



Smarter  
Notstrom-  
generator

# Der c't-Solar-Guide 2024

Neue Regeln, fallende Preise, aktuelle Komponenten  
Praxis: Richtig dimensionieren, überwachen, optimieren

## TEST

- Asus-Notebook mit zwei OLED-Touchscreens
- In-Ears mit Wechselakkus von Fairphone
- 3D-Drucker: Prusa MK4 vs. Bambu Lab P1S
- First-Person-View-Drohne DJI Avata 2
- GrapheneOS: Custom-ROM für Pixel-Handys

## Flotte externe Datenspeicher

Zehn USB-SSDs und -Sticks mit 1 oder 2 TByte

## FOKUS

- Passkeys unter Linux nutzen
- Mobil-CPUs von AMD, Apple und Intel
- Bezahldienste und -Apps für den Onlinehandel
- Breitbandtarife für DSL und TV-Kabel
- Projekt noFake: KI entlarvt KI-Lügen



€ 6,20

AT € 6,90 | LUX, BEL € 7,30

NL € 7,50 | IT, ES € 7,80

CHF 10.50 | DKK 67,00

## Schnelles Heimnetz mit Profi-Features

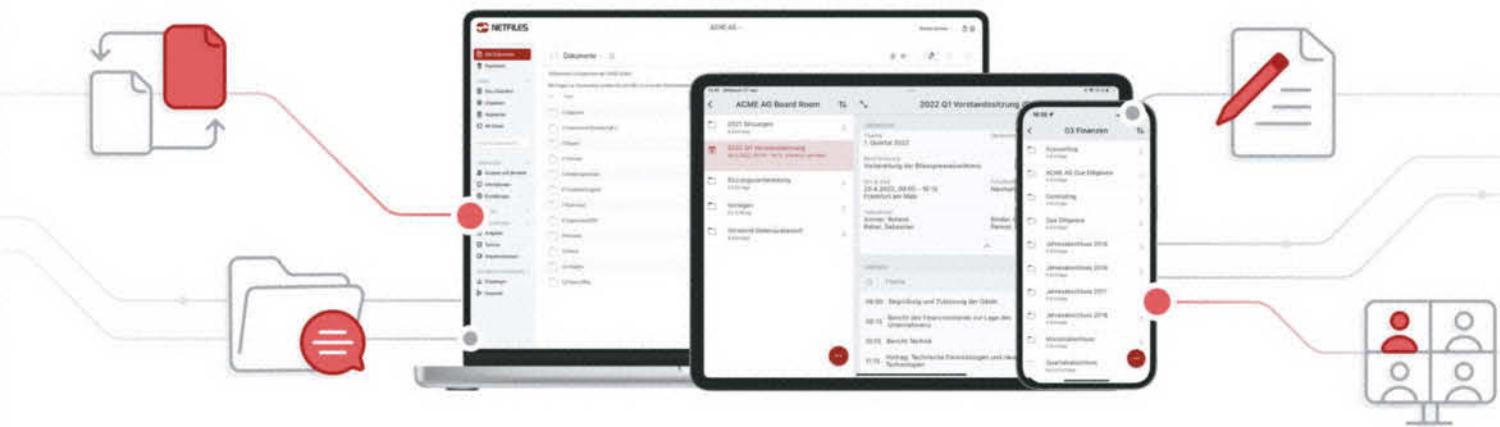
Multi-Gigabit-Upgrade • Kaufberatung smarte Switches  
Bis zu 10 Gbit/s, VLANs für Netzwerkzonen, Fehlersuche

Copyright by Heise Medien



# Hochsicher und DSGVO-konform

## Datenaustausch-Lösungen von netfiles



## Einfach

Der netfiles Datenraum ist besonders einfach zu bedienen, bietet umfangreiche Funktionalität und steht Ihnen sofort, ohne Installation von Software oder Plugins zur Verfügung. Ein Webbrowser genügt.

## Sicher

Im netfiles Datenraum sind Ihre Daten sowohl bei der Speicherung als auch Übertragung durch 256-Bit-Verschlüsselung sicher und DSGVO-konform geschützt.

Bewährt

netfiles gibt es seit mehr als 20 Jahren. Profitieren auch Sie von unserer langjährigen Erfahrung und dem zuverlässigen Betrieb. Wir sind ein deutsches Unternehmen und hosten ausschließlich in Deutschland.

JETZT KOSTENLOS TESTEN

oder vereinbaren Sie einen Termin für eine Online-Präsentation.

[www.netfiles.com](http://www.netfiles.com)



## Echtzeitüberweisung: Danke, EU!

Staatlichen Institutionen wird oft vorgeworfen, sie verschleppten Innovation. Ich habe ein Gegenbeispiel: die SEPA-Echtzeitüberweisung. Die EU setzt sie gerade mit einer Verordnung durch, die bis Ende Oktober 2025 wirksam wird. Echtzeitüberweisungen senden und empfangen zu können, wird für alle Geldhäuser Pflicht und es darf nicht teurer sein als eine Standardüberweisung.

Endlich, sage ich als Verbraucher. Denn den SEPA-Standard "SCT Inst" gibt es schon seit 2017. Innerhalb von zehn Sekunden ist mit diesen Regeln das Geld auf dem Zielkonto. Mittlerweile bieten viele Banken und alle Sparkassen diesen Service zusätzlich zur Standardüberweisung an. Trotzdem können große Spieler wie ING oder DKB Echtzeitüberweisungen selbst 2024 nur empfangen.

Wer sie im Angebot hat, erhebt dafür oft happige Zusatzentgelte. Damit nutzt es kaum ein Bankkunde und jegliche Innovation bleibt aus. Ein erfolgreiches kontogestütztes Echtzeit-Zahlungssystem wie Twint in der Schweiz, das mit den US-Giganten in einen wirksamen Preis- und Beliebtheitswettbewerb tritt (siehe unser Artikel auf S. 110), ist so unvorstellbar. Zwar soll mit Wero jetzt ein Twint-Äquivalent kommen, ob es den mit jedem Jahr gewachsenen Vorsprung von PayPal & Co. noch aufholt, ist aber fraglich.

Ich verstehe, dass die neuen Systeme inklusive Echtzeit-Betrugserkennung teuer werden. Andererseits hat die EU lange genug gebeten und gedroht. Also, liebe Banken: Ihr hättet es selbst in der Hand gehabt. Das zeigt auch, dass Bürokratie mitnichten ein Selbstzweck der Verwaltung oder Politik sein muss. Oft treten sie auch einfach nur diejenigen in den Hintern, die nützliche Anpassungen verschleppen.

Mit der geplanten EU-Zahlungsdiensteverordnung steht der nächste Klopfer schon in den Startlöchern. Sie soll es Banken erschweren, die Haftung für Onlinebanking-Betrug auf die Kunden abzuwälzen, wenn diese von Betrügern getäuscht wurden. Doch anstatt zu handeln, klagen die Geldhäuser wieder über die Kosten, ohne die Betrugsprüfung freiwillig zu verbessern. Ich sage: In die Hände gespuckt und an die Arbeit! Dann kann Euch die Verordnung am Ende fast egal sein und Eure Kunden werden es zu schätzen wissen.



*Markus Montz*

Markus Montz

# Inhalt c't 10/2024

## Titelthemen

### Der c't-Solar-Guide 2024

- 14 **Starthilfe** in die solare Energieproduktion
- 22 **Wissen** PV-Anlagen dimensionieren
- 28 **Apps zur PV-Überwachung** im Überblick

### Schnelles Heimnetz mit Profi-Features

- 54 **LAN lahmt?** Kein Problem!
- 58 **Switches** für Multigigabit-LANs
- 62 **Know-how** Ethernet-Switches und -Kabel

### Flotte externe Datenspeicher

- 118 **Test USB-SSDs und -Sticks bis 2 TByte**

- 72 **Mini-Funkmikrofon** Shure MoveMic
- 73 **Wasserpegelwächter** mit WLAN
- 73 **Insektenstichheiler** mit App
- 74 **Digital Audio Workstation** Ableton Live 12
- 76 **Virtuelle PCs** auf dem Mac mit UTM
- 76 **E-Book-Reader** Software für Linux
- 78 **Linux-Distribution** Vorschau auf Fedora 40
- 80 **Nachsprech-App** Whispp
- 80 **Konzentrations-App** Ambie
- 82 **Mobil-CPUs von AMD, Apple und Intel**
- 88 **Breitbandtarife für DSL und TV-Kabel**
- 94 **First-Person-View-Drohne DJI Avata 2**
- 98 **Asus-Notebook mit zwei OLED-Touchscreens**
- 102 **3D-Drucker: Prusa Mk4 vs. BambuLab P1P**
- 106 **GrapheneOS: Custom-ROM für Pixel-Handys**
- 110 **Bezahltdienste und -Apps für den Onlinehandel**
- 166 **Bücher** KI-Testing, Pädagogik vor Technik

## Aktuell

- 12 **Sicherheit** Grobe Schelte für Microsoft
- 34 **Vorratsdatenspeicherung** Quick Freeze kommt
- 35 **Datenschutz** Neue Bundesbeauftragte nominiert
- 36 **Internet** Bundeskanzler bei TikTok
- 37 **KI** Mehr Google-KI, GPT-4-Konkurrent
- 38 **Nano-Optomechanik** Gerichtete Schallverstärkung
- 39 **Forschung** Brille mit Sonar, Selbstschusskamera
- 40 **KI-Musik** radiotauglich generiert
- 42 **Bit-Rauschen** Nvidia Blackwell, LGA1851-CPU
- 43 **Hardware** Dual-Standard-Netzteil, Ryzen Pro 8000
- 44 **Server & Storage** Festplatten bis 100 TByte
- 45 **Open Source** Hashicorp versus OpenTofu
- 46 **Digitale Effekte** bei Planet der Affen
- 48 **Videostreaming** Disney+ mit DTS:X
- 49 **Apple** iPhone-Updates in Originalverpackung
- 50 **Web-Tipps** Werbebanner, Maschinenschreiben

## Test & Beratung

- 68 **In-Ears mit Wechselakkus von Fairphone**
- 70 **Smartes Türschloss** Nuki Pro V4
- 71 **Android-Info-Widget** Smartspacer

### 14 Der c't-Solar-Guide 2024



Ob Balkonkraftwerk oder große Dachanlage, die Investition in ein PV-System lohnt sich fast immer. Unsere Starthilfen erleichtern Ihnen die Dimensionierung, die Auswahl der Komponenten und deren Installation.

