bei der Telefonie). Medium bedeutet, es ist zwar was los auf der Leitung, aber sie hat noch Reserven, Aussetzer dürften selten vorkommen. High heißt: Alles geht glatt und ungebremst durch, egal wie viele andere Geräte und Anwendungen die Leitung gerade mitverwenden.

Mit Up- und Downlink-Capacity sind die Durchsätze in Send- und Empfangsrichtung gemeint. Im obigen Beispiel handelt es sich um die Resultate einer Glasfaserleitung, die laut Vertrag symmetrisch 250 Mbit/s liefern soll. Da andere Geräte von der Gesamtkapazität nur wenig abgezockt haben, liegen die Werte nur knapp unter dem Maximum. Die

Latenz (Idle Latency) gibt die Paketlaufzeit an. Mit zwölf Millisekunden liegt sie im Rahmen des Üblichen. So weit, so gut.

`networkQuality` zeigt aber auch schonungslos auf, wenn eine Leitung ausgelastet ist, beispielsweise ein von mehreren Anwendern genutztes VPN:

Uplink capacity: 51.545 Mbps  
 Downlink capacity: 215.117 Mbps  
 Responsiveness: Low (355 ms | 169 RPM)  
 Idle Latency: 110 ms | 550 RPM

Die Werte sind weit schlechter, vor allem die Responsiveness: 169 RPM gegenüber 1334 ohne VPN.

Wenn Sie `networkQuality` mit der Option `-v` nutzen, gibt der Befehl mehr Meldungen aus und am Schluss auch den Domainnamen der Gegenstelle. Als Ziel in `traceroute` eingegeben, sehen Sie, über welche Router die Pakete der Messung zum Ziel laufen – im obigen Fall zum DE-CIX in Frankfurt.

Alternativ können Sie das Tool zum Messen der Strecke zu einem eigenen Server verwenden. Die erforderliche Server-Implementierung gibt es ebenfalls als quelloffenes Projekt auf GitHub ([ct.de/wk1m](https://github.com/ct.de/wk1m)).

## Leitung klemmt, was tun?

Egal, ob mit `networkQuality` ermittelt oder mit einem anderen Werkzeug: Was tun, wenn die Leitung niedrige Qualität hat? Die schnellste Abhilfe besteht darin, unwichtige Kommunikation zu beenden, also etwa Downloads auf die Nacht verschieben, wenn tagsüber die Videokonferenz Vorrang hat.

Wenn die beendet ist: Öffnen Sie das Webinterface Ihres Routers und suchen Sie nach Funktionen für die Verkehrssteuerung (Quality of Service, QoS, auch Smart Queue Management genannt, SQM). Damit lässt sich der Verkehr nach Bedarf priorisieren, sodass Datenpakete wichtiger Anwendungen bevorzugt zugestellt werden.

In besseren Routern ist das Verkehrsmanagement bereits ab Werk aktiv, sodass sie zumindest Sprachübertragungen bevorzugt behandeln. Auf den verbreiteten Fritzboxen finden Sie diese Option im Menü Internet/Filter/Priorisierung. Falls Sie „alle möglichen“ Anwendungen einschließlich Telefonie und Videokonferenz über ein VPN zu Ihrer Firma abwickeln, sortieren Sie den VPN-Verkehr zu den Echtzeitanwendungen. Auch können Sie einzelne Geräte wie Überwachungskameras bevorzugt behandeln lassen. (dz) **ct**

**Spezifikationen,  
Speedcheck-Webseiten,  
GitHub-Repositories**

[ct.de/wk1m](https://ct.de/wk1m)

# Ihre IT-Feuerwehr im Ernstfall

Mit iX gut gerüstet bei  
Cyberangriffen



## Angriffe erkennen

Die häufigsten Angriffsarten  
Verstehen, wie Cyberkriminelle agieren  
Detektion mit Logs, EDR und SIEM

## Incident Response

Technische und organisatorische Sofortmaßnahmen  
Wie man externe Hilfe findet  
Unterstützung durch Ermittlungsbehörden  
Wie Betroffene die Krise durchstehen

## Folgen bewältigen

Datenspuren analysieren und Angriffe nachvollziehen  
IT und Active Directory wiederaufsetzen  
Krisenkommunikation und -management  
Meldepflichten und andere rechtliche Anforderungen  
Lösegeld: Bezahlen oder nicht?

## Vorbereitet sein für den Ernstfall

Checklisten • Notfallpläne • Notfallumgebung in der Cloud



Heft + PDF mit  
28% Rabatt

## iX hilft Ihnen bei diesen Themen:

- ▶ Wie Cyberkriminelle agieren:  
Die häufigsten Angriffsarten
- ▶ Incident Response: Technische und organisatorische Sofortmaßnahmen
- ▶ Angriffe erkennen mit Logs, EDR und SIEM
- ▶ Folgen bewältigen, Systeme und AD wieder aufsetzen
- ▶ Von Backup bis Notfallplan: Vorbereitet sein für den Ernstfall
- ▶ Meldepflichten und andere rechtliche Anforderungen

Heft für 19,90 € • PDF für 17,49 € • Heft + PDF 26,50 €



[shop.heise.de/ix-notfallguide24](https://shop.heise.de/ix-notfallguide24)

Jetzt  
bestellen!



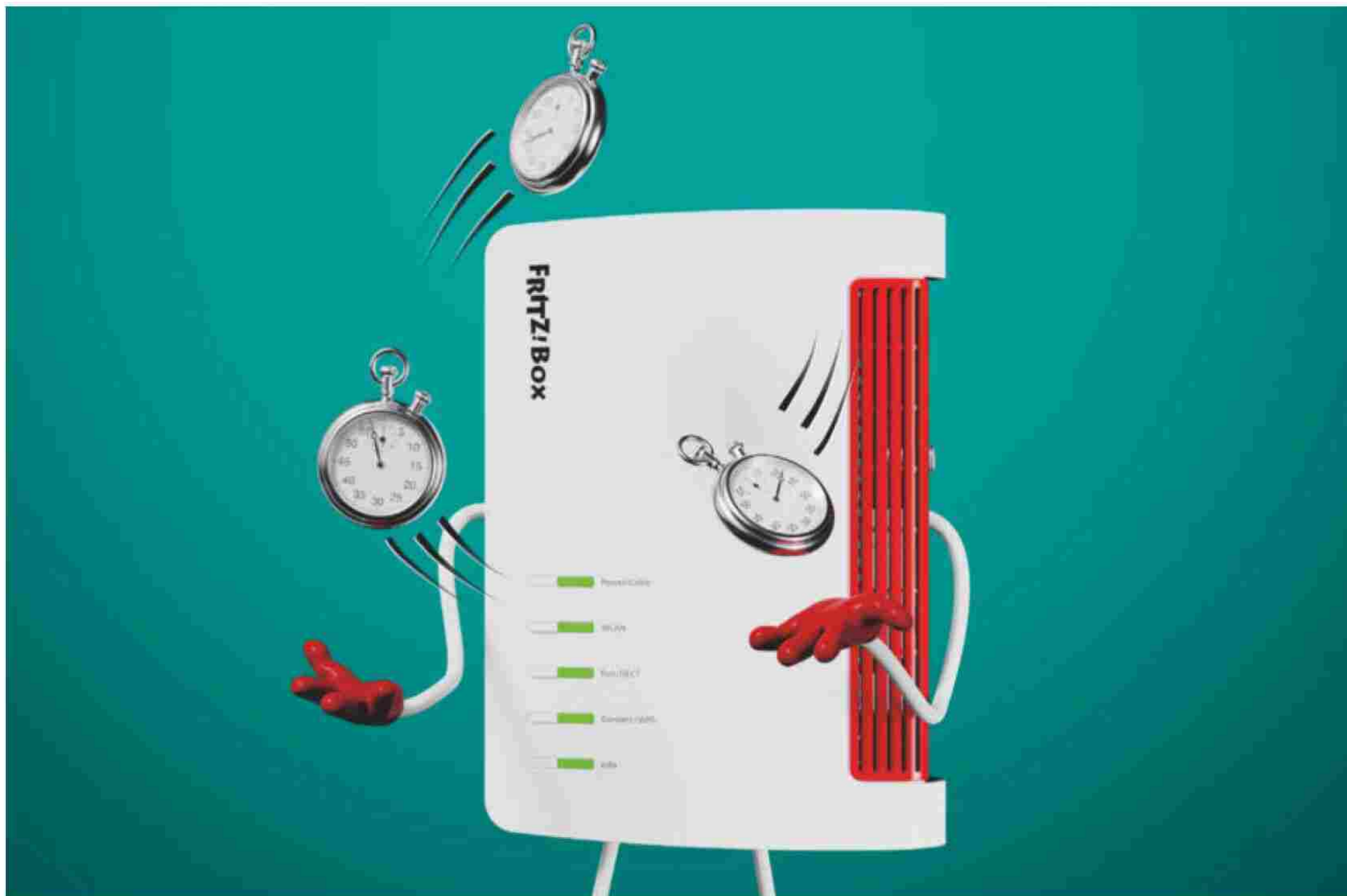


Bild: Andreas Martini

# Fritzbox: Durchsatz optimieren

Jeder Router sollte ab und zu auf den Prüfstand, sei es um zu messen, ob er die vertraglich zugesicherte Datenrate tatsächlich liefert und die WLAN-Abdeckung noch den Anforderungen genügt oder einfach um Stärken und Schwächen zu kennen. Das Diagnose-Tool bringen Fritzboxen mit, wir liefern den Beipackzettel.

Von **Dušan Živadinović**

**D**as WLAN hakt, die Downloads stocken, wo mag nur der Fehler hocken? Es gibt zahlreiche Methoden, der Ursache auf den Grund zu gehen. Fritzbox-Router verwahren mehrere davon im versteckten Support-Menü (dazu später mehr) und auch im Menü „Internet“. Dort steckt beispiels-

weise ein grafischer Onlinemonitor, der ganz unten auf der Seite den aktuellen Durchsatz in Diagrammen für die Sende- und Empfangsrichtung angibt.

Wenn dort die aktuelle Datenrate laufend die vom Provider zugesicherte erreicht und dabei Ruckler auftreten, ist das ein Beleg dafür, dass Ihr Netz mehr

Kapazität braucht, als die Leitung bietet. Ein bisschen hilft es gegen solchen Datenstau, wenn man im Menü Internet/Filter/Priorisierung einer hakeligen Anwendung Vorrang vor anderen gibt, zum Beispiel dem VPN zur Firma, wenn darin die Videokonferenz oder die Telefonieanwendungen laufen (siehe auch [ct.de/w8fm](https://www.ct.de/w8fm)).

Alternativ kann man etwa dem Bürorechner und allen darauf laufenden Internetanwendungen grundsätzlich Vorfahrt vor allen anderen Netzwerkgeräten geben. Aber den Hausfrieden garantiert am ehesten eine schnelle Internetleitung mit genügend Reserven für Stoßzeiten. Bei einem Mehrpersonenhaushalt sollten es in Senderichtung mindestens 50 Mbit/s sein, im Empfangsrichtung mindestens das Doppelte.

## Online oder offline

Wenn die Leitung zusammengebrochen ist, zeigt der Onlinemonitor konstant gar nichts an. Woran es dann hapert, gibt die Fritzbox im jeweiligen DSL-, Kabel-, Glasfaser- oder Mobilfunkmonitor an, beispielsweise im Menü Internet/DSL-Informationen. Mit den dortigen Statusmeldungen können Hotlinemitarbeiter der Provider die Fehlersuche besser eingrenzen. Steht die Verbindung wieder, kann man dort auch ablesen, welche Datenrate der Provider

tatsächlich liefert. Bei Abweichungen vom Tarif hat man damit belastbares Material für Hotlineanrufe.

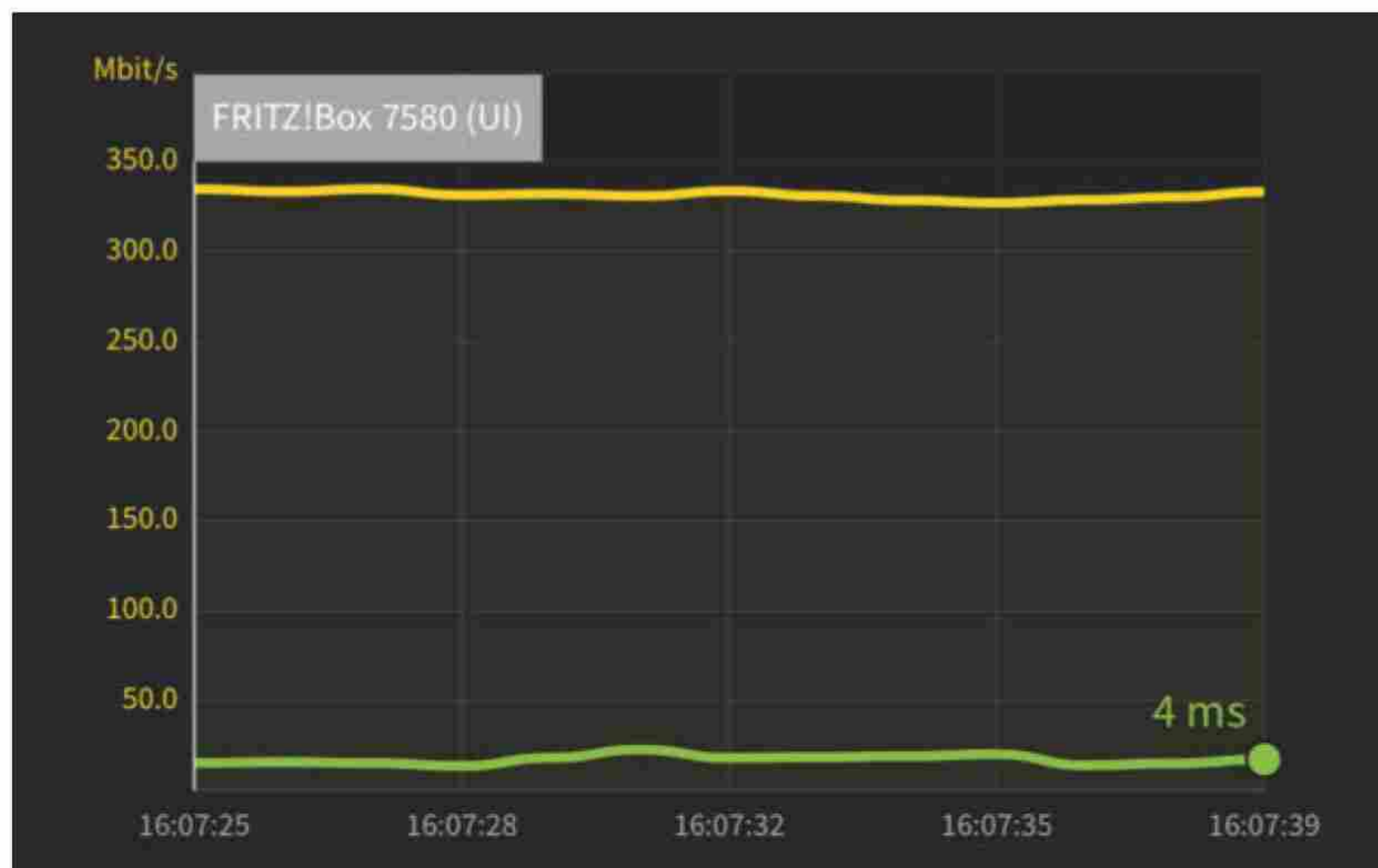
In diesem Beitrag geht es um Durchsatzmessungen oberhalb der physischen Schicht, also um die IP- und die Anwendungsebene. Dabei unterscheiden wir Messungen auf Ethernet- und WLAN-Strecken. WLAN-Messungen gelingen am schnellsten mit dem Smartphone-Tool FritzWLAN für iOS und Android.

Sobald die App installiert und das Smartphone an einer WLAN-Basis angemeldet ist, können Sie loslegen. Tippen Sie auf „WLAN messen“ und lassen Sie die Messung mindestens 30 Sekunden laufen. Je höher die gelbe Linie verläuft (Upload vom Smartphone zur Basisstation), desto besser der Durchsatz und je niedriger die grüne, desto kürzer die Latenz, also die Laufzeit der Pakete vom Smartphone zur Basis. FritzWLAN misst nur den Uplink zur Basis, für den Downlink muss man andere Tools nehmen, beispielsweise iPerf auf zwei PCs.

Der Durchsatz hängt von vielen Parametern ab, von denen man die meisten nicht umgehend beeinflussen kann, wenn überhaupt. Die wichtigsten sind die Generation der WLAN-Hardware (Wi-Fi 4, 5, 6 oder 7 - je höher, desto besser) und die Distanz zwischen dem Smartphone und der Basisstation. Welchen Durchsatz man bei welcher WLAN-Generation erwarten kann, haben wir unter [ct.de/w8fm](https://www.ct.de/w8fm) verlinkt.

Zur Erinnerung: Mit zunehmender Distanz nimmt die Leitungsgüte ab und der Anteil an Übertragungsfehlern nimmt zu - der Durchsatz schrumpft. Generell funktionieren Downloads, Synchronisierungen, die Mail- und Messenger-Kommunikation auch dann, wenn die Kapazität nur wenige Mbit/s beträgt; aber je mehr Mbit/s, desto flüssiger. Ähnliches gilt für zeitkritische Anwendungen wie WLAN-Telefonie und Videokonferenzen, mit dem Zusatz, dass solche Anwendungen Mindestdatenraten brauchen (100 kbit/s für Telefonie, 4 Mbit/s für Videokonferenzen) und auf kurze Latenzen angewiesen sind; WLAN-Latenzen unter 20 Millisekunden sind okay und vereinzelte Ausreißer nach oben unkritisch.

Da man bei WLAN (und auch Ethernet) keine bestimmten Datenraten für einzelne Anwendungen reservieren kann, verfährt man nach dem Prinzip „viel hilft viel“. Deshalb gilt: Je mehr Durchsatz und je kürzer die Latenz im WLAN, desto mehr Netzwerkgeräte und Anwendungen laufen auf der Strecke im Heimnetz gleichzeitig reibungslos. Als grober Richtwert gilt: Ab 100 Mbit/s und konstanten Latenzen unter 10 Millisekunden sollten mehrere Geräte ohne spürbare Qualitätseinbußen kommunizieren können.



**Wenn das WLAN „ordentlich brummt“ ist der Durchsatz durchgehend hoch und die Latenz durchgehend niedrig. Dann hat selbst eine in Ehren ergraute Fritzbox 7580 ausreichend WLAN-Kapazitäten für mehrere gleichzeitige Anwendungen.**

## Anlass zum Handeln

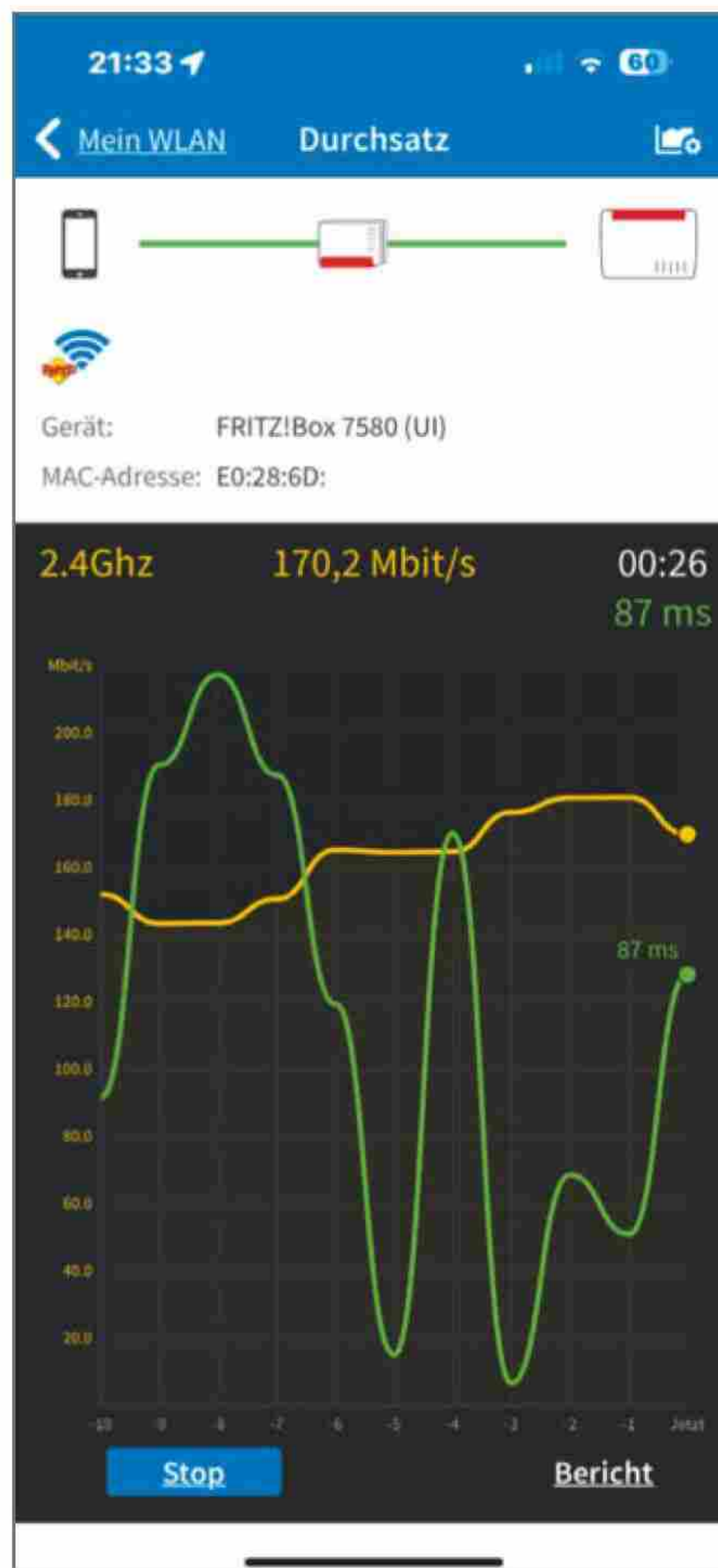
Anlass zum Handeln gibt es, wenn Durchsatz und Latenz am gleichen Messort innerhalb weniger Sekunden stark schwanken, oder gar, wenn sich die beiden Linien wie im abgebildeten Screenshot kreuzen. Dann ist die Leitungsqualität so niedrig, dass sie nicht nur Downloads drosselt, sondern bei zeitkritischen Anwendungen auch merkliche Aussetzer verursacht, und man sollte entweder die Distanz zur Basisstation verkürzen oder die WLAN-Versorgung per zusätzlichem Mesh-Node nachbessern (Repeater oder Access-Point, also Repeater am LAN-Kabel).

Es kann aber auch helfen, Gegenstände aus dem Weg zu räumen, die Funkwellen nicht oder nur stark abgeschwächt zum Empfänger durchlassen. Da es viele Materialien gibt, die die Funkausbreitung stören, hilft im Einzelfall nur ausprobieren. Typische Kandidaten sind aber Metallschränke oder metallbedampfte Glasflächen.

Praktisch an FritzWLAN finden wir, dass man auch das Gastnetz und jeden einzelnen Repeater prüfen kann. Auch lässt sich schnell herausfinden, wie gut ein Mesh-Node eine zugedachte Fläche abdeckt. Ob und mit welchem Node man gerade verbunden ist, blendet die App auf der Startseite und über dem Diagramm ein.

Nach Ende einer Messung fasst die App die Ergebnisse in einem Bericht zusammen. Dort sind zum Beispiel Netzwerkwechsel und das genutzte Funkband aufgeführt. Das Diagramm kann man im JPG-Format etwa zum Archivieren an den PC schicken. Der Vergleich mit älteren Messungen beantwortet, ob sich die Leistung etwa durch neue WLAN-Nachbarn verschlechtert hat. Falls ja, wäre das ein Argument für eine modernere WLAN-Infrastruktur, die weniger frequentierte Funkbänder nutzt und so höheren Durchsatz liefert.

Eine Besonderheit ist bei großen leeren Räumen und Freiflächen zu beachten: WLAN-Systeme erreichen die Spitzendatenraten nur, wenn sie mehrere räumlich unterschiedliche Datenströme senden können (Multiple Input Multiple Output, MIMO). Das setzt aber voraus, dass die Funkwellen über mehr als einen Weg etwa von Gegenständen wie Möbeln zum Empfänger gespiegelt werden. Wenn die spiegelnden Oberflächen fehlen, hilft es kaum, einen weiteren Mesh-Node zu installieren; das kann sogar kontraproduktiv sein, falls die Nodes zu nahe beieinander stehen. Auf Freiflächen sind Node-Abstände von 50 Metern und mehr sinnvoll; das Optimum finden Sie wiederum mit FritzWLAN.



**Der WLAN-Durchsatz ist eigentlich okay. Dennoch taugt die WLAN-Abdeckung an diesem Messort nicht viel, weil die Latenz extrem schwankt (grüne Linie). Hohe Schwankungen sind ein Beleg für eine niedrige Leitungsqualität.**

## Verstecktes Rüstzeug

Die Grenzen von FritzWLAN sind aber auch klar: Weil das Tool nur auf Smartphones läuft, liefert es nur ein Abbild von deren Leistung im Zusammenspiel mit der Fritzbox. Wenn man bewerten will, wie gut sich ein Standort für ein Notebook eignet, muss man genau damit messen und auch, wenn man den Durchsatz einer Ethernetleitung kennen möchte. Das zugehörige Werkzeug heißt iPerf und es liegt gut versteckt im Support-Menü der Fritzbox. Da es dürftig dokumentiert ist, gehen wir ausführlich darauf ein.

iPerf ist nützlich, weil man damit Netzwerkstrecken definiert messen kann. Um etwa zu prüfen, wie schnell ein bestimmtes Notebook, ein NAS, eine VM

**FritzWLAN sammelt im „Bericht“ viele wissenswerte Daten ein. Schön wäre es, wenn man sie alle an einen PC senden könnte.**



oder ein Raspi an die Fritzbox angebunden ist, installiert man iPerf auf dem Gerät und lässt es kurz laufen. Selbiges geht mit Servern im Internet, falls man iPerf darauf installiert. Admins können iPerf auch nutzen, um zu checken, wie schnell ein bestimmter Server und ein bestimmter Homeoffice-PC übers VPN miteinander kommunizieren.

## iPerf installieren

iPerf blickt auf eine noch längere Entwicklung zurück als die Fritzbox; die ältesten Spuren, die wir fanden, datieren vom Februar 2000 (ct.de/w8fm). Seitdem sind etliche Versionen erschienen und heute gibt es zwei voneinander unabhängige Hauptversionen 2.x und 3.x, die nicht interoperabel sind. AVM führt im

Support-Menü nicht auf, welches iPerf auf der Fritzbox eingerichtet ist, drum fragten wir und erhielten diese Antwort: „Die FRITZ!Box antwortet lediglich auf iPerf-Requests. Client-seitig kann also iperf 1.x oder iperf 2.x verwendet werden.“ Das erklärt, warum iPerf3 im Zusammenspiel mit Fritzboxen nicht funktioniert.

Der iPerf-Server der Fritzbox bleibt in Bereitschaft, bis man ihn per Mausklick deaktiviert, laut der Pressestelle von AVM sogar reboot-fest. Auf Laptops oder PCs mit Linux und macOS lässt sich iPerf 2.x einfach über die üblichen Paketmanager installieren (z. B. Debian: `sudo apt install iperf`, macOS MacPorts: `sudo port install iperf`, macOS Homebrew: `brew install iperf`). Windows-Nutzer können iPerf von der Webseite des Entwicklers als fertiges Binary beziehen (ct.de/w8fm).

Auf der Fritzbox aktiviert man iPerf am einfachsten im Support-Menü. Das finden Sie auf Ihrer Fritzbox über die Adresse `192.168.178.1/support.lua`, sofern Sie das Subnetz der Fritzbox nicht geändert haben. Andernfalls geben Sie die private IP-Adresse der Fritzbox ein, die im Menü Internet/Online-Monitor steht. Eine Fritzbox als Mesh-Repeater meldet dort beispielsweise „Eine bestehende Internetverbindung im Netzwerk wird mitbenutzt. IPv4-Adresse: 192.168.178.66“. Alternativ lässt sich iPerf per Kommandozeile per TR-064-Befehl starten (siehe ct.de/w8fm).

Anstatt der IP-Adresse der Fritzbox könnte man auch den Domainnamen „fritz.box“ in den Browser (und auch bei TR-064-Kommandos) eingeben. Es ist aber nicht sicher, dass man die Fritzbox so tatsächlich erreicht. Das klappt nämlich nur, wenn der Browser den Namen „fritz.box“ von der Fritzbox selbst zur IP-Adresse auflösen lässt; diese gibt die Box an den Browser zurück und er steuert dann ihren Webserver an. Manche Hersteller liefern ihre Browser aber neuerdings mit speziellen Einstellungen aus, die die DNS-Anfragen an einen externen DNS-Resolver schicken, der keine internen Domains von Heimnetzen kennt.

Wenn sich das Support-Menü öffnet, scrollen Sie dort hinunter zum Abschnitt Durchsatzmessungen. Die ersten Optionen sind für iPerf-Messungen im Heimnetz gedacht und darauf gehen wir zuerst ein. Klicken Sie dort beide iPerf-Optionen an, also „Messpunkt für einen Iperf-Client im Heimnetz aktivieren, Port 4711 für TCP und UDP“ und darunter die Option „Messpunkt für einen bidirektionalen Iperf-UDP-Test im Heimnetz aktivieren, Port 4712 für UDP“. Übernehmen Sie die Einstellungen.

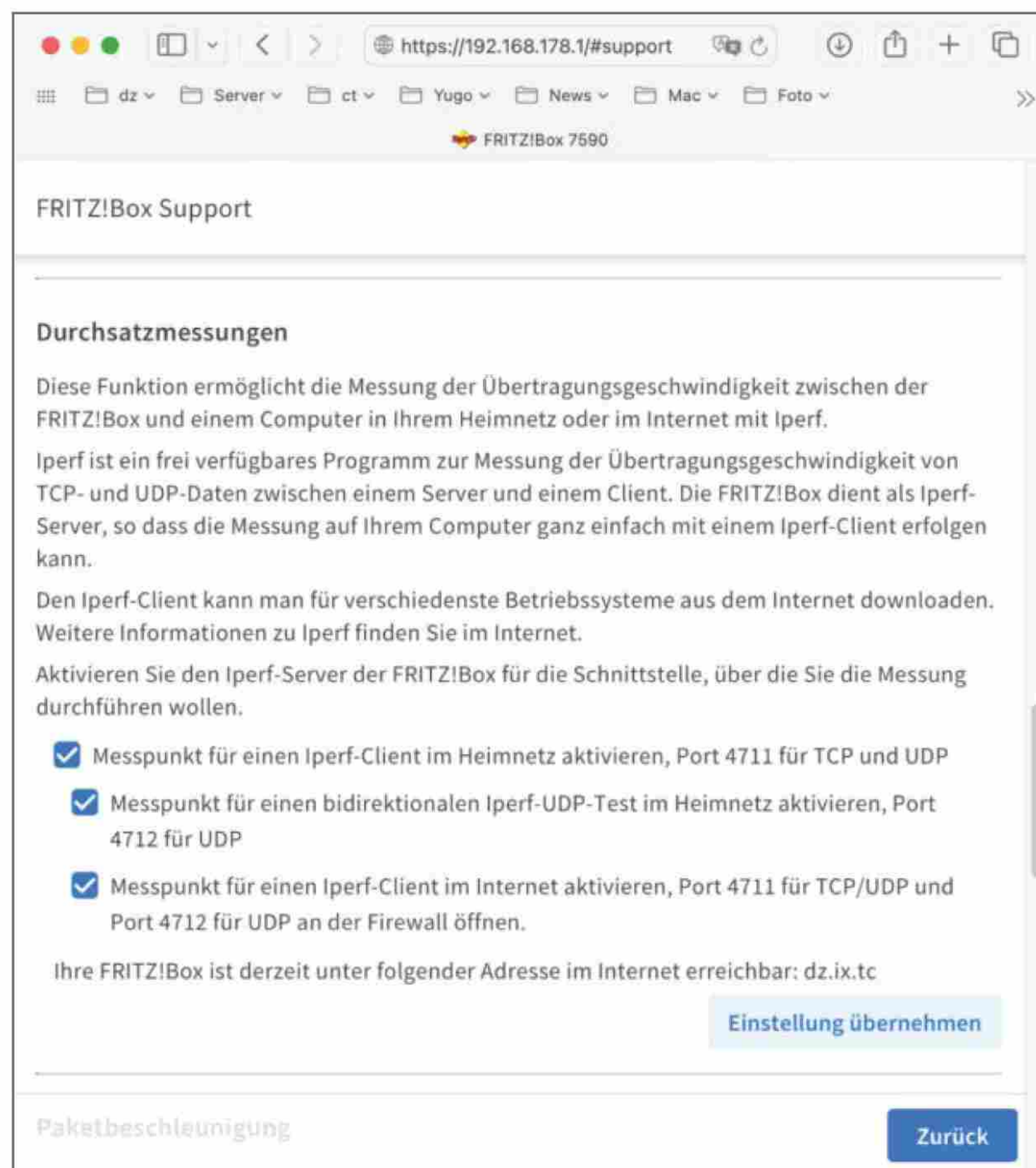
## Heimnetz-Messungen

Bevor Sie loslegen: Je nach Fragestellung setzt man iPerf mit unterschiedlichen Optionen ein. Um die maximale Datenrate einer Strecke zu ermitteln, lassen Sie iPerf mit dem User Datagram Protocol (UDP) auf die Fritzbox los. iPerf jagt dann so viele Pakete durch die Leitung, wie man ihm maximal gestattet (z. B. 1000 Mbit/s) und die Gegenstelle kann mitzählen, wie viel davon ankommt und neben dem Durchsatz auch die Paketverlustrate und Latenzschwankungen melden (Jitter).

Die meisten Internetanwendungen setzen aber auf das Transport Control Protocol auf (TCP), das eine Flusskontrolle und eine Fehlerkorrektur enthält. Deshalb sind neben UDP- oft auch TCP-Messungen sinnvoll. Beachten Sie aber, dass iPerf bei TCP-Dialogen keine Fehlerraten nennt. In üblichen Netz-

werken sind oft mehrere Messpunkte interessant, erst recht in einem Mesh. Daher empfiehlt es sich, vor dem Start eine Tabelle anzulegen und Punkt für Punkt zu prüfen.

Für Messungen im Heimnetz sollten Sie ausschließlich die private IP-Adresse der Fritzbox verwenden und die externe (auch WAN-IP-Adresse genannt) nur für Messungen mit Gegenstellen im Internet. Die Fritzbox reagiert bei Heimnetzmessungen zwar auf beiden Adressen, aber wenn Sie den Verkehr an die WAN-IP-Adresse schicken, dann muss die Box jedes Paket doppelt anfassen: Einmal, um es vom privaten Adressbereich (192.168.178.x) auf den öffentlichen umzuschreiben und einmal umgekehrt. Das kommt bei üblichem Heimnetzverkehr normalerweise nicht vor, kostet Zeit und belastet die Box unnötig, liefert also schwächere Werte als beim Verkehr allein mit privaten IP-Adressen.



The screenshot shows a web browser window with the URL `https://192.168.178.1/#support`. The page title is "FRITZ!Box Support". The main heading is "Durchsatzmessungen". The text explains that this function allows measuring the transmission speed between the FRITZ!Box and a computer in the home network or on the internet using iPerf. It states that iPerf is a free program for measuring the transmission speed of TCP and UDP data between a server and a client, and that the FRITZ!Box acts as the iPerf server. It provides instructions on how to activate the iPerf server for different operating systems and networks. Three checkboxes are checked, indicating that the user has selected the following options:

- Messpunkt für einen Iperf-Client im Heimnetz aktivieren, Port 4711 für TCP und UDP
- Messpunkt für einen bidirektionalen Iperf-UDP-Test im Heimnetz aktivieren, Port 4712 für UDP
- Messpunkt für einen Iperf-Client im Internet aktivieren, Port 4711 für TCP/UDP und Port 4712 für UDP an der Firewall öffnen.

Below the checkboxes, it states: "Ihre FRITZ!Box ist derzeit unter folgender Adresse im Internet erreichbar: dz.ix.tc". There is a button labeled "Einstellung übernehmen" and a "Zurück" button at the bottom right. The page also has a "Paketbeschleunigung" link at the bottom left.

**In Fritzboxen lässt sich ein iPerf-Server aktivieren, um allerlei WLAN- und Ethernets tests laufen zu lassen. Den zugehörigen Client bringen Sie in wenigen Minuten in Stellung.**



Zur Erinnerung: Für Messungen mit Internetgegentellen kann man die private IP-Adresse nicht verwenden. Falls Sie für Internetmessungen die WAN-IP-Adresse nicht jedes Mal neu auslesen möchten, können Sie stattdessen die optionale MyFritz-Adresse der Box nehmen; diese führt über das DNS immer zur jeweils aktuellen WAN-IP-Adresse.

Stellen Sie sicher, dass die Firewall Ihres PCs den UDP- und TCP-Verkehr auf Port 4711 und 4712 durchlässt. Öffnen Sie dann das Terminal und starten Sie probierhalber eine UDP-Messung:

```
iperf -c 192.168.178.1 -p 4711 -u -b  
1000m -t 240 -i 5
```

Die einzelnen Parameter bedeuten: -c: Client-IP-Adresse, -p: IP-Port, -u: User Datagram Protocol, -b: maximale Sendebitrate, -t: Dauer in Sekunden und -i: Intervall zwischen Durchsatzangaben in Sekunden. Die Sendebitrate stellt man auf die Geschwindigkeit ein, die eine Leitung rechnerisch maximal liefert – also etwa 1000m für eine Gigabit-Ethernet-Leitung. Am Schluss zeigt iPerf den Mittelwert über die gesamte Messdauer an, und zwar hier für den Upstream, da der PC sendet und die Fritzbox empfängt. Für die Messung der Gegenrichtung würde man die Option -R verwenden. Das hat im Test aber nicht funktioniert, vermutlich wegen veralteter iPerf-Implementierung der Fritzbox.

Den TCP-Durchsatz misst man, indem man die -u-Option und die Bitratenbegrenzung (-b) weglässt:

```
iperf -c 192.168.178.1 -p 4711 -t 60 -i 5
```

Außerdem bietet iPerf für viele weitere Testszenarien zusätzliche Parameter. Die wichtigsten, die man bei Netzwerkproblemen oder Leistungsmessungen ausprobieren sollte, lauten -d und -P. Mit -P sendet iPerf mehrere Datenströme (z. B. -P 5 für ebenso viele Datenströme). Das kann man nutzen, um die Kapazität für mehrere parallele Anwendungen zu ermitteln. Mit -d senden Fritzbox und PC gleichzeitig und iPerf meldet zusätzlich Jitter und Paketverlusten; nutzen Sie dafür den UDP-Port 4712. Damit lässt sich ermitteln, wie viel eine Strecke bei maximaler Auslastung hergibt und wie zuverlässig sie ist. Den Durchsatz der Fritzbox kann man dabei aber nur per TR-064 auslesen.

Wenn Sie Fritzboxen als Mesh-Nodes betreiben, können Sie deren Kapazität auf die gleiche Weise testen; die Aktivierung der darin eingebauten iPerf-Server läuft wie oben geschildert ab. Die private IP-Adresse einer Mesh-Fritzbox finden Sie im Menü Internet/Online-Monitor.

Internetmessungen funktionieren im Prinzip genauso wie Heimnetzmessungen. Wenn es Ihnen auf den Durchsatz zur Firma oder zum Institut ankommt, brauchen Sie zumindest Admin-Rechte für den zu messenden Rechner dort und für die Firmenfirewall, um den Verkehr auf den Ports 4711 und 4712 durchzulassen. Anstatt der wechselnden WAN-IP-Adresse nehmen Sie den konstanten MyFritz-Domainnamen Ihrer Fritzbox. (dz) **ct**

**iPerf-Download,  
Durchsätze WLAN**

[ct.de/w8fm](http://ct.de/w8fm)

## Online-Shopping ohne Probleme: c't hilft.

- ▶ Die wichtigsten Regeln für den Onlinekauf
- ▶ Schützen Sie sich vor Betrug
- ▶ Kaufprobleme lösen
- ▶ Käuferschutz richtig einsetzen
- ▶ Digital bezahlen
- ▶ Auch als Heft + digitale Ausgabe mit 29 % Rabatt

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Bundle Heft + PDF 19,90 €

Heft + PDF mit 29 % Rabatt

 [shop.heise.de/ct-sicher-einkaufen23](http://shop.heise.de/ct-sicher-einkaufen23)



# Zweites Leben für Sophos Firewalls

Alle paar Jahre schicken Firmen ihre Firewalls in Rente, weil Hersteller keine Updates mehr liefern. Doch das muss nicht ihr Ende sein: Wir zeigen am Beispiel dreier Sophos-Modelle, wie Sie gebrauchte Firewalls wieder in Lohn und Brot bringen und wofür die Hardware sich noch lohnt.

Von **Andrijan Möcker**

**D**es einen ausgemusterter Schrott kann den Gerätebestand des anderen aufmöbeln - das gilt auch für Netzwerkhardware. Seit Anbeginn des Internets rollt eine unaufhörliche Aufrüstungswelle um den Planeten und wer im Firmen-E-Schrott gräbt oder sich etwas Zeit fürs Recherchieren nimmt, entdeckt wahrscheinlich gebrauchte Geräte, die das eigene Netzwerk für 'nen schmalen Taler oder gar ohne Anschaffungskosten beschleunigen oder sinnvoll ergänzen.

Wir fanden zum Beispiel Firewalls des britischen Herstellers Sophos für vergleichsweise kleines Geld. Auch nach dem offiziellen Support-Ende sind sie interessant, weil der Hersteller häufig gewöhnliche x86-CPU's von Intel verbaut und die Geräte nicht mit BIOS-Besonderheiten gegen Einsatz fremder Software vernagelt. Dank USB- und Bildschirmanschlüssen ist es ein Kinderspiel, beliebige x86-kompatible Betriebssysteme zu installieren. Auf Hersteller-Updates ist man so nicht angewiesen; stattdessen

bedient man sich der vielen kostenfreien quelloffenen Routerbetriebssysteme wie OPNsense, pfSense oder OpenWrt. Sogar Sophos' kostenfreie „Sophos Home Firewall Edition“ läuft.

Diese Systeme kann man indes nicht mit Klickibunti-Oberflächen wie FritzOS vergleichen, sie erfordern einiges an Vorwissen. Attraktiv sind solche Geräte- und Softwarekombinationen also eher für ambitionierte Heim- oder Vereinsadministratoren, die bereits einiges an Netzwerkwissen mitbringen und ein komplexeres Netzwerk mit verschiedenen Segmenten aufbauen wollen.

Wir haben für diesen Artikel drei Sophos-Firewalls über Auktions- und Kleinanzeigenportale beschafft: SG310 Rev. 2, SG230 Rev. 2 und UTM 110/120 Rev. 5. Die SG-Modelle versorgt Sophos zwar noch mit Updates, sie sind jedoch in die Jahre gekommen und landen immer häufiger auf dem Gebrauchtmarkt. Das UTM-Gerät bekommt seit 2018 keine Updates mehr. Die Hardwareleistung haben wir mit gängigen Netzwerk-Benchmarks gemessen.

Aber versteifen Sie sich nicht auf die genannten Modelle, der Gebrauchtmarkt unterliegt starken Angebotsschwankungen. Zu den Baureihen SG, XG und UTM gehören diverse weitere, für Netzwerkbastler attraktive Geräte. Die Kleinanzeigen- und Auktionsportale sind voll davon und im Netz finden sich oft Erfahrungsberichte zur Nachnutzung.

## Sophos SG310 Rev. 2

Die SG310 Revision 2 ist zweifelsohne die potenteste Firewall unserer Auswahl und hat als Gebracht-



**Die Firewall Sophos SG310 Rev. 2 enthält außer zehn Gigabit-Ports auch zwei SFP+-Slots für Datenraten bis 10 Gbit/s. Damit taugt sie auch als Firewall- und Routingzentrale für Multigigabit-Netzwerke.**

exemplar 299 Euro gekostet: Im Gehäuse für den Einbau in 19-Zoll-Gestelle steckt ein Intel i3-6100 mit 12 GByte DDR4-ECC-RAM und einer 250-GByte-SATA-SSD. Der i3-6100 stammt aus Intels Skylake-Serie und kam 2015 auf den Markt. Er besitzt zwei Kerne inklusive Hyper-Threading.

Die Schnittstellenausstattung kann sich sehen lassen: Die SG310 hat neben acht RJ45-Gigabit-Ethernet-Ports noch zwei SFP-Slots (1 Gbit/s) und zwei SFP+-Slots (10 Gbit/s), etwa für Glasfaser-Transceiver oder Direct Attach Kabel. Zudem ist jeder Port ein individuelles Netzwerkinterface, das per PCIe an der CPU hängt. Die Interface-Chips sind ebenso von Intel, werden also betriebssystemseitig gut unterstützt.

Ergänzen kann man den Interface-Park über den von Sophos so getauften „Flexi-Port“, der rechts am Gehäuse angebracht ist. Dafür gibt es etwa Module mit QSFP- oder SFP+-Slots sowie RJ45-Gigabit-Ethernet-Ports. Zum Zeitpunkt des Artikels waren diese jedoch teuer: Manche Händler verlangten über 1000 Euro für ein Modul.

Peripherie findet an drei USB-Ports (3.2 Gen 1 mit 5 Gbit/s) Anschluss; zwei sitzen vorn, einer hinten. Suboptimal für den Einsatz als Firewall-Heimserver-Kombi ist, dass die SG310 nur einen SATA-Port auf dem Mainboard hat. Wer die fehlende RAID-Ausfallsicherheit verschmerzt, kann die SG310 natürlich trotzdem als Heimcloud einsetzen. Für Backups genügen die USB-Ports allemal.

Ein weiteres Schmankehl ist das Punktmatrix-LCD-Display auf der Vorderseite. Gesteuert wird es von einem weit verbreiteten Hitachi-Chip namens HD44780; je nach eingesetztem Betriebssystem beziehungsweise der Motivation zu eigenen Integrationen kann man die Anzeige etwa mit aktuellen Daten zur Systemauslastung füttern.

Das Netzteil der SG310 ist integriert und wird über eine C14-Kaltgerätebuchse bestromt. Die Kühlung der Elektronik übernehmen zwei Lüfter auf der Rückseite, die akustisch nicht wohnzimmer-tauglich sind.

## Sophos SG230 Rev. 2

Die SG230 Rev. 2 kann als kleine Schwester der SG310 gelten: Sie hat sechs Gigabit-Ports sowie zwei SFP-Slots, ist also mit der Werksausstattung auf Gigabit beschränkt und nur durch SFP+-Flexi-Module in die 10-Gigabit-Welt zu bringen.

Die CPU gehört zur selben Generation wie der Intel-Chip i3-6100: In der SG230 verrichtet ein Intel



**Die Firewall SG230 ist weniger üppig ausgestattet als die SG310, dafür aber oft günstiger und passt aber ebenfalls in ein 19-Zoll-Gestell.**

Pentium G4400 (2 × 3,3 GHz, 2 Threads) die Rechenarbeit. Ihm stehen 8 GByte DDR4-ECC-RAM und eine 120 GByte SATA-SSD zur Seite. Dazu gibts drei USB-3.1-Gen-1-Ports (5 Gbit/s).

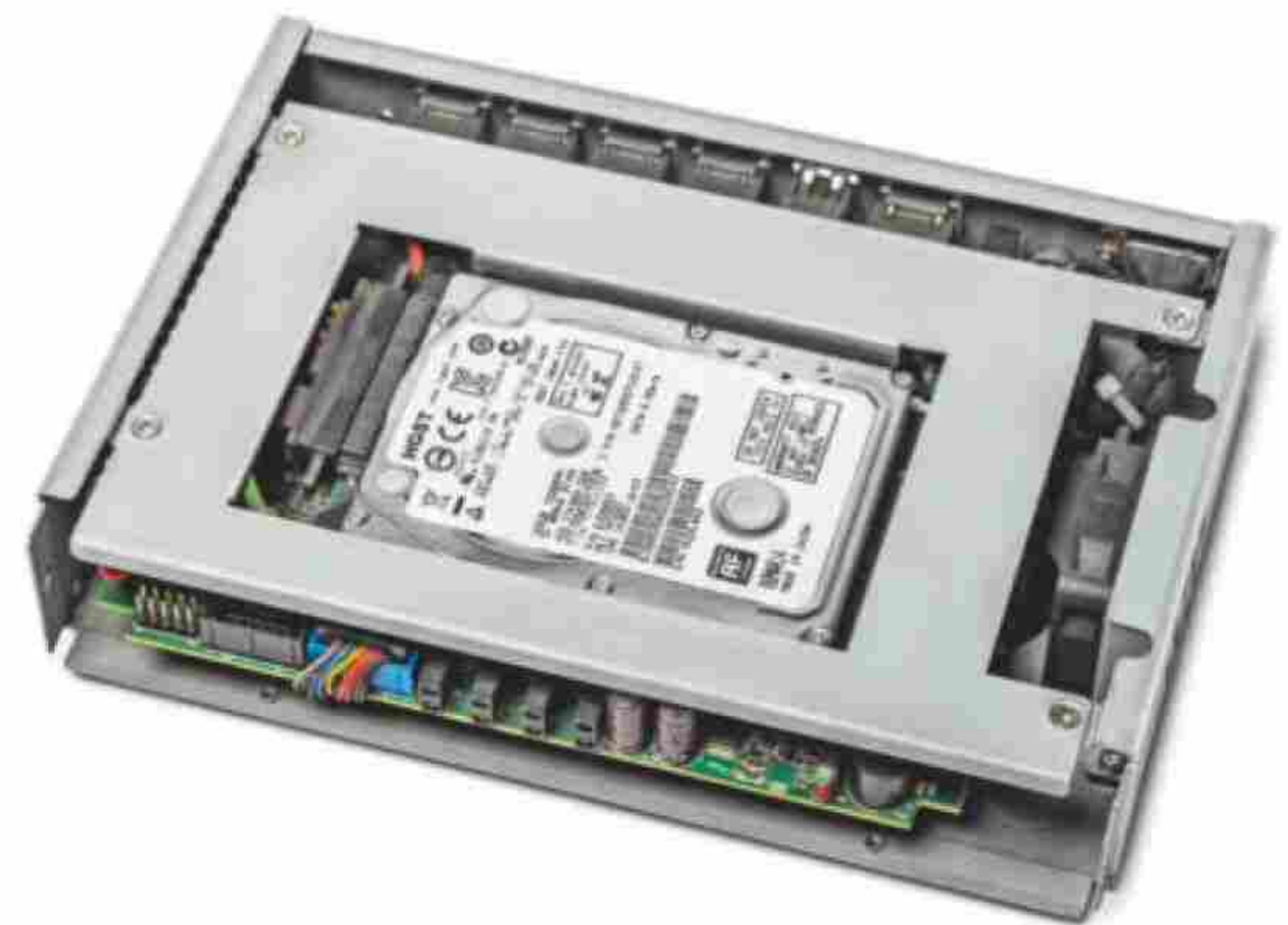
Wie die SG310 hat auch die SG230 ein Punktmatrix-LCD-Display auf der Vorderseite, ähnlich laute Lüfter und ein integriertes Netzteil mit C14-Kaltgerätebuchse. Auch sind bei der SG230 Erweiterungen des Massenspeichers schwierig, weil sie ebenfalls nur eine SATA-Buchse besitzt, an der bereits die System-SSD hängt.

Die Sophos SG230 hat uns rund 180 Euro gekostet.

## Sophos UTM 110/120 Rev. 5

Trotz vier dedizierter Gigabit-Ethernet-Schnittstellen hat die UTM 110/120 (Rev. 5) es eigentlich hinter sich: Der eingesetzte Intel Atom N450 wird heuer 14 Jahre alt und besitzt lediglich einen Kern (1,66 GHz) mit zwei Threads. Er ist nicht nur schwachbrüstig, ihm fehlt auch die Befehlssatzerweiterung AES-NI (Advanced Encryption Standard New Instructions) für schnelles Ver- und Entschlüsseln. Das wirkt sich etwa auf die Datenrate bei OpenVPN und IPsec-VPN aus.

Gepaart mit 2 GByte DDR2-Arbeitsspeicher und einer 320 GByte fassenden 2,5-Zoll-HDD ist diese Büchse definitiv kein Zugpferd mehr. Falls etwa geschenkt, kann man aber auch diesen Gaul reiten.



**Die UTM 110/120, hier mit geöffnetem Gehäuse, ist über zehn Jahre alt und enthält eine Festplatte. Geschenkt oder als Schrottfund eignet sie sich passabel als Experimentalrouter.**

Die Leistung spiegelt sich auch im vertretbaren Preis; wir haben für ein Gebrauchtexemplar 59 Euro ausgegeben.

Außer den beiden SATA-Anschlüssen, von denen mangels Platz nur einer genutzt werden kann, gibt es noch einen Compact-Flash-Slot auf der Platine sowie zwei USB-2.0-Buchsen (480 Mbit/s) auf der Rückseite. Die Spannungsversorgung der Firewall übernimmt ein externes Netzteil, die Kühlung ein kleiner, kaum hörbarer Lüfter. Für unsere Benchmarks haben wir der UTM 110/120 eine 120 GByte große SATA-SSD verpasst.

## Verwandlung

Wie eingangs erwähnt, hat Sophos seine Firewalls nicht vernagelt: Verbindet man einen Bildschirm – die SG230 und SG230 besitzen eine HDMI-Buchse, die UTM 110/120 immerhin VGA –, präsentiert sich beim Einschalten ein typischer BIOS Splash-Screen und die Taste F12 ruft ein Bootmenü auf.

Für unsere Versuche haben wir uns das quelloffene Routerbetriebssystem OpenWrt ausgesucht. Es basiert auf Linux und ist besonders leichtgewichtig, weil es eigentlich für leistungsschwächere CPUs mit reduziertem Befehlssatz (MIPS, ARM etc.) gedacht ist, wie sie in Routern typischerweise vorkommen.

Um das Betriebssystem ohne Schraubarbeiten auf die SSD zu bekommen, starteten wir auf den SG-Modellen ein Ubuntu vom USB-Stick, verbanden



**OpenWrt läuft problemlos auf den drei Firewalls. Da die Geräte mit x86-CPU's daher kommen, ist das System nur eine von vielen Optionen.**

ein LAN-Interface mit dem Internet und luden das 64-Bit-Abbild für EFI-Systeme aus dem x86-Target herunter (generic-ext4-combined-efi.img.gz, siehe [ct.de/wdeb](http://ct.de/wdeb)). Dafür muss die Datei noch entpackt werden. Klappt das nicht per Rechtsklick und „Entpacken“, erledigt man den Job auf der Kommandozeile. Dazu navigiert man die Konsole mit `cd Downloads/` an die passende Stelle und startet das Entpacken mit `gzip -dk <Dateiname>`. Um nicht den gesamten Dateinamen eintippen zu müssen, kann man nach `-dk` (Leerschritt) Tabulator drücken.

Im Laufwerke-Tool (Englisch „Disks“), das man über die Ubuntu-Programmsuche (Super- bzw. Windows-Taste) findet, kann man anschließend den Massen-

speicher beschreiben: Nachdem man die interne SSD ausgewählt hat, formatiert man diese über das Drei-Punkte-Menü oben rechts und stellt dann über dasselbe Menü das OpenWrt-Abbild wieder her. Anschließend ist OpenWrt bereit und nach einem Neustart landet man im Routerbetriebssystem.

Die UTM 110/120 versorgten wir über das ressourcenschonende Lubuntu mit dem Betriebssystem, um die alte Hardware nicht allzu sehr ins Schwitzen zu bringen. Da jedoch das Laufwerke-Tool minutenlang keine Reaktion beim Wiederherstellen zeigte, haben wir das Abbild kurzerhand mit dem Kommandozeilentool `dd` auf die SSD geschrieben. Dafür ermittelt man im Laufwerke-Tool den Pfad der SSD, etwa `/dev/sda`; er steht im Laufwerke-Tool unterhalb der Partitionsübersicht bei „Gerät“.

In der Kommandozeile lautet der Befehl dann `dd if=<OpenWrt-Image> of=/dev/sda bs=1M status=progress`, wobei `bs` die Blockgröße setzt und `status=progress` die Fortschrittsanzeige aktiviert.

Nach der Installation weist OpenWrt typischerweise `eth0` als LAN- und `eth1` als WAN-Schnittstelle zu. Um die benötigten Pakete herunterzuladen, muss man sich also mit einem Rechner via `eth0` verbinden und `eth1` an ein internetverbundenes Netzwerk stecken. Anschließend stellt man per SSH die Verbindung her: `ssh root@192.168.1.1`.

## Dateisystem aufpusten

Nach der Installation belegt das Dateisystem nicht den gesamten verfügbaren Speicher. Um den nutzbar zu machen, muss das Dateisystem also auf den restlichen Platz erweitert werden. Dafür stellen die Entwickler Tools und Skripte bereit, mit denen das leicht von Hand geht.

Die zum Expandieren erforderlichen Befehle beschreiben die Entwickler im OpenWrt-Wiki; den Eintrag haben wir unter [ct.de/wdeb](http://ct.de/wdeb) verlinkt. Das große Skript am Anfang überspringt man, denn alle nötigen Befehle stehen weiter unten auf der Seite. Zunächst muss man die `opkg`-Befehle in „Examples“ ausführen, dann die beiden Befehle in „Automated“ und zuletzt `sh /etc/uci-defaults/70-rootpt-resize`, um das Dateisystem auf die volle Speichergröße zu erweitern.

Der Prozess verlangt möglicherweise mehrere Neustarts. Sobald OpenWrt wieder sein typisches Terminal präsentiert und nicht neu startet, ist der Vorgang abgeschlossen. Den nun verfügbaren Speicherplatz kann man wahlweise in der Konsole mit dem Befehl `df -h` oder auf der OpenWrt-Statusseite einsehen.

## Netzwerkschnittstellen

Die Netzwerkschnittstellen unserer Exemplare hat OpenWrt anstandslos erkannt und bei allen den Interface-Verbindungsstatus in der Übersicht angezeigt (siehe Screenshot auf der vorigen Seite), mit Ausnahme der SFP-Slots der SG230. Weshalb das so ist, konnten wir bis Redaktionsschluss nicht klären. Die Ports arbeiteten jedoch ohne Auffälligkeiten. Verwirrung kam kurzzeitig bei der UTM 110/120 auf, da OpenWrt die Ports in umgekehrter Reihenfolge anzeigte.

Erfreulich ist außerdem, dass an den SFP- beziehungsweise SFP+-Slots alle testweise eingesetzten Glasfasermodule erkannt wurden und Daten ungehindert flossen. Getestet haben wir fünf Module von unter anderem Intel, FS und TP-Link.

Auch Zyxels GPON-SFP-Modul PMG3000-D20B, das wir direkt von der Telekom beschafft haben, wurde sowohl in den SFP- als auch den SFP+-Slots beider SG-Modelle erkannt. Wir haben das Modem zwar nicht für den GPON-Betrieb beim Anbieter registriert, konnten jedoch die Browser-Konfigurationsseite über die IP-Adresse 10.10.1.1 öffnen.

Das PMG3000 meldete eine GPON-Verbindung und da der Verbindungsaufbau mittels PPPoE über dasselbe Interface läuft, gehen wir davon aus, dass wir eine Internetverbindung herstellen könnten, wäre das Modem providerseitig freigeschaltet.

Inkompatibel zeigte sich beim Versuch nur das S+RJ10 von Mikrotik, ein SFP+-Modul mit RJ45- Buchse für Ethernet mit 1, 2,5, 5 und 10 Gbit/s.

## Benchmarks

Um herauszufinden, was die Firewalls unter OpenWrt leisten, haben wir die reine Verschlüsselungsleistung mit der OpenSSL-Bibliothek für die Chiffren AES256-CBC und ChaCha20-Poly1305 gemessen und die Netzwerkschnittstellen mit iPerf3 durchgepustet. Außerdem haben wir über WireGuard und OpenVPN Tunnel aufgebaut und diese ebenfalls mit iPerf3 gemessen. Dabei mussten die Firewalls neben der VPN-Arbeit auch Netzwerkadressübersetzung (NAT) leisten.

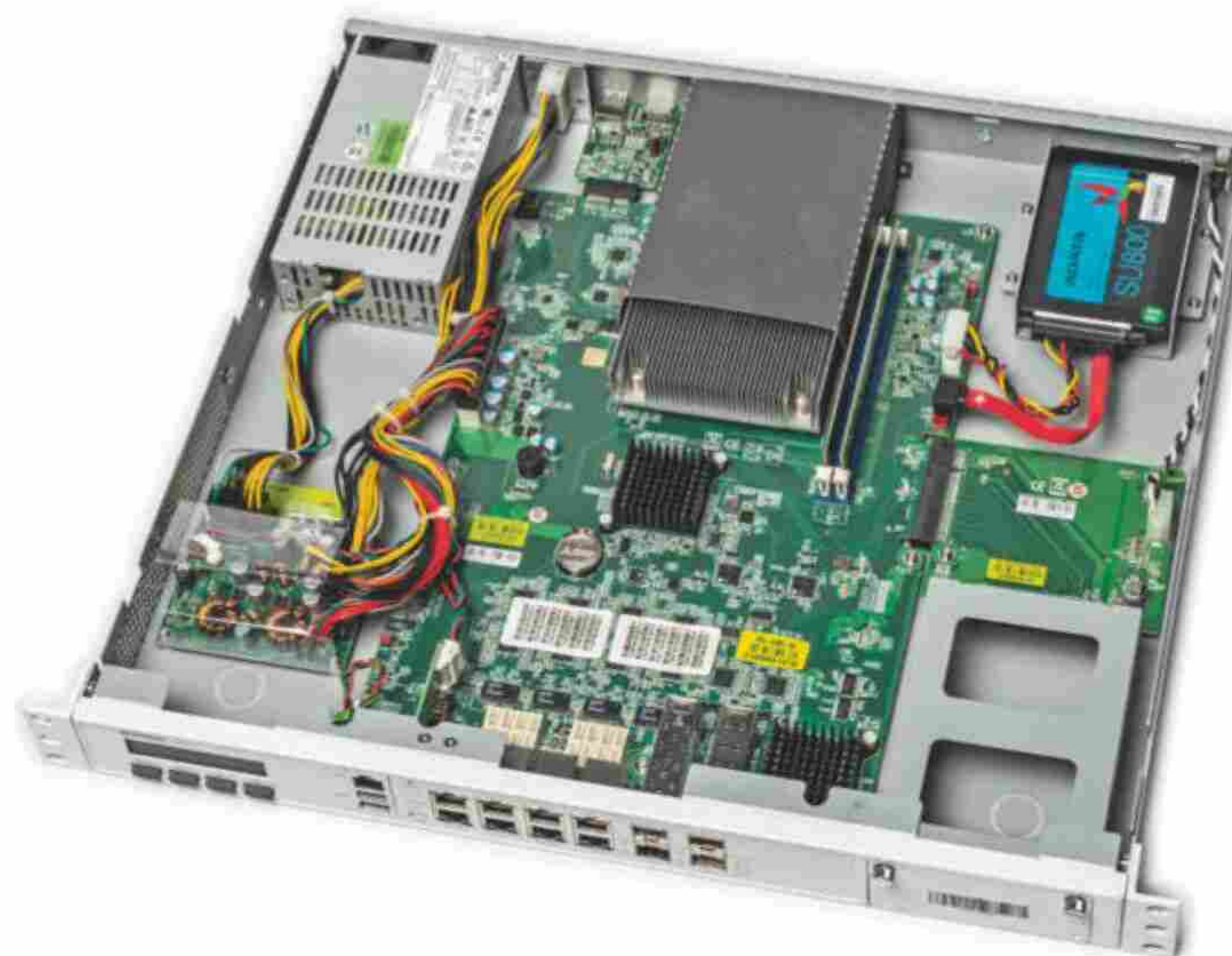
Die UTM 110/120 schlug sich dabei erwartungsgemäß schlecht: Der reine Datendurchsatz bei der Netzwerkadressübersetzung (NAT) lag bei rund 890 Mbit/s, allerdings mit einer hohen Anzahl an TCP-Retries. Es sind also Pakete verloren gegangen. AES256-CBC chiffrierte die CPU mit 156 Mbit/s; zwei Threads brachten wenig mehr (218 Mbit/s). Im OpenVPN-Einsatz kam die UTM auf nur 64 Mbit/s.

Beim OpenSSL-Test mit ChaCha20-Poly1305, der WireGuard-Standardchiffre, waren es immerhin 849 beziehungsweise 1226 Mbit/s, wovon im praktischen WireGuard-Betrieb 260 Mbit/s überblieben. Unter dieser Last verlangte die UTM 110/120 rund 30 Watt; ohne größere Aufgaben waren es auch noch 16,5 Watt.

Die SG230 ist deutlich rasanter: NAT-Verkehr beförderte sie mit der typischen Gigabit-Ethernet-Nettodatenrate von 940 Mbit/s; die CPU langweilte sich dabei. Dank AES-NI lautet das Ergebnis des AES256-CBC-Tests 7,2 Gbit/s, wovon OpenVPN rund 800 Mbit/s ausgeschöpft hat. Mit ChaCha20-Poly1305 erreichte der Intel Pentium G4400 bei 7,7 Gbit pro Sekunde seine Grenze. Praktisch schaffte er es auf rund 900 Mbit/s WireGuard-Durchsatz, was Gigabit-Ethernet abzüglich des Overheads entspricht.

Die großen Unterschiede zwischen den Crypto- und VPN-Ergebnissen entstehen, weil OpenSSL bei den Crypto-Benchmarks der CPU ausschließlich Datenpakete zur Verschlüsselung hinwirft, während die To-do-Liste im VPN-Betrieb unter anderem noch das Abholen von Paketen an den Netzwerkinterfaces, Routing und Netzwerkadressübersetzung umfasst. Das kostet Zeit.

Während unserer Benchmarks schlürfte die SG230 rund 50 Watt aus der Steckdose, danach nur noch 30 Watt.



**Beide SG-Modelle besitzen einen Flexi genannten Erweiterungseinschub, der augenscheinlich nur ein x8-PCIe-3.0-Slot ist – allerdings in Spezialausfertigung mit der männlichen Seite auf dem Mainboard.**

## Gebrauchte Sophos-Firewalls

Modell	UTM 110/120 Rev. 5	SG230 Rev. 2	SG310 Rev. 2
<b>Hardware</b>			
CPU / RAM	Intel Atom N450 / 2 GByte DDR2	Intel Pentium G4400 / 8 GByte DDR4	Intel Core i3-6100 / 12 GByte DDR4
Massenspeicher	320 GByte HDD	120 GByte SSD	250 GByte SSD
Ethernetports (RJ45)	4 × 1G	6 × 1G	8 × 1G
SFP / SFP+	– / –	2 / –	2 / 2
Bildschirmanschluss	VGA	HDMI	HDMI
Peripherie	2 × USB-A (480 Mbit/s)	3 × USB-A (5 Gbit/s)	3 × USB-A (5 Gbit/s)
Konsolenanschlüsse	RJ45 (RS-232)	RJ45 (RS-232), Micro-USB	RJ45 (RS-232), Micro-USB
<b>Benchmarks</b>			
IP-zu-IP-NAT	891 Mbit/s	940 Mbit/s	9400 Mbit/s
OpenSSL AES256-CBC <sup>1,2</sup>	156 Mbit/s	7200 Mbit/s	8000 Mbit/s
OpenSSL ChaCha20-Poly1305 <sup>2</sup>	849 Mbit/s	7700 Mbit/s	17.600 Mbit/s
OpenVPN (AES256-CBC)	64 Mbit/s	800 Mbit/s	792 Mbit/s
WireGuard	260 Mbit/s	901 Mbit/s	5500 Mbit/s
<b>Eigenschaften</b>			
Maße, Gewicht	21 cm × 4 cm × 14 cm, 1 kg	44 cm × 34 cm × 4 cm, 5 kg	44 cm × 40 cm × 4 cm, 6 kg
Leistungsaufnahme <sup>3</sup>	16 W	30 W	30 W
Preis <sup>4</sup>	20–150 €	80–300 €	200–800 €
<sup>1</sup> mit AES-NI, wenn verfügbar <sup>2</sup> mit einem Thread <sup>3</sup> ohne Last, zwei Ethernet-Ports verbunden <sup>4</sup> über IP-zu-IP-NAT <sup>5</sup> Preisspanne auf dem Gebrauchtmart bei Redaktionsschluss			

## 10-Gigabit-Marke

Um die SG310 über ihre SFP+ Slots zum Schwitzen zu bringen, haben wir daran unseren Testrechner über ein Direct Attach Cable angebunden und eine Messgegenstelle, einen Server, mittels Glasfaser. Im NAT-Test zeigte sich die Firewall unbeeindruckt von der 10-Gigabit-Verbindung und lieferte 9,4 Gbit/s, erreichte also das Limit.

Über OpenVPN lieferte die SG310 nur enttäuschende 792 Mbit/s, doch mit WireGuard waren rasant 5,5 Gbit/s zu verzeichnen. Das reine Chiffrieren erledigte der Intel i3-6100 der SG310 flott: 8 Gbit/s mit AES256-CBC, 17,6 Gbit/s mit ChaCha20-Poly1305.

Wie die SG230 verlangt die SG310 unter Last rund 50 Watt und ohne rund 30 Watt.

## Lohnt sich das?

Ob sich der Kauf der drei Geräte noch lohnt, können wir für das UTM-Modell schnell beantworten: Nein. Die UTM würden wir höchstens noch als geschenktes oder aus dem Schrott gefischtes Gerät empfehlen und für Experimente, Schulungszwecke oder Spielereien einsetzen.

Bei den SG-Modellen kommt es stark auf die Anwendung und den Preis an: Als Firewall-Router für

ein komplexeres Netz mit mehreren Zonen und VLANs daheim, im Verein oder auch in kleinen Unternehmen sind die Geräte ein guter Deal, wenn man weniger als 200 beziehungsweise 400 Euro dafür ausgibt. Diese Anzahl an integrierten Schnittstellen, insbesondere inklusive SFP und SFP+, gepaart mit einer SSD und Arbeitsspeicher, eingebaut in ein robustes 19-Zoll-Gehäuse, gibt es als Neeware noch immer nicht für kleines Geld.

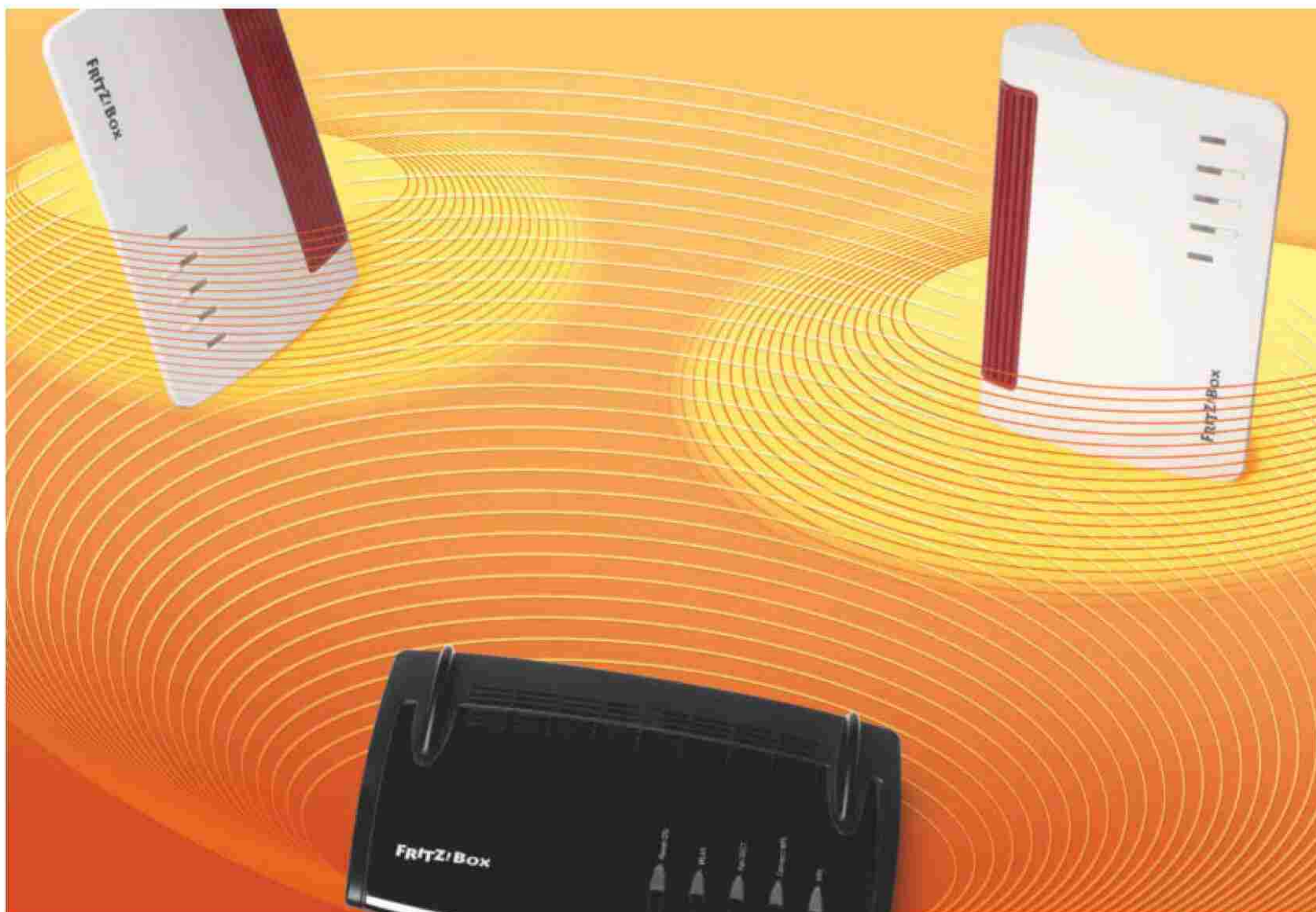
Nur der chinesische Hardwarehersteller Hunsn bietet derzeit 19-Zoll-Firewall-Barebones (ohne OS) in einem ähnlichen Preissegment. Das günstigste Gesamtpaket inklusive Intel Celeron 3855U und SFP im 19-Zoll-Gehäuse kostet aber sogar ohne SSD und RAM noch 433 Euro. Ein Blick ins Hunsn-Sortiment lohnt auch, wenn die Preise für gebrauchte Sophos-Firewalls ansteigen sollten: 1000 Euro für gebrauchte Hardware auszugeben ist unwirtschaftlich, wenn man fürs gleiche Geld Neeware mit mehr Rechenleistung bekommt. Spielt das 19-Zoll-Format keine Rolle, kommt man noch günstiger zum Ziel. Vom Einsatz der SG-Modelle als Heimserver raten wir ab, da macht etwa unser Bauvorschlag eine bessere Figur [1]. Für 400 Euro enthält er aktuelle Hardware und bietet Platz für Speichererweiterungen - anders als die hier vorgestellten Firewalls mit nur einem SATA-Port. (amo) **ct**

### Literatur

[1] Christof Windeck, AMDiener, Bauvorschlag für einen 17-Watt-Heimserver mit AMD Ryzen 4600G, c't 3/2024, S. 92 - E70

### Links zur OpenWrt-Doku

[ct.de/wdeb](https://wiki.openwrt.org/doc/ct.de/wdeb)



# Heimnetzgrenzen überwinden mit OpenWrt

Ob Netzwerkkamera, IP-Türsprechstelle, NAS oder Drucker: Es gibt einige Geräte, die man gut mit vertrauten Nachbarn teilen kann. Routing zwischen mehreren Heimnetzen oder auch nur Zugang zu einigen Geräten klappt mit einem OpenWrt-Router – so richten Sie die Netzbrücke ein.

Von **Andrijan Möcker**

**V**or Kurzem erreichte uns eine interessante Leserfrage: Wie kann man eine VoIP-Türsprechstelle mit zwei Klingeltastern zwei verschiedenen Parteien in einem Haus zuordnen, die beide separate Internetanschlüsse und Netze

verwenden? Die VoIP-Türsprechstelle kann sich zwar in mehrere SIP-Server einbuchen, und so ihre Signale an die spezifischen SIP-Server der beiden Parteien schicken, aber sie enthält nur einen Netzwerkanschluss.



Dafür gibt es mehrere Möglichkeiten, beispielsweise eine VPN-Kopplung, über die die Sprechstelle beide SIP-Server der beiden Parteien erreichen kann. Doch Gäste sollen nicht unbemerkt vor der Tür stehen, nur weil der Internetanschluss von Partei A, an dem die Türsprechstelle hängt, gerade eine DSL-Störung hat und das VPN ausgefallen ist. Ein Switch eignet sich auch kaum, weil dann die Netztrennung auf Layer 2 fehlt. Schließlich soll jeder noch seinen eigenen Internetanschluss nutzen.

Die Lösung des Problems ist ein zusätzlicher Nachbarschaftsrouter, der mehrere virtuelle Netze unterstützt und in beiden Heimnetzen eine eigene (LAN-)Schnittstelle mit jeweils einer IP-Adresse aus dem jeweiligen Netz besitzt. In diesen Bereichen verhält er sich wie ein Client. Das oder die gemeinsam genutzten Geräte platziert man in einem dritten Subnetz, in dem der Nachbarschaftsrouter auch IP-Adressen vergibt.

Ob die zwei Heimnetze auch untereinander kommunizieren können, ist nur eine Frage der Firewallkonfiguration. In diesem Artikel zeigen wir, was Sie für die Brücke zwischen den Netzen benötigen und wie Sie wahlweise ausschließlichen Zugriff auf die geteilten Geräte oder ungehindertes Routing zwischen den beiden Heimnetzen konfigurieren. Dafür benutzen wir das quelloffene Router-Betriebssystem OpenWrt, das komplexe Netzwerkaufbauten mit vielen unterstützten Routern.

Dieser Artikel setzt voraus, dass Sie ein grundlegendes Verständnis von IPv4-Adressen und Netzwerkkonfigurationen haben sowie Schulenglisch inklusive einiger IT-Vokabeln beherrschen.

## Voraussetzungen

Für Zuverlässigkeit und stabile Datenrate müssen die beiden Netze per Kabel zum Brückenrouter

The screenshot shows the OpenWrt web interface for a device named 'Zwischenrouter'. The navigation menu includes 'Status', 'System', 'Network', and 'Log out'. A 'REFRESHING' button is visible in the top right. The 'Interfaces' tab is selected, showing a list of three virtual interfaces:

Interface	Protocol	Uptime	MAC	RX	TX	IPv4	IPv6	Actions
lan	Static address	1h 2m 31s	38:10:D5:6B:6E:C0	845.87 KB (7733 Pkts.)	2.37 MB (7528 Pkts.)	192.168.21.1/24	fd4a:7194:8ddb::1/60	Restart Stop Edit Delete
Mueller	DHCP client	1h 1m 46s	38:10:D5:6B:6E:C0	2.94 MB (30444 Pkts.)	45.28 KB (411 Pkts.)	192.168.73.171/24		Restart Stop Edit Delete
Schmidt	DHCP client	1h 1m 43s	38:10:D5:6B:6E:C0	2.01 MB (11099 Pkts.)	481.66 KB (3838 Pkts.)	192.168.59.132/24		Restart Stop Edit Delete

**Der Nachbarschaftsrouter kommuniziert mit jedem Heimnetz über ein virtuelles Interface. Teilt man den beiden Heimnetzroutern die Route zur Brücke mit, können sich Geräte über die Heimnetzgrenzen hinweg erreichen.**

gelangen, beispielsweise in einem gemeinsamen Keller. Router mit zwei WLAN-Interfaces könnten sich zwar in das 2,4-GHz-WLAN des einen Routers und das 5-GHz-WLAN des anderen einbuchsen, durch automatische Kanalwechsel, Nachbarnetze und Wetterradar käme es aber regelmäßig zu Aussetzern. Falls Sie keine Netzkabel legen können, taugen je nach Länge bereits verlegte vieradrige Telefonleitungen für Fast-Ethernet. Die damit erreichten 100 MBit/s genügen vollauf für Anwendungen wie Netzwerkdrucker oder IP-Türsprechstellen. Wie Sie Netzkabel günstig verlegen oder eine alte Telefonleitung umfunktionieren, lesen Sie in [1, 2].

Damit Sie aus beiden Netzen auf gemeinsame Geräte und optional das jeweils benachbarte Heimnetz zugreifen können, muss man in den Heimnetzroutern statische Routen zum Nachbarnetz einrichten können. Damit teilt man einem Router, über welchen Netzwerknoten die Pakete für ein bestimmtes Subnetz zu verschicken sind.

Beispiel: Der erste Heimnetzrouter hat die IP-Adresse 192.168.175.1, der Brückenrouter in seinem Subnetz die 192.168.175.10 und das entfernte Subnetz ist 192.168.178.0. Dann lautet die Route 192.168.178.0/24 via 192.168.175.10. Die Geräte im 175er-Subnetz müssen davon nichts wissen: Trifft nach der Konfiguration ein Paket für das entfernte Heimnetz (etwa an .178.23) am Heimnetzrouter (.175.1) ein, schiebt dieser das Paket an den Brückenrouter (.175.10), der ein zweites Interface im entfernten Subnetz (etwa 178.10) hat. Lediglich der Router im entfernten Subnetz (.178.1) ebenso vom Brückenrouter (178.10) muss wissen, über welche Route er das andere Subnetz erreicht. So kommen dann auch die Antwortpakete jeweils an ihren Zielen an.

In (semi-)professionellen Routern gehört die Einstellung von statischen Routen zum Pflichtenheft; AVMs FritzOS beherrscht sie ebenso. Einfachen Heimroutern wie Speedports oder EasyBoxen fehlt die Funktion. Ob sie in Ihrem Gerät vorhanden ist, verrät die Anleitung des Geräts.

Wenn sich statische Routen auf beiden Seiten konfigurieren lassen, müssen Sie nur noch sicherstellen, dass diese unterschiedliche Subnetze benutzen, also wie oben im Beispiel 192.168.175.0 und 192.168.178.0.

## Hardware

Als Brückenrouter setzen wir in diesem Artikel die Fritzbox 7362 SL ein. Sie eignet sich für OpenWrt und besitzt je 128 MByte Massen- und Arbeitsspeicher,

was noch einige Jahre lang Platz für OpenWrt-Updates verspricht. Die Netzwerkanbindung läuft über zwei Gigabit- und zwei Fast-Ethernet-Ports. Das genügt, um zwei Heimnetze zu koppeln und noch weitere Hardware in einer Zwischenwelt zu betreiben. Der WLAN-Chip der Box spricht nur veraltetes Wi-Fi 4 auf 2,4 GHz; den lassen wir ohne schlechtes Gewissen brach liegen.

Wir nutzen die Fritzbox als Beispiel, weil sie sehr günstig ist: Auf Kleinanzeigenportalen zahlt man für die 7362 SL kaum mehr als 'n Appel und 'n Ei. Die Anleitung zur OpenWrt-Installation finden Sie wahlweise im OpenWrt-Wiki oder in unserem Artikel zu OpenWrt auf der 7362 SL [3]. Überspringen Sie aber die im Absatz „Netzwerk“ vorgeschlagenen Änderungen der Konfiguration.

Mit anderer OpenWRT-kompatibler Hardware funktioniert das ebenso. Die Installationsschritte können jedoch abweichen und erfordern möglicherweise weitere Recherche.

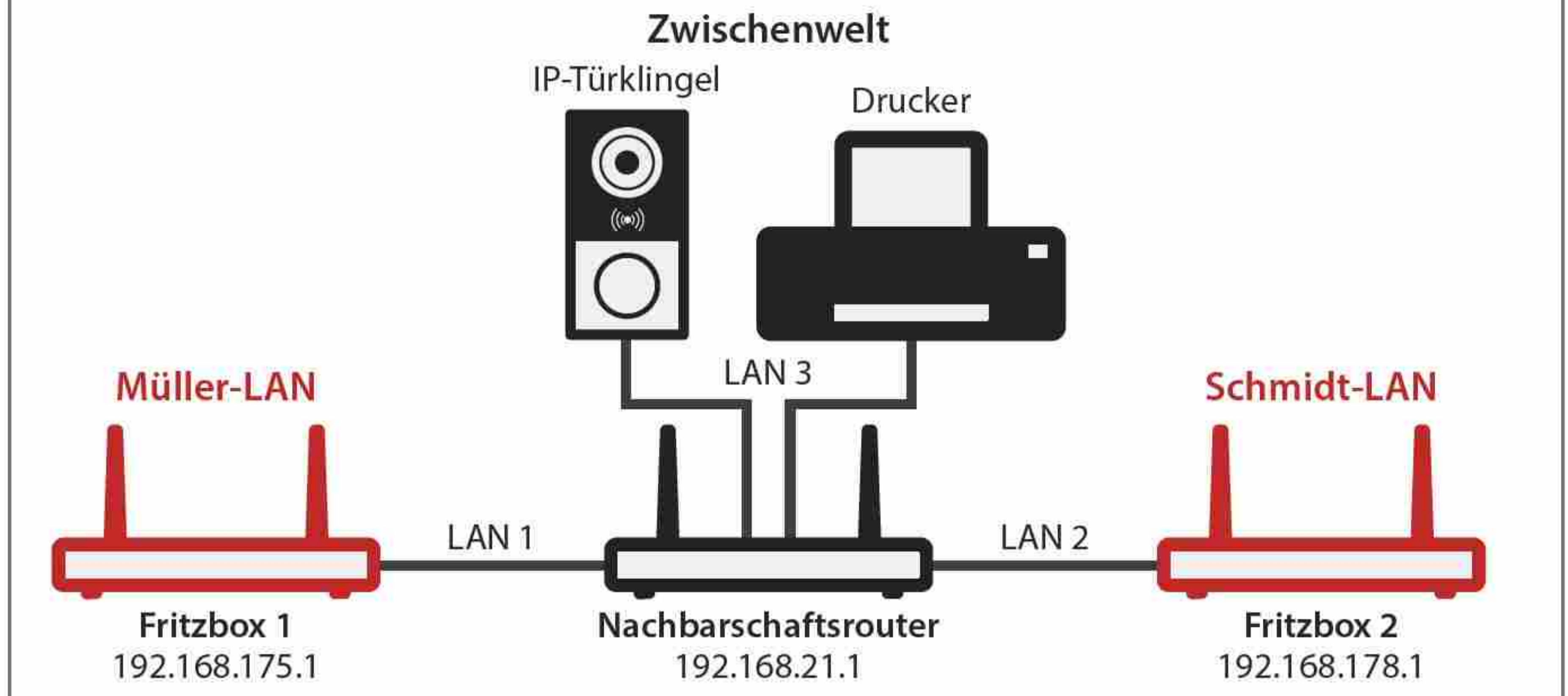
Wir setzen in der Grundeinrichtung bei einer frisch installierten OpenWrt-Box mit aktueller Version (23.05.2) an, die Sie bereits per Kabel mit Ihrem Rechner verbunden und im Webinterface (<http://192.168.1.1>) ein sicheres Administratorkennwort konfiguriert haben. Die beiden Heimnetze dürfen noch nicht angeschlossen werden.