## Wissen

- 124 Zahlen, Daten, Fakten** Frauen in MINT-Berufen
- 126 Jailbreaks** Interview mit Fabian Vogt
- 128 Projekt noFake: KI entlarvt Lügen**
- 132 Atari ST nachgebaut** mit Tang Nano 20K
- 158 Onlinezugangsgesetz** Scheitern 2.0

## Praxis

- 138 Passkeys unter Linux nutzen**
- 142 Adobe Lightroom** Günstig in die Cloud
- 146 Outlook** Technik-Wirrwarr um Add-ins
- 150 KI auf dem NAS** verschlagwortet Fotos
- 154 Smarter Notstromgenerator**

## Immer in ct

- 3 Standpunkt** Echtzeitüberweisung: Danke, EU!
- 6 Leserforum**
- 11 Schlagseite**
- 52 Vorsicht, Kunde** Enpal verunsichert Kunden
- 162 Tipps & Tricks**
- 164 FAQ** Nebenkostenprivileg
- 168 Story** Als ich einmal die Welt rettete
- 175 Stellenmarkt**
- 176 Inserentenverzeichnis**
- 177 Impressum**
- 178 Vorschau ct** 12/2024

## 54 Schnelles Heimnetz mit Profi-Features



Wenn das Backup aufs NAS ewig dauert, könnte Ihr Netz vielleicht ein Update vertragen. Wir helfen Ihnen bei der Auswahl der geeigneten Hardware, erklären, wie sie funktioniert und wie Sie sie am besten in Betrieb nehmen.

Frisch aus

**ct** Nerdistan

- 132 Atari ST nachgebaut** mit günstigem FPGA-Board
- 154 Notstrom** Smarter Generator im Test



**Hardcore**

- 150 Fotos verschlagworten** per KI

# Leserforum

## Ungutes Gefühl

Leserbrief „Nicht problemlos“, c't 9/2024, S. 8

Ich habe nun gelernt, dass die Einrichtung von Passkeys bei Amazon nur mit Chrome funktioniert, nicht aber mit Firefox. Das könnte man aber mit dem Add-on „User-Agent Switcher und Manager“ umgehen. Beinhaltet dieses Vortäuschen nicht auch wieder Risiken und Nebenwirkungen? Bei einem Man-in-the-Middle-Angriff gibt auch ein Angreifer vor, jemand anderes zu sein, um an Informationen zu kommen, die nicht für ihn bestimmt sind. Ich habe bei dieser Vorgehensweise ein eher ungutes Gefühl von weniger statt mehr Sicherheit.

Michael Braun 

*Der User-Agent ist nicht besonders geschützt und keine sicherheitsrelevante Eigenschaft des Browsers. Der Webserver kann ihn auswerten, um die Website passend für Browser und Endgerät auszuliefern. Eine Manipulation des User-Agent beeinträchtigt die Sicherheit von Browser und Passkey-Nutzung nicht.*

*Die Verbindung zu Amazon ist weiterhin verschlüsselt (HTTPS/TLS), für Passkeys kommt unverändert Public-Key-Kryptografie zum Einsatz. Um Darstellungsfehler auf anderen Seiten vorzubeugen, sollten Sie den User-Agent nur beim Seitenabruf von amazon.de ändern. Hierzu können Sie den Whitelist-Mode des Add-ons nutzen.*

## Schlimmer Schwachsinn

DNS-Leck: Browser ignorieren Windows-Konfiguration, c't 9/2024, S. 14

Browser haben keine eigenen DNS-Abfragen zu machen. Egal, was Google oder andere sagen: Die Software auf dem Sys-

## Fragen zu Artikeln

 Bitte senden Sie uns Ihre Fragen per E-Mail an die Adresse des Redakteurs, die am Ende des Artikels steht.

tem hat sich an die Einstellungen des Systems zu halten und keine eigenen, unkontrollierbaren Abfragen zu machen. Denn das ist, wie man sieht, ein Sicherheitsrisiko, zumal die Browser-Engine in anderen Anwendungen stecken kann. Und wenn jede Anwendung ihre eigenen DNS-Abfragen macht, kann man das System nicht sauber im Griff haben. Solchen Schwachsinn dann bei den ach so auf die Sicherheit bedachten Google-Leuten mitzubekommen, ist schon schlimm.

iMil 

## Keine Lücke offen

Lücken in der DNS-Verschlüsselung finden und schließen, c't 9/2024, S. 116

Ich habe Ihre Prüfanleitung unter Windows 10 und aktuellem Chrome Browser (Google) berücksichtigt. In meinen Einstellungen in Chrome ist „Sicheres DNS verwenden“ aktiviert, beim DNS-Anbieter „Standardeinstellungen des Betriebssystems (falls verfügbar)“. Unter Windows 10 ist ausschließlich DCHP eingerichtet.

Im Wireshark-Protokoll entdecke ich bei DNS-Anfragen ausschließlich meine Routeradresse – also keine externe Resolver (IPv4 und IPv6). Im AVM-Router selbst ist sicheres DNS konfiguriert und entsprechender DNS-Resolver eingetragen (primärer und sekundärer). Somit gehe ich davon aus, dass in meinem Netzwerk mein Router nicht übergegangen wird.

Jürgen Mutschler 

## Ohne Beweiskraft

Die Stimmklone kommen, c't 9/2024, S. 38

Wenn ich das richtig sehe, hat doch durch die Möglichkeiten der künstlichen Intelligenz nichts mehr irgendeine Beweiskraft. Kein Foto, kein Tonmitschnitt und kein Video. Damit lässt sich doch letztendlich jedwede Behauptung aufstellen oder dementieren, ohne dass sich der Wahrheitsgehalt feststellen lässt. Da frage ich mich schon, wo das hinführen wird ...

Harald Niemann 



**Das gängige 16:9-Format von Monitoren stellt nicht jeden Leser zufrieden. Die getesteten USB-C-Monitore passen gut auf den Schreibtisch und dürften für die Arbeit mit Fotos und Dokumenten höher sein.**

## Nicht mein Format

Fünf 27-Zoll-Monitore mit 4K-Auflösung und USB-C-Eingang im Test, c't 9/2024, S. 84

16:9 dient nur dazu, Filme ohne schwarzen Rand darzustellen. Ich benutze aber den Rechner nicht zum Filmschauen. 16:9 ist mir einfach nicht hoch genug. Es gab ein Huawei Mateview im Format 3:2, das ist mein zweites Display und ich bin mit diesem Format überaus zufrieden. Das Mateview wird aber nicht mehr hergestellt und seitdem gibt es kein einziges Display mehr auf dem Markt im Format 3:2.

Es wird immer behauptet, in der Marktwirtschaft würde jede noch so kleine Nische bedient. Stimmt aber nicht. Es gibt keine 3D-Fernseher mehr, mit 26-Zoll-Fahrrädern sieht es schlecht aus und wer ein Auto haben will, das nicht weiß, schwarz oder grau ist, schaut auch in die Röhre. Wieso kein einziges 3:2-Display? Meine Fotos sind fast alle im Format 3:2 und lassen sich hervorragend auf dem Mateview anschauen. Bei den Notebooks werden im Preisvergleich gerade 555 Notebooks im 3:2-Format gelistet, Displays hingegen 0.

muh 

# Jetzt richtig einsteigen

## – mit Windows Server 2022 Essentials

exone<sup>®</sup> Server speziell für KMUs mit Microsoft Windows Server 2022 Essentials. Mehrschichtige Sicherheit auf nahezu jeder Ebene.

### MEHR INFOS



Jetzt mit  
U.2 NVMe

## Gern verschwiegen

*Prepaidtarife mit drei bis zwölf Monaten Laufzeit, c't 9/2024, S.106*

Soviel ich weiß, fällt ein Telefonat ins EU-Ausland nicht unter die EU-Roaming-Regel. Die Anbieter verstecken diese Tatsache gerne. Der Preis wird beim EU-Roaming nicht offensichtlich genannt. Von meinen Bekannten weiß kaum jemand, dass ein Telefonat von Deutschland ins EU-Ausland nicht in der EU-Flatrate enthalten ist, und schon gar nicht, was es kostet.

Klaus Singer 

*Das ist richtig, hier besteht eine Regelungslücke.*

## Papierarm geht

*Papierloses Büro mit paperless-ngx, c't 9/2024, S. 152*

Ich nutze Paperless-ngx seit einigen Wochen. Es läuft auf einem QNAP-Server mit Unraid OS. Zur Vorbereitung empfiehlt es sich, vorab eigene Dokumententypen und Korrespondenten zu definieren, um mit möglichst wenigen Tags auszukommen.

Als Dokumentenscanner nutze ich den im Bericht genannten Brother ADS 1700 W. Der Scanner arbeitet sehr gut, die Ergebnisse muss man jedoch überarbeiten. So werden leere Seiten nur zuverlässig ausgelassen, solange keine Lochung, Verschmutzungen (Berichte vom Schornsteinfeger) oder durchscheinende Vorderseite als Information gewertet werden. Manche seitenlangen Hinweise und Belehrungen will man vielleicht nicht unbedingt archivieren. Blätter werden teilweise übersprungen, zum Beispiel durch den Rest eines Kleberands bei Durchschlägen (Abhilfe: Durchschläge mit Kleberesten um 180° gedreht einlegen) oder wenn der Stapel nicht genug „durchlüftet“ wurde.

Zu den Aufklebern: Praktisch ist für mich die Nummerierung nur dann, wenn ich alle Scans „kunterbunt“ ablege. Da ich nur veraltete Dokumente vernichte, habe ich die Originale sowieso in Ordnern abgelegt und es ist in etwa das gleiche Prozedere, ob ich den Ordner „ASN00000 bis ASN00999“ oder „Versicherungen – Auto“ aufschlage.

In der Konfiguration des Dockers kann eine Variable „PAPERLESS\_IGNORE\_DATES“ mit zum Beispiel den eigenen Geburtsdaten eingefügt werden, die bei der automatischen Ermittlung des Aus-

stellungsdatums dann ignoriert werden. Noch ein Tipp der Community: In Paperless-ngx einen Arbeitsablauf einrichten, der automatisch zu neuen Scans einen zuvor erstellten Tag (bei mir „InBox“ in Rot) einfügt, um die noch zu bearbeitende Scans zu markieren.

J. Renou 

## Binsenweisheit

*So könnten ChatGPT & Co. künftig sparsamer rechnen, c't 8/2024, S. 134*

Auch ich bin der Meinung, dass man nicht alles machen muss, was man machen könnte. Solange aber schnöder Mammon die erste Geige spielt, wird KI überall mit reingedrückt, weil es sich besser verkaufen lässt. Das ist wie das „Vegan“-Logo auf Trinkwasserflaschen: sinnlos, aber ein Kaufanreiz.

Seit langer Zeit ist bekannt, dass zifffach abstrahierter und mit unnötigen Features aufgeblasener Code langsamer läuft. Heutzutage ist das mit dem „langsamer“ dank der brachialen Rechengewalt aktueller Prozessoren nicht mehr so das Thema. Dass effizienterer Code die CPU weniger lange beschäftigt und damit direkt den Stromverbrauch beeinflusst, ist eine Binsenweisheit.

Wenn ich das im globalen Maßstab ansetze und die paar Milliwattstunden durch effizienteren Code eingesparter Energie

mit der Anzahl der Rechner multipliziere, die diesen Code ausführen, erreichen die Resultate erhebliche Größen. Aber auch hier steht an erster Stelle der monetäre Nutzen und der liegt für den Endnutzer unter der Wahrnehmungsschwelle.

Patrik Schindler 

## Routerfreiheit

*Titelthema „20 Jahre Fritzbox“, c't 7/2024, S. 16 ff.*

Wir sollten froh sein, dass es in Deutschland die freie Wahl des Modems gibt. In Frankreich muss man das Modem (die Box) des Providers mieten. Vor Kurzem habe ich mit dem Glasfaseranschluss eine neue Box von Orange bekommen, die kann immerhin einen Gastzugang bereitstellen. Sie liefert fast keine Informationen über den Anschluss, wie man es von Fritzboxen gewohnt ist. Am besten fand ich die „Fehlerdiagnose“ bei einem Ausfall der Verbindung: funktioniert nur online.

Peter Pielmeier 

## Ergänzungen & Berichtigungen

### Update-Ärger: Daten verschwinden

*Mobile Pollenflugvorhersage: Marktübersicht über Allergie-Apps, c't 7/2024, S. 112*

Kurz nach Veröffentlichung des Artikels stellte die Techniker Krankenkasse (TK) unangekündigt ein großes Update für die App bereit, das viele Nutzer verärgerte. Denn in der neuen Version 3.0 tauchten ihre bisherigen Eintragungen ins Symptomtagebuch nicht mehr auf. Gegenüber c't erklärte die TK, die Symptomdaten blieben auf dem Smartphone, solange man die App nicht deinstallierte. Die TK arbeite daran, die Daten auch in der neuen App-Version anzuzeigen.

Weil die TK versäumt hatte, die Nutzer vor dem Update zu warnen, haben einige die App aus Frustration gelöscht. Das zeigten zahlreiche Rezensionen im Google Play Store. In ihrer Antwort an c't schreibt die TK: „Dass wir diesen Umstand nicht prominenter in der App kommuniziert haben, sondern nur in den FAQ, war ein Fehler.“ Über weitere Entwicklungen werde man nun direkt in der App informieren. Mehr zum Thema lesen Sie auf heise online: <https://heise.de/s/lwwZ7>.

## Wir freuen uns über Post

 [redaktion@ct.de](mailto:redaktion@ct.de)

 [c't Forum](#)

 [c't Magazin](#)

 [@ctmagazin](#)

 [ct\\_magazin](#)

 [@ct\\_Magazin](#)

 [c't magazin](#)

Ausgewählte Zuschriften drucken wir ab. Bei Bedarf kürzen wir sinnwährend.  
Antworten sind kursiv gesetzt.

 **Anonyme Hinweise**  
<https://heise.de/investigativ>



**Webbaukasten mit  
KI-Text-Generator!**

Künstliche Intelligenz für Ihre Website:  
Einfach passende Keywords eingeben und  
professionelle Textvorschläge erhalten!

**1blu**

# Homepage Smart

**12 .de-Domains inklusive**

- > 60 GB Webspace
- > 500 E-Mail-Adressen
- > 50 GB E-Mail-Speicher
- > 50 MySQL-Datenbanken
- > Kostenlose SSL-Zertifikate per Mausklick
- > Viele 1-Klick-Apps inklusive
- > Webbaukasten & Webkonferenzlösung

**2,69**  
€/Monat\*



**Preis gilt dauerhaft.  
Bestellung noch  
bis 31.05.2024!**

\* Preis/Monat inkl. 19% MwSt. Es fällt keine Einrichtungsgebühr an.  
Vertragslaufzeit 6 Monate, jederzeit kündbar mit einem Monat Frist zum Vertragsende.

**030 - 20 18 10 00 | nur unter [www.1blu.de/smart](http://www.1blu.de/smart)**

© Copyright by Heise Medien

# heise security tour 2024

## Wissen schützt

Mit mehr Resilienz  
zu mehr Sicherheit

- 23. Mai (Köln)
- 29. Mai (Hannover)
- 12. Juni (Stuttgart)
- 5. Juni (online)
- 19. September (online)

### DIE THEMEN

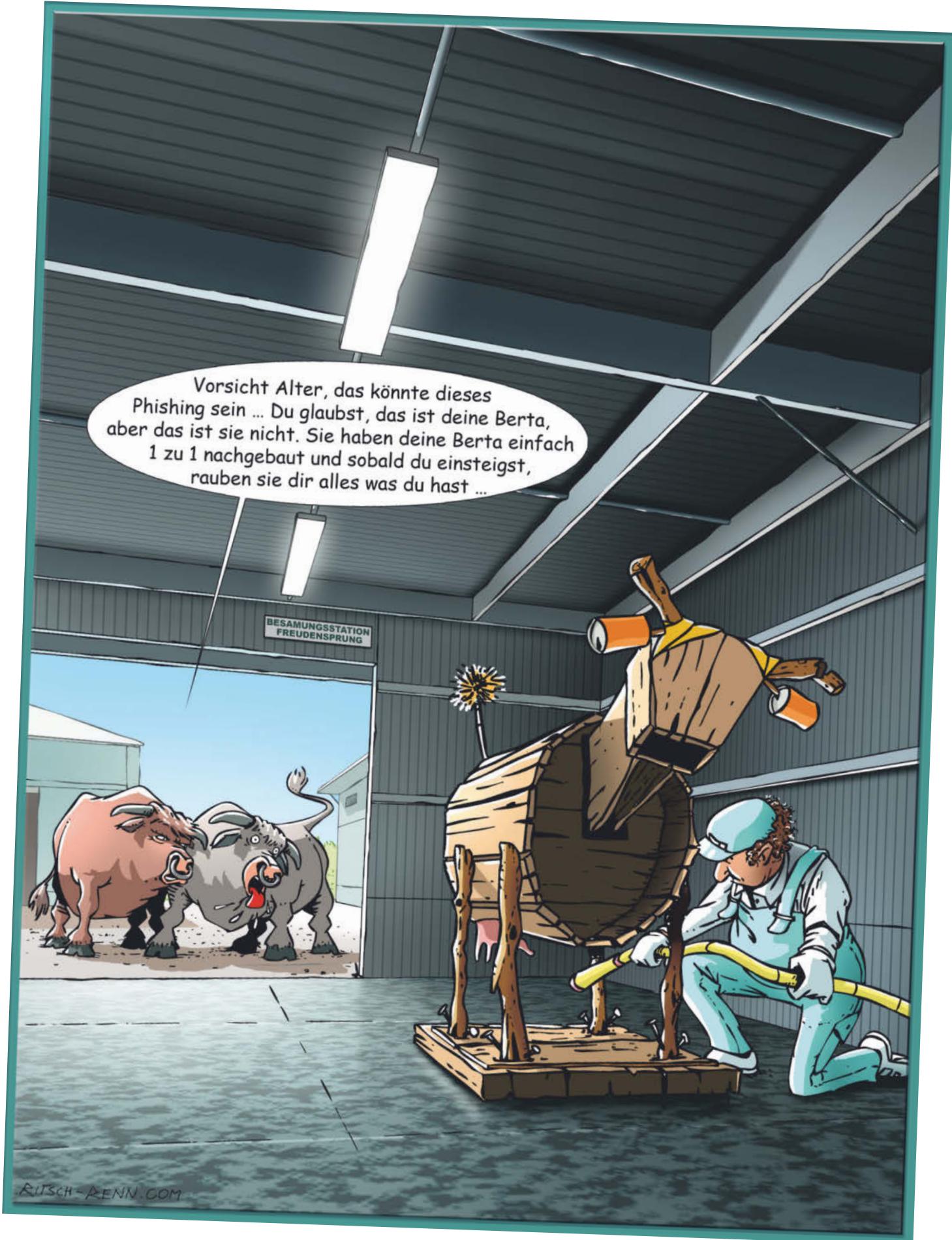
- Das Lagebild der IT-Security
- Das Update zu IT-Recht und Datenschutz, NIS-2
- Alerting und Monitoring in der Praxis
- Die Psychologie der Security
- Was geht bei "KI und Security" wirklich?