**Die Fritzbox 7362 SL gibts gebraucht für 5 bis 20 Euro. Ersetzt man FritzOS durch OpenWrt, kann man mehrere virtuelle Interfaces anlegen und so zwei Heimnetze koppeln.**

## Nachbarschaftliches Routing

Der Nachbarschaftsrouter besitzt gesonderte Interfaces in beiden Heimnetzen und stellt die Zwischenwelt, in der Geräte für beide Heimnetze erreichbar sind, ohne dass eine Abhängigkeit zwischen beiden entsteht.



### Grundeinrichtung

Nur wenn sich die Subnetze der Nachbarn nicht überschneiden, klappt das Routing zwischen allen problemlos. Nutzen beide beispielsweise das Fritzbox-Standard-Subnetz 192.168.178.0/24, treten Adresskollisionen auf, weshalb man in den sauren Apfel beißen und eines der Subnetze umstellen muss, etwa auf 192.168.175.0. In FritzOS finden Sie die Einstellung unter Heimnetz/Netzwerk im Reiter Netzwerkeinstellungen/IPv4-Einstellungen. Ob und wie Sie das Subnetz anderer Router ändern können, erfahren Sie in den Anleitungen der Geräte.

Nach dem Ändern des Subnetzes trennen Sie alle Netzwerkgeräte kurz, damit diese eine IP-Adresse aus dem neuen Bereich beziehen. Solche mit festen Adressen müssen Sie neu konfigurieren.

Frisch installiert nutzt OpenWrt das Subnetz 192.168.1.0/24. Passt das nicht zur Heimnetzkonfiguration, öffnen Sie im OpenWrt-Webinterface die Interface-Übersicht (Network/Interfaces). Dort klicken Sie bei „br-lan“ auf „Edit“ und ändern die „IPv4 address“, zum Beispiel auf 192.168.21.1. Bestätigen Sie mit „Save“ und klicken Sie „Save & Apply“ am unteren Ende der Schnittstellenliste.

OpenWrt warnt dann, dass das Wechseln der IP-Adresse zum Verbindungsverlust führen kann, falls man sich vertippt und bietet an, im Fehlerfall auto-

matisch zurückzuschalten: „Apply with revert after connectivity loss“. Wenn Sie das Angebot annehmen, wartet der Router 90 Sekunden lang, dass Sie sich wieder mit dem Webinterface verbinden. Klappt das nicht, macht er die Änderungen rückgängig und sie finden ihn unter seiner vorherigen Adresse.

Um zu prüfen, ob die Änderung geklappt hat, trennen Sie die Verbindung kurz, beispielsweise, indem Sie das LAN-Kabel abziehen. Sobald die Verbindung wiederhergestellt ist, rufen Sie das Webinterface unter der neuen Adresse (in unserem Beispiel 192.168.21.1) wieder auf.

Um den Nachbarschaftsrouter gleich am Namen zu erkennen, ändern Sie den „Hostname“ in „System/System“. Sollte irgendwann einmal das Auslesen der Logs nötig sein, stiftet eine falsche Zeitzone möglicherweise Verwirrung; die korrekte „Timezone“ können Sie im selben Menü einstellen.

### Netzwerkinterfaces

In der Startkonfiguration sind in OpenWrt alle LAN-Ports einem virtuellen Brückeninterface zugewiesen. Damit Sie die Ports neuen Heimnetz-Interfaces zuweisen können, müssen Sie diese zunächst aus dem existierenden Brückeninterface entfernen. Wechseln Sie dazu unter Network/Interfaces in den Reiter „Devices“ und klicken Sie bei „br-lan“ auf „Configure“.

Im Ausklappmenü „Bridge Ports“ entfernen Sie die Haken bei allen Ports, die Sie zum Anschließen anderer Heimnetze brauchen. In diesem Beispiel nutzen Sie dafür die beiden Gigabit-Ports LAN 1 und 2, belassen also nur LAN 3 und 4 ausgewählt. Bestätigen und speichern Sie die Einstellungen und stecken Sie Ihren Rechner auf LAN 3 oder 4, sofern Sie über LAN 1 oder 2 verbunden waren. Über diese Ports ist das Webinterface vorerst nicht mehr erreichbar.

Jetzt können Sie das erste Heimnetz-Interface erstellen: Wechseln Sie in den Reiter „Interfaces“ und klicken Sie auf „Add new interface“. Vergeben Sie einen eindeutigen Namen wie „Schmidt“ und wählen Sie in „Device“ LAN 1 oder 2 aus.

Welches „Protocol“ Sie auswählen müssen, hängt davon ab, ob der jeweilige Router DHCP-Adressreservierungen anlegen, also einem Gerät immer dieselbe IP-Adresse zuweisen kann. Eine feste IP-Adresse am Nachbarschaftsrouter ist für statisches Routing erforderlich, andernfalls bekommt er mit Ablauf des DHCP-Leases unter Umständen eine neue Adresse und die Pakete erreichen ihn nicht. Unterstützt Ihr Router Adressreservierungen, wie bei Fritzboxen der Fall, machen Sie das Interface zum „DHCP client“. Fehlt sie, wählen Sie „Static address“, um die Adresse selbst festzulegen. Bestätigen Sie die Auswahl mit „Create interface“.

Haben Sie „DHCP client“ ausgewählt, müssen Sie im folgenden Fenster in „Firewall settings“ nur noch eine Zone zuweisen: Sollen die Geräte beider Heimnetze und der Zwischenwelt ungehindert miteinander kommunizieren, weisen Sie die Zone „lan“ zu. Andernfalls klicken Sie in das Feld „custom“ im Ausklappmenü, geben der Zone einen beliebigen Namen und bestätigen mit Enter. Sie kann heißen wie das Interface.

Müssen Sie die Adresse selbst zuweisen (Static address), verlangt das nächste Menü eine IP-Adresse aus dem jeweiligen Heimnetz, die Subnetzmaske und das Gateway: Um die IP-Adresse korrekt zu vergeben, schlagen Sie zunächst im jeweiligen Router den eingestellten DHCP-Adressbereich nach. Tragen Sie dann eine statische IP-Adresse außerhalb des DHCP-Bereichs ein, denn manche Router überwachen nicht, welche Adressen im Netz schon in Gebrauch sind, sodass Adresskollisionen auftreten können. Geht der DHCP-Bereich von .50 bis .200, dürfen Sie Adressen ab .201 händisch vergeben, in unserem Szenario beispielsweise 192.168.178.201.

Die Subnetzmaske lautet in Heimnetzen nahezu immer 255.255.255.0. Die Gateway-IP-Adresse ent-

spricht der Adresse des jeweiligen Routers, bei Fritzboxen in Werkseinstellung also 192.168.178.1.

Auch in diesem Fall stellen Sie im Reiter „Firewall configuration“ eine Zone ein, bestätigen die Einstellungen und übernehmen sie mit „Save & Apply“.

Wiederholen Sie den Vorgang für das zweite Heimnetz und dessen Adressbereich. Sind beide Interfaces bereit, stecken Sie die Netzkabel an die zugehörigen Ports; unter Status/Overview können Sie im „Port status“ beobachten, ob eine Verbindung zustande kommt. Sofern Sie Interfaces im DHCP-Modus konfiguriert haben, sollten Ihnen kurze Zeit später Adressen in der Liste angezeigt werden.

## Firewallkonfiguration

Sofern Sie beide Heimnetz-Interfaces in die Firewallzone „lan“ gelegt haben, müssen Sie nichts an der Firewallkonfiguration ändern. OpenWrt routet dann Pakete beliebig zwischen den beiden Heimnetzen und der Zwischenwelt hin und her. Auch das Webinterface ist aus allen Subnetzen erreichbar. In diesem Fall überspringen Sie den Text bis zu den statischen Routen.

Haben Sie beim Anlegen der Interfaces neue Zonen erstellt – wir haben sie „schmidt“ und „mueller“ genannt – müssen Sie diese jetzt mit Regeln versehen: Wechseln Sie in Network/Firewall und klicken Sie bei der ersten neuen Zone auf „Edit“. Erlauben Sie bei „Allow forward to/from destination zones“ jeweils die Zone „lan“. Wiederholen Sie den Vorgang für die zweite Zone.

Erlauben Sie auch in der Zone „lan“ die Weiterleitung von Paketen an die beiden neuen, sofern OpenWrt das nicht schon selbst erledigt hat. Diese Konfiguration lässt beide Netze auf die Zwischenwelt zugreifen und umgekehrt. Die Kommunikation zwischen den beiden Heimnetzen verhindert der Nachbarschaftsrouter.

Soll das OpenWrt-Webinterface für Konfigurationsänderungen aus beiden Heimnetzen erreichbar sein, legen Sie auch dafür zwei Regeln an: Wechseln Sie im Firewallmenü zur Registerkarte „Traffic Rules“ und klicken Sie unten auf „Add“. Vergeben Sie einen Namen für die Regel, etwa „HTTP-Mueller“, und setzen Sie die gleichnamige Zone als „Source Zone“; stellen Sie in „Protocol“ nur TCP an. Als „Destination Zone“ setzen Sie „Device (Input)“, der „Destination Port“ ist der HTTP-Port 80. Bauen Sie dieselbe Regel für die zweite Zone. Falls Sie einen verschlüsselten Zugriff bevorzugen, tragen Sie anstatt des HTTP-Ports 80 den HTTPS-Port 443 ein.

Zwischenrouter Status System Network Log out

General Settings Port Forwards Traffic Rules NAT Rules IP Sets

## Firewall - Zone Settings

The firewall creates zones over your network interfaces to control network traffic flow.

### General Settings

Enable SYN-flood protection

Drop invalid packets

Input reject

Output accept

Forward reject

### Routing/NAT Offloading

Experimental feature. Not fully compatible with QoS/SQM.

Software flow offloading

[Software based offloading for routing/NAT](#)

### Zones

Zone ⇒ Forwardings	Input	Output	Forward	Masquerading	
lan ⇒ wan schmidt mueller	accept	accept	accept	<input type="checkbox"/>	⋮ Edit Delete
wan ⇒ REJECT	reject	accept	reject	<input checked="" type="checkbox"/>	⋮ Edit Delete
schmidt ⇒ lan	reject	accept	reject	<input type="checkbox"/>	⋮ Edit Delete
mueller ⇒ lan	reject	accept	reject	<input type="checkbox"/>	⋮ Edit Delete

Add

**In OpenWrt ist die Firewall einsteigerfreundlich und schon ein paar einfache Einstellungen gewährleisten, dass die beiden Heimnetze getrennt bleiben.**

## Statische Routen

Die Konfiguration des OpenWrt-Nachbarschaftsrouters ist mit der Firewall einrichtung abgeschlossen und Sie können sich dem ersten Heimnetzrouter widmen, wofür Sie sich per LAN oder WLAN direkt mit dem Netz verbinden. Sofern Sie im OpenWrt-Router das jeweils zuständige Interface als DHCP-Client konfiguriert haben, müssen Sie zunächst die



Reservierung anlegen, damit immer die IP-Adresse zugewiesen wird.

Auf Fritzboxen erledigen Sie das, indem Sie die Übersicht unter Heimnetz/Netzwerk öffnen und den Nachbarschaftsrouten in der Geräteliste suchen; der Gerätenamen sollte der von Ihnen zuvor vergebene Hostname sein. Klicken Sie in der Zeile des Geräts auf den Stift, um das Gerätemenü zu öffnen. Im Ausklappmenü „Adressen im Heimnetz (IP-Adressen)“

Wenn Ihr Netzwerk aus mehreren Subnetzen besteht, die nicht direkt mit der FRITZ!Box verbunden sind, können Sie für diese statische IPv4-Routen in der FRITZ!Box einrichten.

#### Achtung!

Änderungen auf dieser Seite können dazu führen, dass die FRITZ!Box nicht mehr erreichbar ist. Beachten Sie unbedingt die Hilfe, bevor Sie Änderungen vornehmen.

Aktiv	Netzwerk ↕	Subnetzmaske ↕	Gateway ↕	
<input checked="" type="checkbox"/>	192.168.21.0	255.255.255.0	192.168.59.132	 

Neue IPv4-Route

**Statische Routen teilen dem Router mit, über welchen Netzwerkknoten sie bestimmte andere Subnetze erreichen. Im Beispiel sind die Einstellungen der Fritzbox zu sehen.**

haken Sie die Option „Diesem Netzwerkgerät immer die gleiche IPv4-Adresse zuweisen.“ an. Notieren Sie sich die zugewiesene IP-Adresse, Sie benötigen Sie gleich für die statische(n) Route(n).

## Fritzbox

Die Einstellungen für statische Routen finden Sie auf Fritzboxen ebenfalls im Netzwerk-Untermenü: Im Reiter „Netzwerkeinstellungen“ gibt es unter „weitere Einstellungen“ die Option „IPv4 Routen“; klicken Sie im Menü auf „Neue IPv4-Route“. Das „IPv4-Netzwerk“ ist das entfernte Subnetz, im Beispiel also die Zwischenwelt 192.168.21.0. Die Subnetzmaske lautet 255.255.255.0. Im Feld Gateway tragen Sie die IP-Adresse des Nachbarschaftsrouters ein; diese haben Sie bei der festen Zuweisung im OpenWrt-Interface festgelegt oder bei der Reservierung aus dem Webinterface abgelesen. Wiederholen Sie den Vorgang für das Nachbarsubnetz, wenn Sie dieses ebenfalls erreichen möchte. Gateway und Subnetzmaske bleiben gleich.


Sind die Routen angelegt, versuchen Sie im Browser das OpenWrt-Webinterface zu erreichen. Falls Sie keine Antwort bekommen, melden Sie sich wieder am OpenWrt-Router an und prüfen Sie die Firewallregeln. Klappt alles, begeben Sie sich zum anderen Heimnetzrouter und legen die Routen in umgekehrter Richtung an: Reservierung konfigurieren, IP-Adresse des Nachbarschaftsrouters (Gateway) im Heimnetz notieren und Routen für die entfernten Subnetze eintragen.

Nun sollten sich die Zwischenwelt und die Heimnetze untereinander erreichen können, sofern Sie das so konfiguriert haben. Klappt das nicht, kontrollieren Sie die Routen auf Tippfehler und die Firewall-einstellungen auf Zonenzuweisungen.

## Leben in der Zwischenwelt

Schieben die Router die Pakete erfolgreich von A nach B und C, können Sie an den beiden Ports des Nachbarschaftsrouters Geräte für die Zwischenwelt anschließen und konfigurieren.

Das sollten Sie mit Hardware, deren Funktion eine hohe Priorität für beide Parteien hat, auch dann machen, wenn Sie Routing zwischen beiden Heimnetzen erlauben. Befindet sich beispielsweise die IP-Türklingel in Heimnetz A, ist sie auf den Heimnetzrouter für das Routing in die anderen Netze angewiesen. Nur Geräte in der Zwischenwelt sind wirklich unabhängig erreichbar, selbst wenn einer der Internetzugänge beziehungsweise Router mal ausfällt. Sollten sich weitere gemeinsam genutzte Geräte ansammeln, koppeln Sie sie mit einem Switch an.

Zuletzt sollten Sie die Konfiguration unter System/Backup/Flash Firmware herunterladen (Generate archive) und speichern. Damit können Sie zur zuletzt funktionierenden Konfiguration zurückkehren. Das klappt auch mit Ersatzgeräten des gleichen Typs, sodass Sie Türklingel & Co. schnell wieder einsatzbereit machen können, sollte der vorherige Nachbarschaftsrouten etwa von einem Blitzschlag dahingerafft worden sein. (amo) 

## Literatur

[1] Andrijan Möcker, Alles Kabel!, Grundwissen Heimnetzverkabelung: Von Notlösung bis professionell, c't 26/2020, S. 132

[2] Andrijan Möcker, Sparverdrahtung, Günstige, schnelle Netzwerkverkabelung für Haus und Wohnung, c't 14/2023, S. 136

[3] Andrijan Möcker, Befreite Box, OpenWrt-Spartipp: Fritzbox 7362 SL, c't 21/2020, S. 146

## OpenWrt-Dokumentation

[ct.de/w8sj](https://wiki.openwrt.org/de/w8sj)

# Do **KI** Yourself!

Modelle anwenden und selbermachen



**Heft + PDF mit 29 % Rabatt**

Was muss man technisch über KI wissen? Damit beschäftigt sich dieses ix-Special und hat für jeden Wissensstand etwas im Gepäck. Erfahrene Entwickler finden Tipps zu fertigen KI-Modellen und Quellen von Trainingsdaten; Anfänger und Interessierte holt das Heft bei der Architektur von Sprachmodellen und der Funktionsweise von KI-Bildgeneratoren ab. Für alle dazwischen bietet das Special Informationen, um aktuell wirklich mitreden zu können:

- ▶ Was große KI-Modelle können: So funktionieren GPT-4, Bard, Stable Diffusion und Co.
- ▶ Mit PyTorch und scikit-learn in die KI-Entwicklung starten
- ▶ Mit LangChain KI-Agenten bauen und eigene Daten nutzen
- ▶ Neuronale Suche: Finden, was wirklich gemeint ist
- ▶ Aktuelle GPUs im Leistungsvergleich
- ▶ KI und Recht: Urheberrecht, DSGVO, Data Act und AI Act
- ▶ Auch als Angebots-Paket Heft + PDF + Buch "Natural Language Processing mit Transformern" erhältlich!

**Heft für 14,90 € • PDF für 14,90 € • Bundle Heft + PDF 20,90 €**



[shop.heise.de/ix-ki](https://shop.heise.de/ix-ki)

# Wie Wi-Fi 7 das WLAN beschleunigt

Bild: Albert Hulm

Wi-Fi 7 klopft nicht mehr an, es hat schon den Fuß in der Tür: Manche Edel-Smartphones und PC-Mainboards können bereits damit senden und seit Jahresanfang erscheinen immer mehr Basisstationen mit der aktuellen Technik. Wir zeigen, wie gut die Neulinge funken und was Wi-Fi 7 an Verbesserungen im Gepäck hat.

Von **Ernst Ahlers**



Wie Wi-Fi 7 das WLAN beschleunigt	48
Wi-Fi 7: Funktion und Auswahlkriterien	50
Wi-Fi-7-Basisstationen unter 200 Euro	60
Wi-Fi 7: Netgear Mesh-Kit Orbi RBE9735	66



**D**erzeit schäumt die WLAN-Welle wieder: Fast im Wochentakt kommen ohne große Ankündigung neue Produkte auf den Markt, die sich mit dem Prädikat „Wi-Fi 7“ schmücken. Der neue Standard soll die Spitzendatenrate verdoppeln, mit Protokolltricks zuverlässiger sowie mit weniger Verzögerung funken und das Frequenzspektrum effizienter nutzen als seine Vorgänger. Mit welchen Kniffen Wi-Fi 7 das alles umsetzt, beleuchtet der Artikel „Wi-Fi 7: Funktion und Auswahlkriterien“.

Damit diese Vorteile praktisch wirken können, braucht man neue Hardware auf beiden Seiten, also WLAN-Basen (Router, Access-Points) und Clients (Smartphones, Notebooks, PC-Adapter). Wie gut sich die ersten Produkte beider Kategorien miteinander verstehen, haben wir ausführlich in [1] untersucht.

## Durchsatz-Turbo

So viel sei vorweggenommen: Wi-Fi 7 legt die Latte ein gutes Stück höher. Doppelter Durchsatz gegenüber Wi-Fi 6E auf kurze Distanz bis knapp unter 3 Gbit/s ist oft möglich. Das entspricht 300 MByte/s und ist immerhin so schnell wie die derzeit flinksten Festplatten. Und auch über einige Meter Entfernung durch Wände gibt es mehr Schub.

Manche Clients verstehen sich noch nicht mit allen Basen perfekt, wie einzelne Ausreißer bei unseren Messungen zeigen. Diese Reibereien sollen in den nächsten Wochen mit Firmware-Updates ausgebessert werden; auch die Treiber für die Clients werden gewiss noch einige Versionsschritte tun.

Dabei ist die neue WLAN-Generation in bewährter Tradition rückwärtskompatibel zu Vorgängern. Die IEEE-Norm 802.11be als Grundlage von Wi-Fi 7 fordert das bis Wi-Fi 4 (802.11n). Eine Wi-Fi-7-Basisstation bedient also ältere Clients und Wi-Fi-7-Geräte funken auch mit älteren Basen, beides dann auf dem besten gemeinsamen Niveau. Wie hoch das liegt, haben wir ausgemessen und dabei keine Aussetzer erlebt [1]. Man darf also unbesorgt mischen und muss nicht gleich alle WLAN-Geräte in Büro oder Haushalt erneuern.

## Wozu ists gut?

Wer mit dem WLAN nur einen vergleichsweise langsamen Internetzugang der 50-MBit/s-Klasse im Haus weiterverteilen will, der kommt mit dem noch aktuellen Wi-Fi 6 auch die nächsten Jahre gut aus. Mit ein, zwei Repeatern oder Mesh-WLAN-Knoten an strategisch gewählten Stellen sind dann auch dunkle

WLAN-Generationen				
IEEE 802.	Wi-Fi	MIMO-Streams	max. Linkrate	typisch netto <sup>1</sup>
11	–	1	2 Mbit/s	0,5–1 Mbit/s
11b	–	1	11 Mbit/s	1–5 Mbit/s
11g / 11a	–	1	54 MBit/s	2–25 Mbit/s
11n	4	1 bis 4	0,6 Gbit/s	0,04–0,15 Gbit/s
11ac	5	1 bis 8	3,5 Gbit/s	0,24–1,1 Gbit/s
11ax	6	1 bis 8	9,6 Gbit/s	0,3–1,6 Gbit/s
11be	7	1 bis 8	23 Gbit/s	0,3–8,0 Gbit/s

<sup>1</sup> variiert mit der Hardwareausstattung der Geräte (Antennenzahl), dem Funkband, der Signalbreite und der Entfernung

Ecken brauchbar ausgeleuchtet. Vielerorts gibt es aber schon weit schnellere Internetanschlüsse, die bis zu 1000 Mbit/s entsprechend 1 Gbit/s liefern können und auch gebucht werden.

Manchmal soll das WLAN im Heimnetz als Ersatz für Gigabit-Ethernet dienen, weil man keine Kabel quer durchs Zimmer legen will. Wer dann große Downloads verzögerungsfrei herunterladen oder riesige Dateien wie 4K-Videos und VM-Images möglichst zügig übers WLAN auf den lokalen Netzwerkspeicher (NAS) schieben möchte, sollte Wi-Fi 7 ins Auge fassen.

## Wi-Fi 7 praktisch

Wie seine Vorgänger kann Wi-Fi 7 die Physik aber nicht umgehen. Es liefert seine maximale Nettodatenrate nur bei sehr guten Funkverbindungen, also typischerweise ohne störende WLAN-Nachbarn und im selben Zimmer oder höchstens eine Wand entfernt. Größere Wohnungen oder Büros brauchen mehr als eine Basis, wenn das WLAN überall rasant sein soll. Dabei muss die restliche Infrastruktur mitspielen, also das stationäre Geräte verknüpfende Ethernet-Kabelnetz mindestens 2,5 Gbit/s transportieren (siehe Artikel „Switches für schnelles Ethernet“, [2, 3]).

Ob einzeln oder im Verbund: Die neue Wi-Fi-7-Funktion MLO (Multi-Link Operation) sorgt mit dynamisch gewählten, bisweilen sogar gleichzeitig genutzten Frequenzbändern dafür, dass das neue WLAN im Mittel mehr Durchsatz erzielt und schneller reagiert (siehe Artikel „Wi-Fi 7: Funktion und Auswahlkriterien“). Davon profitieren auch alle, die weder ihr LAN aufrüsten noch mehrere Basen installieren wollen. Immerhin schaffte Wi-Fi 7 in unserem Test über 20 Meter durch Wände schon mehr als 700 Mbit/s. Ein Gigabit-Internetanschluss ist damit auch im übernächsten Zimmer fast ausgeschöpft. (ea) **ct**

## Literatur

[1] Ernst Ahlers, Schnellstarter, Vier Wi-Fi-7-Basen mit drei Clients getestet, c't 4/2024, S. 50

[2] Andrijan Möcker, Bitautobahn, Hardware fürs Multigigabit-LAN, c't 16/2020, S. 56

[3] Ernst Ahlers, FAQ: Schnelles Ethernet, c't 29/2023, S. 164



Bild: Albert Hulm

# Wi-Fi 7: Funktion und Auswahlkriterien

Wi-Fi 7 verspricht eine Fülle von intelligenten Verbesserungen und Optionen: Hersteller können damit Geräte besser als bisher auf Anwendungen und Zielgruppen zuschneiden. Hier erfahren Sie, warum Wi-Fi 7 neue Leistungsklassen einführt und was deren wichtigsten Fertigkeiten sind.

Von **Guido R. Hiertz** und **Sebastian Max**

**B**evor es um die raffinierten technischen Neuerungen in Wi-Fi 7 geht, blicken wir kurz darauf zurück, was unter Entwicklern bei der Normung der neuen WLAN-Technik vor sich ging. Den Großteil der WLAN-Normen definieren sie unter dem

Dach der IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) und die Grundlage für Wi-Fi 7 bildet die Norm 802.11be. Manche Sitzung läuft hitzig, manche Vorschläge werden wegdiskutiert, landen aber später leicht verändert wieder auf dem Tisch und werden

umgesetzt oder definitiv geschreddert. Das illustriert gut, dass sich Interessen, Machbarkeitseinschätzungen und der Forschungsstand fließend ändern.

Es begab sich also im Mai 2018, dass einige Mitarbeiter der Unternehmen Intel und Qualcomm den Rest der Arbeitsgruppe mit dem Vorschlag überrumpelten, die Arbeit am Nachfolger der IEEE-Norm 802.11ax aufzunehmen (siehe [ct.de/whma](http://ct.de/whma)). 802.11ax bildet die Grundlage für das heutige Wi-Fi 6, war damals aber noch lückenhaft. Viele Teilnehmer wollten daher lieber erstmal 802.11ax komplettieren. Auch störten sich manche daran, dass der Nachfolger nur auf mehr Spitzendurchsatz abzielen sollte.

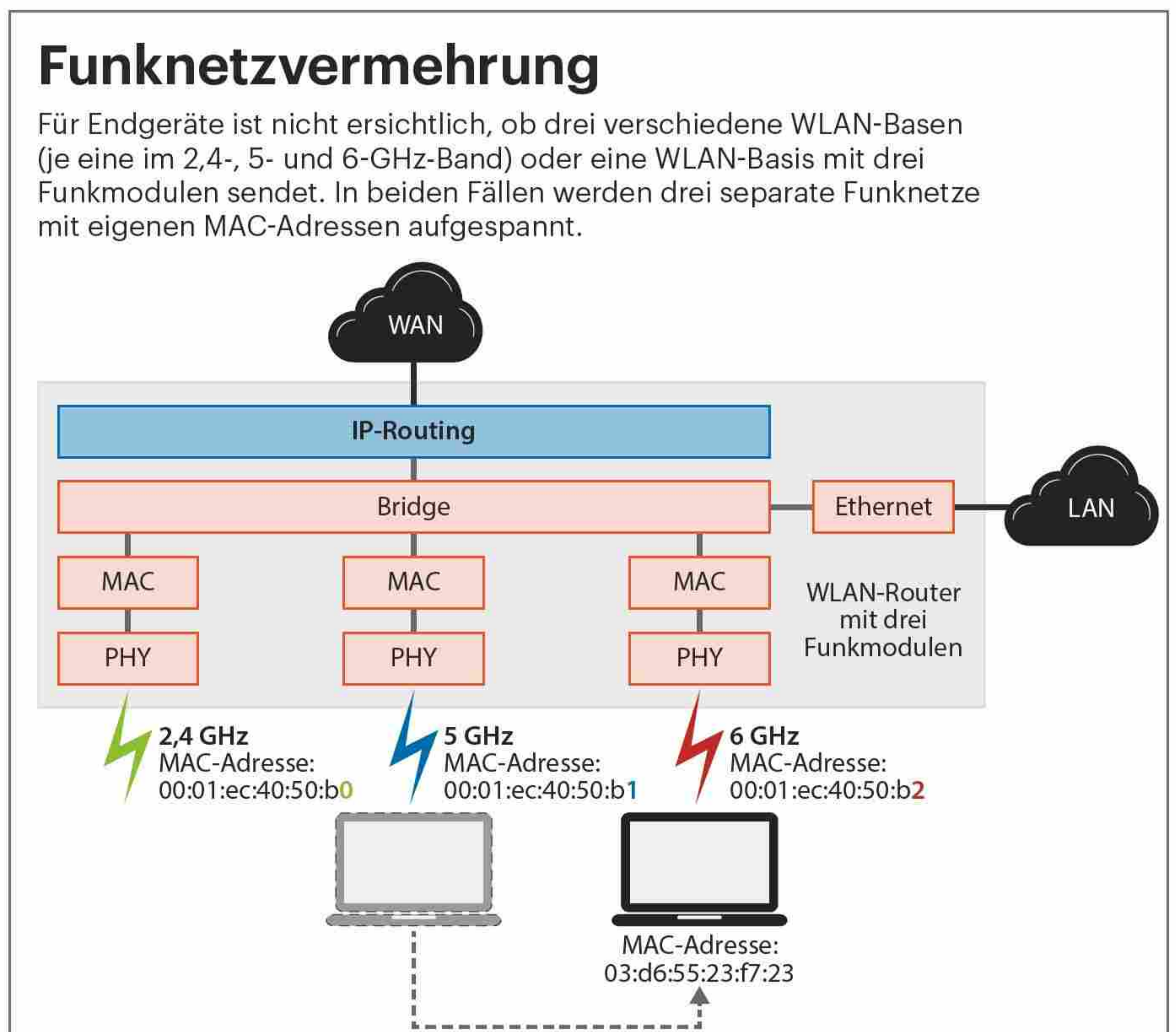
Aber letztlich fanden Befürworter und Gegner einen Kompromiss, weshalb auch Verbesserungen abseits höherer Spitzenraten einfließen. Die neue Norm reihte sich unter dem Kürzel 802.11be ein, erhielt den Projektnamen Extremely High Throughput (EHT) und bekam rund sechs Jahre Reifezeit. Die IEEE will die Norm 802.11be zwar erst im Laufe dieses Jahres verabschieden, aber Fachleute rechnen mit keinen substantziellen Änderungen mehr. Des-

halb stellte der Industrieverband Wi-Fi Alliance (WFA) Anfang Januar auf Grundlage des aktuellen Stands ein zugehöriges Zertifizierungsprogramm unter dem Namen Wi-Fi 7 vor.

Im ersten Vorschlag von 2018 sollten es noch drei Verbesserungen sein, die bei 802.11be den „extremen Durchsatz“ bringen: Verdoppelung der maximalen Kanalbandbreite auf 320 MHz, Verdoppelung der räumlichen Datenströme (MIMO) auf 16 und simultane Nutzung von mehreren Funkkanälen. Das anschließende Diskussionsgewitter überlebte die Verdoppelung der MIMO-Ströme nicht; sie gilt aber als Kandidat für die nächste Norm.

## Extremer Durchsatz

Der „extreme Durchsatz“ durfte hingegen von der Idee zur Umsetzung reifen. Dabei profitiert die Durchsatzverbesserung von den Grundlagen, die die IEEE schon für Wi-Fi 6 gelegt hatte (802.11ax). Die Entwickler legten den Fokus auf effizientere Nutzung der Funkbänder und führten dafür zusätz-



## 4K QAM

Von WLAN über LTE bis hin zu DVB verwenden heutige Funksysteme zur Datenübertragung fast immer das Orthogonal Frequency-division Multiplexing (OFDM – nicht zu verwechseln mit OFDMA, dem davon abgeleiteten Kanalzugriffsverfahren). OFDM überträgt viele Funksignale gleichzeitig und zwar jedes auf einer eigenen Frequenz (Unterträger).

Um einzelne Bits zu übertragen, definieren Nachrichtentechniker bestimmte Merkmale der Funkwelle als 0 oder 1 und prägen diese auf eine Sinuswelle auf (Modulation). Bei OFDM wird jeder Unterträger separat moduliert und trägt einen Teil des gesamten Datenstroms.

Zum Aufprägen der Bits auf die Welle verwendet OFDM die Quadratur-Amplitudenmodulation. Dabei werden Bit-Gruppen durch die verschiedenen Phasen- und Amplitudenzustände dargestellt. In der einfachsten QAM-Variante sind 2 Bit durch 4 Phasen- und Amplitudenzustände definiert. Die Komplexität nimmt mit dem Quadrat zu – also 16 QAM, 64 QAM und so weiter. Dabei gilt: Je höher die Komplexität, desto mehr Bits werden in derselben Zeit übertragen. Aber je mehr Bits, desto enger liegen die Zustände beieinander, sodass kleinste Störungen zu Zustandsverschiebungen und also Übertragungsfehlern führen. Das kann man mit Sendewiederholungen ausbügeln, aber nur auf Kosten der Effizienz. Deshalb liegt in Wi-Fi 7 die Obergrenze derzeit bei 4096-QAM.

Diese Maßnahme kann man als erforderliche Aufräumaktion sehen; mit dieser Grundlage ließ sich bei Wi-Fi 7 wieder besser an der Durchsatzschraube drehen. So nimmt die Spitzendatenrate von 9,6 Gbit/s bei Wi-Fi 6 auf rund 23 Gbit/s bei Wi-Fi 7 zu. Dafür verdoppelt die IEEE, wie von Anfang an geplant, die maximale Funkkanalbreite auf 320 MHz und verdichtet zusätzlich die Funksignale: Bei ausreichend hoher Kanalqualität schalten Wi-Fi-7-Geräte eine noch höherwertige Modulation als bisher ein und übertragen so pro Symbol 12 Bit (4096-QAM, kurz 4K QAM). Bei Wi-Fi 6 sind es bestenfalls 10 Bit/Symbol (1024-QAM).

Das klingt schön, aber man wird davon nur in wenigen Szenarien profitieren: Die Funkregulierung in Europa gewährt WLAN einen einzigen überlappungsfreien 320 MHz breiten Kanal, und zwar im 6-GHz-Band. So können benachbarte WLANs einander nicht ausweichen, wenn sie alle 320 MHz belegen. Dann kommt es zu gegenseitigen Signalüberlagerungen und -auslöschungen (Interferenz), was den Durchsatz mindert. Das schränkt den Nutzwert besonders für größere Installationen ein, etwa in Firmen oder Instituten.

Außerdem muss man bei 320 MHz mit reduzierter Reichweite gegenüber 160 oder 80 MHz rechnen. Das hat zwei Gründe: Die Funkmodule schöpfen die vom Funkregulierer gesetzte Sendeleistungsgrenze unabhängig von der Kanalbreite komplett aus und je breiter der Kanal, desto weniger Leistung steht pro Megahertz zur Verfügung. Auch nimmt mit der Kanalbreite das Eigenrauschen der Empfänger zu, verschlechtert also den Signal-Rauschabstand.

Rein rechnerisch erhöht 4K QAM die Effizienz gegenüber Wi-Fi 6 um 20 Prozent. Multipliziert mit der doppelten Kanalbreite ergibt sich die beworbene Steigerung um 240 Prozent. 4K QAM setzt aber Empfangsverhältnisse voraus, die man nur in nächster Nähe der Basisstation findet – und wie eben erläutert, schmälert der 320 MHz breite Kanal diesen Bereich. Deshalb wird diese Neuerung im Alltag wenig relevant sein. Die Messwerte der ersten Wi-Fi-7-Generation stützen diese These [1].

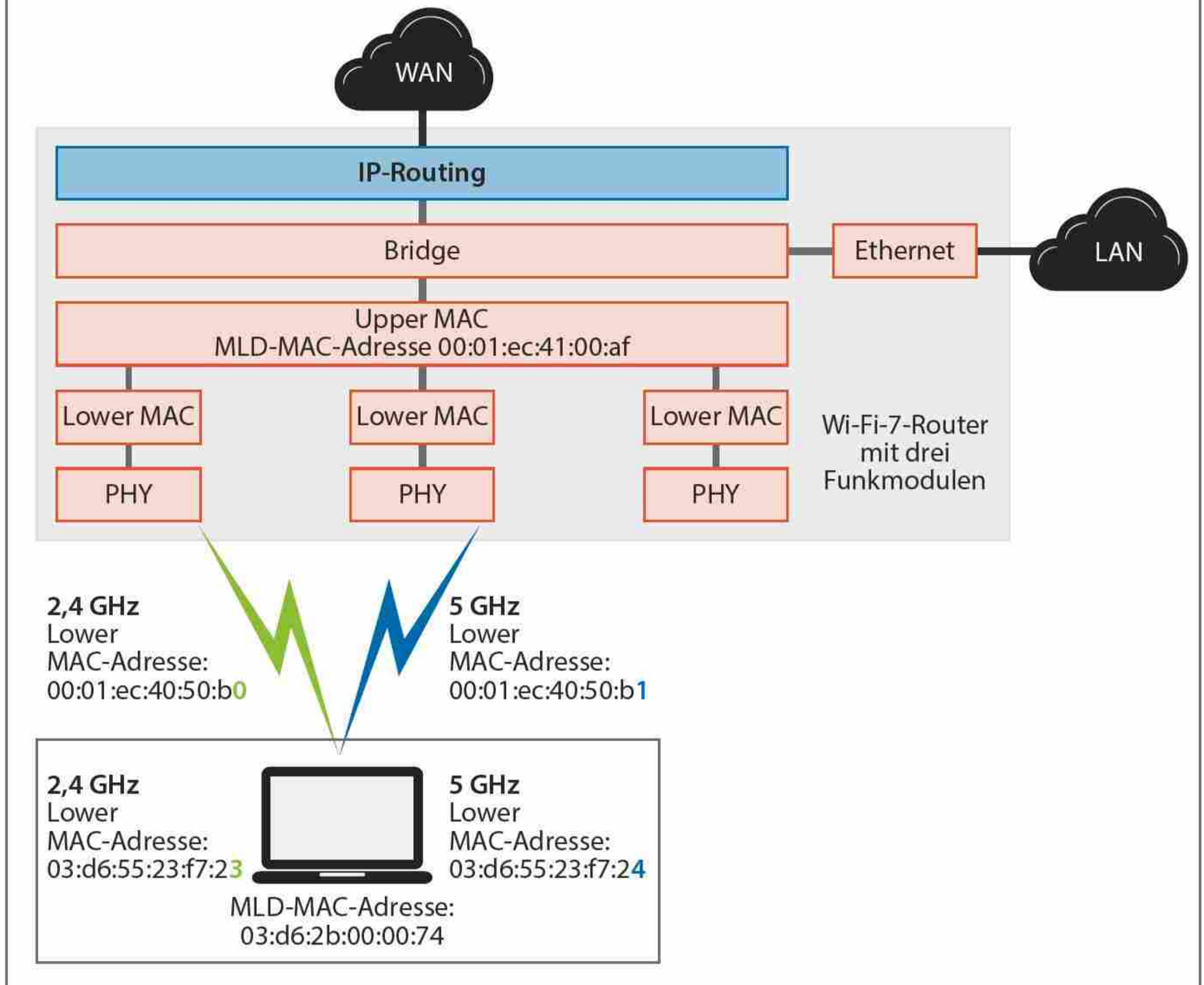
## Multi-Link-Varianten

Unterm Strich gilt deshalb die Multi-Link Operation (MLO) als klarste Verbesserung von Wi-Fi 7. Sie bringt vielfältige Betriebsarten, unter denen die simultane Kommunikation über mehrere Funkkanäle herausragt. Aber die neuen Betriebsarten können auch den

lich zum altbackenen Zugriffsverfahren Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) das moderne Orthogonal Frequency Division Multiple Access ein (OFDMA). Damit lassen sich Datenübertragungen zwischen mehreren WLAN-Clients bündeln, was die Ressourcenvergeudung durch die bis dahin mehrfach wiederholten Steuerungsinformationen beendet.

## Beispiel für eine Wi-Fi-7-Basis

Ein Client hat sich sowohl über 2,4 als auch über 5 GHz mit der WLAN-Basis verbunden.



Durchsatz, die Latenz und Robustheit von WLAN-Übertragungen verbessern.

Generell können Basisstationen schon seit Jahren über zwei bis drei Sendeempfänger (Transmitter-Receiver, kurz Transceiver) simultan kommunizieren, zum Beispiel im 2,4-, 5- und 6-GHz-Band. Aber jeder Client kann immer nur ein Funkband zu einer Zeit nutzen. So vergeuden alle WLANs bis einschließlich Wi-Fi 6 Ressourcen.

Die Basisstationen können Clients lediglich informieren, dass sie mehrere Funkkanäle bedienen und Clients ein bestimmtes Band empfehlen (Band Steering). Für Clients sehen sie wie zwei oder drei Geräte aus, die am gleichen Ort stehen (siehe Grafik „Funknetzvermehrung“).

Außerdem dauert der Bandwechsel wegen langwierigem Ab- und Anmelden je nach Gerätekombi-

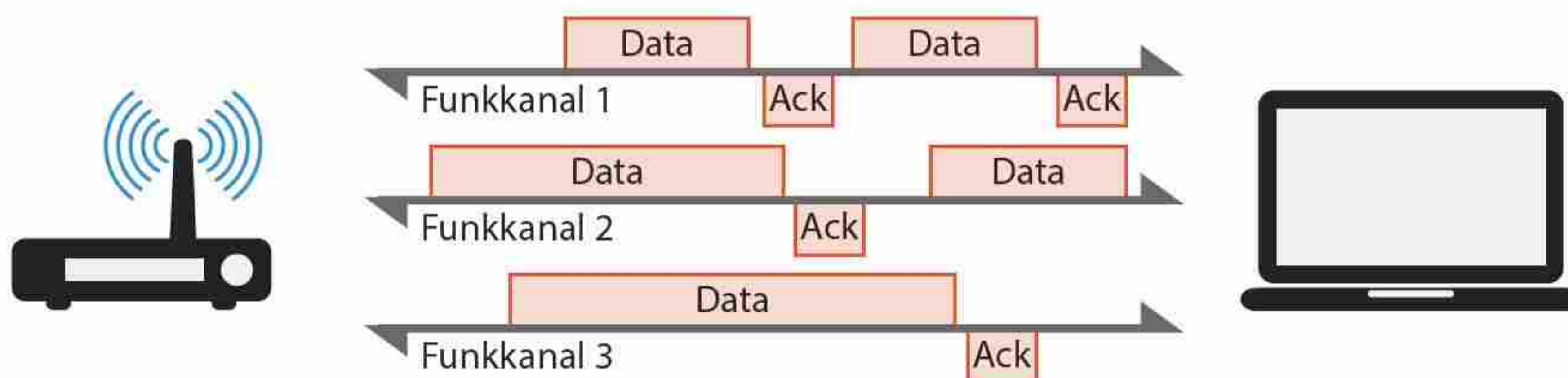
nation mindestens einige 10 Millisekunden, kann aber auch mehr als 1 Sekunde brauchen. Deshalb kommt es bei Video- und Sprachverbindungen zu spürbaren Unterbrechungen und Verbindungsabbrüchen, wenn Clients das Funkband wechseln.

Erst mit Wi-Fi 7 und MLO können Basisstation und Client simultan über mehrere Transceiver miteinander kommunizieren (Simultaneous Transmit and Receive, STR). Für Geräte mit weniger Transceivern gibt es drei weitere Modi, nämlich: EMLMR (Enhanced Multi-Link Multi-Radio), EMLSR (Enhanced Multi-Link Single-Radio) und MLSR (Multi-Link Single-Radio). Wir stellen nun alle vier im Detail vor.

Damit STR funktioniert, müssen sich beide, Basisstation und Client, identifizieren. Dafür hat die IEEE das Konzept der Kommunikationsschicht Medium Access Control (MAC) erweitert, siehe „Beispiel für

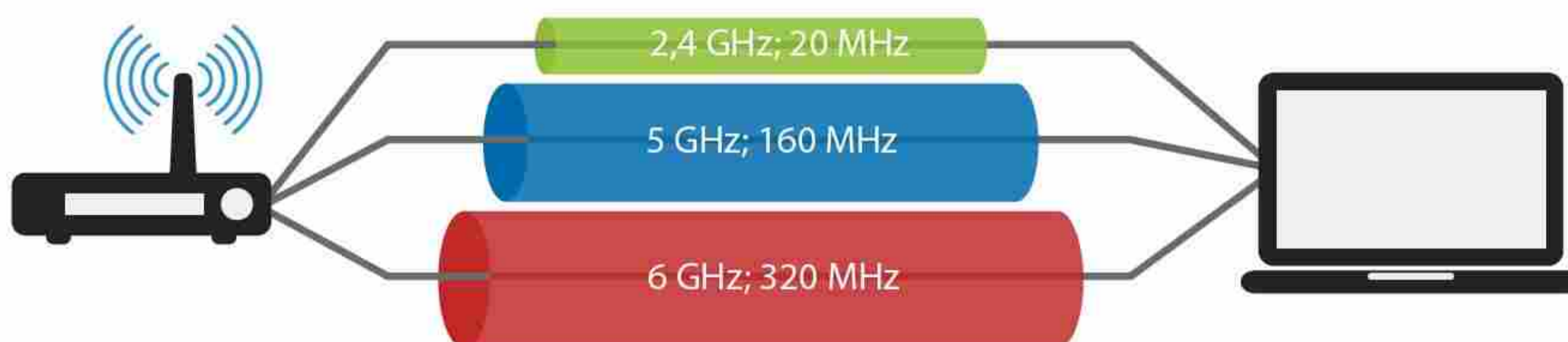
## Durchsatzsteigerung per MLO

Nur wenn es gelingt, die Datenpakete auf alle verfügbaren Funkkanäle gleichmäßig zu verteilen, liefern Wi-Fi-7-Geräte so viel wie die addierten Kapazitäten aller Kanäle.



## Kanalkapazität und Paketreihenfolge

Weil die Funkkanäle im 2,4-, 5- und 6-GHz-Band unterschiedlich breit sind, übertragen sie Daten verschieden schnell. Deshalb braucht man auf der Empfängerseite Methoden, um die auf verschiedenen Wegen eintreffenden Pakete in die ursprüngliche Reihenfolge zu sortieren.



eine Wi-Fi-7-Basis“. Oberhalb der bisher üblichen MAC-Schicht kommt die Upper MAC mitsamt eigener MAC-Adresse hinzu. Das ist die Multi-Link-Device-Adresse des Upper MAC, kurz MLD-Adresse.

Wi-Fi 6 und ältere Geräte sehen die MLD-Adresse nicht, sondern weiterhin nur die übliche MAC-Adresse der Transceiver. Bei Wi-Fi 7 heißt diese nun aber Lower-MAC-Adresse.

In der Upper-MAC-Schicht laufen alle für den Betrieb mit mehreren Transceivern erforderlichen Steuerfunktionen ab. Dazu gehört eine gemeinsame Warteschlange für alle eingehenden Datenpakete. Diese braucht man, um Funkbänder zu bündeln. Die Bänder eines Bündels übertragen nie gleich schnell, beispielsweise wegen verschiedener Kanalbreiten. Deshalb sind auf das Bündel verteilte Pakete eines Datenstroms verschieden lang unterwegs und kom-

men nicht in der korrekten Reihenfolge beim Empfänger an. Die gemeinsame Warteschlange bringt sie wieder in Reihe.

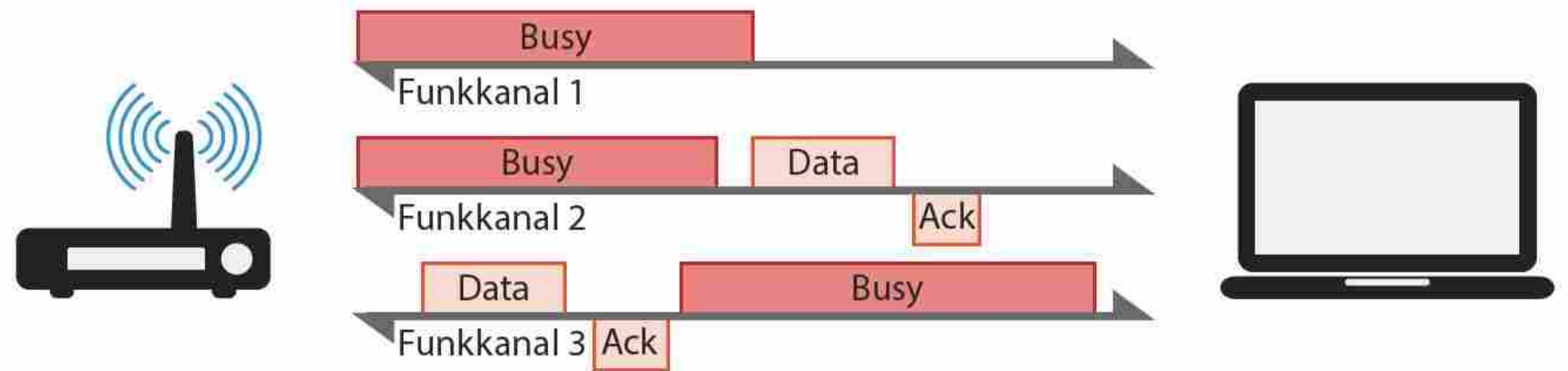
In der Lower-MAC-Schicht verbleiben nur noch die Funktionen für die Zugriffscoordination auf den jeweiligen Funkkanal. Jede Lower MAC steuert ihren eigenen Physical Layer (PHY), der Bitsequenzen in Funksignale wandelt.

## Durchsatz, Latenz, Robustheit

Wie sehr verbessert MLO Durchsatz, Latenz und Robustheit im Alltag? Das klären wir nun im Detail. Zum Durchsatz: Hersteller geben davon oft ein verzerrtes Bild. Beispielsweise nennen sie fast immer Spitzendatenraten und nicht den realitätsnahen Alltagsdurchsatz.

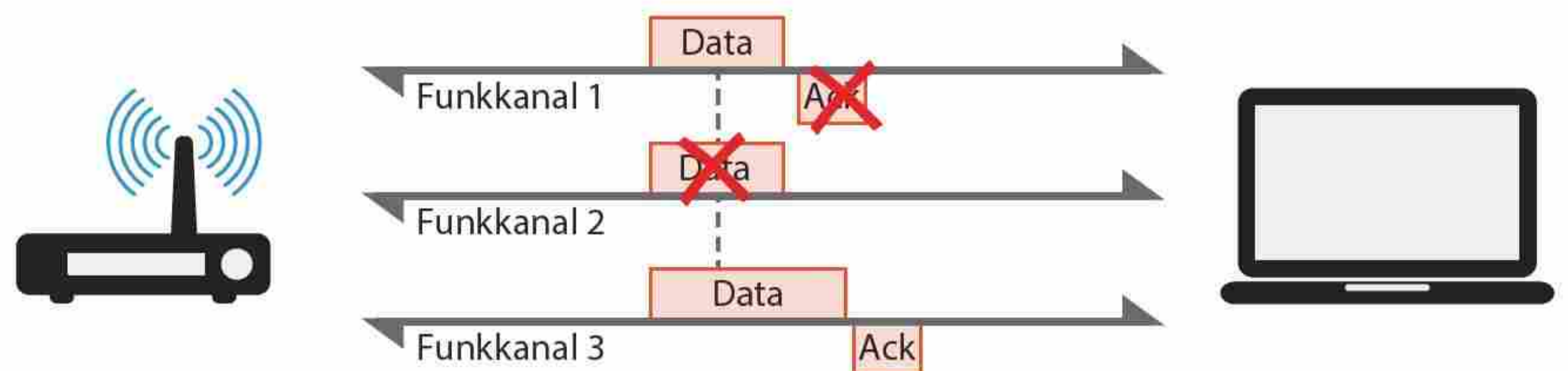
## Warum MLO die Latenz verkürzt

Die Faustregel leuchtet unmittelbar ein: Je mehr Funkkanäle zur Verfügung stehen, desto eher ist einer davon gerade dann frei, wenn der Sender etwas zu melden hat.



## Wie MLO die Robustheit verbessert

Alternativ lässt sich mit MLO auch die Redundanz erhöhen. Das erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass eine der drei Übertragungen unversehrt ankommt.



Generell ist zwar richtig, dass der Durchsatz zunimmt, wenn ein Gerät die Pakete einer Datei auf alle verfügbaren Transceiver verteilt. Aber den maximalen Durchsatz erzielt es nur, wenn es alle Funkmodule voll auslastet und keinen Rückstau produziert. Nur dann addieren sich die Durchsätze zur rechnerischen Gesamtkapazität (siehe Grafik „Durchsatzsteigerung per MLO“). Grundsätzlich liefert Wi-Fi 7 deutlich höhere Spitzenraten als Wi-Fi 6, das aber auch nur einen Kanal nutzt.

Was nicht in der Werbung stehen wird: Die gleichmäßige Auslastung der Funkmodule ist aufwendig. Wenn sich zum Beispiel die Geschwindigkeiten von zwei oder mehr Kanälen sehr unterscheiden (siehe „Kanalkapazität und Paketreihenfolge“), dann müssen schnell eingetroffene Pakete auf die langsamen warten, damit sie der Empfänger sortieren kann. Erst

dann reisen sie als Gruppe weiter zum TCP-Stack und erst dieser schickt die Empfangsquittung ab.

Doch je später die Quittung rausgeht, desto langsamer vergrößert der Sender sein TCP-Sendefenster (es könnte ja ein Übertragungsfehler vorliegen). Daher gilt: Späte Quittungen vergeuden Sendekapazität. Deshalb kann es sogar schlauer sein, nur den schnellsten Kanal zu verwenden. Aber wie viele Kanäle sie verwenden und wie die Pakete auf die Kanäle und Warteschlangen zu verteilen sind, lässt die IEEE-Norm offen.

Deshalb müssen die Hersteller selbst die besten Methoden finden. Man sollte also nicht vorschnell erwarten, dass die Geräte die Gesamtkapazität eines Bündels ausschöpfen. Gut möglich, dass die Hersteller erst im Laufe der Zeit die optimale Methode finden und dafür ihre Firmware immer mal nachjustieren.

Zur Paketlaufzeit (Latenz): Diese dürfte MLO oft spürbar reduzieren, denn damit kann ein Gerät die Übertragung beginnen, sobald irgendeiner der Funkkanäle frei ist (siehe „Warum MLO die Latenz verkürzt“). Ohne MLO steht aber nur ein Kanal zur Verfügung und der Sender kann erst dann starten, wenn dieser ein Kanal eine Weile lang frei ist.

Da die Wartezeit auf einen freien Kanal mit der Anzahl der WLAN-Teilnehmer zunimmt, verkürzt MLO die Latenz besonders in Umgebungen mit vielen Nutzern mit unterschiedlichen und nicht-korrelierten Kanalbelegungen.

Zur Robustheit: Übertragungsfehler lassen sich nicht ausschließen, manche Pakete kommen beispielsweise wegen Interferenzen nur unleserlich beim Empfänger an. Dagegen kann MLO helfen, denn damit lässt sich ein Paket auf mehreren Kanälen gleichzeitig senden (Redundanz), was die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass mindestens eines der redundanten Pakete lesbar ankommt (siehe „Wie MLO die Robustheit verbessert“). Duplikate erkennt der Empfänger anhand von Sequenznummern der MAC-Schicht und sortiert sie aus.

Jedoch mindert die Mehrfachübertragung den Durchsatz. Deshalb wird sie nur in speziellen Situationen zum Einsatz kommen, etwa in der Industrie bei Maschinensteuerungen.

## MLO Client-Betriebsmodi

Die simultane Übertragung über mehrere Funkmodule (STR) klingt zwar generell attraktiv, aber je mehr Transceiver, desto teurer ein Gerät und desto höher die Stromaufnahme. Deshalb werden Hersteller die maximale Transceivermenge nur Tischgeräten der Oberklasse spendieren, die Strom aus der Steck-

dose nehmen. Akkubetriebene Geräte wie Laptops oder Smartphones erhalten weniger Transceiver, um den Akku zu schonen.

Dennoch leistet Wi-Fi 7 selbst mit nur einem Transceiver mehr als Wi-Fi 6 und zwar mittels der drei Betriebsarten für niedrigere Leistungsklassen: EMLMR (Enhanced Multi-Link Multi-Radio), EMLSR (Enhanced Multi-Link Single-Radio) und MLSR (Multi-Link Single-Radio).

## EMLMR für Notebooks

Leistungsmäßig folgt auf den STR-Modus zunächst EMLMR. Damit kann ein Client auf mehr als einem Kanal gleichzeitig hochbitratig kommunizieren, wengleich nicht gleichzeitig auf allen verbundenen.

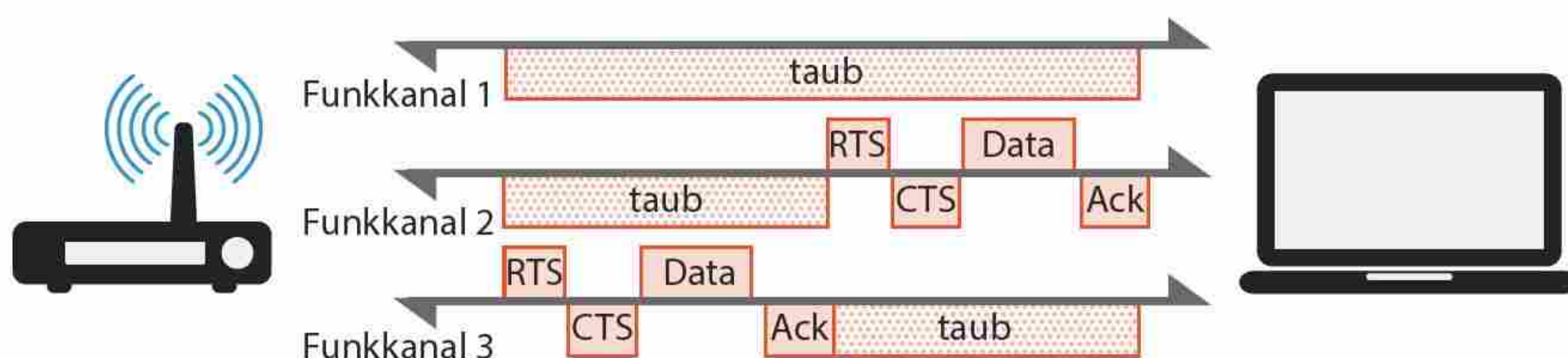
Dieser Modus kommt Geräten zugute, die zwar Transceiver für 2,4, 5 und 6 GHz enthalten, aber für die beiden oberen Bänder nur eine Kombi-Antenne nutzen. Das sind typischerweise Notebooks. Sie können simultan nur über 2,4 und 5 GHz oder alternativ über 2,4 und 6 GHz kommunizieren, wengleich sie mit der Basis über alle drei Funkkanäle verbunden sind. Das zu verwendende Simultanpaar bestimmt die Basis.

## Simultan lauschen mit EMLSR

Ein Knackpunkt für die neuen Betriebsarten waren Nebenaussendungen von Transceivern: Deren Signalfanken fallen zu benachbarten Funkbändern flach ab, sodass ein Sender andere Geräte stört, die auf einem Nachbarband im selben Moment empfangen. Bei Wi-Fi 6 und Vorgängern genügt es, die Flanken mit Filtern zu dämpfen, der kleine Rest an Nebenaussendungen juckt nicht. Aber wenn ein Wi-Fi-7-Gerät

## Enhanced Multi-Link Single-Radio

Der EMLSR-Client wartet auf allen Funkkanälen auf das Startsignal (hier ein Request-To-Send-Paket) und schaltet dann auf maximale Empfangsgeschwindigkeit. Währenddessen ist er auf den anderen Kanälen nicht ansprechbar.





selbst gleichzeitig auf benachbarten Bändern sendet und empfängt, kommt es zur störenden Selbstinterferenz: Sende- und Empfangssignale überlagern sich, sodass Empfangssignale unlesbar werden.

Dagegen helfen beispielsweise Abschirmungen, steilflankige Filter und große Antenneabstände. Doch je kleiner ein Gerät, desto kürzer die Abstände und desto größer die Selbstinterferenz. Bei vielen Mobiltelefonen fehlt aber der Platz für steilflankige Filter und man braucht andere Lösungen. Zum Beispiel kann die Basisstation auf einen robusteren und langsameren Übertragungsmodus ausweichen; simultanes Senden und Empfangen ist dann nur verlangsamt.

Leider gibt es beliebig schlechte Funkbedingungen, in denen selbst die robusteste Modulation nichts bringt und STR gar nicht möglich ist. Für solche Szenarien hat die IEEE den Modus Enhanced Multi-Link Single-Radio konzipiert (EMLSR).

Mit EMLSR lauscht ein Client auf mehreren Kanälen simultan (einfacher Multi-Link-Modus), empfängt aber erst mal nur Pakete, die mit niedrigen Bitraten, also robuster Modulation eingehen. Das spart Strom und genügt für kurze Steuersignale wie Request-To-Send-Pakete (RTS). Um große Datenmengen schnell zu senden, schickt eine voll MLO-fähige Basisstation zuerst ein RTS mitsamt Kanalnummer. Daraufhin wechselt der Client in den Single-Radio-Modus, schaltet einen hochbitratigen Modus ein, empfängt und quittiert die Daten und legt sich wieder auf die Lauer. So gibt es keinen simultanen Sendeempfangsbetrieb und die Selbstinterferenz ist ausgeschlossen.

Für mehrere gleichzeitige Empfangskanäle eignen sich EMLSR-Clients nicht. Auch übertragen sie nicht schneller als Clients ohne MLO. Der Gewinn gegenüber Wi-Fi 6 besteht darin, dass sie Funkkanäle wesentlich dynamischer nutzen. Ist ein Kanal belegt, startet der Empfang umgehend auf dem nächsten freien (siehe Latenz bzw. „Warum MLO die Latenz verkürzt“ weiter vorne im Artikel). Auch kann eine Basis mehrere EMLSR-Clients gleichzeitig bedienen, indem sie diesen die verfügbaren Kanäle bedarfsabhängig zuordnet.

Für Kaufinteressenten dürfte nachteilig sein, dass auch solche Clients MLO-Etiketten tragen dürfen, obwohl der STR-Betrieb fehlt.

## MLSR für sparsames Kleingetier

Mit den geringsten Hardware-Anforderungen rangiert der Modus Multi-Link Single-Radio (MLSR) ganz

am Ende der Reihe. Der ist für Clients mit nur einem Transceiver gedacht, eignet sich also nicht für die Multi-Radio-Kommunikation. Doch mittels MLSR wechselt der Client mit geringer Verzögerung zwischen verschiedenen Funkbändern und meldet sich auf mehreren Kanälen an der Basisstation an. Dann wartet er auf nur einem davon auf eingehende Daten (EMLSR wartet auf mehreren), siehe Grafik „Multi-Link Single-Radio“. Die Basis stößt eine Übertragung mit einem Wecksignal an, der Client wechselt auf den damit zugewiesenen Kanal, empfängt die Daten und lauscht dann wieder auf einem Kanal.

Den Betrieb von MLSR-Clients kann die Basisstation nur auf eine Weise optimieren, nämlich indem sie den bestgeeigneten Funkkanal bestimmt. Durchsatz- oder Latenzverbesserungen sind nicht drin.

Heute können schon zahlreiche Clients auf mehreren Bändern kommunizieren. Für all diese Hardware-Plattformen ist der Schritt zu MLSR klein, weil keine signifikanten Änderungen der Hardware erforderlich sind. Dementsprechend darf man bald zahlreiche preisgünstige Wi-Fi-7-Clients mit MLSR erwarten.

## Feinverteilung mit OFDMA

Wi-Fi 7 beseitigt zwei Schwächen der ursprünglichen OFDMA-Spezifikation, die erst nach Veröffentlichung von Wi-Fi 6 aufgefallen waren: Die Mindestanzahl der koordinierten Clients wird gesenkt und die Stückelung der Funkressourcen wird kleinteiliger.

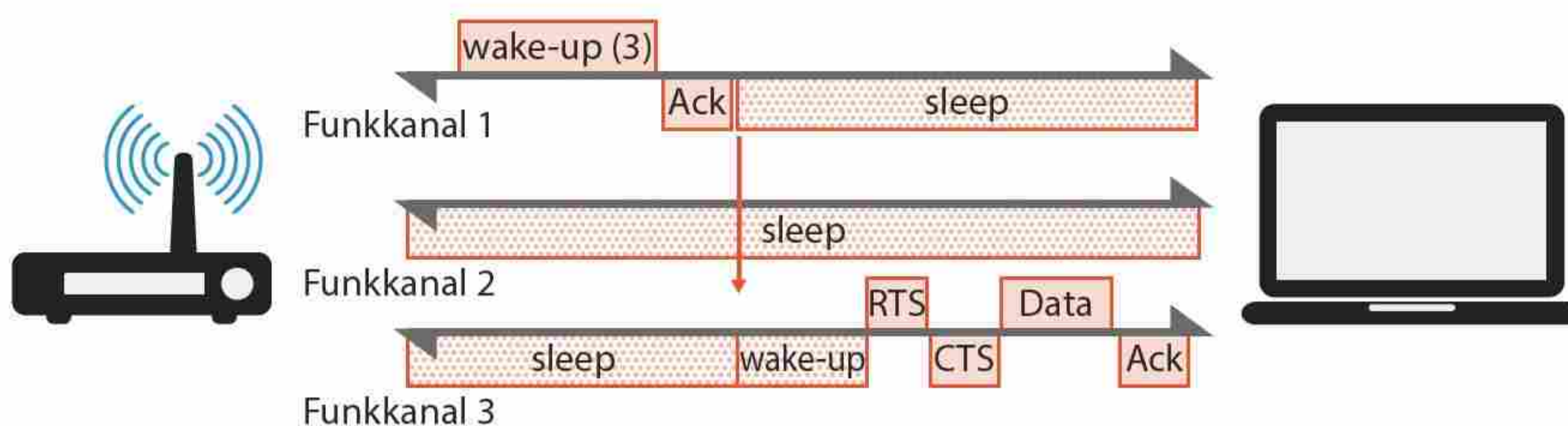
Wi-Fi 6 kann nämlich keine einzelnen Clients koordinieren, sondern nur Gruppen. Daher muss eine Wi-Fi-6-Basisstation warten, bis Daten für zwei oder mehr Clients vorliegen, bevor sie ihnen bedarfsgemäß Ressourcen zuweisen kann (Koordination). Erst mit Wi-Fi 7 funktioniert das mit einem einzelnen Client.

Mit Wi-Fi 6 kann eine Basis ihr Sendesignal nur in wenige OFDMA-Fragmente unterteilen. Wenn sich nur wenige Clients angemeldet haben (zwei bis fünf), liegen Teile des Funkbands brach. Mit Wi-Fi 7 kann eine Basisstation das Funkband feiner aufteilen. Das kommt auch Clientgruppen zugute, die sehr unterschiedliche Anforderungen an die Kapazität haben.

Beide OFDMA-Verbesserungen erhöhen die Flexibilität der Basisstation. Hersteller sparen damit Aufwand bei der Implementierung und bieten mehr Leistung. Weil eine Basis mit Wi-Fi 7 die Funkressourcen schon einzelnen Clients zuweisen kann, nimmt sie dem Client Arbeit ab. So kommt er fast ohne

## Multi-Link Single-Radio

Ein MLSR-Client kommuniziert immer auf nur einem Kanal (im Beispiel Kanal 1). Um einen der anderen zu aktivieren, muss er den ersten abschalten. Das passiert, wenn die WLAN-Basis Daten auf einem für sie günstigeren Kanal senden will, im Beispiel ist das Kanal 3. Der Client schaltet dann mit einiger Verzögerung um, und erst dann fließen die Daten.



Wettbewerbszugriff per veraltetem EDCA aus und spart Energie. Man kann daher erwarten, dass OFDMA öfter genutzt wird, auch in preisgünstigeren Basisstationen.

### Was fehlt, das kommt

Die WFA berücksichtigt fast immer nur eine Untermenge der IEEE-Normen; Hersteller können sämtliche IEEE-Details implementieren, aber die WFA vergibt ihr Siegel nur für das, was sie mit dem Wi-Fi-Prüfplan festgelegt hat. Vergleicht man die Wi-Fi-7-Merkmale mit den Optionen, die IEEE 802.11be bietet, fallen zwei große Unterschiede auf: In Wi-Fi 7 fehlen der MLO-Modus Non-Simultaneous Transmit and Receive (NSTR) sowie Restricted Target-Wake-Time (R-TWT).

NSTR rangiert leistungsmäßig unterhalb von STR und ist für Basisstationen gedacht, die für simultanes Senden und Empfangen auf mehreren Kanälen nicht ausgelegt sind. Gründe können sein: Kosteneinsparungen oder Platzmangel. Beispiele sind Smartphones im Tethering-Modus.

Mittels NSTR kann eine Basisstation entweder über mehrere Kanäle gleichzeitig senden oder über mehrere gleichzeitig empfangen. NSTR liefert Durchsätze fast auf dem Niveau von STR, erfordert aber eine komplexe und schnelle Koordination der Transceiver.

Die Technik Target-Wake-Time (TWT) hat die IEEE mit Wi-Fi 6 eingeführt. Damit können Basisstationen

und Clients die Schlaf- und Wachzeiten sehr detailliert festlegen, was den Energieverbrauch deutlich reduziert. 802.11be definiert zusätzlich R-TWT. Weil eine Basisstation damit Wachzeiten auch noch priorisieren und Clients blockieren kann, wird R-TWT zum Werkzeug zum Durchsetzen von Dienstgütern (Quality of Service). Das brauchen Anwendungen, die Daten mit geringer Verzögerung, festen Intervallen und hoher Zuverlässigkeit senden sollen, beispielsweise Maschinensteuerungen.

Das Interesse der WLAN-Hersteller und -Kunden an NSTR und R-TWT ist zwar hoch, aber beide würden die Komplexitätsgrenze von Wi-Fi 7 derzeit überschreiten. Wahrscheinlich werden sie Bestandteil der nächsten Version von Wi-Fi-7.

### Fazit

Wi-Fi 7 bringt eine Fülle von Verbesserungen, von denen wir hier nur die markanten vorgestellt haben. Die wichtigsten, weil im Alltag spürbaren neuen Merkmale werden die vier MLO-Betriebsarten sein, weil sie die WLAN-Leistung in vielen Szenarien erheblich verbessern. Für die beworbenen Spitzenraten und andere Merkmale gilt das nicht, weil die erforderlichen Bedingungen seltener sind.

Allerdings erfordert MLO intelligente Umsetzungen der Chip-, Geräte- und Treiberhersteller. Deshalb überrascht es nicht, dass die erste Auflage der Wi-Fi-7-Geräte in unserem Test einen durchwachsenen Eindruck hinterlässt. (dz) **ct**

### Literatur

[1] Ernst Ahlers, Schnellstarter, Vier Wi-Fi-7-Basn mit drei Clients getestet, c't 4/2024, S. 50

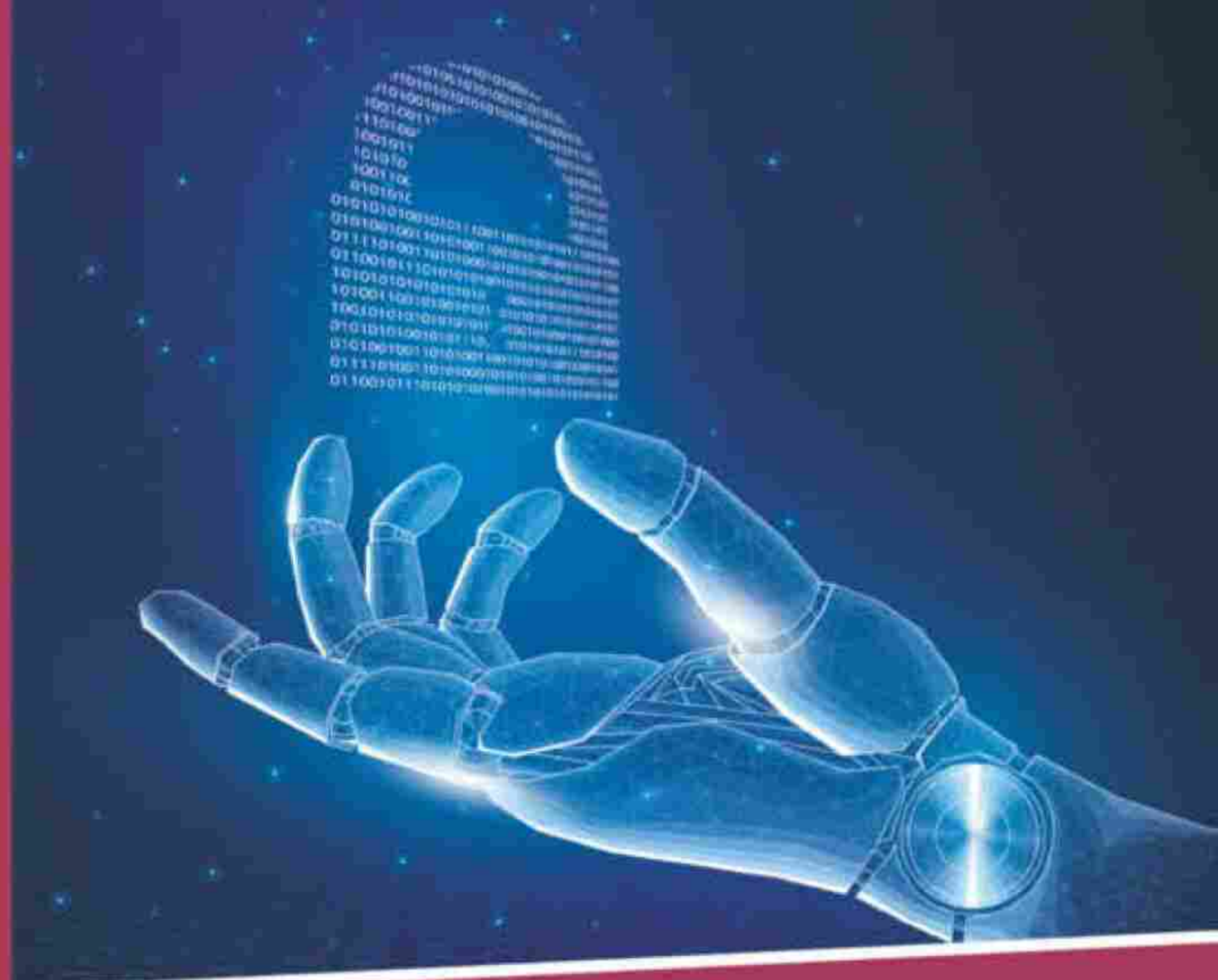
### IEEE-Spezifikationen

[ct.de/whma](https://www.ct.de/whma)

# // heise devSec()

Die Konferenz für sichere  
Software- und Webentwicklung

25.–26. September 2024  
Köln



## Sichere Software beginnt vor der ersten Zeile Code

Die **heise devSec 2024** richtet sich an **IT-Profis**, die das Thema **Security** im Blick haben und sich den damit verbundenen Herausforderungen stellen müssen.

Aus dem Programm:

- // XZ-Backdoor und ihre Auswirkungen auf die Software Supply Chain
- // Ein Sicherheits-Pattern für Web-APIs
- // Passkeys in die eigene Anwendung integrieren
- // SBOMs in der Praxis
- // KI-unterstützte, sichere Softwareentwicklung:  
Stärken und Schwächen

**heise-devsec.de**

**Workshops am 24. September**



Veranstalter



Gold-Sponsoren

@heise Security

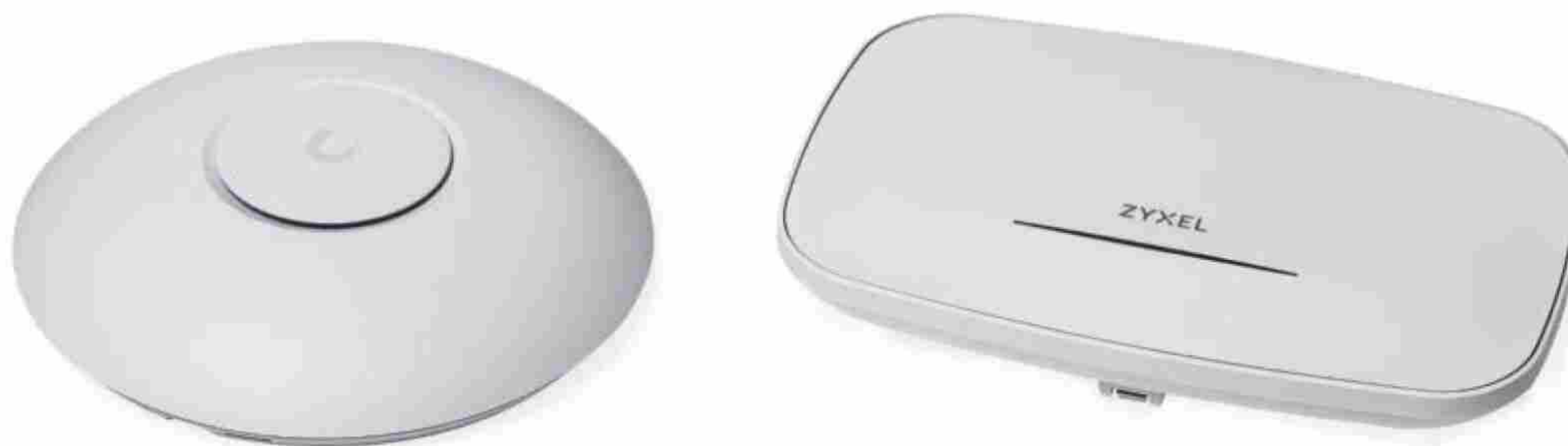
dpunkt.verlag

Checkmarx

Contrast  
SECURITY

SignPath

SUSE



# Wi-Fi-7-Basisstationen unter 200 Euro

Ubiquiti und Zyxel wollen mit preisgünstigen WLAN-Access-Points das moderne Wi-Fi 7 in kleine Netze bringen. Wir haben die Neulinge gründlich untersucht, beide haben Stärken und Schwächen.

Von **Ernst Ahlers**

**A**nfang 2024 überraschte der Netzwerkhersteller Ubiquiti: Sein erster Access-Point (AP) Unifi U7 Pro für den sich jetzt ausbreitenden neuen WLAN-Standard IEEE 802.11be alias Wi-Fi 7 [1, 2] kam für nicht ganz 200 Euro heraus, bedient aber alle drei WLAN-Funkbänder 2, 4, 5 und 6 GHz gleichzeitig. Mitte März zog Zyxel mit dem NWA130BE nach, mit sehr ähnlicher Ausstattung und Preisgestaltung. Wir haben die Geräte beschafft, um zu prüfen, wie schnell sie funken und mit welchen Wi-Fi-7-Spezialitäten sie den WLAN-Betrieb geschmeidiger machen.

Beide APs bauen auf die gleichen WLAN-Chips IPQ5322 und WCN6274 aus Qualcomms „Immersive Home 326 Platform“. Die größten Unterschiede sind die Anzahl der Ethernetports (U7 Pro: einer, NWA-130BE: zwei) und der Lüfter (U7 Pro: einer, NWA-130BE: keiner). Im Test wurde der Ubiquiti-AP spürbar warm, aber sein Ventilator lief nicht an. Die massive Gehäusebasis aus Aludruckguss führte die Verlustwärme bei uns gut genug ab.

Die zwei Ethernetschnittstellen des Chipsatzes eignen sich zwar für 5 und 10 Gbit/s, doch beide APs bremsen sie auf 2,5 Gbit/s (2G5) herunter. Das ist weniger als die Summe der von uns in der Nähe gemessenen Nettodurchsätze auf 5 und 6 GHz mit mehreren parallelen TCP-Streams. Sie erreichte beim U7 Pro 3150 Mbit/s und beim NWA130BE sogar 3450 Mbit/s. Die LAN-Schnittstelle drosselt solche Übertragungen also. Da Clients aber selten mehrere Datenströme gleichzeitig übertragen und auch noch nah an der Basis stehen, spielt der Verschnitt in der Praxis keine große Rolle.

Beide Geräte nehmen ihre Betriebsenergie per standardisiertem Power-over-Ethernet an (PoE, IEEE 803.3at). Den Zyxel-AP kann man alternativ per 12-Volt-Netzteil speisen. Er reicht die Datenverbindung ungebremst per Bridging an seinen zweiten Port weiter, sodass man darüber einen weiteren Host ins LAN holen kann.

Ubiquitis U7 Pro Max hat dieselbe LAN-Bremse wie sein kleiner, hier getesteter Bruder U7 Pro. „Max“

arbeitet hingegen im 5-GHz-Band mit vier statt zwei MIMO-Streams (maximal 5760 statt 2880 Mbit/s brutto mit einem 160-MHz-Signal). So taugt er besser für Mesh-Systeme, bei denen die Verbindung der APs untereinander drahtlos bei 5 GHz statt übers LAN-Kabel läuft.

## Einrichtung

Access-Points werden heute üblicherweise per Controller oder Cloud gesteuert. So kann man zentral die Einstellungen für viele Basen vorgeben oder ändern und muss nicht jede per Browser anfassen.

Bei Ubiquiti stecken die Controller-Funktionen in der Unifi-Network-App, die lokal beispielsweise in einem Router (Cloud-Gateway) oder einer Appliance (Cloud Key+) läuft. Wir betreiben sie als Docker-Container auf einem Testrechner, es gibt aber auch native Anwendungen für Windows, Debian/Ubuntu und macOS. Wer die App nicht lokal betreiben will, kann eine Instanz in Ubiquitis Cloud gegen Gebühr ab 29 US-Dollar monatlich mieten.

Mit der englischsprachigen Unifi-App kann man Ubiquiti-Access-Points zwar auch für autonomen Betrieb (standalone) einrichten. Doch dann arbeiten sie nur mit einer logischen Funkzelle (kein Multi-SSID) und nicht in Mesh-WLANs. Zudem kann die Konfiguration nur jenes Mobilgerät ändern, das man für die Einrichtung verwendet hat. Das Sammeln anonymisierter Statistiken lässt sich nicht ablehnen.

Zyxel hat für zentrale Steuerung seine Nebula-Cloud im Angebot, die der Access-Point übers Internet kontaktiert. Ihre Basisfunktionen sind im „Base Pack“ kostenlos, aber wer beispielsweise eine interaktive Topologie seines Netzes mit aktuellen Betriebsdaten sehen will, muss ein Abo abschließen; das Pro Pack etwa kostet je nach Laufzeit, ein Jahr gibt es für rund 40 Euro.



**Mit der Unifi-App kann man grundlegende Funktionen von Ubiquiti-Access-Points auch autonom, also standalone konfigurieren. Dann gibt es aber weder Multi-SSID- noch Mesh-Betrieb.**

Die zugehörige Nebula-App hilft nicht nur beim Onboarding neuer Geräte, man kann damit auch grundlegende Parameter einstellen (SSID, Verschlüsselungstyp, WLAN-Passwort, genutzte Funkbänder). Anders als bei Ubiquiti sind die Zyxel-APs auch per Browser konfigurierbar und laufen autonom.

## WLAN-Basen mit Wi-Fi-7: Geschwindigkeit und Leistungsbedarf

Modell	2,4 GHz nah [Mbit/s]	5 GHz nah [Mbit/s]	6 GHz nah [Mbit/s]	2,4 GHz 20 m [Mbit/s]	5 GHz 20 m [Mbit/s]	6 GHz 20 m [Mbit/s]	Leistungsaufnahme (idle) [W]
	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	◀ besser
Ubiquiti Unifi U7Pro	387	1350	1401	179	268	177	14,1
Zyxel NWA130BE	172	1309	1463	107	213	127	14,1
Zyxel WBE660S <sup>1</sup>	482	1652	2194	406	633	452	19,2

Durchsatz gegen Intel BE200, NWA130BE im 2,4-GHz-Band auf 20 MHz Signalfrequenz beschränkt, Leistungsaufnahme primärseitig an Injektor Zyxel PoE12-60W <sup>1</sup>zum Vergleich, siehe Text

## WLAN-Funktionen

Die Access-Points ließen sich problemlos in Betrieb nehmen, doch bei beiden sollte man die Vorgaben kontrollieren. So setzt Ubiquiti für die Funkkanalbreiten konservative Werte von 20, 40 und 80 MHz fürs 2,4-, 5- und 6-GHz-Band. Das ist für dicht mit APs bestückte Gebäude sinnvoll. Wer aber weitgehend „leere Luft“ hat, kann zugunsten des Durchsatzes aufs Maximum des jeweiligen Funkbandes umstellen (40, 160, 320 MHz). Bei Zyxel sind beispielsweise die erwünschten Roaming-Helferfunktionen IEEE 802.11k (Radio Resource Management) und 11v (BSS Transition) ab Werk abgeschaltet, 11r (Fast BSS Transition) bei beiden.