Jetzt Tickets sichern:  
[security-tour.heise.de](http://security-tour.heise.de)

© Copyright by Heise Medien





Weitere Schlagseiten auf [ct.de/schlagseite](http://ct.de/schlagseite)

# Watschen für Microsoft

## Microsofts interne Sicherheitskatastrophen haben Konsequenzen

**Weil Microsoft die Angriffe und Einbrüche bei sich selbst weiterhin nicht in den Griff bekommt, setzt es zwei schallende Ohrfeigen – eine davon gibt auch diversen US-Behörden eine Menge zu tun.**

Von Jürgen Schmidt und Jan Schüßler

Die „Cybercrime & Infrastructure Security Agency“ der USA – kurz CISA – reagiert mit einer Notfalldirektive auf die Angriffe der russisch finanzierten Cybercrime-Gruppe Midnight Blizzard gegen Microsoft. Weil nach Informationen der CISA der Mailverkehr diverser US-Behörden vor allem mit Microsofts Security-Abteilungen durch die Gruppe belauscht wurde, müssen sämtliche potenziell betroffenen Behörden Passwörter, Token & Co. erneuern, nicht mehr benötigte Systeme abschalten und zudem eine Cybersecurity Impact Analysis ausführen, sprich: herausfinden, was man den Angreifern schlimmstenfalls alles verraten haben könnte und welche Folgen das hätte.

Diese Hausaufgaben möchte die CISA, die analog zum deutschen BSI für die IT-Sicherheit der Bundesbehörden zuständig ist, bis Ende April dieses Jahres erledigt sehen. Am 1. Mai müssen die betroffenen Behörden der CISA Bericht erstatten und gegebenenfalls wöchentliche Statusupdates liefern. Zum 1. September plant die CISA, dem Department of Homeland Security einen umfassenden Bericht zu den Ergebnissen vorzulegen (siehe

auch Notfalldirektive ED 24-02, online via [ct.de/y7q8](http://ct.de/y7q8)).

### Hintergrund: Midnight Blizzard

Im Januar hatte Microsoft in einem Blogbeitrag (siehe [ct.de/y7q8](http://ct.de/y7q8)) eingestanden, dass die durch Russland finanzierte und früher als Nobelium bekannte Gruppe Midnight Blizzard sich bereits seit November 2023 in den Systemen des Konzerns ausbreitet. Damals wurde unter anderem bekannt, dass die Angreifer mittels Password-Spraying einen alten Testaccount kapern und sich von dort aus in Produktivsysteme hängeln konnten. Dabei sei unter anderem Mailverkehr zwischen hochrangigen Führungskräften und Cybersecurity-Mitarbeitern infiltriert worden. Sicherheitslücken in Software haben die Angreifer damals nicht ausnutzen müssen.

Am 8. März verkündete Microsoft dann in einem weiteren Blogbeitrag (siehe [ct.de/y7q8](http://ct.de/y7q8)), dass die Angreifer sich auch Zugriff auf „manche Quellcode-Repositorien und interne Systeme“ verschaffen konnten. Welche Produkte oder Systeme betroffen sind, ist unklar. Man betont aber, es lägen bislang keine Beweise dafür vor, dass auch Kundensysteme angegriffen wurden. Offenbar aber hätten die Eindringlinge diverse Geheimnisse – also Passwörter, Schlüssel und dergleichen – erbeutet, die unter anderem auch im Mailverkehr zwischen Microsoft und manchen Kunden aufgetaucht sind, und diese in Password-Spraying- und anderen Angriffstechniken eingesetzt. Die davon betroffenen Kunden habe man informiert.

Weiterhin schafft Microsoft es nicht, die Angreifer aus dem eigenen Netz zu



Bild: Rolf Vennenbernd/dpa

werfen. Im Gegenteil, man wirkt zunehmend hilflos: Manche Aktivitäten wie Eindringversuche per Password-Spraying haben sich laut Microsoft vom Januar zum Februar gar verzehnfacht.

### Da war doch noch was?

Ebenfalls von der CISA – genauer gesagt von ihrem Cyber Security Review Board, kurz CSRB – kommt ein Bericht zum Klau eines Signing-Key für die Microsoft-Cloud. Zur Erinnerung: Im Sommer 2023 konnten mutmaßlich chinesische Angreifer einen Schlüssel entwenden, mit dem sie sich dann selbst Zugangs-Token für die Cloud ausstellen konnten. In dem 34-seitigen Bericht (Download via [ct.de/y7q8](http://ct.de/y7q8)) findet sich eine akribische Rekonstruktion des Angriffs, doch nicht nur das.

Der technischen Analyse folgt eine breitere Kritik an Microsoft. Die Autoren schreiben etwa, dass eine Kaskade an vermeidbaren Fehlern den Einbruch erst ermöglicht habe, und dass man bei Microsoft offenbar keine vergleichbaren internen Sicherheitsmaßnahmen vorfindet, wie sie in anderen Cloud-Konzernen gang und gäbe sind. Um es künftig besser machen zu können, sei ein Wandel der Sicherheitskultur des gesamten Unternehmens erforderlich. Dazu zitieren sie ausgerechnet Microsoft-Gründer Bill Gates. Der hatte vor über 20 Jahren dem Thema Sicherheit oberste Priorität in der Produktentwicklung eingeräumt: „Wenn wir die Wahl haben, neue Features zu entwickeln oder Sicherheitsprobleme zu lösen, müssen wir die Sicherheit wählen.“

([jss@ct.de](mailto:jss@ct.de)) **ct**

**CISA-Notfalldirektive, CSRB-Report, Blogbeiträge: [ct.de/y7q8](http://ct.de/y7q8)**

# Kommentar: Security? Oh guck mal, ein Eichhörnchen!

Von Jürgen Schmidt



**D**er Bericht des CSRB ist da – und abseits der vielen technischen Details, die die Autoren zusammengetragen haben, ist noch etwas anderes hochinter-

ressant. Das CSRB machte sich die Mühe, Microsofts Security-Konzepte für kritische Bereiche mit denen der direkten Konkurrenz im Bereich der Cloud Service Provider – also etwa Google und Amazon – zu vergleichen. Dabei stellten sie fest, dass diese für den Schutz ihrer Kronjuwelen jeweils sinnvolle Sicherheitskonzepte implementieren, während Microsoft da nichts Vergleichbares vorzuweisen hat. Sie leiten daraus sogar eine Art Security-Baseline für CSPs ab, deren Einhaltung die CISA überwachen sollte und deren Missachtung – wie sie bei Microsoft demnach vorliegt – eine Nutzung dieser Dienste durch US-Behörden verböte.

## Mögliche Konsequenzen

Da kommen wir zu einem sehr spekulativen Punkt, nämlich was dieses vernichtende Verdict jetzt für Microsoft bedeutet. Gibt es nur ein weiteres Gewitter von hilflosen Schimpfkanonen, die Microsoft in der Gewissheit, dass ihnen niemand etwas anhaben kann, an sich abperlen lässt? Das ist durchaus eine Option. Vielleicht sogar die wahrscheinlichere. Aber ich glaube, dass sich hier durchaus ein wenn auch kleines Fenster für echte Veränderung öffnet. Denn dieses CSRB-Verdikt ist ein scharfes Schwert. Es ließe sich prinzipiell dazu nutzen, den realen Druck auf Microsoft zu erhöhen. Vielleicht sogar so hoch, dass sich Microsoft-CEO Satya Nadella tatsächlich genötigt sieht, die Notbremse zu zie-

hen, um möglichen Aktivitäten der Federal Trade Commission (FTC), der Börsenaufsicht (SEC) oder sogar des US-Präsidenten Biden zuvorzukommen, der sich in den letzten Jahren bereits mehrfach mit präsidenzialen An-sagen in die Cybersecurity eingeschaltet hat. Aber da ist ja noch diese Sache mit der anstehenden Wahl. Letztlich bleibt da jetzt nicht viel mehr als abwarten und Daumen drücken.

## Die Legende, man wisse, was geschah

Der CSRB-Bericht ist eine sehr lohnende Lektüre, der viele Juwelen enthält. So entlarvt er Microsofts Erklärung, man habe eine recht präzise Vorstellung davon, wie dieser ominöse Master-Key gestohlen werden konnte, als reine Schutzbehauptung. Erst auf hartnäckiges Nachfragen gab Microsoft zu, dass man für die Theorie, der Schlüssel sei zur Untersuchung eines Crashes in einem Speicherabzug in einen ungesicherten Bereich gelangt, keinen einzigen echten Beleg habe. Insbesondere konnte man keinen solchen Key in Speicherabzügen finden. Auch für die Theorie, dass der Diebstahl mit der Kompromittierung eines Entwickler-Accounts 2021 zusammenhänge, gibt es keinen Beleg. Somit ist diese Theorie genauso wenig belegt wie die 45 anderen, die Microsoft zuvor zusammengestellt hatte. Letztlich weiß Microsoft bis heute nicht, wie ihnen dieser so wichtige Key gestohlen wurde, lautet das abschließende Fazit des CSRB.

Microsoft hatte im September vergangenen Jahres öffentlich behauptet, man habe eine wahrscheinliche Erklärung für diesen Diebstahl gefunden. Diese offensichtlich auf die Beruhigung seiner Kunden abzielende Spekulation korrigierte Microsoft über Monate nicht. Und das, obwohl das CSRB die angeblichen Fakten, die sie

zu dieser Schlussfolgerung anführten, Stück für Stück als falsch oder irrelevant entlarven konnte und mehrfach nach einer Richtigstellung fragte. Diesen Mangel an Transparenz und Aufrichtigkeit in der Kommunikation kreidete das Board dem Konzern so stark an, dass er es sogar als zentraler Punkt in die Kurzfassung des Berichts schaffte.

## Das Schlüssel-Rätsel

Und noch ein Goodie: Sie erinnern sich möglicherweise, dass da ein längst abgelaufener Key von 2016 gültige Token ausstellen konnte. Dieses Mysterium hat das CSRB auch beschäftigt und hat es gelöst. Ich erzähle das hier in dieser Ausführlichkeit, weil es ein Schlaglicht darauf wirft, was das Board mit mangelnder Security-Kultur meint. Etwas vereinfacht lief das so ab: Microsoft trennt seine Identity-Provider-Aktivitäten in die Bereiche Enterprise (Azure AD respektive Entra ID) und Consumer (MSA). Für den Enterprise-Bereich führte man irgendwann einen regelmäßigen, automatisierten Tausch der Signing Keys ein, um die Auswirkungen einer möglichen Kompromittierung zu reduzieren. Das ist eine allgemein als sinnvoll erachtete Sicherheitsmaßnahme und der Plan war, dass der Consumer-Bereich da irgendwann nachziehen sollte. Da das aber nicht geschah, wechselte man die Signing-Keys halt in unregelmäßigen Abständen gelegentlich von Hand. Bis dann ein fehlgeschlagener, manueller Wechsel dazu führte, dass Microsofts Cloud einen Aussetzer hatte. Dann stellte man das mit dem Wechseln vorsichtshalber ganz ein, weil die Stabilität ja wichtig ist. Security? Oh guck mal, ein Eichhörnchen! (jss@ct.de)

Dieser Kommentar erschien zuerst im exklusiven Abo-Newsletter von heise Security Pro.

# c't-Solar-Guide 2024

Starthilfe für den privaten Einstieg  
in die solare Energieproduktion



<b>Der c't-Solar-Guide 2024 .....</b>	<b>Seite 14</b>
<b>PV-Anlagen dimensionieren, Wirtschaftlichkeit berechnen .....</b>	<b>Seite 22</b>
<b>Solarertrag erfassen und überwachen .....</b>	<b>Seite 28</b>

**Noch nie war es so günstig, mit Photovoltaikmodulen eigenen Strom zu erzeugen: PV-Module mit Spitzenleistungen von gut 400 Watt locken mit Preisen um die 80 Euro. Auch die Kosten für die übrigen Komponenten einer PV-Anlage sind in den letzten Monaten deutlich gesunken. Egal ob kleines Balkonkraftwerk oder große Dachanlage, wir zeigen, was geht, wie so eine PV-Anlage funktioniert und wo Stolperfallen den Spaß am selbsterzeugten Strom dämpfen können.**

Von Georg Schnurer

**S**o eine Solaranlage ist eine feine Sache: Die Sonne scheint auf die Module, der angeschlossene Wechselrichter wandelt die dabei entstehende Gleichspannung in Wechselspannung um und speist die Energie ins Hausnetz ein. Jede erzeugte Kilowattstunde (kWh) muss man nicht vom Energieversorger kaufen. Bei durchschnittlichen Energiepreisen von etwa 30 bis 35 Cent pro kWh (ct/kWh) für private Haushalte macht sich das schnell in der Haushaltstasse bemerkbar.

Wird die mit Sonnenhilfe erzeugte Energie nicht selbst genutzt, fließt sie entweder in das Netz des Energieversorgers und wird mit knapp 8 ct/kWh honoriert oder aber sie lädt einen Akku, der idealerweise so groß ist, dass er die in der Nacht benötigte Energie bereitstellt. So kommt man zumindest in den Sommermonaten weitgehend mit eigenem Strom aus und zahlt nur noch die unumgängliche Grundgebühr an den Energieversorger. Wer bereits ein E-Auto besitzt, kann überschüssige Energie auch über eine mit dem Wechselrichter verbundene Wallbox in den Fahrzeugakku verfrachten. Tipps zur bedarfsgerechten Auslegung einer PV-Anlage geben wir ab Seite 22.

### Keine heile Welt

Ganz so einfach und rosig ist die solare Eigenversorgung allerdings nicht, denn

Planungs-, Bau- und Auslegungsfehler können schon mal zum teuren Desaster führen. Das sollte aber niemanden davon abhalten, zumindest zu prüfen, ob eine PV-Anlage möglicherweise eine lohnende Investition sein könnte, zumal der Einstieg etwa über ein sogenanntes Balkonkraftwerk (BKW) mit weniger als 500 Euro keine unüberwindliche finanzielle Hürde darstellt. Zu den Chancen und Tücken bei BKWs später mehr, zunächst empfiehlt sich etwas Sachkunde: Wie sehen die Komponenten einer PV-Anlage eigentlich aus und wie funktionieren sie? Was sollte man beim Kauf und beim Prüfen von Angeboten beachten?

Wer mit einer PV-Anlage liebäugelt, muss zunächst klären, ob die Wohnung oder das Haus überhaupt geeignete Flächen für solare Energiegewinnung bietet. Ideal sind unverschattete Bereiche mit Südausrichtung. Das kann ein Balkon, eine Wandfläche oder eben ein Dach sein. Wirtschaftlich kaum rentabel sind PV-Module an Flächen mit Nordausrichtung. Ost-/West-Dächer oder Balkone eignen sich hingegen durchaus für die Montage eines PV-Moduls – der Energieertrag ist dann zwar nicht so üppig wie bei einer klar nach Süden ausgerichteten Solaranlage, doch ein Ost-/West-Dach ist für die Optimierung des Eigenverbrauchs durchaus interessant, da es morgens und abends mehr Sonne abbekommt.

Ist eine geeignete Fläche vorhanden, muss geklärt werden, ob die Montage von PV-Modulen dort möglich und zulässig ist.

In einem gemieteten Objekt muss der Vermieter nach aktueller Rechtslage sogar der Installation eines Balkonkraftwerks zustimmen, bei Eigentumswohnungen hat die Eigentümergemeinschaft ein Vetorecht. Es reicht hier oft ein unwilliger Stinkstiefel, um die solaren Träume zu blockieren. Gesetzesinitiativen, die Solaranlagen Vorrang von solchen Blockaden geben würden, sind zwar im Gespräch, doch wann und ob sie jemals in geltendes Recht münden, steht in den Sternen.

Selbst beim eigenen Haus kann man eine PV-Anlage nicht einfach so installieren (lassen): Der Denkmalschutz und regionale Bebauungsvorschriften können durchaus hinderlich sein. Je nach Bundesland kommen noch Abstandsregeln zu Nachbargebäuden hinzu, was vor allem in Reihenhausiedlungen zu Problemen führen kann.

Sind die formalen und geografischen Gegebenheiten geklärt, bleibt bei Dachanlagen noch der Statik-Check: Ist der Dachstuhl tragfähig genug für die vorgesehenen PV-Module? Bei Flachdächern: Sind die Dacheindeckung und die Unterkonstruktion solide genug, damit sie die hier üblicherweise aufgeständerten Module nebst Ballast auch tragen? Und ganz wichtig bei allen Dachformen: In welchem Zustand ist die Dacheindeckung? Steht hier in den nächsten Jahren eine Sanierung an, sollte diese vorgezogen werden. Andernfalls muss die PV-Anlage wieder demontiert und neu aufgebaut werden. Das ist sehr teuer, denn ein wesentlicher Kostenfaktor ist bei PV-Anlagen die Arbeitszeit.

Ist am Aufstellungsort der PV-Module alles überprüft, gilt bei größeren Anla-

### c't kompakt

- Sinkende Preise für PV-Module und Wechselrichter bei gleichzeitig recht hohen Stromkosten machen die Anschaffung einer PV-Anlage lukrativ.
- Das kommende Solarpaket I entbürokratisiert vor allem die Installation von Balkonkraftwerken.
- Wir erklären, wie PV-Module, Wechselrichter und PV-Akkus funktionieren und worauf beim Kauf zu achten ist.