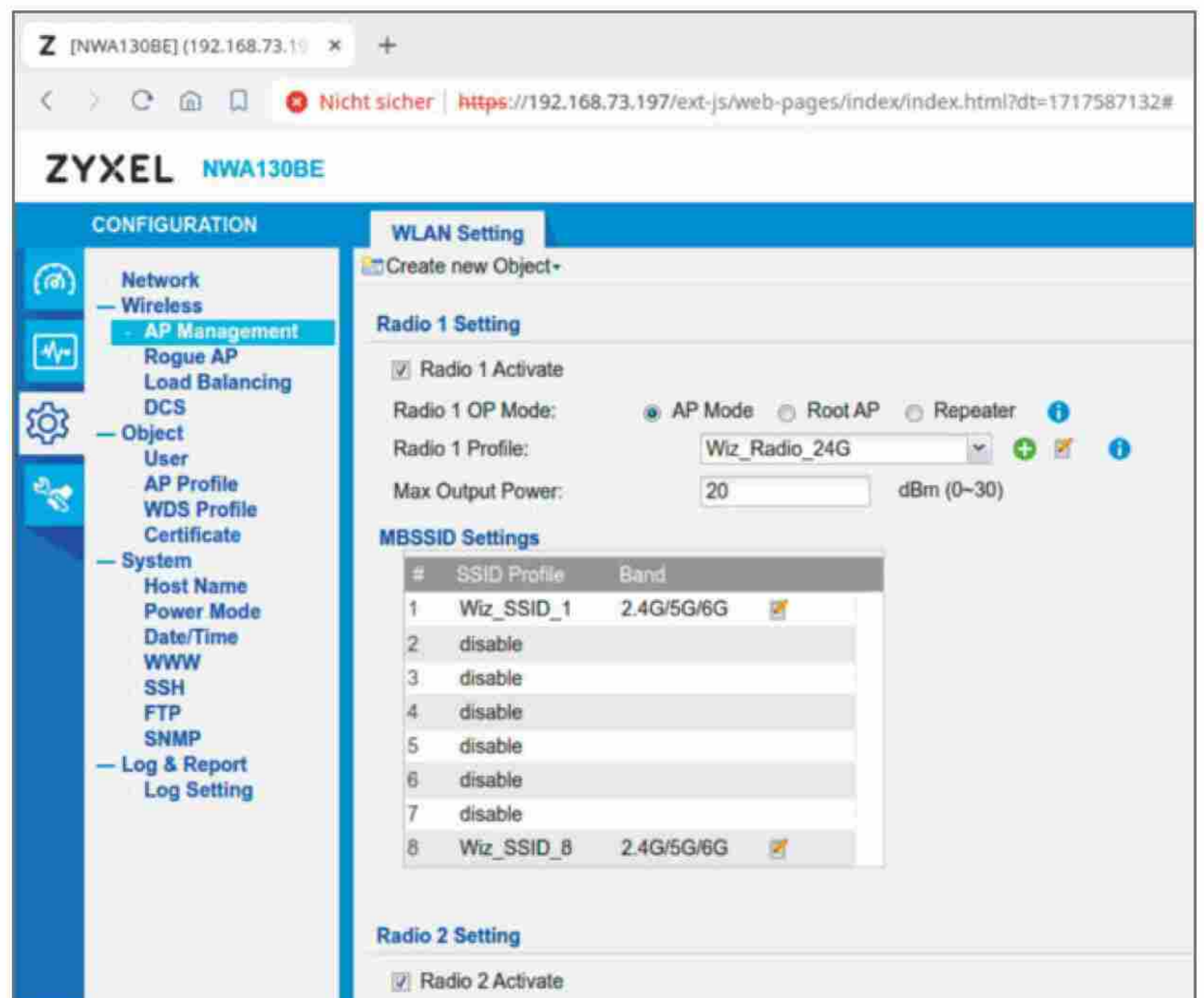
Die wichtigsten Funktionen der APs sind in der Tabelle auf Seite 88 gelistet; alle aufzuführen würde den Platz sprengen. Beide Hersteller bieten auch einen Mesh-Betrieb an, bei dem Access-Points ohne LAN-Verbindung als Repeater-Nodes arbeiten, um die WLAN-Abdeckung zu vergrößern. Diese Betriebsart sollte man nur im Notfall wählen, weil dabei Spektrumskapazität (Airtime) fürs Weiterleiten der Daten draufgeht.

Beide Marken unterstützen das Umsetzen von Multicast-IPTV wie beispielsweise MagentaTV im WLAN auf Unicast-Frames (MC2UC), damit per Multicast angelieferte Live-TV-Streams ruckelfrei auf Mobilgeräten ankommen. Bei Ubiquiti muss man die Funktion in den WLAN-Einstellungen gezielt aktivieren, doch wirkte das Häkchen bei uns nicht: Multicast-Live-TV war wegen Aussetzern und Klötzchenbildung ungenießbar.

## Ausgemessen

Wir haben die beiden WLAN-Basen auf unserem Testparcours im Verlagskeller Probe gefahren, und zwar mit einem frisch angeschafften Notebook Dell XPS 13 (9340) als Client. Dieses XPS-13-Modell hat für Wi-Fi 7 das Intel-Funkmodul BE200 an Bord, das wie seine Vorgänger AX200/201 (Wi-Fi 6) und AX210/211 (Wi-Fi 6E) einen hohen Marktanteil erreichen dürfte. Durch den Plattformwechsel sind die ab jetzt gemessenen WLAN-Durchsätze nur eingeschränkt mit früheren vergleichbar.

Im 2,4-GHz-Band hatte der NWA130BE durchsatzmäßig schon deshalb das Nachsehen, weil er auf 20 MHz Signalbreite beschränkt ist. Dem U7 Pro kann man den 40-MHz-Betrieb erlauben, was unter günstigen Funkbedingungen höhere Linkraten und damit mehr Durchsatz ergibt. Auf den höheren Funkbän-



**Zyxels Access-Points lassen sich komplett im Browser konfigurieren. Admins müssen sich dabei durch AP-Profil und SSID-Settings wühlen.**

den lagen die beiden Prüflinge auf kurze Distanz viel näher beisammen. Über die 20-Meter-Strecke durch Wände war der U7 Pro ein bisschen schneller.

Im 6-GHz-Band konnten beide APs auf kurze Entfernung das Maximum herausholen und die 1-Gbit/s-Schwelle locker knacken. Je nach Gerät kletterte der Durchsatz ein gutes Stück (U7 Pro: 20 Prozent, NWA130BE: 50 Prozent), wenn wir mehrere parallele TCP-Datenströme schickten. Dabei kappte die LAN-Verbindung des ZyXel-APs Downstream-Spitzen auf 2,3 Gbit/s.

Für einen Vergleich, was Wi-Fi 7 kann, haben wir die Ergebnisse von Zyxels Access-Point WBE660S aus dem Test in c't 4/2024 [1] ins Balkendiagramm übernommen. Die Werte wurden zwar auch mit dem Intel-Modul BE200 gemessen, aber das steckte seinerzeit in anderer Hardware (PC-Mainboard mit externen Antennen für den Nahbereich, umgebautes Asus Vivobook 14 für die 20-Meter-Messung).

Die relativ niedrigen Datenraten der beiden Kandidaten in den hochfrequenten WLAN-Bändern über 20 Meter liegen nicht allein am jetzt verwendeten Notebook. Denn das schaffte im Zusammenspiel mit der frisch erschienenen Fritzbox 7690 (siehe Test auf Seite 76) im 5-GHz-Band über dieselbe Strecke fast 500 Mbit/s netto.

## Wi-Fi-7-Spezialitäten

Die beiden wichtigsten Neuheiten von Wi-Fi 7 sind Multi-Link Operation (MLO) und Übertragungen mit einem 320 MHz breiten Funksignal im 6-GHz-Band. Letzteres verdoppelt gegenüber dem Maximum im 5-GHz-Bereich die Linkdatenrate, sodass Zwei-Stream-Geräte bei sehr guten Funkbedingungen (kleine Distanz, selber Raum oder wenige Meter durch eine Wand) mit bis zu 5760 anstatt nur mit 2880 Mbit/s brutto funken.

Als Besonderheit können beide Prüflinge ein 240 MHz breites Signal verarbeiten. Im 6-GHz-Band kann das den Durchsatz verbessern, wenn sich zwei benachbarte Funkzellen das hierzulande 480 MHz schmale Band teilen müssen. Man verzichtet dann gegenüber dem 320-MHz-Betrieb auf etwas Bruttodatenrate, hat aber öfter freie Bahn zum Senden, weil die Nachbarn nicht aufeinander warten müssen. Ob der 240-MHz-Betrieb auch im 5-GHz-Band (max. 4320 statt 2880 Mbit/s brutto) im Alltag Nutzen bringt, scheint zweifelhaft.

Mit MLO können Wi-Fi-7-Stationen eine Verbindung über mehrere Bänder und dann dynamisch über das momentan beste kommunizieren, etwa weil dort der Funkkanal gerade frei ist. Das senkt die Latenz, Daten kommen im Schnitt früher an.

Andere MLO-Spielarten sollen die Zuverlässigkeit steigern, simultanes Senden und Empfangen in verschiedenen Funkbändern erlauben (STR, Simultaneous Transmit and Receive) oder auch gleichzeitig auf zwei Bändern zu senden (NON-STR) [2].

Zwar eignen sich beide Prüflinge auch für den 320-MHz-Betrieb, aber in ihren Beacons (Anwesenheitssignalen) fehlten die MLO-Annoncen, sodass diese Technik brachliegt. Die Wi-Fi-7-Erweiterung Restricted Target Wake Time (R-TWT), die Mobilgeräten optimiertes Energiesparen ermöglicht, war hingegen aktiv.

Zyxel will MLO per Firmware-Upgrade nachliefern, die 7er-Version soll im Juli erscheinen. Da der UniFi-AP denselben WLAN-Chipsatz verwendet, hängt es nur von Ubiquiti ab, ob und wann U7-Pro-Käufer MLO nachgeliefert bekommen. Bis Redaktionsschluss dieses Beitrags antwortete Ubiquiti nicht auf unsere Anfrage.

## Energiebedarf

Obwohl ihre Hardwareausstattung leicht variiert, zogen die Access-Points in Bereitschaft mit gerundet 14 Watt genau die gleiche Leistung aus dem Strom-



**ct NETZWERKE**  
Heimnetze optimal einrichten

- Schnelles WLAN nutzen
- Netzwerke bauen
- VPN modernisieren
- Fritzbox einrichten und tunen

**ct NETZWERKE**  
Heimnetze optimal einrichten

- Schnelles WLAN nutzen
- Netzwerke bauen
- VPN modernisieren
- Fritzbox einrichten und tunen

**inkl. 50 Seiten Fritzbox**

# Bestens verdrahtet!

- ▶ Fritzbox einrichten und tunen
- ▶ Kaufberatung: die beste Fritzbox für jeden Anschluss
- ▶ Mesh & Repeater optimal auswählen
- ▶ Mit speziellen VPNs die Privatsphäre schützen
- ▶ Netzwerke bauen
- ▶ Das bringen Wi-Fi-6E und Wi-Fi-7

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Heft + PDF 19,90 €

[shop.heise.de/ct-netzwerke23](https://shop.heise.de/ct-netzwerke23)

**Auch als Heft + PDF mit 28% Rabatt**

## WLAN-Basen mit Wi-Fi 7 – technische Daten und Messwerte

Hersteller, URL	Ubiquiti, <a href="http://www.ui.com">www.ui.com</a>	Zyxel, <a href="http://www.zyxel.de">www.zyxel.de</a>
Typennummer	Unifi U7Pro	NWA130BE
getestete Firmware-Version	7.0.47.15571	6.75 (ACIL.0)
<b>Hardware</b>		
Ethernet-Ports	1×2G5 (PoE-PD)	1×2G5 (PoE-PD), 1×2G5
Power-over-Ethernet	IEEE 802.3at	IEEE 802.3at
weitere Anschlüsse	–	Serviceport, DC in (12V/2A)
Bedienelemente	Reset	Reset
Statusanzeigen / abschaltbar	1 Leuchte / ✓	5 Leuchten / ✓
Lüfter	✓	–
mitgeliefertes Zubehör	Halterung, Schraubensatz, Bohrschablone mit Libelle, Werkzeug	Halterung, Schraubensatz
<b>Konfiguration</b>		
per App / Browser / Cloud	✓ / – / ✓	✓ / ✓ / ✓
HTTPS / SSH	✓ / ✓	✓ / ✓
Oberfläche auch deutsch / Assistent	✓ / ✓	– / ✓
<b>Funktionen</b>		
IPv6 / MC-IPTV (MC2UC)	✓ / – <sup>1</sup>	✓ / ✓
Multi-SSID (Anzahl) / VLAN per Radius	✓ (8) / ✓	✓ (9) / k. A.
Fernüberwachung per	Syslog, SNMP (v1, 2c, 3), Unifi-Cloud	Syslog, SNMP (v1, 2c, 3), Nebula-Cloud
<b>WLAN</b>		
Chipsatz	Qualcomm IPQ5322 + QCN6274	Qualcomm IPQ5322 + QCN6274
MIMO-Streams 2, 4 / 5 / 6 GHz	2 / 2 / 2	2 / 2 / 2
Signalbreite 240 / 320 MHz	✓ / ✓	✓ / ✓
maximale Linkraten	690 / 4320 / 5760 Mbit/s	690 / 4320 / 5760 Mbit/s
MLO / R-TWT (laut Beacons)	– / ✓	i. V. / ✓
Roaming-Unterstützung (11k / 11v / 11r)	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓
<b>Messergebnisse: Durchsatz und Leistungsaufnahme</b>		
WLAN-Durchsatz 2,4 GHz nah / 20 m (BE200)	387 / 114–179 Mbit/s	172 / 67–107 Mbit/s
5 GHz nah / 20 m	1350 / 175–268 Mbit/s	1309 / 113–213 Mbit/s
6 GHz nah / 20 m	1401 / 128–177 Mbit/s	1463 / 121–127 Mbit/s
Leistungsaufnahme <sup>2</sup>	14,1 W (29,8 VA)	14,1 W (29,5 VA)
jährliche Stromkosten <sup>2</sup>	49 €	49 €
Preis	180 €	193 €
<sup>1</sup> unterstützt, funktionierte im Test trotz Aktivieren nicht <sup>2</sup> primär am Injektor Zyxel PoE12-60W, bei Dauerbetrieb und 40 Cent/kWh ✓ vorhanden/funktioniert    – nicht vorhanden/funktioniert nicht    i. V. in Vorbereitung    k. A. keine Angabe		

netz. Beim U7 Pro könnte noch ein Watt mehr anfallen, wenn die Kühlung per Konvektion nicht mehr genügt und er den Lüfter startet, was im Test aber nicht vorkam.

Ein Teil der von uns primärseitig gemessenen Leistung bleibt als Wandlerverlust im verwendeten PoE-Injektor hängen; ein PoE-Switch würde weniger anzeigen, da der Switch am Datenausgang misst und auf Grund dessen den Wandlerverlust unterschlägt.

## Fazit

Modernes WLAN für vergleichsweise wenig Geld ist machbar, wie der U7 Pro von Ubiquiti und Zyxels NWA-130BE demonstrieren. Schade nur, dass die spannendste neue Wi-Fi-7-Funktion MLO noch fehlt und der Betrieb in drei Funkbändern vergleichsweise viel Energie erfordert. Aber vielleicht verbessert sich daran mit kommenden Firmware-Updates noch etwas. Zyxel hat MLO jedenfalls schon in Aussicht gestellt. (ea) **ct**

## Literatur

[1] Ernst Ahlers, Schnellstarter, Vier Wi-Fi-7-Basen mit drei Clients getestet, c't 4/2024, S. 50

[2] Sebastian Max, Guido R. Hiertz, Mit dem Siebten funkt man besser, Wie Wi-Fi 7 funktioniert, woran man die besten Kandidaten erkennt, c't 4/2024, S. 56





# WIR TEILEN KEIN HALBWISSEN WIR SCHAFFEN FACHWISSEN

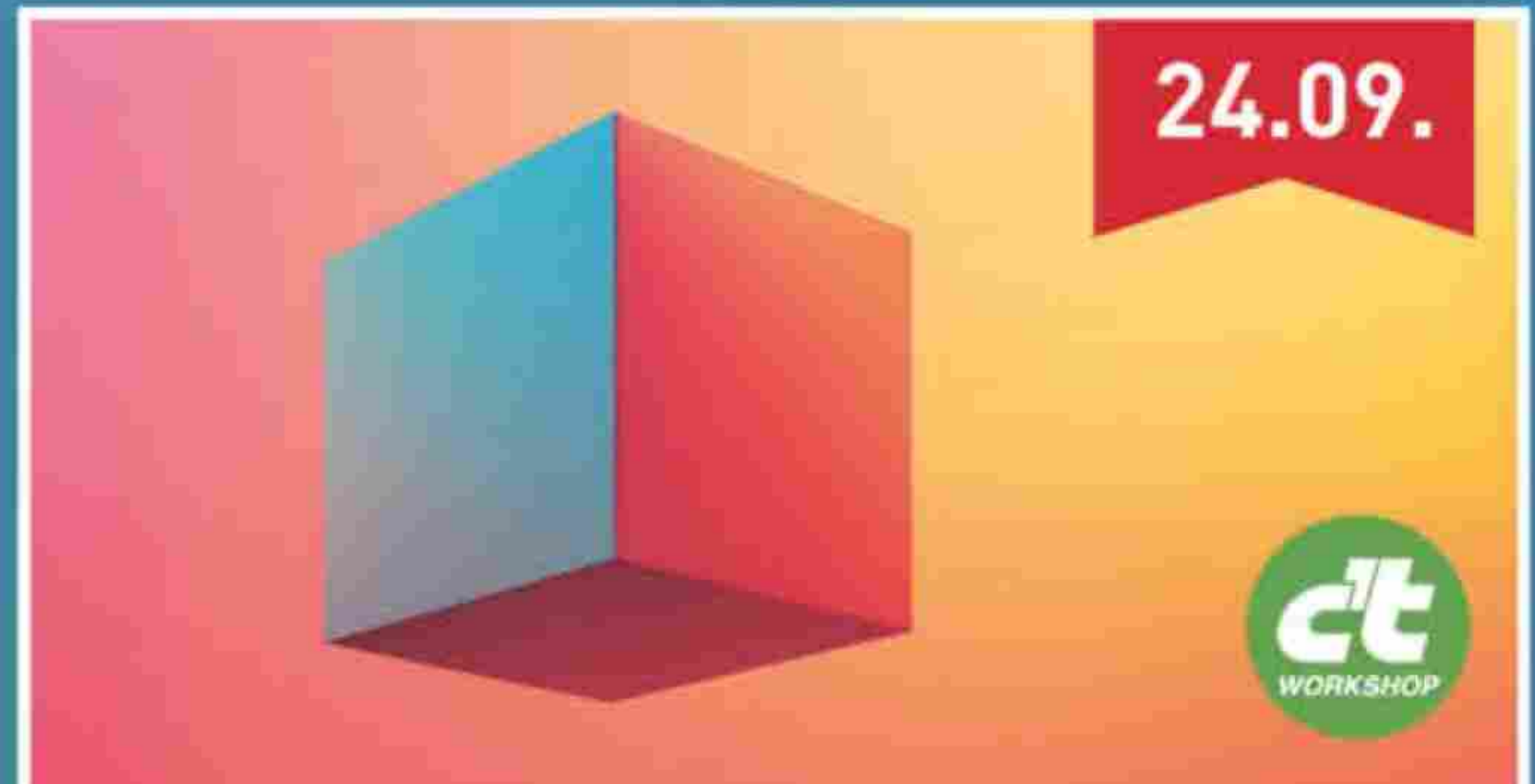


17.09.



## Domänenmodellierung mit TypeScript

In diesem Workshop für (Web-)Entwickler und Product Owner werden moderne, kollaborative Methoden wie Event-Storming untersucht und die Domäne mithilfe des TypeScript-Typsysteams modelliert.



24.09.



## 3D im Web

Sie lernen Grundlagen und Best Practices für die Umsetzung interaktiver 3D-Szenen im Web. Von Licht, Kamera und 3D-Objekten bis hin zu Bibliotheken wie Three.js und A-Frame.

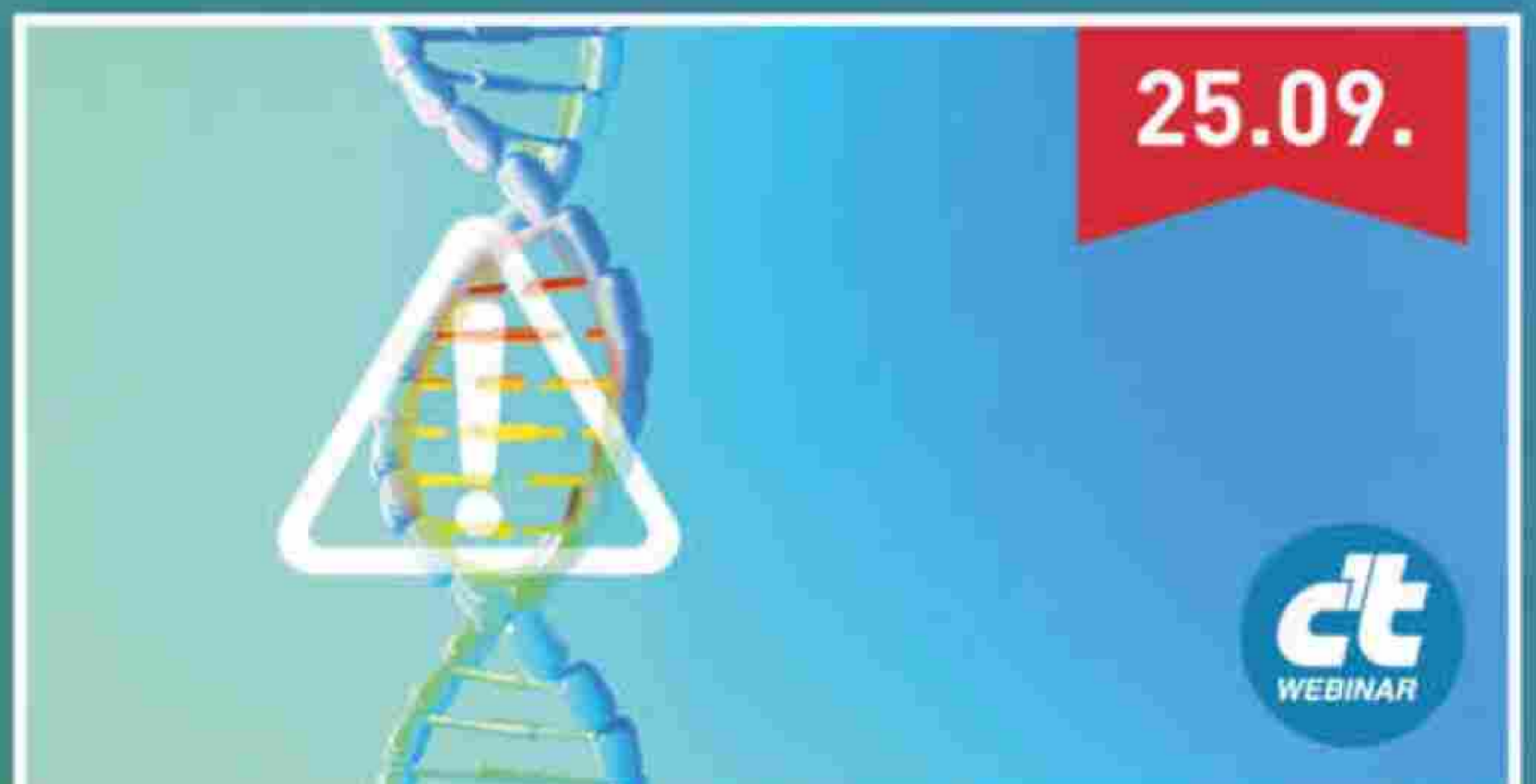


26.09.



## Grundlagen Funktionaler Programmierung

Funktionale Programmierung vereinfacht Testen und Debuggen und erleichtert Parallelisierung. Die Grundlagen lernen Sie im Webinar kennen.



25.09.



## Mutation-Testing mit Stryker

Im Webinar erfahren Sie, wie Sie ihre Tests auf den Prüfstand stellen können. Mit Mutation-Testing erhalten sie qualitativ aussagekräftigere Ergebnisse im Vergleich zu herkömmlichen Coverage-Tools.

Sichern Sie sich Ihren Frühbucher-Rabatt:  
[www.heise.de/ct/Events](http://www.heise.de/ct/Events)



# Wi-Fi 7: Netgear Mesh-Kit Orbi RBE9735

Das opulent ausgestattete 970er Orbi-System soff zwar an der Steckdose und zeigte kleine Macken, schoss im Test die Daten aber gigabitweise durch die Luft.

Von **Ernst Ahlers**

**M**it seinem WLAN-Kit Orbi RBE9735 ist der Mesh-Pionier Netgear nicht der erste Hersteller, der ein vermaschtes WLAN mit Wi-Fi 7 aufbaut: TP-Link preschte im Sommer 2023 vor und löste das Wi-Fi-7-Versprechen des Multigigabit-WLAN ein [1]. Mesh-WLAN-Systeme sollen in größeren Wohnungen das Internet ohne Geschwindigkeitseinbußen in die letzte Ecke bringen, indem ihre Nodes Daten untereinander weiterleiten und Client-Geräte über lokale Funkzellen schnell anbinden.

Nun treibt Netgear den Hardware-Einsatz auf die Spitze: Im Mesh-Router RBE971 stecken gleich vier Wi-Fi-7-Funkmodule, die Daten über vier MIMO-Streams schicken. Ein Modul im oberen 5-GHz-Band bedient den Mesh-Backbone (auch Backhaul), der die Nodes untereinander verbindet. Die anderen drei Funkmodule versorgen Clients in den WLAN-Bändern 2,4, 5 und 6 GHz.

Ans Internet koppelt der Router über einen 10-Gbit/s-Ethernet-Port. Ein zweiter sowie vier

2,5-Gbit/s-Ports führen ins LAN. Die beiden „Satelliten“ funken mit derselben WLAN-Ausstattung, müssen als Mesh-Repeater aber mit halb so vielen LAN-Ports auskommen (1 × 10GE, 2 × 2G5).

Wer die maximalen Bruttoraten der Client-WLAN-Schnittstellen summiert, kommt auf 18,4 Gbit/s. Damit sind die 10-GE-Ports nominell überfordert. Doch da die meisten heute üblichen Wi-Fi-7-Clients nur mit zwei MIMO-Streams funken und netto bestenfalls rund 70 Prozent übrig bleiben, sollten in der Praxis auch dann keine Stausituationen auftreten, wenn auf drei Bändern gleichzeitig voller Durchsatz fließt.

Die Messwerte bestätigen das: Selbst für den Mesh-Backbone mit untypisch exzellenter Verbindung über Sicht reichte ein 10GE-Link im Test. Wir konnten im Maximum mit mehreren TCP-Streams 7,3 Gbit/s zwischen Router und Repeater übertragen; dabei funkten die Geräte in zwei Bändern (5 und 6 GHz) gleichzeitig (MLO-MLMR [2]). Mit einem TCP-Stream, also einem Down- oder Upload, waren es immerhin 4,4 Gbit/s.

Bei alltagsnäherem Einsatz über 20 Meter durch Wände strömten immer noch sehr hohe 2,0 bis

2,2 Gbit/s, wobei der Gewinn durch mehrere TCP-Streams mit circa 10 Prozent weit kleiner ausfiel. Das neue Kit taugt also nicht nur, um auch sehr schnelles Glasfaser-Internet in der Wohnung drahtlos weiterzuleiten; die ersten deutschen Provider bieten bis zu 2 Gbit/s im Downstream an. Es transportiert Daten auch innerhalb des Heimnetzes viel flinker, etwa vom Notebook aufs NAS. Netgears Wi-Fi-6E-Vorgänger RBK963 kam in derselben Situation nämlich nur auf rund ein Drittel (750 bis 830 Mbit/s [3]).

## Client-Performance

Netgears Kit funkt nicht nur untereinander mit Multi-Link Operation (MLO), sondern bedient auch kompatible Clients mit MLMR (Multi-Link Multi-Radio) wie im Backbone oder in der Spielart EMLSR (Enhanced Multi-Link Single Radio): Damit können Clients in mehreren Funkbändern gleichzeitig eine logische Verbindung halten und anstehende Daten dynamisch über den jeweils besseren Link schicken.

So sinkt im Schnitt nicht nur die Latenz, weil eines der beiden Bänder tendenziell eher frei ist. Auch wird die Verbindung stabiler: Falls die Basis im einen Band den Kanal wechseln muss, fließen die Daten nahtlos im anderen weiter, wenn auch eventuell langsamer.

Weil MLO denselben Funknetznamen in allen Bändern voraussetzt, lassen sich beim Wi-Fi-7-Orbi keine unterschiedlichen Namen einstellen. So konnten wir den Client-Durchsatz nicht getrennt messen, sondern nur im 6-GHz-Band.

Unseren Wi-Fi-7-Client versorgte der Orbi-Router in der Nähe mit fast 3 Gbit/s. Mit mehreren TCP-Streams kletterte der über mehrere 30-Sekunden-Durchläufe gemittelte Downstream sogar auf knapp 3,8 Gbit/s; dabei reichten einzelne Sekundenwerte bis 4,4 Gbit/s hoch.

Über 20 Meter durch Wände sackte der Durchsatz naturgemäß deutlich ab: Knapp 500 Mbit/s bei günstiger Ausrichtung von Router und Client sind aber ein gutes Stück mehr als die rund 360 Mbit/s des Vorgängers.

## Weitergereicht

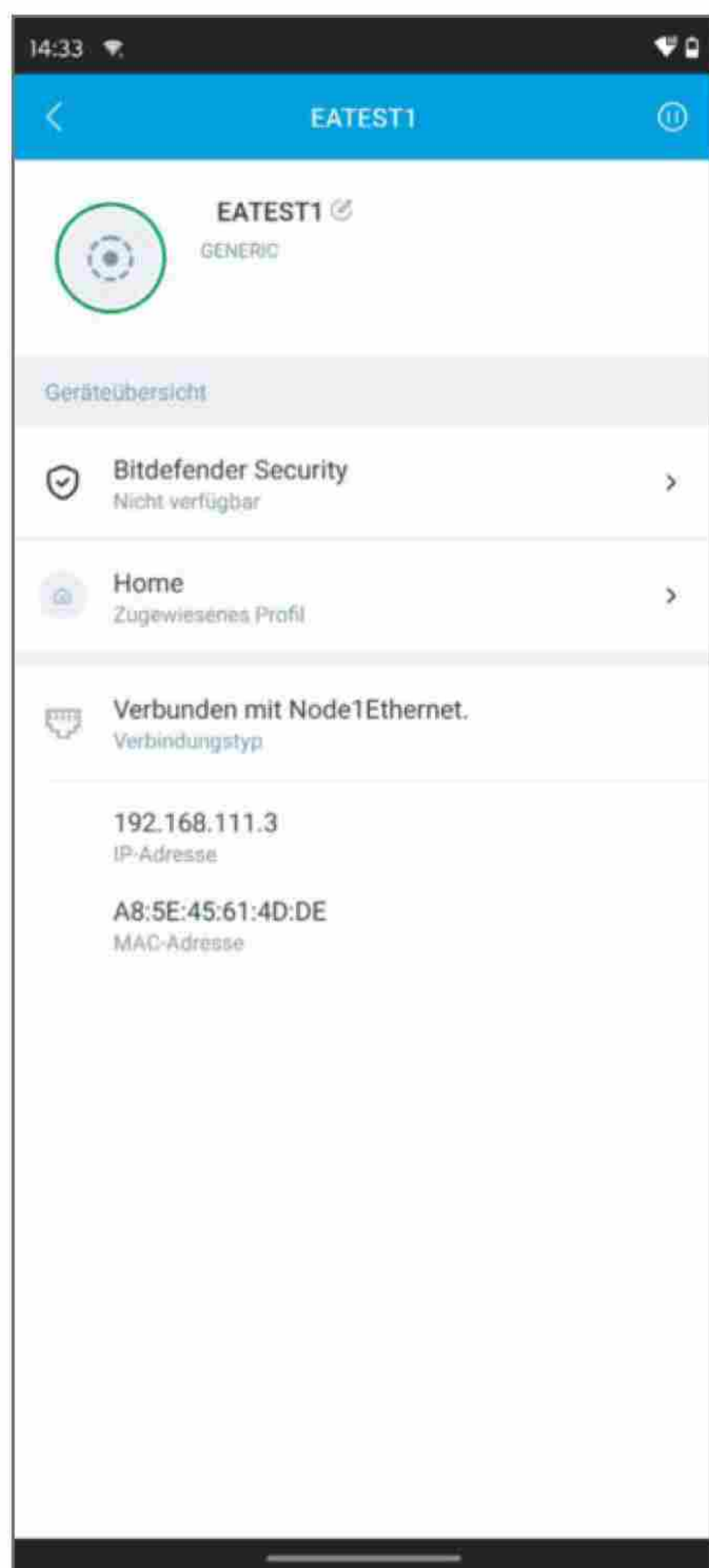
Im Repeater-Betrieb über einen Node hinweg zeigte sich die während des Tests erschienene Firmware 9.12.3.3 kapriziös: Über den WLAN-Backbone hinweg kam die Verbindung zum Notebook nicht auf Touren, sodass der Durchsatzmittelwert mit 82 Mbit/s viel zu niedrig war. Netgear antwortete



**Der Orbi-Router für Wi-Fi 7 hat zwei extraschnelle Ethernet-Ports mit 10 Gbit/s für Internet und LAN, an vier weitere kann man langsame Geräte anschließen, die bis zu 2,5 Gbit/s bekommen. Die „Satelliten“ haben als Mesh-Repeater halb so viel Anschlüsse.**

bis Redaktionsschluss nicht auf den Hinweis; wir vermuten einen Bug.

War der Repeater-Node per LAN-Kabel mit dem Router verbunden und lief als Access-Point, dann kletterte der Durchsatz zwar (290 Mbit/s), blieb aber noch etwas unter dem der vorigen Firmware (360 Mbit/s). Deshalb nennen wir in der Tabelle ersatzweise die mit 9.12.2.1 gemessenen Werte. Das Wi-Fi-6E-Kit erreichte im 6-GHz-Band in dieser Situation seinerzeit



**Die Orbi-App zeigt nicht nur die Mesh-Topologie, sondern zu jedem Client auch, über welches Medium (LAN oder WLAN) und mit welcher Adresse er im Netz hängt.**

230 beziehungsweise 270 Mbit/s, war also nur wenig langsamer.

Windows 11 fremdelt derzeit noch mit MLO. Es soll die Funktion bis zum Jahresende per Update erhalten.

## Einrichtung und Routerbetrieb

Netgears Orbi-Systeme lassen sich erfreulicherweise nicht nur per App (mit Online-Kontozwang) einrichten, sondern auch per Browser konfigurieren. Den braucht man nach wie vor, wenn der Orbi-Router über ein externes Modem an einem Netz laufen soll, das VLAN-Tagging für den Internetzugang über das PPPoE-Protokoll verwendet, beispielsweise das VDSL- und Glasfasernetz der Deutschen Telekom.

Das Aktivieren oder Ändern der VLAN-ID geht in der App nicht. Außerdem erzwingt sie ein Onlinekonto und drängt penetrant zu kostenpflichtigen Abofunktionen wie Smart Parental Controls (Inhaltefilter, App-Blockaden und Zeitbeschränkung für Kinder) oder Netgear Armor (Bitdefender-Malwarefilter im Router, Security-App auf Clients).

Hat man diese Hürde übersprungen, muss man noch IPv6 aktivieren und das Deaktivieren des IGMP-Proxys aufheben, damit das moderne Internetprotokoll und Multicast-IPTV (MagentaTV) im Orbi-(W)LAN verfügbar werden. Wie bei Netgear leider üblich, reicht Orbi kein IPv6-Präfix an nachgeschaltete Router weiter (DHCPv6-PD).

Zu tadeln ist auch, dass die App auf das ab Werk deaktivierte Gastnetz nicht hinweist und dass sie das IoT-Netz für Smart-Home-Geräte mit demselben Passwort wie im Hauptnetz einschaltet. Die Netze nutzen alle denselben lokalen IPv4-Adressbereich, Firewallregeln in den Orbi-Nodes trennen die Clients unterschiedlicher Gruppen voneinander. IPv6 und Multicast-IPTV gibt es im Gastnetz nicht.

## Energieumsatz

Netgear hat seinem neuen Orbi-System leistungsfähige Hardware spendiert: Den Beacons nach (Anwesenheitssignale im WLAN) läuft ein Qualcomm-Chipsatz in Router und Satelliten, wahrscheinlich die „Immersive Home Platform 1620“. Dessen System-on-Chip enthält vier mit 2,2 GHz getaktete ARM-Cortex-A73-Kerne, was sich mit Netgears Angaben im Orbi-Datenblatt deckt.

Deren Leistung reichte im Test, um beim NAT-Benchmark die 10-GE-Schnittstellen des Routers mit 9,4 Gbit/s (DHCP) ans Limit zu treiben. Mit PPPoE waren es „nur“ 7,2 Gbit/s im Downstream, doch das genügt

## Literatur

[1] Ernst Ahlers, WLAN zieht davon, Wi-Fi 7: Die nächste WLAN-Generation funkt extra-schnell, c't 16/2023, S. 12

[2] Sebastian Max, Guido R. Hiertz, Mit dem Siebten funkt man besser, Wie Wi-Fi 7 funktioniert, woran man die besten Kandidaten erkennt, c't 4/2024, S. 56

[3] Ernst Ahlers, WLAN-Exzess, Netgear Orbi RBK963: Mesh-Kit mit Wi-Fi 6E, c't 9/2022, S. 106

[4] Ernst Ahlers, Schnellstarter, Vier Wi-Fi-7-Basen mit drei Clients getestet, c't 4/2024, S. 50

## Netgear Orbi RBK973

### Mesh-WLAN-System

Hersteller, URL	Netgear, <a href="http://www.netgear.de">www.netgear.de</a>
WLAN	4 × Wi-Fi 7 (4) alias IEEE 802.11be-1150 / be-5760 / be-8640 / be-11520, WPA3, WPS, DFS, MLO (EMLSR, MLMR)
Anschlüsse Router	6 × RJ45 (2 × 10GE, 4 × 2G5)
Anschlüsse Repeater	3 × RJ45 (1 × 10GE, 2 × 2G5)
Bedienelemente	Koppeln (Sync), Reset, 1 Statusleuchte
getestete Firmware	9.12.3.3
NAT-Perf. PPPoE (DS / US)	7,2 / 9,4 Gbit/s
IP-zu-IP (DS / US)	9,4 / 9,4 Gbit/s
WLAN 6 GHz nah / 20 m <sup>1</sup>	2760 / 297–472 Mbit/s
Backbone-Durchsatz 20 m	2,0–2,2 Gbit/s
Client-Durchsatz 26 m 6 GHz <sup>1</sup>	(213 Mbit/s) <sup>2</sup>
mit Repeater am LAN	(359 Mbit/s) <sup>2</sup>
Leistungsaufnahme System <sup>3</sup>	52,5 W
jährliche Stromkosten <sup>3</sup>	184 €
Preis	2400 € (3 Geräte)

<sup>1</sup> gegen Intel BE200 (Dell XPS 13, Modell 9340, Treibervers. 23.50) <sup>2</sup> siehe Text <sup>3</sup> idle, am Router ein Port mit 1GE belegt, an Nodes keiner, Dauerbetrieb, 40 ct/kWh, gerundet

in der nächsten Glasfaserausbaustufe (XGS-PON mit 10 Gbit/s) immerhin für einen Tarif mit 5 Gbit/s.

Die Hardwarepracht forderte an der Steckdose ihren Tribut: Das Dreiersystem soff in Bereitschaft (Idle) mit der Minimalbeschaltung (ein 1-Gbit/s-Link am Router) fast 53 Watt, was bei 40 Cent/Kilowattstunde und Dauerbetrieb auf 184 Euro jährlich hinausläuft.

Der Router gönnte sich dabei knapp 19 Watt, die Satelliten zogen jeweils knapp 17 Watt. Bei Vollbelegung aller Ports mit maximaler Linkrate wurden es 26 Watt am Router und 20 an den Satelliten. Ein performantes Wi-Fi-7-Mesh ist damit auch nach

der Anschaffung kein Billigangebot. Die Geräte wurden im Test spürbar warm, doch genügt die Konvektionskühlung. Einen Lüfter bekamen wir nicht zu Gehör.

## Fazit

Für sein modernstes Mesh-System ruft Netgear mit 2400 Euro einen stolzen Preis auf, liefert aber auch ein sehr leistungsfähiges WLAN, wenngleich noch mit kleinen Macken. Die sollten bald per Firmware-Update verschwinden; nur die hohen Energiekosten bleiben. (ea) **ct**



## TECHNIKUNTERRICHT MACHT ENDLICH SPAS!

### Make:Education

Mit **Make Education** erhalten Sie jeden Monat kostenlose Bauberichte und Schritt-für-Schritt-Anleitungen für einen praxisorientierten Unterricht:



Für alle weiterführenden Schulen



Fächerübergreifend



Digital zum Downloaden



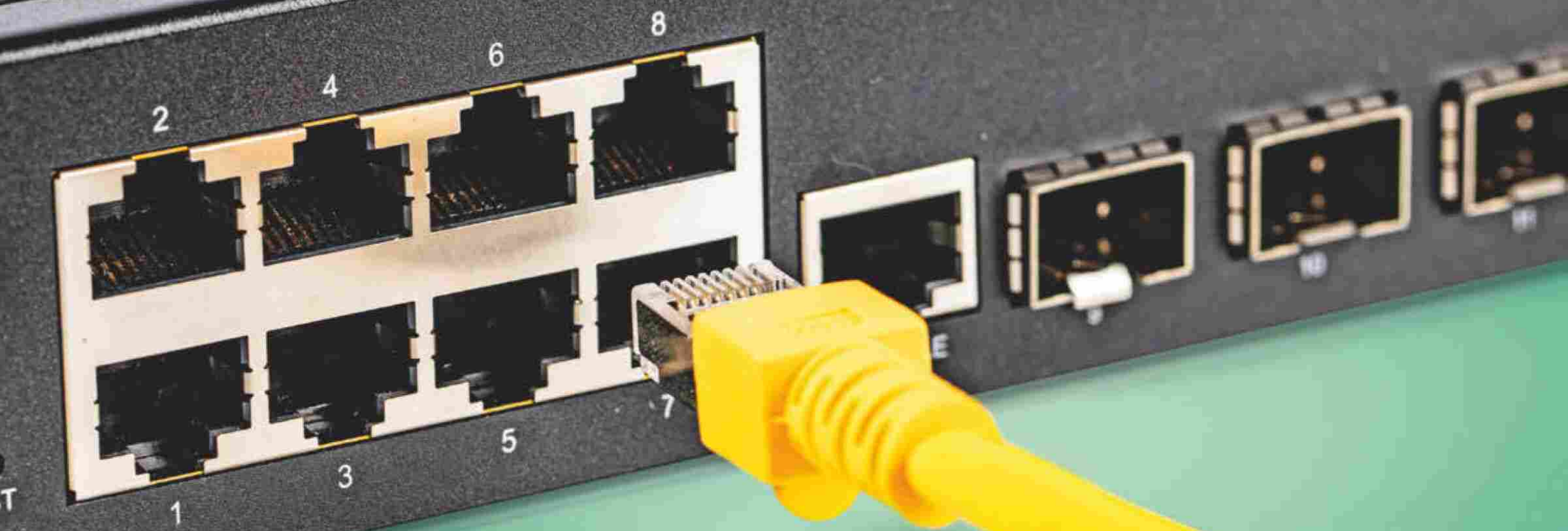
Monatlicher Newsletter

Jetzt kostenlos downloaden: [make-magazin.de/education](https://make-magazin.de/education)

# Wie man das LAN auf Trab bringt

Der neue Netzwerkspeicher kann schnelles Ethernet mit 2,5 Gbit/s und Ihr moderner PC auch, aber trotzdem laufen Transfers großer Dateien noch mit lahmen 115 MByte/s? Das muss nicht sein.

Von **Ernst Ahlers**



Wie man das LAN auf Trab bringt	70
Schlaue Multigigabit-Switches	74
Admin-Know-how: Ethernet-Switches	80
Switches für schnelles Ethernet	88
Multigigabit-Ethernet für Synology-NAS	94
LAN-Träber	101
Freifunk: Communities, Router, Meshing	102

**E**s gibt zahlreiche Gründe, das LAN zu beschleunigen und das klappt ohne besondere Kenntnisse im Handumdrehen: Ersetzen Sie einfach den alten Gigabit-Ethernet-Switch durch ein modernes Pendant. So verdoppeln Sie mal eben den maximalen Durchsatz von 115 auf 230 MByte/s. Neue Kabel müssen Sie dafür nicht verlegen. Lässt sich der Switch nicht wechseln, weil er im Router steckt, dann stellen Sie dem eben einen neuen flinken zur Seite.

Prinzipiell hat man zwar die Wahl zwischen Switches für 2,5, 5 und 10 Gbit/s, aber am ehesten lohnt sich das Upgrade vom üblichen 1 Gbit/s (1G) auf 2,5 Gbit/s (2G5). Brauchbare 2G5-Switches sind seit einigen Monaten für weniger als 100 Euro erhältlich (siehe Artikel „Switches für schnelles Ethernet“). Ein schneller Switch beschleunigt zwar jeden Netzwerkdialog, aber der Zeitgewinn macht sich besonders bei Zugriffen auf große Videos, auf Bilddatenbanken, bei Backups oder beim Verschieben von VM-Images bemerkbar.

Außerdem legen Sie mit einem 2G5-Switch die Grundlage für das nächste WLAN-Upgrade, denn schon Wi-Fi 6 kann unter günstigen Umständen mehr als 1 Gbit/s an Mobilgeräte schicken. Wi-Fi 6E verdoppelt das sogar, wenn zwei Clients in verschiedenen Frequenzbereichen (5 und 6 GHz) gleichzeitig Daten übertragen. Wenn solcher Verkehr über einen 1G-Switch läuft, drosselt der die Datenrate auf sein Niveau herunter.

Der sich jetzt ausbreitende neue WLAN-Standard Wi-Fi 7 schaffte in unserem Test im 6-GHz-Funkband im Mittel schon 2,7 Gbit/s, in Spitzen sogar knapp 4 Gbit/s [1]. Eine Wi-Fi-7-Basis sollte also mindestens

einen 2G5-Anschluss bekommen, damit das Kabelnetz das WLAN nicht ausbremst. Hat sie drei Funkmodule für drei Frequenzbereiche, dann ist 5G-Ethernet ratsam. Gut ausgestattete Wi-Fi-7-Access-Points haben ab Werk sogar 10G-Schnittstellen.

Schließlich deutet sich die nächste Beschleunigung der Internetzugänge an: Die TV-Kabelprovider könnten schon mit dem in ihren Netzen ausgebauten DOCSIS 3.1 locker mehr als 1 Gbit/s liefern, Upgrades auf DOCSIS 4.0 mit 10 Gbit/s werden gewiss kommen.

Manche Glasfaseranbieter wie Deutsche Gigasetz und DNS:NET offerieren bereits Zugänge mit 2,5 Gbit/s, dem Maximum, das die aktuelle Technik erlaubt (Gigabit Passive Optical Network, GPON). Die Deutsche Telekom vermarktet die nächste Generation (XGS-PON für 10 Gbit/s) schon in ausgewählten Orten, zunächst nur mit 2 Gbit/s im Downstream und 1 Gbit/s in Gegenrichtung. Wer seinen Internetzugang darauf hochstufte, will Down- und Uploads nicht im eigenen Netz ausbremsen und braucht mindestens 2G5-Ethernet.

Der Beitrag „Schlaue Multigigabit-Switches“ schildert praktische Aspekte beim Einsatz von Multigigabit-Switches. Außerdem führen wir 13 Kandidaten auf, die als konfigurierbare Switches auch höhere Ansprüche erfüllen. Dazu zählen das Versorgen von WLAN-Basen oder Kameras übers LAN-Kabel mit Energie (Power over Ethernet, PoE), das Einrichten von Netzwerkzonen (VLANs) oder die Netzwerkdiagnose. Im Artikel „Admin-Know-how: Ethernet-Switches“ erläutern wir Switchfunktionen im Detail, was Auswahl und Bedienung erleichtert.

**PCs und Notebooks bringt man das schnelle Netz mit einer Einbaukarte oder einem USB-Adapter bei. USB ist einfacher, schafft aber 5G-Ethernet derzeit nicht verlustfrei hinüber.**



## Typische Datenraten von Netztechniken und PC-Schnittstellen

Technik	Standard	Bruttodatenrate <sup>1</sup>	Nettodatenrate <sup>2</sup>	in MByte/s <sup>2</sup>
NFC	ISO/IEC 14443 / 15693	0,0004 Gbit/s	0,0004 Gbit/s	0,05 MByte/s
Bluetooth	2.1/3.0/4.2/5.3 (EDR)	0,003 Gbit/s	0,0021 Gbit/s	0,26 MByte/s
Fast Ethernet	100Base-T	0,1 Gbit/s	0,094 Gbit/s	bis 11 MByte/s
WLAN	Wi-Fi 4 (IEEE 802.11n)	0,072–0,3 Gbit/s	0,036–0,15 Gbit/s	bis 20 MByte/s
USB	2.0 <sup>3</sup>	0,48 Gbit/s	0,38 Gbit/s	bis 45 MByte/s
WLAN	Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac)	0,433–1,73 Gbit/s	0,24–1,05 Gbit/s	bis 130 MByte/s
Gigabit-Ethernet	1000Base-T	1 Gbit/s	0,94 Gbit/s	bis 115 MByte/s
WLAN	Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax)	0,6–2,4 Gbit/s	0,3–1,6 Gbit/s	bis 190 MByte/s
Multigigabit-Ethernet	NBase-T 2.5	2,5 Gbit/s	2,4 Gbit/s	bis 280 MByte/s
USB	3.0 = 3.2 Gen 1 <sup>3</sup>	5 Gbit/s	4,0 Gbit/s	bis 480 MByte/s
Multigigabit-Ethernet	NBase-T 5	5 Gbit/s	4,7 Gbit/s	bis 560 MByte/s
SATA	3 (6G) <sup>3</sup>	6 Gbit/s	4,5 Gbit/s	bis 560 MByte/s
WLAN	Wi-Fi 7 (IEEE 802.11be)	0,7–11,5 Gbit/s	0,5–8,0 Gbit/s	bis 1000 MByte/s
USB	3.2 Gen 2 <sup>3</sup>	10 Gbit/s	8,0 Gbit/s	bis 1100 MByte/s
10-Gigabit-Ethernet	10GBase-T/SR/LR	10 Gbit/s	9,4 Gbit/s	bis 1100 MByte/s
USB	3.2 Gen 2x2 <sup>3</sup>	20 Gbit/s	17 Gbit/s	bis 2100 MByte/s
25-Gigabit-Ethernet	25GBase-T/xR <sup>4</sup>	25 Gbit/s	24 Gbit/s <sup>5</sup>	bis 2900 MByte/s <sup>5</sup>
40-Gigabit-Ethernet	40GBase-T/xR <sup>4</sup>	40 Gbit/s	38 Gbit/s <sup>5</sup>	bis 4600 MByte/s <sup>5</sup>
100-Gigabit-Ethernet	100GBase-T/xR <sup>4</sup>	100 Gbit/s	94 Gbit/s <sup>5</sup>	bis 11.000 MByte/s <sup>5</sup>

<sup>1</sup> hängt bei WLAN in der Praxis von der Hardwareausstattung der Geräte (Anzahl Antennen) sowie des verwendeten Funkbandes, der nutzbaren Signalbreite und der Entfernung ab

<sup>2</sup> für große Dateien bei Ethernet und WLAN, bei WLAN stark von der Belegung des Funkbandes durch Nachbarnetze beeinflusst

<sup>3</sup> Nettodatenrate abhängig von Chipsätzen in PCs und Massenspeichern <sup>4</sup> verschiedene Medientypen, Kupfer nur über wenige Meter <sup>5</sup> hochgerechnet

## Alte Kabel können doch

Das Schöne bei Multigigabit-Ethernet ist, dass es auf alten Leitungen funktioniert: Der zugehörige Standard NBase-T (IEEE 802.3bz) liefert selbst über CAT5e-Kabel 5 Gbit/s. Dabei war dieser Leitungstyp ursprünglich nur für 1 Gbit/s bis 100 Meter ausgelegt. Erst bei 10 Gbit/s (10GBase-T) braucht man für die maximale Distanz mindestens CAT6a.

Bei einem Neubau oder einer Renovierung sollte jeder Raum zwei Netzwerkdosen bekommen. Idealerweise landen die Datenleitungen in Flexrohren, die der Elektriker mitverlegt. Dann kann man später Kabel tauschen, ohne Wände aufzustemmen.

Wer an die ferne Zukunft denkt, sieht CAT8 vor, das wahrscheinlich auch 40 Gbit/s über kurze Strecken schafft. Allen anderen wird das günstigere CAT7 genügen. Damit zwei Leitungen durchs Flexrohr passen, sollte das mindestens 17,5 Millimeter Innendurchmesser haben (Typ EN 25).

Handwerklich Geschickte können beim Netzbau Geld sparen, indem sie die Leitungen selbst in die Flexrohre einziehen und sie auf die Verteilerleiste

im Netzwerkschrank und auf die Dosen auflegen. Grundlegendes Wissen dazu vermittelt unser Beitrag „Sparverdrahtung“ [2].

## Glas statt Kupfer

Ethernet über Kupferkabel mit RJ45-Stecker dürfte absehbar die Standardausstattung für stationäre Büro- und Heimelektronik bleiben, bietet es doch eine stabilere und dauerhaft schnellere Verbindung als WLAN.

Glasfaserleitungen als Kupferalternative sollte man in kleinen Firmen und daheim dennoch nicht ganz aus dem Auge verlieren: Sind beispielsweise Nebengebäude anzubinden oder mehrere Stockwerke zu überbrücken, dann vermeidet der Optiklink jegliche Probleme aufgrund von Potenzialunterschieden verschiedener Stromversorgungszweige. Mehr Reichweite, bei 10GBase-SR für 10 Gbit/s auf Multimodefasern schon bis zu 500 Meter, gibt es obendrein.

Beim Netzaufgrade sind SFP+ Slots am Switch kein Zierat, selbst wenn Sie anfangs keine Optik brauchen.



Der Slot kann bei Portmangel mit einem NBase-T-Modul auch zur zusätzlichen Kupferbuchse werden.

## PC-Upgrade

Wer einen älteren Rechner mit einer neuen Netzwerkkarte beschleunigen möchte, findet zahlreiche 2G5-Karten ab 20 Euro. Vor wenigen Wochen ist die erste 5G-Karte für rund 50 Euro erschienen (Delock 81260, siehe Artikel „LAN-Traber“). NBase-T-Karten, die bis 10 Gbit/s hochgehen, gibt es aber schon ab 70 Euro.

USB-Adapter, die das Aufrüsten erleichtern, lohnen sich derzeit nur für 2G5. Zwar eignen sich manche Exemplare auch für 5G-Ethernet. Aber sie nutzen USB 3.2 Gen 1 mit 5000 Mbit/s. Dabei geht wegen Timingreserven im USB-Protokoll etwas Geschwindigkeit verloren, mehr als 3,5 Gbit/s Netzwerkdurchsatz darf man nicht erwarten.

Bisher sind uns keine Ethernet-Adapter für USB 3.2 Gen 2x2 untergekommen, die mit 20 Gbit/s auf der USB-Seite bis zu 10 Gbit/s aus dem LAN in den PC bringen würden. Die bisher erhältlichen USB-4-Hubs mit Ethernet-Port bieten nur 2G5. Wer mehr will, muss nach Thunderbolt-Docks Ausschau halten, die aber mindestens 200 Euro kosten.

Wenn wir 2G5 oder 5G als Abkürzung für 2,5- beziehungsweise 5-Gbit/s-Ethernet schreiben, schließt das übrigens die niedrigeren Geschwindigkeitsstufen 100 Mbit/s und 1000 Mbit/s alias 1GE ein. Denn die Ethernetstandards bauen aufeinander auf und Rückwärtskompatibilität zu den wichtigsten Vorgängern ist Pflicht.

## Geld und Strom

Mehr Geschwindigkeit kostet mehr: Einfache Multi-gigabit-Switches für 2,5 Gbit/s mit einer Handvoll Ports bekommt man derzeit ab ungefähr 70 Euro, während ihre Gigabit-Ethernet-Pendants gerade mal einen Zwanziger kosten. Der Preisaufschlag dürfte mit steigenden Stückzahlen schrumpfen.

Für die konfigurierbaren Varianten muss man ebenfalls mehr ausgeben (siehe Artikel „Schlaue Multigigabit-Switches“). Bei PoE-Switches ist der Unterschied kleiner, weil der Grundpreis wegen der zusätzlichen Elektronik ohnehin höher ist.

Auch bei den laufenden Kosten muss man drauflegen: Während ein Port mit 1000-Mbit/s-Verbindung (Gigabit-Ethernet) ungefähr 0,3 Watt braucht, sind es bei 2G5 schon rund 0,8 Watt. Die Leistungsaufnahme klettert näherungsweise linear, bei 10 Gbit/s werden ungefähr 2 Watt am Kupferport fällig.

Je mehr schnelle Teilnehmer am Switch hängen, desto höher ist also seine Leerlaufleistungsaufnahme (Idle). Die gezogene Leistung klettert indes kaum, wenn der Switch aktiv Daten vermittelt. Ausschlaggebend für die Stromrechnung ist also der Idle-Bedarf. Als Grundverbrauch einfacher 2G5-Switches maßen wir 2 bis 5 Watt mit einem 1G-Link (siehe Artikel „Switches für schnelles Ethernet“).

Die Netzbeschleunigung in Heim und Büro gibts also nicht zum Nulltarif. Aber wer sie sich gönnt, schont seine Nerven beim Kopieren großer Dateien und kann den schnelleren Internetzugang von morgen und übermorgen ausschöpfen. (ea) **ct**

### Literatur

[1] Ernst Ahlers, Schnellstarter, Vier Wi-Fi-7-Basen mit drei Clients getestet, c't 4/2024, S. 50

[2] Andrijan Möcker, Sparverdrahtung, Günstige, schnelle Netzwerkverkabelung für Haus und Wohnung, c't 14/2023, S. 136

Es gibt **10** Arten von Menschen.  
iX-Leser und die anderen.

# WHAT IS AVAXHOME?

# AVAXHOME-

the biggest Internet portal,  
providing you various content:  
brand new books, trending movies,  
fresh magazines, hot games,  
recent software, latest music releases.

Unlimited satisfaction one low price

Cheap constant access to piping hot media

Protect your downloadings from Big brother

Safer, than torrent-trackers

18 years of seamless operation and our users' satisfaction

All languages

Brand new content

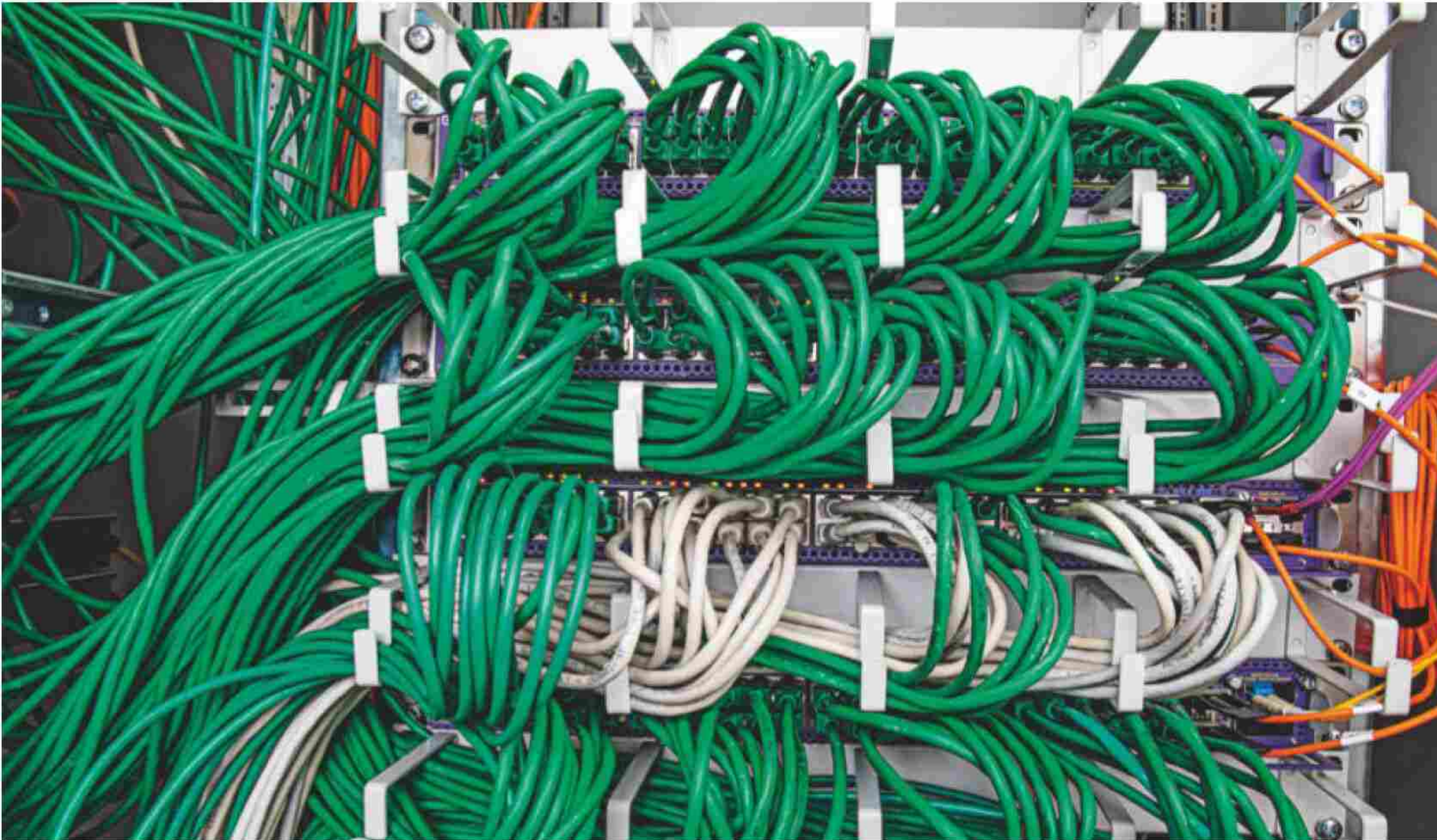
One site



# AVXLIVE . ICU

AvaxHome - Your End Place

We have everything for all of your needs. Just open <https://avxlive.icu>



# Schlaue Multigigabit-Switches

Multigigabit-Ethernet sichert Backups schneller und kopiert VM-Images flinker als Gigabit-Ethernet. Manchmal braucht ein Switch aber auch etwas Hirn zu den Muskeln. Solche konfigurierbaren Netzverteiler sind nun auch mit 2,5 Gbit/s erschwinglich, wir haben typische Vertreter herausgesucht.

Von **Ernst Ahlers**

**E**infache Switches für 2,5 Gbit/s (2G5) sind inzwischen deutlich unter 100 Euro zu haben [1]. Warum also mehrere hundert Euro ausgeben? Die Antwort zerfällt in mehrere Teile, die wir im Folgenden abhandeln: Energie, Teile & Herrsche, Diagnose.

Für diesen Artikel haben wir im April 2024 den Markt auf konfigurierbare Multigigabit-Switches abgeklopft und die wichtigsten Merkmale von 13 typi-

schen Produkten in der Tabelle „Konfigurierbare Switches für Multigigabit-Ethernet“ zusammengefasst. Fragwürdige Angebote aus Onlinekatalogen blieben draußen, weil bei denen nicht sicher ist, ob es sie in einem halben Jahr noch gibt und ob man dafür jemals Firmwareupdates bekommt.

Wenn Sie Ihr LAN ertüchtigen wollen, müssen Sie zunächst den Portbedarf erfassen: Zählen Sie alle Geräte, die einen RJ45-LAN-Port haben und vor allem

jene, die bisher drahtlos per WLAN laufen, aber auch Ethernet-Anschlüsse haben. Denn jedes Gerät, das Sie aus dem WLAN ins LAN umziehen, entlastet das Funkspektrum, sodass dort mehr Kapazität für die Mobilgeräte bleibt. Schlagen Sie auf die Summe noch 20 Prozent für Neuankömmlinge der nächsten Monate und Jahre auf. Die nächstgrößere Portzahl ist dann der Zielwert.

Schauen Sie auch, wie sich die Ports räumlich verteilen. Denn oft ist es in der Praxis einfacher, mit zwei oder mehr kleineren Switches Gruppen zu bilden, die über eine schnelle Leitung verknüpft werden.

Für die Verbindung zwischen den Switches kommt in der Regel eine Glasfaserleitung zum Einsatz. Die ist bei 10 Gbit/s energiesparsamer als Kupfer und überbrückt größere Distanzen: Beim innerhalb von Gebäuden gängigen 10GBase-SR-Standard sind es auf Multimodefasern je nach Modultyp 300 bis 550 Meter.

Bei Glasfaserleitungen (Lichtwellenleiter, LWL) denken viele an aufwendiges Verlegen und schwieriges Konfektionieren der Stecker. Doch das lässt sich im Kleinbüro und Heimnetz mit fertigen LWL-Patchkabeln vermeiden. Die gibt es als Multimode-

Ausführung (OM3 oder OM4) in Längen von einem bis mehrere hundert Meter, auch als armierte, also besonders robuste Ausführung oder als Erdleitung. Rechnen Sie bei langen Stücken mit ungefähr einem Euro pro Meter doppeladrigem Glasfaserleitung; vier-, acht- und zwölfadrigem Typen sind entsprechend teurer. Knifflig bleibt nur das Durchführen der Stecker durch Bohrungen.

## Datenhighway

Wer drei oder mehr Switches zu einem Ring zusammenschließt, um die Ausfallsicherheit zu erhöhen, aktiviert die Funktion Rapid Spanning Tree (RSTP). Sie erkennt und unterbricht Schleifen, die sonst zu Broadcast-Stürmen führen würden. Fällt eine Teilstrecke aus, reaktiviert RSTP den Reservelink binnen einer halben Sekunde, sodass alle Switches umgehend wieder verbunden sind [2].

Falls der Verkehr auf dem Backbone zunimmt, kann man bei Geräten mit vier SFP+-Slots zwei Verbindungen bündeln (Link Aggregation) und so den Durchsatz verdoppeln. Das erleichtert eine seit ein paar Jahren verbreitete Modulkategorie enorm: 10GBase-BX überträgt 10 Gbit/s über eine Faser mit verschiedenen Wellenlängen (Farben) für die Übertragungsrichtungen. Mit vier solcher Module kann man die beiden Fasern der vorhandenen Leitung für zwei Links nutzen. Zwar sind 10GBase-BX-Module etwas teurer als 10GBase-SR-Typen, aber das dürfte immer noch weit billiger sein, als neue Leitungen zu ziehen.

## SFP vs. SFP+

SFP- und SFP+-Module lassen sich im laufenden Betrieb tauschen (hot pluggable). Die Switches erkennen den Modultyp anhand einer Kennung, die über einen I2C-ähnlichen Zweidrahtbus läuft. Das nutzen manche Switchhersteller, um den Betrieb von Fremdprodukten zu blockieren.

Generische Module von Distributoren wie fs.com funktionieren typischerweise in den meisten Switches. Wer auf Nummer sicher gehen will, kauft mit dem Switch gleich SFP-Module derselben Marke. Viele Switches zeigen die Modulinformationen auf ihren Konfigurationsseiten an. Dort findet man beispielsweise Hersteller, Seriennummer und Typ sowie Betriebsparameter (Temperatur, optische Sende- und Empfangsleistung).

In SFP+-Slots für 10 Gbit/s kann man meistens auch SFP-Module für 1 Gbit/s betreiben. Eine Garantie gibt es aber nicht, es kommt auf den Versuch an.



**An die RJ45-Ports (links) der Switches hängt man PCs, Drucker, WLAN-Basen und andere Geräte. Die SFP+-Slots (rechts) nehmen Optikmodule oder DAC-Kabel auf. Der Console-Port gewährt dem Admin Zugang per serieller Schnittstelle, falls er sich beim Konfigurieren von VLANs vertan und aus dem Netz ausgesperrt hat.**



**Optikmodule für SFP- und SFP+-Slots haben typischerweise zwei LC-Buchsen für den Hin- und Rückweg über zwei Glasfaseradern (links). Bidi-Module brauchen nur eine Ader, sie senden beide Richtungen über unterschiedliche Wellenlängen. Mit einem NBase-T-Modul kann man einen schnellen zusätzlichen Kupferport nachrüsten und DAC-Kabel (rechts) verknüpfen Geräte im selben 19-Zoll-Gestell.**

Wenn es funktioniert, kann das den Switch-Port auf 1 Gbit/s festnageln. Ein hineingetauschtes 10-Gbit/s-Modul funktioniert dann nicht, sodass man den Switch neu starten oder manuell in seine Konfiguration eingreifen muss.

Umgekehrt müsste ein SFP+-Modul in einem SFP-Slot prinzipiell funktionieren. Aber das wäre unsinnig, da SFP-Module immer billiger sind als SFP+-Typen. Falls Sie einen Switch mit SFP-Slot mit Optikmodulen bestücken wollen, nehmen Sie SFP-Typen. Ein schneller Test dreier SFP+-Module in einem älteren Switch mit SFP-Slot scheiterte bei uns.

Setzen Sie ferner an beiden Seiten einer Glasfaserstrecke stets dieselben Modultypen ein, denn auf optischer Ebene gibt es üblicherweise keine automatische Aushandlung der Linkrate wie bei Kupferports (Autonegotiation). Ein 10GBase-SR-Modul wird keinen Link mit einem 1000Base-SR-Typ aufbauen.

## Strom neben Daten

Schnelle Kupferverbindungen erfordern zwar mehr Energie als Licht, aber sie können etwas, das über Glasfaser nicht geht: Energie per Power-over-Ethernet an das angeschlossene Gerät liefern, das dann keine Stromsteckdose in der Nähe braucht. Dazu legt der Switch bis zu 57 Volt Spannung auf die Datenleitungen und stellt bis zu 2 Ampere Strom bereit, das Ganze in verschiedenen Leistungsklassen für unterschiedliche Abnehmer.

VoIP-Telefone kommen mit den maximal 15 Watt des ersten IEEE-Standards 802.3af aus, der typischer-

weise als „PoE“ angegeben wird. WLAN-Basen (Access-Points) und Überwachungskameras genügen in der Regel maximal 30Watt (IEEE 802.3at, PoE+). 802.3bt (PoE++) speist bis zu 90Watt ins Kabel. Das reicht für einfache All-in-One-PCs, beispielsweise Point-of-Sale-Terminals.

Volle Last auf allen Ports ist eine Ausnahme. Denn die Switch-Elektronik für diesen Worst Case auszuliegen, ist teuer. Folglich begrenzen die Hersteller besonders bei Switches mit vielen Ports die Summenleistung auf einen kleineren Wert, den man bei der Belegung einhalten muss.

Dabei helfen mehrere einstellbare Parameter: Das Power-Limit gibt vor, wie viel Leistung ein Port höchstens abgibt. Der Wert orientiert sich an den oben genannten Leistungsklassen. Oft kann man auch Zwischenwerte wählen oder die Grenze frei eintragen.

Über die PoE-Priority legt man fest, welche Teilnehmer beim Erreichen der maximalen Summenleistung noch Strom bekommen sollen (Priority High) und welche abgeschaltet werden dürfen (Low). PoE-Profil erleichtern das Einstellen, wenn eine größere Flotte gleicher Geräte am Switch hängt. Dann braucht man nicht mehrere Parameter anzufassen, sondern kann per Ausklapper ein selbstdefiniertes Profil wählen.

Bei manchen Switches lässt sich auch ein Zeitraum (Time Range) vorgeben, während dem die Geräte versorgt werden. Das kann beim Energie sparen helfen: Nachts nicht benötigte Verbraucher, beispielsweise ein Teil der WLAN-Basen und VoIP-Telefone, schaltet der Switch automatisch ab.

## Literatur

- [1] Ernst Ahlers, LAN-Turbo für kleines Geld, Switches für schnelles Ethernet beschleunigen kleine Netze, c't 23/2023, S. 88
- [2] Monika Olschewski, Erweiterungen des Spanning Tree Protocol: ct.de/-1028147
- [3] Ernst Ahlers, Gute Zäune, gute Nachbarn, Getrennte Zonen im (W)LAN einrichten, c't 8/2017, S. 80
- [4] Ernst Ahlers, Fast eine Fritzbox, DSL-Router Keenetic Hero mit Mesh-WLAN-Controller, c't 26/2021, S. 86
- [5] Ernst Ahlers, Netzkünstler, Synology RT6600ax: Wi-Fi-6-Router mit Extras im Test, c't 12/2022, S. 72
- [6] Ernst Ahlers, Mehrzonal, OpenWrt als Router für mehrere Netzwerkzonen einrichten, c't 9/2019, S. 158

Ein PoE-Watchdog alias PoE-Auto-Recovery hilft Netzwerkgeräten wieder auf die Beine, deren Firmware gelegentlich strauchelt: Der Switch pingt das Gerät an. Reagiert es nicht binnen einer einstellbaren Frist, weil es sich aufgehängt hat, trennt der Watchdog den Port für ein paar Sekunden vom Strom und startet so den blockierten Teilnehmer neu.

Wer nur wenige Geräte per PoE versorgen muss, fährt womöglich mit einer Handvoll Injektoren besser, denn PoE-fähige Switches sind deutlich teurer als ihre PoE-losen Kompagnons. Ein Injektor hat zwei Ethernetbuchsen und einen Stromeingang. Man schaltet ihn am Switch zwischen Port und Patchpanel, an dem die Wandleitung zum Zielgerät abgeht.

### Energie rausholen

Falls das zu versorgende Gerät PoE nicht beherrscht, kann man die Energie per „PoE-Splitter“ aus dem Ethernet-Kabel herausholen und über die übliche Buchse in das Gerät einspeisen. Solche Anzapfer gibt es für die verschiedenen Leistungsklassen und mit wählbarer Ausgangsspannung; die stellt man

auf die Eingangsspannung des Verbrauchers ein (siehe dessen Typenschild). Achten Sie darauf, dass ein Satz Steckadapter für unterschiedliche Kleinspannungsbuchsen (DC) beiliegt.

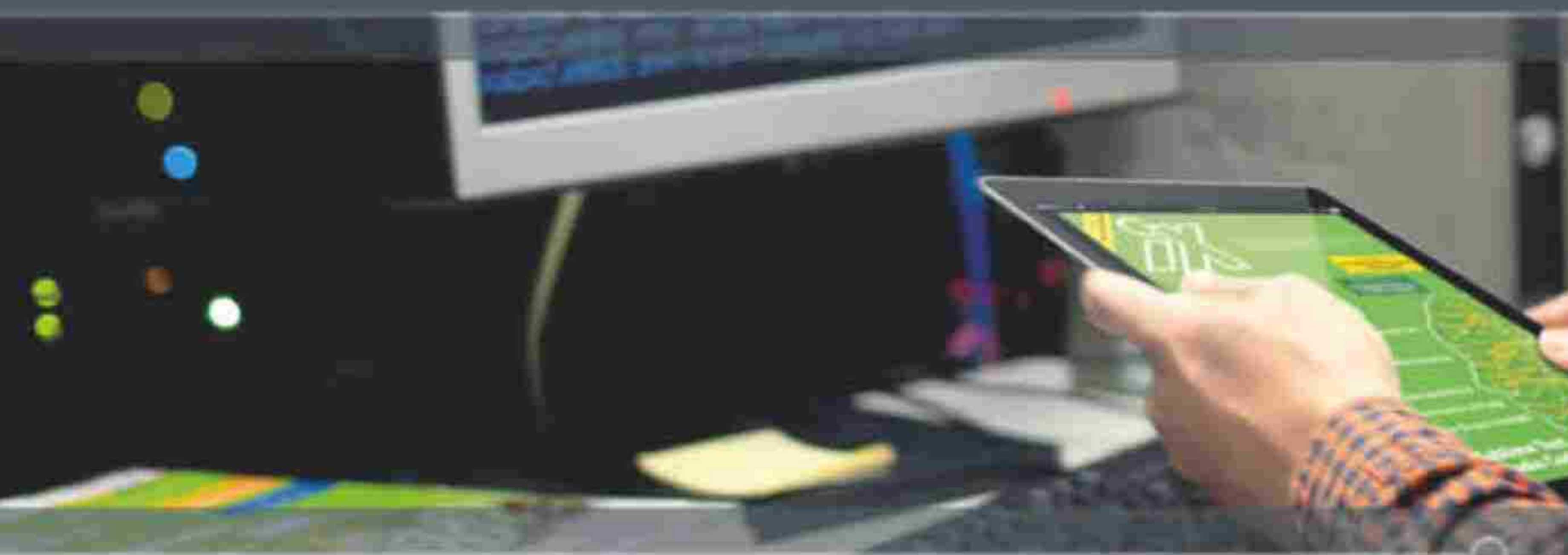
Ganz frische Exemplare haben statt eines Kabelausgangs eine USB-C-PD-3.0-Buchse, die auf Anforderung des Verbrauchers eine ihm genehme Spannung zwischen 5 und 24 Volt abgibt. So liefert beispielsweise der LevelOne POS-5001 bis zu 45 Watt.

Stellen Sie bei allen Splitter-Kandidaten sicher, dass sie sich mindestens für Gigabit-Ethernet (1000 Mbit/s) eignen. Manche Exemplare leiten nur zwei der vier Adernpaare durch und begrenzen damit die Datenrate auf lahme 100 Mbit/s (0,1 Gbit/s, Fast Ethernet).

### Zonenfähigkeit

Mehrere Netzwerkzonen erlauben, den Verkehr verschiedener Nutzergruppen im LAN zu trennen [3]. Die Ethernettechnik dafür heißt VLAN (Virtual Local Area Network), mehr darüber im folgenden Beitrag „Admin-Know-how: Ethernet-Switches“.

## Es gibt **10** Arten von Menschen. iX-Leser und die anderen.



**Jetzt Mini-Abo testen:**  
3 digitale Ausgaben + Bluetooth-Tastatur nur 19,35 €  
[www.iX.de/digital-testen](http://www.iX.de/digital-testen)



[www.iX.de/testen](http://www.iX.de/testen)



49 (0)541 800 09 120



[leserservice@heise.de](mailto:leserservice@heise.de)



## Konfigurierbare Switches für Multigigabit-Ethernet

Hersteller	Cisco	D-Link	Draytek	EnGenius	Lancom Systems	Mikrotik	Netgear
Modell	CBS350-8MP-2X	DMS-1100-10TP	PQ2200xb	ECS2512	GS-3528XP	CRS310-8G+2S+IN	MS108EUP
<b>Hardware-Ausstattung</b>							
Kupferports	8 × 2G5, 2 × 10G	8 × 2G5	16 × 2G5	8 × 2G5	12 × 2G5, 12 × 1G	8 × 2G5	8 × 2G5
SFP+-Slots / Shared	2 / ✓	2 / –	4 / –	4 / –	4 / –	2 / –	– / –
Power-over-Ethernet / max. Gesamtleistung	4 × 60 W, 4 × 30 W / 240 W	8 × 30 W / 240 W	4 × 90 W, 12 × 30 W / 400 W	– / –	24 × 30 W / 370 W	– / –	4 × 60 W, 4 × 30 W / 240 W
Stacking-Ports	✓ (via SFP+)	–	–	–	–	–	–
Management-Ports	Seriell (RJ45), USB	–	Seriell (RJ45)	Seriell (RJ45)	Seriell (RJ45)	USB	–
Lüfterlos	–	–	–	k. A.	–	–	✓
<b>Switching-Funktionen</b>							
Management per CLI / Browser	✓ / ✓	– / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	– / ✓
sichere Kanäle / auch per IPv6	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / –
RSTP / MSTP	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	– / –
Link-Aggregation / LACP	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / –	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
VLANs / gleichzeitig aktiv	✓ / 4094	✓ / 4094	✓ / 24	✓ / k. A.	✓ / 4094	✓ / 4094	✓ / 64
GVRP / Voice-VLAN / QinQ	✓ / ✓ / ✓	– / ✓ / –	✓ / ✓ / ✓	– / ✓ / –	✓ / ✓ / ✓	– / – / ✓	– / ✓ / –
QoS: 802.1p / DSCP	✓ / ✓	✓ / k. A.	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
IGMPv3- / MLD-Snooping	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / –
Remote Syslog / SNMP	✓ / ✓	k. A. / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	k. A. / ✓	✓ / ✓	– / –
LLDP / CDP	✓ / ✓	✓ / –	✓ / –	– / –	✓ / –	✓ / –	– / –
802.1X-Authenticator / Supplicant	✓ / ✓	– / –	✓ / –	✓ / –	✓ / –	✓ / ✓	– / –
Port- / Remote-Mirroring	✓ / ✓	✓ / –	✓ / –	– / –	✓ / –	✓ / –	✓ / –
Preis (April 2024)	1632 €	683 €	725 €	610 €	1382 €	194 €	292 €

✓ vorhanden – nicht vorhanden k. A. keine Angabe

Ein Switch sollte alle 4094 möglichen Kennungen (VLAN Identifier, VID) verstehen und nicht nur eine Untermenge (etwa 0 bis 255). Das ist aber inzwischen die Regel, sodass wichtiger wird, wie viele VLANs gleichzeitig aktiv sein dürfen. Leider nennt nicht jeder Hersteller eine konkrete Zahl im Datenblatt.

Für Heimbüros oder in einer kleinen Firma wird man mit einer Handvoll VLANs auskommen. Die bei Switches für kleine LANs gängigen 24 oder 64 wären für das Netz der Heise-Gruppe – Heimat der c't – zu wenig, wo knapp unter 100 VLANs kursieren. In solchen Umgebungen sind auch Merkmale wie automatische VLAN-Konfiguration per GVRP oder auto-

matisches Einordnen von VoIP-Telefonen in ein priorisiertes Voice-VLAN nützlich.

Netzwerkzonen mit VLANs sind schon lange keine Technik allein für Unternehmensnetze mehr: Draytek war einer der ersten Routerhersteller, der VLANs für Nebenbei-Admins greifbar gemacht hat. Dazu haben sich weitere Anbieter wie Keenetic oder Synology gesellt [4, 5], auch im freien Routerbetriebssystem OpenWrt wird man fündig [6].

Bessere Switches beherrschen die Kaskadierung: Sie können quasi das gesamte Firmennetz mit seinen x Netzwerkzonen in ein übergeordnetes VLAN verpacken (QinQ). Damit kann ein Provider den Firmenverkehr in seinem Netz gekapselt zwischen



	QNAP	TP-Link	Trendnet	Ubiquiti	Zyxel
	QSW-M2108-2C	SG3210X-M2	TPE-3102WS	USW-Enterprise-8-PoE	XS1930-10
	8×2G5, 2×10G	8×2G5	8×2G5	8×2G5	8×10G
	2/✓	2/-	2/-	2/-	2/-
	-/-	-/-	8×30W/240W	8×30W/120W	-/-
	-	-	-	-	-
	Seriell (RJ45)	Seriell (RJ45), USB	Seriell (RJ45)	-	-
	-	✓	-	-	-
	-/✓	✓/✓	✓/✓	(Unifi-Controller)	✓/✓
	-/-	✓/✓	✓/✓	(Unifi-Controller)	✓/✓
	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/ k. A.	✓/✓
	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
	✓/ k. A.	✓/ 4094	✓/ 256	✓/ k. A.	✓/ 4094
	-/-/-	✓/✓/✓	✓/✓/✓	-/✓/✓	✓/✓/✓
	✓/✓	✓/✓	✓/✓	k. A./ k. A.	✓/✓
	-/-	✓/✓	✓/✓	✓/ k. A.	✓/✓
	-/-	✓/✓	✓/✓	(Unifi-Controller)	✓/✓
	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
	-/-	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
	-/-	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
	-/-	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
	402 €	241 €	331 €	469 €	478 €

mehreren Standorten transportieren oder mehrere Unternehmen, die an den gleichen Standorten aktiv sind, können sich eine Leitung teilen.

## Spieglein, Spieglein

Wer bei der Fehlersuche im LAN den Verkehr von Hosts aufzeichnen und analysieren muss, greift zu einer Software wie Wireshark. Doch das wird schwierig, wenn sich das Tool auf dem fraglichen Host gar nicht installieren lässt oder es durch seine Anwesenheit dessen Verhalten beeinflussen würde. Gewiefte Admins schalten dann einen Tap zwischen Switch und Host, um dessen Verkehr auszuleiten.

Bei Switches, die Port-Mirroring beherrschen, braucht man keine zusätzliche Hardware: Die Funktion kann den über einen oder mehrere Ports laufenden Traffic auf einen anderen Anschluss spiegeln. Dabei geht unter Umständen Information verloren, wenn man den oder die zu beobachtenden Ports auf 1 Gbit/s drosseln muss.

Denn ein 1GE-Port transportiert in beide Richtungen zusammen immerhin bis zu 2 Gbit/s, die verlustfrei aufgezeichnet werden müssen. Will man auch 2G5-Ethernet vollständig analysieren, dann macht sich ein freier SFP+-Slot bezahlt, an den man den Rekorder-PC anschließt.

Bessere Geräte können auch Remote-Mirroring: Sie zeichnen an ihrem Port auf und schicken die Daten über den Backbone zu einem anderen Switch, auf dem sie ausgeleitet werden.

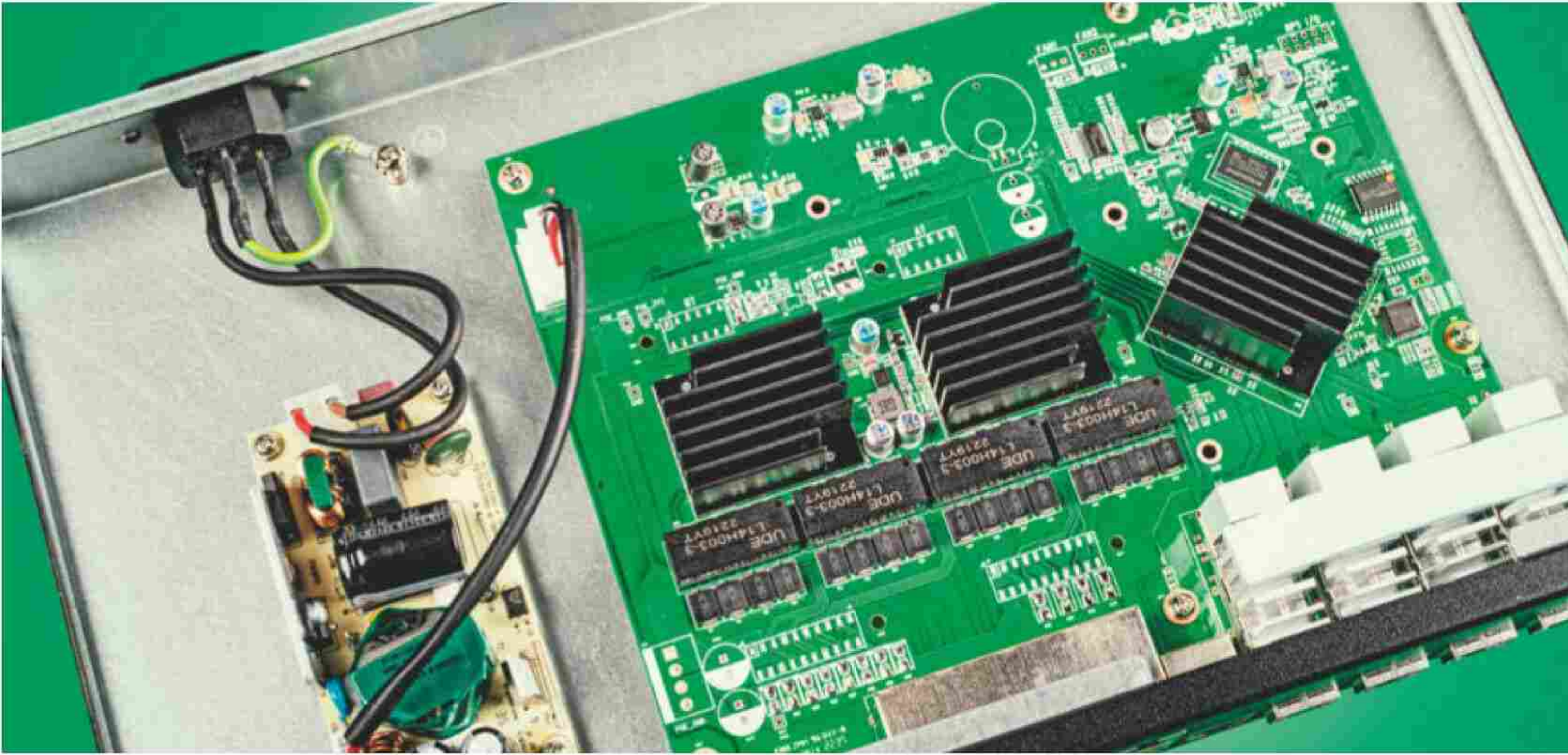
## Unterbringung

In den meisten schnellen Switches dreht ein Lüfter, bei Modellen mit PoE manchmal auch ohne Last schon mit hoher Drehzahl. Solche Geräte muss man abseits der Arbeitsplätze im Technikraum unterbringen. Ohne PoE laufen die Ventilatoren in der Regel viel leiser, stören in ruhigen Büros aber ebenfalls.

Switches sollten sinnvollerweise in einem Schaltschrank mit 19-Zoll-Gestell (Rack) und abschließbarer Tür sitzen. Man muss dabei nicht gleich an Vandalismus oder Datendiebstahl denken. Wenn jemand beim Hantieren mit Geräten an einer Backbone-Leitung hängen bleibt und sie versehentlich aus der Buchse zieht, kann plötzlich eine ganze Arbeitsgruppe vom Netz abgehängt sein. Ein kleiner 19-Zoll-Schrank im Büro dämpft auch das Betriebsgeräusch der Switches etwas, sodass er ein gangbarer Kompromiss ist, wenn sich kein separater Technikraum einrichten lässt.

Wie Ihr WLAN-Router läuft ein Switch rund um die Uhr und braucht Energie. Rechnen Sie bei den in der Tabelle gelisteten Modellen ohne PoE mit einer Leerlaufleistungsaufnahme zwischen 5 und 15 Watt, je nach Anzahl belegter Ports und der darauf ausgehandelten Datenrate. Dazu kommt ein halbes bis ganzes Watt pro Optikmodul.

Bei den PoE-Switches liegt die Grundlast etwas höher und hängt stark von der Art und Zahl der angeschlossenen Verbraucher ab, die der Switch mitversorgt. Falls die Hersteller überhaupt Werte im Datenblatt nennen, ist das meist der Worst Case (alle Ports belegt und maximal ausgelastet), für Ihren Einsatz also sicher zu hoch gegriffen. (ea) **ct**



# Admin-Know-how: Ethernet-Switches

„RJ45“, das haben Sie bestimmt schon oft gelesen, aber was bedeutet die Abkürzung? Das und überhaupt alles, was Sie schon immer über Netzwerkswitches wissen wollten, bekommen Sie hier in Tapetenbahnlänge.

Von **Benjamin Pfister**

**O**b kleines, großes oder sehr großes Netzwerk, immer bilden Switches die Grundlage für die darin laufenden digitalen Prozesse und Dienste, indem sie die Kommunikation zwischen den Netzwerkgeräten vermitteln. Das gilt auch für Heimnetze, wenngleich dort Switches weitgehend unbeachtet in den Heimroutern stecken. Doch sobald das Heimnetz mehr als vier Ethernet-Geräte verknüpfen soll, kommt ein externer Switch hinzu, der dann hinter dem Router beispielsweise Smart-Home-Geräte ankoppelt.

Am einfachsten geht das mit nicht-verwalteten Switches: Man versorgt sie mit Strom, steckt die Ethernet-Kabel an, die zum Router sowie den Netz-

werkgeräten führen und kann dann die Vermittlung der Ethernet-Konversation (Switching) jahrelang unbesorgt der Automatik des Geräts überlassen. Allerdings bringen die teureren konfigurierbaren Switches (Managed Switches) so viele nützliche Funktionen mit, dass man sie wenigstens kennen sollte. Deshalb fassen wir hier die wichtigsten Hard- und Software-Funktionen von konfigurierbaren Switches zusammen.

## Frames

Ethernet-Netzwerke übertragen Nutzdaten in Frames, die im Kopfteil (Header) die Quell- und Zieladresse

enthalten (Media Access Control Address, auch Hardware-Adresse genannt). Das ist die Grundlage für die Switchfunktion. Anhand der Quelladresse lernt der Switch, über welchen Port er welches Gerät erreicht, wenn er ein Frame dorthin ausliefern muss. Adressen verknüpft der Switch in einer Tabelle mit Ports. Und wie weiter unten beschrieben, kann er zur Zielbestimmung auch VLAN-Kennungen (Tags oder IDs) von virtuellen Netzwerken berücksichtigen.

Übliche Ethernet-Frames sind gemäß der IEEE-Norm 802.3 abhängig von den zu übertragenden Nutzdaten zwischen 64 und 1518 Byte lang. Mit VLANs sind es 68 bis 1522 Bytes.

Jumbo Frames transportieren bis zu 12.000 Bytes. Da sich damit pro Ethernet-Frame der Nutzdatenanteil gegenüber dem Anteil der Verwaltungsinformationen erhöht, nimmt auch der maximale Durchsatz zu; wir haben eine Erhöhung von 9400 auf 9900 Mbit/s gemessen. Jumbo Frames sind jedoch nicht standardisiert, sodass ungewiss ist, ob die Kommunikation damit in gemischt bestückten Netzen funktioniert.

## Switching

Es gibt zwei Switching-Varianten, Store and Forward und Cut Through. Bei Store and Forward empfängt der Switch den gesamten Frame und prüft die Checksumme. Wenn sein berechnetes Resultat mit dem im Frame eingetragenen übereinstimmt, sucht er die Zieladresse und den ausgehenden Port und leitet den Frame darüber weiter (wenn nicht, dann verwirft er den Frame kommentarlos).

Beim Cut-Through-Switching beginnt der Vorgang der Weiterleitung, sobald der Switch die Zieladresse im Frame identifiziert. Der Rest läuft wie bei Store and Forward ab. Insgesamt ist Store and Forward langsamer wegen höherer Latenz, denn ein Frame wird vor seiner Weiterleitung auf Korrektheit überprüft. Cut Through ist normalerweise schneller, weil keine Fehlerprüfung stattfindet. Deshalb ist aber das Risiko der Fehlerfortpflanzung größer als bei Store and Forward, denn fehlerhafte Frames werden unbesehen weitergeleitet.

Je nach Kommunikationsart geht ein Paket an nur ein Ziel (Unicast), an mehrere Teilnehmer eines Subnetzes (Multicast) oder an alle Teilnehmer (Broadcast). Dabei gehen Multicasts und Broadcasts an alle Ports eines Subnetzes, außer demjenigen, von dem der Frame kam. Gleiches geschieht bei Unknown Unicast Floodings, wenn der Switch eine Ziel-MAC-Adresse in seiner Tabelle nicht findet.

Mit Multicasts sind Gruppen innerhalb eines Netzes gemeint, etwa alle Teilnehmer, die lokale Gerätenamen per mDNS zu IP-Adressen auflösen (IPv6-Adresse ff02::fb, IPv4-Adresse 224.0.0.251, jeweils UDP-Port 5353).

IPv4-Broadcasts bildet der Switch über Ethernet-Broadcasts an die MAC-Adresse FF:FF:FF:FF:FF:FF ab. IPv4-Broadcasts braucht man beispielsweise zur dynamischen IP-Adressvergabe per Dynamic Host Configuration Protocol oder für das Address Resolution Protocol zur Auflösung von IPv4-Adressen zu MAC-Adressen. Da Broadcasts an allen Ports eines Switches, außer dem eingehenden Port ausgegeben werden, bremsen sie anderen Verkehr ein wenig aus. Der Drossелеffekt nimmt bei großen Netzwerken zu, bei denen mehrere Switches automatisch eine gemeinsame Broadcast Domain bilden.

## Architektur

Konfigurierbare Ethernet-Switches bestehen aus mehreren Elementen. Außen fallen die Schnittstellen (Ports) für die Ethernet-Kabel auf. Je nach Switch-typ gibt es unterschiedliche Ports. Sie sind entweder allein für Kupferkabel ausgelegt oder lassen sich mittels steckbaren Optikmodulen für den Betrieb mit Lichtwellenleitern (LWL) aufrüsten.

Kupferports sind in Heim- und Unternehmensnetzen als Buchsen im Format „Registered Jack 45“ (RJ45) verbreitet. Im Industrieumfeld kommen M8- und M12-Buchsen vor, die in rauen Umgebungen gegen Staub und Feuchtigkeit schützen.

Über die achtpolige RJ45-Buchse bieten heutige Arbeitsgruppen-Switches 10 Mbit/s bis 10 Gbit/s bei Kabellängen bis 100 Metern (Segment). Wenn ein Segment zwei Switches verbindet, handelt es sich um eine Kaskade. Da jeder Switch ein eingehendes Signal vor dem Weiterleiten auffrischt, kann man mittels Kaskaden mehrere Segmente koppeln. Praktischer sind aber Glasfaserstrecken. Sie überbrücken je nach Optik bis zu 80 Kilometer und da sich bei Glasfaser keine elektrischen Potenziale aufbauen, vermeidet man Probleme beim Verbinden von Gebäuden mit unterschiedlichen Stromversorgungen.

Heute sind nicht-konfigurierbare Gigabit-Switches sehr weit verbreitet und man bekommt sie bereits für unter 20 Euro. Je nach Gegenstelle kommunizieren sie automatisch mit 10, 100 oder 1000 Mbit/s.

Im Herbst 2023 sank der Preis für Switches, die bis zu 2,5 Gbit/s übertragen (2G5) erstmals unter 100 Euro. Sie gehören zur noch jungen Klasse von Multigigabit-Switches, die 2,5, 5 und 10 Gbit/s be-

fördern (abgekürzt zu 2G5, 5G und 10G). Alle drei Klassen erreichen die Zwischenschritte auf üblichen CAT5e-Kabeln, ersparen also Neuinstallationen. Oberhalb von 5G verkürzt sich die maximale Segmentlänge bei solchen Leitungen auf etwa 50 Meter. Wer also bei 10 Gbit/s bis zu 100 Meter überbrücken muss, braucht höherwertige Kabel (CAT6a, CAT7).

Nützlich sind Multigigabit-Switches nicht nur, weil man damit geeignete NAS-Geräte schneller anzapfen kann als über Gigabitleitungen (ct.de/wu76), sondern auch, weil so Ethernet-Geräte mit WLAN-Access-Points Schritt halten, die mehr als 1 Gbit/s liefern (Wi-Fi 6 und Wi-Fi 7).

Wenn zwei Ethernet-Geräte Kontakt aufnehmen, handeln sie die höchste gemeinsame Datenrate und weitere Verbindungseigenschaften automatisch aus. Bei gemanagten Switches lassen sich einige Port-Parameter konfigurieren: die Auto-Negotiation zur automatischen Aushandlung der Geschwindigkeit, die Flusskontrolle oder auch die Signalbelegung der Buchse (durchgehende oder gekreuzte Leitungen, Medium Dependent Interface: MDI oder MDIX).

Fun Fact: bis 100 Mbit/s lässt sich auch die Belegung der Kommunikationsrichtungen konfigurieren (Halbduplex: Senden und Empfangen im Wechsel oder Vollduplex: gleichzeitiges Senden und Empfangen). Ab 1 Gbit/s arbeiten die Switches grundsätzlich im Vollduplexbetrieb.

Generell sind die manuellen Port-Einstellungen nützlich, falls die Automatik mal falsch liegt, also etwa die Geschwindigkeitsaushandlung oder die automatische Erkennung der Pinbelegung scheitert.

## Modulare Ports

Je höher die Durchsatz- und Reichweitenanforderungen, desto eher setzt man Lichtwellenleiter ein (LWL). Das ist beispielsweise bei Verbindungen von Switch zu Switch der Fall (Uplink) oder bei Servern, die Daten schnell befördern sollen. Aus Gründen der Flexibilität nutzt man dafür modulare Steckplätze.

Unter den modularen Ports sind „Small Form-Factor Pluggables“ in unterschiedlichen Ausprägungen üblich (SFP). Für die Anbindung von gängigen Netzwerkgeräten nimmt man Kupfermodule mit RJ45-Buchse. Bei klassischer LWL-Anbindung hat man die Wahl zwischen Transceivern für unterschiedliche Wellenlängen, etwa für 850, 1310 oder 1550 Nanometer in Varianten für Multimode- oder Singlemode-Fasern. Die Bandbreiten reichen aktuell bis zu 800 Gbit/s hinauf.

Die Varianten Enhanced Small-Form Pluggable Ports (SFP+) und SFP28 sind für 10G-Ethernet und für 25G konzipiert. Mit Quad Small Form Factor Pluggables, QSFP und QSFP+ gehen maximal 40 Gigabit durch die Leitung, mit QSFP28 sind es bis 100G über vier optische Kanäle. Das Ende der Fahnenstange bildet derzeit QSFP-DD für 800G.

## Stack-Ports

Einige Switch-Modelle enthalten auf der Rückseite herstellerspezifische Ports. Darüber lassen sich zwei oder mehr Switches kombinieren, die Anzahl variiert je nach Modell. Den im Unternehmensumfeld gebräuchlichen Cisco Catalyst 9300X kann



**Lange Zeit waren in kleinen und mittleren Netzen Gigabit-Switches üblich. Im Herbst 2023 sank aber der Preis für Multigigabit-Switches unter 100 Euro, sodass sich Geräte mit 2,5 Gbit/s allmählich verbreiten.**

**Wenn ein Switch nicht genügend RJ45-Ports, aber freie SFP+-Ports hat, kann man ihn mittels Modulen wie dem Mikrotik S+RJ10 aufrüsten.**



man so für Redundanzzwecke zu einer Gruppe von acht Switches zusammenschalten, die bis zu 1 Tbit/s liefert.

Die zu Stapeln (Stacks) verkoppelten Geräte verhalten sich wie ein logischer Switch. Einer davon wird zum aktiven Master für die Verwaltung (Management Plane) und die Steuerinformationen (Control Plane). Damit muss man einen Parameter nicht mehr einzeln in jeden Switch eines Stapels eintragen, sondern erledigt das im Master für alle Ports des gesamten Gebildes.

Die übrigen Switches sind hinsichtlich der Verwaltung passiv. Der Admin kann den Master bestimmen, indem er ihm eine hohe Priorität zuweist. Kommt ein Switch mit höherer Priorität hinzu, wird er zum neuen Master, sobald der bisherige neu startet. Ist kein Wert gesetzt, wird der Switch mit der kürzesten Startzeit zum Master. Falls zwei oder mehr Switches gleich schnell sind, wird jener zum Master, dessen für die Kopplung verwendeter Netzwerkport den kleinsten numerischen Wert hat (MAC-Adresse). Bei Ausfall des Masters übernimmt eines der passiven Mitglieder die Master-Rolle.

## Interne Switch-Architektur

Es gibt diverse weitere Bestandteile, die die Funktion und Leistung beeinflussen. Bei Switches, die sich per Steckkarte oder Modul erweitern lassen, verbindet die Backplane die Systemkomponenten als logischer Bus. Sie kann passiv oder aktiv ausgelegt sein. Aktive Backplanes bestehen aus elektronischen Baugruppen und Steuerelementen, passive lediglich aus einer Platine mit Steckverbindern. Der Durchsatz der Backplane sollte der maximalen bidirektionalen Datenrate aller Ports entsprechen (Line-Rate Forwarding oder auch Non-Blocking-Architektur genannt).

Der Forwarding Controller leitet eingehende Datenpakete zu ihren Zielen weiter. Den Weg bestimmt der Controller hauptsächlich auf Basis der Ziel-MAC-Adresse. Außerdem kann ein Switch je nach Ausstattung und Konfiguration auch die Zugehörigkeit zu einem virtuellen LAN (VLAN) berücksichtigen sowie auch Richtlinien seines Paketfilters oder im Router-Mode die Layer-3-Architektur des Netzwerks (dann findet er das Ziel anhand dessen IP-Adresse).

Den ein- und ausgehenden Verkehr befördern Controller im Zusammenspiel mit einem Scheduler und einem Zwischenspeicher, der den Verkehr puffert. Der Puffer ist je nach Switchtyp unterschiedlich groß und der Switch nutzt ihn, um bei Überlast Pakete in einer Warteschlange zwischenzulagern. Von dort läuft die Weiterleitung zum Forwarding Controller gemäß Scheduler-Richtlinien ab, sodass etwa Pakete von zeitkritischen Diensten gegenüber anderen Paketen bevorzugt verschickt werden (Quality of Service, QoS).

Hinter dem Forwarding Controller steckt meist eine Rewrite Engine, die Inhalte der Datenpakete (Frames) umschreibt, beispielsweise also die Ziel-MAC-Adresse des nächsten Hops einträgt, wenn sich das Ziel außerhalb des lokalen Netzwerks befindet. Diese Funktionen hat man lange Zeit als unveränderliche Application-Specific Integrated Circuits implementiert (ASIC). Immer mehr Hersteller setzen sie inzwischen als Field Programmable Gate Arrays (FPGA) um, was Firmware-Updates ermöglicht.

In der Switch-CPU laufen alle Pakete auf, die die Hardware nicht selbst verarbeitet. Oder anders gesagt: Die CPU setzt alle Prozesse und Protokolle um, die auf der Control- und der Management-Plane ablaufen, also etwa Spanning-Tree, Routing, automatische Leitungsbündelung gemäß dem Link Aggregation Control Protocol (LACP), Kommandozeilen-sitzungen per Secure Shell (SSH) und ähnliches.

Für die Verwaltung der Geräte bringen sie einen Management-Controller mit, der meist mit einem lokalen Konsolen-Port verbunden ist. Bei älteren Switches handelt es sich um serielle Ports, bei neueren um USB-Ports. Über den Management-Controller wickelt die CPU Telnet-, SSH-, HTTP/S- und SNMP-Sitzungen ab, also Verkehr, der für ihn selbst bestimmt ist. Weil SNMP und Telnet Zugangsdaten bis Version 3 unverschlüsselt übertragen, sind diese Protokollversionen normalerweise abgeschaltet und sollten es bleiben.

Die Grundlage aller elektronischen Regelung bildet auch bei Switches die Stromversorgung. Bei den Netzteilen unterscheidet man drei Bauformen: ex-

tern, intern fixiert oder intern, aber austauschbar. Interne, austauschbare Netzteile lassen sich meist im Betrieb wechseln (hot-swappable), sofern parallel ein zweites Netzteil die Speisung aufrechterhält.

Die Leistung variiert je nach Switchtyp, Portanzahl und zusätzlicher Leistung für die Stromversorgung von Ethernet-Geräten gemäß Power over Ethernet (PoE). Switches ab etwa 24 Ports und insbesondere solche mit PoE-Versorgung werden aktiv per Lüfter gekühlt. Lüfter können wiederum auch fest verbaut oder austauschbar sein, einige sind hot-swappable.

## VLAN

Mit VLANs (Virtual Local Area Networks) lässt sich ein physisches Netzwerk in logische Netze unterteilen. Das kann man nutzen, um Organisationseinheiten oder Sicherheitszonen voneinander zu trennen. Auch lassen sich damit örtliche Gegebenheiten oder Gerätegruppen abbilden. Heimnetze könnte man bei-

spielsweise in drei VLANs aufteilen: je eines für PCs, für Gäste und für IoT-Geräte wie Smart TVs oder Wallboxen.

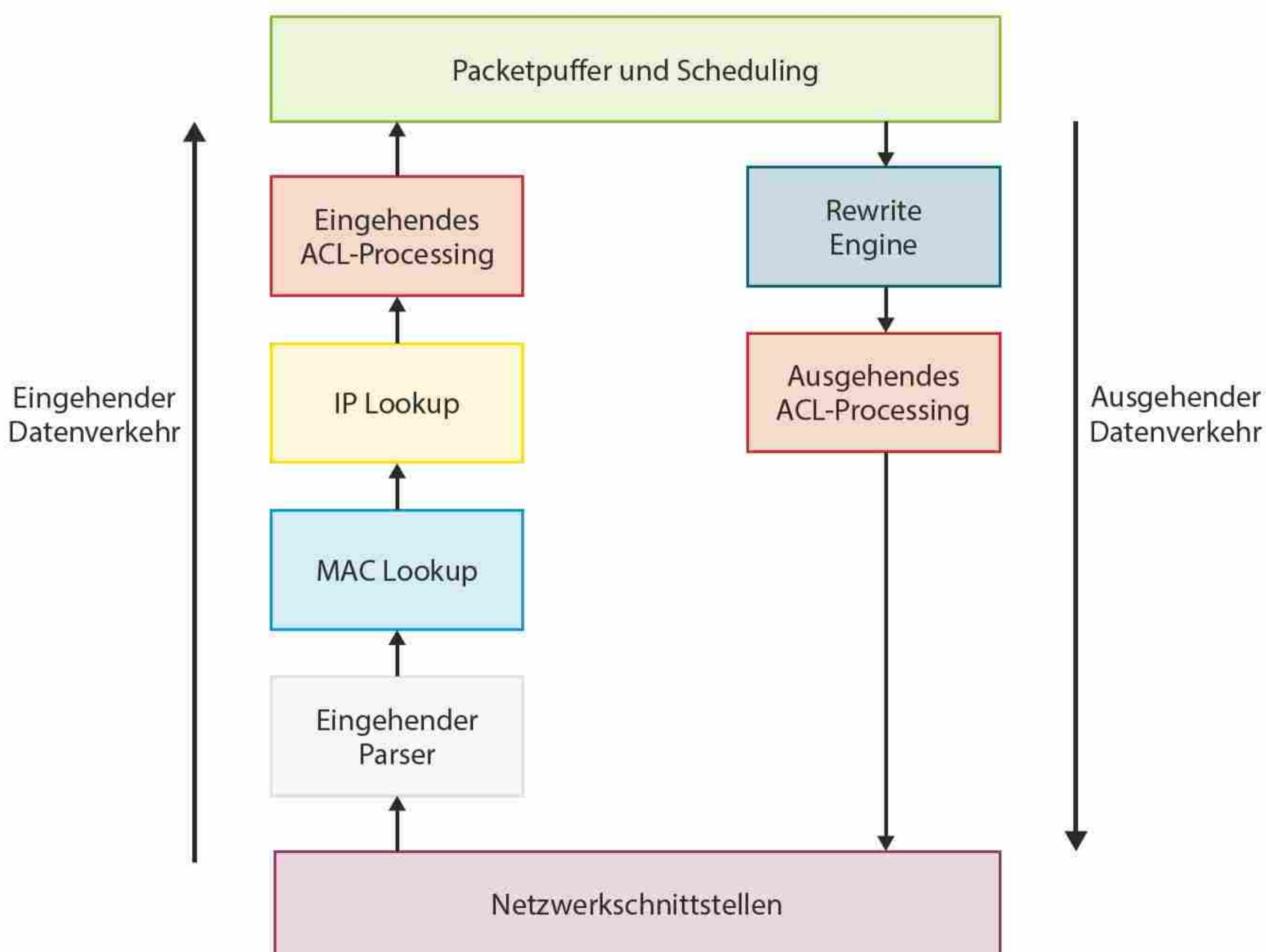
Im einfachsten Fall ist ein VLAN einem Switch-Port zugeordnet. Ports mit fester VLAN-Zuordnung bezeichnet man als Access-Ports. In manchen Fällen müssen Frames mehrerer VLANs über einen einzigen Port geschickt werden, beispielsweise zwischen zwei Switchen. Früher hat man dafür proprietäre Verfahren wie Interswitch-Link (ISL) verwendet, heute sind Trunk-Ports gemäß der IEEE-Norm 802.1Q üblich.

VLANs sind von 1 bis 4094 nummeriert (VLAN-ID). Manche billigen konfigurierbaren Switches können nur 64 oder 256 VLANs gleichzeitig betreiben. Systeme zur Netzwerkzugangskontrolle weisen VLAN-IDs dynamisch anhand von Endgeräteattributen zu.

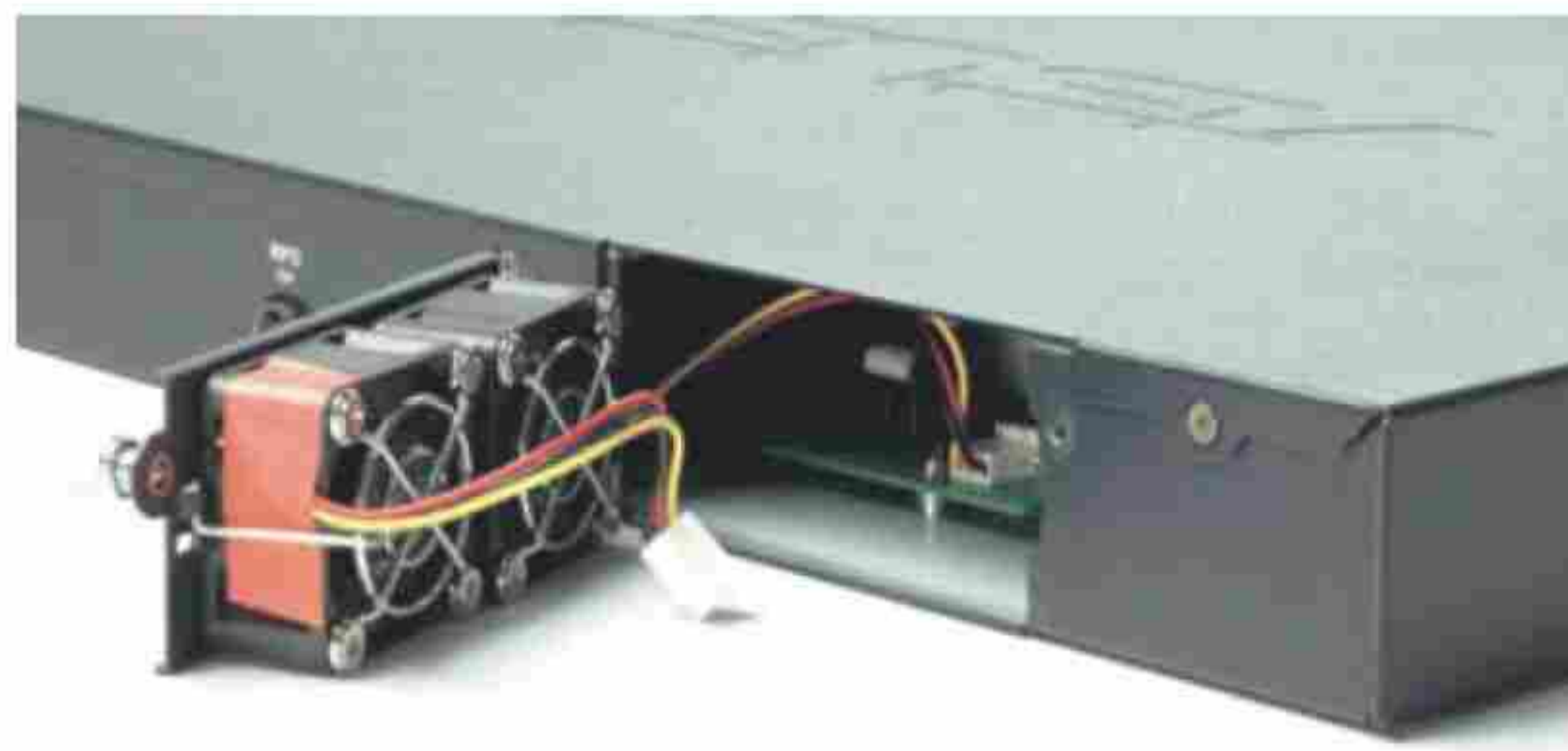
Einem VLAN sollte immer nur ein IPv4- und ein IPv6-Subnetz zugewiesen sein und alle Hosts eines VLANs sollten IP-Adressen aus diesen Adressräumen beziehen.

## Frame-Weiterleitung im Switch

Ein- und ausgehenden Verkehr befördern Controller im Zusammenspiel mit einem Scheduler und einem Zwischenspeicher, der den Verkehr puffert. So kann der Switch bei Überlast Frames in einer Warteschlange zwischenlagern.



**Bei manchen Switches lassen sich Lüfter wechseln, ohne sie aus dem Rack ausbauen zu müssen. Einige Modelle sind sogar mit redundanten austauschbaren Lüftern ausgerüstet, die man ohne Abschalten wechseln kann.**



Geräte, die in verschiedenen VLANs stecken, können miteinander nur indirekt über einen Inter-VLAN-Router oder Layer-3-Switch kommunizieren. Dafür sind Routing-Funktionen auf Basis von VLAN-Schnittstellen erforderlich (Switched Virtual Interfaces, SVI).

## Priorisierung

Mit Quality of Service (QoS) lassen sich Frames je nach Dienstmerkmalen bevorzugt oder verlangsamt weiterleiten. Dafür klassifiziert ein Switch eingegangene Frames, markiert sie und sortiert sie vor dem Versand in Warteschlangen (Queue) unterschiedlicher Sendepriorität. So kann ein Switch Frames von zeitkritischen Diensten wie Telefonie oder Videokonferenzen höher priorisieren und bevorzugt versenden, um Latenz (Laufzeit), Latenzschwankungen (Jitter) und Frame-Verluste zu minimieren und damit die Güte solcher Dienste möglichst hoch zu halten.

Zeitunkritische Frames, beispielsweise von Mails oder Synchronisierungen landen in niedriger priorisierten Warteschlangen und warten kurz, bis eilige Frames fort sind. Die QoS-Markierungen können alle Zwischenstationen auf dem Weg zum Ziel nutzen, um eingehende Frames auf gleiche Weise zu behandeln. Auch Netzwerkgeräte wie IP-Telefone oder PCs können Frames markieren, wahlweise auf Layer 2 oder 3.

Die Layer-2-Markierung läuft gemäß der IEEE-Norm 802.1Q ab; dabei tragen Geräte die Prioritäten (ToS/Type of Service) gemäß IEEE 802.1p in Ethernet-Frames ein. Inzwischen ist die Markierung auf IP-Ebene (Layer 3) gemäß Differentiated Services Codepoint üblich (DSCP). Dafür sind im IP-Header sechs Bit reserviert. Um beispielsweise VoIP-Pakete bevorzugt zu versenden, markiert man sie mit dem dezimalen Wert 46 (Expedited Forwarding, EF).

Manche Switches können VoIP-Telefone anhand ihrer Quell-MAC-Adressen oder per Link Layer Discovery Protokoll identifizieren. Dann stopfen sie sie

automatisch ins vorbereitete Voice-VLAN und kennzeichnen deren Frames mit einer hohen ToS-Stufe. Dafür brechen sie das 6-Bit-DCSP automatisch per vordefinierter Tabelle aufs 3-Bit-ToS herunter.

## Power over Ethernet

IP-Telefone, Webcams, Access-Points oder auch Zeiterfassungsterminals sind typische Geräte, die abgesetzt von der Gebäudeinfrastruktur eingesetzt werden. Um Installationskosten zu sparen, möchte man sie daher über ein einziges Kabel sowohl vernetzen als auch mit Strom speisen. Dafür haben einige Unternehmen vor Jahren proprietäre Methoden für die Energieübertragung per Ethernetkabel entwickelt (Power over Ethernet, PoE).

Heute sind aber PoE-Techniken auf Basis von IEEE-Spezifikationen üblich. Auf dieser Basis kann man auch den Kleincomputer Raspberry Pi per PoE speisen. Konfigurierbare Switches bringen dafür Funktionen zur Leistungssteuerung mit und können deshalb PoE-Geräte auch automatisch neu starten. So lassen sich Überwachungskameras abschalten, wenn Bewohner das Haus betreten und einschalten, wenn sie es verlassen. Zwar enthalten auch manche nicht-konfigurierbaren Switches PoE-Hardware, aber Funktionen für die Leistungssteuerung fehlen.

Ein Switch liefert gemäß IEEE 802.3af bis zu 15,4 Watt pro Port, gemäß 802.3at sind es maximal 30 Watt und 802.3bt liefert sogar bis zu 90 Watt pro Port. Da nicht jedes Endgerät die volle Leistung benötigt, sind sie in Leistungsklassen eingeteilt.

## Management

Konfigurierbare Switches lassen sich über verschiedene Schnittstellen administrieren, etwa per Zero Touch Provisioning. Einfache Modelle sind nur über ihr Webinterface ansprechbar. Vor allem Admin-Einsteiger dürften den Browser bevorzugen, weil damit der Überblick leichter fällt. Der Webverkehr sollte generell TLS-verschlüsselt sein, damit Angreifer die Anmeldedaten nicht allzu leicht erbeuten können. Bessere Geräte haben nicht nur lokale Konten für den Admin-Zugang, sondern können Konten auch mittels der Protokolle Radius oder TACACS+ an zentrale Verzeichnisse (AD, LDAP) anbinden.

Manche Hersteller veröffentlichen für größere Modelle Application Programming Interfaces (API). Damit können Admins Änderungen oder Abfragen automatisieren, was bei der Betreuung von vielen Switches Zeit sparen kann. Das Management per

API rentiert sich aber nicht immer, weil man dafür Zeit in Abfrageskripte stecken muss. Deshalb nutzen viele Admins lieber die verbreiteten Kommandozeilen-Interfaces. Man braucht sie auch zumindest für die initiale Konfiguration, die meist über eine lokale Konsole per serielltem RS-232-Kabel abläuft.

Nach der Einrichtung läuft das Management meist über verschlüsselte SSH-Sitzungen. Geübte Admins sind damit oft schneller als per Webinterface und mittels Skripten sind wiederum Automatisierungen möglich. Dafür muss man die Strukturen und Befehle der Switches kennen. Viele Switches lassen sich auch mittels einfachen Ansible-Modulen automatisiert administrieren.

Um Switches von mehr als einem Hersteller auf gleiche Weise zu administrieren, kann man das herstellerunabhängige Simple Network Monitoring Protocol verwenden (SNMP). Zu beachten ist, dass SNMP den Verkehr und damit auch vertrauliche Anmeldeinformationen erst ab Version 3 verschlüsselt.

Über SNMP lassen sich Daten je nach Berechtigung sowohl auslesen als auch schreiben. Die Daten sind in Elemente unterteilt und hierarchisch organisiert (Management Information Bases, MIBs). Über SNMP-Traps kann der Switch bei definierten Ereignissen, wie einem Verbindungsabbruch (Link-Down-Event), Informationen an einen Trap-Empfänger senden. Auch können Switches solche Statusmeldungen oder Warnungen an Syslog-Server schicken, sodass Admins etwa Sicherheitsvorfälle analysieren können.

In den letzten Jahren bieten Hersteller zunehmend Verwaltungsfunktionen aus der Cloud, die wiederum über Webinterfaces eingeblendet werden. Deshalb brauchen solche Switches Internetverbindungen zu Zielsevernen des Cloudanbieters. Bei cloudbasierten Switches wie Cisco Meraki oder Juniper Mist läuft nur das Management über die Cloud und die Nutzdaten bleiben lokal.

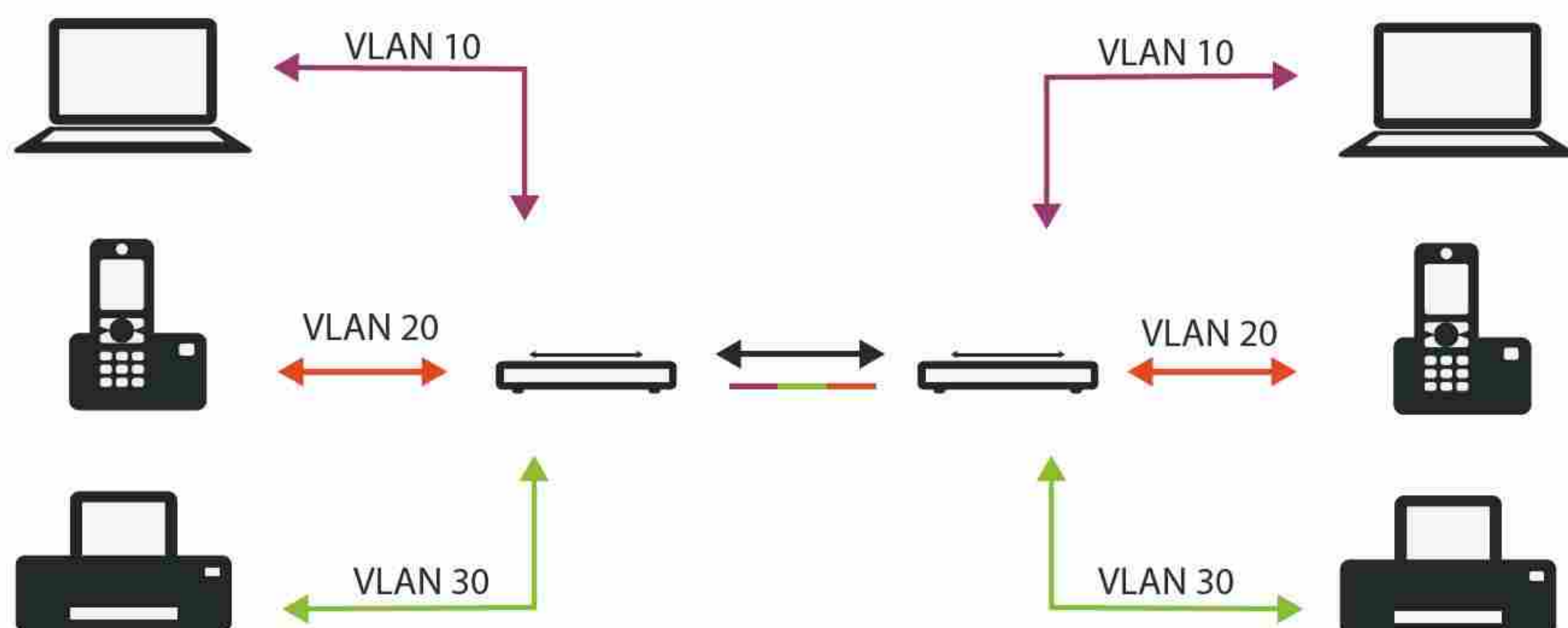
Die cloudgestützte Administration kann durch den zentralisierten Ansatz Aufwand sparen, etwa wenn man ein Netz aus mehreren Filialen betreibt. Sie kann aber auch Mehraufwand erfordern, weil der Admin sicherstellen muss, dass personenbezogene Metadaten DSGVO-konform übertragen, gespeichert und behandelt werden. Nachteilig sind auch die Gebühren, die die Switch-Hersteller für den Cloud-Service berechnen. Und bei Hochverfügbarkeitsanforderungen muss der Admin Vorkehrungen treffen, um einen Switch auch bei Ausfall der Internetanbindung administrieren zu können, etwa mittels Ersatzleitungen per Mobilfunk oder durch Delegieren an Vertreter vor Ort.

## Optimierungen

Konfigurierbare Switches können gemäß IEEE 802.1AX-2008 und dem älteren 802.3ad (Link Aggregation) mehrere Ports zu einer Ethernet-Leitung bündeln. Damit erhöht man die Ausfallsicherheit und den Durchsatz einer Ethernet-Strecke. Dabei kann man zwei oder mehr Switches per Bündel kop-

## Beispiel für eine VLAN-Aufteilung

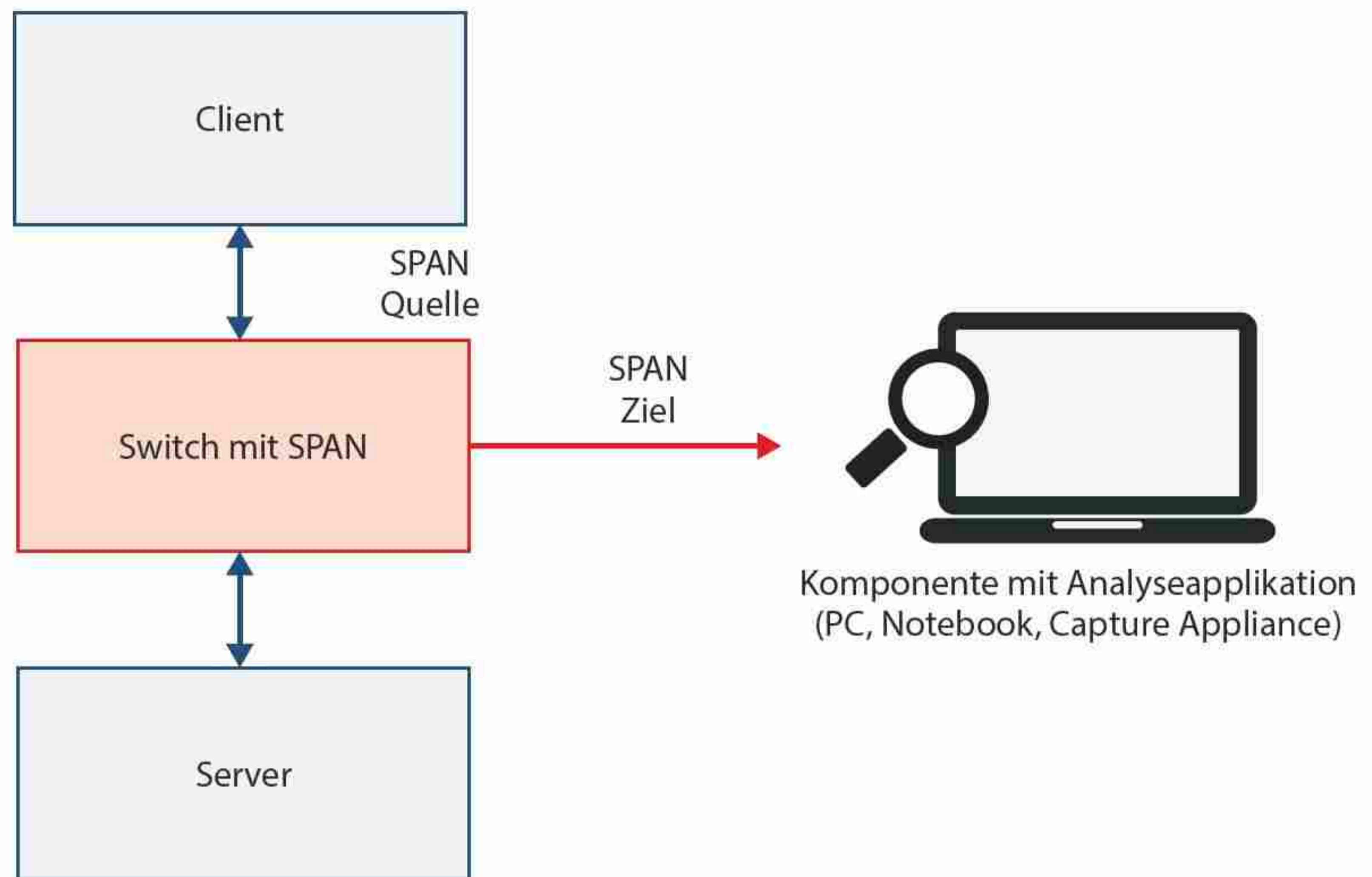
Ein physisches Netzwerk lässt sich mittels der VLAN-Technik in mehrere virtuelle Netze (VLAN) unterteilen. Das kann man nutzen, um Sicherheitszonen zwischen Geräten unterschiedlicher Vertrauenswürdigkeit einzuziehen.





## Spiegel-Port

Switches können über SPAN-Ports den Verkehr anderer Ports beispielsweise an einen PC herausgeben, der die Daten dann für weitergehende Analysen mitschreibt.



peln und auch viele Server und NAS-Geräte beschleunigt an einen Switch anbinden.

Link Aggregation lohnt aber allenfalls zwischen Switches, wenn man deren Links nicht von GE auf 10GE aufrüsten kann und zwischen NAS und Switch, wenn häufig mehrere Nutzer gleichzeitig große Datenmengen bewegen. Da sämtliche Pakete eines einzelnen Ethernet-Dialogs über denselben Link übertragen werden müssen, nimmt die Datenrate einer einzelnen Session nicht zu. Aber ein Bündel aus zwei Links kann mehr Sessions als einzelner Link fassen.

Bündel lassen sich zwar statisch konfigurieren, aber in der Praxis sollte man die Bündelung besser einem Link-Aggregation-Protokoll überlassen. Dann melden die Gegenstellen einander laufend, welche Ports zum Bündeln geeignet sind. Wenn eine Gegenstelle die Bündelung nicht sauber aktiviert oder eine Weiterleitung scheitert, wird der fehlerhafte Port aus dem Angebot gestrichen und so Frame-Verlust vermieden.

Nicht-konfigurierbare Switches können Ethernet-Links nicht bündeln. Verbindet man zwei solcher Switches dennoch über zwei Kabel, erzeugt man eine Schleife, die einen Broadcast-Sturm zur Folge hat, der das Netzwerk umgehend lahmlegt.

Konfigurierbare Switches erkennen solche Schleifen per Spanning Tree Protocol und blockieren dann redundante Ports (ct.de/wu76). Bei aktiver Link-Bündelung heben gemanagte Switches diese Restriktion auf. Außerdem sind auf verwalteten Switchen Sicherheitsfunktionen wie Paketfilterung auf Port-Ebene (Port-ACLs), Port-Security auf Basis von MAC-Adressen und Zugangskontrollsysteme üblich.

Für Netzwerkanalysen enthalten die Geräte Spiegel-Ports (Switched Port Analyzer, SPAN, auch Mirror Ports genannt). Damit spiegelt man den Datenstrom eines Quell-Ports oder VLANs an einen zusätzlichen Ausgangs-Port und fängt ihn dort etwa mit einem PC auf, der mittels Tools wie tshark oder Wireshark möglichst alle ausgegebenen Frames auf Platte schreibt. Anschließend kann man den Mitschnitt mit Wireshark analysieren.

### Fazit

Die Vorteile von konfigurierbaren Switches gegenüber den nicht-konfigurierbaren überwiegen bei Weitem und für Admins großer Netze sind sie unverzichtbar. In kleinen Netzen können sie allein schon mit ihrer VLAN-Funktion die Sicherheit verbessern. (dz) **ct**

Infos zu Switch-Funktionen

[ct.de/wu76](https://www.ct.de/wu76)



# Switches für schnelles Ethernet

Ihr Heimnetz kann vermutlich mehr als nur Gigabit-Speed. Ein passender Switch beschleunigt es auf 2,5 Gbit/s. Solche sind inzwischen für weniger als 100 Euro zu bekommen. Wir haben sechs preisgünstige Exemplare ausprobiert und fanden zwei Gruppen.

Von **Ernst Ahlers**

**S**chnelles Ethernet mit 10 Gigabit pro Sekunde über Kupferkabel ist überraschend alt: Schon 2006 wurde es standardisiert. 10GBase-T blieb aber wegen der erforderlichen hohen Kabelqualität (CAT6a) sowie wegen teurer Netzwerkkarten und Switches ein Nischenprodukt für Anwender, die den hohen Durchsatz von 1000 MByte/s brauchen, weil sie ständig riesige Dateien übers LAN kopieren. Das können Videoproducer oder Entwickler sein, die Images virtueller Maschinen durchs Netz schieben.

Doch jetzt kommt Multigigabit-Ethernet aus der Nische: Schon seit einiger Zeit bauen Hersteller von Mainboards, Routern und Netzwerkspeichern (NAS) NBase-T-Ports nach der zehn Jahre jüngeren IEEE-Spezifikation 802.3bz ein, die über gewöhnliche Ethernetkabel (CAT5e) bis zu 2,5 Gbit/s übertragen; wo sinnvoll, kürzen wir das nachfolgend zu 2G5 ab.

Manche NAS, die ab Werk nur Gigabit-Ethernet enthalten, kann man übrigens in Eigenregie für 2,5 Gbit/s ertüchtigen (siehe Artikel „Multigigabit-

Ethernet für Synology-NAS“). Das erfordert nur einen USB-Ethernet-Adapter für rund 30 Euro und etwas Zeit. Auf NBase-T mit 5 Gbit/s braucht man aktuell nicht zu schielen, derzeit ist das noch ein Exotenmarkt mit hohen Preisen.

Switches für 2G5-Ethernet als LAN-Verteiler gibt es von etablierten Herstellern ebenfalls seit längerem, QNAPs QSW-1105-5T etwa ist schon seit Sommer 2020 im Markt. Dazu fluten chinesische Hersteller seit wenigen Monaten die Internetmarktplätze mit preisgünstigen Geräten.

So haben wir im August 2023 insgesamt sechs Geräte mit fünf Buchsen für 2,5-Gbit/s-Ethernet im Preisbereich bis circa 100 Euro beschafft, um ihnen auf die Ports zu fühlen. Online bestellt trafen MokerLink 2G041G, Nicgiga S25-0501 und Sodola SL-SWTG015AS ein. Beim Nicgiga-Switch gingen wir etwas über unsere selbstgesetzte Preisgrenze hinaus, weil er als zweites Modell neben dem Sodola-Switch einen SFP+ Slot für 10-Gigabit-Ethernet hat.

Solch ein SFP+ Slot ist für mindestens zwei Einsatzfälle reizvoll: Erstens kann man den Switch mit einem 10GBase-SR-Optikmodul über eine Glasfaserleitung bis zu 300 Meter räumlich abgesetzt betreiben, mit einem 10GBase-BX-Modul sogar über eine einzelne Faser und mit 10GBase-LR auch über 10 Kilometer. Zweitens lässt sich ein schneller Netzwerkspeicher mit SFP+ Slot über ein maximal zwei Meter langes Direct Attach Cable (DAC) anschließen, sodass via Switch bis zu vier PCs mit 2G5-Ethernet gleichzeitig mit ihrer vollen Geschwindigkeit zugreifen können – hinreichend flinke Gegenstellen wie SSD-bestückte NAS vorausgesetzt.

Außerdem forderten wir bei den Herstellern die Modelle QNAP QSW-1105-5T, Trendnet TEG-S350 und Zyxel MG-105 an. Bemerkenswerterweise war Trendnets TEG-S350 zum Akquizezeitpunkt mit unter 80 Euro der Preisbrecher. Alle Switches stecken in stabilen Metallgehäusen und verzichten trotz dem teilweise hohen Leistungsbedarf auf einen störenden Lüfter.

## Unter der Haube

In den Testmustern haben wir zwei unterschiedliche Switch-Controller gefunden: Entweder Broadcom BCM53161 oder Realtek RTL8372. Beide Bausteine haben sechs Anschlüsse für 2G5-PHY-Chips, zwei davon können auch einen SFP+ Slot mit 10 Gbit/s bedienen. Das erlaubt verschiedene Switch-Bestückungen, beispielsweise mit sechs 2G5-Ports oder mit vieren plus zweimal 10G.

Dieser Artikel spiegelt den Stand im Herbst 2023 wieder. Inzwischen können sich Preise und Verfügbarkeit geändert haben. Manche Produkte sind möglicherweise nur noch gebraucht erhältlich.

MokerLink hat sich beim leicht identifizierbaren RTL8372 auf fünf 2G5-Ports beschränkt, von denen einer über einen separaten PHY-Chip RTL8221B realisiert ist. Die vom Platinenlayout her fast identischen Switches von Nicgiga und Sodola verwenden wegen des bei ihnen sichtbaren RTL8221B höchstwahrscheinlich ebenfalls einen RTL8372. Dessen Kühlkörper war aber in beiden Geräten so fest verklebt, dass wir ihn nicht ohne Schaden hätten lösen können. Die beiden Switches haben dem MokerLink-Fabrikat einen SFP+ Slot voraus.

Beim QNAP QSW-1105-5T konnten wir den Broadcom-Controller zweifelsfrei ausmachen, bei den Switches von Trendnet und Zyxel vermuten wir ihn unter dem ebenfalls fest verklebten Kühlkörper. Diese drei Switches zogen nämlich im Idle-Zustand mit fünf 2G5-Links deutlich mehr Leistung als die Realtek-bestückten Konkurrenten, Details folgen unter „Energiekosten“. Der Mehrverbrauch dürfte unter anderem im integrierten ARM-Cortex-M7-Prozessor des BCM53161 landen. Dessen Fähigkeiten liegen aber weitgehend brach, weil die drei Switches wie ihre RTL8372-Konterparts nicht konfigurierbar sind, obwohl der Baustein Funktionen wie VLANs, QoS und Layer-1-bis-4-Filterung beherrscht.

Die Auswahl an preisgünstigen 2,5-Gbit/s-Switches dürfte aber weiter steigen: Der Chiphersteller MaxLinear hat zur Computex 2023 seinen Controller MxL86282 vorgestellt, der bis zu acht 2G5-Ports und zwei 10G-Ports (SFP+) bedient.

## Ausprobiert

Wir haben mit drei NBase-T-Gegenstellen geprüft, ob die Switches eine Verbindung mit 2,5 Gbit/s Linkrate über 50 Meter Ethernetleitung aufbauen (40 Meter CAT5e-Installationskabel, zwei 5-m-Patchkabel). Das klappte bei allen mit der PCIe-Karte Asus XG-C100C (Aquantia AQC107), dem USB-Adapter Digtus DN-3025 (Realtek RTL8156) und dem Netgear-Switch XS512EM. Über alle Verbindungen gingen



## MokerLink 2G041G

Dem 2G041G fehlt, was die Chipsatz-Geschwister von Nicgiga und Sodola haben, nämlich der SFP+ Slot. MokerLink spart sich schlicht das Bestücken des Cages auf der Platine, die für den 10G-Port vorbereitet ist. Wer SFP+ nutzen möchte, sollte sich deshalb den gleich teuren SL-SWTG015AS näher ansehen.

- ⬆️ **energiesparsam**
  - ⬇️ **kein SFP+ Slot**
- Preis: ca. 90 Euro



## Nicgiga S25-0501

Der S25-0501 von Nicgiga fiel uns als erster 2G5-Switch mit 10-Gbit/s-Option auf: Ein SFP+ Slot ist in dieser Geräteklasse noch nicht selbstverständlich. Den Vorzug lässt sich Nicgiga mit rund 20 Euro Aufpreis gegenüber dem gleich bestückten Sodola-Switch aber fürstlich bezahlen.

- ⬆️ **SFP+ für 10G-Option**
  - ⬇️ **vergleichsweise teuer**
- Preis: ca. 110 Euro



## QNAP QSW-1105-5T

QNAPs wuchtiger QSW-1105-5T ist am längsten im Markt und baut auf einen in dieser Anwendung fast unterforderten Broadcom-Controller. Im Test schwächelte er nur im Vollduplex-Zusammenspiel mit einem wenig verbreiteten Server-Netzwerkchip, was für den Netzalltag aber nebensächlich ist.

- ⚠️ **schwächelte mit Server-NIC**
  - ⬇️ **energiehungrig**
- Preis: ca. 107 Euro



## Sodola SL-SWTG015AS

Vollduplexverkehr über vier Ports gleichzeitig leitete der SL-SWTG015AS in unserem Setup nicht verlustfrei weiter, womöglich wegen der wie bei QNAP beteiligten Server-Netzwerkkarte. Mit 10 Gbit/s über ein Optikmodul hatte der Switch hingegen kein Problem.

- ⬆️ **SFP+ Slot für 10GE**
  - ⬇️ **Vollduplex-Schwäche im Test**
- Preis: ca. 90 Euro



## Trendnet TEG-S350

Der TEG-S350 blockte in unserem 4-Port-Benchmark Ethernet-Frames mit VLAN-Tags, es gingen keine Daten durch. Trendnet hat das Verhalten bestätigt und will demnächst eine neue Switch-Version herausbringen, die VLANs durchlässt. Nachdem wir den Aufbau umkonfiguriert hatten, flossen die Daten verlustfrei.

↑ **kostet wenig**

↓ **blockiert VLANs**

Preis: ca. 73 Euro



## Zyxel MG-105

Zyxel scheint beim MG-105 nicht alle Energiesparregister gezogen zu haben: Gegenüber den anderen Broadcom-bestückten Switches (QNAP, Trendnet) lag seine Idle-Leistungsaufnahme bei Maximalbelegung rund ein Watt höher. Mit viel Datenverkehr kam er aber problemlos zurecht.

↑ **kompaktes Gehäuse**

↓ **energiehungrig**

Preis: ca. 79 Euro

die erwarteten 2,35 Gbit/s TCP-Durchsatz, gemessen mit iPerf3.

In die SFP+ Slots setzten wir drei verschiedene Module ein (E10GSFPCR-C: 10GBase-SR, Noname, Intel-kompatibel; SFP-10G-BX: 10GBase-BX von FS; S+RJ10: 10GBase-T von Mikrotik). Alle wurden erkannt, aktiviert und bauten einen 10-Gbit/s-Link auf. Darüber gingen beim simultanen iPerf3-Bench zu vier Gegenstellen die erwarteten 9,4 Gbit/s, also etwas über 1 GByte/s.

Spannend wurde es, als wir versuchten, Vollduplexverkehr über vier 2G5-Ports der Switches gleichzeitig zu schicken. Dabei flossen außer bei zwei Modellen ebenfalls die erwarteten 9,4 Gbit/s pro Richtung.

Doch QNAPs QSW-1105-5T mochte die X550-Gegenstelle im Server anscheinend nicht so recht, denn über diese Schnittstelle gingen in eine Richtung nur rund 1,2 Gbit/s statt 2,35. So blieb der QSW in Summe bei 8,4 Gbit/s. Auch Sodolas SL-SWTG015AS schien unser Setup nicht zu passen: Er übertrug in diesem Test nur 4,7 Gbit/s, zeigte aber bei weniger gleichzeitig beaufschlagten Ports keinen Einbruch. Für den Alltagsbetrieb, wo Vollduplexverkehr mit voller Geschwindigkeit so gut wie nie vorkommt, taugen die beiden Switches durchaus.

Beim TEG-S350 ging in diesem Szenario wegen eines VLAN-Problems anfangs gar kein Verkehr durch, was uns zum Umstellen des Testsetups nötigte (siehe Produktbesprechung).

## Energiekosten

Die Leistungsaufnahme am Stromnetz war bei allen Switches abhängig davon, wie viele Ports mit welcher Geschwindigkeit aktiv waren. Das überprüften wir mit einem und fünf Links jeweils bei 1 Gbit/s und 2,5 Gbit/s Linkrate ohne Datenverkehr.

Auffällig war der Unterschied zwischen den mit Realteks RTL8372 und den mit Broadcoms BCM53161 bestückten Switches: Die erste Gruppe begnügte sich bei einem 1G-Link mit 1,7 bis 1,9 Watt, die zweite Gruppe zog hingegen 4,7 bis 5,3 Watt. Bei Maximalbelegung (fünf 2G5-Links) waren es 5,2 bis 5,5 Watt beziehungsweise 9,1 bis 10,1 Watt.

Auf den einzelnen Port heruntergebrochen brauchte ein mit 2,5 Gbit/s aktiver Anschluss bei den Realtek-basierten Switches im Schnitt rund 0,8 Watt, bei 1 Gbit/s ungefähr 0,4 Watt. Die Broadcom-Varianten zogen in diesem Szenario mit rund 1,0 beziehungsweise 0,55 Watt nur wenig mehr Leistung.

## Multigigabit mit Flaschenhals

Unser erster Versuch, 10 Gigabit pro Sekunde über die SFP+-Ports der Nicgiga- und Sodola-Switches zu schicken, scheiterte an der dafür beschafften 4-Port-Netzwerkkarte Exsys EX-60114. Mit ihr kamen wir nicht über rund 6 Gbit/s TCP-Summendurchsatz hinaus, obwohl die Switches 10 Gbit/s brutto und damit 9,4 Gbit/s TCP schaffen sollen.

Ein Blick unter den Kühlkörper der Karte löste das Rätsel: Vier Ethernet-Controller Realtek RTL8125BG hängen über einen PCI-Express-Switch-Chip Asmedia ASM1806 am PCIe-Slot. Zwar ist die Kontaktleiste der Karte physisch für einen PCIe-x4-Slot ausgelegt, doch der Switch-Chip hat nur zwei Lanes, die obendrein gemäß dem alten PCIe 2.1 arbeiten. Schon das beschränkt die PCIe-Datenrate auf 10 Gbit/s, wovon wegen des 8b/10b-Codings nur 8 Gbit/s übrigbleiben.

Ein weiterer Teil fällt dem Protokoll-Overhead zum Opfer. Bis einschließlich PCIe 5.0 erlaubt das Protokoll bis zu 4096 Byte Payload pro Transfer, aber der ASM1806 nutzt laut Hersteller maximal 512 Byte. Pro 1518 Byte großem Ethernet-Frame werden also drei

PCIe-Zyklen fällig. Die Performance des ASM1806 genügt damit zwar für vier 1-Gbit/s-Ports, aber nicht für vier 2,5-Gbit/s-Ports. Das lässt stumpfes „Aufrüsten“ eines älteren Kartendesigns durch Tausch der Ethernet-Chips vermuten. Wer beispielsweise eine Selbstbau-Firewall für 2,5 Gbit/s ertüchtigen will, muss also beim Kartenkauf aufpassen.



**Mehrportkarten für Multigigabit-Ethernet schaffen nicht immer volle Geschwindigkeit an allen Anschlüssen: Bei diesem Exemplar bremst der PCI-Express-Switch (gelb markiert) die vier Netzwerkchips aus.**

Schließlich prüften wir beim Zyxel-Switch, wie viel mehr Energie aktive Datenübertragung fordert. Die 18,8 Gbit/s Summendurchsatz des obigen Voll-duplex-Benchmarks trieben die Leistungsaufnahme des MG-105 nur um rund 0,2 Watt hoch. Das dürfte in gleicher Größenordnung auch für die anderen Switches typisch sein.

Folglich bleibt die Idle-Leistungsaufnahme die für die jährlichen Stromkosten relevante Größe. Wie hoch die bei Ihnen ausfällt, hängt von der Anzahl belegter Ports, der Linkrate und der Einschaltdauer der angeschlossenen Hosts ab. Wer bereits einen der Broadcom-basierten Multigigabit-Switches hat, sollte ihn im Sinn der Nachhaltigkeit weiter betreiben und erst bei Ausfall durch ein sparsameres Modell ersetzen. Bei einer Neuanschaffung fährt man mit einem Realtek-basierten günstiger.

## Was 2G5 bringt

Wir prüften mit einem Netzwerkspeicher QNAP TS-264, wie stark der Schritt von 1 auf 2,5 Gbit/s den Datentransfer beschleunigt. Das NAS war mit zwei 12-TByte-Festplatten ST12000VN008 und zwei 500 GByte fassenden Cache-SSDs Samsung 980 bestückt, beide Gruppen in RAID-1-Konstellation für Ausfallsicherheit, und sonst mit Standardeinstellungen betrieben.

Der lineare Zugriff auf große Dateien, im c't-NAS-Benchmark 10 × 400 MByte, lief wie erwartet fast zweieinhalbmal so schnell (Faktor 2,3, Mittelwert Schreiben/Lesen 252 zu 110 MByte/s). Bei mittelgroßen Dateien (100 × 2 MByte) gab es dank des SSD-Caches, der die Festplattenlatenz weitgehend ausgleicht, auch eine satte Verdoppelung (151 zu

76 MByte/s). Kleine Dateien (1000 × 256 KByte) flossen hingegen nur um 31 Prozent schneller (42 zu 32 MByte/s), weil dabei die Latenz in den Betriebssystemen überwiegt.

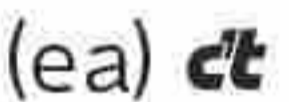
Bei zufälligen Zugriffen, wie sie beim Abfragen oder Updaten einer Datenbank auftreten, brachte 2G5-Ethernet bei uns auch nach zehn Läufen des Intel-IOPS-Benchmarks DiskSpd gegenüber Gigabit-Ethernet keinen erkennbaren Gewinn (3835 zu 3843 IOPS). Doch als wir die Cache-Strategie des QNAP-NAS von der Vorgabe „Zufällige E/A“ auf „Alle E/A“ umstellten, kletterten die IOPS deutlich um rund 60 Prozent (21.960 zu 13.630).

### Fazit

Grobe Patzer fielen bei unserer Stichprobe günstiger 2,5-Gbit/s-Switches nicht auf, für den Netzwerkalldag taugen alle – ausgenommen der TEG-S350, wenn

man VLANs nutzen will. Der wichtigste Unterschied liegt bei der Idle-Leistungsaufnahme: Geräte mit Broadcom-Controller ziehen deutlich mehr Energie als jene mit dem Realtek-Pendant. Leider kann man von außen nicht erkennen, was drinsteckt, und muss auf Angaben in den Produktdatenblättern hoffen.

Wenn viele Ihrer Geräte schon Multigigabit-Ethernetports haben, die 2,5 Gbit/s beherrschen, dann kann die inzwischen kleine Investition in einen passenden Switch nach unseren Messungen einen deutlichen Durchsatzschub bringen.

Doch 2,5 Gbit/s im LAN sind nur ein Zwischenschritt, der Weg zu 5 Gbit/s ist vorgezeichnet: Der Chiphersteller Realtek etwa hat seine Bausteine RTL8126 für PCI-Express-Karten oder Onboard-Schnittstellen und RTL8157 für USB-Adapter schon Anfang 2022 vorgestellt. Bis preisgünstige Adapter und Switches für „5G“ im LAN zu haben sind, dürfte es indes noch etwas dauern. (ea) 

# Reduzieren Sie Ihren digitalen Fußabdruck

Webinar-Serie: „Green IT – Verantwortungsbewusste Nutzung von IT-Ressourcen im Unternehmen“

06.11. – 04.12.2024

Lernen Sie in dieser fünfteiligen Webinar-Serie die Grundlagen von Green IT kennen, inklusive Nachhaltigkeitsberichterstattung, gesetzlicher Rahmenbedingungen, Erkennung von Greenwashing und relevanten Zertifizierungen.

 heise academy



**Jetzt Tickets sichern: [heise-academy.de/webinare/green-it](https://heise-academy.de/webinare/green-it)**



Bild: KI Midjourney | Bearbeitung c't

# Multigigabit-Ethernet für Synology-NAS

Viele NAS-Modelle von Synology sind zwar nur für Gigabit-Ethernet ausgelegt, doch sie lassen sich unverhofft über den USB-Port auf 2,5 Gbit/s beschleunigen. Passende Ethernet-Adapter gibts ab 30 Euro, die Treiber sind kostenlos und wir zeigen, wie Sie die Dinge zusammenfügen.

Von **Dušan Živadinović**

**D**ie NBase-T-Technik ist der kleine Joker des Heimnetz-Admins: Wenn das Netz trotz Gigabit-Speed lahmt und die Übertragung großer Bilder, Backups oder Videoclips zur Geduldsprobe wird, bohrt man den Flaschenhals einfach mit einem NBase-T-Switch auf. Der beschleunigt das LAN ohne

Neukonfiguration auf 2,5 Gigabit pro Sekunde (kurz 2G5) und kommt in vielen Heimnetzen mit den bereits verlegten Kabeln aus. Richtig attraktiv erscheint die Netzwerktechnik aber erst, seitdem im Sommer der Einstiegspreis für NBase-T-Switches unter die 100-Euro-Grenze rutschte. Wir haben sechs solcher



Kandidaten gründlich getestet und berichten darüber im Artikel „Switches für schnelles Ethernet“.

Zum Preisrutsch passt, dass immer mehr PCs und Laptops 2G5-Ports entweder schon mitbringen oder leicht mit PCI-Express-Einbaukarten oder USB-Adaptoren ab 30 Euro aufrüstbar sind.

Lediglich NAS-Geräte der Einstiegs- und Mittelklasse zuckeln noch hinterdrein. Viele Modelle haben die Hersteller nur für Gigabit-Ethernet ausgelegt und ohne Erweiterungs-Slots konzipiert, als der Erfolg von NBase-T noch nicht absehbar war. Der Hersteller QNAP führt immerhin vor, wie sich seine NAS-Geräte mittels USB-Ethernet-Adaptoren bis 5 Gbit/s aufrüsten lassen (QNA-UC5G1T, ct.de/w4zn). Voraussetzung dafür sind QNAPs Betriebssystem QTS ab Version 4.3.6 und ein freier USB-3.x-Port am NAS-Gerät, der bis zu 5 Gbit/s befördert; das verbreitete USB 2.0 liefert höchstens 480 Mbit/s, also nicht mal die Hälfte des ohnehin vorhandenen Gigabit-Ethernet-Ports.

Synology ist bei seinen Consumer-NAS noch nicht auf den 2G5-Zug aufgesprungen: Obwohl viele der verbreiteten Synology-NAS mit USB-3-Ports bestückt sind, liefert der Hersteller keine Treiber für USB-Ethernet-Adapter mit, und ohne Treiber erscheinen USB-Ethernet-Adapter nicht als Ethernet-Schnittstelle.

Doch ein im japanischen Osaka ansässiger Entwickler bietet unter dem Pseudonym bb-qq seit Langem quelloffene Treiber für verbreitete Adapter mit Realtek- und Aquantia-Controllern auf GitHub (ct.de/w4zn). Solche Controller stecken beispielsweise in USB-Ethernet-Adaptoren von Asus, Buffalo, Delock und anderen und die Treiber kommen jetzt, da die Switch-Preise günstig sind, sehr gelegen.

Anstatt also ein lahmes Gigabit-NAS den Kindern für Spielkram zu schenken, investiert man 30 Euro für einen USB-Ethernet-Adapter und betreibt es einige Jahre weiter. Außerdem kann man eine zusätzliche Schnittstelle am NAS verwenden, um weitere Subnetze im Heimnetz einzurichten, etwa eines für IoT- und eines für Multimedia-Geräte. Oder man nutzt den Adapter, um auszuprobieren, ob und was NBase-T überhaupt in einem bestimmten Setup bringt.

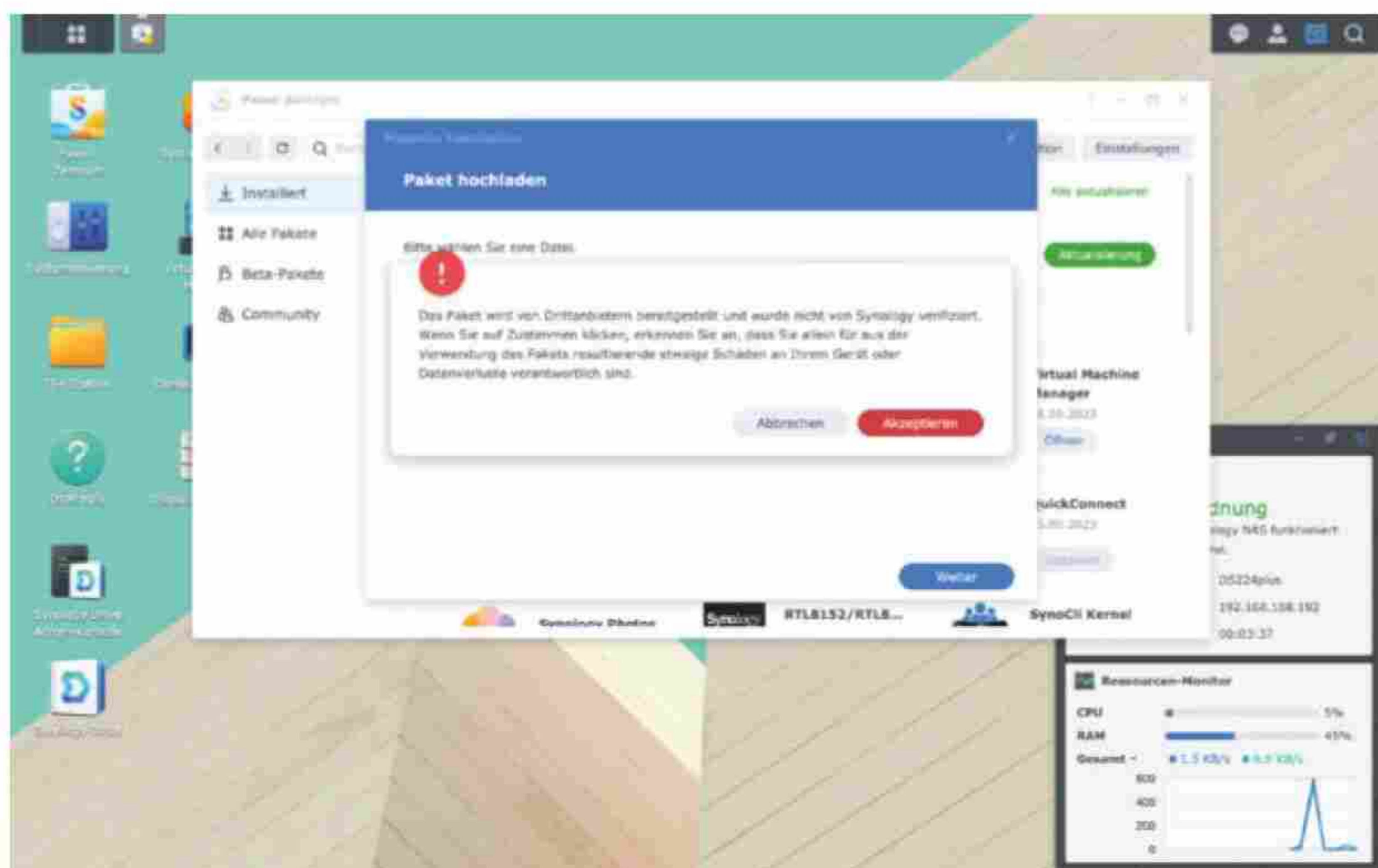
## Treiber- und Adapter-Check

Den erforderlichen Treiber muss man zunächst auf den PC herunterladen, bevor man ihn aufs Synology-NAS bringt. Falls Sie noch keinen geeigneten USB-Ethernet-Adapter haben, schauen Sie sich zuerst auf der Projektseite für Adapter mit Realtek-Controllern RTL8152, RTL8153 und RTL8156 um (ct.de/w4zn). Wir haben zunächst den 2G5-Adapter Trendnet TUC-ET2G ausprobiert, aber auch den Delock-Adapter „USB Type-C zu 2,5 Gbit LAN“ und Digitus' DN-3025 erfolgreich mit dem Realtek-Treiber r8152 von bb-qq betrieben. Wenn Sie einen dieser Adapter bestellen: Die meisten NAS-Geräte haben USB-A-Buchsen, während die Ethernet-Adapter einen USB-C-Stecker mitbringen. Dann brauchen Sie einen Steckadapter von USB-C-Stecker auf USB-A-Buchse (siehe Foto am Ende des Artikels).

Etliche Synology-Modelle sind auf einer Kompatibilitätsseite aufgeführt, aber nicht alle, sodass man nicht sicher sein kann, ob ein Adapter an einem bestimmten Modell funktioniert. Wir haben es mit mehreren ausprobiert, die in der Liste fehlen, und hatte in allen Fällen Erfolg.

Derselbe Autor bietet über das GitHub-Projekt aqc111 auch Treiber für USB-Ethernet-Adapter mit dem Aquantia-Chip AQC111U. Dieser eignet sich für Adapter, die gemäß NBase-T mit bis zu 5 Gbit/s kommunizieren. Mehr dazu im Abschnitt „Aquantia-Controller“.

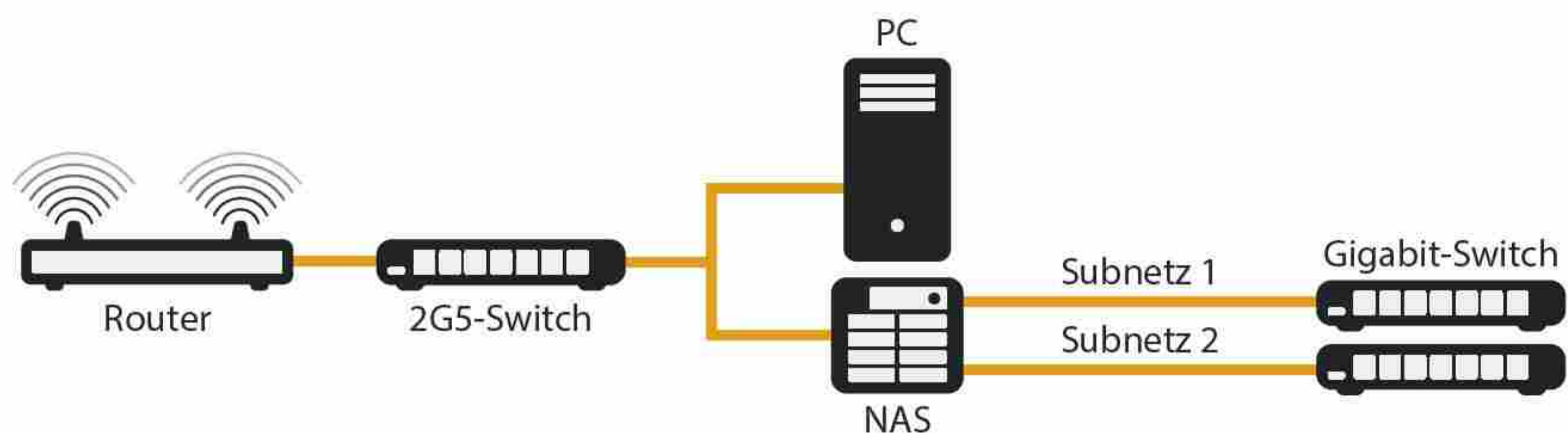
Auch Realtek hat Ethernet-Controller für NBase-T-5G herausgebracht (RTL8126 für PCIe und RTL8157 für USB). Bisher sind uns aber keine Adapter auf dieser Grundlage bekannt, auch gibt es unseres Wissens nach keine Treiber für Synology-NAS-Geräte.



**Für Synology-NAS-Geräte gibt es bisher keine USB-Ethernet-Treiber vom Hersteller, aber immerhin von einem unabhängigen Entwickler. Die Installation erfordert ein wenig Umsicht, lohnt aber.**

## Heimnetz mit 2G5-Ethernet

Damit ein passend ausgerüsteter PC und ein NAS mit schnellem USB-Ethernet-Adapter mit 2G5-Ethernet kommunizieren können, koppelt man sie über einen 2G5-Switch. An NAS-Geräten mit zwei eingebauten Ethernet-Ports kann man dann beispielsweise weitere Subnetze für das Heimnetz einrichten.



## Installation

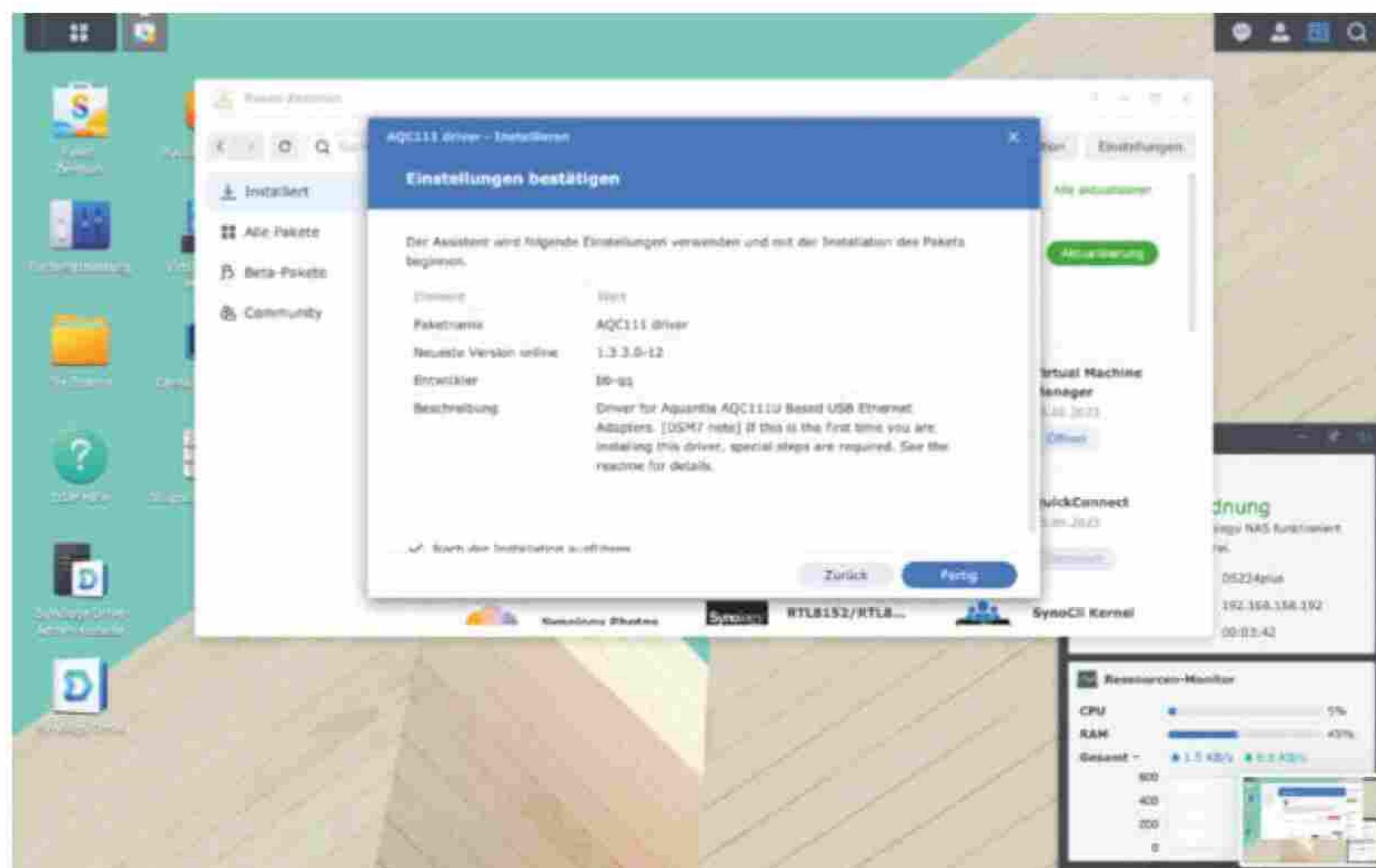
Wenn Sie einen geeigneten USB-Ethernet-Adapter zur Hand haben, können Sie die Installation in etwa einem Stündchen erledigen. Der Vorgang besteht im Wesentlichen aus drei Schritten: NAS vorbereiten, Treiber installieren, Treiber testen.

Melden Sie sich zunächst am NAS an und sichern Sie die aktuelle Konfiguration auf den PC (Systemsteuerung, Menü Aktualisieren & Wiederherstellen/ Konfigurationssicherung/Manuell exportieren).

Schließen Sie den USB-Ethernet-Adapter am NBase-T-Switch an und stecken Sie die andere Seite in eine Buchse des NAS-Geräts mit USB-3-Speed. Diese erkennen Sie am blauen Steg. Nach Forenberichten funktionieren vordere USB-Buchsen gelegentlich besser. In der Systemsteuerung sollte die Hardware im Bereich Info-Center aufgeführt sein. Manche USB-C-zu-USB-A-Adapter schleusen Daten nur in einer von zwei Orientierungen durch. Wenn die Beschriftung des Adapters nach oben weist, dann sollte es die richtige Orientierung sein. Stellen Sie sicher, dass der NBase-T-Switch mit Ihrem Router verbunden ist. Dafür eignen sich gängige Patch-Kabel mit acht durchgeführten Leitungen, auf denen Gigabit-Ethernet läuft (z. B. CAT5e).

Richten Sie den SSH-Dienst auf dem NAS ein (Menü Systemsteuerung, Terminal & SNMP, SSH-Dienst aktivieren, übernehmen). Im Verlauf der Installation müssen Sie einen bestimmten Befehl per Kommandozeile eingeben. Wenn Sie schon dabei sind, richten Sie SSH und SFTP mitsamt Home-Verzeichnissen vollständig ein. Öffnen Sie dafür in der

Systemsteuerung „Benutzer & Gruppe“, wählen Sie den SSH-Benutzer aus, klicken Sie auf „Bearbeiten“ und dort auf „Berechtigungen“. Gestatten Sie dem Nutzer Lesen und Schreiben für den Home-Ordner. Wechseln Sie zum Karteireiter „Anwendungen“ und gestatten Sie den SFTP-Dienst und bei Bedarf auch SMB und andere Dienste, das unsichere FTP aber besser nicht. Speichern Sie die Änderungen.



**Bisher sind Treiber für USB-Ethernet-Adapter mit Realtek- und Aquantia-Chips erhältlich. Obwohl sich damit auch Adapter für 5G-Ethernet eignen, lohnt bisher nur die Aufrüstung auf 2G5-Ethernet.**

Nun wirds kurz knifflig, weil der Treiber in verschiedenen Versionen erhältlich ist: Die Auswahl hängt von der jeweiligen DSM-Version (z. B. 7.1 oder 7.2), dem CPU-Modell und der Paketarchitektur des NAS-Geräts ab (z. B. Intel Celeron J4125 und Gemini Lake). Die Merkmale lassen sich aber leicht ermitteln: Die DSM-Version steht in der Systemsteuerung des Info-Centers und die Paketarchitektur finden Sie in der Knowledge-Base von Synology (ct.de/w4zn).

Beispiel: Im USB-Ethernet-Adapter Digitus DN-3025 steckt der Realtek-Controller RTL8156. Dafür braucht man also eine Treiberdatei aus dem Projekt r8152; der Treiber eignet sich für RTL8152, RTL8153 und RTL8156. Öffnen Sie die Seite <https://github.com/bb-qq/r8152/releases> und schlagen Sie im Abschnitt Assets nach (ggf. Ansicht erweitern mit Klick auf „show all“). Dort ist zwar kein NAS-Modell explizit aufgeführt, aber die verschiedenen DSM- und Paketarchitekturversionen.

Wenn Sie also einen Treiber für das Synology DS218+ mit DSM 7.1 und Apollo Lake suchen, laden Sie die Treiberdatei r8152-apollo-lake-2.17.1-1\_7.1.spk auf Ihren PC.