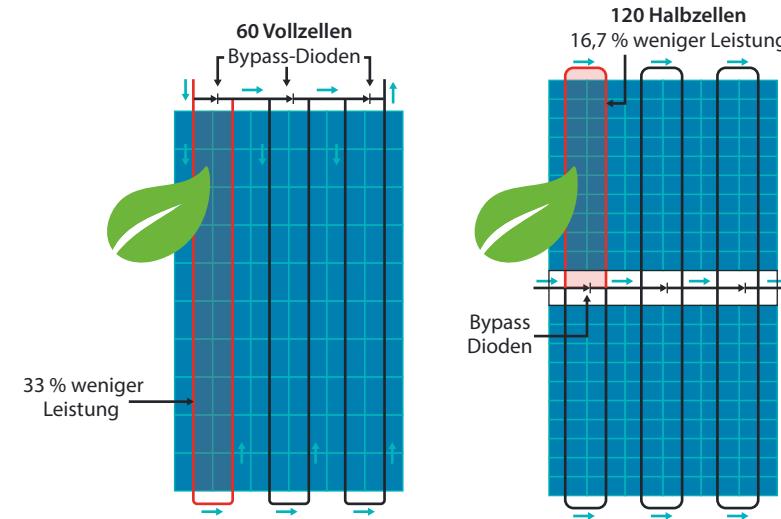
gen der nächste kritische Blick dem Zählerkasten. Damit eine PV-Anlage angeschlossen werden kann, muss die vorhandene Installation halbwegs modern sein und noch genug Platz für den Wurzelzähler (dazu später mehr), Leitungsschutzschalter (Sicherung) und einen Fehlerstromschutzschalter (FI, meist Typ B) bieten. Bei einer dreiphasig angeschlossenen Anlage sind dafür mindestens zehn freie Teilungseinheiten (TE) erforderlich. Wenn noch nicht vorhanden, muss auch noch ein Überspannungsschutz und ein selektiver Leitungsschutzschalter im Zählerkasten eingebaut oder erneuert werden. Welche Umbauten am Zählerkasten tatsächlich erforderlich sind, ermittelt der Elektriker in der Regel bei der Ortsbegehung.

Hier lauert dann auch schon die erste Falle, denn vor allem die bei Google so schnell gefundenen überregionalen PV-Anlagenanbieter erstellen Angebote oft ohne vorherige Ortsbesichtigung. Im Angebot steht dann mitunter „Anschlussarbeiten nach Aufwand“. So ein Angebot ist eigentlich gar keines, denn ein Zählerkastenumbau kann gern mal mit zwei bis dreitausend Euro zu Buche schlagen. Generell empfehlen wir, bei Anlagengrößen jenseits eines BKW nur Kauf- und Installationsverträge zu unterschreiben, die die Kosten fix und nicht nach Aufwand angeben. So eine Kalkulation ist seriös nur nach einer Ortsbegehung mit Check des Aufstellungsorts, des Zählerkastens und der Kabelwege möglich.

Angebote, die Positionen „nach Aufwand“ oder nicht näher spezifizierte Öffnungsklauseln bei „Mehraufwand“ enthalten, sind nicht zu empfehlen. Dennoch findet man solche Scheinangebote mit oft verblüffend niedrigen Preisen zuhauf. Das ist auch nicht weiter verwunderlich, denn viele Anbieter im Netz bauen die offerierten PV-Anlagen gar nicht selbst auf. Sie vermitteln nur den Auftrag an lokale Partner und erhalten dafür eine Provision. Das ausführende Unternehmen ist dann der eigentliche Auftragnehmer, der die Gegebenheiten vor Ort erstmal in Augenschein nimmt und die Installation erledigt. Öffnungsklauseln im Angebot führen dann „wegen des erheblichen Mehraufwands“ gern mal zu deutlich höheren Kosten. Wer dann auch noch eine Anzahlung bei Auftragerteilung geleistet hat, tut sich schwer, wegen der gestiegenen Kosten noch vom Vertrag zurückzutreten.

## Beschattungsverhalten von PV-Modulen

Bei Halbzellenmodulen sinkt die Leistung bei Teilverschattung weniger als bei Modulen mit Vollzellen.



### Die Technik

Die bislang aufgeworfenen Fragen kann man zumeist grob vorab klären und den Anbieter bei der Ortsbesichtigung vor Angebotserstellung auf mögliche Besonderheiten hinweisen. So kommt man zu einem seriösen, weil realistischen Angebot. Um die offerierten Komponenten zu beurteilen, benötigt man etwas Sachkunde. Bei den PV-Modulen selbst ist das inzwischen recht einfach geworden: Angeboten werden zumeist nur noch Elemente, die aus monokristallinen Halbzellen aufgebaut sind.

Ältere PV-Module mit polykristallinen Solarzellen oder Vollzellen findet man eigentlich nur noch im Gebrauchtmärkt und auf so mancher Resterampe. Bei Neu-anlagen sollte man solche Module nicht mehr verwenden, da diese nicht nur einen deutlich geringeren Wirkungsgrad (12–16 Prozent) als monokristalline Zellen (16–22 Prozent) aufweisen, sondern durch die Degradation während der Nutzung weniger Ertrag als im Neuzustand liefern. PV-Module altern nämlich über die Zeit. Besonders in den ersten Nutzungstagen verlieren kristalline Solarzellen ein bis zwei Prozent ihres anfänglichen Wirkungsgrads. Das berücksichtigen die meisten Hersteller aber bereits bei dem im Datenblatt angegebenen Wirkungsgrad. Danach beträgt die Degradation bei modernen Zellen etwa 0,1 Prozent pro Jahr. Deshalb kann man bei aktuellen PV-Modulen von

einer Lebensdauer von etwa 30 Jahren ausgehen.

Ältere Zellen verlieren pro Jahr vor allem durch Spannungsschwankungen und Umwelteinflüsse bis zu 0,5 Prozent ihres ursprünglichen Wirkungsgrads. Nach zehn Jahren hat ein älteres Modul also noch 95 Prozent seines anfänglichen Wirkungsgrads ( $15 \rightarrow 14,25$  Prozent). Das ist kein Grund, ältere Solarmodule gleich zu verschrotten: Als geprüfte und aufgearbeitete Module können sie durchaus noch ein zweites Leben auf Flächen haben, bei denen es nicht auf maximale Energieausbeute pro Quadratmeter ankommt.

### Zweigesichtig

Die Module mit dem höchsten Wirkungsgrad nutzen bifaziale Solarzellen. Hier erzeugt nicht nur das auf die Vorderseite fallende Licht Energie, sondern auch das, das die Zellenrückseite erreicht. Die Produktion einer bifazialen Zelle erfordert nur wenige zusätzliche Bearbeitungsschritte: Die Rückseite der Zellen wird poliert und durch Passivierung photoaktiv gemacht. Das geschieht, indem durch einen Plasmaprozess eine wasserstofffreie Silizium-Nitrid-Schicht (SiN:H) auf der Solarzelloberfläche aufgebracht wird. Anschließend folgt ein thermischer Prozess, wodurch der Wasserstoff aus dieser Schicht in das Volumen der Solarzelle eindringen kann. Der Wasserstoff bildet dort sogenannte Rekombinationszentren

und gleicht so beispielsweise Verunreinigungen aus. Die so bearbeitete Rückseite wird dann für die Kontaktierung geöffnet. All das lässt sich leicht in den etablierten Herstellungsprozess integrieren, weshalb heute oft bifaziale Module angeboten werden. Ihr Einsatz lohnt sich vor allem, wenn die Module tatsächlich Sonnenlicht auf die Rückseite abbekommen. Solarzäune, aber auch Carports und Dächer mit hellen Ziegeln bieten hier gute Voraussetzungen.

Der sogenannte bifaziale Zugewinn liegt je nach Bauart und Ausstellungssituation zwischen fünf und 30 Prozent. Ein monofaziales Modul mit einem angenommenen Wirkungsgrad von 15 Prozent kann als bifaziales Modul also einen Wirkungsgrad zwischen 15,75 und 19,5 Prozent erreichen.

Einen ähnlichen Weg nutzen sogenannte PERC-Module (Passivated Emitter and Rear Cell). Sonnenlicht besteht aus einem weiten Spektrum aus Licht verschiedener Wellenlängen. Besonders die langwelligen roten Anteile durchdringen die Zelle, ohne dabei Elektronen freizusetzen. Um diesen Lichtanteil zu nutzen, besitzen PERC-Module an der Rückseite eine durch Passivierung erzeugte reflektierende Schicht, die das langwellige Licht erneut durch das Modul schickt. Das erhöht den Wirkungsgrad um etwa ein Prozent.

Zum höheren Wirkungsgrad moderner PV-Module trägt auch die Verwendung sogenannter Halbzellen (oft HC für „half cut“ abgekürzt) bei. Halbzellen sind im Prinzip nichts anderes als durchgeschnittenen Standardzellen. Durch die Halbiebung verringert sich der Strom, der durch die einzelne Zelle fließt und das verringert wiederum die dabei auftretende Verlustleistung ( $P_v = R \times I^2$ ).

Typische PV-Module bestehen aus 60 Vollzellen, die aus drei Strings mit je 20 Zellen und je einer Bypassdiode verschal-

tet werden. Bei Halbzellenmodulen werden 120 Halbzellen auf sechs Strings und drei Bypassdioden verteilt. Das verbessert auch das Verhalten des Moduls bei Teilverschaltung. Zudem entsteht durch die Halbzellen zusätzlicher Raum zwischen den Zellen. Das bewirkt mehr Reflexion innerhalb des Laminats und erhöht so die Ausbeute des Moduls. Dieser Effekt ist auch für die bessere Ausbeute bei diffuser Sonneneinstrahlung verantwortlich.

## Bauformen

Ein typisches PV-Modul besteht aus einer dünnen Schicht (0,8–3,2 Millimeter) gehärtetem Solarglas, dem Laminat mit den kontaktierten und vergossenen Solarzellen und einer Rückseite. Günstige Module nutzen eine Plastikfolie als Rückseite (Glas-Folie), robustere Module verwenden auch rückseitig eine Glasscheibe (Glas-Glas). Die zusätzliche Glasscheibe auf der Rückseite schützt nicht nur, sondern stellt auch sicher, dass sich die Solarzellen in der Mitte bei Belastung gleichmäßig und spannungsfrei biegen. Das beugt nicht nur Zellenbrüchen besser vor, sondern erhöht auch die Schne-, Wind- und Hagelfestigkeit. Dafür sind Glas-Glas-Module etwas teurer und deutlich schwerer als Glas-Folien-Module. Ein Aluminiumrahmen trägt und schützt die Konstruktion.