Weiter geht es im Webinterface des NAS-Geräts (z. B. <http://192.168.55.11>). Öffnen Sie das Paketzentrum, klicken Sie auf „Manuelle Installation“ und „Durchsuchen“ und laden Sie die von GitHub geholte

SPK-Datei von Ihrem PC auf das NAS-Gerät hoch; nicken Sie den Warndialog ab und starten Sie die Installation. Am Ende erscheint die Meldung „Das Paket konnte nicht installiert werden“. Lassen Sie den Dialog geöffnet und starten Sie eine SSH-Sitzung zum NAS (Administratorpasswort erforderlich):

```
ssh username@192.168.55.11
```

Ersetzen Sie username durch Ihren Namen und 192.168.55.11 durch die IP-Adresse Ihres NAS. Geben Sie dann folgenden Befehl in das Terminal ein:

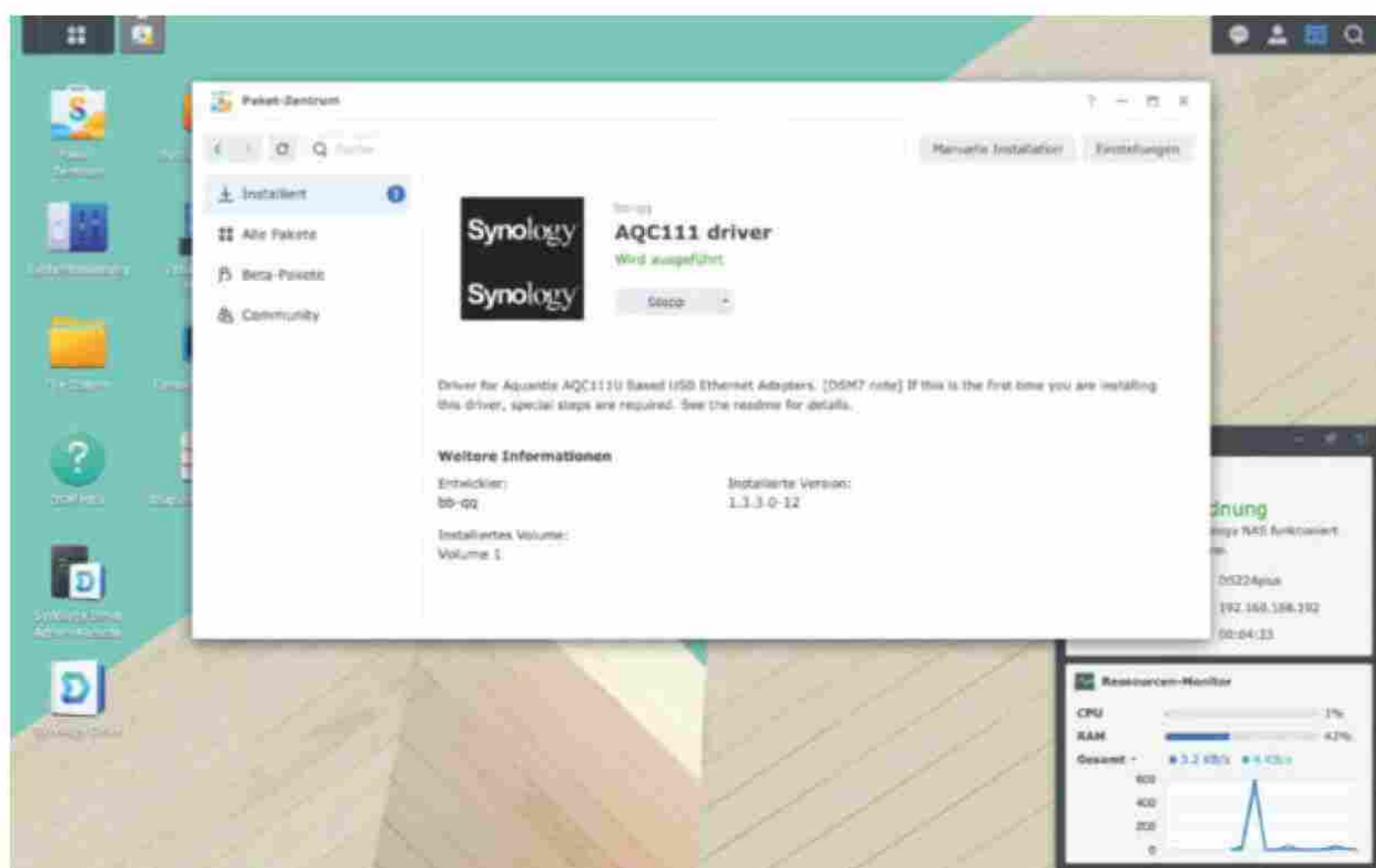
```
sudo install -m 4755 -o root -D ↵
↵ /var/packages/r8152/target/r8152/ ↵
↵ spk_su /opt/sbin/spk_su
```

Kehren Sie zurück zum Webinterface und klicken Sie erneut auf „Fertig“. Nun sollte die Installation fehlerfrei durchlaufen und der Treiber aktiv sein.

Falls nicht: Stellen Sie sicher, dass Sie die richtige Treibervariante heruntergeladen haben; das Paketzentrum meldet nicht, wenn sich ein Treiber nicht eignet, auch nicht bei falscher DSM-Version. Falls es die richtige Treiberversion ist, der Treiber aber trotzdem nicht läuft, kann es helfen, den gesamten Vorgang zu wiederholen. Manche Nutzer berichten auch, dass ein NAS-Neustart hilft. In unseren Experimenten spielte es zwar keine Rolle, ob der Adapter an einem vorderen oder hinteren USB-Port angeschlossen war, aber probieren geht über studieren. Gleiches gilt für die Orientierung des USB-Steckers, probieren Sie gegebenenfalls die andere aus.

Wenn der Treiber läuft, geht es mit Funktionsprüfungen weiter. Stellen Sie sicher, dass der Adapter über USB 3 mit 5000 Mbit/s angebunden ist. Geben Sie für diese Prüfung im Terminal `lsusb` ein. Der Befehl sollte unter anderem so etwas wie „Obda:8156:3000 00 3.20 5000MBit/s 512mA 11F (Realtek USB 10/100/1G/2.5G LAN 00000001)“ melden. 480 Mbit/s heißt, dass das NAS an der betreffenden Schnittstelle nur USB 2 liefert oder den Adapter so langsam eingebunden hat. Auch hier kann es helfen, den USB-C-Stecker andersherum einzustecken.

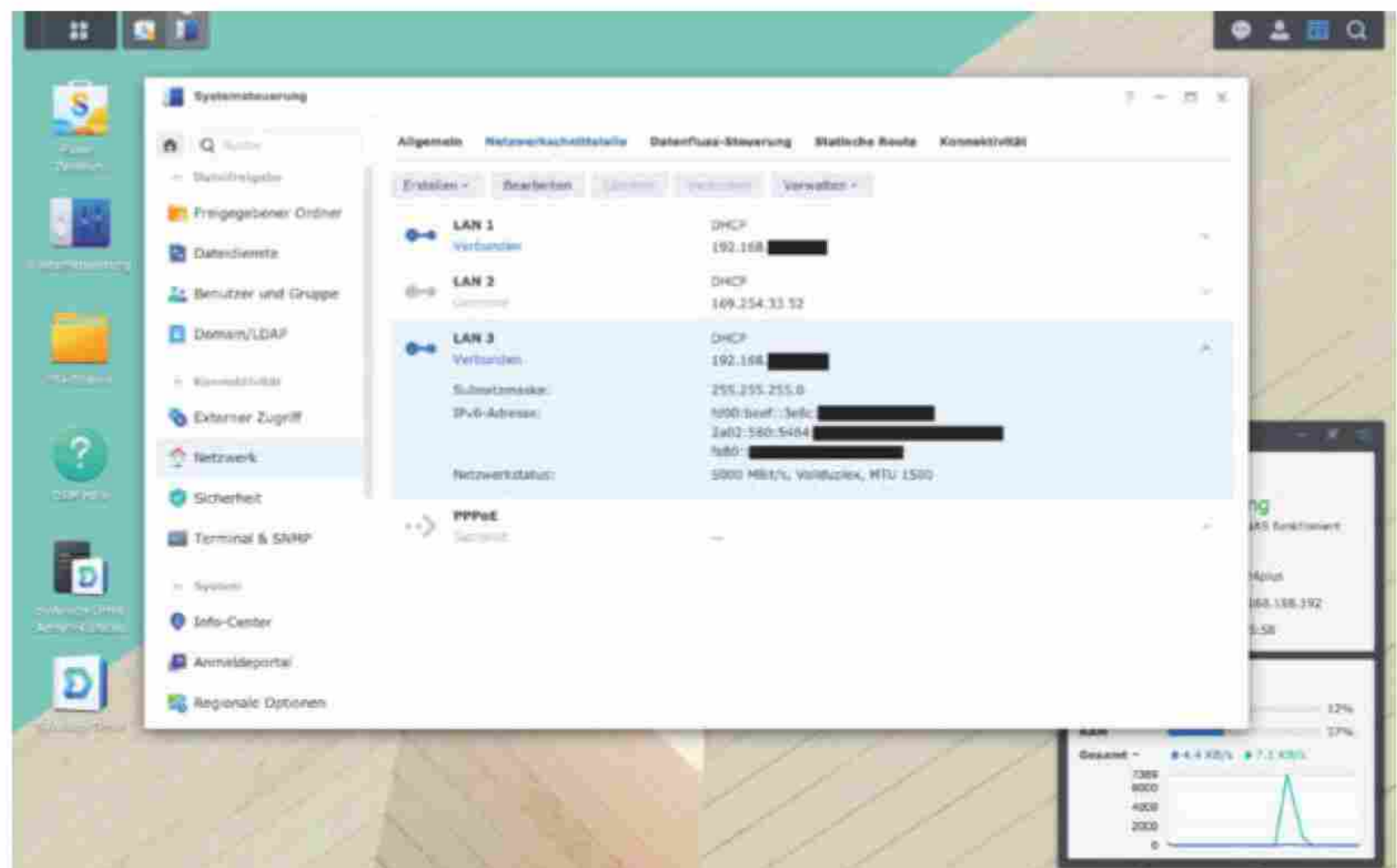
Testen Sie auch mit `lsmod | grep -i r8152`, ob das Softwaremodul geladen ist. Wenn ja, dann sollte in der Ausgabe neben Modulen wie `uas`, `etxhci_hcd` und anderen auch `r8152` stehen. Falls Sie den Treiber für Aquantia-Controller installiert haben, finden Sie das Modul mit dem Befehl `lsmod | grep -i aqc111`. Falls in der Ausgabe nichts erscheint, hat die Instal-



**Damit der Treiber installiert und ausgeführt wird, muss man den Paketmanager von Synology zwei Mal bemühen und dazwischen noch einen Kommandozeilenbefehl eingeben.**

# Gigabit-Ethernet und NBase-T-Ethernet

Gigabit-Ethernet (GE) ist heute zwar die Standardtechnik fürs lokale Netz, doch mehr als 115 MByte/s lassen sich damit nicht befördern, sodass zum Beispiel die Leistung von aktuellen Festplatten (über 200 MByte/s) und erst recht von SSDs (550 MByte/s bei SATA und bis 7500 MByte/s bei NVMe) bei Netzwerkübertragungen brach liegt. Die nächste Geschwindigkeitsstufe der Ethernet-technik bildet NBase-T mit 2,5 Gbit/s (IEEE 802.3bz). Damit lassen sich dann schon 280 MByte/s übertragen. Die NBase-T-Stufen für 5 Gbit/s und 10 Gbit/s sind noch selten, weshalb wir sie für Heimnetze zurzeit nicht als Aufrüstooption empfehlen.



**Am Ende der Installation führt die Systemsteuerung des Synology DS723+ eine dritte Ethernet-Schnittstelle auf. Die kann man für Übertragungen im Heimnetz mit 2,5 Gbit/s nutzen und die beiden anderen beispielsweise, um zwei weitere Subnetze etwa für IoT- und Multimedia-Geräte einzurichten.**

lation nicht geklappt. Dann wird das betreffende NAS-Modell entweder nicht unterstützt oder die Installation war nicht korrekt und muss wiederholt werden.

Einzelheiten zum Fehlerzustand finden Sie je nach Adapterchip entweder in der Datei `/var/packages/r8152/var/log/start-stop-status.log` oder in `/var/packages/aqc111/var/log/start-stop-status.log` sowie treiberunabhängig in `/var/log/synopkg.log`.

Wenn der `lsmmod`-Aufruf das Modul wie erwartet aufführt, dann sollte das NAS eine zusätzliche Ethernet-Schnittstelle aufweisen, was der Befehl `sudo synonet --show` anzeigt.

In der Ausgabe folgen zuerst die ab Werk installierten Ethernet-Ports (z. B. `eth0` und `eth1`) und am Ende der neue Port (`eth2`). Wenn der Treiber korrekt installiert und der Adapter auch verkabelt ist, dann hat sich das NAS über den USB-Ethernet-Adapter bereits eine neue IP-Adresse vom Router geholt.

Per Kommandozeile können Sie auch prüfen, welche Ethernet-Linkrate der Adapter ausgehandelt hat:

```
sudo ethtool eth2
```

In der Ausgabe sollte dann in der Zeile „Speed:“ (im unteren Drittel der Ausgabe) beispielsweise „2500Mb/s“ stehen, wenn sich der Adapter mit dem Switch per 2G5 verbunden hat. Außerdem liefert der Befehl Angaben darüber, welche Link-Modes die Gegenstelle anbietet, und anderes mehr.

Der Treiber wird beim Bootvorgang automatisch geladen, die Konfiguration ist aber zunächst nicht für den Hotplug-Betrieb eingerichtet. Falls der Treiber nach einem Neustart nicht geladen ist, stößt man das übers Webinterface in der Paketverwaltung an; klicken Sie einfach auf den Button „Öffnen“. Um die Hotplug-Funktion zu aktivieren, geben Sie im Terminal diesen Befehl ein:

```
sudo bash /var/packages/r8152/↵  
scripts/install-udev-rules
```

Bei Aquantia-Controllern heißt es:

```
sudo bash /var/packages/aqc111/↵  
scripts/install-udev-rules
```

Als Nächstes empfiehlt es sich, den Durchsatz des Adapters zu messen. DSM bringt dafür nur eine veraltete iperf-Variante mit. Einige unabhängige Synology-Entwickler pflegen allerdings auch eigene DSM-Erweiterungen und bieten unter anderem ein Installationspaket für das aktuelle iperf3 und andere empfehlenswerte Netzwerk-Werkzeuge. Diese und andere Pakete der SynoCommunity können Sie leicht über den Paketmanager installieren. Einzelheiten dazu haben wir veröffentlicht (ct.de/w4zn), hier folgen die wichtigsten Schritte für DSM7 und jünger: Öffnen Sie im Paketzentrum die Einstellungen und fügen Sie in der Registerkarte „Paketquellen“ die URL von SynoCommunity hinzu: <https://packages.synocommunity.com/>.

Wenn Sie zur Hauptseite der Paketverwaltung zurückkehren, finden Sie unter dem Punkt „Community“ zusätzliche Paketangebote. iperf3 steckt im Paket „SynoCli Monitor Tools“.

Um den Durchsatz des Adapters zu testen, lesen Sie zunächst die IP-Adressen aller Interfaces mit dem Befehl `ip a` aus. Nun können Sie auf dem NAS das Messwerkzeug iperf3 mit `iperf 3 -s` im Servermodus starten.

Den iperf3-Server kontaktiert man dann von einem PC, der am NBase-T-Switch hängt und ebenfalls mit 2G5 kommuniziert:

```
iperf3 -c <NAS-IP-Adresse>
```

Falls iperf3 trotz allem nur Gigabit-Speed meldet, also rund 940 Mbit/s, kann es daran liegen, dass das Tool die Messung auf dem Gigabit-Port ausführt und nicht über den USB-Ethernet-Adapter läuft. Um sicherzustellen, dass iperf3 den richtigen Port nutzt,

## Speed-Vergleich Synology DS723+

	Gigabit-Ethernet (integ. Port)	NBase-T 2G5 (Digitus DN-3025)
iperf3-Durchsatz Upstream/Downstream	0,94/0,94 Gbit/s <sup>1</sup>	1,9/2,4 Gbit/s <sup>2</sup>
<b>Durchsatz Schreiben/Lesen mit c't-NAS-Bench</b>		
große Dateien (10 × 400 MByte)	112/112 MByte/s	228/258 MByte/s
mittlere Dateien (100 × 2 MByte)	95/48 MByte/s	190/84 MByte/s
kleine Dateien (1000 × 256 KByte)	50/18 MByte/s	63/21 MByte/s
<sup>1</sup> bei <12/<4 % CPU-Last <sup>2</sup> bei ~85/~40 % CPU-Last		

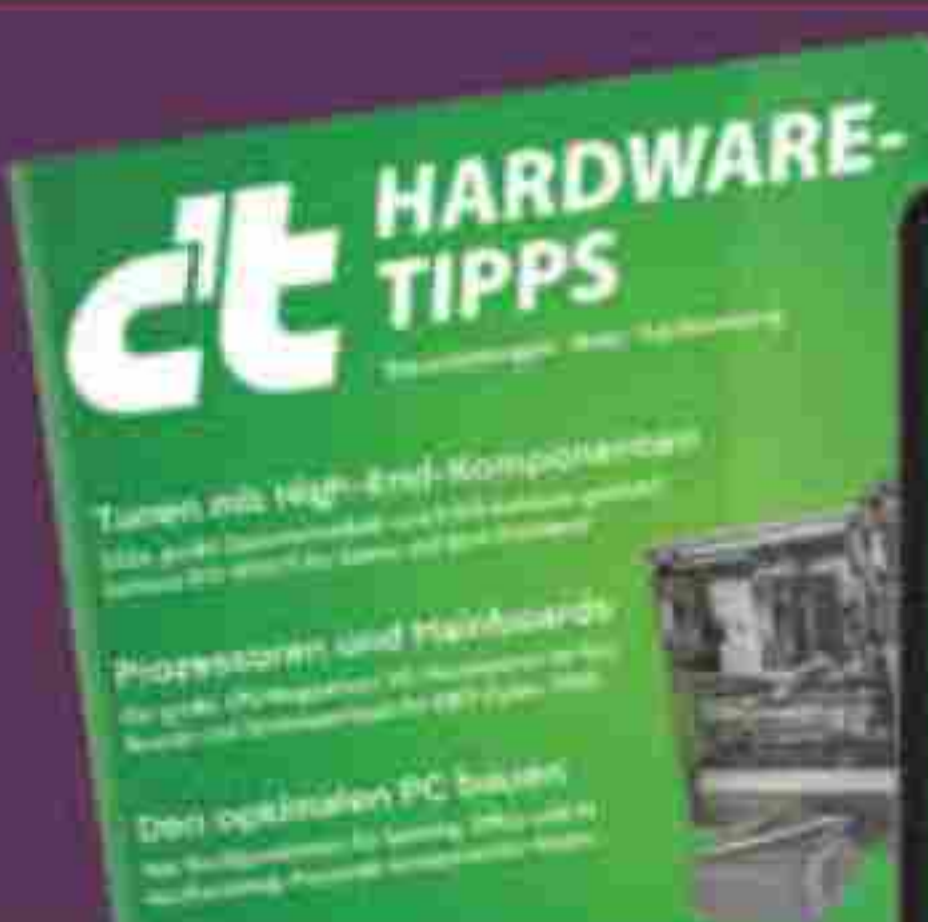
zwingt man iperf3 mit der Option `--bind-dev <Schnittstelle>`, einen bestimmten Anschluss zu verwenden. Der Schnittstellename lautet auf Synology-NAS-Geräten zum Beispiel `ovs_eth2`. Das ist empfehlenswert, solange offen ist, ob der neue Adapter die erwartete Geschwindigkeit liefert und zuverlässig funktioniert.

Wenn das der Fall ist, kann man das Ethernet-Kabel der Gigabit-Schnittstelle abziehen und nur dann anstecken, wenn der USB-Ethernet-Adapter gerade nicht läuft. So ist gewährleistet, dass alle Anwendungen den schnellen Adapter verwenden.

## Latenz und Durchsatz

Wir haben mehrere Messungen mit verschiedenen Messwerkzeugen aufgenommen und gefunden, dass die Paketlaufzeiten ein bisschen länger sind als bei eingebauten Gigabit-Ports. Auch schöpfen

# NIX VON DER STANGE!



## Wunsch-PC selber bauen oder aufrüsten

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Heft + PDF 19,90 €



[shop.heise.de/ct-hardwaretipps24](https://shop.heise.de/ct-hardwaretipps24)

die 2G5-Adapter die NBase-Spezifikation aus, aber die Ethernet-USB-Wandlung frisst CPU-Leistung.

Doch die iperf3-Messungen laufen ohne Beteiligung der Festplatten ab; alle Messdaten werden aus dem RAM ausgelesen, respektive von der Gegenstelle nur bis zum RAM eingelesen. Um abschätzen zu können, ob ein NAS mit NBase-T wirklich schneller ist als mit Gigabit-Ethernet, haben wir bei einem Synology DS723+ mit installiertem SSD-Cache nicht nur mit iperf3, sondern zusätzlich mit unserem c't-NAS-Benchmark (ct.de/4537862) gemessen. Heraus kam, dass 2G5 den Transfer mittlerer und großer Dateien klar beschleunigt (z. B. 228/258 MByte/s bei 2G5 gegenüber 112/112 MByte/s bei Gigabit), bei kleinen aber nur minimal.

Daraus folgern wir, dass 2G5 per USB eher etwas für NAS-Geräte mit modernen Prozessoren ist. Beispielsweise steckt im DS218+ ein Celeron J3355 (Jahrgang 2016, Dualcore-x86, kein SMT, maximal 2,5 GHz), das DS723+ enthält einen Ryzen R1600 (Jahrgang 2019, Dualcore-x86, SMT, max. 3,1 GHz).

## Aquantia-Controller

Zusätzlich zum Realtek-Treiber haben wir auch den Aquantia-Treiber mit einem 5G0-Adapter Trendnet TUC-ET5G am Synology DS224+ ausprobiert (Dateiname aqc111-geminilake-1.3.3.0-12\_7.2.spk). Der ließ sich zwar prinzipiell genauso einrichten wie der Realtek-Treiber. Aber er lieferte am NAS-Gerät schon im iperf3-Test nicht mehr als 2,2 Gbit/s. Hingegen lieferte er an einem Asus VivoBook 14 konstant 3,1 Gbit/s.

Der Entwickler und manche Nutzer berichten immerhin von iperf3-Messwerten mit NAS-Geräten um 3,8 Gbit/s herum. Falls Sie ebenfalls mit einem Aquantia-basierten Adapter experimentieren und zu niedrige Durchsatzraten erhalten, können Sie versuchsweise den Überhitzungsschutz und den Stromsparmodus abschalten:

```
echo off | sudo tee /var/packages/↵  
↵aqc111/etc/flag-thermal_throttling
```

```
echo on | sudo tee /var/packages/↵  
↵aqc111/etc/flag-low_power_5g
```

Starten Sie anschließend das NAS neu, damit der Treiber die Änderung übernimmt. In unseren Versuchen haben sich diese Konfigurationsänderungen jedoch nicht auf den Durchsatz ausgewirkt.



Manche Nutzer berichten, dass der Adapter erst richtig funktioniert, wenn er von einem zwischen-geschalteten USB-Hub mit Strom versorgt wird. Ursache ist hier, dass manche NAS-Geräte am USB-Port zu wenig Strom liefern und der USB-Ethernet-Adapter deshalb nur im langsamen Low-Power-Mode läuft.

Möglicherweise kommt es beim Aquantia-Treiber darauf an, welche Kombination man verwendet. Da NBase-T-Switches mit 5 Gigabit noch recht teuer sind, raten wir zurzeit davon ab, eine Aufrüstung auf diese Stufe in Angriff zu nehmen. Ohnehin bremst das Ein- und Auspacken der Ethernet-Daten in USB-Pakete den maximalen Durchsatz auf 430 Mbyte/s herunter. Eine reine Ethernet-Übertragung liefert bei 5 Gbit/s jedoch bis zu 560 Mbyte/s.

## Fazit

NAS-Geräte haben Hersteller ursprünglich entwickelt und Kunden gekauft, um dedizierten Netzwerkspeicher möglichst ohne viel Hard- und Software-Gefrickel aufzusetzen - schnell eingerichtet, sollen sie möglichst ohne weiteren Aufwand jahrelang ihre Arbeit machen. Aber nichts macht mehr Freude, als Dinge zu tunen und ihnen mehr Leistung zu entlocken, als sie beim Kauf lieferten. Dafür fängt man dann doch wieder das Tüfteln an.

Je mehr Durchsatz man braucht, desto mehr spricht dafür, ein NAS-Gerät mit eingebauter NBase-T-Schnittstelle zu nehmen, oder wenigstens eines, das sich per PCIe-Karte aufrüsten lässt. Wer aber mit 2G5 auskommt, kann auch ein kleines Synology-NAS mit wenig Aufwand auf Trab bringen und dessen Leben im Sinne der Nachhaltigkeit verlängern, wengleich auf Kosten leicht höherer Stromaufnahme. (dz) **ct**

**Einige USB-Ethernet-Adapter kommunizieren mit 2,5 Gbit/s übers Netzwerkkabel (links), manche sogar mit 5 Gbit/s (rechts). Für den Betrieb an älteren NAS-Geräten mit USB-A-Buchse ist ein Steckadapterchen vom USB-C-Stecker auf USB-A-Buchse erforderlich (Mitte).**

**Synology-Treiber für  
USB-Ethernet**

**ct.de/w4zn**

# LAN-Traber

Die PCI-Express-Karte Delock 81260 bringt PCs mit bis zu 5 Gbit/s ins LAN.

Von **Ernst Ahlers**



**W**enn der Netzwerkspeicher (NAS) schon 10-Gigabit-Ethernet kann, bremsen die jetzt an PCs gängigen Ports mit maximal 2,5 Gbit/s (2G5) volumenträchtige Anwendungen wie Backups und das Kopieren großer Dateien empfind-

lich aus. Diesen Bremseffekt kann die PCIe-Karte Delock 81260 mildern, denn sie überträgt bis zu 5 Gbit/s. Ein kurzes Slot-Blech für flache PC-Gehäuse liegt bei.

Für den auf der Karte sitzenden Netzwerkchip RTL8126 stellt der Hersteller Tragant Windows-Treiber bereit. Damit schafft die Karte den erwarteten TCP-Durchsatz von 4,7 Gbit/s über die maximale Ethernetdistanz von 100 Metern. Linuxtreiber findet man beim Chiphersteller Realtek. Die zum Testzeitpunkt aktuelle Version hat Realtek nur bis Kernel 6.4 geprüft, aber die Karte lief bei uns auch mit dem 6.8er-Kernel von Kubuntu 24.04 problemlos und mit voller Leistung.

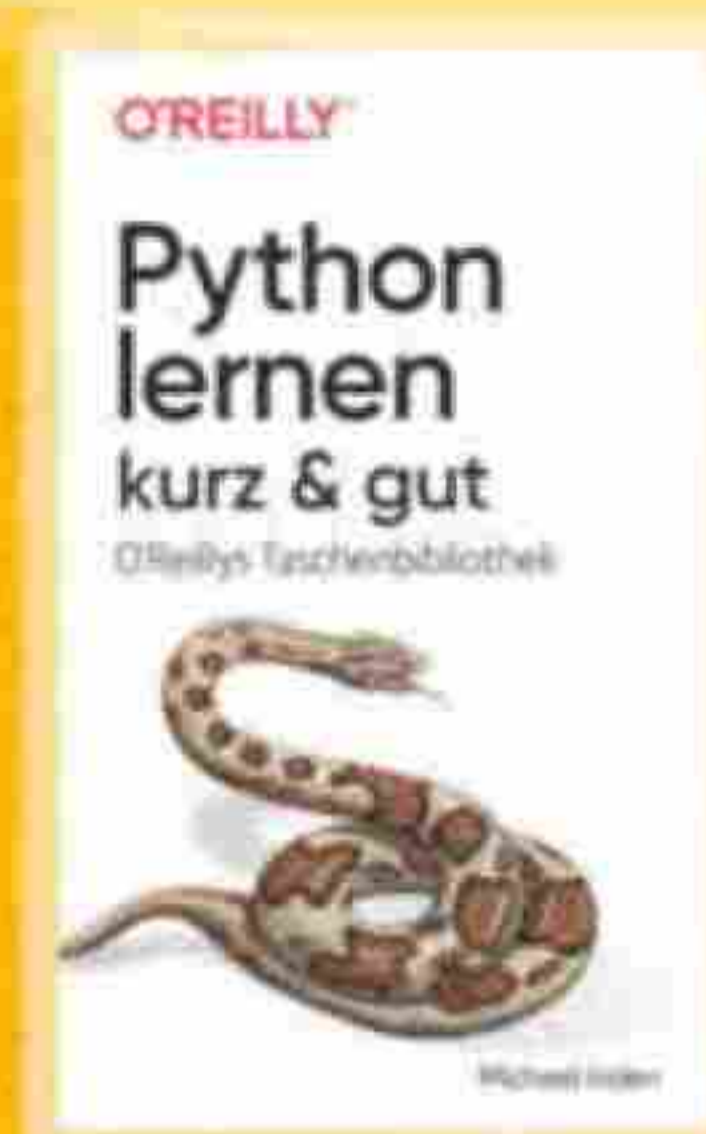
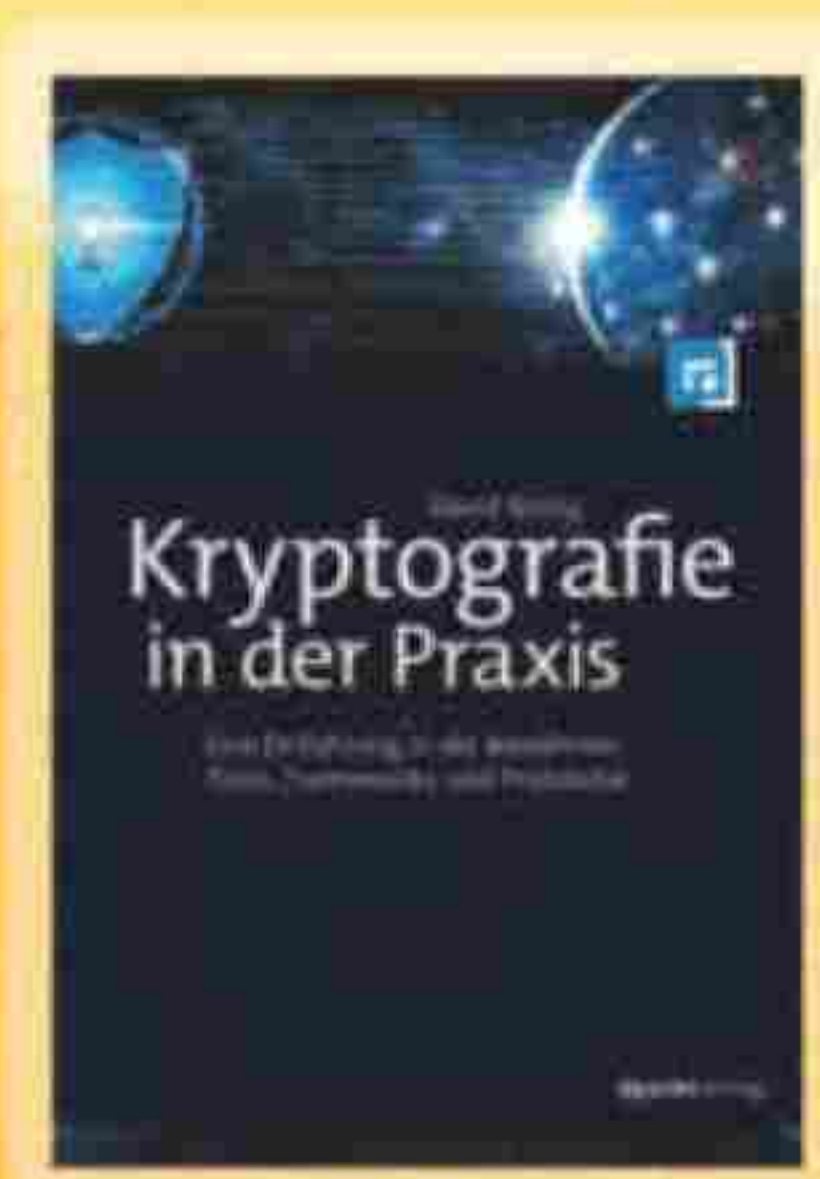
Die Delock 81260 beschleunigt PCs für knapp 50 Euro wie versprochen auf 5G-Ethernet. Für 70 Euro bekommt man aber schon eine 10G-fähige Multi-gigabit-Karte. (ea) **ct**

## Delock 5G LAN-Adapter (81260)

### PC-Netzwerkkarte

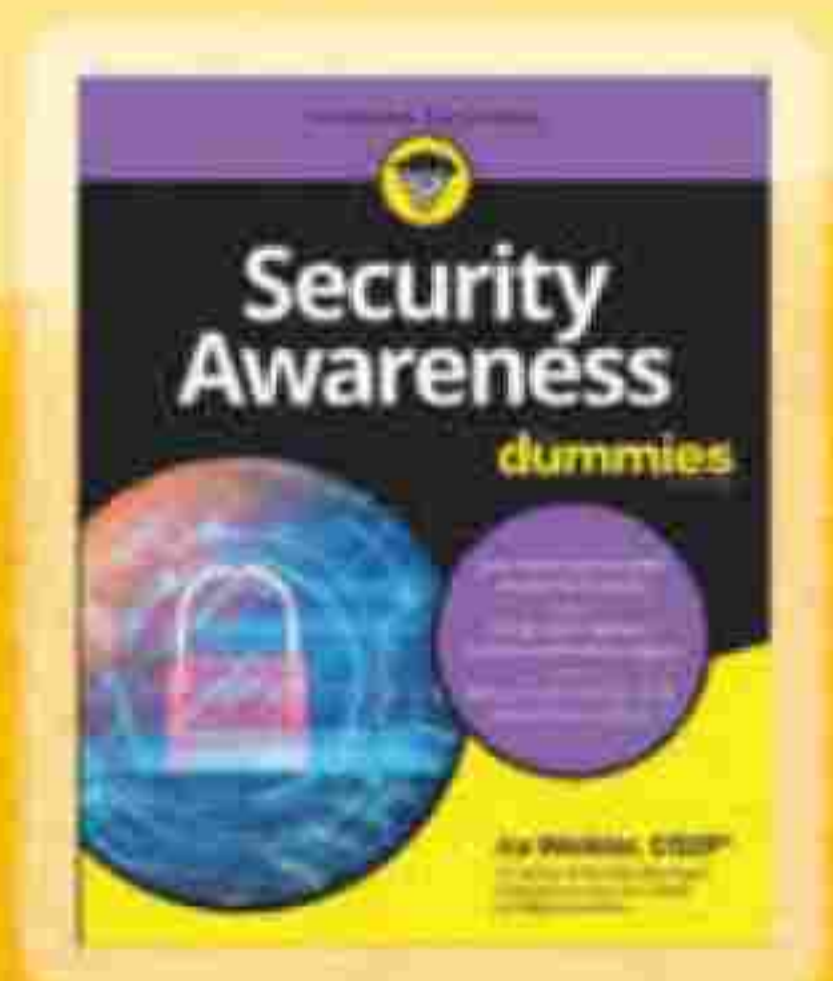
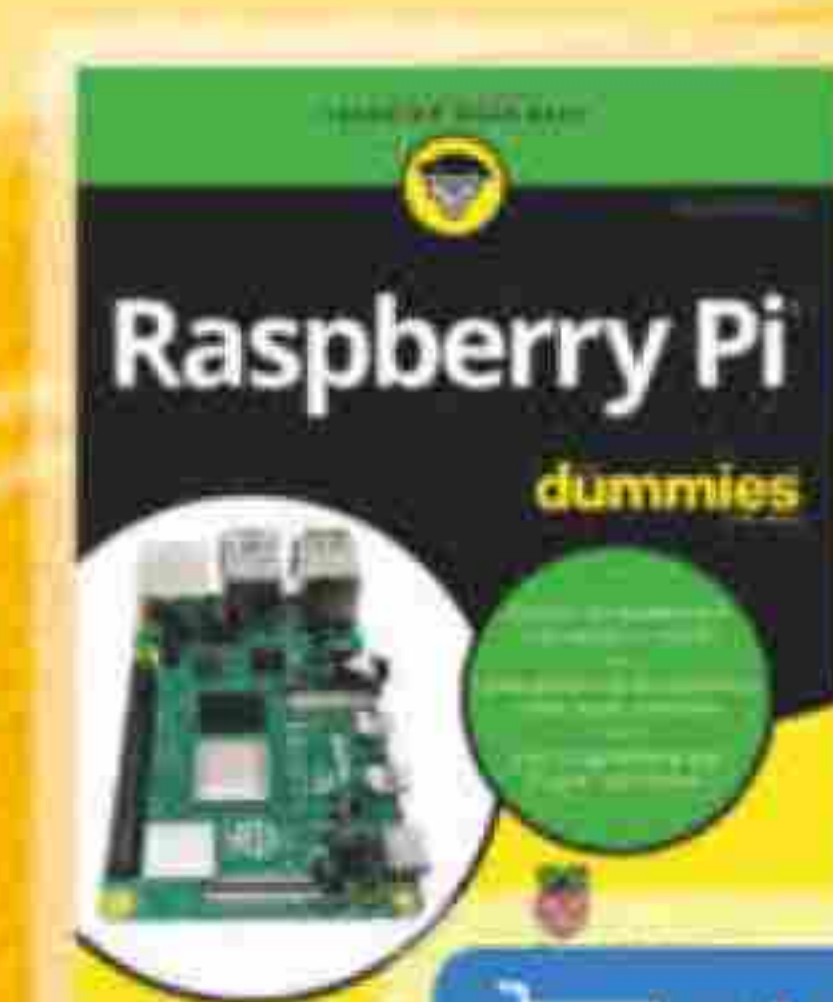
Hersteller, URL	Tragant, <a href="http://www.tragant.de">www.tragant.de</a>
Anschlüsse	1 × RJ45 (Multigigabit-Ethernet/ NBase-T mit 0,1, 1, 2,5, 5 Gbit/s), PCIe 3.0 x1
NIC-Chip	Realtek RTL8126
Treiber verfügbar für	Windows 10/11, Linux
Durchsatz über LAN-Kabel (100 m)	4,7 / 4,7 Gbit/s (Down- / Upstream)
Preis	47 €

## E-Books im heise Shop



Jetzt viele Titel als  
**ePub, mobi  
und PDF** erhältlich.

**Sofort im Zugriff,**  
dauerhaft in Ihrem  
Account gespeichert.



 [shop.heise.de/e-books](https://shop.heise.de/e-books)

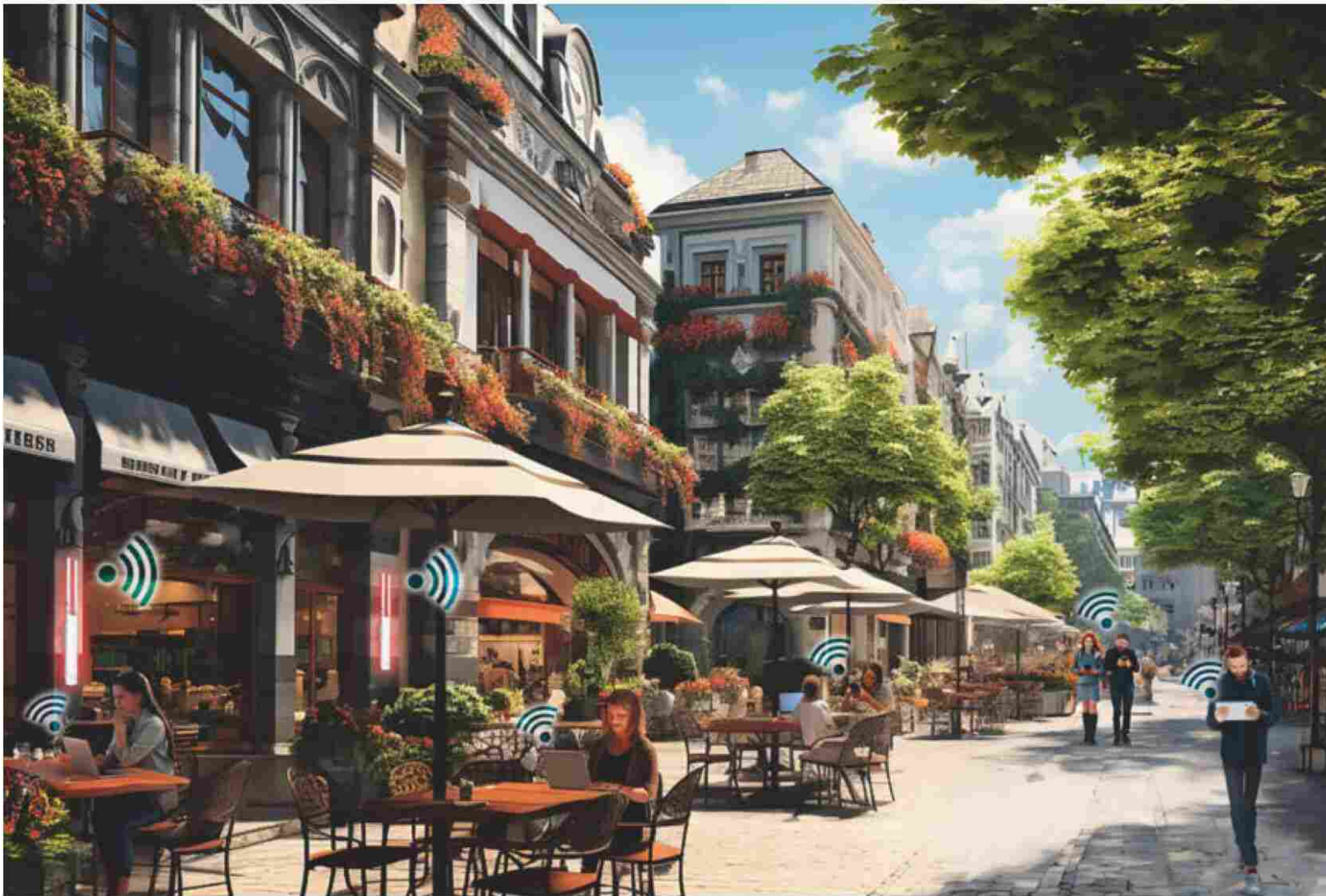


Bild: KI Midjourney | Bearbeitung c't

# Freifunk: Communities, Router, Meshing

Wer sein WLAN unkompliziert und rechtssicher mit Gästen teilen und gleichzeitig einen sozialen Dienst leisten möchte, kann das mit Freifunk tun. Ob daheim oder für Kunden von Bars, Cafés und anderen Gewerben: Wir zeigen, wie Sie loslegen und was Sie beim Einrichten beachten müssen.

Von **Andrijan Möcker**

**F**reier Internetzugang über WLAN gehört heute sowohl im Gewerbe als auch für heimische Gäste zum guten Ton. Unkompliziert, kostengünstig und gleichzeitig rechtssicher kann man sein Gästernetz mit Freifunk aufbauen. Doch um damit loszulegen, sollten Sie zunächst den Hintergrund

von Freifunk kennen: Freifunk ist nicht irgendein weiterer Hotspot-Dienst, wie ihn etwa die Telekom, Vodafone oder Hotspots bietet: Freifunk entsprang der Idee, bürgereigene und von kommerziellen Providern unabhängige Computernetzwerke mit unter anderem lokalen Diensten aufzubauen. Anfang der



Nullerjahre begannen ehrenamtliche Initiativen in London und Berlin, mittels für Richtfunk angepasster WLAN-Hardware innerstädtische Funkstrecken aufzubauen – ein großes Subnetz, das aber auch Zugang zum Internet vermittelt.

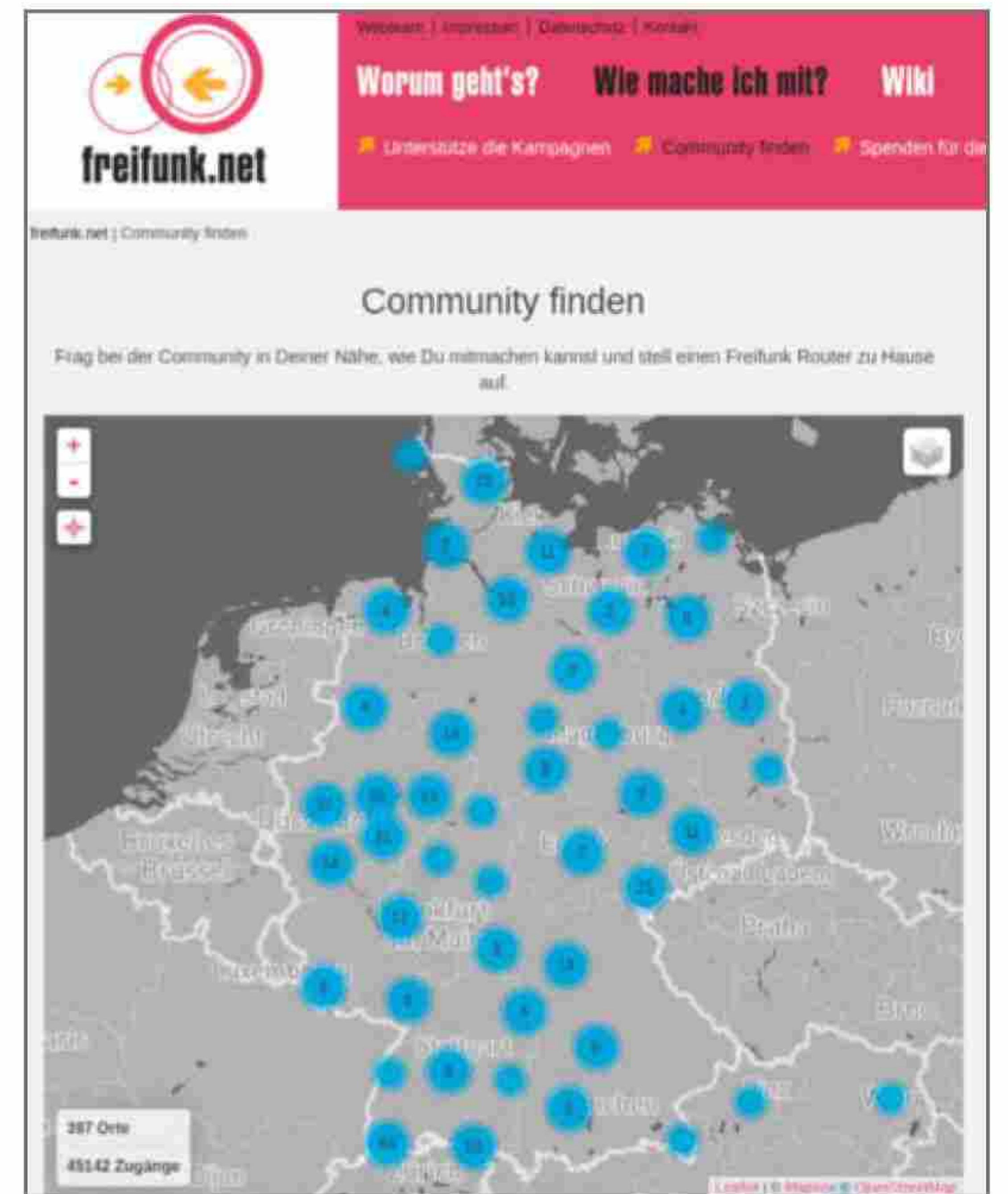
Ungefähr im selben Zeitraum entstanden eine Freifunk-Firmware und Routing-Protokolle für ein sich selbst organisierendes Mesh-Netz. Freifunk-Router strahlen nicht nur ein Client-WLAN aus, sondern verbinden sich untereinander und leiten Datenverkehr anderer Geräte bis zum Ziel weiter – ob das im Internet liegt oder innerhalb des Meshs spielt keine Rolle. Diese Firmware lief – und läuft auch noch heute – auf handelsüblichen WLAN- Routern, bei denen die Freifunker einen Weg gefunden haben, das Betriebssystem auszutauschen.

Das 2003 verfasste Pico Peering Agreement ist bis heute das Regelwerk für Freifunk-Netze. Mit ihm verpflichten sich die Teilnehmer gegenseitig, den Datenverkehr der anderen uneingeschränkt durch die eigene Infrastruktur zu leiten. Das schließt auch Hotspot-typische Vorschaltseiten und eine Login-Pflicht aus: Wer sich mit Freifunk verbindet, ist direkt im Freifunk-Netz und auch im Internet.

## Störerhaftung

Richtigen Aufschwung bekam Freifunk mit den Abmahnwellen in den 2010ern, weil viele Freifunk-Gruppen das Problem mithilfe von VPN-Verbindungen umgehen konnten: An privaten Internetanschlüssen aufgestellte Freifunk-Router verbanden sich mit den Freifunk-Servern, welche Datenverkehr ins Internet über einen VPN-Tunnel ins Ausland leiteten. Freifunk entwickelte sich so vom selbst errichteten „Richtfunk-Parallelnetz“ zum hauptsächlich virtuellen Netz mit rechtssicherem Internetzugang, das über heimische Anschlüsse läuft und als günstigen Nebeneffekt Haftungsrisiken umgeht.

Das ist auch heute noch die Realität der meisten Freifunk-Gruppen, auch „Communities“ genannt: Die meisten Freifunker schließen ihren Freifunk-Router zu Hause an den Internetanschluss an. Die größtenteils ehrenamtlichen Administratoren kümmern sich um die Serverinfrastruktur, die den „Kundenverkehr“ der Freifunk-Router per VPN entgegennimmt und ins Internet ausleitet. Letzteres läuft heute nicht mehr im Ausland, sondern direkt bei den Hostern der Server. Durch die Novelle des Telemediengesetzes sind die rechtlichen Risiken für die Gruppen vertretbar. Gleiches gilt zwar auch für jeden, der an seinem privaten Router ein Gastnetz für alle öffnet,



**Auf der Freifunk-Hauptseite gibt es eine Übersichtskarte mit Communities. In den Gruppen bekommt man technische Unterstützung und trifft Gleichgesinnte.**

doch das Risiko einer Abmahnung oder Hausdurchsuchung besteht für den Anschlussinhaber nach wie vor, wenn der Nachbar den offenen Zugang für Schindluder misbraucht.

Der Gedanke, eigene unabhängige Netze zu bauen, ist trotz dieser neuen Realität erhalten geblieben; Freifunk nutzt nach wie vor Mesh-Technik, sodass sich Router in Reichweite untereinander verbinden und auch die Internetverbindung weiterreichen. Einige Communities betreiben nach wie vor allerhand Richtfunkstrecken. Etwa, um Orte zu versorgen, für die sich Provider aus wirtschaftlichen Gründen nicht interessieren. Ausschließlich im Freifunk verfügbare Dienste spielen nur noch in wenigen Communities eine Rolle.

Ein typisches Missverständnis in Bezug auf Freifunk ist, dass die Bewegung eine besondere Funktechnik nutzt oder technische Überschneidungen mit beispielsweise CB-Sprechfunk hat. Tatsächlich nutzen die Gruppen schon immer mehrheitlich typische WLAN-Hardware in den lizenzfreien Funkbändern bei 2,4, 5, 6, 24 und 60 GHz. Die Reichweite

eines Freifunk-WLANs unterscheidet sich also nicht von anderen und das Meshen funktioniert auch nur dann, wenn sich die Router gegenseitig erreichen.

## Communities finden

Um Freifunker zu werden, benötigen Sie als Grundausstattung einen Internetanschluss sowie einen Computer mit aktuellem Betriebssystem und RJ45-Netzwerkschnittstelle, um den Freifunk-Router einzurichten. Letzteren müssen Sie selber beschaffen; wie das geht, erfahren Sie später im Artikel.

Ist die Grundausstattung vorhanden, beginnen Sie mit der Suche nach der Community, die Ihnen am nächsten liegt. Wie zuvor angedeutet, gibt es nicht die eine Freifunk-Initiative; es sind voneinander unabhängige, regionale Gruppen, die den Betrieb der Infrastruktur zum Teil unterschiedlich handhaben.

Grundsätzlich können Sie sich zwar beliebigen Initiativen anschließen, doch die regionale Gruppe bietet mehrere Vorteile: Freifunk-Router gleicher Initiativen meshen miteinander, was für bessere Abdeckung und erhöhte Redundanz sorgt. Außerdem veranstalten viele Communities regelmäßig Treffen, bei denen Sie Hilfe bei der Router-Installation und -Einrichtung bekommen können.

Auf [freifunk.net](http://freifunk.net) gibt es eine Karte mit den Standorten der einzelnen Gruppen. Den Link zur Unterseite finden Sie über [ct.de/wek7](http://ct.de/wek7). Sind Sie sich nicht sicher, welche Community in Ihrer Nähe die mit der größten Verbreitung ist, finden Sie auf [freifunk-karte.de](http://freifunk-karte.de) eine Knoten-Karte, an der sich viele Gruppen beteiligen. Klicks auf die WLAN-Symbole auf der Karte verraten die Namen der Router und die Community.

Auf der Website der jeweiligen Freifunk-Initiative können Sie erste Informationen einholen: Meist gibt es Einsteigeranleitungen, ein Wiki mit weiteren Tipps und eine Terminübersicht für Treffen. Gerade wenn Sie wenig IT-Erfahrung haben, lohnt sich der Besuch.

## Firmwares

Wie eingangs erwähnt, nutzt Freifunk eigene VPN-, Routing- und Mesh-Protokolle. Etwas IT-Basteln, nämlich einen Router mit einer eigener Firmware (Betriebssystem) zu bespielen, damit er Freifunktauglich wird, lässt sich somit nicht vermeiden.

Die Freifunk-Firmwares basieren auf dem quell-offenen, modularen Routerbetriebssystem OpenWrt, das von den Communities gut anpassen lässt. So entstanden mehrere Freifunk-Firmware-Baukästen,

etwa Gluon oder Falter. Die Krux: Community-spezifische Einstellungen wie WLAN-Namen (SSIDs) und VPN-Serveradressen müssen in die Pakete gebacken werden. Wie häufig und engagiert sich eine Community um ihre Firmwares kümmert, beeinflusst maßgeblich, welche Router Sie einsetzen können – also für welche Modelle es eine Firmware gibt. Unterstützt eine neue Version des gewählten Baukastens neue Routermodelle, muss die Community wieder die Compiler anwerfen. Anders als bei Desktopbetriebssystemen wie Windows oder Linux sind die Firmwarepakete gerätespezifisch; Router haben in der Regel viel kleinere Speicher als etwa Desktopcomputer und somit keinen Platz für riesige Betriebssystempakete mit etlichen Treibern.

Sich das Firmware-Angebot einer Community anzusehen, ist somit essenziell für den Routerkauf. Die Firmwareübersicht finden Sie in der Regel auf den Unterseiten der Community-Webseite, etwa unter „Mitmachen“. Zusätzlich führen viele Gruppen empfehlenswerte Routermodelle in ihrem Wiki auf, im Idealfall ergänzt um eine Installationsanleitung.

Wie kompliziert die Firmware-Installation ist, variiert von Routermodell zu Routermodell. Bei manchen Geräten – und das sind die einsteigertauglichsten – müssen Sie die Freifunk-Firmware lediglich im Webinterface hochladen. Andere haben ein Bootloader-Webinterface mit Updatefunktion, dessen Start man durch Halten des Resetknopfes beim Einstecken der Spannungsversorgung auslöst. Etwas komplizierter wird es, wenn der Router das Update nur über die Transferprotokolle FTP und TFTP oder gar die serielle Schnittstelle annimmt.

## Routerauswahl

Liefert die Community keine Empfehlungen, schauen Sie in deren Firmware-Übersicht nach den typischen Verdächtigen: TP-Link und GL.iNet etwa erlauben bei den meisten Modellen einen besonders einfachen Firmwaretausch.

TP-Links Archer-C7-Serie ist bei Freifunkern besonders beliebt, denn diese Router sind gebraucht günstig erhältlich und akzeptieren die Firmwares per Browser-Upload. Über Kleinanzeigenportale bekommt so ein Gerät für 20 bis 40 Euro. Tückisch ist lediglich, dass TP-Link gelegentlich eine neue Hardwareversion in den Handel bringt, die nicht zwangsläufig kompatibel zum Vorgänger ist und eine andere Firmware benötigt. Achten Sie in der Firmware-Übersicht deshalb penibel auf die unterstützten Revisionen, also etwa v1, v2 und so weiter.

**Die Fritzbox 4040 von AVM lässt sich nicht nur mit FritzOS nutzen, sondern auch mit der Freifunk-Firmware. Die schnelle ARM-CPU des Routers macht das Gerät beliebt bei Freifunkern.**



GL.iNet bietet hauptsächlich Minirouter für den Reisegebrauch. Das eingesetzte Betriebssystem ist eine abgewandelte Version des quelloffenen Routerbetriebssystems OpenWrt, das auch von Freifunk eingesetzt wird, und der Hersteller hat keine Einwände gegen den Austausch der Software. Die Router akzeptieren die Freifunk-Firmware-Dateien entweder direkt oder über ein Bootloader-Webinterface. Wie die Installation funktioniert, steht wahlweise im OpenWrt-Wiki-Eintrag des Geräts oder auch in GL.iNets Dokumentation des jeweiligen Modells. Beispiele haben wir für Sie unter [ct.de/wek7](http://ct.de/wek7) verlinkt.

Ein ebenso allseits beliebter Klassiker ist die Fritzbox 4040 von AVM. Sie bringt nicht nur Wi-Fi 5 auf 2,4 und 5 GHz mit je zwei MIMO-Streams mit, sondern auch einen vierkernigen ARM-Prozessor sowie hinreichend Flash-Speicher und RAM. Häufig setzen die Routerhersteller auf CPUs mit MIPS-Architekturen, die zwar flott routen, aber in puncto Verschlüsselung weniger potent sind, was sich im Freifunkbetrieb bei der VPN-Datenrate bemerkbar macht – denen zieht diese Fritzbox davon.

Neu kostet die 4040 etwa 90 Euro, gebraucht rund 50. Das Installieren der Freifunk-Firmware ist allerdings nicht so einfach wie bei den zwei zuvor genannten Herstellern: Man muss die Box über per FTP geschickte Befehle im Bootloader-Modus bespielen.

Von alten Routern wie etwa dem TP-Link WR841N oder gar dem Dinosaurier Linksys WRT54G sollten Sie die Finger lassen. Beide waren eine Zeit lang das Aushängeschild der Freifunk-Bewegung, weil sie günstig und leicht umzufunktionieren waren; noch heute taucht der WR841N häufig in Einrichtungsanleitungen auf. Mittlerweile sind sie aufgrund winziger Speicherausstattung und veralteter WLAN-Eigenschaften überholt.

## Innere Werte

Unabhängig davon, ob eine Community einen Router als unterstützt aufführt, sollten Sie vor dem Kauf dessen Speicherausstattung ermitteln, damit er lange durchhält. Auch beim Freifunk-Unterbau OpenWrt läuft die Entwicklung weiter und durch den wachsenden Speicherbedarf werden Geräte wie der WR841N – er hat 4 MByte Flash-Speicher und 32 MByte Arbeitsspeicher – nicht mehr aktualisiert. Aktuell warnen die OpenWrt-Entwickler davor, Geräte mit 8 MByte Flash und 64 MByte RAM noch zu kaufen. Sie empfehlen, Router mit mindestens 16 MByte Flash und 128 MByte RAM.

Wie viel Speicher ein Router hat, erfahren Sie in dessen OpenWrt-Wiki-Eintrag, der neben der Installationsanleitung auch die technischen Daten bereithält. Auf der OpenWrt-Website ([openwrt.org](http://openwrt.org)) können Sie die Modellbezeichnung suchen; haben Sie keinen Erfolg, geben Sie nur den Hersteller ein. Die Herstellerübersicht listet alle von OpenWrt unterstützten Router einer Firma.

Auch in puncto WLAN sollte das Gerät Ihrer Wahl nicht zu alt sein. Ältere Fritzboxen wie die 7362 SL oder die 7412 für 5 bis 10 Euro zu kaufen, ist zwar verlockend, bringt einem aber langsames WLAN und VPN ein. In Nachbarschaften mit vielen Funknetzen macht das Surfen wenig Spaß, wenn moderne Funkbeschleuniger und 5-GHz-Unterstützung fehlen. Dual-Band-fähige Wi-Fi-5-Router sind auf dem Gebrauchtmart nur wenig teurer.

Trotzdem dürfen Sie auch Ausnahmen machen: Viele Communities haben einen kleinen Bestand an Routern, die gerade nicht im Einsatz sind und die Sie günstig erwerben können. Wohnen Sie auf dem Land, wo Ihr WLAN mit vielleicht ein oder zwei

## Hardware Highlights

Model	Version	SoC	CPU MHz	Flash MB	RAM MB	WLAN Hardware	WLAN2.4	WLAN5.0	100M ports	1Gbit ports	Modem	USB
Archer C7	v1, v1.1	Qualcomm Atheros QCA9558	720	8	128	Qualcomm Atheros QCA9558, Qualcomm Atheros QCA9880-AR1A	b/g/n	a/n/ac	-	5	-	2x 2.0
Archer C7	v2, v2.1	Qualcomm Atheros QCA9558	720	16	128	Qualcomm Atheros QCA9558, Qualcomm Atheros QCA9880-BR4A	b/g/n	a/n/ac	-	5	-	2x 2.0
Archer C7	v3	Qualcomm Atheros QCA9558	720	16	128	Qualcomm Atheros QCA9558, Qualcomm Atheros QCA9880-BR4A	b/g/n	a/n/ac	-	5	-	2x 2.0
Archer C7	v4	Qualcomm Atheros QCA9563	775	16	128	Qualcomm Atheros QCA9563, Qualcomm Atheros QCA9880	b/g/n	a/n/ac	-	5	-	2x 2.0
Archer C7	v5	Qualcomm Atheros QCA9563	750	16	128	Qualcomm Atheros QCA9563, Qualcomm Atheros QCA9880	b/g/n	a/n/ac	-	5	-	1x 2.0

**Genau auf die Hardwareausstattung eines Geräts zu gucken ist wichtig, damit man ein Routermodell wählt, dessen Ressourcen noch einige Jahre ausreichen. Der Freifunk-Unterbau, das Betriebssystem OpenWrt, braucht aufgrund des wachsenden Funktionsumfangs immer mehr Speicher.**

anderen Netzen konkurriert, hat der gebrauchte Single-Band-Router eine Chance.

Geräte mit Wi-Fi 6, das in funkmäßig dichten Umgebungen effizienter arbeitet als seine Vorgänger, sind im Freifunk-Kosmos noch selten, weil sich die Router- und noch mehr die WLAN-Chip-Hersteller ungern in die Karten schauen lassen. Für OpenWrt essenzielle Beschreibungen über Pinbelegungen und den Quelltext für WLAN-Treiber geben die Firmen oft nicht heraus, sodass die Entwickler neue Geräte nur mithilfe von Reverse-Engineering und anderen Tricks zum Laufen bekommen.

Dramatisch ist das nicht, denn nur wenn beide Seiten – Router und Client – den neuen Standard sprechen, wird die Datenübertragung auch schneller. Bis eine neue WLAN-Variante Verbreitung gefunden hat, vergeht einige Zeit.

## Grundeinrichtung

Haben Sie einen Router besorgt und mit der Firmware der lokalen Community bespielt, geht die Grundeinrichtung los. Weil sich manche Einstellungsdetails bei den Communities unterscheiden, können wir Ihnen nicht an allen Stellen die Hand führen, sondern nur den allgemeinen Ablauf schildern. Kein Drama, denn die meisten Punkte sind selbsterklärend und häufig zusätzlich im Wiki der Communities beschrieben. Wir richten uns nach dem weit verbreiteten Firmware-Baukasten Gluon: Nach dem Installieren einer Gluon-Firmware spannt der frisch geborene Freifunk-Router noch kein WLAN auf; er befindet sich im „Config-Modus“.

Um ihn zu konfigurieren, verbinden Sie Ihren Computer über ein Netzkabel mit einem seiner LAN-Ports. Dann stellen Sie in den Netzwerkeinstellungen des PC-Betriebssystems sicher, dass automatische IP-Adressvergabe mittels DHCP aktiv ist. Sobald der Rechner eine IP-Adresse erhalten hat, rufen Sie die Adresse <http://192.168.1.1> im Browser auf.

Der von Ihnen zu vergebende „Knotenname“ ist die Bezeichnung des Routers im Freifunk-Netz; er wird sowohl auf der Karte der Community als auch auf der Statusseite des Routers angezeigt. Den WLAN-Namen (SSID) beeinflusst er jedoch nicht. Der ist in der Regel über die Community hinweg gleich.

Das „Mesh-VPN“ ist der eingangs erwähnte Tunnel zu den Freifunk-Servern über Ihre Internetverbindung. In der Regel können Sie dafür ein Bandbreitenlimit einstellen, damit Ihnen auch bei vielen Gästen noch etwas Bandbreite überbleibt. Alternativ haben manche Heimrouter – Fritzboxen etwa – Priorisierungsfunktionen, mit denen Sie Freifunk bei höherem Bandbreitenbedarf im Heimnetz hinten anstehen lassen können. Liefert Ihr Anschluss über 200 Mbit/s, müssen Sie indes nicht mit Einschränkungen rechnen, da viele Router selbst bei Communities mit WireGuard-Firmware nicht mehr als 100 Mbit/s per VPN schaffen.

Gerne gesehen ist auch, den „Knoten auf der Karte anzeigen“ zu lassen. Dadurch erfahren Menschen einerseits, wo sie möglicherweise freien Internetzugang erhalten können, und andererseits weitere Freifunk-Interessierte, wo potenziell Mesh-Verbindungen möglich sind.

Da Gluon-Netze auf dem Netzwerk-Layer 2 arbeiten, ist ab einer bestimmten Netzgröße Segmentierung erforderlich, da sonst zu viel Datenverkehr durch das Grundrauschen der Netzwerkprotokolle entsteht. Bei größeren Communities muss man somit das richtige Segment auswählen, meist „Domain“ genannt und nach Stadtteilen sortiert, oder eine Postleitzahl eingeben.

Als Kontakt können Sie etwa eine E-Mail-Adresse oder eine Rufnummer hinterlegen. Die Daten dienen der Community und interessierten Vernetzern zur Kontaktaufnahme.

Der Klick auf „Speichern & Neustarten“ bestätigt alle Einstellungen. In vielen Communities werden Sie auf der folgenden Browserseite zum Einsenden des VPN-Schlüssels per E-Mail aufgefordert, was essenziell für den Betrieb im VPN-Modus ist. Keine Sorge: Es handelt sich um den öffentlichen Schlüssel eines asymmetrischen Verschlüsselungsverfahrens; sein Versand per E-Mail offenbart kein Geheimnis.

Im Anschluss verbinden Sie den WAN-Port Ihres Freifunk-Routers mit einem Port an Ihrem Heimrouter. Diese Verbindung nutzt der Freifunk-Router lediglich für die Internetverbindung; aus dem Freifunknetz kommt man nicht in Ihr Heimnetz. Ist Ihnen das dennoch nicht geheuer, schauen Sie in die Anleitung Ihres Routers, ob sich ein LAN-Port als Gastzugang abstellen lässt, und verbinden Sie den Router damit.

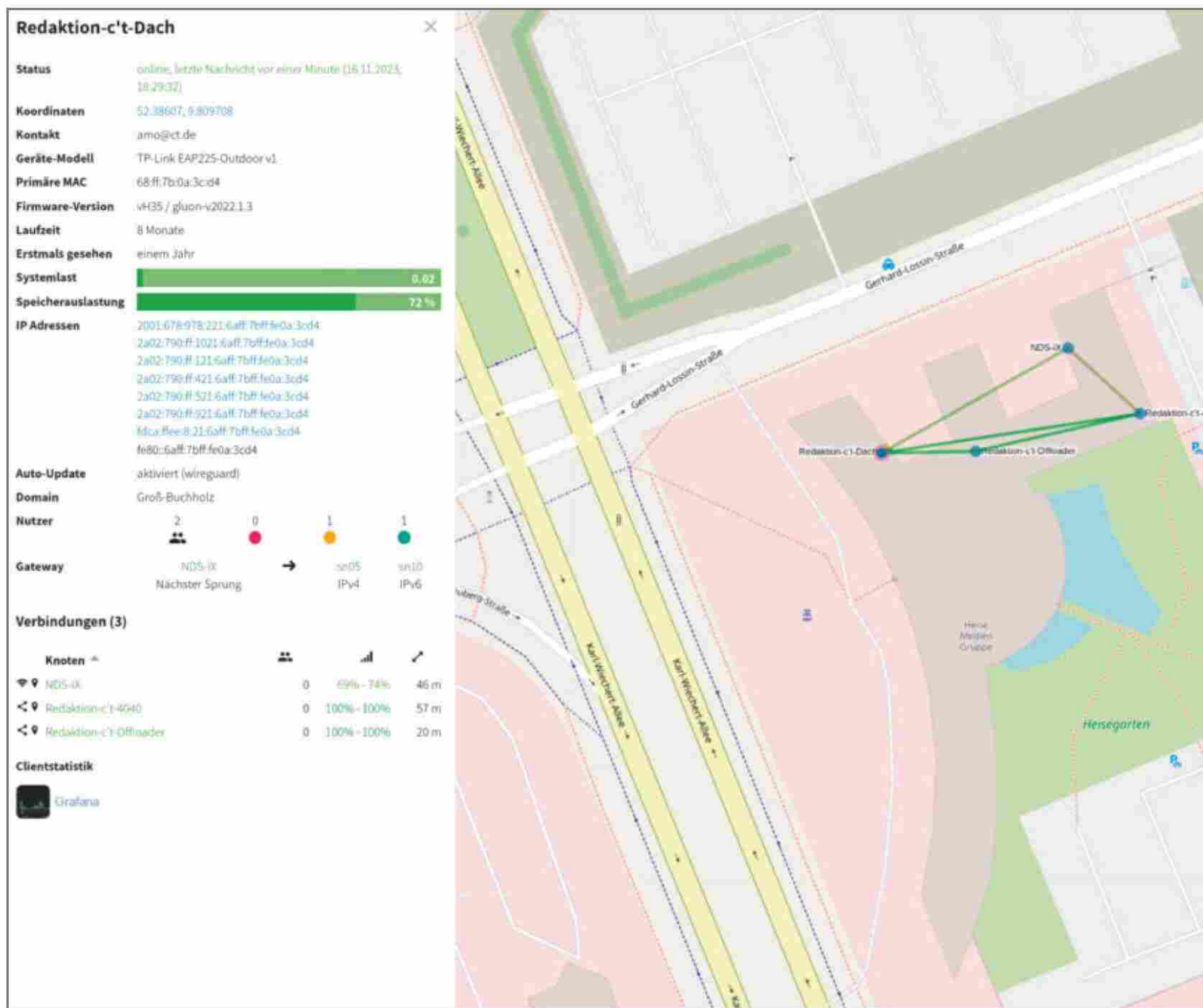
Je nachdem, ob die Community den Prozess der Schlüsseleintragung automatisiert hat oder lieber noch einmal drüberschaut, ist Ihr Freifunk-Router unterschiedlich schnell online. Meist bekommen Sie eine Bestätigung per E-Mail.

## Nachbarschaftliche Mesh-Hilfe

Tut Ihr neuer Freifunk-Router, wie er soll, sollten Sie versuchen, den Freifunk-Gedanken aktiv zu leben: Wenn Sie den Freifunk-Router nicht in den Schrank unter dem Fernseher stellen, sondern auf die Fensterbank, dann decken Sie einen Teil des Außenbereichs ab. So profitiert Ihre Freifunk-Nachbarschaft nicht nur von guter WLAN-Abdeckung, sondern auch von Redundanz, wenn eine Internetverbindung ausfällt und die Daten über die Mesh-Partner gehen, die noch online sind.

Gleichzeitig können Sie mittels Mesh auch Ihr heimisches oder betriebliches Freifunk-Netz erweitern. Stellen Sie weitere Freifunk-Router auf, meshen diese automatisch miteinander; die Verbindung zum Freifunk-Kernnetz wird durchgereicht. Mittels „Mesh on LAN“, also über Kabelverbindungen zwischen den

**Die Konfiguration eines Freifunk-Routers ist größtenteils selbsterklärend und nicht sonderlich kompliziert. Das Webinterface ist nach dem Einrichten abgeschaltet und kann durch Drücken des Reset-Knopfes reaktiviert werden.**



Die Karten der Communities verraten, welche Router untereinander meshen, und die Qualität dieser Verbindungen: Hier meshen eine Fritzbox 4040 im c't-Netze-Ressort, ein VPN-Offloader im heise-Rechenzentrum und ein Access-Point auf dem Dach per Kabel miteinander. Ein Archer C7 unserer Schwesterzeitschrift iX beteiligt sich per Funk.

Routern, können Sie das Funkspektrum entlasten, was höheren Durchsatz verspricht. Damit das klappt, müssen Sie auf den per Kabel verbundenen Routern lediglich erneut in den Konfigurationsmodus gehen (Reset-Button für drei Sekunden drücken) und rechts oben über „Erweiterte Einstellungen/Netzwerk“ die Funktion „Mesh auf dem LAN-Port“ aktivieren.

Um das Verhalten der Mesh-Verbindungen zu beobachten, gehen Sie auf die Karte der Community und suchen Ihren Router. Klicken Sie ihn an, gibt es meist links eine IPv6-Adresse, mit der Sie die Statusseite erreichen.

Die technische Welt rund um Freifunk ist umfangreicher, als dieser Artikel abdecken könnte. Wir haben deshalb weitere Links mit nützlichen Infos zum Thema unter [ct.de/wek7](http://ct.de/wek7) für Sie zusammengestellt.

## Finanzielles

Freifunk ist zwar für den Nutzer kostenlos, der Betrieb der Serverinfrastruktur und die Miete für die Treffpunkte der Administratoren aber nicht. Im Gegenteil: Das Hosting eines Servers mit guten Internet-Peers zu den großen Providern kann leicht dreistellige Beträge im Monat verschlingen. Nutzen Sie Freifunk gewerblich, etwa für Ihre Kneipe, sollten Sie Ihrer Community regelmäßig etwas spenden. Das garantiert nicht nur, dass Sie Ihren Gästen weiterhin unkompliziertes und hochwertiges WLAN anbieten können, sondern häufig auch schnelle technische Hilfe. Einige der Menschen hinter Freifunk haben wir in der Ausgabe c't 17/2019 ab der Seite 76 vorgestellt [1].

(amo) **ct**

## Literatur

[1] Keywan Tonekaboni, Gemeinsam funkten, Zu Besuch bei Freifunk-Communities in Stadt und Land, c't 17/2019, S. 76

## Infos, Dokumentationen

[ct.de/wek7](http://ct.de/wek7)

**GRATIS:**  
Signatur-Updates  
bis Juni 2025

# Ihr Erste-Hilfe-Set:

## Das Notfall-System für den Ernstfall



c't Desinfec't 2024 komplett digital auf einem 32 GByte USB-Stick! Alle Anleitungen und Artikel zur Einrichtung des Rettungssystems finden Sie auf dem USB-Stick. Das ist neu an c't Desinfec't 2024:

- ▶ Gratis Signatur-Updates bis Juni 2025
- ▶ Detailverbesserungen beim Einbinden von Laufwerken
- ▶ Neue Expertentools zu Malwarejagd wie Capa und FLOSS
- ▶ Bei Update-Problemen: Signaturen von Scannern zurücksetzen
- ▶ Kernel 6.5 (optional 6.8 für neue Hardware)

Desinfec't-Stick 19,90 €



[shop.heise.de/desinfect24](https://shop.heise.de/desinfect24)

# NAS geschickt aufrüsten und erweitern

NAS-Boxen leisten zwar jahrelang treue Dienste, zeigen aber früher oder später Schwächen: Die Festplatten sind irgendwann voll, das RAM zu klein oder der LAN-Port zu lahm. Überraschend viel lässt sich verbessern.

Von **Christof Windeck** und **Dušan Živadinović**



NAS geschickt aufrüsten und erweitern	110
Festplatten für Netzwerkspeicher	116
NAS-Arbeitsspeicher aufrüsten	120
Synology-NAS: Daten und VMs sichern	124
FAQ Netzwerkspeicher	130
Kaufberatung: Hardware für Heimserver	134
FAQ Heimserver	142
Flexibler Barebone-PC mit Ryzen-7-CPU	148
Zwei Ugreen-Netzwerkspeicher im Test	152
Vier x86-NAS im Vergleich	160



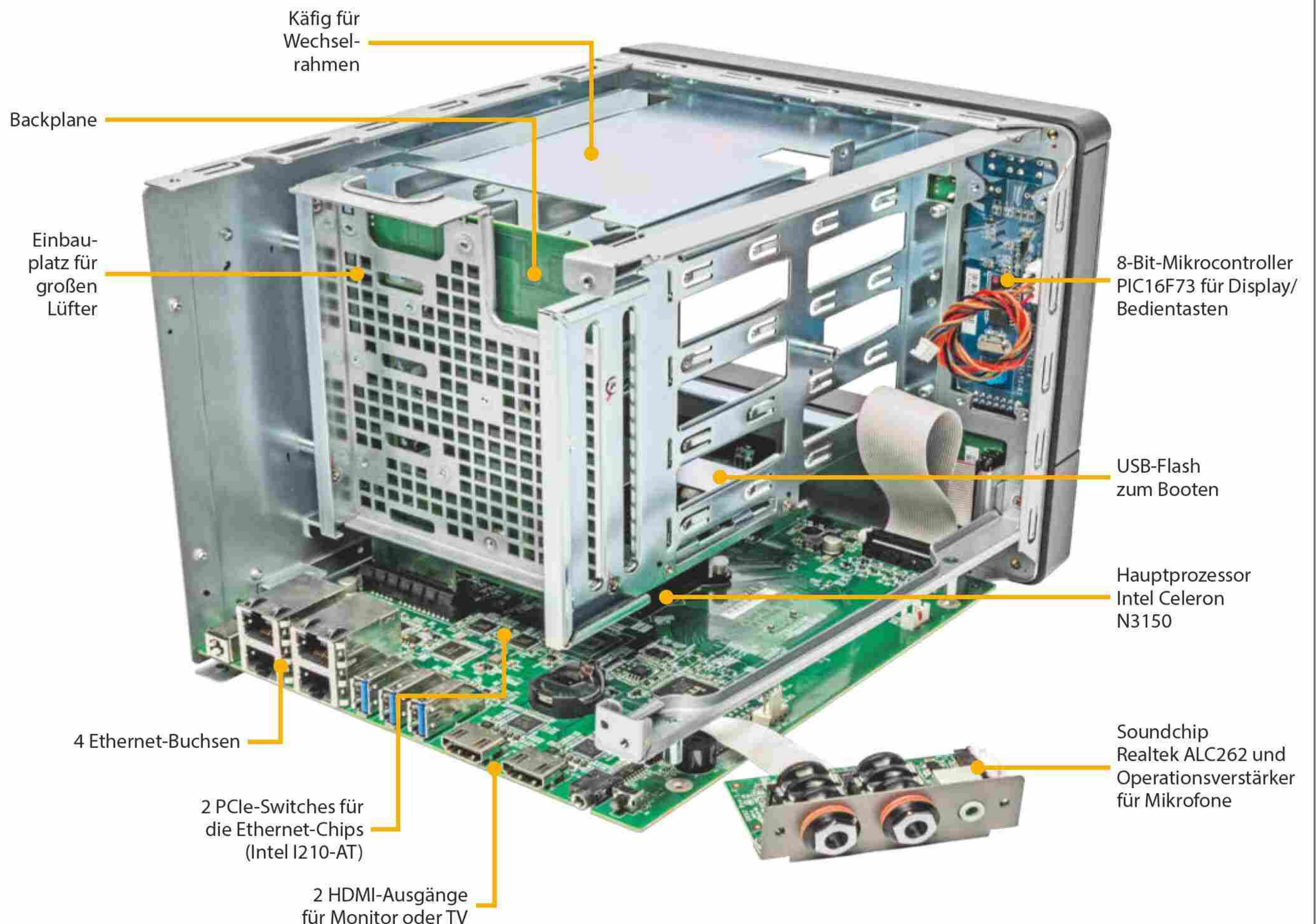
**N**etzwerkspeicher alias Network Attached Storage, kurz NAS, sind eigentlich Geräte zum Aufstellen und Vergessen: Einmal eingerichtet dienen sie als Datentümpel, die Backups, Fotos, Videos und Musikdateien klaglos schlucken und zentral bereitstellen. Doch eines Tages wünscht man sich vielleicht mehr, als ein älteres NAS leistet: mehr Festplattenkapazität, eine schnellere Netzwerkanbindung oder zusätzliche Dienste, in einer

virtuellen Maschine (VM) oder einem Docker-Container. Bei vielen NAS-Modellen lassen sich diese Wünsche mit ein bisschen Tüfteln preisgünstig erfüllen.

Technisch spielt es keine Rolle, was Sie zuerst in Angriff nehmen, aber Sie können viel Zeit sparen, wenn Sie kontraintuitiv vorgehen: Rüsten Sie den Massenspeicher nicht zuerst auf, auch wenn da der Schuh am heftigsten zwick.

## Innenansicht eines älteren Netzwerkspeichers von QNAP

Hinten sind neben den vier Gigabit-Ethernet-Buchsen drei USB-Ports angebracht, die bis zu 5 Gbit/s befördern. Darüber kann man manches alte Schätzchen auf 2,5 Gigabit/s fürs LAN aufrüsten.



## Kontraintuitiv aufrüsten

Prüfen Sie stattdessen zuerst die Auslastung des Arbeitsspeichers (RAM): Wenn die am Anschlag ist, dürfte es helfen, zuerst das RAM-Angebot zu vergrößern, denn viele Prozesse laufen bei knappem RAM nur noch gebremst. Beim Aufrüsten muss man aber darauf achten, mit welchen RAM-Bausteinen ein NAS überhaupt klarkommt (siehe Artikel „NAS-Arbeitsspeicher aufrüsten“).

Falls das NAS große Datenmengen aus dem LAN beziehen soll, etwa Videos oder große Archive von PCs, empfiehlt es sich außerdem, die Netzwerkanbindung vom üblichen Gigabit-Ethernet auf 2,5 Gigabit/s (2G5) zu beschleunigen. Der Zeitpunkt für 2G5 erscheint günstig, weil die Preise für Aufrüstungen im Jahresverlauf erheblich gesunken sind, und weil 2G5 in vielen Heimnetzen mit den bereits verlegten Kabeln auskommt. Üblicherweise handelt es sich dabei um CAT5e-Kabel. Switches für 2G5, die man einfach hinter den Router klemmt, gibt es seit dem Sommer 2023 schon ab 70 Euro; PC- und NAS-Erweiterungen für 2,5-Gigabit-Ethernet ab rund 25 Euro. Einzelheiten dazu finden Sie ab den Artikeln „Schlaue Multigigabit-Switches“ und „Switches für schnelles Ethernet“.

In diesem Heft erklären wir im Artikel „Festplatten für Netzwerkspeicher“, worauf Sie bei der Auswahl frischer NAS-Festplatten achten sollten und weshalb SSDs nur selten sinnvoll sind. Aber generell gilt: Je mehr Daten ein NAS schluckt, desto mehr Wichtiges ist dabei. Deshalb spielt die richtige Backup-Strategie mit der Zeit eine immer größere Rolle. Die ist gerade bei Synology-Geräten knifflig, wenn man auch virtuelle Maschinen (VM) automatisch sichern will. Im Artikel „Synology-NAS: Daten und VMs sichern“ spielen wir am Beispiel des Mittelklasse-NAS Synology DS1621+ durch, wie man Daten auf fernen Netzwerkspeichern in Sicherheit bringt.

## Aufrüstbedarf

Klar ist, dass man aus einem schlichten 150-Euro-NAS keinen pfeilschnellen Heimserver mit üppiger RAM-Ausstattung und 10-Gigabit-Ethernet machen kann. Doch es stellt sich die Frage, woran man NAS-Boxen erkennt, bei denen sich das Aufrüsten lohnt. Um das zu beurteilen, sollten Sie einige Basisdaten kennen.

Gigabit-Ethernet (1GE) befördert maximal 115 MByte pro Sekunde. So dauert die Übertragung einer komprimierten Backup-Datei von 2 GByte Größe rund 20 Sekunden. Selbst zehn Jahre alte Festplatten

sind dafür schnell genug und schon einfache NAS mit wenig RAM und sparsamem ARM-Chip liefern vollen Gigabitdurchsatz, zumindest, wenn sie die Daten unverschlüsselt auf der Platte speichern.

Um Gigabit-Ethernet unter gängigen Computerschnittstellen einzuordnen und um abzuschätzen, ob eine Aufrüstung überhaupt lohnt, hier noch einige Vergleichswerte: 115 MByte/s sind mehr als der doppelte Durchsatz von USB 2.0 Highspeed (480 Mbit/s, rund 55 MByte/s), aber gegenüber flinken, per USB 3.0 angekoppelten SSDs (450 MByte/s) gerade mal ein Viertel. Eine mittelmäßige Wi-Fi-5-Verbindung von einem Notebook über 15 Meter durch zwei Wände zum WLAN-Router liefert im Vergleich zu Gigabit-Ethernet nur einen Bruchteil. In günstigen Fällen sind es etwa 10 MByte/s und nur so viel wie eine 20 Jahre alte Fast-Ethernet-Karte.

Daraus ergeben sich konkrete Richtwerte: Wenn Sie Backups per WLAN aufs NAS schreiben, genügt oft ein simples oder älteres NAS. Wenn es schneller gehen soll, müssen Sie Ihr Backup-Ziel per Gigabit-Ethernet ansteuern oder lokal auf eine USB-SSD schreiben lassen. 2G5 kann die Übertragungsdauer gegenüber 1GE locker halbieren, der maximale Durchsatz von 2G5 beträgt etwa 280 MByte/s. Um diese Datenrate auszuschöpfen, müssen die im NAS eingesetzten Platten mindestens so schnell liefern. Moderne Platten erreichen über 250 MByte/s (siehe Artikel „Festplatten für Netzwerkspeicher“) und sind damit auf demselben Niveau wie 2G5.

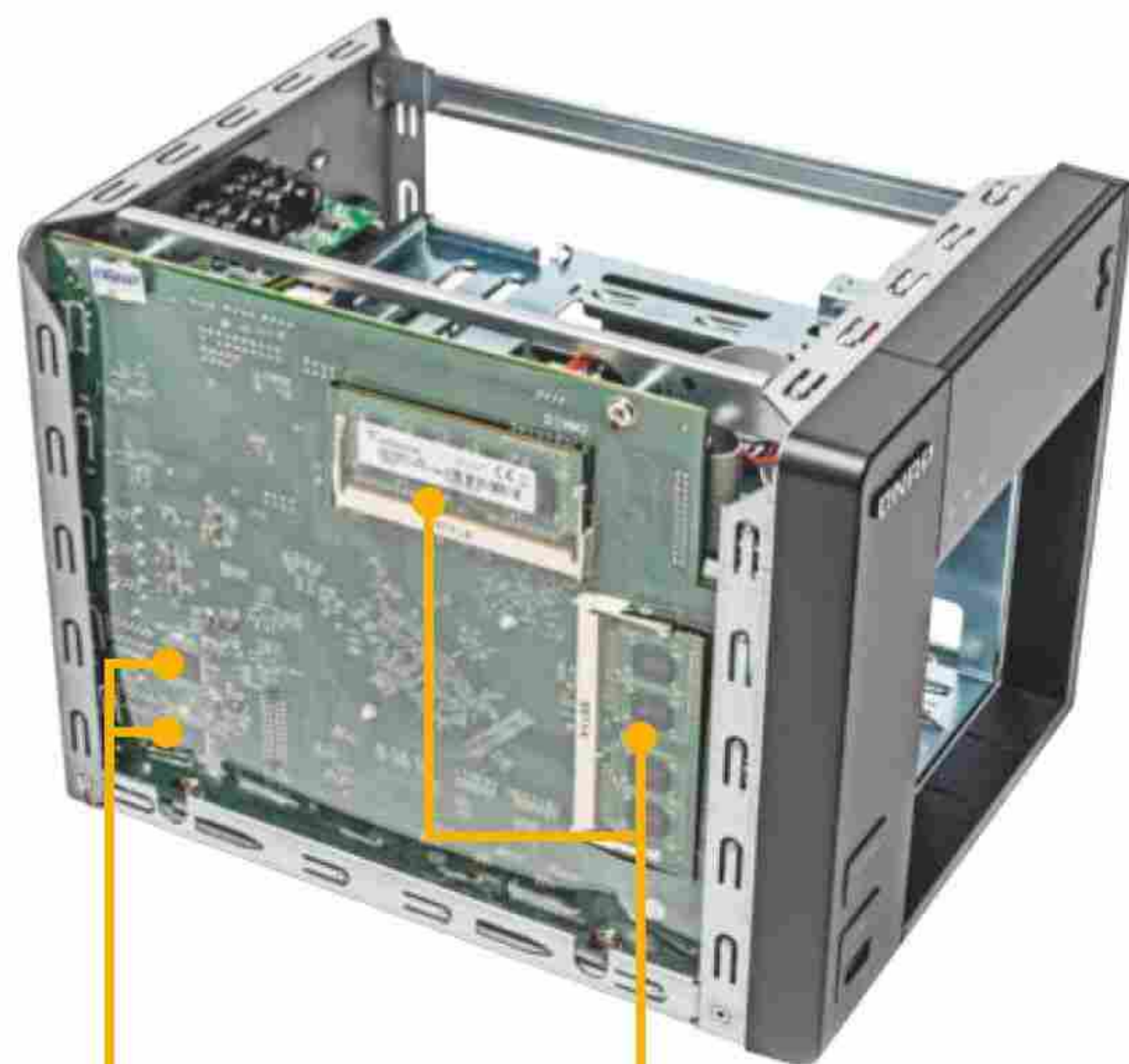
Mit 5 und 10 Gbit/s gibt es noch schnelleres Ethernet für übliche Installationen auf Basis von CAT5e-Kabeln. Aber das sind bisher Nischenprodukte und übliche Massenspeicher von NAS-Geräten sind dafür zu langsam. Nur bei schnellen RAID5-Konfiguratio-



**Netzwerkadapter mit 10 Gigabit/s gibt es für weniger als 100 Euro, aber sie passen nur in NAS mit PCIe-Steckplätzen.**

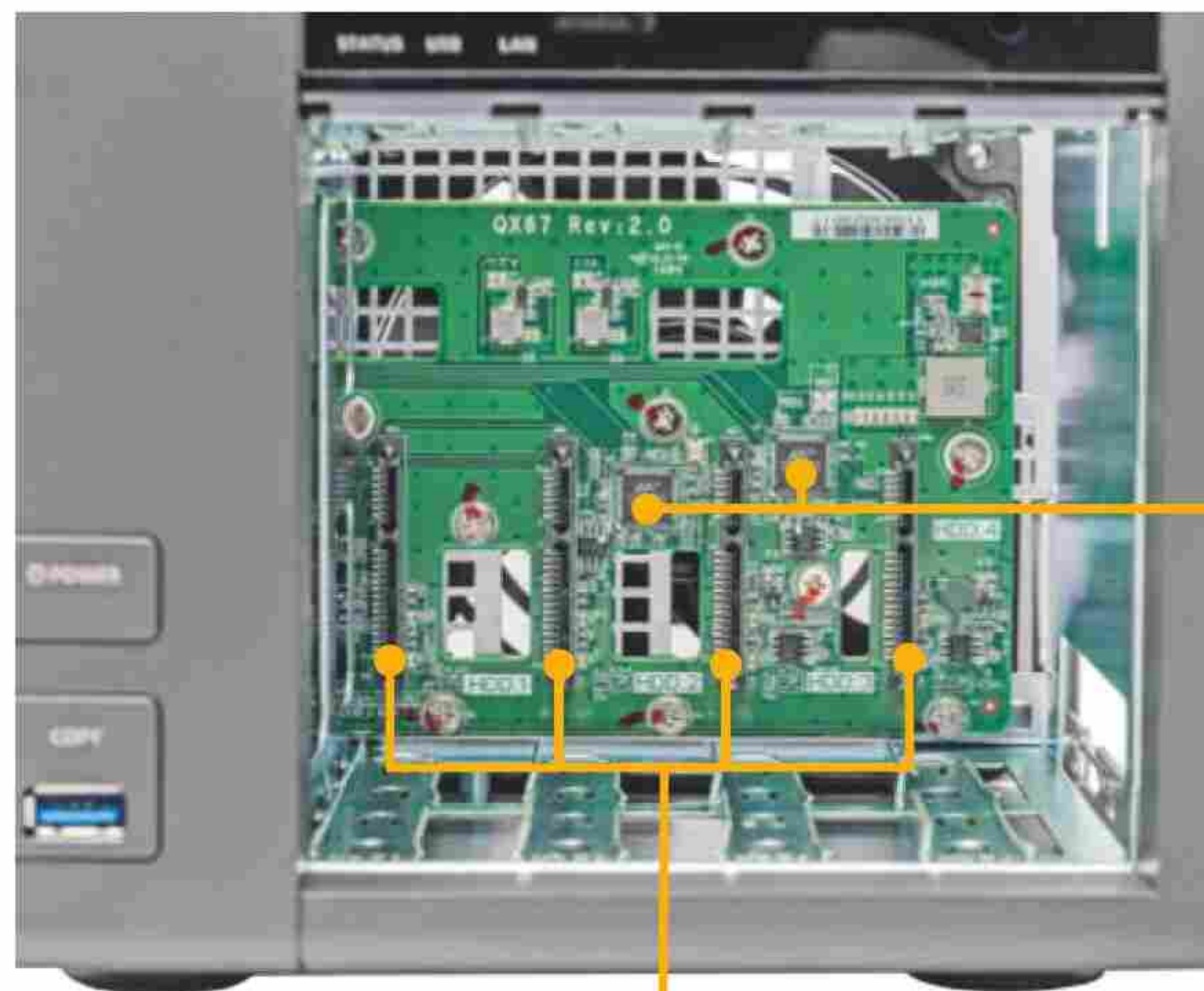
## Mehr RAM als gedacht

Manche Hersteller geben in den Spezifikationen geringere RAM-Kapazitäten an, als das NAS tatsächlich aufnehmen kann. Beispielsweise lässt sich das QNAP TS-453A auf 16 GByte RAM aufrüsten, obwohl der Hersteller 8 GByte als Maximum nennt.



2 Netzwerkchips  
(2 weitere auf der  
anderen Platinenseite)

Arbeitsspeicher  
2 SO-DIMMs



2 PCIe-SA-  
TA-6G-Adapter  
mit jeweils  
2 SATA-Ports

Backplane mit  
4 SATA-Anschlüssen

nen reizt ein NAS auch 5GE aus, weil es dann zwei Platten gleichzeitig anzapft und so deren Datenrate addiert. Gleiches gilt für den Fall, dass im NAS ein SSD-Cache steckt.

Um 2G5 auszuschöpfen, braucht man ein NAS mit ausreichend schnellem Prozessor. Die meisten ARM-Kerne von Geräten, die neu unter 200 Euro gekostet haben, sind dafür zu schlapp, zumal, wenn sie auch verschlüsseln sollen. Erst x86-Chips wie der Intel Celeron J4105 schaffen über 200 MByte/s und erfüllen damit die Voraussetzungen für 2G5.

### CPU und RAM

Die bequemste Art, den Softwarefunktionsumfang eines NAS zu erweitern, sind vom jeweiligen Hersteller oder anderen Entwicklern bereitgestellte Programmpakete oder Plug-ins. Die installiert man ruckzuck aus Onlineshops, für die das NAS-Betriebssystem vorbereitet ist. Dabei kommt es auch auf den CPU-Typ an, also ARM- oder x86-Architektur. Auf den billigeren und sparsameren ARM-Chips läuft manche

Software nicht und falls sich darauf überhaupt VMs oder Container aktivieren lassen, dann nur in Form von ARM-, nicht aber als x86-Software.

Zu beachten ist auch, dass VMs mehr RAM brauchen, als kleine Netzwerkspeicher ab Werk mitbringen. Aber nur sehr wenige NAS mit ARM-Chips haben RAM-Steckplätze, weswegen sich bei den meisten der Arbeitsspeicher nicht erweitern lässt. Auch die billigeren NAS mit x86-Chips wie Celeron haben aufgelöteten, nicht erweiterbaren Speicher, oft nur 1 oder 2 GByte. RAM-Aufrüstungen gehen aber nur, wenn ein Steckplatz vorhanden ist – mehr dazu im Artikel „NAS-Arbeitsspeicher aufrüsten“.

Bei den meisten NAS der Preisklasse unter 800 Euro ist auch der Prozessor aufgelötet, also nicht austauschbar. CPU-Wechselfassungen enthalten überwiegend erst Geräte ab 1000 Euro, oft zusammen mit ECC-RAM, das per Error Correction Code (ECC) vor den häufigsten Bitfehlern geschützt ist. Im Grunde sind solche NAS kleine Server, weil sie ohne Schnaufen mehrere VMs und Container parallel ausführen.

## RAID-Fragen

Die häufigste Art, ein NAS aufzupeppen, dürfte der Austausch der Festplatten sein. Dazu enthalten praktisch alle NAS-Betriebssysteme Umzugsfunktionen. Letztere gründen oft auf Funktionen, die für die Reparatur eines Festplattenverbunds (RAID, Redundant Array of Independent Disks) gedacht sind. Das nennt man auch RAID Rebuild. Ein Beispiel: Beim verbreiteten RAID 1 aus zwei Platten ist die zweite ein „Spiegel“ (Mirror) der ersten. Entfernt man eine der beiden und setzt dafür eine neue ein, kopiert das Betriebssystem die Daten vom Spiegel auf die leere Platte. Doch Achtung: Der Vorgang kann Stunden dauern [1] und währenddessen besteht keine Redundanz. Man kann aber auch ein Backup auf ein anderes NAS oder eine USB-Platte schreiben, dann die Platten tauschen und die Daten vom Backup einspielen. Das geht in manchen Szenarien tatsächlich schneller, siehe [1]: Bei 100 MByte/s Schreibgeschwindigkeit dauert das Kopieren von 10 TByte Daten mehr als 25 Stunden.



**Das Foto zeigt ein ehemaliges Mittelklasse-NAS mit vier Plattenschächten (Bays), von denen drei belegt sind. Aus Sicht der Datensicherheit genügt heute oft ein einfacher Festplattenspiegel, bei dem je zwei Platten dieselben Datensätze redundant vorhalten (RAID 1). Aber wer regelmäßig Backups anlegt, kann darauf verzichten und Stromkosten sparen.**

Welcher Plattentyp für Ihr NAS infrage kommt, erklärt der Artikel „Festplatten für Netzwerkspeicher“. Vor dem Kauf sollten Sie abwägen, ob Sie einen redundanten Plattenverbund einrichten wollen und falls ja, in welcher RAID-Stufe. Denn angesichts der riesigen Kapazitäten von mehr als 20 TByte pro Platte ist ein RAID 5 aus drei Laufwerken oft übertrieben, meistens genügt ein RAID 1 oder gar kein RAID. Im Zweifel gibt das Motto „Keep it simple, stupid“ (Kiss) eine gute Orientierung: RAID 1 ist besonders robust, mehr braucht's in der Regel nicht.

Ohne RAID schluckt das NAS weniger Strom und läuft leiser. Wenn Sie regelmäßig Backups auf einer externen USB-Platte oder einem anderen NAS anlegen, sind diese oft besser gegen Verlust geschützt: Kein Verschlüsselungstrojaner erreicht Daten auf einer nicht angeschlossenen USB-Platte. Und ein NAS in einer anderen Stadt ist von Brand, Überschwemmung und Diebstahl wahrscheinlich nicht betroffen. Wie Sie das auf einem Netzwerkspeicher von Synology mit dem Tool Snapshot Replication auch für virtuelle Maschinen umsetzen, beschreiben wir im Artikel „Synology-NAS: Daten und VMs sichern“.

## Plattenboxen

Wenn die Massenspeicherkapazität nicht genügt, muss man nicht zwangsläufig in größere Festplatten investieren. Stattdessen kann man an viele Netzwerkspeichermodelle Erweiterungsboxen über eSATA- oder USB-Ports anschließen und darin weitere Festplatten betreiben. Sie lassen sich dann wie interne Laufwerke über die Benutzeroberfläche des NAS einbinden. Bei Synology-NAS ist das auch der einzige Weg, Festplatten mit fremden Dateisystemen wie ZFS einzubinden, um davon Daten wenigstens mittelbar über eine für ZFS konfigurierte VM einzulesen. Plattenboxen der NAS-Hersteller kosten aber leicht mehrere hundert Euro, während einfache USB-Boxen schon ab 50 Euro zu haben sind. Bessere Modelle kann man per USB 3.2 Gen 1 mit 5 Gbit/s ansprechen (ct.dewtsm).

Für die Betriebskosten sind jedoch wenige größere Platten günstiger als mehrere kleine, denn jede zusätzliche Platte schluckt Strom. Moderne Laufwerke mit 10 TByte und mehr benötigen ohne Zugriffe schon 4 bis 6 Watt, wenn nur ihr Plattenstapel rotiert. Bei Dauerbetrieb kommen jährlich 35 bis 52 Kilowattstunden (kWh) pro Platte zusammen, also mindestens 10 bis 15 Euro pro Laufwerk und Jahr. Daher sparen Sie Geld, wenn Sie die Spindown-Funktion einschalten, sodass die Platten wenigstens in längeren Ruhephasen anhalten.



**NAS-Geräte der Einstiegs- und Mittelklasse lassen sich nicht per PCI-Karte auf schnelles Ethernet aufrüsten. Aber für manche Modelle mit schnellem USB-Anschluss kommen auch USB-Ethernet-Adapter infrage, beispielsweise der links abgebildete Trendnet TUC-ET5G. Er eignet sich sogar für Ethernet mit 5 Gigabit/s.**

Für RAID-Verbände empfehlen einige NAS-Hersteller regelmäßige Prüfläufe (Scrubbing): Das System liest sämtliche Daten aus und vergleicht sie mit den redundanten Informationen. Das beugt Datenverlust durch zuvor unerkannte Lesefehler vor. Weil das Scrubbing von 10 TByte Daten 25 Stunden dauern kann, erhöht das die Stromkosten. Doch weil das typischerweise nur monatlich geschieht, erhöht sich die Leistungsaufnahme nur um etwa 3 Prozent.

## Schnelleres Netz

Viele teurere NAS-Boxen haben einen oder zwei PCI-Express-Steckplätze (PCIe). Diese sind vor allem zum Aufrüsten der Netzwerkschnittstellen gedacht, etwa für 10-Gigabit-Ethernet (10GE). Ältere Netzwerkspeicher enthalten Treiber für nur wenige Netzwerkadapter – vorwiegend für Karten, die der jeweilige NAS-Hersteller selbst verkauft. Doch gängige Adapter im Half-Height-Format mit kürzerem Slotblech funktionieren oft auch, sofern sie mechanisch in den Steckplatz passen. Eine Karte mit vier Lanes (PCIe x4) passt nicht in einen Slot mit nur einer Lane (x1). Umgekehrt gibt es längere Steckfassungen (etwa x4 oder x8), die elektrisch mit weniger Lanes beschaltet sind. Da muss man vor dem Kauf einer Erweiterungskarte genau hinschauen.

PCIe ist auf- und abwärtskompatibel: Eine PCIe-x1-Karte läuft auch in einem x4-Slot und eine Karte der

dritten Generation (PCIe 3.0) auch in einem älteren Slot (PCIe 1.0 oder 2.0). Doch ihre volle Geschwindigkeit erreicht eine PCIe-3.0-Karte in einem PCIe-2.0-Slot eben nicht.

Die meisten günstigeren NAS-Boxen haben keine PCIe-Slots. Dann kann man den Netzwerkport bestenfalls per USB aufrüsten. Für 2G5 braucht man USB 3.0 alias USB 3.2 Gen 1 mit 5 Gbit/s. USB 2.0 High-speed ist schon für 1GE zu lahm. Der NAS-Hersteller QNAP hat viele seiner Netzwerkspeicher der Einstiegs- und Mittelklasse für die Aufrüstung auf 2G5 mit einem hauseigenen USB-Ethernet-Adapter ausgelegt (ct.de/wtasm). Daher genügt es, den Adapter QNAP QNA-UC5G1T einfach ans NAS anzustecken; er eignet sich sogar für Ethernet mit 5 Gigabit/s (5GE). Synology hat bisher keine Ethernet-Aufrüstung über USB vorgesehen. Über quelloffene Treiber funktioniert die Aufrüstung aber dennoch. Wir haben den Vorgang im Artikel „Synology-NAS: Daten und VMs sichern“ durchgespielt.

## VMs, Container und Gnadenbrot

Zwar gründen die NAS-Betriebssysteme auf Linux und nutzen oft auch Linux-Standardfunktionen etwa für das RAID, sie lassen sich aber nicht einfach gegen alternative Betriebssysteme oder ein quelloffenes Linux austauschen. Daher laufen auf den NAS-Geräten VMs oder Container nur dann, wenn der Hersteller die erforderlichen Funktionen implementiert hat oder Softwarenachrüstungen ermöglicht.

Ebenso hängt es vom Hersteller ab, wie lange man ein NAS sicher betreiben und darauf auch aus der Ferne zugreifen kann. Denn es gibt beispielsweise Verschlüsselungstrojaner, die auf anfällige NAS-Betriebssysteme losgehen. Deshalb empfiehlt es sich, alte NAS-Geräte spätestens dann aus der Schusslinie zu nehmen, wenn der Hersteller die Sicherheitspflege einstellt. Die einfachste und zugleich wichtigste Maßnahme besteht dann darin, die zugehörigen Ports im Router zu schließen und auf die NAS-Dienste aus der Ferne nur über ein VPN zuzugreifen.

Falls sich das NAS selbstständig ein Loch durch die Firewall ins Internet bohrt, zieht man die aus der Ferne erreichbaren Dienste möglichst auf eine moderne Plattform um und schaltet sie im NAS ab. Von außen erreichbare Dienste kann man über eine VM bereitstellen oder auf einem zusätzlichen Raspberry Pi. Im abgesicherten Heimnetz hinter dem Router kann man das alte NAS dann relativ sicher weiternutzen, bis ein neues einzieht. (dz) **ct**

### Literatur

[1] Christof Windeck, RAID-Riesen, Multi-Terabyte-Festplatten zuverlässig im (NAS-) RAID betreiben, c't 6/2021, S. 112

### NAS-Aufrüstungen

[ct.de/wtasm](https://www.ct.de/wtasm)



# Festplatten für Netzwerkspeicher

Wer viel NAS-Speicherplatz benötigt, greift meistens zu Magnetfestplatten. Der Kauf von speziell für NAS ausgelegten Festplatten scheint naheliegend, doch viele Serverfestplatten eignen sich sogar besser. Wir klären, was in welchem Fall sinnvoll ist.

Von **Lutz Labs**

**M**üssen es zehn, zwanzig oder gleich fünfzig Terabyte sein oder reichen vielleicht zwei oder drei? Je mehr Speicher man braucht, desto mehr lohnt es sich, Zeit für die Suche nach dem optimalen aufzuwenden. NAS-Laufwerke kosten pro Terabyte meistens deutlich mehr als einfache Desktopfestplatten, doch diese eignen sich für ein dauerlaufendes NAS schlecht. Es gibt bessere Möglichkeiten, beim Laufwerkskauf zu sparen.

Der persönliche Datenbestand wächst in vielen Fällen stetig, aber nicht rasant; die meisten Anwender können ihren persönlichen Bedarf gut einschätzen. Beim Ersatz vorhandener Laufwerke ist es ein-

fach: Rechnen Sie einen zusätzlichen Bedarf von beispielsweise 10 Prozent pro Jahr über die nächsten fünf Jahre ein, dann sind die Platten aus der Garantie heraus und sollten gegen frische Laufwerke getauscht werden. Beim erstmaligen Einsatz eines NAS schauen Sie sich an, welche Datenmengen zu sichern sind und legen großzügig noch einmal die gleiche Menge drauf – dann passen auch verschiedene Versionen einer Datei und es bleibt etwas Reserve.

Die allermeisten NAS-Gehäuse haben Schächte für 3,5-Zoll-Festplatten mit SATA-Anschluss; dort passen auch 2,5-Zoll-Festplatten oder gleich große

SSDs hinein. 2,5-Zoll-Festplatten sind keine echte Alternative: Die größte spezielle für NAS ausgelegte Festplatte fasst lediglich 1 TByte. 2,5-Zoll-Festplatten sind zwar leiser als ihre größeren Verwandten, aber solche geringen Kapazitäten bedient man heutzutage besser mit einer SSD: noch leiser, kaum teurer und wahrscheinlich langlebiger.

Einen Geschwindigkeitszuwachs wird man durch den Einsatz einer SSD jedoch kaum erhalten (siehe Kasten „SSD im NAS“).

Es gibt zwar 2,5-Zoll-Festplatten mit bis zu 5 TByte Speicherplatz, aber diese Laufwerke sind nicht dauerhaft geeignet und sie nutzen das Aufzeichnungsverfahren Shingled Magnetic Recording (SMR) – und das kann beim Rebuild eines RAID-Verbunds zu Schwierigkeiten führen.

## Hersteller: die letzten Drei

Heute gibt es nur noch drei seriöse Festplattenhersteller: Seagate, Toshiba und Western Digital. Manchmal laufen einem noch andere Herstellernamen über den Weg, doch nach unseren Erfahrungen greift da meist die Faustregel: Finger weg!

HGST etwa ist vor einigen Jahren von Western Digital übernommen worden, nun verschwindet der Name langsam. Jetzt noch unter dem Label HGST angebotene Laufwerke liegen schon seit einiger Zeit

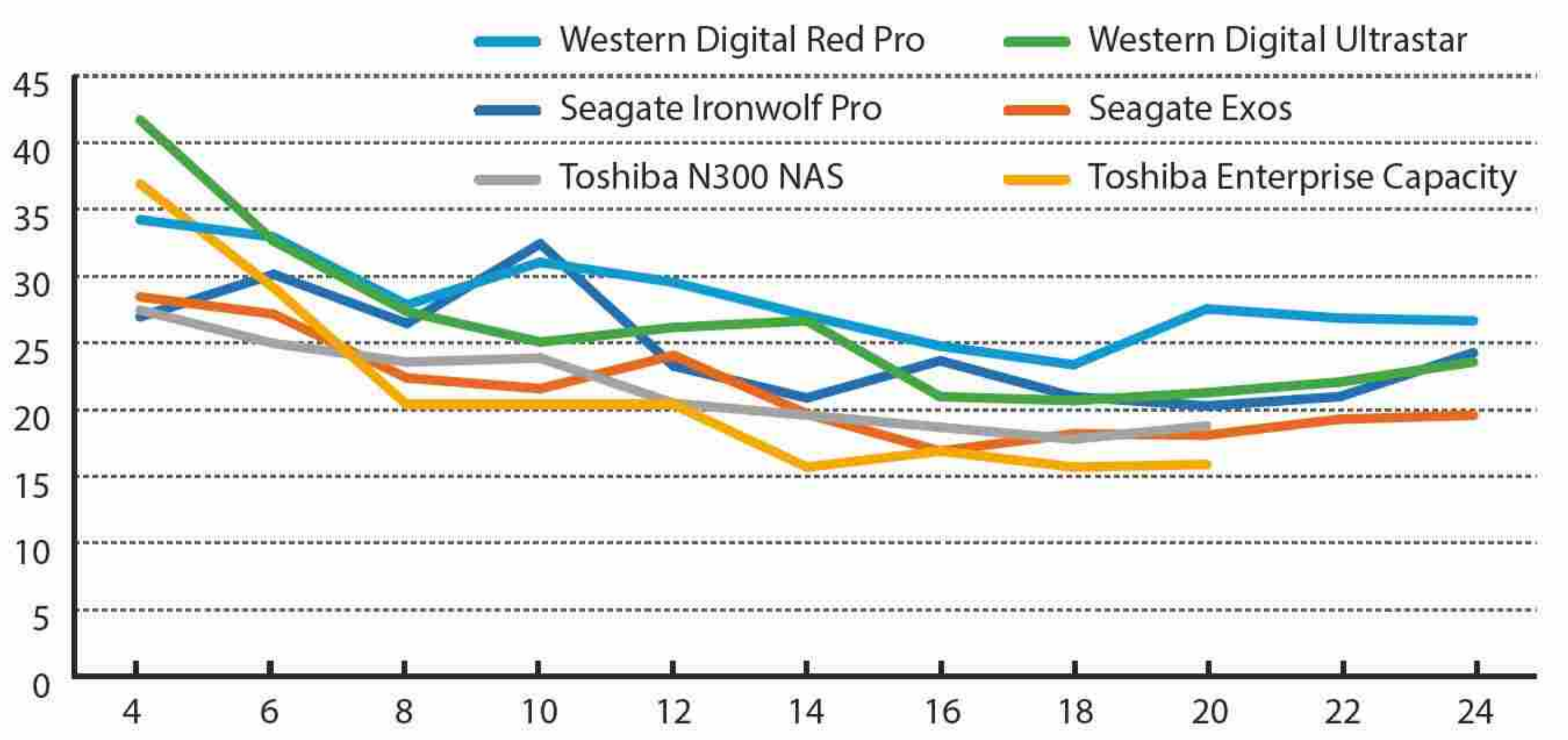
in den Lagern der Distributoren. Ähnlich verhält es sich mit Samsung-Festplatten: Die letzte Neuvorstellung ist bald zehn Jahre her. Greifen Sie lieber zu einem aktuellen Festplattendesign.

Gelegentlich findet man Festplatten von i.norays, Walter Panther und Max Digital Data. Von diesen Unternehmen gab es oder gibt es noch Laufwerke, die Modellen von Seagate, Toshiba oder Western Digital nicht nur verblüffend ähnlich sehen: Die Unterschiede bestehen meistens lediglich in den Aufklebern. Doch teils stammen diese Laufwerke aus Überproduktionen, teils erfüllen sie die Qualitätsanforderungen der Hersteller nicht, teils handelt es sich um reparierte Rückläufer [1].

Eine Ausnahme aber gibt es: Der NAS-Hersteller Synology hat zwei Festplattenserien im Angebot: die HAT5300/5310 [2], welche nahezu baugleich ist mit der Enterprise-Serie von Toshiba, und die HAT3300-Serie, welche auf NAS-Laufwerken von Seagates Ironwolf gründet. Beide Serien hat Synology mit den Herstellern zusammen auf seine NAS-Gehäuse abgestimmt. Vorteil für den Kunden ist, dass er bei Problemen nur noch einen Ansprechpartner hat, Nachteil ist der etwas höhere Preis. Synology drängt seine Kunden ein wenig zu seinen hauseigenen Laufwerken, indem das Unternehmen immer weniger Laufwerke anderer Hersteller für seine Netzwerkspeicher zertifiziert.

## Festplattenpreise im Vergleich

Der Preis pro TByte Speicherplatz schwankt zwischen 16 und mehr als 40 Euro, je nach Kapazität. Serverplatten sind bei gleicher Ausstattung meistens günstiger als die NAS-Modelle der Hersteller.



## SSDs im NAS

In vielen „richtigen“ Servern haben SSDs längst die Festplatten abgelöst, aber in NAS für Privatleute oder für kleine Arbeitsgruppen bringen SSDs nur in Spezialfällen Vorteile. Denn schon aktuelle Festplatten sind mit Datentransferraten von über 250 MByte/s schneller als Ethernet mit 2,5 Gbit/s, was vielfach der bestimmende Flaschenhals beim Transfer ist. Und der größte SSD-Vorteil, nämlich extrem geringe Latenzen beziehungsweise hohe IOPS-Werte, kommt in NAS nur selten zum Tragen. Hier geht es meistens um sequenzielle Zugriffe.

Somit bleiben ein paar Sonderfälle für SSDs im NAS, beispielsweise für besonders kompakte Geräte, die keine hohe Kapazität bereit-

stellen, aber sehr leise und sparsam sein sollen. Zudem gibt es auf dem NAS laufende Anwendungen, die von einer SSD profitieren, etwa Datenbanken; auch beim gleichzeitigen Zugriff vieler Nutzer ist eine SSD einer Festplatte überlegen.

Ein weiterer Spezialfall sind Cache-SSDs für das NAS. Im Test mit einer M.2-SSD in einem QNAP-NAS brachte das beim linearen Dateizugriff wenig [4]. Zugriffe auf zufällige Adressen profitieren hingegen von einer Cache-SSD, die IOPS schossen auf das Dreißigfache hoch: Im Netz liegende Datenbanken sind so plötzlich benutzbar. Ob sich der Kauf einer SSD rentiert, lässt sich damit nur im Einzelfall beurteilen.

## NAS-Plattenkunde

Bei Toshiba ist es einfach: Für NAS gibt es die N300 mit Kapazitäten bis zu 18 TByte. Seagate hat zwei NAS-Serien im Programm: die Ironwolf mit bis zu 12 TByte und die Ironwolf Pro mit maximal 24 TByte Kapazität. Innerhalb der einfachen Ironwolf-Serie gibt es Unterschiede, etwa jeweils zwei Modelle mit 8 und 10 TByte mit verschiedenen Eigenschaften: Umdrehungsgeschwindigkeit, Resilienz gegen nicht korrigierbare Lesefehler oder Helium- und Luftfüllung. Gerade letzteres ist wichtig, da die heliumgefüllten Laufwerke im Betrieb deutlich sparsamer sind; im Lauf eines Festplattenlebens können sich damit bei den Stromkosten Unterschiede im Bereich einiger zehn Euro ergeben.

Bei Western Digital gibt es sogar drei NAS-Reihen. Die einfachsten Modelle sind die Red mit Kapazitäten von 2 bis 6 TByte und eventuell problematischer SMR-Aufzeichnung. Nur wenig teurer sind die Red Plus mit konventioneller Aufzeichnungstechnik (Conventional Magnetic Recording, CMR) und Kapazitäten bis 14 TByte, darüber liegen dann die Pro-Versionen der Red, ebenfalls mit CMR-Aufzeichnung und Kapazitäten bis 24 TByte.

Die größten Unterschiede zwischen den einfachen Laufwerken und den Pro-Versionen liegen im Preis und in der Garantiefrist: Während die einfachen Laufwerke nach drei Jahren aus der Garantie fallen, haben die Pro-Laufwerke fünf Jahre Garantie. Doch Achtung: Für im Einzelhandel verkaufte OEM-Platten gilt die Herstellergarantie nicht, sondern nur die gesetzliche Gewährleistungspflicht des Händlers von 24 Monaten. Prüfen Sie also nach dem Kauf direkt über die Tools der Hersteller, welche Platten man Ihnen wirklich verkauft hat (siehe [ct.de/wcda](http://ct.de/wcda)).

## Warenkunde Serverfestplatten

Bei den Serverlaufwerken gibt es oberflächlich betrachtet von jedem Hersteller nur ein Modell, doch genau besehen ist die Vielfalt größer. Es gibt Laufwerke mit SATA- und SAS-Anschlüssen und mit verschiedenen Sektorgrößen: Während NAS-Laufwerke lediglich mit 512 Byte großen Sektoren erhältlich sind, was für NAS-Boxen auch sinnvoll ist, bauen Toshiba und Western Digital auch Platten mit 4096 Byte großen Sektoren; die Seagate-Modelle können Anwender gar umkonfigurieren. Außerdem liegt die

## Literatur

- [1] Lutz Labs, Umge-labelt, Billigfestplatte von i.norys, c't 21/2016, S. 100
- [2] Lutz Labs, NAS-Spezialisten, Festplatten vom NAS-Hersteller Synology, c't 5/2021, S. 34
- [3] Lutz Labs, Plattenkarussell, Festplatten für NAS und Server im Vergleichstest, c't 3/2023, S. 88
- [4] Ernst Ahlers, Speicherzwillinge, Zwei 2-Bay-NAS im Vergleich: QNAP TS-264 und TS-253E, c't 6/2023, S. 81

## Garantieabfragen der Festplattenhersteller

[ct.de/wcda](http://ct.de/wcda)



von den Herstellern spezifizierte Wahrscheinlichkeit für nicht korrigierbare Lesefehler bei einigen Serverlaufwerken um den Faktor 10 oder sogar 100 niedriger als bei NAS- und Desktop-PC-Platten.

Weiterhin gibt es Serverlaufwerke mit Verschlüsselung, teils auch mit FIPS-Zertifizierung (Federal Information Processing Standards Publication 140-2) und mit der Funktion Instant Secure Erase (ISE). Diese löscht Daten sicher innerhalb von Sekundenbruchteilen durch Verwerfen des Schlüssels.

Seagate teilt die Exos-Serie noch in verschiedene Familien auf, etwa die X18-Familie. Diese gibt es mit 18 und mit 16 TByte, beide sind mit je 9 Scheiben und 18 Schreib-Lese-Köpfen bestückt. Mechanisch gibt es keinen Unterschied zwischen den beiden; bei der 16er liegen eine Scheibe und zwei Köpfe einfach brach.

Die Ultrastar-Serie von Western Digital ist vom Hersteller nicht für den Verkauf im normalen Handel bestimmt; die Laufwerke finden aber trotzdem den Weg dorthin. Da stehen sie dann neben den Gold-

Laufwerken, welche den einfacheren SATA-Modellen der Ultrastar mit 512-Byte-Sektoren entsprechen.

## Server- oder NAS-Platte?

Grundsätzlich spricht nichts gegen eine Serverfestplatte im heimischen NAS (siehe auch [3]). Schauen Sie jedoch vor dem Kauf in die Kompatibilitätslisten der NAS-Hersteller. Wahrscheinlich werden zwar auch alle anderen dort nicht aufgeführten Laufwerke funktionieren, doch mit den vom Hersteller freigegebenen Laufwerken senken Sie das Risiko für Inkompatibilitäten.

Wie zuverlässig ein bestimmtes Modell in einem NAS funktioniert, lässt sich nicht vorhersagen. Auch Statistiken von Cloud Providern wie Backblaze über die Ausfallraten einzelner Laufwerke haben für den heimischen Einsatzfall nur wenig Bedeutung. Daher spricht nichts dagegen, sich nach Festlegung aller Spezifikationen beim Kauf von NAS-Festplatten am Preis zu orientieren. (II) **ct**

# » Continuous Lifecycle » + [Container Conf]

13./14. November 2024 • Mannheim

## Die Konferenz für Developer Experience, Platform Engineering und mehr

Die CLC setzt 2024 rund um das Container-Ökosystem Themenschwerpunkte zu KI-gestütztem **DevOps**, **Security** und **FinOps** sowie **Nachhaltigkeit**.

### Highlights aus dem Programm:

- Pipeline als Produkt denken: Modularisierung, Versionierung, Testen, ...
- Der KI-gestützte Entwickler – Tools, Datenschutz, Mindset
- Sicherheitsrisiken von CI/CD-Systemen erkennen und vermeiden
- Nachhaltigkeit in der Cloud – Herausforderungen meistern
- Praxisbericht: Ressourcen reduzieren und Cloud-Kosten senken

Jetzt  
Frühbuecher-  
tickets  
sichern!

Workshops am 12. November

[continuouslifecycle.de](https://continuouslifecycle.de)

Veranstalter



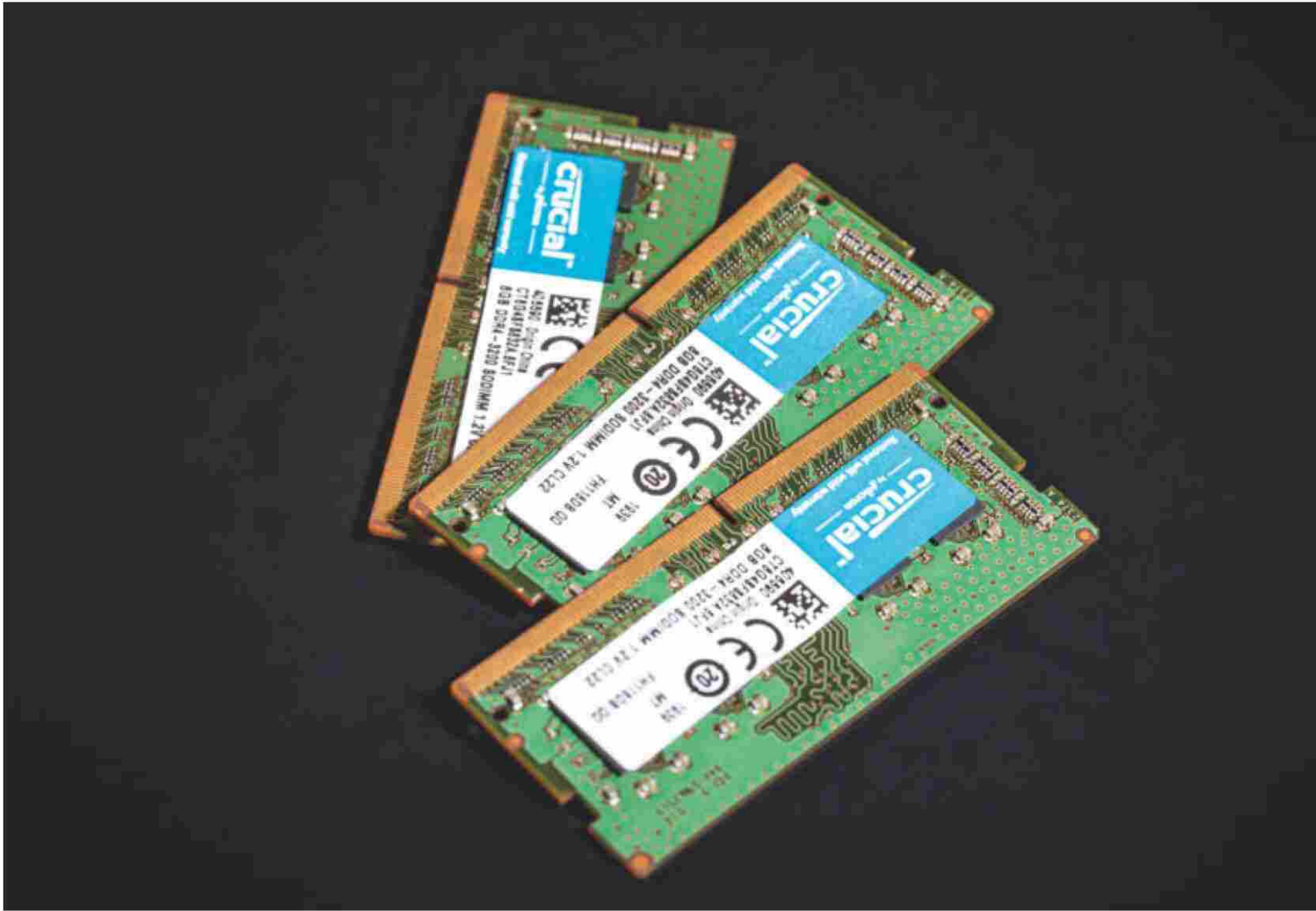
Gold-Sponsoren

**sysdig**



Silber-Sponsor





# NAS-Arbeitsspeicher aufrüsten

Ein größerer Arbeitsspeicher im Netzwerkspeicher bringt virtuelle Maschinen, Container und einige Plug-ins auf Trab. In manches NAS passt viel mehr RAM, als man erwartet.

Von **Christof Windeck**

**V**iele NAS-Boxen – vor allem günstige Modelle – sind ab Werk mit sehr wenig RAM bestückt, beispielsweise nur 1 oder 2 GByte. Das genügt für die NAS-Kernaufgabe als zentrales Datenlager im (Heim-)Netz. Doch wer auf dem NAS eine Datenbank betreiben will, eine virtuelle Ma-

schine (VM) oder Docker-Container, wünscht sich oft mehr. Und das ist nicht einmal teuer: Einen 8-GByte-Speicherriegel gibt es schon für weniger als 20 Euro.

Manches NAS lässt sich sehr einfach und günstig mit zusätzlichem Arbeitsspeicher bestücken: Man öffnet das Gehäuse, steckt ein zusätzliches Speicher-

modul ein oder tauscht das vorhandene gegen eines mit höherer Kapazität aus, schließt das Gehäuse wieder – fertig.

So einfach ist es jedoch nicht bei jedem NAS. Bei manchen ist das RAM etwa fest aufgelötet und nicht erweiterbar. In vielen der billigsten NAS-Boxen stecken ein System-on-Chip (SoC) mit ARM-Kernen sowie beispielsweise 512 MByte oder 1 GByte aufgelötetes RAM. Trotzdem liefern sie Daten fast mit der maximalen Geschwindigkeit, die die 1-Gigabit-Ethernetschnittstelle schafft, also mit rund 100 MByte/s.

Da RAM-fressende VMs und Container eher auf NAS mit x86-Chips von AMD und Intel laufen, haben nur sehr wenige ARM-NAS aufrüstbaren Arbeitsspeicher. Auch bei billigen x86-NAS ist das nicht selbstverständlich. Fassungen für wechselbare

Speichermodule sind erst bei Geräten üblich, die mehr als etwa 300 Euro kosten.

Die Faustregel „viel hilft viel“ gilt bei NAS-Arbeitsspeicher nicht. Man sollte ermitteln, ob das RAM im Betrieb wirklich ausgelastet ist. Die Konfigurationsoberflächen vieler NAS bieten einen Ressourcenmonitor oder andere Werkzeuge, die die aktuelle Auslastung von CPU und RAM anzeigen. Reagiert eine NAS-Anwendung sehr lahm und ist die CPU weitgehend ausgelastet, dann ist sie womöglich auch der Flaschenhals und mehr RAM bringt wenig Beschleunigung. Ist das RAM hingegen belegt, aber die CPU noch nicht am Anschlag, dürfte mehr RAM helfen.

## Was geht?

Bei manchen NAS kommt man erst nach einigem Geschraube an die RAM-Fassungen heran. Daher spart es Zeit, zunächst in die Dokumentation zu schauen. Falls Sie sie nicht zur Hand haben, finden Sie sie meistens auf der Website des NAS-Herstellers. Achten Sie penibel auf die Typenbezeichnung, bei Synology etwa auf ein zusätzliches „+“-Symbol: Manche so gekennzeichneten Geräte unterscheiden sich erheblich von der Variante ohne Plus.

Welches RAM kompatibel ist, hängt von vielen Details ab. Die meisten NAS-Boxen mit Wechsel Fassungen verlangen Small-Outline Dual Inline Memory Modules (SO-DIMMs), die auch in vielen Notebooks stecken. Sie sind halb so lang wie normale DIMMs. Nur in sehr teure NAS, in denen eigentlich die Technik kleiner x86-Server steckt, passen die normal großen DIMMs, in manche auch welche mit Zusatzchips für die Fehlerkorrektur per Error Correction Code (ECC). In fast allen kompakten NAS-Boxen sitzen jedoch sparsame x86-SoCs wie Intel Celeron J, Celeron N und Pentium Silver, die ECC nicht beherrschen.

Diese Celerons und Pentiums hat Intel eigentlich für Billignotebooks und billige Mini-PCs entwickelt und ihren Funktionsumfang absichtlich beschnitten. In den Datenblättern ist zu lesen, dass sie maximal 8, 16 oder 32 GByte RAM ansteuern. Manche können jedoch mehr, sofern die jeweilige NAS-Firmware mitspielt. Weil es dabei auf mehrere Faktoren ankommt und Intels offizielle Informationen ohnehin falsch sind, gibt es leider keine Liste, welcher Celeron oder Pentium wie viel RAM verdaut. Man kann es nur für das jeweilige Gerät nur ausprobieren oder im Web und bei YouTube suchen, ob das schon jemand anderes geschafft hat.



**Bei der Synology DiskStation DS218+ lässt sich das RAM besonders leicht erweitern, die SO-DIMM-Fassung liegt gleich neben den Festplatten. Obwohl Synology maximal 4 GByte als Erweiterung freigibt, funktionieren auch 8 GByte.**



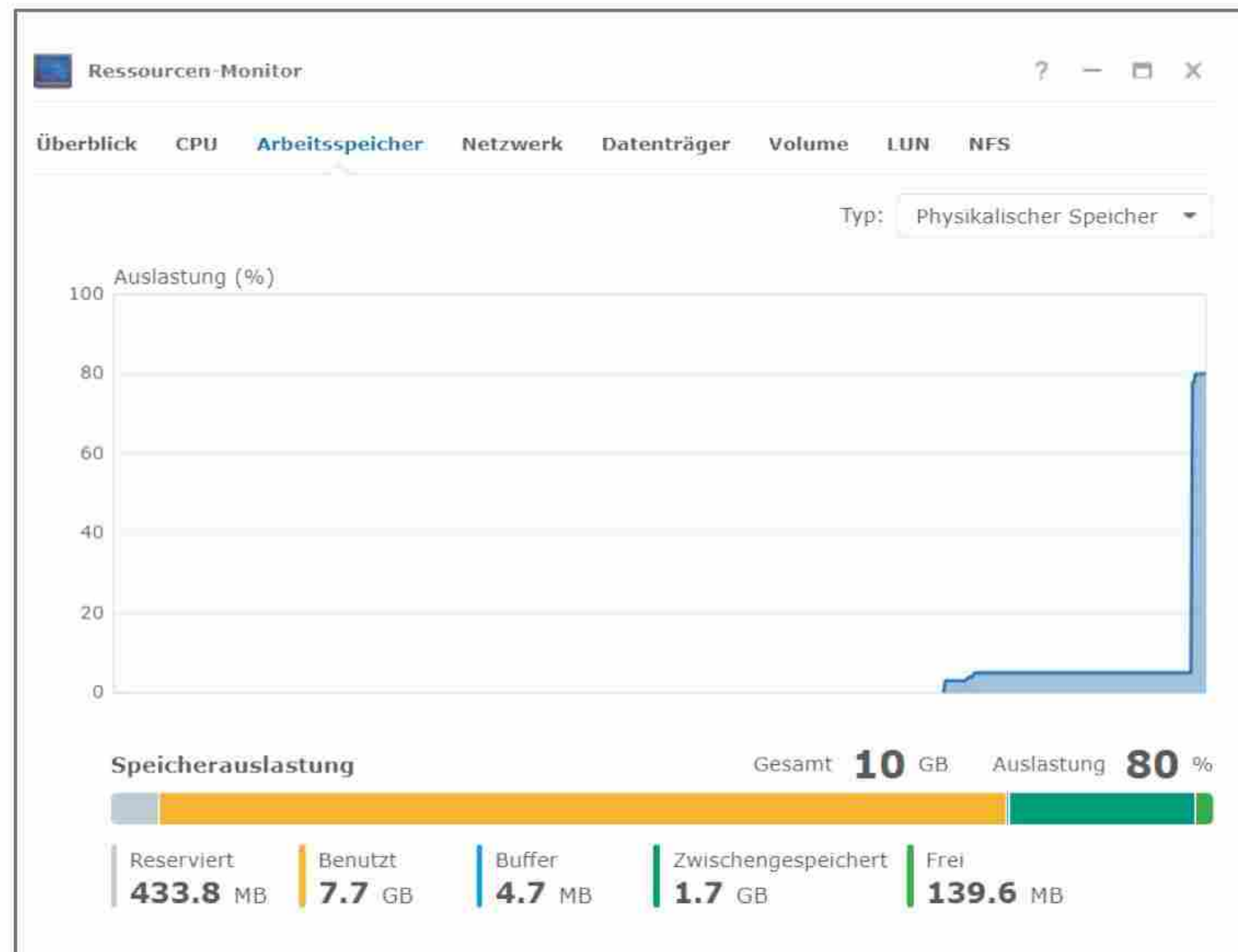
Je nach NAS braucht man das passende Speichermodul, etwa ein Small-Outline-(SO-)DIMM der Generation DDR2 (oben), darunter DDR3 mit der Variante DDR3L, dann DDR4 und DDR5.

## RAM-Typen

Einige sehr alte NAS-Boxen nutzen noch DDR2-SO-DIMMs, die meisten DDR3 oder DDR3L und aktuelle Geräte auch DDR4, einige wenige schon DDR5. Die DDR-Generationen sind zueinander inkompatibel, man braucht jeweils passende Module. DDR3L ist eine Variante von DDR3, die mit 1,35 statt 1,5 Volt läuft; das „L“ steht für Low Voltage. DDR3L-SO-DIMMs laufen auch in vielen NAS, die eigentlich DDR3 verlangen, aber nicht umgekehrt. Von DDR2, DDR4 und DDR5 gibt es keine „L“-Versionen.

Schnelleres RAM, also Chips mit höherer Taktfrequenz, bringen in einem NAS zwar keinen Vorteil, aber ein zu langsames Modul erkennt das Gerät möglicherweise nicht. Nehmen Sie daher ein DIMM für denselben oder höheren Takt als das bereits vorhandene. DDR2-800, DDR3(L)-1600 oder DDR4-3200 laufen meistens.

Die meisten in NAS gebräuchlichen x86-Chips haben zwei RAM-Kanäle; manchmal ist davon nur einer nutzbar, weil die NAS-Entwickler eine zweite Modulfassung eingespart haben. Bei Bestückung von zwei RAM-Kanälen verdoppelt sich zwar die



Synology-NAS haben einen Ressourcen-Monitor, der auch die Kapazität und Auslastung des Arbeitsspeichers zeigt.

Datentransferrate, aber das beschleunigt weder die eigentlichen NAS-Funktionen noch irgendwelche Plug-ins nennenswert. Denn diese Anwendungen reizen schnelles RAM nicht aus.

NAS-Prozessoren können auch mit asymmetrischer Bestückung ihrer beiden RAM-Kanäle umgehen. Das bedeutet aber nicht, dass man die jeweils maximal mögliche Bestückung immer auch mit einem Einzelmodul ausreizen kann. Falls beispielsweise bis zu 16 GByte möglich sind, klappt das meistens nur mit zwei 8-GByte-Modulen und nicht etwa auch mit einem einzigen 16-GByte-Riegel. Das liegt daran, dass der im jeweiligen Prozessor eingebaute Speichercontroller eine beschränkte Anzahl an Adressleitungen ansteuert. In jeder RAM-Generation gibt es eine gewisse Maximalkapazität pro SO-DIMM, die nicht alle Computer beziehungsweise NAS erkennen. Bei DDR2 sind das 8 GByte, bei DDR3(L) 16 GByte und bei DDR4 32 GByte. Um beim Beispiel des weitverbreiteten DDR3-Speichers zu bleiben: Ein 8-GByte-Riegel funktioniert in vielen, ein 16-GByte-Modul nur in manchen NAS.

Ein SO-DIMM der Generationen DDR3(L) und DDR4 mit 4 oder 8 GByte können Sie ab etwa 10

respektive 17 Euro kaufen; die veralteten DDR2-SO-DIMMs sind pro Gigabyte deutlich teurer.

Achten Sie darauf, kein Registered SO-DIMM zu erwischen: Diese etwas exotische Bauform gibt es nur als ECC-Version für kompakte Server-Mainboards, sie eignet sich nicht für gängige Netzwerkspeicher.

## Schrauberei

Wir haben die Probe aufs Exempel mit einer Synology DiskStation DS218+ gemacht, die seit 2018 in der c't-Redaktion läuft. Das Gerät hat auf seinem Mainboard, das hochkant rechts im Gehäuse sitzt, zwei SO-DIMM-Fassungen für DDR3L-RAM. Eine davon ist leer und praktischerweise ohne Schrauberei zugänglich, wenn man die rechte Festplatte herauszieht. Laut Synology kann man dort ein Modul mit 2 oder 4 GByte einstecken, um die ab Werk vorhandenen 2 GByte auf insgesamt 4 oder 6 GByte zu erweitern. Es geht aber viel mehr.

Videoanleitung zum Zerlegen der Synology DS218+

[ct.de/wva4](http://ct.de/wva4)

Wir haben probeweise ein 8-GByte-Modul in den freien Slot gesteckt und es wurde auch erkannt: 10 GByte waren nutzbar. 16-GByte-Riegel funktionieren hingegen nicht, weil der 2016 vorgestellte Celeron J3355 (Codename Apollo Lake) damit nicht umgehen kann.

An den zweiten SO-DIMM-Slot des DS218+ kommt man erst nach Gefummel heran, denn man muss dazu das Gehäuse komplett zerlegen. Dafür fanden wir eine Anleitung bei YouTube (siehe [ct.de/wva4](http://ct.de/wva4)). Demnach läuft die Box auch mit zwei 8-GByte-Modulen, also insgesamt 16 GByte.

Ob es bei Ihrem individuellen Gerät klappt, lässt sich nicht vorhersagen. Uns haben auch einzelne c't-Leser berichtet, dass nach einem solchen Upgrade zwar das gesamte RAM erkannt wurde, das NAS dann aber extrem langsam reagierte oder andere Probleme auftraten. Dann hilft nur, ein anderes Modul oder eines mit weniger Kapazität auszuprobieren. (ciw) **ct**

# GET YOUR EARLY BIRD TICKET

**ct** <webdev>

Conference for  
Frontend Development

November 12 to 14, Cologne



Meet us at [ctwebdev.de](http://ctwebdev.de)





# Synology-NAS: Daten und VMs sichern

Wie sichert man lückenlos alle Daten, die auf Netzwerkspeichern von Synology liegen? Diese unscheinbare Frage zog bei uns eine kleine Forschungsarbeit nach sich und wir fanden gleich mehrere Lösungsvorschläge.

Von **Dušan Živadinović**

**G**eschäftsbriefe, eingescannte Urkunden, Urlaubsvideos oder Programmierprojekte, solche und andere wertgeschätzte digitale Dinge kann man als Admin eines Synology-NAS-Geräts mühelos sichern. Dafür bietet der Onlineshop von Synology sogar mehrere kostenlose Backup-Anwendungen.

Der Ablauf ist schnell skizziert: Man schätzt ab, wie viele Daten gesichert werden müssen, steckt eine Platte mit ausreichender Kapazität in einen freien Slot, konfiguriert sie als separates Volume

und stöpselt noch ein USB-Laufwerk an. Das sind die beiden Zielmedien für die beiden lokalen Backups. Um dann die 3-2-1-Regel vollständig zu befolgen (drei Backups insgesamt, davon zwei lokal und eines in der Ferne), bucht man Speicherplatz in einer Cloud oder gewährt sich unter Freunden oder Mitarbeitern Zugang zum entfernten Netz (private Co-location) und stellt dort ein drittes Backupmedium auf. So kann auch eine kleine Firma die wichtigsten Datenbestände zum Beispiel im Heimnetz des Firmenadmins sichern.

Besonders elegant klappt das mit dem Tool Snapshot Replication, das für ferne Backups allerdings ein weiteres Synology-NAS mit aktivem Snapshot Replication erfordert. Mit etwas Know-how und etwa dem Befehl `rsync` kann man auch auf beliebige Freigaben ohne Synology-Bindung sichern, siehe Abschnitt „Auf Händen und Knien“. Mit Snapshot Replication macht es sogar Spaß, die 3-2-1-Regel für Backups zu befolgen, weil das Tool übersichtlich und zugleich leistungsfähig ist: Drei regelmäßige Backups von den allerwichtigsten Daten zu konfigurieren, das ist mit Snapshot Replication nur ein lockerer Mausspaziergang.

Will man gesicherte Daten einlesen, geht das wahlweise direkt in Snapshot Replication mittels der Option „Wiederherstellung“ oder per Hand. Dafür genügt es, den replizierten Ordner als Netzlaufwerk zu mounten. Dann kann man einzelne Dateien zum Beispiel auf den PC herunterladen.

Doch wenn es um Backups von virtuellen Maschinen geht (VM), für deren Einrichtung man auch schon mal manchen Schweißtropfen vergießt, sitzen vor allem Admins von Synology-NAS-Geräten der Einstiegs- und Mittelklasse auf dem Trockenen. Denn für VM-Backups hat Synology nur den Virtual Machine Manager in der Pro-Version vorgesehen, der für private

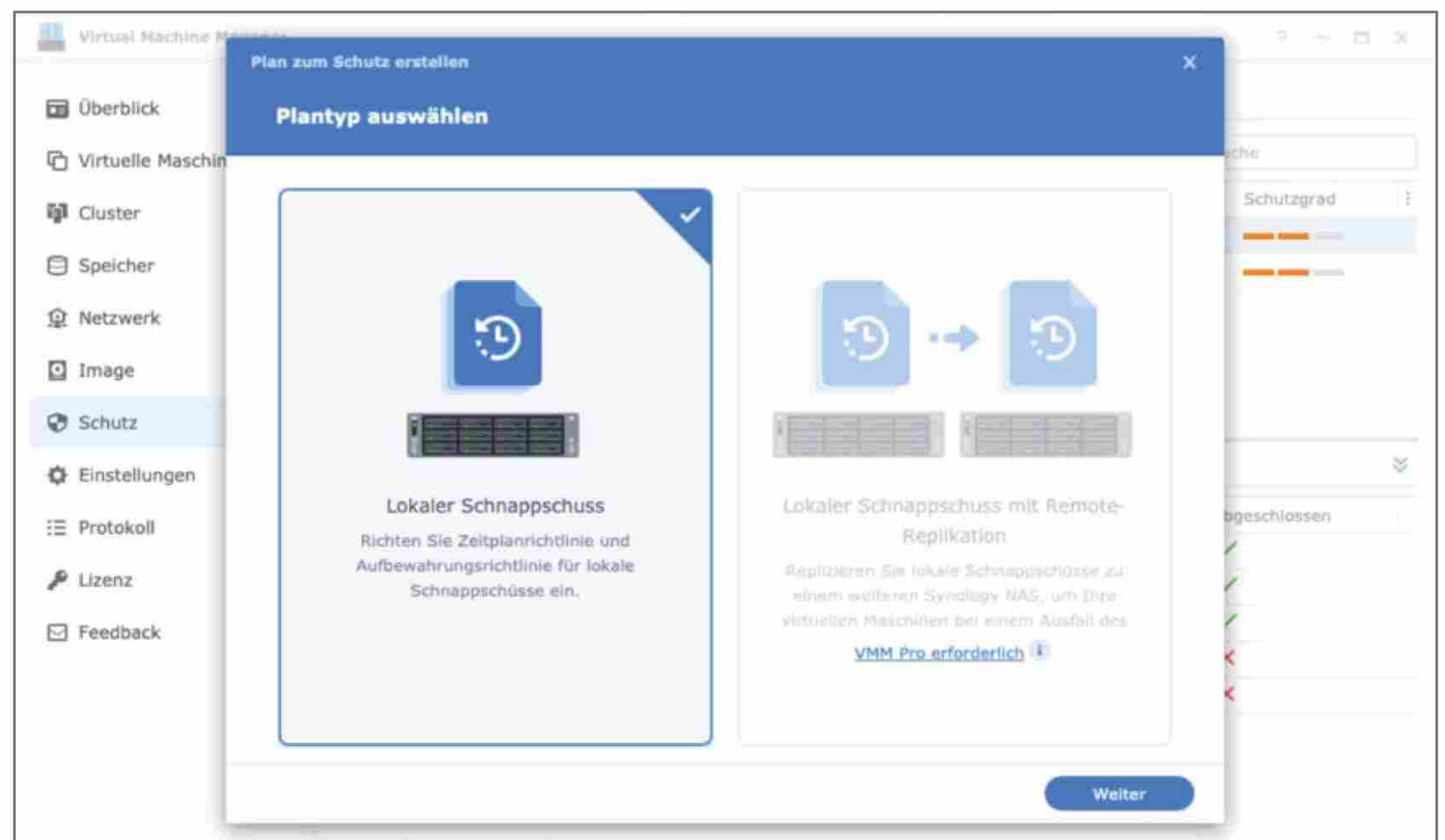
Zwecke einfach zu teuer ist: Ein Jahresabonnement bekommt man erst ab 160 Euro (siehe [ct.de/wc5c](https://ct.de/wc5c)).

Die kostenlosen grafischen Anwendungen wie „USB Copy“ oder „Active Backup for Business“ können nicht auf die Pfade zugreifen, in denen die VM-Dateien liegen. Mit der einfachen Version des Virtual Machine Manager kann man immerhin regelmäßig lokale Schnappschüsse erzeugen (linke Spalte, Option „Schutz“). Diese liegen im Pfad `/volumeN/@iSCSI/Snapshot/BLUN`, wobei `volumeN` dem für VMs konfigurierten Speicherpool entspricht, also etwa `volume2`. Von dort könnte man sie zum Beispiel mit `rsync` auf ein beliebiges Ziel sichern.

Doch es gibt viel bequemere Wege. Die meisten virtuellen Maschinen kann man wie übliche PCs oder Server mit einem der vielen Backup-Tools von innen heraus sichern. Man richtet das Tool in der VM so ein, dass es über das LAN in einen freigegebenen Ordner des Synology-NAS schreibt, den man mit dem Programm File Station erzeugt. Den freigegebenen Ordner kann man dann leicht mit Snapshot Replication lokal und in der Ferne sichern.

Eine elegantere Lösung bietet sich über das von Synology angebotene Active Backup for Business (kurz ABB) – etwas unerwartet, denn Synology führt nicht auf, wie man damit VMs sichert.

**Den Großteil der NAS-Daten kann man auf Synology-Geräten sehr bequem mit Synology-Tools sichern. Doch für virtuelle Maschinen hat der Hersteller nur die im Abonnement erhältliche Pro-Variante des Virtual Machine Managers vorgesehen.**



Doch es setzt dasselbe Bedienkonzept mit ähnlichen Begriffen um, das Synology auch bei anderen Programmen verwendet und erscheint für die Aufgabe ausreichend leistungsfähig: Man kann den gesamten Backupclient manuell oder nach Zeitplan sichern, verschiedene Aufbewahrungsrichtlinien konfigurieren und vor und nach dem Backup Skripte ausführen lassen. Das ist ein übliches Mittel, um laufende Server während der Sicherung anzuhalten, um inkonsistente Backupdaten zu vermeiden.

Hat man ABB aktiviert (Registrierung und Anmeldung am Synology-Konto erforderlich) und gestartet, bietet das Tool an, beispielsweise PCs mit Windows oder macOS oder virtuelle Maschinen von VMWare Sphere oder Microsofts Hyper-V zu sichern; Synology-VMs berücksichtigt das Tool nicht ausdrücklich.

## Simple Überredung

Aber man kann es mit einem simplen Trick dazu überreden: Man richtet den Backupclient von ABB auf einer VM so ein, als wäre sie ein physischer Server. Das, und die weitere Konfiguration in Snapshot Replication, spielen wir jetzt auf Basis eines Synology DS1621+ mit DSM 7.2 durch. Sollten Sie Snapshot Replication bisher nicht verwendet haben, können Sie den hier geschilderten Vorgang nutzen, um beliebige andere Freigaben Ihres Synology-NAS zu replizieren, sei es lokal oder fern.

Bevor Sie loslegen, stellen Sie sicher, dass der SSH-Dienst auf Ihrem Synology-NAS läuft (Systemsteuerung/Terminal & SNMP) und dass es für jeden SSH-Nutzer ein Home-Verzeichnis anlegt. Öffnen Sie dazu in der Systemsteuerung „Benutzer und Gruppe“. Klicken Sie in der Reiterauswahl auf „Erweitert“ und dann weiter unten auf „Benutzerbasis“. Bei „Benutzer-Dienst aktivieren“ sollte das Häkchen gesetzt und ein Zielvolumen ausgewählt sein.

Starten Sie Active Backup for Business und aktivieren Sie es. Klicken Sie links in der Spalte auf „Physischer Server“, wählen Sie entsprechend der virtuellen Maschine Windows oder Linux aus und klicken Sie auf „Gerät hinzufügen“. Im Weiteren gehen wir von einer Linux-VM auf Debian-Grundlage aus.

Klicken Sie im Dialog auf „deb\_x64“, um das Installationsskript der Linux-Variante des ABB-Clients auf Ihren PC zu laden. Entpacken Sie das Archiv auf dem PC und bringen Sie die Datei `install.run` in die VM, die Sie sichern wollen. Beispiel:

```
cd "~/Downloads/Synology Active Backup for Business Agent-2.6.1-2
```

```
3052-x64-deb"
sftp user@VM-IP-Adresse
put install.run
```

Ersetzen Sie „user“ mit Ihrem Usernamen und „VM-IP-Adresse“ mit der IP-Adresse der virtuellen Maschine, auf der der ABB-Client laufen soll; die IP-Adresse verrät der Virtual Machine Manager im Bereich „Virtuelle Maschine“. Melden Sie sich danach per SSH an der VM an und starten Sie die Installation des ABB-Clients:

```
ssh user@VM-IP-Adresse
sudo su
./install.run
```

Das Skript lädt unter anderem Linux-Header-Dateien, das Kommando `synosnapshot` und weitere Komponenten, was einige Minuten dauert. Anschließend meldet man den ABB-Client am ABB-Server des NAS-Geräts per Kommandozeile an:

```
abb-cli -c
```

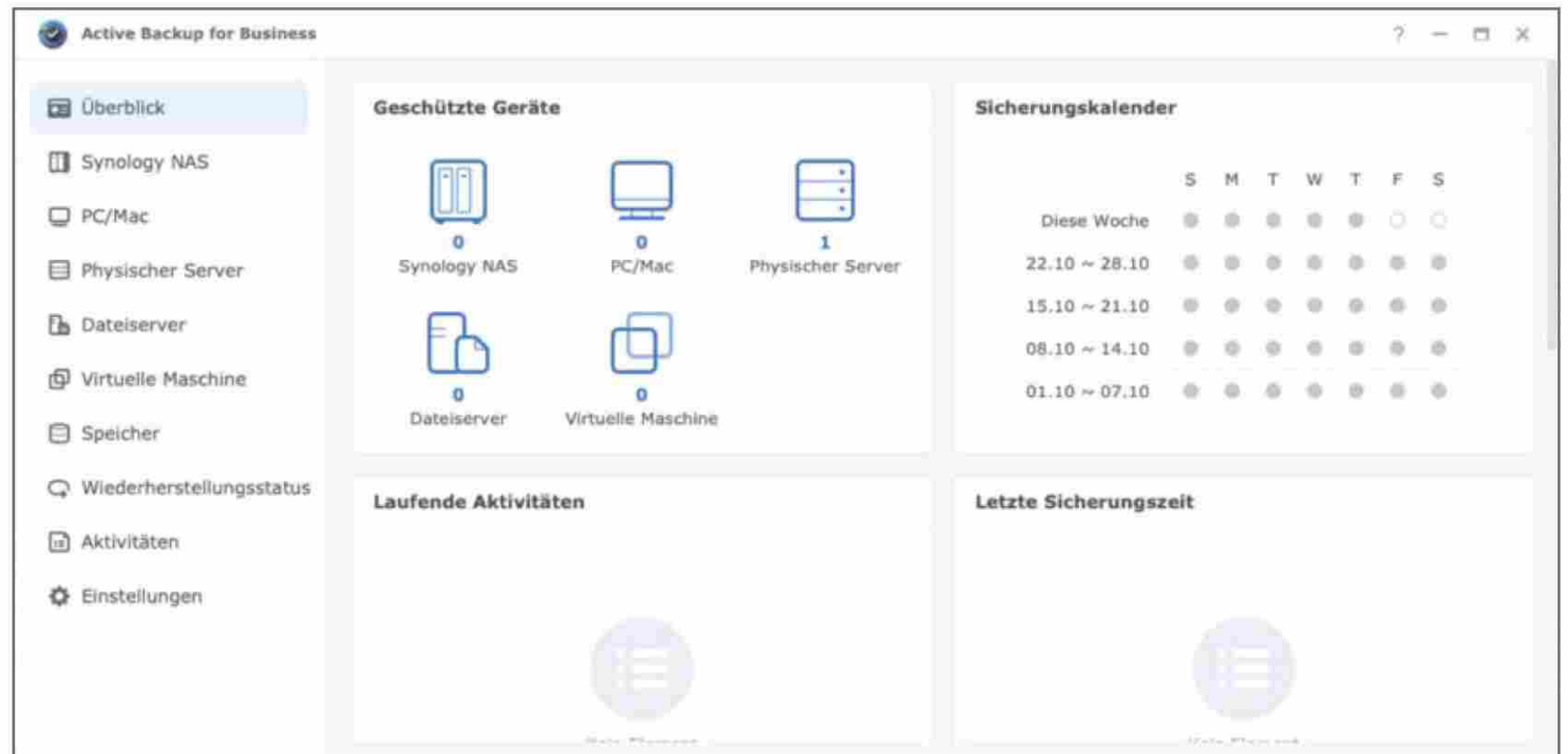
Geben Sie auf Nachfrage die erforderlichen Parameter ein. Zwischendrin blendet das Tool eine Warnung wegen nicht vertrauenswürdigem Zertifikat ein. Erlauben Sie dessen Verwendung. Falls Ihr NAS eine Zwei-Faktor-Authentifizierung erfordert, öffnen Sie die dafür eingerichtete App auf dem Smartphone und geben Sie eine gültige Zeichenfolge ein. Bestätigen Sie zum Schluss die von `abb-cli` eingeblendeten Anmeldeinformationen. Damit ist der Client am Server angemeldet.

Kehren Sie nun zurück zum geöffneten Dialog des ABB-Servers auf dem Synology-NAS und klicken Sie auf „Vorlage“ und „Erstellen“, um eine neue Backupkonfiguration zu erzeugen. Tragen Sie oben im Dialog einen Namen für den Vorgang ein, beispielsweise den Namen der VM, wählen Sie den Benutzer aus, der die Vorlage verwenden darf (zum Beispiel `admin`) und klicken Sie weiter unten die Plattform (etwa `Linux`) sowie darunter „Physischer Server“ an.

Auf der nächsten Seite empfiehlt es sich, das gesamte Gerät zu sichern und sowohl Kompression als auch Verschlüsselung zu deaktivieren, weil beides in diesem Szenario nur unnötig Rechenzeit kostet. Im nächsten Dialog können Sie das lokale Backupziel festlegen, also zum Beispiel die Freigabe „Active Backup for Business“. Anschließend folgen Einstellungen für etwaige Skripte, das automatische Backup im Aufgabenplaner (etwa täglich um 6 Uhr



Über einen kleinen Umweg lässt sich das kostenlose Active Backup for Business überreden, auch von den meisten virtuellen Maschinen Backups zu erzeugen.



morgens) sowie Einstellungen für Aufbewahrungsrichtlinien (beispielsweise die letzten 10 Versionen aufbewahren). Damit ist die Backupaufgabe eingerichtet.

Wenn Sie danach links in der Spalte auf „Physischer Server“ und Linux klicken, sollte Ihre neue Backupaufgabe aufgeführt sein. Um die Sicherung sofort zu testen, öffnen Sie die Aufgabenliste, klicken Sie auf die neue Aufgabe und dann auf „Sichern“. In der Spalte Status sollte nach einigen Sekunden der Backupfortschritt aufgeführt werden. Im Test auf dem Mittelklasse-NAS Synology DS1621+ dauerte die Sicherung einer 10-GByte-VM rund fünf Minuten. Wenn Sie in der Spalte „Ziel“ auf den Pfad klicken, öffnet sich die Anwendung „File Station“ und darin der Backupordner. Die Backupdatei einer Linux-VM heißt beispielsweise sda.img. Von dort aus kann man sie zum Beispiel auf den PC downloaden.

Viel nützlicher dürfte aber sein, dass man den ABB-Ordner wie jeden anderen freigegebenen Ordner auf ein fernes Synology-NAS replizieren kann, etwa in einer anderen Stadt. Für die Snapshot Replication eignen sich zwar nicht alle Synology-NAS, aber für viele. Die Liste der Modelle, auf denen der Dienst läuft, finden Sie über [ct.de/wc5c](http://ct.de/wc5c). Falls Ihr NAS-Modell nicht aufgeführt ist, können Sie auf den Rsync-Dienst ausweichen. Wie man das Kommando rsync auf Synology für die Synchronisierung über SSH-Tunnel konfiguriert, haben wir in c't 13/22 ab Seite 168 beschrieben.

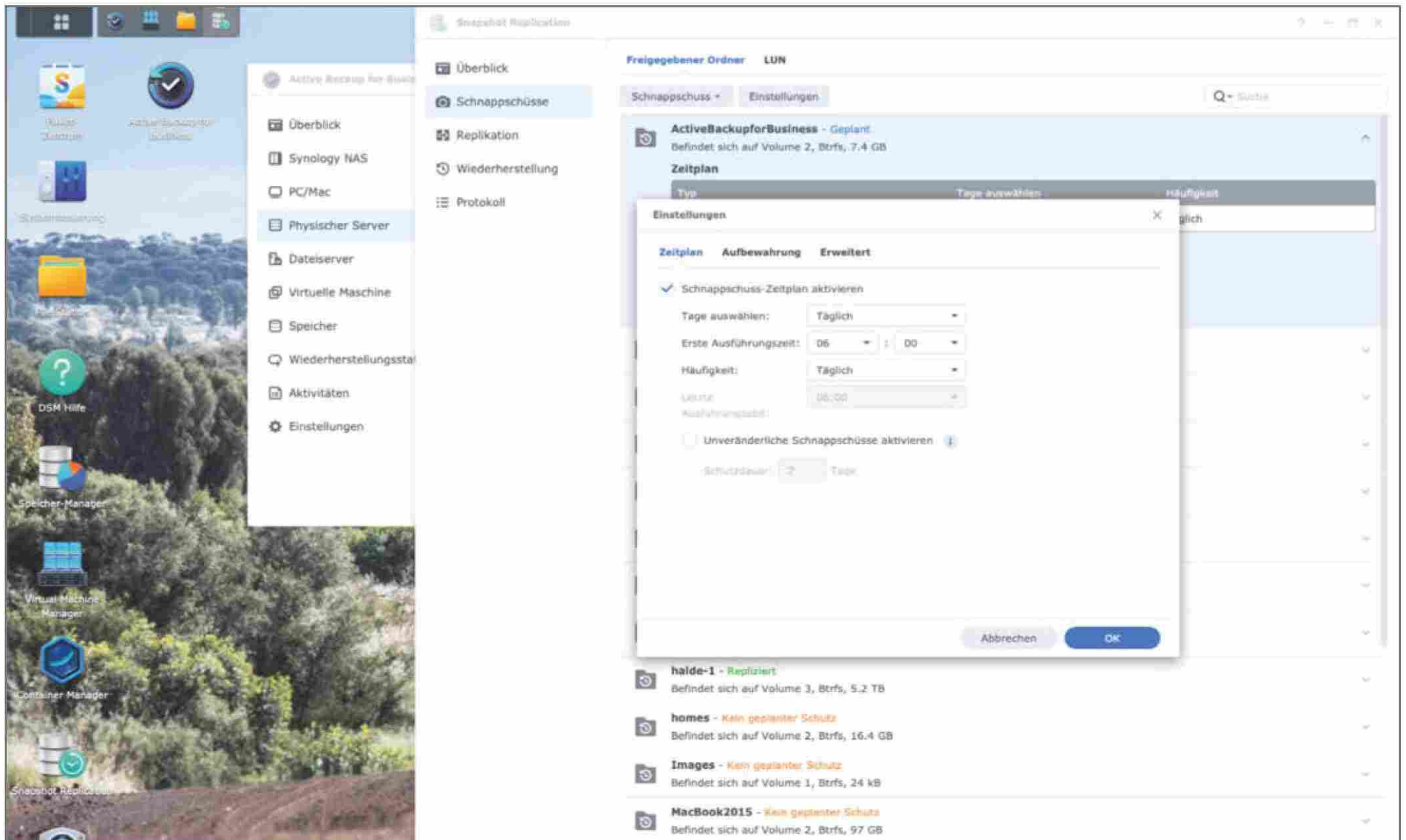
## Replikation per VPN

Die Snapshot Replication klappt am einfachsten, wenn sich beide NAS-Geräte über ein VPN erreichen können; dann ist deren Verkehr verschlüsselt und Sie können sich die Portfreigaben für das Webinterface und die Snapshot Replication sparen.

Wir haben dafür das Peer-to-Peer-VPN ZeroTier verwendet (kurz ZT), weil es sich schnell einrichten lässt und ohne Portweiterleitungen und ohne DynDNS funktioniert. Hier der Vorgang in aller Kürze, falls Sie ebenfalls ZeroTier verwenden wollen: Falls noch nicht geschehen, richten Sie den Container Manager auf dem NAS ein, legen Sie auf [zerotier.com](http://zerotier.com) ein Konto an, melden Sie sich an und erzeugen Sie mit „Create A Network“ ein neues Netz. Installieren Sie den ZT-Client über eine SSH-Sitzung auf dem lokalen NAS, indem Sie der Anleitung auf [docs.zerotier.com/synology/](http://docs.zerotier.com/synology/) folgen. Fügen Sie den Client Ihrem ZT-Netz hinzu; kopieren Sie dafür die Netzwerk-ID aus dem ZT-Webinterface und setzen Sie sie in den folgenden Befehl anstelle von Network-ID ein:

```
docker exec -it zt zerotier-cli
➤ join Network-ID
```

Im ZT-Webinterface scrollen Sie nach unten zum Abschnitt Members, um dem neuen ZT-Client Zutritt zu gewähren. Tragen Sie dann im ZT-Webinterface seinen Namen ein (z. B. Firmen-NAS). Falls noch nicht



**Hat man erstmal lokale Backups von VMs angelegt, lassen sich diese wie andere NAS-Daten mit dem Tool Snapshot Replication auch auf fernen Netzwerkspeichern von Synology sichern.**

vorhanden, richten Sie im fernen Router eine Port-Weiterleitung für den SSH-Zugang zum fernen NAS ein und richten Sie dort ZT ebenfalls ein.

Lesen Sie im ZT-Webinterface die ZT-IP-Adressen der beiden NAS-Geräte aus. Darüber sollten die beiden NAS gegenseitig auf Ping-Pakete antworten (ping ZT-IP-Adresse). Wenn Sie auf dem PC ebenfalls ZT einrichten, können Sie beide NAS per Ping erreichen und das Webinterface des fernen NAS auch aus Ihrem lokalen Netzwerk öffnen.

## Schnappschüsse replizieren

Im nächsten Schritt richten Sie den Dienst Snapshot Replication auf beiden NAS ein. Melden Sie sich dazu auf beiden Geräten als Administrator an und installieren Sie den Dienst über das Paketzentrum.

Stellen Sie sicher, dass auf dem Zielsystem ein Btrfs-Volumen mit ausreichend freier Kapazität vorhanden ist. Falls Sie keine VPN-Verbindung verwenden (nicht empfohlen), richten Sie im fernen Router Weiterleitungsregeln für die TCP-Ports 5000 und 5566 ein („Webinterface“ und „Gemeinsamer Ordner“).

Öffnen Sie Snapshot Replication, klicken Sie auf „Replikation“, „Erstellen“, „Start“ und wählen Sie „remote“ aus. Tragen Sie dann Servernamen, IP-Adresse (möglichst VPN-Adresse) und die Zugangsdaten für das Replikationsziel ein. Die Authentifizierungsdaten fragt Ihr Browser in einem Pop-up-Fenster ab. Falls Ihr Browser Pop-up-Fenster blockiert, müssen Sie es per Hand öffnen. Falls das ferne NAS eine Zwei-Faktor-Authentifizierung erwartet, geben Sie den zweiten Faktor wie konfiguriert ein und schließen Sie die Authentifizierung mit „Weiter“ ab.

In den nächsten beiden Dialogen legen Sie fest, auf welchem Ziel-Volume des fernen NAS welcher lokale Ordner gesichert wird, zum Beispiel auf Volume1 der Ordner „Active Backup for Business“. Danach zeigt Ihr NAS die zu übertragende Datenmenge und die geschätzte Dauer der ersten Replikation an. Legen Sie dann einen Zeitplan für regelmäßige Sicherungen und eine Aufbewahrungsrichtlinie fest, zum Beispiel täglich um 7:00 Uhr und zehn aufzubewahrende Schnappschüsse. Die Option für „geplante lokale Schnappschüsse“ spielt für die Sicherung von VMs keine Rolle, lassen Sie sie also weg.

Prüfen Sie auf der letzten Seite die komplette Liste der Einstellungen und schließen Sie den Dialog mit „Fertig“. Dann legt Ihr NAS die Aufgabe an, startet gleich die erste Replikation und blendet eine Fortschrittsanzeige ein. Weitere Statusmeldungen finden Sie über den Reiter „Überblick“.

## Auf Händen und Knien

Active Backup for Business und Snapshot Replication funktionieren nur im Synology-Kosmos und sie berücksichtigen nur komplette freigegebene Ordner, aber keine Pfade innerhalb dieser Ordner. Ersatzweise bietet sich wiederum rsync an.

Die VM-Dateien legt das DSM-Betriebssystem nach dem Muster /volumeN/@iSCSI/LUN/VDISK\_BLUN ab. Da Synology zur Virtualisierung die Qemu-Technik nutzt, kann man die VMs auch in anderen Qemu-Instanzen verwenden (und mit dem Befehl virsh lokal sichern und vieles mehr ...). Um die zu einer VM zugehörige Datei zu finden, melden Sie sich per SSH als root an und lesen Sie zuerst die IDs der laufenden VMs mit virsh aus:

```
ssh ip-Adresse-des-NAS
sudo su
virsh list --title
```

Die ausgegebene Tabelle führt in der Spalte „title“ die Namen der VMs und in der Spalte „Name“ die zugehörigen IDs auf. Den Ordner, in dem die Dateien einer VM stecken, verrät der Befehl virsh dumpxml ID:

```
virsh dumpxml 7cee6abc-ce77-4894-928f
-b23fd81b498e | grep -i vdisk_
... vdisk_2eccf23c-ec9a-449f-8633-0e04
95144100 ...
```

Das ist in der obigen Ausgabe die Zeichenkette, die auf vdisk\_ folgt, also in diesem Beispiel der Ordner 2eccf23c-ec9a-449f-8633-0e0495144100. Um den Ordner zu kopieren, setzt man den VM-Pfad /volumeN/@iSCSI/LUN/VDISK\_BLUN vor die ID der VM. Beispiel:

```
cp -r /volume2/@iSCSI/LUN/VDISK_BLUN/
2eccf23c-ec9a-449f-8633-0e0495144100
Zielpfad
```

Setzen Sie statt volume2 jenes Volume ein, auf dem Ihre VMs gespeichert sind und tragen Sie anstatt der obigen Zeichenkette, jene ein, die zu Ihrer gesuchten VM-Datei gehört. Den so ermittelten Pfad einer VM können Sie nun in rsync als Quellpfad verwenden. Eine laufende VM stoppen Sie mit virsh shutdown ID. Nach dem Backup starten Sie die VM mit folgendem Befehl: synowebapi --exec api=SYNO.Virtualization.API.Guest.Action version=1 method=poweron runner=admin guest\_name="VM-Name" (dz) **ct**

### Infos zu Snapshot Replication

[ct.de/wc5c](https://ct.de/wc5c)



Heft + PDF mit 26 % Rabatt

## Know-How statt Hype

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 €  
• Bundle Heft + PDF 19,90 €

 [shop.heise.de/ct-chatgpt](https://shop.heise.de/ct-chatgpt)

# Netzwerkpeicher

Ein Netzwerkpeicher alias NAS (Network Attached Storage) ist die Alternative für alle, die ihre Daten keinem Cloudanbieter anvertrauen mögen. Wer seine Schätze unterm eigenen Dach verwahren will, steht bei der Anschaffung vor einigen Fragen. Hier die Antworten.

Von **Ernst Ahlers**

## Welches NAS wofür?

**?** Der Markt bietet Hunderte NAS-Modelle. Wie erwische ich das passende?

**!** Ein gemeinsames Datenlager für die Familie oder die Bürogemeinschaft, das weder rasant noch erweiterbar sein muss, bekommen Sie schon mit einem NAS-Leergehäuse der 200-Euro-Klasse mit zwei Plattenschächten. Meiden Sie vermeintliche Schnäppchen: Für halbwegs aktuelle Hardware sollte das Modell höchstens drei Jahre im Markt sein.

Orientieren Sie sich bei der Wahl der Festplatten an den Kompatibilitätslisten der Hersteller, grundlegende Fragen zu NAS-Platten beantwortet unser Artikel „Festplatten für Netzwerkpeicher“. Wenn Sie den Selbsteinbau scheuen, schauen Sie nach einem Händler, der mit Massenspeicher bestückte Geräte anbietet.

Soll der Netzwerkpeicher als kleiner Server oder als Container-Host für eigene Netzdienste fungieren, dann kommen Modelle mit Vierkern-Prozessoren und mindestens 8 GByte Hauptspeicher infrage. Erweiterbares RAM und Steckplätze für M.2-SSDs gehören dann auch dazu. Nach oben sind kaum Grenzen gesetzt, die großen NAS-Hersteller haben auch ausgewachsene Server für Mittelständler im Angebot.

Kaufen Sie zum NAS mindestens zwei USB-Festplatten mit gleicher Kapazität oder mehr als Backupmedien dazu. Sie werden sie früher oder später brauchen.