Für Sonderanwendungen wie etwa Terrassenüberdachungen oder Carports werden gern rahmenlose Glas-Glas-Module genutzt. Diese sind teiltransparent, lassen also in den Lücken zwischen den eingebetteten Solarzellen noch Sonnenlicht durch. Die Transparenz schwankt hier zwischen 5 und 51 Prozent, je nachdem, wie viel Abstand der Hersteller zwischen den Solarzellen gelassen hat. Die Leistung solcher Module ist naturgemäß geringer als bei klassischen Modulen, denn wo keine Solarzelle ist, kann schließlich auch kein Licht in elektrische Energie

umgewandelt werden. Zudem nutzen aktuell alle Hersteller nur Vollzellenmodule. Rahmenlose Glas-Glas-Module sind deutlich teurer (ab 170 Euro für 245 Wp) und schwerer als PV-Module mit Rahmen. Es gibt sie mit Glasstärken zwischen hauchdünnen 5 (2-1-2) und robusten 9 Millimetern (4-1-4).

Die Sonderform unter den Sonderformen sind Isolierglas-Solarmodule. Sie ersetzen normale Isolierglas-Elemente und werden mitunter für Wintergärten, Glashäuser und andere glasüberdachte Wohnbereiche eingesetzt. Der Spaß ist allerdings sündhaft teuer, dafür gibt es solche PV-Elemente aber auch in individuellen Maßen und Formen.

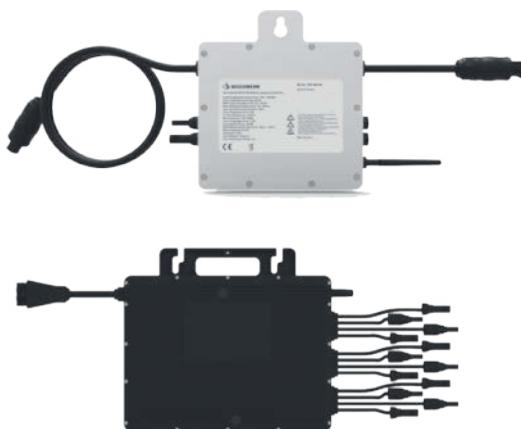
Neben den typischen auf dem Dach montierten PV-Modulen bieten einige Hersteller auch sogenannte In-Dach-PV-Module als Alternative zu Dachziegeln an. Das verspricht auf den ersten Blick geringere Kosten vor allem bei Neubauten; schließlich entfällt hier die klassische Dacheindeckung. Das Ganze hat aber einen entscheidenden Haken: Mangels Standardisierung kocht hier jeder Anbieter sein eigenes Süppchen. Geht also mal eines dieser integrierten Module kaputt, muss es gegen ein baugleiches Modell vom gleichen Hersteller ersetzt werden.

Ähnliches gilt auch für Solardachziegel: Auch hier gibt es bislang keinen einheitlichen Standard und als Kunde kann man nur hoffen, dass es im Falle eines Falles noch passende Ersatzziegel gibt. Zudem haben Solarziegel sehr viele elektrische Kontakte und jeder zusätzliche Kontakt ist auch immer eine potenzielle Fehlerquelle.

Vor dem Modulkauf sollte man sich die wichtigsten Kenngrößen der ins Auge gefassten Module genau ansehen: Passen die Module von ihren Dimensionen (Abmessungen, Bauform, Gewicht) zum Aufstellungsort? Was leistet das Modul unter



**PV-Module gibt es in den unterschiedlichsten Bauformen. Von links nach rechts: der Klassiker mit Rahmen, rahmenloses Glas-Glas-Modul, flexibles Folienmodul, Solarziegel und In-Dach-Module.**



**Für jeden Anwendungsfall der richtige Wechselrichter:** In kleinen Anlagen kommen meist Mikrowechselrichter zum Einsatz, String-Wechselrichter und Hybridwechselrichter versorgen üblicherweise größere Dachanlagen.

Idealbedingungen (Nennleistung ( $P_{MPP}$ ), Wirkungsgrad)? Passen die elektrischen Kenngrößen (Leerlaufspannung ( $U_{OC}$ ), Nennspannung ( $U_{MPP}$ ), Nennstrom ( $I_{MPP}$ ), Kurzschlussstrom ( $I_{SC}$ ) zum Wechselrichter?

## Wechselrichter

Neben den PV-Modulen ist der Wechselrichter das zweite bestimmende Element einer Solaranlage. Bei Wechselrichtern unterscheidet man je nach Konstruktionsweise zwischen Mikrowechselrichtern, String-Wechselrichtern und Hybridwechselrichtern. Solaranlagen mit nur wenigen Modulen nutzen üblicherweise Mikrowechselrichter. Diese können ein bis sechs Module ansteuern. Das Besondere ist hier, dass jedes Modul einzeln an den Wechselrichter angeschlossen wird. Ein sogenannter MPP-Tracker (Maximum Power Point) pro PV-Anschluss sucht hier für jedes Modul den optimalen Arbeitspunkt. Der MPP-Tracker passt dazu kontinuierlich die Last an und bestimmt so das ideale Strom- und Spannungsverhältnis.

Die meisten Mikrowechselrichter sind für Balkonkraftwerke vorgesehen. Sie steuern ein oder zwei PV-Module an und liefern nur dann Energie, wenn sie ans Netz angeschlossen sind und dort auch Spannung anliegt. Das ist vor allem für BKWs mit einfacherem Schuko-Stecker elementar, damit die Kontakte bei gezogenem Stecker keine Spannung führen. Bei Stromausfall liefern sie deshalb auch keinen Notstrom. Dafür sind Mikrowechselrichter einfach in der Handhabung. Hohe Gleichspannungen treten hier nicht auf. Damit so ein Mi-

krowechselrichter korrekt arbeitet, müssen die angeschlossenen Module passen. Das heißt, sie dürfen keine höhere Leerlaufspannung (UOP) liefern als die maximale Eingangsspannung des Wechselrichters. Gleiches gilt für die Maximalleistung des Moduls. Sie muss im Bereich der zulässigen Eingangsleistung (STC) liegen. Auch den maximalen Eingangsstrom des Wechselrichters darf das angeschlossene PV-Modul nie überschreiten.

Eine Sondervariante der Mikrowechselrichter sind sogenannte Modulwechselrichter. Sie steuern jeweils nur ein PV-Modul an, werden aber an der Netzspannungsseite parallelgeschaltet. Eine Zentrale steuert die einzelnen Wechselrichter und ermöglicht auch eine modulgenaue Ertragsüberwachung. Modulwechselrichter sind durchaus für den Aufbau größerer PV-Anlagen gedacht. Ihre Hersteller versprechen besonders bei wechselnder Verschaltung einen besseren Gesamtertrag, weil jedes Modul stets im optimalen Arbeitspunkt betrieben wird. Ohne (wechselnde) Verschaltung haben Modulwechselrichter allerdings einen geringeren Gesamtwirkungsgrad als etwa die nachfolgend behandelten String-Wechselrichter. Zudem besteht eine PV-Anlage mit Modulwechselrichtern aus sehr vielen Einzelkomponenten und einer recht üppigen Verdrahtung. Das erhöht die Ausfallwahrscheinlichkeit, auch wenn ein Defekt an einem einzelnen Modul oder einem Modulwechselrichter hier nicht zum Ausfall der gesamten Anlage führt. Zudem sind größere PV-Anlagen mit Modulwechselrichtern in der Regel teurer als solche mit String-Wechselrichtern.

Werden einzelne Teile der PV-Anlage zeitweise beschattet, bieten sich als Alternative zu Modulwechselrichtern sogenannte Leistungsoptimierer an. Sie haben einen integrierten MPP-Tracker, steuern wie ein Modulwechselrichter ein einzelnes PV-Modul an und sorgen in der Theorie auch bei Teilverschaltung für einen optimalen Arbeitspunkt. Ihr Ausgang liefert Gleichspannung und wird in den jeweiligen String eingebunden. Der Einsatz von Moduloptimierern ist aber in der Praxis oft nicht sinnvoll: Zum einen ist der Optimierer ein zusätzlicher Kostenfaktor und eine zusätzliche Fehlerquelle. Zum anderen sind moderne PV-Module mit Halbzellen mit ihren sechs Bereichen und den integrierten Bypass-Dioden in vielen Beschattungssituationen annähernd gleichwertig. Zudem raten viele Wechselrichterhersteller explizit von der Nutzung von Leistungsoptimierern ab.

## An einem Strang

An einen String-Wechselrichter werden nicht einzelne Module, sondern ein oder mehrere Strings, also in Reihe geschaltete PV-Module, angeschlossen. Pro String gibt es einen MPP-Tracker. Deshalb ist es wichtig, dass alle PV-Module im Strang die gleiche Ausrichtung haben, und idealerweise kein Modul verschaltet wird. Hat man also ein Dach mit Ost-West-Ausrich-

tung, werden alle PV-Module auf dem Ost-Dach in einem String zusammengefasst. Die Module auf dem West-Dach bilden dann den zweiten Strang. Gibt es noch Dachteile mit weiterer Ausrichtung, muss man gegebenenfalls einen zusätzlichen Wechselrichter vorsehen.

Durch die Reihenschaltung der PV-Module entstehen am Wechselrichter mitunter Gleichspannungen von mehreren hundert Volt. Das erfordert besondere Vorsicht beim Anschluss der Module und der Strings an den Wechselrichter. Gleichspannungen jenseits von 120 Volt können schließlich zu einem potenziell tödlichen Stromfluss durch den menschlichen Körper führen. Auch beim String-Wechselrichter müssen die maximale Strangspannung, die Gesamtleistung und die übrigen elektrischen Parameter zur Modulanzahl und Modulaufteilung passen. Die Montage einer Dachanlage mit String-Wechselrichter ist deshalb eher nichts für fachfremdes Personal.