## Gigabit- oder Multigigabit-Ethernet?

**?** Ich finde unter den billigen NAS Modelle mit Gigabit-Ethernet und unter den etwas teureren solche mit LAN-Schnittstellen für 2,5 Gbit/s. Was ist sinnvoller?



## FAQ

**!** Nehmen Sie das NAS mit 2,5-Gbit/s-Ethernet. Zwar kann man per Link-Aggregation, früher auch Trunking genannt, NAS-seitig zwei Gigabit-Ports für bis zu 2 Gbit/s zusammenfassen. Dafür muss sich der LAN-Switch aber ebenfalls eignen. Doch selbst wenn Sie einen PC mit zwei 1-GE-Ports ausstatten, bekommt er bei einer einzelnen Übertragung in der Regel höchstens 1000 Mbit/s. Link-Aggregation wirkt nämlich typischerweise nur, wenn mehrere Transfers parallel laufen. Am Ende ist es billiger und bringt mehr, PCs und LAN für 2,5 Gbit/s zu ertüchtigen. Damit können Sie dann auch die Datenrate von Festplatten bei großen Dateien (rund 280 MByte/s) voll ausschöpfen.

## RAID als Backup?

**?** Wenn ich mehrere Festplatten bestücke und sie als RAID koppelte, dann brauche ich doch kein Backup mehr zu machen, oder?

**!** Ganz gleich, wie Sie Ihr NAS einrichten: **Backups müssen sein!** Denn die tatsächlich redundanten RAID-Konfigurationen 1, 5, 6 oder 10 helfen nur gegen den Ausfall von Massenspeicherkomponenten. Bedienfehler – hoppla, falscher Teilbaum gelöscht! – schlagen auch bei RAID durch. Es schützt auch nur eingeschränkt gegen den Tod des NAS-Mainboards. Sie können die Platten zwar in ein baugleiches Gerät stecken und hoffen, dass dieses sie anstandslos einbindet. Es ist aber sicherer und schneller, die Daten vom Backup zu restaurieren, als darauf zu vertrauen, sie von den alten NAS-Platten kratzen zu können (c't 17/2018, S. 152).

## RAID 1 oder 5?

**?** Was ist sinnvoller, RAID 1 mit zwei Festplatten oder RAID 5 mit dreien?

**!** Das hängt von der gewünschten Speicherkapazität, der Entwicklung der Stromkosten und den Gerätepreisen ab. Für die gleiche Zielkapazität sind bei RAID 1 die Platten teurer als bei RAID 5. Dort liegt hingegen die Idle-Stromaufnahme höher und das NAS ist etwas teurer. Welche Konstellation für Sie die günstigere ist, lässt sich deshalb nicht pauschal sagen. Sie werden es anhand Ihrer Wünsche und Ihres Einsatzverhaltens (Dauerlauf oder häufiger Plattenstandby) ausrechnen müssen.

## SSDs als Cache oder für Daten?

**? SSDs sind für hohe Kapazitäten immer noch deutlich teurer als Festplatten. Wie setze ich sie am geschicktesten ein?**

**!** Wenn Sie nicht gerade ein leistungsfähiges NAS mit 10-Gbit/s-Ethernet und passender Netzwerkinfrastruktur betreiben, das riesige Dateien auf einer SSD-RAID-5-Konfiguration speichert, bringen SSDs selten einen großen Gewinn. Nach unseren Messungen in NAS-Tests beschleunigt ein SSD-Cache meist nur bestimmte Zugriffsmuster, beispielsweise datenbankähnliche.

Deshalb erscheint uns der SSD-Einsatz am ehesten für ein Volume sinnvoll, auf dem direkt vom NAS

startende Docker-Container und ihre Daten liegen. So profitieren etwa eine SQL-Datenbank und ein Cloud-Container mit ihren vielen kleinen Zugriffen von der weit geringeren Latenz der SSDs gegenüber Festplatten.

## Desktop-, Server- oder NAS-Platten?

**? Brauche ich NAS- beziehungsweise Servermodelle oder tun es auch Platten für PCs?**

**!** PC- oder Desktop-Platten funktionieren zwar in NAS, können aber bei Lesefehlern Probleme beschaffen. Greifen Sie lieber zu NAS- oder Serverplatten, die defekte Sektoren schneller überspringen. So wird die Platte nicht zu früh als ausgefallen markiert und aus dem RAID entfernt. Außerdem sind Desktop-Platten typischerweise nicht dauerlauffähig.

## SMR oder CMR?

**? Hochkapazitive SMR-Platten sind oft billiger als andere Typen. Darf ich sie bedenkenlos ins NAS stecken?**

**!** Nein, nehmen Sie fürs NAS lieber welche mit Conventional Magnetic Recording (CMR). Festplatten mit Shingled Magnetic Recording (SMR) sind hauptsächlich fürs Archivieren vorgesehen. Sie brauchen beim Überschreiben von Sektoren oft viel länger als CMR-Modelle. Erstens sinkt dadurch besonders bei vielen kleinen Zugriffen die Schreibgeschwindigkeit enorm. Zweitens vermuten NAS bei verzögerter Antwort manchmal einen Schreibfehler und werfen die Platte aus dem RAID-Verbund. Dann geht die Ausfallsicherheit flöten, im schlimmsten Fall unbemerkt, wenn Sie keinen Alarm dafür aktiviert haben.

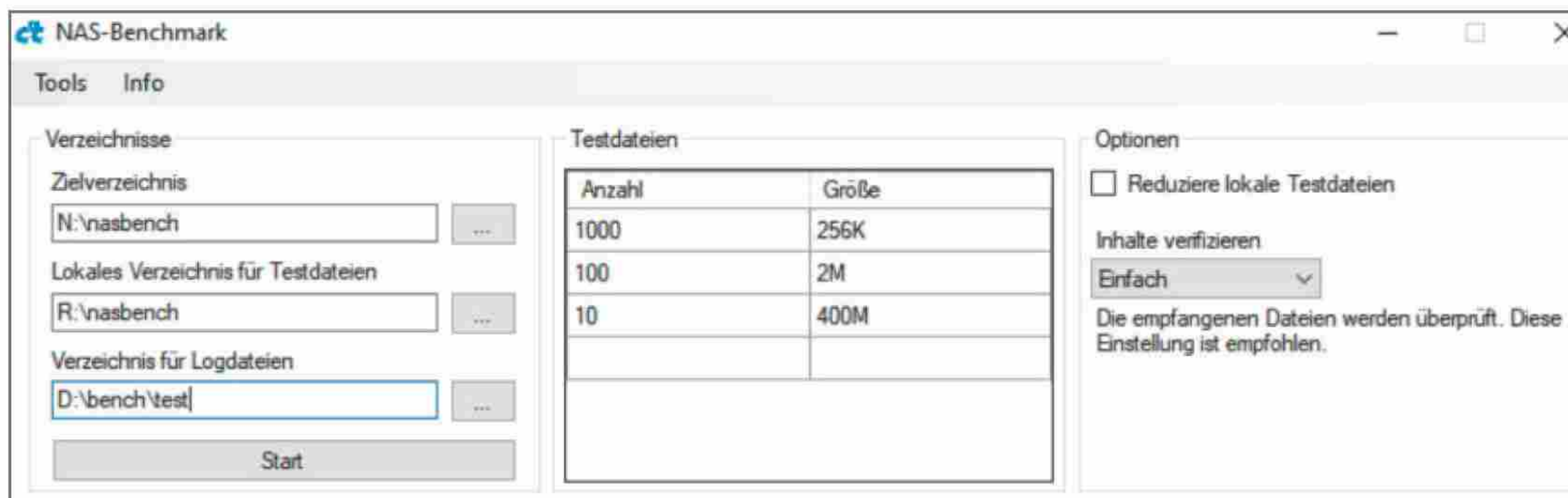
## NAS-Durchsatz messen

**? Wie testet c't die NAS-Performance?**

**!** Wir nutzen ein eigenes Windows-Tool, das die Geschwindigkeit beim Kopieren alltagstypischer Dateisätze misst. Der c't-NAS-Bench (ct.de/wm7g) schreibt über eine Windows-Dateifreigabe unter Verwendung der Betriebssystemfunktionen nacheinander drei Gruppen von Dateien aus einer



**Fassungen für M.2-Cache-SSDs gehören bei modernen NAS zur Basisausstattung. Das Bestücken lohnt aber nicht immer.**



Der c't-NAS-Benchmark kopiert über die Windows-Systemfunktionen unterschiedliche Dateisätze aufs und vom NAS. So zeigt er, welche Geschwindigkeiten man im Alltag bei verschiedenen Dateitypen erwarten darf.

RAM-Disk aufs NAS und liest sie anschließend wieder ein.

Die üblichen Dateisätze sind 1000 kleine (256 KByte), 100 mittlere (2 MByte) und 10 große (400 MByte). Bei kleinen Dateien begrenzt die Latenz der Systemfunktionen der beteiligten Betriebssysteme (Windows, NAS) den Durchsatz. Mittlere Dateien decken beim Schreiben den Effekt des RAM-Cache im NAS auf und große zeigen, was NAS und Netz an maximaler Datenrate hergeben.

## Platten dauerlaufen lassen?

**? Soll ich die Festplatten im NAS durchgehend laufen lassen? Oder dürfen sie zum Stromsparen zwischendurch schlafen gehen?**

**!** Aus unserer Sicht spricht nichts dagegen, das NAS den Massenspeicher nach einer Stunde ohne Zugriffe in den Standby schicken zu lassen. Verschleiß beim Wiederanlaufen ist kein Thema mehr: Beispielsweise spezifiziert Western Digital seine Festplatten mit 300.000 Zyklen, was bei stündlichem Schlafengehen über 30 Jahre wären.

## Wann Platten tauschen?

**? Die Platten in meinem NAS sind schon über sechs Jahre alt. Wann sollte ich sie tauschen?**

**!** Die absolute Laufzeit ist wenig aussagekräftig. Achten Sie eher auf andere SMART-Parameter der Platten (Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology). Falls Ihr NAS eine Funktion dafür hat, schalten Sie sie ein. Lassen Sie mindestens wöch-

entlich den kurzen SMART-Test laufen und sich bei Auffälligkeiten per Mail alarmieren.

In den SMART-Werten sind zwei Parameter interessant: „Reallocated Sector Count“ und „Offline Uncorrectable“, manchmal leicht abweichend bezeichnet. Beide dürfen gelegentlich einen kleinen Sprung zeigen, beispielsweise von 0 auf 4, 12 auf 16 oder ähnlich. HDDs haben erstens keine perfekten Plattenoberflächen, es kann durchaus mal ein Sektor nicht schreib- und lesbar sein. Zweitens verschleiben Festplatten mit der Zeit.

Falls diese Parameter bei einer Platte stetig, also bei jedem SMART-Auslesen klettern, dann sollten Sie diese bald ersetzen. Wenn Sie keine Redundanz vorgesehen haben, also etwa mehrere Platten in RAID-1- oder RAID-5-Konfiguration betreiben, dann machen Sie Backups häufiger als sonst und warten Sie mit dem Tausch nicht lange.

## Wann SSDs tauschen?

**? Und wie sieht es bei SSDs mit der Haltbarkeit aus?**

**!** Wie bei Festplatten sollten Sie auch bei SSDs die SMART-Überwachung aktivieren. Sobald das NAS warnt, tauschen Sie die betroffene SSD aus. Schauen Sie auch hier gelegentlich auf die SMART-Daten. Je nach SSD-Typ tauchen Parameter wie „Total Bad Blocks“, „Media Wearout“ oder „Available Spare“ auf. Fortlaufend ansteigende Werte bei den ersten beiden Parametern sollten Sie aufmerksam machen. Zeigt Ihr Modell „Available Spare“ an, dann ist der Tausch spätestens fällig, wenn der Wert unter 20 Prozent fällt. (ea) **ct**

c't-NAS-Benchmark

[ct.de/wm7g](http://ct.de/wm7g)



# WIR SIND NICHT NUR NERDS. WIR SIND AUCH VOM FACH.

Jetzt 5 × c't lesen


für 20,25 €  
statt 27,25 €\*

\* im Vergleich zum Standard-Abo

30%  
Rabatt!



## c't MINIABO DIGITAL AUF EINEN BLICK:

- 5 Ausgaben digital in der App, im Browser und als PDF
- Inklusive Geschenk nach Wahl
- Mit dem Digitalabo Geld und Papier sparen 
- Zugriff auf das Artikel-Archiv

Jetzt bestellen:  
[ct.de/nerdwissen](https://ct.de/nerdwissen)





# Kaufberatung: Hardware für Heimserver

Welche Hardware ein Heimserver benötigt, hängt von höchst individuellen Wünschen ab und reicht vom Raspberry Pi über ein NAS bis hin zur großen PC-Blechkiste. Wir stellen die aktuelle Technik vor.

Von **Christof Windeck**

**F**ür Heimserver gibt es keine Allzweckhardware. Vielmehr sind ganz verschiedene Konfigurationen sinnvoll, weil die persönlichen Wünsche an einen Server sich stark unterscheiden. Viele Privatkunden wollen gar keine Serverhardware mehr betreiben, ihnen reichen Cloud-Dienste. Andere installieren eigene Software auf einer virtuellen Instanz oder einem Root-Server beim Hoster. Soll der Server

hingegen in den eigenen vier Wänden laufen, kaufen die meisten einen fertigen Netzwerkspeicher (NAS), auf dem sich viele Dienste recht einfach als Plug-ins oder Software-Pakete einrichten lassen.

Doch ein NAS erfüllt nicht jeden Wunsch. Manche hätten es gerne billiger, sparsamer oder leiser und begnügen sich dafür mit einem Raspberry Pi. Andere nehmen lieber einen Mini-PC, weil x86-Technik die



größte Auswahl an (Open Source-)Software eröffnet. Und einige wünschen sich viele CPU-Kerne und massenhaft RAM für virtuelle Maschinen sowie Platz für mehrere Festplatten.

Ein gemeinsamer Nenner ist jedenfalls Linux als quelloffenes Betriebssystem für Heimserver. Denn es kostet meistens nichts, verspricht aber hohe Sicherheit und viele Jahre Updates. Falls die ursprünglich installierte Linux-Distribution eines Tages keine Updates mehr bekommt, steigt man auf den Nachfolger um. Für reine Netzwerkgeräte wie Firewalls gibt es spezialisierte Betriebssysteme wie OpenWRT, pfSense oder OPNsense. Die kann man auch als Container oder virtuelle Maschine (VM) auf einem schlanken Hypervisor-System wie Proxmox einrichten.

## Rechenleistung

Für einfache Serverdienste genügt Hardware, die nach heutigen Maßstäben sehr leistungsschwach ist. Die aktuell günstigsten NAS mit Einbauschächten für zwei Festplatten (2-Bay-NAS) kosten ab etwa 190 Euro und haben Systems-on-Chips (SoCs) von Realtek mit vier älteren ARM-Kernen. Deren Rechenleistung reicht aus, um Daten mit voller Geschwindigkeit von 1-Gbit/s-Ethernet zu liefern, also mit knapp mehr als 100 MByte/s – zumindest ohne Verschlüsselung. Auch Nextcloud oder ein Medienserver wie Plex laufen bereits auf solchen Maschinchen.

Ein Raspberry Pi 4 mit seinen vier ARM-Kernen vom Typ Cortex-A72 ist bereits deutlich stärker als die erwähnten NAS-Chips und stemmt mit 4 oder 8 GByte RAM mehrere Docker-Container gleichzeitig. Raspi und ARM-NAS haben jedoch zwei gemeinsame Nachteile: Ihr Arbeitsspeicher (RAM) lässt sich nachträglich nicht erweitern und auf ARM-SoCs läuft kein x86-Code – also auch kein x86-Container und keine x86-VM.

Aufrüstbaren Speicher in Form von mindestens einem wechselbaren (SO-)DIMM findet man erst bei NAS mit x86-Prozessoren zu Preisen ab rund 400 Euro. In solchen Boxen steckt oft ein Celeron wie der ältere J4105 oder die jüngeren N5095/N5105 (siehe Artikel „Vier x86-NAS im Vergleich“). Darauf laufen auch Webserver und kleine Datenbanken flott. Falls die RAM-Kapazität die Leistung begrenzt, lässt sie sich auf 16 oder 32 GByte erweitern – das reicht für die meisten Dienste, die ein privater Haushalt oder ein kleines Büro benötigt.

Container und VMs auf typischen Heimservern müssen nur wenig leisten. Daher können sich mehrere davon einen CPU-Kern teilen. Das kann ein phy-



**Ein Raspberry Pi plus USB-SSD genügt schon für viele typische Heimserver-Dienste.**

sicher oder logischer Kern sein, letztere gibt es bei Prozessoren mit Simultaneous Multithreading (SMT).

Sollen jedoch mehrere Container oder VMs wirklich gleichzeitig arbeiten und nicht bloß im Leerlauf vor sich hindämmern, braucht der Server ausreichend viele (logische) CPU-Kerne. Die Preise für NAS mit mehr als vier CPU-Kernen beginnen jedoch erst jenseits von 1000 Euro. Denn das sind eigentlich kleine Server im NAS-Gewand. In dieser Preisklasse liegen auch Einstiegskonfigurationen von einschlägigen Servermarken wie Dell, HPE und Lenovo. Geräte wie der HPE ProLiant MicroServer Gen10 Plus, mittlerweile leicht aktualisiert als Gen10 Plus v2, sind allerdings in der Basiskonfiguration mager bestückt. Rüstet man solche Geräte mit Originalteilen auf, für die dann auch Garantie und Support gelten, wird es rasch sehr teuer.

Viele Server dieser Bauart haben einen Fernwartungschip (Baseboard Management Controller/BMC), oft mit separatem Netzwerkanschluss. Diese Funktion und auch die Auslegung der Geräte steigern die Leistungsaufnahme im Leerlauf. Nur wenige Server kommen mit weniger als 20 Watt aus. Das führt bei Dauerbetrieb, der auch bei Heimservern typisch ist, zu hohen Stromkosten, siehe Textkasten „Stromverbrauch im Zaum halten“. Es ist daher ratsam, genau auf die Leistungsaufnahme zu achten. Und deshalb wiederum kann die Weiternutzung gebrauchter

Profi-Server sehr teuer werden, denn manche davon schlucken schon im Leerlauf um die 100 Watt.

Weil die meisten Heimserverdienste nicht viel Rechenleistung benötigen, kommt es nicht auf die Leistung der einzelnen CPU-Kerne an. Besondere Stromsparprozessoren braucht man aber auch nicht: Bei den meisten aktuellen PC-Prozessoren lässt sich die Thermal Design Power (TDP) begrenzen, statt auf 65 beispielsweise auf 45 oder 35 Watt. Dazu braucht man nur ein Mainboard mit der zugehörigen Einstellmöglichkeit im BIOS-Setup.

Auch die Datentransferrate des RAM ist bei Heimservern fast nie relevant; Hauptsache, die Kapazität langt. Man kommt also auch mit einkanaligem Hauptspeicher aus und mit niedrig taktenden Speicherchips. Übertakten sollte man unbedingt vermeiden, weil dadurch die Wahrscheinlichkeit von Speicherfehlern steigt und die Leistungsaufnahme schon im Leerlauf erheblich anwachsen kann.

## Im Zweifel: NAS!

Kompakte NAS sind wohl die meistverkauften Heimserver. Im Vergleich zu einem selbst gebauten Server

bieten NAS etablierter Marken erhebliche Vorteile. Vor allem laufen sie mit hoher Wahrscheinlichkeit zuverlässiger, denn die jeweiligen Hersteller fertigen sie in größeren Stückzahlen mit identischer Hardware und entwickeln ihre Betriebssysteme (bei NAS auch Firmware genannt) schon seit Jahren weiter. Beides mindert das Risiko von Inkompatibilitäten im Vergleich zu einer individuellen Kombination aus PC-Komponenten und Betriebssystem. Obendrein stellen die meisten NAS-Anbieter Kompatibilitätslisten für Festplatten und SSDs bereit und verkaufen passendes Zubehör, Synology sogar Festplatten.

Die Konfiguration eines fertig gekauften NAS ist deutlich einfacher, als Linux selbst zu installieren sowie passend und sicher einzurichten. Temperaturgeregelte Lüfter halten die Festplatten kühl und bleiben meistens trotzdem leise – das bekommt man beim PC-Selbstbau selten besser hin. Und bei Problemen findet man typischerweise eher Hilfe: Hersteller und Händler bieten Gewährleistung und Garantie, oft finden sich Hinweise schon in Onlineforen. Bei einem Fertig-NAS lassen sich auch Energiebedarf und Betriebsgeräusch anhand von Testberichten besser einschätzen als bei einem Eigenbau.

## Stromverbrauch im Zaum halten

Strom ist teuer: Der mittlere Preis betrug in Deutschland zuletzt rund 37 Cent pro Kilowattstunde (kWh), glücklicherweise mit sinkender Tendenz. Selbst wenn man mit 30 Cent/kWh rechnet, geht ein Heimserver ins Geld: Bei 20 Watt Leistungsaufnahme kostet Rund-um-die-Uhr-Betrieb über eine angenommene Lebensdauer von fünf Jahren satte 262 Euro.

Die meiste Zeit verbringt ein Heimserver mit Nichtstun. Wenn man täglich 20 Gigabyte an Daten liest oder schreibt, dauert das bei einer Transferrate von 100 MByte/s bloß drei Minuten. Nimmt man großzügig eine Stunde Volllast an, faulenzet der Server 96 Prozent des Tages. Deshalb kommt es auf die Leistungsaufnahme im Leerlauf an.

Eine einzige Magnetfestplatte hoher Kapazität schluckt 5 bis 8 Watt, solange sich ihr Plattenstapel dreht. Die automatische Abschaltung des Spindelmotors (spindown) nach beispielsweise einer Stunde ohne Zugriffe senkt den Bedarf auf 1 bis 2 Watt. SSDs sind wesentlich sparsamer und kommen ohne Zugriffe mit 0,1 bis 1,5 Watt aus. Daher sollte

man das Betriebssystem eines Servers auf eine SSD packen. USB-Sticks sind ebenfalls deutlich sparsamer als Magnetfestplatten, brauchen im Leerlauf aber oft etwas mehr Strom als eine USB-SSD.

### Leistungsaufnahme und Stromkosten

Leistungs-aufnahme	Stromkosten pro Jahr / pro 5 Jahre (bei 0,38 €/kWh)	
[Watt]	Betrieb werktags 10 Stunden	Dauerbetrieb
	◀ besser	◀ besser
2	12/8 €	17/33 €
5	4/21 €	17/83 €
10	8/42 €	33/166 €
15	13/64 €	50/250 €
20	17/85 €	67/333 €
40	34/169 €	133/666 €
100	85/424 €	333/1664 €

223 Werktag mit je 10 Stunden: 2230 Stunden pro Jahr, Dauerbetrieb: 8760 Stunden pro Jahr

## Vergleich: Hardware für kleine Server

Vergleich: Hardware für kleine Server		
Gerätetyp	Vorteile	Nachteile
ARM-Einplatinencomputer (Raspberry Pi)	winzig, sparsam, inklusive Netzteil, Gehäuse und microSD-Karte ab 60 €	wenig RAM, kaum erweiterbar (kein SATA), keine x86-Software
ARM-NAS	ab 190 €, sparsam, als Fileserver sehr gutes Preis-Leistungs-Verhältnis, leichte Konfiguration, Plug-ins, Schnellwechselrahmen, geregelter Lüfter für Platten, Serienfertigung, Support, Kompatibilitätslisten	geringe Rechenleistung, wenig RAM (und nicht erweiterbar), keine x86-Software, kein freies Betriebssystem, Support-Zeitraum begrenzt
Mini-PC mit x86-CPU	ab 150 €, freie Software-Auswahl, sparsam, kompakt, bis zu 8 P-Kerne und 96 GByte RAM, manche lüfterlos	kein Platz für Magnetfestplatten und PCIe-Karten, beschränkte Rechenleistung
x86-NAS mit erweiterbarem RAM	ab 400 €, leichte Konfiguration, Plug-ins, Schnellwechselrahmen, geregelter Lüfter für Platten, manche per PCIe erweiterbar, Serienfertigung, Support, Kompatibilitätslisten	kein freies Betriebssystem, Support-Zeitraum begrenzt
Desktop-PC	freie Software-Auswahl, bis zu 16 Kerne und 192 GByte RAM, flexibel erweiterbar	individuelle Konfiguration weniger zuverlässig als Serienprodukte, Schnellwechselrahmen teuer, leiser Betrieb von Platten schwierig, ECC-RAM vorwiegend bei teuren und stromdurstigen (Server-)Boards
Komplettserver	freie Software-Auswahl, bis zu 128 Kerne und 4 TByte ECC-RAM, flexibel erweiterbar, Serienfertigung, Zertifizierungen, Support	teuer oder mager ausgestattet, große Konfigurationen laut und stromdurstig, für vollen Support eingeschränkte Komponentenwahl, Support-Zeitraum begrenzt

Die proprietäre Firmware der NAS ist gleichzeitig ein Nachteil. Denn diese Spezialbetriebssysteme gründen zwar meistens auf Linux, lassen sich aber nicht mit einer gängigen Linux-Distribution ersetzen. Das schränkt einerseits die Software-Auswahl ein, andererseits begrenzt es die sichere Nutzungsdauer des NAS. Sobald der NAS-Hersteller keine Updates mehr liefert, bleiben neue Sicherheitslücken offen. Dann kann man Funktionen zum Fernzugriff aufs NAS nicht mehr sicher nutzen; manche Verschlüsselungstrojaner greifen sogar gezielt NAS-Sicherheitslücken an.

Doch keine Regel ohne Ausnahme: Auf vielen NAS-Boxen des chinesischen Herstellers TerraMaster lässt sich ein beliebiges Linux installieren. Ansonsten kann man bei vielen x86-NAS einen Hypervisor oder eine Containerverwaltung per Plug-in nachrüsten, um darüber dann eigene Software zu betreiben. Doch auch hier gilt: Bekommt der Firmware-Unterbau keine Updates mehr, wird es unsicher.

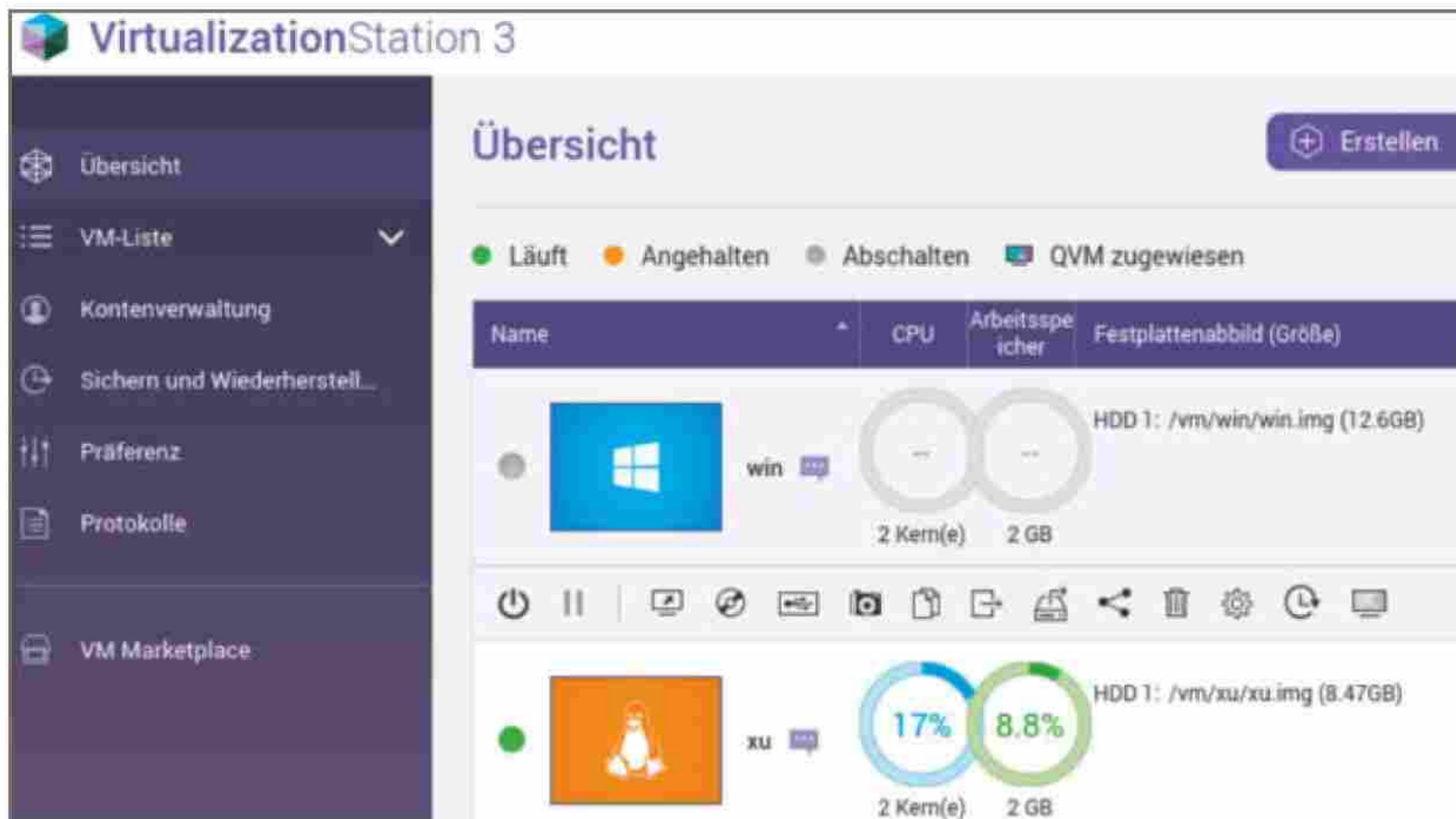
Wer nur NAS-Basisfunktionen benötigt, hat diese vielleicht schon daheim, ohne es zu wissen. Denn viele WLAN-Router wie beispielsweise Fritzboxen haben USB-Buchsen, an die man externe SSDs oder Festplatten anschließen kann. Die Router-Firmware bietet dann Funktionen, um zentralen Speicher im Netz zu verwalten. Sie genügen zum Bereitstellen von ein paar Familienfotos oder für ein gelegentliches (Zusatz-)Backup des Notebooks.

## Einplatinencomputer

Einplatinencomputer wie der Raspberry Pi 4 kosten weniger als 100 Euro und kommen mit 2,5 bis 4 Watt Leistung im Leerlauf aus, sofern man keine stromfressende USB-Platte anschließt. Ein solches Rechnerlein eignet sich gut für Serverdienste, bei denen es nicht um die NAS-Kernfunktion geht, also zentralen Massenspeicher im Netz. Denn letzteres können NAS zuverlässiger. Ein Raspi kann aber eine gute Ergänzung zu einem NAS sein, etwa als Pi-hole-Werbblocker, als Plex-Medienserver oder als Smart-Home-Zentralstelle.

Der Raspi 3 für 40 Euro genügt schon für vieles, hat allerdings nur 1 GByte RAM, USB 2.0 und einen per USB angebundenes Netzwerkchip. Der begrenzt die Ethernet-Datenrate auf höchstens etwa 320 Mbit/s. Viel mehr Performance bietet der Raspi 4, weil er bis zu 8 GByte RAM hat, Gigabit/s-Ethernet mit voller Geschwindigkeit und USB 3.0. Der neue Raspi 5 ist noch erheblich schneller, insbesondere bei AES-Verschlüsselung, und lässt sich mit einem M.2-Adapter auch mit einer schnellen SSD bestücken. Aber unter hoher Last braucht der Raspi 5 einen Lüfter. Und inklusive Netzteil, Gehäuse, M.2-Adapter und SSD landet man rasch bei 150 Euro.

Im Prinzip kann man ein Raspberry Pi Compute Module CM4 per PCIe erweitern, braucht dazu aber ein I/O-Board. Das geht ins Geld, auch die Stromver-



**Die Firmware vieler NAS kann man mittels Plug-ins erweitern. In QNAPs VirtualizationStation lassen sich leicht virtuelle Maschinen einrichten, die weitere Betriebssysteme parallel ausführen.**

sorgung ist nicht trivial. Es gibt auch NAS-Boards für ein CM4, die allerdings dann ähnlich viel kosten wie ein billiges NAS. Derlei Raspi-Basteleien sind daher nur für ganz spezielle Projekte attraktiv.

Auf einem Raspi kann man außer dem optimal angepassten Raspberry Pi OS auch andere Linux-Distributionen installieren, etwa die Raspi-Version von Ubuntu. Doch Raspis haben eben ARM- statt x86-Rechenkerne, was die Software-Auswahl einschränkt.

Manch anderer ARM-Einplatinencomputer lockt mit Vorteilen gegenüber dem Raspi: billiger oder mehr Rechenleistung oder schnellere PCIe-Anschlüsse. Doch nach unseren Erfahrungen sticht der Raspi durch die besonders gute Pflege der Software aus der Masse heraus. Daher sollte man nur dann eine Raspi-Alternative kaufen, wenn man reichlich (Linux-)Vorwissen hat.

## x86-Serverlein

Die billigsten x86-Minicomputer kosten als Barebone ab 100 Euro; inklusive SSD und 8-GB-Byte-Speicherriegel für je 20 Euro zahlt man folglich mindestens rund 150 Euro. Wenn man direkt bei chinesischen Onlinehändlern kauft, kommt man billiger weg, geht aber Risiken bei der Gewährleistung und der Firmware-Sicherheit ein. Teurer wird es, wenn man lüfterlose Kühlung wünscht: Solche Barebones kosten ab etwa 140 Euro.

In derartigen Rechnerlein stecken oft Intel-Prozessoren der 10-Watt-Klasse für billige Notebooks, von denen die aktuelle Baureihe Alder Lake-N (N97,

N100, N200, Core i3-N305) die stärksten sind. Schon länger im Rennen sind die schwächeren Celeron N, Celeron J und Pentium Silver mit zwei oder vier Kernen. Intel beschneidet die Rechenleistung und Erweiterungsmöglichkeiten dieser hoch integrierten System-on-Chip-(SoC)-Prozessoren ganz bewusst, teils um Strom zu sparen, teils um Abstand zu teureren Chips zu halten. Die CPU-Kerne dieser SoCs sind pro Taktzyklus deutlich schwächer als die aktueller Core-i-Typen. Der RAM-Ausbau ist auf höchstens zwei Speicherriegel und je nach Generation 16, 32 oder 64 GByte limitiert. Die SoC-CPU haben zudem höchstens zwei SATA-6G-Ports, relativ wenige PCIe-Lanes der Generation 2 oder 3 sowie USB 3.x mit höchstens 10 Gbit/s.

Weil diese Ausstattung für einfache Serverdienste ausreicht, sind viele NAS mit Celeron N/J bestückt. Für Heimserverbasteleien eignen sich Mainboards mit Celeron N/J oder N100 aber weniger. Denn PCIe-SATA-Karten zum Nachrüsten sind vergleichsweise teuer, manche auch unzeitgemäß stromdurstig. Und wegen der geringen Anzahl an PCIe-Lanes sind M.2-Fassungen auf diesen Boards oft nur mit wenigen und langsamen Lanes angebunden.

In die meisten Mini-PCs passt mindestens eine M.2-SSD im gängigsten Format 2280; eine 4-TByte-SSD in dieser Bauform bekommt man ab 240 Euro, für 8 TByte muss man mindestens 800 Euro hinblättern. Einige Mini-PCs haben zusätzlich einen Einbauplatz für eine 2,5-Zoll-SATA-SSD, die man mit 8 TByte ab 580 Euro bekommt.

Eine stärkere Leistungsklasse bilden Mini-PCs mit Notebookprozessoren, bei denen rund zehn Jahre



**Zwischen Mini und Mini gibt es erhebliche Unterschiede in der Baugröße. Anders als der NUC (links) nimmt der DeskMini einen wechselbaren Desktop-PC-Prozessor sowie vier Datenträger auf.**

lang Intels „NUC“ mit quadratischer Grundfläche von 12 Zentimetern Kantenlänge den Stil prägte. Mittlerweile hat Intel die NUC-Sparte an Asus verkauft. NUCs und NUC-ähnliche Rechnerlein gibt es unter anderem auch von Asrock, Gigabyte, MSI, Shuttle und Zotac, teilweise auch lüfterlos. Als Barebone beginnen die Preise für ein Gerät mit Core i3 bei rund 320 Euro. Fast alle haben zwei SO-DIMM-Fassungen, bei DDR4-RAM sind damit 64 GByte RAM möglich, bei DDR5 bei manchen Geräten bis zu 96 GByte (die allerdings 350 Euro kosten). Der Platz für Massenspeicher ist begrenzt, bei vielen passt außer einer M.2-2280-SSD nur noch eine zweite hinein, bei einigen nur M.2 2242 oder eine 2,5-Zoll-SSD.

Viele Mini-PCs haben mittlerweile Netzwerkchips mit 2,5 Gbit/s, einige sogar zwei davon. Mancher baut sich damit eine Open-Source-Firewall oder trennt mehrere Netze voneinander. Einige Firmen verkaufen lüfterlose Minirechner mit sogar vier oder sechs Netzwerkbuchsen als Hardwarebasis für frei konfigurierbare Router. Solche Geräte sind allerdings relativ teuer und speziell. In kleinen Netzen kommt man möglicherweise billiger zum Ziel, wenn man einen Managed Switch einsetzt, der es mittels virtuelle LANs (VLANs) aufteilen kann. Solche Gigabit-Ethernet-Switches gibt es ab 40 Euro.

## PC-Server

In Mini-PCs passen keine 3,5-Zoll-Festplatten und selten mehr als zwei Speicherriegel. Mehr als vier CPU-Kerne bekommt man bei Desktop-Prozessoren billiger als bei Mobilprozessoren. Im Gegenzug

braucht Desktop-PC-Technik mehr Platz und mehr Strom.

Eine Sonderbauform ist der Bastelcomputer Odroid-H3: Das ist ein Einplatinencomputer mit Celeron N5105 und zwei 2,5-Gbit/s-LAN-Buchsen, für den es einfache Steckgehäuse gibt, die zwei 3,5-Zoll-Platten aufnehmen. Daraus lässt sich ein ziemlich flexibel konfigurierbarer Miniserver aufbauen [1]. Ähnlich kompakt und auch günstig sind Barebones der Baureihe Asrock DeskMini, die wir schon für einige Büro-PC-Bauvorschläge verwendet haben [2]. Man kann sie auch mit Sechskernprozessoren bestücken, im Leerlauf fällt die leise Lüfterkühlung kaum auf. In die DeskMinis passen jedoch keine 3,5-Zoll-Platten, sondern nur je zwei M.2-SSDs und zwei 2,5-Zoll-Datenträger.

Das nächstgrößere Standard-PC-Format ist Mini-ITX. Doch im Vergleich zu Micro-ATX-Bauformen sind viele Mainboards und Gehäuse deutlich teurer. Die meisten Mini-ITX-Boards haben nur zwei DIMM-Slots und einen einzigen PCIe-Steckplatz. Der Zusammenbau ist wegen der Enge schwieriger, oft passen keine größeren und tendenziell leiseren CPU-Kühler hinein. Kurzum: Mit Micro-ATX-Technik kommt man billiger weg und gewinnt Flexibilität. Das beweist auch der Heimserver-Bauvorschlag aus c't 3/2024 [3].

Bei diesem Bauvorschlag verzichten wir auf Hauptspeicher, der per Error Correction Code (ECC) vor den häufigsten Bitfehlern geschützt ist. Dazu braucht man einerseits spezielle Speichermodule – eben ECC-RAM – und andererseits einen Prozessor und ein Mainboard, die sich für ECC eignen. Und dabei wird es kompliziert. Denn Intel schaltet die ECC-Funktion nur bei Xeons frei sowie bei aktuellen Core-i-12000/13000/14000 in Verbindung mit den seltenen Mainboards mit den Chipsätzen R680E und W680. Letztere kosten wie die wenigen Xeon-E-2300-Boards über 300, meistens sogar mehr als 400 Euro. Das ist für Heimserver unattraktiv.

Auf der AMD-Seite ist es ebenfalls vertrackt. Zwar gibt es eine Reihe von AM4- und AM5-Boards, deren jeweilige Hersteller auch ECC-RAM freigeben, aber für einen günstigen und sparsamen Heimserver nimmt man am besten eine CPU mit integriertem Grafikprozessor (IGP). Den haben unter den AM4-Prozessoren nur die „G“-Typen, denen ECC jedoch fehlt. Die AM5-Prozessoren der Serie Ryzen 7000 beherrschen zwar ECC auf manchen Boards, haben jedoch im Leerlauf eine relativ hohe Leistungsaufnahme und kosten mindestens 185 Euro. Die Ryzen-8000G-Chips sind sparsamer, aber wesentlich teurer als ihre AM4-Vorgänger und nur die „Pro“-Versionen sollen

## Plattenkunde

Magnetfestplatten bieten die höchste Massenspeicherkapazität pro Euro, ein 12-Terabyte-Laufwerk bekommt man zurzeit ab 240 Euro, eines mit 22 TByte ab 400 Euro. Doch der Markt hat sich stark gewandelt. Denn Festplatten im 2,5-Zoll-Format sterben aus, hier ist bei 5 TByte Schluss – und das sind bereits dickere Laufwerke mit 15 Millimetern Bauhöhe, die nicht in alle Einbauplätze passen, auch nicht in den erwähnten DeskMini. Außerdem nutzen sie durchweg Shingled Magnetic Recording (SMR), das beim RAID-Rebuild zu Problemen führen kann. Ratsam für Heimserver und NAS sind Platten mit Conventional Magnetic Recording (CMR).

Desktop-PC-Festplatten sind nicht für Dauerbetrieb ausgelegt. Nach unseren Messungen und Erfahrungen muss es aber auch keine spezielle NAS-Festplatte mehr sein, eine für Server genügt (siehe Artikel „Festplatten für Netzwerkspeicher“) [7]. Bis vor einigen Jahren hätten wir für Heimserver und private NAS

noch die leiseren und sparsameren Plattentypen empfohlen, die langsamer rotieren. Doch sie fassen höchstens 8 TByte und sind unverhältnismäßig teuer. Jenseits von 10 TByte gibt es nur 7200-Touren-Laufwerke. Viele arbeiten immerhin im Leerlauf relativ leise, aber bei Zugriffen lärmen sie. Von der Montage in elastischen Rahmen zur Entkopplung von Vibrationen raten die Plattenhersteller mittlerweile ab.

Wer viel günstigen Massenspeicher wünscht, muss daher Festplattengeräusche hinnehmen. Um Strom zu sparen, sollte man möglichst wenige Laufwerke betreiben. Überlegen Sie, ob ein redundanter Festplattenverbund (RAID) wirklich nötig ist oder ob Sie besser fahren, wenn Sie nur eine einzelne Platte betreiben und häufig Backups anfertigen. Falls es RAID sein soll, raten wir zu RAID 1 (Mirroring/Spiegel) statt RAID 5 aus mindestens drei Platten. Letzteres ist komplizierter, lauter und schluckt mehr Strom.

ECC beherrschen – tauchen jedoch im Einzelhandel bisher nicht auf.

Es gibt auch AM4- und AM5-Serverboards mit Fernwartungschips, aber die kosten mehr als 400 Euro und die bisher getesteten schlucken ziemlich viel Strom. Wenn es unbedingt ECC-RAM sein soll, sollte man sich die oben erwähnten kleinen Server von HPE [6], Dell & Co. anschauen oder das Synology-NAS DS723+ mit Ryzen R1600 (siehe Artikel „Vier x86-NAS im Vergleich“). Was ECC-RAM im Heimserver bringt, wird jedoch möglicherweise überschätzt. Wir kennen keine Studien dazu und bezahlbare NAS laufen auch ohne ECC jahrelang problemlos.

Vom Einsatz gebrauchter Hardware als Server raten wir ab, jedenfalls für den Dauerbetrieb über Testzwecke hinaus. Die meisten Heimserver sollen nämlich mit wenig Pflege jahrelang zuverlässig laufen und wenig Strom schlucken. Einige gebrauchte Profiserver älterer Bauart sind jedoch dermaßen stromdurstig, dass sie in wenigen Jahren den Neupreis eines NAS verheizen. Mancher gebrauchte Thin

Client taugt zwar als Miniserver für geringe Ansprüche [4] – aber man muss ein gutes Gerät erst einmal erkennen und finden. Konkrete Tipps sind dabei schwierig, weil sich das Angebot nicht vorhersagen lässt. Und einen Thin Client mit RAM und SSD aufzurüsten kann so teuer werden, dass man mit einem neuen Mini-PC oder Raspi am Ende doch billiger wegkommt.

## Serverbiotop

Die Umgebung, in der ein Server läuft, trägt viel dazu bei, dass er das jahrelang störungsfrei schafft – oder nicht. Festplatten vertragen beispielsweise keine Stöße und Vibrationen, weshalb der Server möglichst abgeschirmt von Kindern, Haustieren und Handwerkern stehen sollte. Auch Hitze, Staub und Feuchtigkeit schaden. Eine unterbrechungsfreie Stromversorgung schützt vor plötzlichem Datenverlust, vor allem wenn sie dem Server oder NAS per USB mitteilen kann, dass er rasch herunterfahren

## Literatur

[1] Niklas Dierking, Flexi-NAS, Der Einplattinnencomputer Odroid H3 als NAS und Heimserver, c't 6/2023, S. 24

[2] Christian Hirsch, Mini-Sechser, Leiser, sparsamer Mini-PC-Bauvorschlag für 400 Euro, c't 6/2023, S. 150

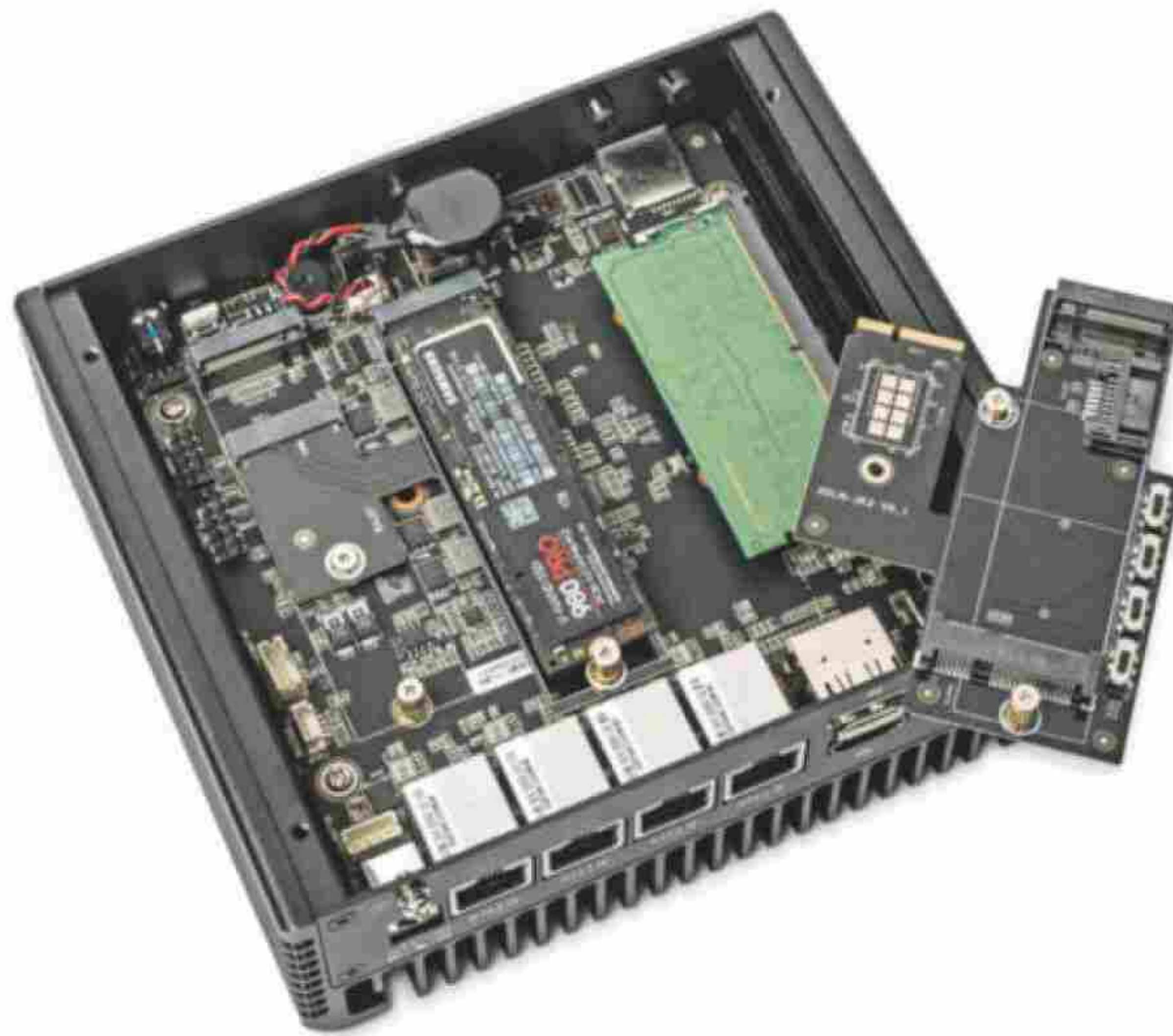
[3] Christof Windeck, AMDiener, Bauvorschlag für einen 17-Watt-Heimserver mit AMD Ryzen 4600G, c't 3/2024, S. 92

[4] Peter Siering, Christof Windeck, Nachnutzbar, Gebraucht gekaufter Thin Client Fujitsu Futro S740 für Bastelprojekte, c't 6/2023, S. 34

[5] Rudolf Opitz, Bleierne Reserve, USVs schützen PCs vor Datenverlusten durch Stromausfall, c't 6/2022, S. 108

[6] Christof Windeck, Micro-Jubilar, Kompakt-Server HPE ProLiant MicroServer Gen10 Plus, c't 11/2020, S. 76

[7] Lutz Labs, Plattenkarussell, Festplatten für NAS und Server im Vergleichstest, c't 3/2023, S. 88



**Spezielle Mini-PC mit vier oder sechs Netzwerkbuchsen eignen sich als Basis für Open-Source-Router, falls man keinen Managed Switch einrichten möchte.**

soll [5]. Viele NAS haben ihrerseits Benachrichtigungsfunktionen, die beispielsweise per Mail informieren, wenn eine Platte ausgefallen ist. So manches RAID verlor nämlich schon Daten, weil der Ausfall der Redundanz zu lange nicht bemerkt wurde. Wichtig ist auch eine ordentliche Dokumen-

tation, die bei einer Havarie rasch zur Hand ist. Und schließlich gilt: Ohne Backup geht es nicht.

Soll der kleine Server gewerbliche Dienste leisten, raten wir zum Komplettkauf. Das Gerät lässt sich dann einfacher steuerlich abschreiben und auch die Gewährleistung ist geregelt. Gegen Aufpreis bekommt man dafür auch fachmännischen Service mit kurzen Reaktionsfristen. Arbeiten mehrere Personen im Betrieb, wird der Ausfall zentraler Serverdienste rasch teuer. Das Risiko steht dann in einem schlechten Verhältnis zu den Kosten, die sich durch Eigenbau und eigene Administration sparen lassen. Jedenfalls sollte man sich die Arbeit nur aufhalsen, wenn man einschlägiges Vorwissen hat.

## Fazit

Falls Sie nicht wissen, welche Art Server Sie benötigen, dann probieren Sie es doch einfach aus. Simple NAS-Dienste leisten schon eine USB-SSD an der Fritzbox. Und mit einem Raspi 3 kann man für unter 60 Euro anfangen, die eigenen Admin-Fähigkeiten zu trainieren.

NAS sind jedoch nicht ohne Grund beliebt, denn sie können viel mehr als Daten zentral bereitstellen. Die Einrichtung gelingt vergleichsweise einfach und über Plug-ins bringt man Zusatzfunktionen ruckzuck an den Start. Ein selbst gebauter Heimserver bringt erst dann Vorteile, wenn man sehr viel RAM, viele CPU-Kerne oder spezielle Erweiterungskarten wünscht. (ciw) **ct**

Es gibt 10 Arten von Menschen. iX-Leser und die anderen.

Jetzt Mini-Abo testen: 3 Hefte + Bluetooth-Tastatur nur 19,35 €  
[www.iX.de/testen](http://www.iX.de/testen)



[www.iX.de/testen](http://www.iX.de/testen)



49 (0)541 800 09 120



[leserservice@heise.de](mailto:leserservice@heise.de)



# Heimserver

Frei nach einem geflügelten Wort sind Heimserver zwar schön, machen aber viel Arbeit. Bevor Sie ein solches Gerät kaufen, selbst einrichten und warten, sollten Sie einige Fragen klären. Denn es gibt komfortablere Alternativen, beispielsweise NAS.

Von **Peter Siering** und **Christof Windeck**



## Was ist mit „Heimserver“ gemeint?

**?** Was genau ist ein Heimserver?

**!** Heimserver sind keine scharf umrissene Gerätekategorie. Wir meinen damit einen sparsamen und typischerweise auch leisen und kompakten Server für die private Nutzung. Viele Menschen verwenden dafür ein fertig gekauftes NAS (Netzwerk-speicher) mit vorinstalliertem Betriebssystem. Andere setzen stattdessen auf einen Raspberry Pi oder einen anderen Einplatinencomputer, einen Mini-PC, einen kleinen Server als Fertiggerät oder einfach einen Desktop-PC. Typischerweise laufen auf Heimservern quelloffene Betriebssysteme.

## NAS vs. Heimserver

**?** Ist ein NAS kein Heimserver? Was kann ein Heimserver denn besser?

**!** Ein NAS ist ein prima Heimserver! Die über mehrere Generationen gereiften Geräte bekannter Marken wie Synology und Qnap lassen sich vergleichsweise leicht in Betrieb nehmen. Ihre vorinstallierte Firmware auf Linux-Basis bedienen Sie via Web-Oberfläche, Plug-ins aus einem Appstore erweitern den Funktionsumfang. Fertig-NAS erhalten automatisch Updates und auf besseren Geräten laufen Container und virtuelle Maschinen (VMs). Zu vielen NAS gibt es Kompatibilitätslisten für Festplatten, SSDs, Speicherriegel und Netzwerkkarten zum Nachrüsten. Das senkt das Risiko von Inkomp

patibilitäten. Weil die Geräte in größeren Stückzahlen mit einheitlicher Firmware produziert werden, arbeiten sie recht zuverlässig und für viele Probleme finden sich rasch Lösungen.

Viele NAS sind sparsam und leise, kühlen die Festplatten aber trotzdem gut; das bekommt man bei einem PC-Selbstbau nicht so leicht hin. Einbau und Austausch von 3,5-Zoll-Festplatten gelingen bei NAS sehr einfach, Schnellwechselrahmen für PC-Gehäuse sind hingegen teuer.

Doch NAS bekommen nach Ablauf der Supportfrist keine Sicherheitsupdates mehr und auf den



**Qual der Wahl: Ein Heimserver im klassischen ATX-PC-Format ermöglicht flexible, individuelle Ausstattung zum günstigen Preis. Mini-PCs, fertige NAS oder Einplatinencomputer sind deutlich kleiner, haben aber spezifische Einschränkungen.**





**Ein NAS ist ein prima Heimserver.**

meisten lässt sich kein anderes Betriebssystem installieren, zumindest nicht so einfach. NAS für unter 500 Euro (ohne Festplatten) haben zudem bisher höchstens vier CPU-Kerne und maximal 32 GByte RAM.

Zurzeit (Mitte 2024) verspricht ein Heimserver mit PC-Hardware Vorteile, wenn man mehr und stärkere CPU-Kerne oder mehr RAM wünscht. Doch bei einem selbst gebauten Heimserver hat man keine Gewährleistung und Garantie für das gesamte System, muss das Betriebssystem selbst installieren, sicher konfigurieren und warten.

## Ist ein Heimserver für mich sinnvoll?

**? Soll ich lieber ein NAS kaufen statt einen Heimserver? Falls Letzteres, reicht dann ein Raspi?**

**!** Solche Fragen können wir nicht beantworten, weil die individuellen Anforderungen an einen Heimserver sehr unterschiedlich sind. Vielen Menschen genügt bereits die NAS-Funktion einer Fritzbox mit angestöpselter USB-SSD. Wenn Sie noch nicht klar ist, was Sie benötigen, probieren Sie das erst einmal aus.

Falls Sie sich vor allem zuverlässigen Massenspeicher im lokalen Netz wünschen, ist ein NAS die beste Wahl. Man kann auch ein einfaches NAS mit einem Raspi kombinieren. Für den Einstieg genügt ein Raspberry Pi 4 mit 2 GByte RAM, er kostet inklusive Netzteil, einfachem Gehäuse und MicroSD-Karte unter 75 Euro und bietet ähnliche Rechenleistungen wie NAS-Geräte bis 200 Euro, die mit ARM-Chips bestückt sind.

## Heimserver-Zweck

**? Wozu braucht man überhaupt einen Heimserver?**

**!** Darauf gibt es eine Fülle von Antworten und auch Perspektiven: Wer daheim zwischen verschiedenen PCs wechselt, etwa Desktop und Notebook, schätzt den Server als zentrale Datenhalde. Werviel unterwegs ist, seine Daten aber keiner Cloud anvertrauen will, kann vergleichbare Dienste auf dem Heimserver betreiben, etwa Nextcloud. Bei manchen ersetzt der Heimserver auch die Modell-eisenbahn: Es ist spannend, lehrreich und vielleicht auch nützlich für den Job, Server-Dienste zu konfigurieren und auszuprobieren.

Wer häufig PCs von Verwandten und Bekannten repariert, profitiert vom selbst aufgesetzten Netzwerk-Boot-Server, der Rettungsmedien bereithält und die ständig verschwundenen USB-Sticks ersetzt. Natürlich gibt es auch viele Brot-und-Butter-Dienste: Backup-Ziel, Film- und Audio-Mediathek, eBook-Bibliothek, digitales Fotoalbum, Familien-Mail-Server, Smart-Home-Zentrale et cetera.

## Welches Heimserver-OS?

**? Welches Betriebssystem empfehlen Sie für Heimserver?**

**!** Grundsätzlich eignet sich dafür fast jede Linux-Distribution, möglichst mit langer Supportfrist (LTS: Long-Time Support, oft fünf Jahre). Aber es gibt auch speziell für (Heim-)Server ausgelegte (Linux-) Betriebssysteme, darunter Proxmox als Basis für Virtualisierung, Unraid und Open Media Vault (OMV) mit NAS-Funktionen.

Wenn Sie nicht selbst entscheiden können, welches Betriebssystem Ihr Heimserver haben soll, dann kaufen Sie vielleicht besser ein NAS. Denn die meisten Menschen, die sich einen Heimserver bauen, tun das gerade deshalb, weil sie ein be-

stimmtes Betriebssystem wünschen, das auf einem Fertig-NAS nicht läuft.

## Arbeitsaufwand für einen Heimserver

**? Wie viel Arbeit macht ein Heimserver?**

**!** Das erste Einrichten dauert je nach Ausgangsbasis zwischen Stunden und Wochen. Der Instant-Heimserver in Form eines NAS oder einer spezialisierten Server-Distribution mit einigen enthaltenen Diensten läuft binnen Stunden. Eine von Hand aufgepöppelte Linux-Distribution oder ein als Home-Lab aufgezogener Server mit vielen VMs braucht tendenziell Tage bis Wochen ... oder wird gar niemals komplett fertig.

Wenn ein Heimserver erst einmal läuft, genügt regelmäßig etwas Aufmerksamkeit: Updates einspielen, Log-Dateien auf ungewöhnliche Aktivitäten oder Ereignisse prüfen. Beides lässt sich in Grenzen automatisieren. Bei einem Server, der Dienste nach außen, also im Internet bereitstellt, muss das häufiger passieren und man sollte sich dann nie vollständig auf Automaten verlassen.

Am Rande bemerkt: Ein Heimserver steigt grundsätzlich immer dann aus, wenn er gerade dringend gebraucht wird, etwa beim Filmabend oder wenn die Schwiegermutter Fotoschaut. Mitnutzer sollten deshalb eingeweiht sein, was zu tun ist, um das Gerät wiederzubeleben, falls der Hauptverantwortliche gerade nicht greifbar ist.

## Heimserver-Kosten

**? Wie viel Geld muss ich für einen Heimserver ausgeben?**

**!** In c't 3/2024 haben wir einen Heimserver-Bauvorschlag aus PC-Komponenten veröffentlicht, der ohne Festplatten unter 400 Euro bleibt. Er hat Platz und Anschlüsse für vier 3,5-Zoll-SATA-Laufwerke, einen Sechskernprozessor, 16 GByte RAM (aufrüstbar bis 128 GByte), eine 256-GByte-SSD fürs Betriebssystem und zwei PCIe-Slots.

Wenn Sie mehr als 8 TByte Daten speichern wollen, sind die Festplatten die teuersten Einzelkomponenten. Eine 12-TByte-Platte kostet 200 Euro. Ist sehr leiser bzw. lautloser Betrieb erwünscht, sind SSDs besser, allerdings zahlen Sie dafür pro Terabyte deutlich mehr.



**Wer selber schraubt, wird auch sein eigener Admin. Installation, Konfiguration und Wartung eines Servers kosten Zeit.**

Ordentliche Selbstbau-Heimserver nehmen ohne Festplatten 17 Watt Leistung im Leerlauf auf. Daraus resultieren bei Dauerbetrieb mindestens 150 Kilowattstunden (kWh) Energiebedarf jährlich, die bei einem Kilowattstundenpreis von 38 Cent knapp 60 Euro kosten. Über fünf Jahre kommen also 300 Euro Betriebskosten hinzu. Daher ist sparsamer Betrieb sehr wichtig.

## Wieso nur im Leerlauf sparsam?

**? Wieso reitet die c't immer auf der Leistungsaufnahme im Leerlauf herum?**

**!** Heimserver verbringen den bei Weitem überwiegenden Teil ihrer Betriebszeit mit Nichtstun. Selbst wenn Sie täglich beispielsweise 50 Gigabyte an Daten von und zum Heimserver kopieren würden, dauert das bei 1-Gbit/s-Ethernet nur jeweils acht Minuten. Die meisten Heimserver „arbeiten“ täglich weniger als eine Stunde, die restlichen 95 Prozent

ihrer Laufzeit dämmern sie vor sich hin. Daher bestimmt die Leistungsaufnahme im Leerlauf weitgehend den durchschnittlichen Energiebedarf pro Jahr.

## Sparsame Hardware finden

**?** Wie finde ich Serverhardware, die im Leerlauf sparsam ist?

**!** Die kurze Antwort: lesen Sie c't! Die lange Antwort ist kompliziert, weil die Leistungsaufnahme eines Computers im Leerlauf von vielen Faktoren abhängt und Angaben dazu nur in wenigen Datenblättern stehen.

Es kommt vor allem auf die Kombination aus Mainboard und Netzteil an. Moderne Prozessoren können im Leerlauf in tiefe Schlafzustände umschalten, aus denen sie innerhalb von Sekundenbruchteilen aufwachen. Dieser Sparschlaf gelingt aber nur, wenn das BIOS des Mainboards alles optimal konfiguriert – und genau das vernachlässigen viele Board-Hersteller. Daher fressen viele Mainboards deutlich mehr Leistung als nötig. Außerdem sollte das Mainboard keine unnötigen Zusatzchips mitbringen, etwa PCIe-PCI-Bridges oder USB-Hubs.

Das Netzteil wiederum muss Spannung auch bei sehr schwacher Last effizient wandeln. Das steht nicht in seinem Datenblatt, weil die 80-Plus-Zertifi-

zierung oft erst oberhalb von 60 Watt greift. Im Leerlauf kommen sparsame Desktop-PC-Boards jedoch mit 10 bis 15 Watt aus. Bei dieser Schwachlast schaffen viele PC-Netzteile leider nur 60 bis 70 Prozent Wirkungsgrad und verschleudern folglich mehr als 4 Watt.

## Mini-PC als Heimserver

**?** Taugt ein Mini-PC als Heimserver?

**!** Na klar, sofern Rechenleistung und Ausstattung zu Ihren Wünschen passen. Mini-PCs mit Mobilprozessoren wie die bekannte Baureihe NUC von Asus (zuvor Intel) kommen im Leerlauf mit 4 bis 6 Watt aus, haben bis zu 14 CPU-Kerne und 20 Threads (Hybridprozessor mit sechs P- und acht E-Kernen), lassen sich mit bis zu 96 GByte DDR5-RAM bestücken (DDR4: maximal 64 GByte) und es gibt Versionen mit zwei 2,5-Gbit/s-Ethernetports. Allerdings passen in die meisten Mini-PCs höchstens zwei SSDs, also weder 3,5-Zoll-Platten noch PCIe-Karten.

## CPU-Leistung für den Heimserver

**?** Welchen Prozessor braucht ein Heimserver?

**!** Das hängt davon ab, was Sie damit machen möchten. Sehr viele Menschen sind mit NAS zufrieden und die einfachsten Geräte für zwei Platten haben Systems-on-Chips (SoCs) mit vier älteren ARM-Kernen (Cortex-A55). Diese Chips rechnen ähnlich schnell wie 15 Jahre alte PC-Prozessoren, aber das reicht bei einem Fileserver mit RAID 1 ohne Verschlüsselung für vollen Durchsatz über Gigabit Ethernet, also rund 100 MByte/s. Auf einem solchen Gerät kann man auch ein paar weniger leistungshungrige Dienste per Plug-ins laufen lassen.

In den meisten NAS mit x86-Prozessoren unter 700 Euro stecken die eigentlich für billige Notebooks entwickelten SoC-CPU's von Intel aus den Baureihen Celeron N, Celeron J, Pentium Silver und Alder Lake-N (etwa N100, N97). Einige wenige NAS setzen ähnliche Embedded-Prozessoren von AMD ein, etwa Ryzen Embedded V1000. Alle diese Chips leisten sehr viel weniger als etwa ein aktueller Core i5-14400 oder der rund vier Jahre alte Sechskerner Ryzen 5 4600G, der unter 100 Euro kostet. Trotzdem können NAS mit 10-Watt-Prozessoren mehrere Dienste, VMs und Container gleichzeitig ausführen und auch verschlüssel-



**Mini-PCs eignen sich gut für bestimmte Heimserver-Aufgaben, es passen aber keine 3,5-Zoll-Festplatten und auch keine PCIe-Erweiterungskarten hinein.**



Ein Heimserver lässt sich leichter mit zusätzlichen Komponenten aufrüsten als viele günstige NAS-Fertiggeräte.

te Daten mit voller Gigabit-Ethernet-Geschwindigkeit auf ihre Platten schreiben. Sie eignen sich auch für Fileserver mit 2,5 oder 10 Gbit/s, solange nicht viele Nutzer gleichzeitig zugreifen.

Will man mehrere VMs auf einen Server packen, wünscht man sich oft pro VM einen separaten CPU-Kern oder wenigstens einen Thread (logischen CPU-Kern). Wenn die einzelnen VMs jeweils nicht viel Arbeit verrichten, kann man auch mehr draufpacken. Die Leistung der einzelnen Kerne ist dabei nicht so wichtig, zumindest bei einigermaßen aktuellen Prozessoren sind sie schnell genug.

## RAM für den Heimserver

**?** Wie viel RAM braucht ein Heimserver und wie schnell sollte es sein?

**!** Auch hier kommt es darauf an, was der Heimserver tun soll. Für einen Fileserver genügen schon 2 GByte. Weniger als 8 GByte wird man jedoch kaum einbauen, weil ein DDR4-Speicherriegel mit dieser Kapazität bloß 25 Euro kostet. Wer hingegen ein Dutzend VMs mit je 4 GByte betreiben möchte, braucht eben mindestens 48 GByte.

Die RAM-Geschwindigkeit ist für typische Aufgaben eines Heimservers unerheblich, Hauptsache es ist genug vorhanden. Es spielt auch keine Rolle, ob man einen oder zwei RAM-Kanäle bestückt – außer in Sonderfällen, die die Rechen- oder 3D-Performance eines in der CPU integrierten Grafikpro-

zessors nutzen. Kaufen Sie bloß keinen Übertakter-Speicher, der seine beworbene Taktfrequenz nur mit XMP- oder EXPO-Profilen und erhöhter Betriebsspannung schafft – das klappt nicht immer stabil und treibt die Leistungsaufnahme hoch. Overclocker-DIMMs haben oft Zierbleche, nehmen sie also besser welche ohne. Die bekommen Sie bis zu den Standardgeschwindigkeitsklassen DDR4-3200 oder DDR5-4800 problemlos.

## ECC-RAM für den Heimserver

**?** Bringt es Vorteile, Speichermodule mit dem Fehlerschutz Error Correction Code (ECC) einzubauen?

**!** Theoretisch schon, praktisch ist es nicht klar und ziemlich aufwendig. Zur Theorie: ECC erzeugt beim Schreiben redundante Informationen, anhand derer sich beim Auslesen die bei Weitem häufigsten RAM-Fehler korrigieren lassen, nämlich sämtliche Einzelbitfehler. Zweibitfehler werden erkannt, aber nicht alle auch korrigiert.

Bei Profi-Servern ist ECC-RAM eine typische Funktion; der Fernwartungschip solcher Geräte protokolliert dabei auch RAM-Fehler, weil diese oft auf Defekte eines DIMMs hinweisen. ECC-RAM ist jedoch nur nutzbar, wenn drei Bedingungen erfüllt sind: Das System braucht nicht nur die etwas teureren ECC-Speichermodule, sondern der Prozessor muss auch einen ECC-tauglichen Speicher-Controller haben

und auf einem Mainboard sitzen, das zusätzliche Leitungen für ECC im Speicherbus hat und dessen BIOS ECC einschaltet.

Intel und AMD ermöglichen ECC-RAM nur bei ausgewählten CPU-Versionen, Intel überdies nur in Kombination mit bestimmten Chipsätzen. ECC-taugliche Hardware ist oft teurer als normale PC-Technik und viele Serverboards schlucken im Leerlauf auch mehr Strom.

Nach unserer Einschätzung ist ECC-RAM für Heimserver verzichtbar. Auch bezahlbare NAS ohne ECC-RAM laufen jahrelang fehlerfrei. Das verbreitete Missverständnis, man solle das Dateisystem ZFS möglichst nur auf Computern mit ECC-RAM nutzen, wurde schon vor Jahren widerlegt.

## Welche Platten?

**?** Kann ich gewöhnliche Desktop-PC-Festplatten in einen Heimserver stecken? Oder sollen es welche speziell für NAS sein?

**!** Weder noch: Wir raten mittlerweile dazu, für Server ausgelegte Festplatten zu kaufen, wenn diese jeweils mehr als 10 TByte speichern sollen. Denn die speziellen NAS-Platten sind oft teurer, aber mechanisch baugleich. Und die ehemals für Privatleute sinnvollen NAS-Platten mit niedrigeren Drehzahlen, die deshalb leiser und sparsamer laufen, gibt es jenseits von 12 TByte kaum noch. Die modernen, heliumgefüllten Serverplatten sind im Leerlauf recht sparsam und leise, rattern bei Zugriffen aber deutlich hörbar – das lässt sich kaum vermeiden, denn sie sollen auch fest verschraubt sein.

Für Desktop-PCs ausgelegte Platten sind nicht für Dauerbetrieb gedacht und die Hersteller nennen dafür geringe Obergrenzen für die pro Jahr übertragenen Datenmengen im Rahmen der Garantiezeit, beispielsweise nur 55 TByte. Bei Serverplatten beträgt dieses „Workload Limit“ oft das Zehnfache.

Wenn Sie ein RAID einrichten wollen, kaufen Sie besser Festplatten mit „Conventional Magnetic Recording“ (CMR), also die klassische Aufzeichnungstechnik. Manche Laufwerke nutzen Shingled Magnetic Recording (SMR) mit teilweise überlappenden Spuren. Damit drohen Probleme bei der Reparatur von RAID-Verbänden (RAID Rebuild [1]).

## USB-Platten am Server

**?** Ich möchte einen möglichst kompakten Heimserver, aber trotzdem 3,5-Zoll-Festplatten für

## viel Massenspeicher. Kann ich Platten nicht einfach per USB anschließen?

**!** Davon raten wir ab, sofern es nicht um eine einzelne sparsame USB-SSD geht. Wenn Magnetfestplatten zum Einsatz kommen sollen, empfehlen wir den Einbau von SATA-Platten in ein PC-Gehäuse oder NAS.

Der externe Anschluss via USB-Kabel birgt Risiken: Zusätzliche Störstellen, Kompatibilitätsprobleme und die Gefahr, dass jemand versehentlich das Kabel herauszieht oder hochkant stehende Platten umstößt.

USB-Festplatten mit 2,5-Zoll-Laufwerken sind zwar sparsam, viele nutzen jedoch Shingled Magnetic Recording (SMR), das für RAID nicht zu empfehlen ist [1]. Manche externen 3,5-Zoll-Festplatten mit USB-Anschluss haben ineffiziente Netzteile und schlucken bis zu 12 Watt, einige sogar schon mehrere Watt beim Nichtstun. Das macht den größten Vorteil eines sparsamen Mini-PCs oder Raspberry Pi wieder zunichte.

Externe USB-Gehäuse für mehrere 3,5-Zoll-Laufwerke können noch größere Nachteile haben: Laute Lüfter, hohe Leistungsaufnahme, proprietär umgesetzte RAID-Funktionen. Letzteres kann zu Datenverlust führen, wenn das USB-Gehäuse ausfällt und nicht mehr lieferbar ist.

## N100- oder Celeron-Board

**?** Sind PC-Mainboards mit aufgelötetem Intel Celeron J oder N100 eine sparsame und günstige Alternative zu Boards mit Wechselfassung für Core i oder AMD Ryzen?

**!** Nur in speziellen Fällen, weil viele Boards mit solchen Onboard-CPU-schludrig gemacht sind und die Prozessoren zu wenige schnelle Schnittstellen haben. Meistens fährt man deshalb mit einem sparsamen Board mit Wechselfassung besser.

Celeron N/J, Pentium Silver und N100 haben nur je zwei SATA-Ports, wenige PCIe-Lanes und USB-Ausgänge. NAS-Hersteller kompensieren das durch zusätzliche Adapterchips. Die erwähnten PC-Mainboards stellen jedoch nur wenige PCIe-Slots mit wenigen und langsamen Lanes bereit. Nachgerüstete SATA-Adapter sind vergleichsweise teuer und manche schlucken auch noch mehrere Watt Leistung. Schließlich lässt sich bei diesen Chips auch das RAM nicht so weit und flexibel aufrüsten wie bei Mainboards mit Wechselfassungen. (ciw) **ct**

### Literatur

[1] Lutz Labs, Spezifikationen? Egal ..., NAS-Probleme durch SMR-Festplatten, c't 11/2020, S. 146



# Flexibler Barebone-PC mit Ryzen-7-CPU

Fernöstliche Onlinekataloge halten viele IT-Wundertüten bereit, nicht immer mit schmackhaftem Inhalt. Wir stießen auf einen ungewöhnlich konstruierten PC-Barebone, haben ihn gründlich erprobt und stellenweise gestaunt.

Von **Ernst Ahlers**

**D**er chinesische Hersteller XCY vertreibt über Aliexpress PC-Barebones im Blumenvasenformat. Die Geräte bieten sich als Grundlage für selbst gebaute Netzwerkspeicher, Mikroserver oder VM-Hosts an. Das günstigere Modell mit Intel-N100-Prozessor ist ohne RAM und Massen-

speicher für etwas über 200 Euro zu haben, die Variante mit Ryzen-5000er-CPU kostet rund 330 Euro, beides zuzüglich Steuern und Zoll.

Im Vergleich zu ähnlich bestückten NAS sind das einerseits Schnäppchenpreise, andererseits bestehen Risiken bei Gewährleistung und Support.

Das oberflächlich nach einem AMI-BIOS AR5000-MI2 aussehende UEFI-BIOS stammt aus wenig vertrauenswürdiger Quelle und wird wahrscheinlich keine Updates bekommen; eine Supportseite dazu war beim Hersteller nicht zu finden. Außerdem muss man noch RAM dazukaufen und das Betriebssystem selbst installieren.

Wir bestellten beide Geräte. Leider blieben sie beim Zoll hängen, der sie als nicht in der EU verkehrsfähig einstufte und anbot, sie auf unsere Kosten zu vernichten oder zu retournieren. Wir optierten für Letzteres, um uns den Einkaufspreis erstatten lassen zu können.

Ein paar Tage später kam trotzdem das Ryzen-Modell in der Redaktion an. Das ist clever konstruiert: Unterm Deckel sitzen zwei 3,5-Zoll-Schächte mit Halterungen für Festplatten oder SATA-SSDs, dazwischen ist vertikal die PC-Hauptplatine montiert. Unten im Boden sitzt ein leise laufender Lüfter, der den kühlenden Kamineffekt forciert.

Auf der Platine gibt es zwei Einbauplätze für RAM (DDR4-SODIMM, maximal 32 GByte) sowie zwei M.2-2280-Slots für SSDs. Außerdem sitzt der AMD-Mobilprozessor Ryzen 7 5700U aus der 15-Watt-Klasse



**Die Halterahmen des „Ryzen NAS+Router“ sind zwar eigenartig konstruiert, sodass man Festplatten hineinquetschen muss. Doch sie dämpfen deren Betriebsgeräusch sehr gut.**

(TDP 10 bis 25 Watt) mit acht CPU-Kernen drauf. Die weiteren Schnittstellen (siehe Tabelle „x86-Barebone für Netzwerkspeicher“) machen das Gerät zum vollwertigen x86-PC; auch USB 3.2 Gen 2 mit 10 Gbit/s ist an Bord, das unter Linux immerhin mit 830 MByte/s auf eine externe SSD schrieb.

## Kompatibilität

Als x86-PC sollte der NAS-Rohling mit allen gängigen Betriebssystemen klarkommen. Wir bestückten das Gerät dafür mit 16 GByte RAM und einer M.2-SSD. Als Massenspeicher kam eine SATA-SSD dazu; beim Einsatz als NAS spendierten wir zwecks Ausfallsicherheit zwei SSDs und alternativ zwei Festplatten (Spiegelung mit RAID 1).

Dank der Peripherieschnittstellen (HDMI und DP für Bildschirme, USB 2.0 für Tastatur und Maus) klappte das Installieren des auf Debian aufbauenden NAS-Betriebssystems Openmediavault (OMV) genauso problemlos wie das von Kubuntu 23.10. Die Systeme reagierten gewohnt flink.

Unter OMV maßen wir mit dem c't-NAS-Benchmark für moderne 2-Bay-Netzwerkspeicher (siehe Artikel „Vier x86-NAS im Vergleich“) typische Dateidurchsätze (siehe Tabelle „x86-Barebone für Netzwerkspeicher“) bei niedriger Leistungsaufnahme (siehe auch Abschnitt „Geräusch und Energie“). Die bis zu 2,5 Gbit/s schnellen Ethernetports sind gut an den Betrieb mit hochkapazitiven Festplatten angepasst (bis zu 280 MByte/s Datenrate); die höhere Geschwindigkeit von SATA-SSDs (maximal 550 MByte/s) wird man nur im Team ausschöpfen können, wenn per Link Aggregation beider Ethernetports mehrere Transfers zu mehreren Clients gleichzeitig laufen.

Windows 11 lief ebenfalls einwandfrei auf dem Barebone, der damit im Leerlauf knapp 8 Watt aus der Steckdose zog. Der Cinebench 2024 warf im Singlethreading-Modus 74 Punkte aus, wobei die Leistungsaufnahme auf 23 Watt sprang; im Multithreading-Betrieb waren es 535 Punkte und 47 Watt. Unser 17-Watt-PC-Bauvorschlag mit dem aktuellen 14-Kern-Prozessor Core i5-14500 kommt auf 115 beziehungsweise 962 Cinebench-2024-Punkte (siehe Artikel „FAQ Netzwerkspeicher“).

## Virtualisiertes NAS

Mit acht Kernen und 16 Threads im Prozessor drängt sich der Einsatz als Virtualisierungshost auf. Das probierten wir mit Proxmox VE 8.1.4 aus [1]. Linux-



**Neben dem USB-C-Port sitzt ein MicroSD-Kartenslot, der Daten mit 33 MByte/s hergab und halb so schnell schrieb.**

stärker als bei Openmediavault. Über 5 Minuten maßen wir im Mittel rund 13 Watt bei SSD-Bestückung.

Die zusätzliche Betriebssystemschicht machte sich beim Dateidurchsatz eines virtualisierten OMV kaum bemerkbar: Große Dateien flossen virtualisiert fast gleich schnell (264/260 MByte/s Schreiben/Lesen statt 275/280 MByte/s). Mittlere Dateien waren beim Schreiben etwas flinker (183 zu 137 MByte/s), beim Lesen ein wenig langsamer (95 zu 112 MByte/s). Bei kleinen Dateien ging ebenfalls das Schreiben etwas flotter (59 zu 38 MByte/s), das Lesen lief gleich schnell (16 zu 18 MByte/s).

Diese Abweichungen sollte man nicht zu stark werten, denn ein Teil geht auf die verschiedene Array-Konstruktion im Test zurück: Unter Openmediavault koppelten wir mit dessen Multiple-Device-Erweiterung die SATA-SSDs zu einem RAID 1 und setzten EXT4 als Dateisystem obenauf. Bei Proxmox formatierten wir die SATA-SSDs mit Btrfs und nutzten dessen integrierte RAID-Funktion. OMV bekam dann die Hälfte der Gesamtkapazität als virtuelle Festplatte bereitgestellt.

Ein weit größerer Unterschied stellte sich bei den Input/Output Operations Per Second (IOPS) ein.

und xBSD-Betriebssysteme (Alpine, Kubuntu, OPNsense 24.1) liefen darunter ebenso wie Windows 10. Kubuntu und Windows ließen sich im Browser grafisch übers LAN fernbedienen, jedoch etwas zäher als bei nativem Betrieb.

Mit vier gleichzeitig aktiven VMs war die Leistungsaufnahme ohne Last höher und sie schwankte

## Literatur

[1] Niklas Dierking, Multitalent, Loslegen mit Proxmox Virtual Environment, c't 9/2024, S. 64

## x86-Barebone für Netzwerkspeicher

Typ	„Ryzen NAS+Router“	
Hersteller, URL	XCY, <a href="http://www.xcypc.com/industrial-pc/63348790.html">www.xcypc.com/industrial-pc/63348790.html</a>	
Bedienelemente	Ein, Statusleuchte, 2 × 2 LED an RJ45	
Prozessor	AMD Ryzen 7 5700U (8 Kerne/16 Threads, max. 4,3 GHz)	
RAM	2 × DDR4 SO-DIMM (im Test 16 GByte bestückt)	
Anschlüsse	2 × USB-A (3.2 Gen 2, 10 Gbit/s), 2 × USB-A (2.0, 480 Mbit/s), USB-C (3.2 Gen 2, 10 Gbit/s), HDMI 2.0, DP 1.4, µSD-Card, 3,5-mm-Klinkenbuchse	
Massenspeicher	2 × M.2-2280 (PCIe 3.0 x4), 2 × SATA 6G	
Netzwerk	2 × 2G5-Ethernet (Intel i226V), WLAN (Wi-Fi 6, Intel AX200)	
getestet mit	Openmediavault 7.0.5 (Kernel 6.1.0-20, Debian 6.1.0-85-1)	
SMB-Durchsatz (W / R, c't-NAS-Bench) mit	2 × HDD (ST12000VN0008, RAID 1)	2 × SATA-SSD (860 EVO, 1 TByte, RAID 1)
kleine Dateien (1000 × 256 KByte)	41 / 20 MByte/s	38 / 18 MByte/s
mittlere Dateien (100 × 2 MByte)	145 / 127 MByte/s	137 / 112 MByte/s
große Dateien (10 × 400 MByte)	224 / 280 MByte/s	275 / 280 MByte/s
IOPS (DiskSpd 2.1, 96-GByte-Datei, 4K, Rd/Wr=80/20)	140 IOPS	9960 IOPS
Geräuschentwicklung (idle)	0,3 Sone (22,0 dBA)	0,3 Sone (21,6 dBA)
Leistungsaufnahme (idle)	17,0 W (33,2 VA)	7,2 W (16,5 VA)
jährliche Stromkosten <sup>1</sup>	60 €	25 €
Leistungsaufnahme (ruhende Platten)	6,1 W (13,8 VA)	—
Straßenpreis (Barebone)	332 € (plus Einfuhrumsatzsteuer etc.)	

<sup>1</sup> idle, ein 2G5-Ethernetlink, bei Dauerbetrieb, 40 ct/kWh, gerundet



Die maßen wir mit Microsofts DiskSpd 2.1, das datenbankähnliche Zugriffsmuster simuliert: Griff das direkt auf der Hardware laufende OMV auf das SATA-SSD-Array zu, ergaben sich 9960 IOPS. Virtualisiert kamen nur 1270 heraus, was aber immer noch weit schneller war als der Zugriff über das native OMV aufs Festplatten-Array (140 IOPS).

## Geräusch und Energie

Die Halterahmen des Rohlings dämpften das Laufgeräusch der beiden NAS-Platten Seagate Ironwolf ST12000VN0008 sehr gut: In der schallarmen Kammer maßen wir ruhige 0,3 Sone, wenn keine Zugriffe stattfanden. Fielen die Festplatten in den Standby, blieb das Geräusch gleich schwach, kam also überwiegend vom Lüfter im Geräteboden. Die Schreib-Lese-Köpfe machten sich bei Zugriffen mit noch erträglichen 0,5 Sone bemerkbar.

Mit SATA-SSDs säuselt das Gerät stets auf dem niedrigen Niveau. Läuft der Barebone mit Proxmox

und mehreren virtuellen Maschinen darauf, dann dreht der Lüfter etwas hoch, wenn die VMs zu tun bekommen.

Mit rund 6 Watt bei schlafenden Festplatten oder etwas über 7 Watt bei SSD-Bestückung treibt der Barebone die Stromrechnung nur wenig hoch. 17 Watt bei zwei drehenden Platten sind für ein modernes NAS angemessen.

## Fazit

Mit dem „Ryzen NAS+Router“ alias „X67-2Port“ hat XCY ein leckeres Stück Technik für PC-, Mikroserver- und NAS-Selbstbauer im Programm, das bei niedrigem Energiebedarf reichlich Rechenleistung bereitstellt. Der Preis von rund 330 Euro zuzüglich Steuer und Zoll, also am Ende etwa 420 Euro, darf als günstig gelten. Schade nur, dass der Eigenimport so unsicher ist und man bei einem Gewährleistungsfall vor einem Problem steht. Aber vielleicht findet sich ja künftig ein hiesiger Händler. (ea) **ct**

# Für alles gerüstet! Tests, Tipps und Tools



Das Sonderheft richtet sich vor allem an Privatanutzer, Freelancer und kleinere Unternehmen und enthält Kaufberatungen, Tests und Praxisanleitungen zu typischen Büroprogrammen, auch abseits von Microsoft Office.

JETZT BESTELLEN!



Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Heft + PDF 19,90 €

 [shop.heise.de/ct-homeoffice24](https://shop.heise.de/ct-homeoffice24)



# Zwei Ugreen-Netzwerk-speicher im Test

Ugreen tritt im NAS-Markt als Neuling an. Wir haben das Einstiegsmodell DXP2800 und das günstigste Gerät mit extraschnellem 10-Gigabit-Ethernet DXP4800 Plus gründlich erprobt, auch mit selbst installiertem Linux. Dabei fanden wir viel Licht, aber auch etwas Schatten.

Von **Ernst Ahlers**

**D**ie Auswahl für aktuelle Netzwerkspeicher alias NAS (Network Attached Storage) hat sich in den letzten Jahren hierzulande auf vier Anbieter konzentriert, die alle auf Taiwan und in China beheimatet sind. Mit Ugreen wagt sich eine bisher im Zubehörsegment starke Firma auf neues Terrain und legt mit gleich sechs NAS-Modellen für kleine Netze los. Wir haben stellvertretend zwei Geräten unter die Haube und auf die Software geschaut: Das NASync DXP2800 ist ein 2-Bay-NAS für

Einsteiger, sein Geschwister DXP4800 Plus wartet mit vier Schächten und extraschnellem Ethernet auf; in beiden rechnen Intel-CPU's.

Die beiden NAS machen einen stabilen und hochwertigen Eindruck: Schon vor dem Auspacken staunten wir über das hohe Gewicht, das von der massiven Gehäusekonstruktion herrührt. Das setzt sich beim Bestücken des Massenspeichers fort. Die Festplatten-träger haben einen clever konstruierten Schiebe-mechanismus, der sich per Klinke entriegeln lässt:

Öffnen, 3,5-Zoll-Platte einlegen, zudrücken und rein in den Slot. SATA-SSDs und 2,5-Zoll-Platten muss man wie gewohnt festschrauben, wozu ein per Vierteldrehung zu lösender Haltedorn zu entfernen ist.

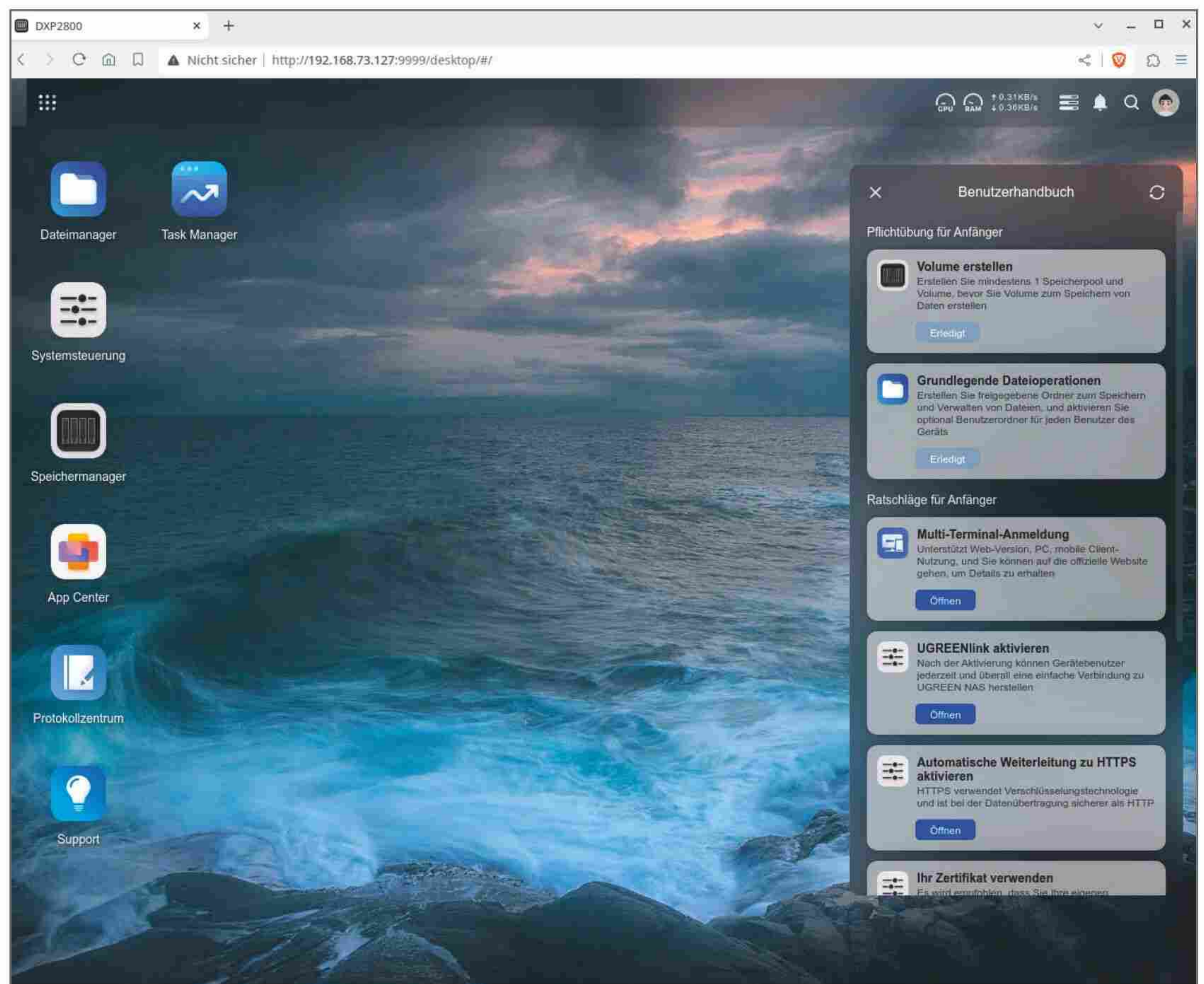
Beim DXP4800 Plus setzt man optionale M.2-Cache-SSDs unter der aufzuschraubenden Bodenklappe ein. An eine Feder, die die fast nahtlos mit dem Gehäuse abschließende Platte anhebt, hat Ugreen auch gedacht. Beim Schwestergerät braucht man die Bodenklappe nur für den RAM-Austausch zu öffnen. Bei ihm sind die M.2-Slots links von vorn leicht erreichbar, wenn man beide Festplattenträger herauszieht. Als mechanische Sicherung dienen Schnappriegel, die verlustträchtige Fummelerei mit Winzschraubchen entfällt. Externe Laufwerke schließt man vorzugsweise an die frontseitigen USB-A- und -C-Ports an, die mit 10 Gbit/s arbeiten.

## Software

Bei der Gestaltung seines NAS-Betriebssystems Ugos hat sich Ugreen an etablierten Marken wie Synology und Qnap orientiert, setzt aber auch eigene Akzente. Ein Einrichtungsassistent nimmt wie bei anderen NAS Neulinge an die Hand: Gerätename setzen und Admin-Konto anlegen, optional das Gerät registrieren und ein Cloudkonto eröffnen, die Firmware-Update-Strategie wählen, optional der Analytik zustimmen und schon landet man auf dem Desktop. Auch der lässt den Neuling nicht allein: Rechts erscheint das Benutzerhandbuch mit einer Aufgabenliste, die zum Einrichten des Massenspeichers, der Freigaben und Weiterem anleitet.

Gut: Die Sharing-Dienste sind in der Voreinstellung abgeschaltet. Was man freigeben will, muss

**Im Browser läuft die Konfiguration der Ugreen-NAS wie bei den Mitbewerbern über einen nachgebildeten Desktop. Neulinge dürften das interaktive Handbuch schätzen, das die wichtigsten zu erledigenden Punkte aufführt.**



man gezielt aktivieren. Ugreen bietet für den NAS-Zugang aus dem Internet zwar fünf DynDNS-Dienste an, aber derzeit keine Möglichkeit, beliebige Dienste per URL-Eingabe oder DynDNS2-Protokoll zu nutzen. Der mit der wählbaren „UGREENlink ID“ erzeugte geräteindividuelle Link führt über einen immerhin in Europa stehenden Amazon-Server.

Die im Login-Screen verlinkte „Nutzungsvereinbarung“ wirkt auf den ersten Blick erfreulich kurz, ist aber wenig aussagekräftig. Denn an ihrem Ende verweist ein Online-Link auf eine chinesische Seite, die sich mit einem Klick auf Deutsch umschalten lässt, aber dann mit über 50 KByte Text alles andere als übersichtlich und schnell verdaulich ist. Die Online-Datenschutzrichtlinie toppt das mit rund 70 KByte noch.

Ab Werk stehen die wichtigsten Sharing-Protokolle zur Verfügung (SMB, FTP(S), NFS, Rsync, Webdav(s)). Das unsichere SMB1 muss man bei Bedarf gezielt erlauben. Dienste annoncieren die NAS im LAN per wssd2 und mDNS (auch Bonjour und Avahi genannt), UPnP lässt sich zuschalten, ein Ordner für TimeMachine-Sicherungen freigeben.

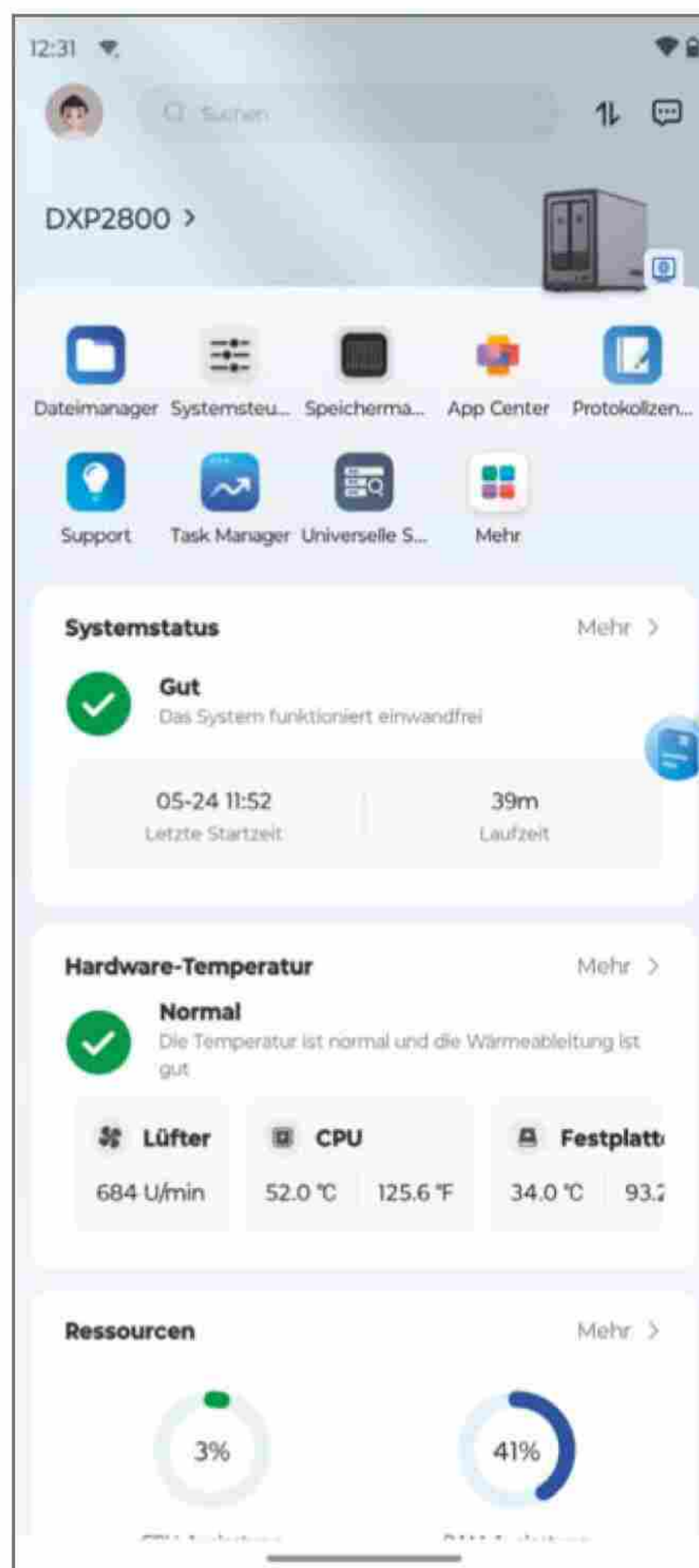
Was man sonst bei anderen NAS-Marken findet, gibts auch hier: Energiesparen (Festplattenschlaf), Wake-on-LAN, zeitgesteuertes Aus- und Einschalten, USV-Anbindung, Terminalzugang (Telnet und SSH), Nutzerauthentifizierung per Active Directory oder LDAP. Ein paar Kleinigkeiten vermissten wir, beispielsweise eine Anbindung an Let's Encrypt für Zertifikate auf eine eigene Domain oder einen konfigurierbaren Reverse-Proxy für Docker-Container.

## Erweiterungen

Industrieüblich lassen sich auch bei Ugreen die Funktionen per nachinstallierbaren „Apps“ erweitern. Die Auswahl ist noch nicht so groß wie bei etablierten Marken, aber ein paar nützliche Dinge gibt es, etwa eine DLNA-App als Medienserver, einen im Browser laufenden Texteditor oder Docker (zum Testzeitpunkt Version 24.0.5), um Erweiterungen als Container zu betreiben.

Die Erweiterung „Universelle Suche“ legt einen Index aller auf dem NAS gespeicherten Dateien und auf Wunsch auch von Inhalten bestimmter Dateitypen an (Text, PDF, MS-Office-Dokumente). Das hilft, Dateien anhand darin enthaltener Stichworte wiederzufinden.

Aber nur wer die „Universelle Suche“ dauerhaft nutzen will, sollte sie installieren: Bei uns belegte die dahinter steckende Java-App Elasticsearch fast



**Die per Sideload vom Ugreen-Server zu installierende Android-App bildet den Browser-Desktop gut nach.**

20 Prozent des RAM und in ihrem App-Center-Eintrag fehlten die Menüpunkte zum Deaktivieren und Deinstallieren. „Mal eben ausprobieren“ geht so nach hinten los. Ugreen will das nach eigenen Angaben per Firmware-Update verbessern.

Für die wichtigen PC- und Smartphone-Betriebssysteme bietet Ugreen Apps an. Die probelhalber installierte Android-App bildet die NAS-Browserseite geschickt nach und bietet alle dort gebotenen Funktionen sowie einen Überblick zum Systemstatus und der Hardwaregesundheit. Videos lassen sich bequem auf den HDMI-Port streamen und steuern,

doch mit Audiodateien klappt das nicht. Die stellt das NAS aber auf Wunsch auch per DLNA bereit.

Die Windows-App zeigt nach dem Login einen NAS-Desktop, den man genauso gut per Browser-Lesezeichen erreicht. Der Kniff folgt beim Klick auf die „Synchronisieren & Sichern“-Erweiterung: Die App installiert unter der Haube einen Syncthing-Client und richtet damit eine Echtzeit-Synchronisierung von Pfaden zwischen PC und NAS ein. Dabei lassen sich die Transferrichtung (uni- oder bidirektional) vorgeben, die Synchronisation auf bestimmte Dateitypen beschränken, Ausnahmen definieren und so weiter.

## Ausgemessen

Wir haben die beiden NAS zunächst mit Festplatten und dann mit SATA-SSDs und nach Vorschlägen des Setup-Assistenten eingerichtet. Beim 2-Bay-Modell setzten wir zwei Massenspeicher für Ausfallsicherheit ein (RAID1), beim anderen drei, die Minimalzahl für eine RAID5-Konstellation, die Ausfallsicherheit mit Kapazitätssteigerung verbindet. Dann maßen wir mit dem c't-NAS-Benchmark den Dateidurchsatz und mit Microsofts DiskSpd 2.1 die I/O-Leistung (Input/Output Operations per Second, IOPS).

Der Dateidurchsatz lag bei beiden Geräten auf dem jeweils klassenüblichen Niveau (siehe Tabelle, vgl. [1] und [2]). Beim DXP4800 Plus sind die Transfergeschwindigkeiten bei mittleren und kleineren Dateien im Vergleich zu [2] ein gutes Stück geklettert, weil wir inzwischen andere NAS-Festplatten und einen modernisierten Testrechner verwenden.

Auch die IOPS der Neulinge liegen auf dem typischen Niveau solcher Netzwerkspeicher. Wie üblich profitiert die I/O-Leistung stark vom Einsatz von Cache-SSDs: Beim RAID1-Festplatten-Array des DXP2800 sprangen die IOPS aufs 7,7-Fache (11.320 statt 1470),

beim RAID5-Array des DXP4800 Plus war der Gewinn mit Faktor 19 noch größer (13.060 statt 690).

Mit SATA-SSDs als Massenspeicher maßen wir beim DXP2800 nur bei den IOPS einen nennenswerten Gewinn gegenüber Festplattenbestückung. Die Datenrate beim Dateikopieren blieb nahezu gleich. Beim DXP4800 Plus sprangen mit SATA-SSDs die IOPS ebenfalls hoch, aber auch die Schreibleistung großer Dateien verdoppelte sich fast (595 statt 311 MByte/s).

Diese Schreibbeschleunigung bei großen Dateien bekommt man beim DXP4800 Plus auch, wenn man hochkapazitive Festplatten mit einem M.2-SSD-Cache kombiniert. Das zahlt sich aus, wenn man häufig Raw-Videos, Backup- oder VM-Images aufs NAS schieben muss und sehr viel Speicherplatz braucht. Anscheinend hat Ugreen als Cache-Strategie „alle Zugriffe“ voreingestellt, eine Auswahl dafür gibt es in der Ugos-Konfiguration nicht.

Der SD-Card-Slot des DXP4800 Plus zeigte sich einigermaßen flink, wenn auch nicht rasant: Wir maßen beim Transfer einer großen Datei 90 MByte/s lesend und 83 MByte/s schreibend (Karte: Lexar 64 GByte mit exFAT-Dateisystem).

## Geräusch und Strom

Mit 0,2 Sone bei drehenden Festplatten waren beide NAS sehr leise. Dazu kommt das unvermeidliche Klackern der Schreib/Leseköpfe bei Zugriffen. Gingen die Festplatten nach der eingestellten Frist in den Standby oder steckten SATA-SSDs in den Geräten, dann waren sie fast unhörbar.

Bekommen die NAS-Prozessoren über längere Zeit zu tun, etwa beim Neuerstellen des Dateindex oder beim nächtlichen Virenscan der optionalen Erweiterung „Sicherheitsmanager“, dreht der Lüfter unweigerlich hoch: Je nach Modell und Einstellung

**Beim DXP2800 (links) läuft der einzelne LAN-Port mit maximal 2,5 Gbit/s, das DXP4800 Plus hat einen zweiten, der bis 10 Gbit/s schafft.**



(Standard, Leise, Volle Geschwindigkeit) faucht er dann mit bis zu 4 Sone.

Die die Stromrechnung bestimmende Idle-Leistung des DXP2800 lag mit zwei drehenden Festplatten bei rund 17 Watt und damit auf einem erfreulich niedrigen Niveau. Mit schlafenden Platten waren es nur 10 Watt. Noch etwas weniger wurde es mit SATA-SSD-Bestückung (6,8 Watt).

Das potentere DXP4800 Plus gönnte sich mit drei drehenden Festplatten und 10- statt 2,5-Gigabit/s-Ethernet einen kräftigen Schluck aus der Steckdose: 37 Watt. Mit ruhenden Platten waren es immer noch 25 Watt, und 22 mit drei SATA-SSDs.

Wir hätten weniger erwartet, denn ein aktiver 10GE-Link braucht nach unserer Erfahrung maximal 3 Watt, also höchstens 2,5 mehr als 2G5-Ethernet. Möglicherweise ist das DXP4800 Plus noch nicht aufs Energiesparen optimiert.

## NAS-Grundlage

Wie die anderen NAS-Hersteller setzt Ugreen auf einen Linux-Unterbau für sein NAS-Betriebssystem Ugos. Zum Testzeitpunkt war es Debian 12 alias Bookworm mit dem Kernel 6.1.27. Ist der Zugang in der Konfiguration eingeschaltet, landet man per SSH in einer Bash-Shell. Ein `sudo apt update` gefolgt von `sudo apt install xyz` holt vermisste Softwarepakete aus den Debian-Repositories ins System, falls man Problemen auf Betriebssystemebene nachspüren will.

Als Root sind tiefgehende Eingriffe möglich, Unachtsame können sich damit aber auch leicht das System zerschießen. Unser Versuch, die Idle-Leistungsaufnahme des DXP4800 Plus mit einem wage mutigen `sudo powertop --auto-tune` zu drosseln, mündete in einem nicht mehr reagierenden NAS. Selektives Aktivieren des SATA-Link-Powermanagements brachte leider keine erkennbare Verbesserung.

Vom Systemspeicher (29 GByte eMMC beim DXP2800, 119 GByte NVMe-SSD beim DXP4800 Plus) bleibt ein großer Teil frei (DXP2800: 18 GByte, DXP4800 Plus: 106 GByte). Er wird als Overlay über das Wurzelverzeichnis gelegt. Für Ugos-Apps und Erweiterungen auf Systemebene ist also reichlich Platz.

## Fremdware installieren

Dank der gängigen x86-Basis kann man ein eigenes Betriebssystem installieren, wenn einem die Ugos-Funktionen nicht genügen. Mit einem Monitor am HDMI-Anschluss sowie Tastatur und Maus an den rückseitigen USB-2.0-Ports kamen wir beim DXP4800 Plus über die Grub-Bootloader-Kommandozeile mit dem Befehl `fwsetup` in die UEFI-BIOS-Einstellungen. Dort konnten wir den Watchdog ab- und die Bootreihenfolge umstellen. Doch beim DXP2800 führte der `fwsetup`-Befehl stets zu einem Neustart.

Auf unsere Anfrage, ob man so fremde Software blockieren wolle, antwortete der Hersteller: „Ugreen versucht nicht aktiv zu verhindern, dass Benutzer andere Systemsoftware installieren. Für die Installation müssen Benutzer im BIOS den Watchdog deaktivieren. Die Hardware-Garantie erlischt hierdurch nicht.“ Ugreen ist offensichtlich von seiner Hardware überzeugt.

## UEFI-Setup

Erst auf erneute Nachfrage hieß es, dass ein Strg+F12-Tastendruck beim Systemstart zur Bootauswahl und ins Setup führt. Damit ließ sich Xubuntu 22.04 auch beim DXP2800 von einer USB-SSD am Front-Port starten und nutzen.

Mit `sgdisk` sicherten wir beim DXP4800 Plus die GPT-Partitionierung und zogen mit `dd` Images der



**Hinter der Bodenklappe sitzt beim DXP2800 (links) sein einziges RAM-Modul. Beim DXP4800 Plus kann man ein zweites dazustecken sowie zwei M.2-SSDs als Cache bestücken. Am dreipoligen Pfostenstecker bietet bei beiden Geräten eine serielle Schnittstelle einen Servicezugang an (RS-232, 3,3 Volt).**



# @ heise Jobs

## IT TAG

### DIE IT-JOBMESSE

Das erwartet dich:

**Bewerbungsfotos**

**Lebenslaufcheck**

**Vorträge**

**Catering**

Die Veranstaltungen sind kostenlos.



#### TERMINE:

**Karlsruhe**  
**18.09.2024**

**Berlin**  
**09.10.2024**

**München II**  
**17.10.2024**

**Köln II**  
**12.11.2024**

powered by

@ heise Jobs

## x86-Netzwerkspeicher

Typ	NASync DXP2800		NASync DXP4800 Plus	
Hersteller, URL	Ugreen, nas.ugreen.com			
Bedienelemente	Ein, Reset, 6 Leuchten		Ein, Reset, 10 Leuchten	
Prozessor	Intel N100 (4 E-Kerne/4 Threads, max. 3,4 GHz)		Intel Pentium Gold 8505 (1 P- und 4 E-Kerne/6 Threads, max. 4,4 GHz)	
RAM	8 GByte (DDR5-4800, max. 16 GByte)		8 GByte (DDR5-4800, max. 64 GByte)	
Anschlüsse vorn	USB-A und C (3.2 Gen 2, 10 Gbit/s)		USB-A und C (3.2 Gen 2, 10 Gbit/s), SD-Card-Slot	
Anschlüsse hinten	USB-A (3.2 Gen 1, 5 Gbit/s), 2 × USB-A (2.0, 480 Mbit/s), HDMI 2.1		USB-A (3.2 Gen 1, 5 Gbit/s), 2 × USB-A (2.0, 480 Mbit/s), HDMI 2.1	
Massenspeicher	2 × SATA 6G, 2 × M.2-2280 (PCIe 3.0 x2)		4 × SATA 6G, 2 × M.2-2280 (PCIe 4.0 x4)	
Netzwerk	1 × 2G5-Ethernet (Intel i226V)		1 × 10G- und 1 × 2G5-Ethernet (Marvell AQC113, Intel i226V)	
getestete Firmware	1.0.0.0556 (eMMC, 29 GByte)		1.0.0.0556 (NVMe-SSD, 119 GByte, M.2-2280)	
<b>Messwerte</b>				
TLS-Performance AES 256 (1 Kern, ohne / mit AES-NI)	254 / 1225 MByte/s		309 / 1557 MByte/s	
Chacha20-Poly1305 (1 Kern)	990 MByte/s		2607 MByte/s	
SMB-Durchsatz (W / R, c't-NAS-Bench) mit	2 × HDD (ST12000VN0008, RAID 1)	2 × SATA-SSD (860 EVO, 1TByte, RAID1)	3 × HDD (ST12000VN0008, RAID 5)	3 × SATA-SSD (860 EVO, 1TByte, RAID5)
kleine Dateien (1000 × 256 KByte)	25 / 14 MByte/s	22 / 20 MByte/s	76 / 19 MByte/s	74 / 26 MByte/s
mittlere Dateien (100 × 2 MByte)	90 / 101 MByte/s	90 / 111 MByte/s	298 / 169 MByte/s	339 / 208 MByte/s
große Dateien (10 × 400 MByte)	255 / 274 MByte/s	244 / 277 MByte/s	311 / 1030 MByte/s	595 / 1099 MByte/s
I/O-Leistung <sup>1</sup>	1470 IOPS	8840 IOPS	690 IOPS	9780 IOPS
Geräuschentwicklung (idle)	0,2 Sone (25,7 dBA)	<0,1 Sone (<17 dBA)	0,2 Sone (24,4 dBA)	<0,1 Sone (<17 dBA)
Leistungsaufnahme (idle)	17,3 W (32,5 VA)	6,8 Watt (16,1 VA)	37,0 W (47,6 VA)	22,3 W (35,6 VA)
jährliche Stromkosten <sup>2</sup>	61 €	24 €	130 €	78 €
Leistungsaufnahme (ruhende Platten)	9,9 W (21,4 VA)	– <sup>3</sup>	25,1 W (37,6 VA)	– <sup>3</sup>
Leistungsaufnahme Soft off	0,8 W (7,8 VA)		2,5 W (23,8 VA)	
Preis (UVP)	400 US-\$		700 US-\$	
<sup>1</sup> DiskSpd 2.1, 48-GByte-Datei, 4K, Rd/Wr=80/20 <sup>2</sup> idle, ein Ethernetlink (2G5/10G), bei Dauerbetrieb, 40 Cent/kWh, gerundet <sup>3</sup> bei SATA-SSD-Bestückung nicht gemessen				

sechs kleinen Partitionen. Anschließend installierten wir Openmediavault 7 (OMV) von einem USB-Stick auf die System-SSD. OMV erkannte die 10G-Ethernetschnittstelle von sich aus und lief stabil. Dann richteten wir wie unter Ugos mit drei Massenspeichern eine RAID5-Konstellation und darauf ein Volume mit Btrfs-Dateisystem ein.

Der Dateidurchsatz lag weitgehend auf demselben Niveau wie mit Ugos. Beim Schreiben mittelgroßer Dateien aufs Festplattenarray beispielsweise war OMV etwas flinker (412 statt 298 MByte/s), beim Lesen etwas langsamer (119 statt 169 MByte/s). Ähnliche Unterschiede gab es auch mit der SATA-SSD-Bestückung. Bei den IOPS blieb OMV hingegen je nach Massenspeichertyp ein Stück bis deutlich hinter Ugos zurück (440 statt 690 mit HDDs, 2680 statt 9780 mit SSDs).

Das anschließende Wiederherstellen der Originalkonfiguration von der USB-SSD nebst manuellem Anlegen der großen Overlay-Partition gelang problemlos; Ugos lief wie vor dem Wechsel. Ein Tausch

der SSD kann beim DXP4800 Plus das Erstellen der Images überflüssig machen. Aber um an die M.2-Fassung der System-SSD zu gelangen, muss man das Gerät zerlegen.

## Fazit

Mit seinen NAS und dem zugehörigen Ugos-Betriebssystem macht Ugreen einen kräftigen ersten Aufschlag. Die Geräte liefen bei uns performant, meist leise und besonders das DXP2800 auch energiesparsam. Der Funktionsumfang ist noch nicht so groß wie bei den Schwergewichten QNAP und Synology, aber abgesehen von Spezialitäten vermissen wir softwareseitig nichts.

Mit der Docker-Option stehen einem viele Erweiterungen frei, die Ugreens „App-Store“ noch nicht bietet. Wer mehr möchte oder Ugos nicht vertrauen mag, kann problemlos ein anderes NAS- oder Serverbetriebssystem installieren und hat dann freie Hand, alles nachzurüsten, was dem Original fehlt. (ea) **ct**

## Literatur

[1] Ernst Ahlers, Datenheime, Vier x86-NAS als Netzwerkdatenpeicher im Vergleich, c't 2/2024, S. 92

[2] Ernst Ahlers, Presto-NAS, Schnelle Netzwerkspeicher: Vier NAS für 10-Gigabit-Ethernet, c't 25/2020, S. 124



# IMPRESSUM

## Redaktion

Postfach 61 04 07, 30604 Hannover  
Karl-Wiechert-Allee 10, 30625 Hannover  
Telefon: 05 11/53 52-300  
Telefax: 05 11/53 52-417  
Internet: [www.heise.de](http://www.heise.de)

**Leserbriefe und Fragen zum Heft:**  
[sonderhefte@ct.de](mailto:sonderhefte@ct.de)

Die E-Mail-Adressen der Redakteure haben die Form xx@heise.de oder xxx@heise.de. Setzen Sie statt „xx“ oder „xxx“ bitte das Redakteurs-Kürzel ein. Die Kürzel finden Sie am Ende der Artikel und hier im Impressum.

**Chefredakteur:** Torsten Beeck (tbe, verantwortlich für den Textteil), Dr. Volker Zota (vza)

**Konzeption:** Dušan Živadinović (dz)

**Koordination:** Jobst Kehrhahn (keh, Leitung), Pia Groß (pia), Tom Leon Zacharek (tlz)

**Redaktion:** Ernst Ahlers (ea), Lutz Labs (ll), Andrijan Möcker (amo), Peter Siering (ps), Christof Windeck (ciw), Dušan Živadinović (dz)

**Mitarbeiter dieser Ausgabe:** Guido R. Hiertz, Sebastian Max, Benjamin Pfister

**Assistenz:** Susanne Cölle (suc), Tim Rittmeier (tir), Martin Triadan (mat)

**DTP-Produktion:** Vanessa Bahr, Dörte Bluhm, Lara Bögner, Beatrix Dedek, Madlen Grunert, Steffi Martens, Leonie Preuß, Lisa Reich, Marei Stade, Matthias Timm, Christiane Tümmeler, Ninett Wagner, Nicole Wesche

**Digitale Produktion:** Christine Kreye (Leitung), Thomas Kaltschmidt, Martin Kreft, Pascal Wissner

**Fotografie:** Andreas Wodrich, Melissa Ramson

**Illustration:** Albert Hulm, Berlin; Andreas Martini, Wettin

**Titel:** Steffi Martens, [www.freepik.com](http://www.freepik.com)

## Verlag

Heise Medien GmbH & Co. KG  
Postfach 61 04 07, 30604 Hannover  
Karl-Wiechert-Allee 10, 30625 Hannover  
Telefon: 05 11/53 52-0  
Telefax: 05 11/53 52-129  
Internet: [www.heise.de](http://www.heise.de)

**Herausgeber:** Christian Heise, Ansgar Heise, Christian Persson

**Geschäftsführer:** Ansgar Heise, Beate Gerold

**Mitglieder der Geschäftsleitung:** Jörg Mühle, Falko Ossmann

**Anzeigenleitung:** Michael Hanke (-167)  
(verantwortlich für den Anzeigenteil),  
[www.heise.de/mediadaten/ct](http://www.heise.de/mediadaten/ct)

**Anzeigenverkauf:** Verlagsbüro ID GmbH & Co. KG,  
Tel.: 05 11/61 65 95-0, [www.verlagsbuero-id.de](http://www.verlagsbuero-id.de)

**Leiter Vertrieb und Marketing:** André Lux (-299)

**Service Sonderdrucke:** Julia Conrades (-156)

**Druck:** Firmengruppe APPL Druck GmbH & Co. KG,  
Senefelder Str. 3-11, 86650 Wemding

**Vertrieb Einzelverkauf:**  
DMV DER MEDIENVERTRIEB GmbH & Co. KG  
Meißberg 1  
20086 Hamburg  
Tel.: 040/3019 1800, Fax: 040/3019 145 1815  
E-Mail: [info@dermedienvertrieb.de](mailto:info@dermedienvertrieb.de)  
Internet: [dermedienvertrieb.de](http://dermedienvertrieb.de)

**Einzelpreis:** € 14,90; Schweiz CHF 27,90;  
Österreich € 16,40; Luxemburg € 17,10

**Erstverkaufstag: 02.08.2024**

Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichungen kann trotz sorgfältiger Prüfung durch die Redaktion vom Herausgeber nicht übernommen werden. Kein Teil dieser Publikation darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Die Nutzung der Programme, Schaltpläne und gedruckten Schaltungen ist nur zum Zweck der Fortbildung und zum persönlichen Gebrauch des Lesers gestattet.

Für unverlangt eingesandte Manuskripte kann keine Haftung übernommen werden. Mit Übergabe der Manuskripte und Bilder an die Redaktion erteilt der Verfasser dem Verlag das Exklusivrecht zur Veröffentlichung. Honorierte Arbeiten gehen in das Verfügungsrecht des Verlages über. Sämtliche Veröffentlichungen erfolgen ohne Berücksichtigung eines eventuellen Patentschutzes.

Warennamen werden ohne Gewährleistung einer freien Verwendung benutzt.

Hergestellt und produziert mit Xpublisher:  
[www.xpublisher.com](http://www.xpublisher.com)

Printed in Germany.

Alle Rechte vorbehalten.

© Copyright 2024 by  
Heise Medien GmbH & Co. KG



# Vier x86-NAS im Vergleich

Das eigene Datenlager macht unabhängig von Providerwillkür und Internetstau. Wir haben vier aktuelle NAS-Leergehäuse auf Leistung und Serverpotenzial getestet. Manche strotzen vor Funktionen, andere lassen sich flexibel umbauen.

Von **Ernst Ahlers**

**C**loud ist bequem, aber Cloud ist auch unsicher: Mit dem Upload gibt man die Herrschaft über die eigenen Daten auf, so sie nicht verschlüsselt sind. Wenn es der Regierung des Landes gefällt, in dem Ihre Daten gerade lagern, dann gibt es von heute auf morgen keinen Zugriff mehr darauf oder der Provider schnüffelt selbst darin herum. Und der Cloudanbieter kann sich jederzeit überlegen, seine Preise drastisch anzuheben.

Wer sich vor solchen Überraschungen schützen möchte, lagert wichtige Daten lieber in den eigenen vier Wänden auf einem Netzwerkspeicher alias NAS (Network Attached Storage). Schneller als der Upload über die langsame Internetleitung ist es im Heimnetz auch. Wir haben vier aktuelle NAS zum Selbstbestücken mit Massenspeicher intensiv Probe gefahren, unter anderem untersucht, was ein SSD-Cache bringt und geben Tipps für den Alltagsbetrieb.

Der hiesige NAS-Markt konzentriert sich auf immer weniger Marken. Neben den Urgesteinen QNAP und Synology findet man nur noch zwei Anbieter, die regelmäßig neue Modelle einführen: Asustor als eigenständiger Ableger des Mainboard- und Notebookherstellers Asus sowie die chinesische Firma TerraMaster.

Netgear, früher mit seiner ReadyNAS-Marke präsent, hat schon lange keine neuen Geräte mehr angekündigt. Die Netgear-Webseite zeigt keine NAS mehr und beim Aufruf von readynas.com landet man auf den Supportseiten. Nur noch drei Anfang 2016 eingeführte Modelle werden als unterstützt gelistet: RN212, 214 und 3138. Doch auch für die dürfte bald das End-of-Life-Totenglöckchen läuten.

Auch um Western Digital (WD) My Cloud sollte man künftig lieber einen Bogen machen: In den vergangenen Jahren offenbarten sich immer wieder Sicherheitslücken. Nach einem Cyber-Einbruch im Frühjahr 2023 sah sich WD sogar genötigt, alle Kunden vom Clouddienst mycloud.com auszuschließen, die die Firmware ihrer WD-NAS nicht aktualisieren (ct.de/-9192217).

Für diesen Test suchten wir aktuelle NAS, die nicht nur als Datentümpel fungieren, sondern sich mit einem x86-Prozessor und optimalerweise erweiterbarem RAM auch gut für Container und Virtualisierung eignen. So können sie zum Mikroserver werden, dessen Dienste unabhängig von der Softwarepflege des Herstellers up to date bleiben. Wenn irgendwann keine neue Firmware mehr kommt, braucht man nur den Zugriff von außen auf direkt vom NAS bereitgestellte Dienste abzuschalten, um das Gerät sicher weiter nutzen zu können.

Es fanden sich vier Modelle derselben Leistungsklasse: Asustor AS5402T, QNAP TS-264, Synology DS723+ und TerraMaster F2-423. Sie haben je zwei Plattenschächte und zwei Ethernet-Ports. Drei nutzen den Quad-Core-Prozessor Intel Celeron N5095/N5105 und unterstützen Multigigabit-Ethernet mit 2,5 Gbit/s im LAN. Das DS723+ bildet die Ausnahme mit seinem AMD-Dual-Core Ryzen R1600 - wegen Simultaneous Multi-Threading, SMT, quasi auch ein Quad-Core - und den auf 1 Gbit/s beschränkten Ethernet-Ports. Das LAN-Nadelöhr lässt sich mit einem preisgünstigen USB-Adapter für Multigigabit-Ethernet weiten (siehe Artikel „Multigigabit-Ethernet für Synology-NAS“); was das praktisch bringt, beschreiben wir weiter unten.

## Loslegen

Die Prüflinge lassen sich bequem per Browser einrichten, überall nimmt ein Einrichtungsassistent Neulinge an die Hand und führt die wichtigsten Schritte. Die vorgeschlagenen Einstellungen sind nach unserer Einschätzung sinnvoll. Wir sind aber an manchen Stellen (Dateisystem EXT4 statt BTRFS, RAID 1 statt SHR) davon abgewichen, um vergleichbare Messwerte zu erhalten.

Gelegentlich muss man dennoch Hand anlegen: Ende 2023 gab es in Deutschland laut Google [1] eine IPv6-Verfügbarkeit von 72 Prozent, auch die Verbreitung in Österreich und der Schweiz war mit 31 beziehungsweise 41 Prozent alles andere als vernachlässigbar. Doch Synology und TerraMaster sind anscheinend noch nicht in den 2020ern angekommen: Die beiden Assistenten ignorieren IPv6, sodass

## 2-Bay-x86-NAS: Performance, Geräusch und Strombedarf

	1000 × 256 KByte		100 × 2 MByte		10 × 400 MByte		IOPS ohne	mit SSD-Cache	Idle-Geräusch	Idle-Leistung
	schreiben [MByte/s]	lesen [MByte/s]	schreiben [MByte/s]	lesen [MByte/s]	schreiben [MByte/s]	lesen [MByte/s]				
	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	◀ besser	◀ besser
Asustor AS5402T	65	22	181	100	242	252	1320	9600	0,9	24,0
QNAP TS-264	62	28	173	110	229	281	2600	21600	0,7	24,7
Synology DS723+	54	19	96	62	111	113	1370	4100	0,5	21,7
Synology DS723+ <sup>1</sup>	47	22	125	80	189	259	1460	3970	0,5	22,4
TerraMaster F2-423	32	18	115	79	225	219	1440	2840	0,2	20,8

gemessen mit c't-NAS-Bench aus/auf RAM-Disk sowie Microsoft DiskSpd, Windows-10-PC mit Ryzen 5 5600G und 10GE-NIC Asus XG-C100C <sup>1</sup> zum Vergleich mit 2,5-Gbit/s-USB-Ethernet-Adapter (Delock DN-3025)

man es per Hand einschalten muss. Auch der voreingestellten Zeitzone sollte man einen Blick gönnen.

Den Browseroberflächen von QNAP und Synology merkt man die lange Erfahrung der Entwickler an. Asustor kommt nah ans Optimum heran, beim TerraMaster sind die Kanten noch etwas rauer, aber funktional. Leider drängen alle die Nutzer dazu, ihr Gerät an die Herstellercloud anzubinden. Das ist beispielsweise für die Fernwartung per App unumgänglich, aber die Geräte laufen auch ohne.

## Dienstbar

Ähnlich wie die Oberflächen unterscheiden sich auch die angebotenen Dienste (siehe Tabelle „2-Bay-NAS-Leergehäuse – technische Daten und Testergebnisse“). Als Datenspeicher taugen alle. Auch wer Funktionen wie die zentrale Nutzerauthentifizierung gegen einen Server braucht (Active Directory oder LDAP), wird fündig. Über nachrüstbare Erweiterungen aus den Herstellerlagern, mal App Center, mal Paketzentrum genannt, kann man je nach Modell mehr oder weniger viele Optionen nachrüsten. Das sind einfache wie ein DLNA-Medienserver bis komplexe wie ein Radius-Server für individuelle Authentifizierung im WLAN.

Doch dabei ist man auf langfristige Pflege der Add-ons durch die Hersteller angewiesen. Wer sich darauf nicht verlassen will, kann bei allen mithilfe einer installierbaren Docker-Erweiterung auf einen riesigen Softwarefundus zurückgreifen.

Wenn die „Virtualisierung Light“ per Container nicht genügt, kann man bei den vier NAS auch vollwertige virtuelle Maschinen starten. Das läuft über KVM (Kernel-based Virtual Machine), das in dem den NAS-Betriebssystemen zugrunde liegenden Linux steckt, und einen Aufsatz, entweder QEMU oder eine Virtualbox-Erweiterung. Die Steuerung für beides haben die Hersteller browserkompatibel verpackt. Meist lässt sich die VM nur übers LAN fernbedienen, bei Synology mangels HDMI-Port ohnehin, bei QNAP im Browser und bei TerraMaster per RDP. Den schmalbrüstigen NAS-CPU's geschuldet sollte man aber keine VM-Geschwindigkeit wie auf einem ausgewachsenen PC erwarten.

## Dateien schaufeln

Was die NAS als Netzwerkspeicher leisten, haben wir mit dem c't-NAS-Benchmark ausgemessen (ct.de/wbxy). Alle Geräte bekamen die gleiche Plattenbestückung, auf der wir eine unverschlüsselte und



**Das Asustor AS5402T (links) nimmt bis zu vier M.2-SSDs auf, muss aber aufgeschraubt werden.**

eine verschlüsselte Windows-Freigabe einrichteten. Dann testeten wir, mit welcher Geschwindigkeit die NAS unterschiedliche Dateigruppen speichern.

Die so gemessenen Durchsätze lagen alle weitgehend in derselben Region. Ein großer Haufen kleiner Dateien (1000 × 256 KByte) fließt am langsamsten, weil die häufigen Systemaufrufe im PC- und NAS-Betriebssystem viel Zeit fressen. Bei wenigen großen Dateien (10 × 400 MByte) können die NAS hingegen ihre LAN-Ports ausschöpfen und bis zu 280 MByte/s übertragen. Schaffte ein NAS bei großen Dateien beim Schreiben und Lesen summierte 40 MByte/s, gab es dafür eine gute Note. Bei 500 MByte/s und mehr resultierte ein „Sehr gut“.

## Nachbrenner

In die getesteten Netzwerkspeicher kann man je zwei M.2-SSDs als Zwischenspeicher (Cache) oder als schnellen lokalen Speicher für VMs und Container einbauen. Am einfachsten klappt das beim DS723+ dank seiner Klappen im Boden, doch ebenso leicht kann sich ein Langfinger die Speicherstreifen greifen.

Beim TS-264 erreicht man die M.2-Slots mit etwas Geschick von vorn bei herausgezogenen Festplattenhaltern. Das AS5402T ist durch Lösen von zwei Schrauben und Abziehen einer Gehäusehälfte zu zerlegen. Beim F2-423 wird noch etwas mehr Aufwand fällig, um an die Platine zu kommen (vier

Schrauben lösen, Rückwand hochkant stellen, Gehäuseprofil nach oben abziehen). Das werten wir aber nicht als Handhabungsnachteil, weil es sehr selten nötig ist.

Ein SSD-Cache beschleunigt hauptsächlich datenbankähnliche, zufällige Zugriffe auf große Dateien. Wir testeten das mit Microsofts DiskSpd-Benchmark (ct.de/wbxy), für den wir auf einer unverschlüsselten SMB-Freigabe eine Datei der sechsfachen NAS-RAM-Größe mit Zufallswerten ablegten. Dann ließen wir DiskSpd für drei Minuten mit vier Threads, 4K-Blockgröße und einem Schreib-/Leseverhältnis von 20:80 zehnmal mit einer einminütigen Pause dazwischen darauf los. Denn der SSD-Cache füllt sich bei diesem Test erst allmählich und zeigt dann Wirkung.

Der in der Tabelle angegebene IOPS-Wert (Input/Output operations Per Second) ist die Summe der gemessenen Schreib- und Lesefrequenzen des zehnten Laufs erst ohne, dann mit SSD-Cache. Wie stark der SSD-Cache solche datenbankähnlichen Zugriffe beschleunigt, verrät der dabei auftretende Faktor. Beim Asustor AS5402T maßen wir tatsächlich eine Verdreifachung, wenn auch auf niedrigerem Niveau als beim flinkeren QNAP TS-264.

Fürs Schreiben oder Lesen kompletter Dateien brachte der SSD-Cache in unseren Messungen nur bei zwei Geräten mit einer optionalen Einstellung einen Vorteil: War beim QNAP-NAS der SSD-Cache für „Alle E/A“ eingerichtet und beim TerraMaster-Gerät kein Haken bei „SSD-Cache überspringen...“ gesetzt, dann flutschten manche Dateigrößen je

nach Übertragungsrichtung etwas besser. Die von uns gemessene, aber kaum spürbare Beschleunigung um maximal 40 Prozent beim Zugriff auf mittelgroße Dateien und höchstens 30 Prozent bei großen muss man gegen den erhöhten Verschleiß der Cache-SSDs abwägen.

## Ohne Extras

Zahlen Sie beim Bestücken des Caches keinen unnötigen Aufschlag für extraschnelle M.2-NVMe-SSDs, sondern nehmen Sie preisgünstige Markenprodukte: Die vier getesteten Geräte binden M.2-SSDs mit PCI-Express 3.0 über nur je eine PCIe-Lane an. So schaffen die SSDs gerade mal circa 800 MByte/s bei linearem Zugriff statt der maximal möglichen 3500 MByte/s, doch das genügt für die NAS vollauf. Erstens können die Geräte über Ethernet ohnehin höchstens 280 MByte/s transportieren und zweitens profitieren Sie beim SSD-Cache trotz der schmalen PCIe-Anbindung von der erheblich kleineren Latenz gegenüber konventionellen Festplatten.

Setzen Sie immer zwei gleich große Cache-SSDs ein. Denn die NAS erlauben korrekterweise das Einrichten eines Schreibcaches erst auf einer RAID-1-Konfiguration. Eine Kapazität von 250 bis 500 GByte genügt vollauf. Lassen Sie das NAS nur rund 80 Prozent davon nutzen und den Rest brachliegen (Overprovisioning), damit genügend Reserveblöcke für den unweigerlichen Flash-Verschleiß bereitstehen und die SSDs lange halten. Energiemäßig

# Den Kopf in den Wolken?

## Software effizienter in der Cloud entwickeln

Jetzt  
bestellen!

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Heft + PDF 19,90 €



[shop.heise.de/ix-developer-cloudnative23](https://shop.heise.de/ix-developer-cloudnative23)



tragen Cache-SSDs unserer Erfahrung nach kaum auf: Der Idle-Mehrbedarf liegt deutlich unter einem Watt und ist damit vernachlässigbar.

Klar ist, dass sich ein SSD-Cache erst dann lohnt, wenn Sie Anwendungen mit dem oben beschriebenen datenbankähnlichen Verhalten betreiben und diese auch häufig auf Daten zugreifen. Ein klassisches Beispiel wäre eine auf dem NAS im Container laufende Nextcloud nebst SQL-Datenbank. Dient das NAS hingegen hauptsächlich als Datentümpel, sparen Sie sich das Geld für M.2-Cache-SSDs.

## Ein dringender Rat

Richten Sie nicht nur für alle bestückten Festplatten und Cache-SSDs die SMART-Überwachung der Massenspeichergesundheit ein, sondern auch die Benachrichtigung per E-Mail, App oder SMS. Nutzen Sie möglichst zwei Wege parallel, damit Sie garantiert und rechtzeitig von drohenden Ausfällen erfahren. Prüfen Sie nach der Konfiguration, ob die Benachrichtigung so funktioniert, wie sie soll.

Malade Festplatten warnen mit einer kontinuierlich steigenden Zahl neu zugeordneter Sektoren, je nach Hersteller „Reallocated Sector Count“ oder „... Event Count“. Kommt es zum Ausfall, dann schützt RAID 1 den Datenbestand, weil das NAS mit der anderen Platte nahtlos weiterläuft. Eine zweite Festplatte gleicher Kapazität ist also eine gute Investition in Sachen Datensicherheit. Aber tauschen Sie bei einem Ausfall die defekte Platte zügig aus.

Wähnen Sie sich während des dann anlaufenden, je nach Massenspeichergröße viele Stunden bis wenige Tage dauernden RAID-Rebuild nicht in falscher Sicherheit: Auch frisch gekaufte Festplatten können früh ausfallen und nach einigen Jahren Dauerbetrieb steigt die Wahrscheinlichkeit fürs Spätableben stark an. Uns haben schon Berichte erreicht, dass die verbliebene Altplatte während des Rebuilds die Grätsche gemacht hat. Nicht erst bei einem Kapazitätsupgrade, sondern schon vorher prophylaktisch zu wechseln, ist deshalb keine schlechte Idee: Die Altplatten können mit einem USB-zu-SATA-Dock noch lange als Backupziel dienen.

## Ein zweiter Rat

Zwar gibt es in NAS-Betriebssystemen inzwischen Papierkörbe wie bei Desktopbetriebssystemen. Diese fangen viele Fehler ab, aber nicht alle komplett verlustfrei: Maus verrutscht, falscher Teilbaum gelöscht, alle Kinderfotos futsch! Denn zum einen

haben die Papierkörbe typischerweise eine begrenzte Kapazität, außerdem verwerfen sie alte Daten nach einer meist einstellbaren Weile automatisch. Zum anderen gibt es in den NAS-Browserseiten auch Direkt-Löschen-Funktionen, die die Daten am Papierkorb vorbei in den Reißwolf befördern.

RAID ist genauso wenig ein Backup wie das Spiegeln des Datenbestandes auf ein zweites NAS. Beides speichert Bedienungsfehler ebenso getreulich wie alles andere. Gewöhnen Sie sich also das regelmäßige Datensichern auf externe Massenspeicher nach der 3,2,1-Regel an: Drei Backups auf zwei Medientypen, davon eines außer Haus gelagert [2].

Ob Sie die Daten mit einer ins NAS-Betriebssystem eingebauten Funktion sichern oder per Backupsoftware auf dem PC auf eine dort angeschlossene USB-Festplatte, ist einerlei. Jedes Backup ist besser als keines. Selbst wenn die NAS-Elektronik noch vor dem ersten Backup stirbt, ist nicht alles verloren: Wie Sie mit unserem Desinfec't-Linux Daten von NAS-Platten retten können, haben wir vor ein paar Jahren beschrieben [3].

## Der dritte Rat

Lassen Sie, wenn im NAS-Betriebssystem vorhanden, automatische Firmware-Updates aktiviert. Viele Hersteller stopfen erkannte Sicherheitslücken zeitnah, aber Sie bekommen das nicht immer mit. Besser, das NAS macht das sofort, als Sie verspätet. Das gilt besonders, falls Sie Funktionen des NAS-Betriebssystems ins Internet freigegeben haben, um von unterwegs auf die daheim lagernden Daten zugreifen zu können.

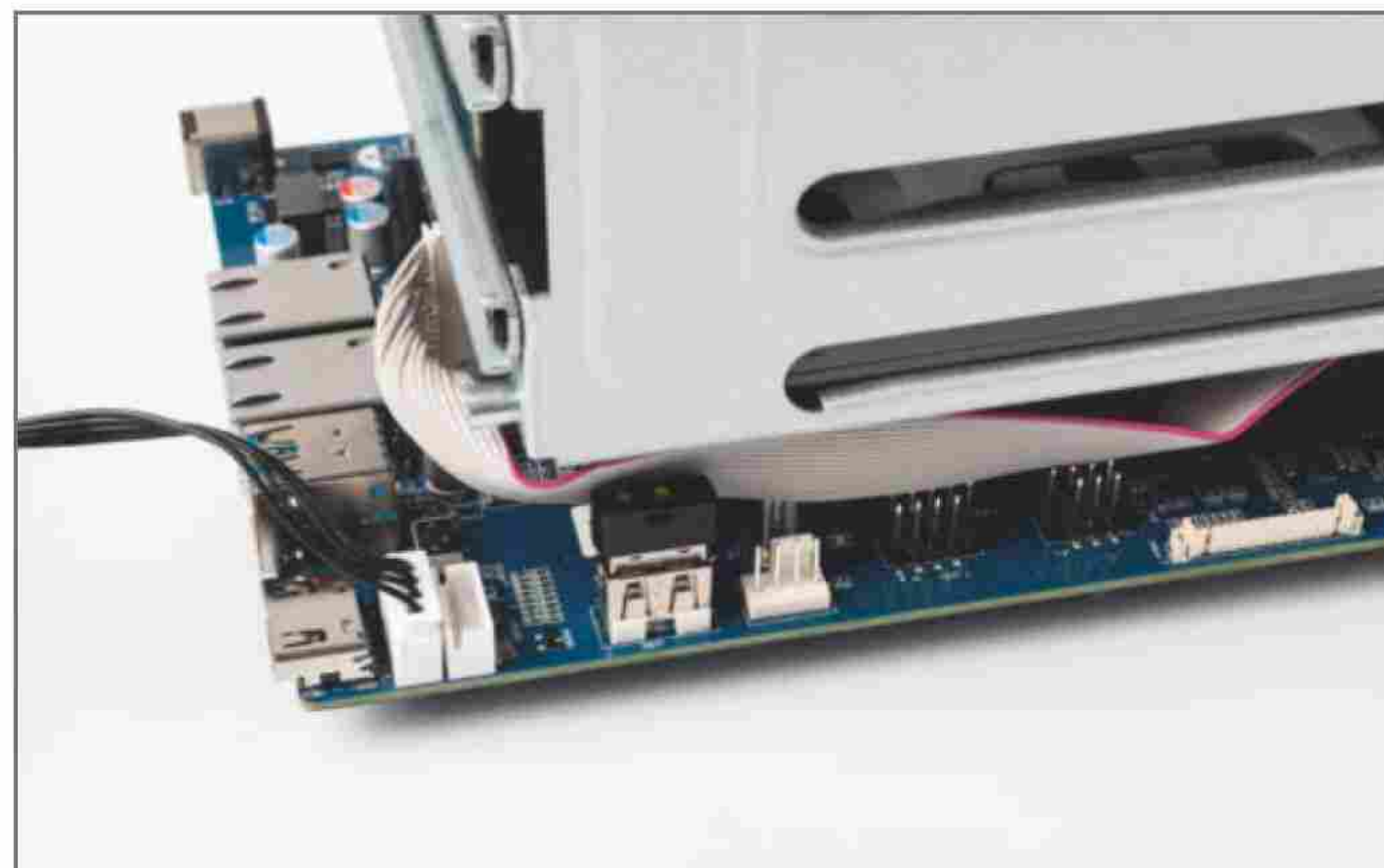
Zwar mag sich das NAS in seltenen Fällen beim Neustart nach dem Autoupdate verhaken und einen harten Reset per kurzzeitigem Entzug der Stromversorgung brauchen. Aber es ist gewiss erträglicher, eine kurze Zeit auf die NAS-Dienste zu verzichten, als alle Daten fremdverschlüsselt zu haben und sich einer Lösegeldforderung ausgesetzt zu sehen.

Ein VPN-Zugang ins Heimnetz ist übrigens nicht per se der Dienstfreigabe im Router überlegen: Schädlinge können von infizierten PCs aus das NAS angreifen, logischerweise auch remote per VPN.

Schauen Sie schließlich ab und zu per Browser auf der NAS-Oberfläche nach dem Rechten, denn manchmal gehen Benachrichtigungswege verloren, ohne dass man das bemerkt. Wenn etwa der Gmailprovider Konten schließt, weil sie zu selten per Web-Login abgefragt werden, kann das NAS keine Warnmails mehr absetzen.



**Selbst kleine x86-NAS wie Synology DS723+ (oben) und QNAP TS-264 lassen sich inzwischen mit 10-Gigabit-Ethernet-Karten in PCI-Express-Slots beschleunigen. Das lohnt, wenn SATA-SSDs als Massenspeicher drin stecken, mehr noch mit M.2-NVMe-SSDs.**



**Wer aus dem TerraMaster F2-423 einen Mikroserver mit einem Betriebssystem eigener Wahl machen will, muss vor der Inbetriebnahme nur den internen USB-Stick abziehen, um das originale NAS-OS rückstandsfrei loszuwerden.**

## Geräusch und Energie

Setzt man Festplatten ein, dann bestimmt deren typabhängiges Geräusch maßgeblich, wie „lärmig“ der Netzwerkspeicher wird. Wir maßen die Geräuschentwicklung bei allen Kandidaten deshalb mit gleicher Plattenbestückung, einmal im Idle-Zustand (Platten drehen, keine Schreiblesekopfbewegungen) und einmal im Ruhezustand (Platten schlafen).

In Ruhe ist nur das Rauschen des NAS-Lüfters zu hören. Das ist auch der Referenzwert für alle, die ihren Netzwerkspeicher ausschließlich mit SSDs bestücken. Mit solchen Massenspeichern entfällt dann prinzipbedingt das Klackern der Schreibleseköpfe, das sich bei Festplattenbestückung nicht wegdamfen lässt.

Das Synology-NAS zeigte auf dem Audiomess-tisch eine Resonanz, die das Laufgeräusch unserer Testplatten hervorhob. Auf einer Schaumstoffunterlage und mit einem Gewicht beschwert beruhigte sich das DS723+ von guten 0,5 auf sehr gute 0,2 sone. Wer sein NAS in der Wohnung auf eine feste Oberfläche stellt, sollte ihm ebenfalls eine Lage Schaumstoff spendieren.

Die Leistungsaufnahme lag bei den vier Prüflingen im Idle etwas oberhalb 20 Watt, da sie alle eine ähnliche Hardwaregrundlage haben. Ab 25 Watt hätten wir „schlecht“ gefunden, unter 20 Watt „gut“,

was aber nicht auftrat. Gehen die Platten schlafen, dann bleibt die Basislast des NAS übrig. Hier fanden wir deutliche Unterschiede. Unter 10 Watt resultierte eine gute Note, ab 15 Watt eine schlechte. Wie beim Geräusch gilt bei SSD-Bestückung der niedrige Wert als Idle-Leistung.

## LAN-Turbo

Peppt man das DS723+ mit einem 30-Euro-USB-Adapter für Multigigabit-Ethernet bei 2,5 GBit/s auf (siehe Artikel „Multigigabit-Ethernet für Synology-NAS“), dann saugt es mit 0,7 Watt ein klein wenig mehr Leistung aus der Steckdose. Dafür liefert es große Dateien mit doppelter Geschwindigkeit (259 statt 113 MByte/s, siehe Balkendiagramm „2-Bay-x86-NAS: Performance, Geräusch und Strombedarf“) und zieht mit dem restlichen Testfeld gleich. Bei mittelgroßen Dateien gab es auch einen Sprung, aber der fiel nicht so hoch aus. Die IOPS verbesserten sich durch den 2G5-Adapter nicht nennenswert (1460 statt 1370 Hz ohne SSD-Cache).

Wer das Synology-NAS mit SATA- oder M.2-SSDs als Hauptdatenträger bestückt, kann den 130 Euro teuren PCIe-Adapter E10G22-T1-Mini einbauen. Der liefert 500 beziehungsweise 800 MByte/s, treibt aber die Idle-Leistungsaufnahme des DS723+ bei einer 10-Gbit/s-LAN-Verbindung um satte 5 Watt hoch [4].



## Asustor AS5402T

Asustors AS5402T fasst nicht nur zwei SATA-Massenspeicher, sondern auf Wunsch auch bis zu vier M.2-SSDs. Die machen es leise, schnell und energiesparend, für große Speicherkapazitäten aber auch teuer. Am HDMI-Port zeigt ein Bildschirm nach Installation der App das Asustor-Portal. Auf dem Quasidesktop kann man verschiedene Apps starten, etwa Firefox mit Bookmarks für Netflix, YouTube etc. Dort lässt sich auch Virtualbox bequem wie vom PC bekannt per Maus konfigurieren; VMs waren bei uns aber nicht immer per USB-Peripherie lokal zu bedienen. Asustor beschränkt das auf eine laufende Maschine, was angesichts der RAM-Größe sinnvoll scheint.

- ↑ preisgünstig
  - ↑ vier M.2-Slots
  - ↓ VMs lokal ruckelig
- Preis: 409 Euro



## QNAP TS-264

QNAP richtet seine Netzwerkspeicher traditionell auf Mediendienste als Nebenaufgabe aus. Das merkt man neben dem HDMI-Port am integrierten Infrarotsensor für die optionale Fernbedienung RM-IR004. Der Performance als NAS tut das keinen Abbruch, in unserem Testfeld stach das TS-264 besonders bei den datenbankrelevanten IOPS positiv hervor. Wie beim DS723+ kann man das QNAP-Gerät mit einer schnellen Netzwerkkarte ausstatten, die bei SSD-Bestückung weit mehr als die bei Platten maximal möglichen 280 MByte/s erlaubt. Der große Nachteil des TS-264: Das RAM ist nicht erweiterbar, doch die vorhandenen 8 GByte sollten für einige Container genügen.

- ↑ viele Funktionen
  - ↑ hohe IOPS-Leistung
  - ↓ feste RAM-Größe
- Preis: 412 Euro

## Alternativbetrieb

Dank ihres HDMI-Ausgangs eignen sich drei Prüflinge nicht nur als Netzwerkspeicher. Mit einem Bildschirm und USB-Peripherie konnten wir beim Hochfahren per Tastendruck – F2 bei Asustor, Esc bei QNAP und TerraMaster – das BIOS-Setup erreichen. Dort ließ sich das Bootmedium auf externe USB-Massenspeicher umschwenken. Xubuntu 22.04 und Desinfec't starteten problemlos von USB-Medien.

Wer alles im Griff haben will, kann also andere Betriebssysteme auf der NAS-Hardware installieren, beispielsweise Openmediavault, Ubuntu Server oder Unraid.

Besonders leicht fällt das beim TerraMaster-Gerät: Innen sitzt ein USB-Stick, der den Urlader fürs TerraMaster OS (TOS) enthält.

Den Stick zieht man vor der Inbetriebnahme ab, um gleich mit einem eigenen Betriebssystem loszulegen.





## Synology DS723+

Die Hauptaufgabe des DS723+ ist das Datenspeichern: Anders als der Rest des Testfeldes hat das Gerät keinen HDMI-Port, um einen Bildschirm anzuschließen. Auch ist der bestückte Hauptspeicher mit 2 GByte vergleichsweise klein, aber als ECC-RAM vor den häufigsten Bitfehlern geschützt. Wer mehr als zwei, drei genügsame Docker-Container starten will, sollte mindestens 4 GByte dazustecken, für vollwertige Virtualisierung besser 16. Zum Ausgleich gibt es einen eSATA-Port, an den man bei hohem Speicherbedarf ein Erweiterungsgehäuse für zusätzliche Platten hängen kann. Wie das TS-264 hat das DS723+ einen PCI-Express-Slot für eine schnelle LAN-Karte.

- ↑ breiter Funktionsumfang
  - ↓ ab Werk nur Gigabit-Ethernet
  - ↓ IPv6 in der Voreinstellung aus
- Preis: 484 Euro

## Fazit

Sie wollen nur Daten speichern und sich möglichst nicht um die Hardware kümmern, abgesehen vom regelmäßigen Backup? Dafür eignen sich alle Kandidaten dieses Testfeldes. Besonders energiesparend und leise in Bereitschaft zeigten sich Synologys DS723+ und das F2-423 von TerraMaster. Die höchste Performance brachte in diesem Test QNAPs TS-264, aber der Abstand zu den Verfolgern war klein.



## TerraMaster F2-423

Mit bald sieben Jahren auf dem hiesigen Markt gilt TerraMaster noch als NAS-Newcomer, doch die Hardware ist ausgereift: Ein F2-220 läuft in der c't-Redaktion durchgehend seit über drei Jahren unter Openmediavault. Der Nachfolger F2-423 hat einen wesentlich flotteren Prozessor und hält performancemäßig mit den Mitbewerbern mit. Doch es gibt Juckepunkte, die nachdenklich machen: Die E-Mail-Benachrichtigung geht ab Werk über „Lokaler SMTP-Server“. Der läuft aber keinesfalls lokal, sondern in China (ABC Hongkong, abchk.net). Der Versand über ein web.de-Konto scheiterte, die Ursache verriet das NAS nicht. Ab Werk war das unsichere SMB v1 aktiv, was man per Browser auf 2.0 als Minimum ändern sollte.

- ↑ preisgünstig
  - ↑ leicht zum Server umbaubar
  - ↓ IPv6 in der Voreinstellung aus
- Preis: 330 Euro

## Literatur

[1] Google-Statistik IPv6-Einführung pro Land, [google.de/ipv6](https://www.google.de/ipv6)

[2] Jan Schüssler, FAQ: Backup, c't 19/2022, S. 178, auch online: [ct.de/-7238206](https://www.ct.de/-7238206)

[3] Peter Siering, NAS-Auslese, Mit Desinfec't Daten von NAS-Platten kratzen, c't 17/2018, S. 152

[4] Ernst Ahlers, Zwei Turbos optional, Netzwerkspeicher Synology DS723+ getestet, c't 7/2023, S. 74

c't-NAS-Benchmark,  
Microsoft DiskSpd

[ct.de/wbxy](https://www.ct.de/wbxy)

Ansonsten dürfen Sie nach der Ausstattung und den gebotenen Funktionen wählen.

Soll das NAS mal mehr Aufgaben übernehmen, können Sie die mit den nachinstallierbaren Erweiterungen erledigen. Hier bieten QNAP und Synology die größte Auswahl, übrigens die besten Aussichten auf lange Firmware-Pflege und damit NAS-Nutzbarkeit. Unabhängig von den Hersteller-„App-Stores“ werden Sie mit Containern, die per Docker-Erweiterung eine riesige Softwareauswahl eröffnen. (ea)

## 2-Bay-NAS-Leergehäuse – technische Daten und Testergebnisse

Modell	AS5402T	TS-264
Hersteller/Marke	Asustor	QNAP
Getestete Firmware / Linux-Kernel	ADM 4.2.5.RN33 / 5.13	QTS 5.1.3.2578 / 5.10.60
<b>Hardware</b>		
Prozessor / Takt (Burst) / SMT	Celeron N5105 / 4 × 2,0 (2,9) GHz / —	Celeron N5105 / 4 × 2,0 (2,9) GHz / —
RAM / erweiterbar bis	4 / 16 GByte	8 / — GByte
M.2-Slots (Typ, Bus)	4 (2280, NVMe, 1 Lane)	2 (2280, NVMe, 1 Lane)
LAN-Ports / USB-Ports (Typ, Datenrate)	2 (2,5 GBit/s) / 3 (A, 10 Gbit/s)	2 (2,5 GBit/s) / 4 (A, 2 × 0,5, 2 × 10 Gbit/s)
weitere Anschlüsse	HDMI 2.0b	HDMI 2.1, Expansion-Slot PCIe 3.0 x2, IR-Sensor
Bedienelemente / Anzeigen / Maße (B × H × T)	Ein, Copy, Reset / 10 Leuchten / 10,5 × 17 × 22 cm	Ein, Copy, Reset / 9 Leuchten / 10,5 × 17 × 22,5 cm
<b>Sharing-Funktionen</b>		
SMB-Versionen voreingestellt / Samba-Server	2.1–3.11 / 4.12.8 (Okt. 2020)	2.0–3.11 / 4.15.13 (Dez. 2022)
Webdavs / FTPS / NFS	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓
AppleShare (AFP) / TimeMachine	✓ / ✓	✓ / ✓ <sup>1</sup>
Rsync / abschaltbar / iSCSI-Target	✓ / ✓ / ✓	✓ <sup>1</sup> / ✓ / ✓
Printserver / Protokoll / Medienserver	✓ / IPP, Remote-USB / (10 Apps) <sup>1</sup>	– / – / (2 Apps) <sup>1</sup>
weitere vorinstallierte Server-Dienste	Web, SFTP, TFTP, Reverse Proxy	Web, SFTP, TFTP, Reverse Proxy, Syslog, Radius
Nutzer-Auth. gegen Active Directory / LDAP	✓ / ✓	✓ / ✓
LDAP- / AD-Server (Domaincontroller)	– / –	✓ / ✓
<b>Wartung und Logging</b>		
SSH / Root-Shell möglich / SNMP / Traps	✓ / ✓ / 1,2c,3 / ✓	✓ / ✓ / 1,2c,3 / ✓
Logging: Syslog-Client / Alarme	✓ / E-Mail, SMS, App-Push <sup>2</sup>	✓ / E-Mail, SMS, IM <sup>2</sup> , App-Push <sup>2</sup>
NTP-Client / bel. Quelle / Sommerz. / Server	✓ / ✓ / ✓ / –	✓ / ✓ / ✓ / ✓
Port-Forwards per UPnP / DynDNS (Anzahl) / individuell	✓ / ✓ (37) / –	✓ / ✓ (14) / ✓
herstellereigener DynDNS-Dienst / mit IPv6-Auflösung	✓ <sup>2</sup> / ✓	✓ <sup>2</sup> / ✓
<b>Massenspeicher</b>		
Idle-Timeout / SMART-Wächter / Zeitplan	✓ (5–60 min) / ✓ / ✓	✓ (5–60 min) / ✓ / ✓
internes Dateisystem vorgeschlagen / alternativ	EXT4 / BTRFS	EXT4 / –
externe Dateisysteme (USB-Massenspeicher)	EXT4, BTRFS, NTFS, exFAT3, FAT32, HFS+	EXT4, NTFS, exFAT3, FAT32, HFS+
Verschlüsselung pro Freigabe / Volume	✓ / –	✓ / ✓
<b>Extras</b>		
Betrieb nach Zeitplan / Wake on LAN	✓ / ✓	✓ / ✓
Sync-Tool für Clients / Betriebssysteme	EZ Sync / Android, iOS, Windows	Qsync Pro / Android, iOS, Windows, macOS, Ubuntu
Sicherung/Mirroring übers Netz mit	rsync, SMB, FTP, Cloud <sup>1</sup>	Hybrid Backup Sync 3 <sup>1</sup> (rsync, RTRR, TimeMachine, SMB, FTP, Cloud)
USV-Kopplung per USB / SNMP / NUT / NUT-Server	✓ / ✓ / – / ✓	✓ / ✓ / ✓ / ✓
<b>Messwerte (mit 2 × ST12000VN0008, RAID 1, Schreiben / Lesen)</b>		
SMB-Durchsatz kleine Dateien unverschlüsselt	65 / 22 MByte/s	62 / 28 MByte/s
mittlere Dateien	181 / 100 MByte/s	173 / 110 MByte/s
große Dateien	242 / 252 MByte/s	229 / 281 MByte/s
IOPS ohne / mit SSD-Cache (Faktor)	320 / 9600 (30)	2600 / 21600 (8,3)
SMB-Durchsatz kleine Dateien verschlüsselt	50 / 22 MByte/s	49 / 21 MByte/s
mittlere Dateien, große Dateien	149 / 48 MByte/s, 224 / 245 MByte/s	155 / 84 MByte/s, 223 / 247 MByte/s
Verschlüsselung (AES 256 CBC / mit AES-NI)	136 / 783 MByte/s	158 / 783 MByte/s
Geräusche/Leistungsaufnahme (Idle, Platten aus)	0,9 / 0,1 sone, 24,0 / 15,0	0,7 / 0,6 sone, 24,7 / 16,4 W
<b>Bewertung</b>		
Funktionsumfang	⊕	⊕⊕
Durchsatz große Dateien	⊕	⊕⊕
Geräusch Idle / HDD aus	⊕ / ⊕⊕	⊕ / ⊕
Energieeffizienz Idle / HDD aus	○ / ⊖	○ / ⊖
Preis (ohne Platten)	409 €	412 €

⊕⊕ sehr gut ⊕ gut ○ zufriedenstellend ⊖ schlecht ⊖⊖ sehr schlecht ✓ vorhanden – nicht vorhanden

<sup>1</sup> nachrüstbar aus Hersteller-App-Store

<sup>2</sup> nur mit Herstellercloudanbindung/Cloud-ID

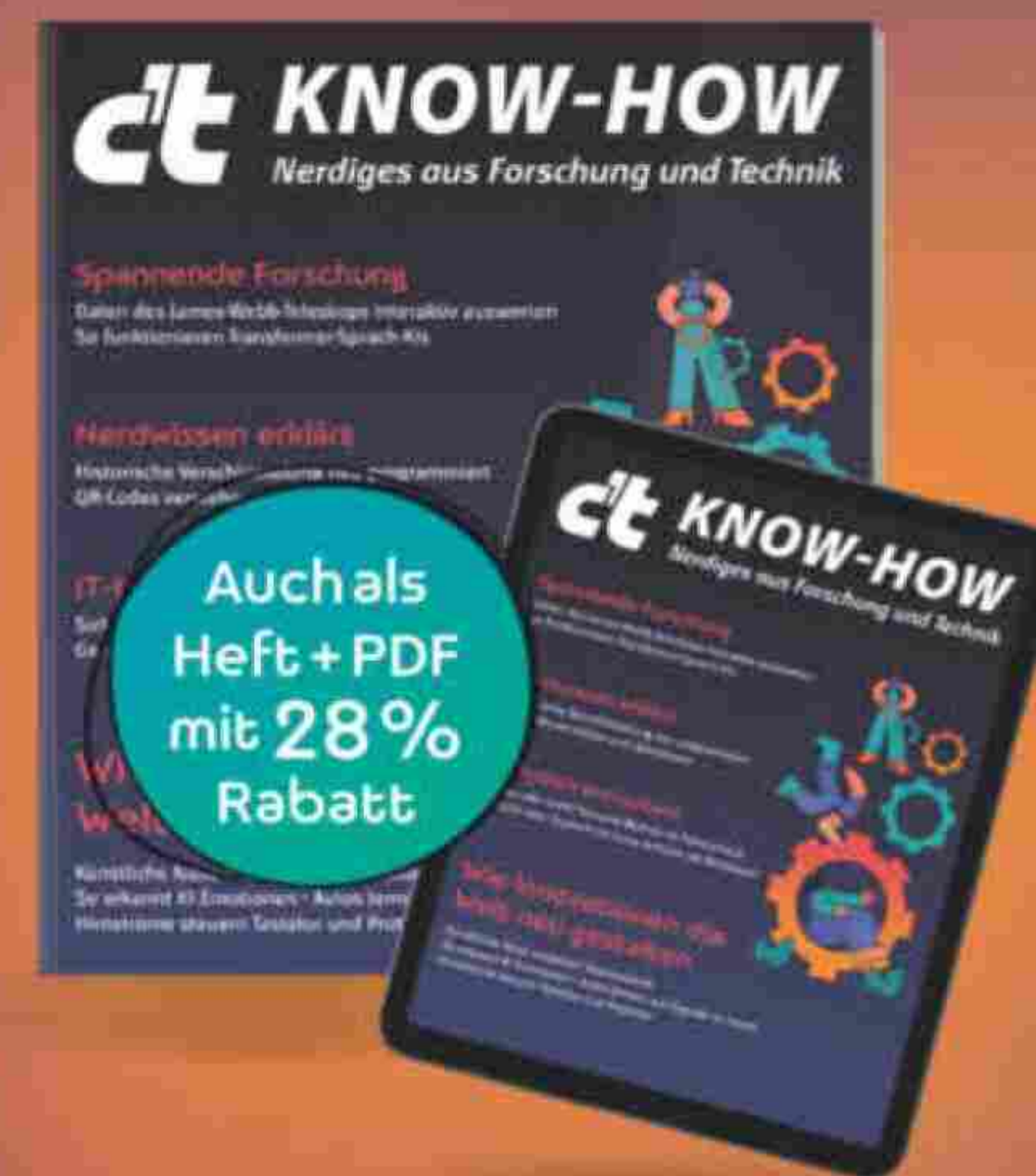
DS723+	F2-423
Synology	TerraMaster
DSM 7.2.1-69057.3 / 4.4.302	TOS 5.1.103 / 5.15.59
Ryzen R1600 / 2 × 2,6 (3,1) GHz / ✓	Celeron N5095 / 4 × 2,0 (2,9) GHz / –
2 / 32 GByte (ECC)	4 / 32 GByte
2 (2280, NVMe, 1 Lane)	2 (2280, NVMe, 1 Lane)
2 (1 GBit/s) / 1 (A, 5 Gbit/s)	2 (2,5 GBit/s) / 2 (A, 10 Gbit/s)
eSATA, Expansion-Slot PCIe 3.0 x2	HDMI 2.0b
Ein, Reset / 8 Leuchten / 10,5 × 16,5 × 22 cm	Ein, Reset / 8 Leuchten / 12 × 13 × 22,5 cm
2.0–3.11 / 4.15.13 (Dez. 2022)	1–3.11 / 4.15.6 (März 2022)
✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓
✓ / ✓	✓ / ✓
✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓ <sup>1</sup>
– / – / (5 Apps) <sup>1</sup>	– / – / (4 Apps) <sup>1</sup>
SFTP, TFTP, Reverse Proxy	SFTP
✓ / ✓	✓ / ✓
✓ / –	– / –
✓ / ✓ / 1,2c,3 / ✓	✓ / ✓ / 1,2c / ✓
✓ / E-Mail, SMS, IM, App-Push, Webhooks	– / E-Mail
✓ / ✓ / ✓ / ✓	✓ / – / – / ✓
✓ / ✓ (13) / ✓	– / ✓ (11) / ✓
✓ <sup>2</sup> / ✓	– / –
✓ (10–300 min) / ✓ / ✓	✓ (30–300 min) / ✓ / ✓
BTRFS / EXT4	BTRFS / EXT4
EXT4, BTRFS, NTFS, exFAT3, FAT32, HFS+	EXT4, NTFS, FAT32, HFS+
✓ / ✓	✓ / –
✓ / ✓	– / ✓
Synology Drive / Android, iOS, Windows, macOS, Ubuntu rsync, Cloud <sup>1</sup> , Active Backup <sup>1</sup> , Hyper Backup <sup>1</sup>	TerraSync / Android, iOS, Windows, macOS rsync, FTP, Cloud <sup>1</sup>
✓ / ✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓ / ✓
54 / 19 MByte/s	32 / 18 MByte/s
96 / 62 MByte/s	115 / 79 MByte/s
111 / 113 MByte/s <sup>4</sup>	225 / 219 MByte/s
1370 / 4100 (3,0)	440 / 2840 (6,5)
40 / 19 MByte/s	44 / 22 MByte/s
83 / 45 MByte/s, 111 / 113 MByte/s <sup>4</sup>	130 / 72 MByte/s, 138 / 247 MByte/s
216 / 835 MByte/s	116 / 783 MByte/s
0,5 / 0,1 sone, 21,7 / 9,5	0,2 / <0,1 sone, 20,8 / 12,2 W
⊕⊕	⊕
○ (⊕) <sup>4</sup>	⊕
⊕ / ⊕⊕	⊕⊕ / ⊕⊕
○ / ⊕	○ / ○
484 €	330 €

<sup>3</sup> eventuell kostenpflichtige Lizenz nötig <sup>4</sup> mit 2,5-Gbit/s-USB-Adapter auf Niveau der anderen NAS, siehe Text



# Geballtes Nerd-Wissen!

## Spannendes aus Forschung und Technik



Auch als Heft + PDF mit 28% Rabatt

- Künstliche Nase analysiert Gasmoleküle
- So erkennt KI Emotionen
- Daten des James-Webb-Teleskops interaktiv auswerten
- Historische Verschlüsselung neu programmiert
- Sicher oder nicht? Security-Mythen im Faktencheck

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 €  
Heft + PDF 19,90 €



[shop.heise.de/ct-knowhow24](https://shop.heise.de/ct-knowhow24)

Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 € (innerhalb Deutschlands).  
Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

# Vorschau: c't Photovoltaik

Ab dem 30. August im Handel und auf [ct.de](https://ct.de)

## Günstiger Strom vom Dach oder Balkon

Das Sonderheft c't Photovoltaik steht Ihnen bei Ihrem persönlichen Solarprojekt zur Seite. Es erklärt, warum es sich mehr denn je rechnet, zu Hause Strom zu produzieren, egal ob auf dem Dach oder auf dem Balkon. Im Schwerpunkt „Rauf aufs Dach!“ erfahren Eigenheimbesitzer, wie man eine Solaranlage richtig dimensioniert, plant und die Leistung optimiert. Wohnungsbesitzer und Mieter führen wir durch die neuen staatlichen Regeln für Balkonkraftwerke und beraten konkret bei der

Auswahl der Komponenten und bei der Installation. Außerdem erklärt das Heft, wie man den Ertrag der Solaranlage überwacht und die Daten anschaulich aufbereitet. Der Schwerpunkt „Clever heizen“ schließlich erklärt alles Wichtige rund um Wärmepumpen. Dabei gehen wir auch detailliert auf das Zusammenspiel mit dynamischen Stromtarifen und Solaranlagen ein.

Weitere Infos: [ct.de/wdba](https://ct.de/wdba)

## Themenschwerpunkte

### Photovoltaik lohnt sich

- Warum Solarstrom günstiger ist denn je
- Überblick über staatliche Regeln und Fördermöglichkeiten
- Stromverbrauch optimieren mit smarten Energiemanagern

### Rauf aufs Dach!

- PV-Anlagen dimensionieren, Wirtschaftlichkeit berechnen
- Wechselrichter-Technik erklärt
- Kabel für Photovoltaik auswählen und verbinden

### Balkonkraftwerke für alle

- Die neuen Regeln für Mini-PV
- Wie Sie kleine und große Balkonkraftwerke bauen

### Solarertrag überwachen


- Marktüberblick: Apps zur Photovoltaik-Überwachung
- Dynamische Strompreise nutzen

### Clever heizen

- Wärmepumpen: Über die Rolle von Dämmung, Solar & Co.
- Leistung der Wärmepumpe in der Praxis optimieren
- PV-Heizstab, Bedarfssteuerung & Co.

## Ihr Partner für IT-Weiterbildung

Videokurse für IT-Professionals

 heise academy



### Netzwerkanalyse mit Wireshark

In diesem Videokurs vermittelt IT-Experte Tom Wechsler die Grundlagen der Netzwerkanalyse mit Wireshark.



### Windows Sicherheit: Der Praxiskurs

In diesem Videokurs erfahren Sie, wie Sie die Kennwortsicherheit in Ihrem Netzwerk anpassen und welche Alternativen Windows zu Kennwörtern bietet.



### Red Hat Enterprise Linux: Verwalten lokaler Benutzer und Gruppen

In diesem Kurs zeigt Ihnen der IT-Experte Tom Wechsler die Grundlagen der Verwaltung von lokalen Benutzern und Gruppen unter RHEL.

Jetzt alle Videokurse 30 Tage kostenlos testen: [heise-academy.de](https://heise-academy.de)

Heft + PDF  
mit 28% Rabatt

# Hype oder Hilfe?

Mit Künstlicher Intelligenz produktiv arbeiten



Dieses Heft verschafft Ihnen einen umfassenden Überblick, wie Sprachmodelle grundlegend funktionieren und in welchen Bereichen Ihnen eine KI wirklich helfen kann oder wo die Hersteller eine Arbeitserleichterung nur vorgaukeln.

- ▶ KI-Programme anwenden
- ▶ Grenzen der Sprachmodelle erkennen
- ▶ Was Unternehmen rechtlich beachten müssen
  - ▶ Die eigene Sprach-KI betreiben
  - ▶ Wo KI-Assistenten tatsächlich helfen
  - ▶ Wie KI Schule und Arbeit verändert

Jetzt bestellen!

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 €  
Heft + PDF 19,90 €



[shop.heise.de/ct-ki23](https://shop.heise.de/ct-ki23)

# FREITAG IST c't-TAG!\*

**30%  
Rabatt!**

**Jetzt 5x c't lesen**

für 24,00 €  
statt ~~31,75 €~~\*\*

\*\* im Vergleich zum Standard-Abo



\*Endlich Wochenende! Endlich genug Zeit, um in der c't zu stöbern. Entdecken Sie bei uns die neuesten Technik-Innovationen, finden Sie passende Hard- und Software und erweitern Sie Ihr nerdiges Fachwissen. **Testen Sie doch mal unser Angebot: Lesen Sie 5 Ausgaben c't mit 30 % Rabatt – als Heft, digital in der App, im Browser oder als PDF. On top gibt's noch ein Geschenk Ihrer Wahl.**

Jetzt bestellen:  
**ct.de/meintag**