Ein Hybridwechselrichter ist im Prinzip ein String-Wechselrichter mit zusätz-

lichem Gleichspannungsein- und -ausgang, der mit einem Akku verbunden werden kann. Überschüssige, nicht direkt von der Hausinstallation genutzte Energie speichert der Hybridwechselrichter im angeschlossenen Akku; liefern die PV-Module hingegen nicht mehr die benötigte Energie, zapft der Hybridwechselrichter den Akku an, bis dieser leer ist. Erst dann holt sich das System Energie aus dem Netz des Versorgers. Sind die Komponenten richtig ausgelegt, muss man zumindest in der sonnigen Jahreshälfte keinen teuren Strom einkaufen.

Manche Hybridwechselrichter bieten bei angeschlossenem Akku auch noch eine Notstromversorgung an. Je nach Bauform steht der Notstrom nach einem Netzausfall an einem speziellen Ausgang oder aber auch im gesamten Haus zur Verfügung. Anders als bei einer USV wird die Spannungsversorgung nicht kontinuierlich sichergestellt. Schließlich muss der Wechselrichter bei einem Netzausfall zunächst das Netz von der Hauselektrik trennen,

bevor er das Gebäude mit der aus dem Akku und der noch von den PV-Modulen gelieferten Energie versorgt. Ohne Netztrennung würde man die gesamte Straße mit Energie versorgen. Das ist zum einen gefährlich, denn ein Netzausfall oder eine Netzbabschaltung hat in der Regel einen Grund. Zum anderen wäre jeder noch so große Akku ratzatz leer, wenn alle Nachbarn Energie abzapfen.

Ähnlich wie beim Netzausfall verhält sich der Wechselrichter auch bei der Wiederkunft des Netzes: Der Wechselrichter unterbricht zunächst die Hausversorgung via Akku beziehungsweise PV-Modulen und stellt danach wieder eine Verbindung zum Netz des Energieversorgers her. In beiden Fällen gibt es deshalb eine kurze Unterbrechung der Energieversorgung. Für Server und andere kritische Elemente muss deshalb immer noch eine USV her.

Wer sich die Leistungskurven einer PV-Anlage mit Akku genauer ansieht, wird immer mal wieder bemerken, dass Energie ins Netz eingespeist wird, obwohl der

## Erleichterungen im Wartestand

Das Solarpaket I bringt vor allem für Privatleute erhebliche Vereinfachungen mit sich. So wird die Meldepflicht für Balkonkraftwerke beim Netzbetreiber abgeschafft und die Menge der im Markenstammregister anzugebenden Daten drastisch reduziert. Gleichzeitig steigt die zulässige Wechselrichterleistung bei BKWs von derzeit 600 Watt auf 800 Watt. Auch nimmt der Gesetzgeber den Energieversorgern die Möglichkeit, die Inbetriebnahme eines BKW durch einen verzögerten Zählerwechsel zu blockieren. Übergangsweise sollen jetzt auch rückwärts laufende Zähler geduldet werden. Es ist dann am Netzbetreiber, für einen zügigen Zählerwechsel zu sorgen. Auch das leidige Thema „Wieland-Stecker“ adressiert das Solarpaket. Allerdings ist das keine gesetzgeberische, sondern vielmehr eine eher technische Frage. Das soll in einer überarbeiteten Norm durch den VDE geregelt werden.

Für größere PV-Anlagen mit einer Maximalleistung von bis zu 30 kWp soll künftig das vereinfachte Netzzanschlussverfahren Anwendung finden. Bislang gilt das nur für kleine Anlagen mit bis zu 10,8 kWp. Auch die technischen Anforderungen an

kleinere Anlagen bis zu 25 kWp sollen sinken. So ist keine Pflicht mehr zur Installation von Steuerungselementen zur Anlagenabschaltung durch den Netzbetreiber vorgesehen. Das soll die optionale Direktvermarktung des erzeugten Stroms vereinfachen. Die konkrete technische Umsetzung einer Steuerungsoption soll vielmehr in bilateralen Verträgen zwischen dem privaten Erzeuger und dem Direktvermarkter geregelt werden. Auch das Repowering von Dachanlagen, also der Austausch älterer PV-Module gegen leistungsfähigere, soll vereinfacht werden.

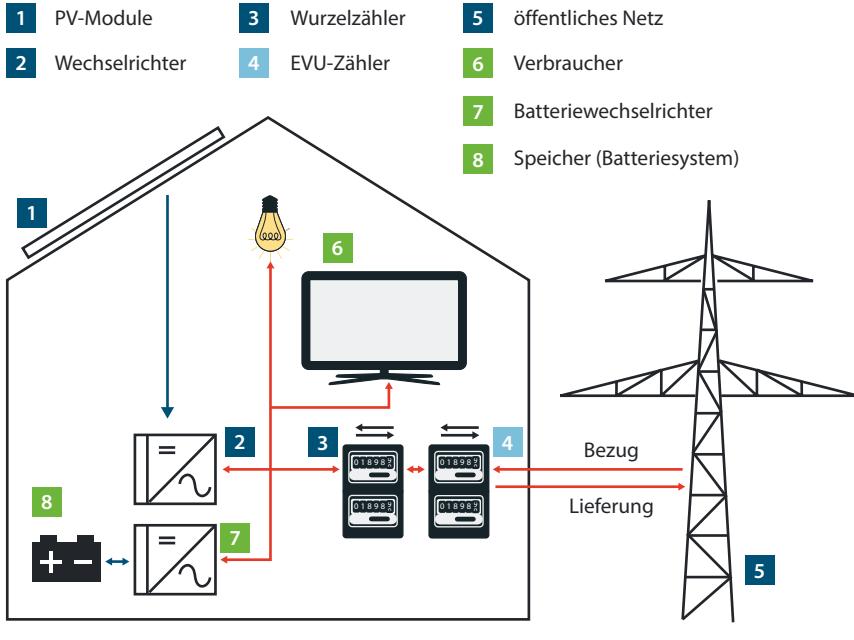
Die Einführung der „Gemeinschaftlichen Gebäudeversorgung“ soll eine unbürokratische Lieferung von PV-Strom innerhalb eines Gebäudes ermöglichen. Die Weitergabe von PV-Strom soll von weitergehenden Lieferantenpflichten wie etwa der Pflicht zur Reststromlieferung befreit werden. Damit sind Modelle möglich, bei denen private und gewerbliche Mieter und Eigentümer innerhalb eines Gebäudes erst einmal mit dem auf dem Gebäude erzeugten PV-Strom versorgt werden und jeder Mieter den verbleibenden Energiebedarf von einem anderen Lieferanten beziehen kann.

Auch beim klassischen Mieterstrom-Modell gibt es Erleichterungen: Mieterstrom darf künftig auch auf gewerblichen Gebäuden und Nebenanlagen erzeugt werden, solange der Stromverbrauch ohne Netzdurchleitung erfolgt. Zudem dürfen mehrere PV-Anlagen zu einer zusammengefasst werden, was den aktuell unverhältnismäßig hohen technischen Aufwand bei der Energieerzeugung, Verteilung und vor allem der Abrechnung reduziert.

Daneben bietet das Solarpaket I noch viele weitere Erleichterungen für gewerbliche PV-Anlagen. Beispielsweise soll die Pflicht zur Direktvermarktung bei Anlagen mit mehr als 100 kWp entfallen. Überschussmengen können künftig an den Netzbetreiber weitergegeben werden, wenngleich ohne Vergütung für die eingespeiste Energie. Das ist vor allem für Anlagen mit hohem Eigenverbrauch interessant. Zudem soll die aufwendige Anlagenzertifizierung künftig erst ab einer Einspeiseleistung von 270 kW beziehungsweise einer installierten Leistung von mehr als 500 kWp erforderlich sein. Weitere Regulierungen sollen den Ausbau von Freiflächenanlagen fördern.

## AC-gekoppelter Solarspeicher

Wechselspannungsgekoppelte Speichersysteme (AC-gekoppelt) kommen vornehmlich zum Nachrüsten infrage. Ihr Speichersystem hat einen eigenen Wechselrichter.



Akku noch gar nicht voll ist. Das liegt daran, dass jedes Akkusystem und jeder Wechselrichter eine maximale Ladeleistung hat. Diese liegt je nach System meist zwischen zwei und sechs Kilowatt und damit deutlich unterhalb der üblicherwei-

se aus dem Wechselrichter-Akku-Gespann beziehbaren Ausgangsleistung.

Hybridwechselrichter gibt es auch mit integriertem Akku. Das macht das System sehr kompakt, schränkt aber die Erweiterbarkeit des Akkus mitunter ein. Wer mit

so einer Lösung liebäugelt, sollte viel Sorgfalt bei der Wahl der Akkukapazität walten lassen. Zwar gibt es für einige dieser integrierten Lösungen Akku-Erweiterungssysteme, doch häufig ist eine Akku-Erweiterung nur innerhalb des ersten Betriebsjahres und ausschließlich über den Hersteller möglich. Das liegt an der unvermeidlichen Alterung der Akkuzellen: Mischt man alte und neue Zellen, kommt das Batteriemanagementsystem möglicherweise ins Trudeln.

Jeder größere Wechselrichter arbeitet mit einem sogenannten Wurzelzähler. Er sitzt zwischen dem Zähler des Energielieferanten und dem Hausanschluss. Über diesen Zwischenzähler erfährt der Wechselrichter, wie viel Energie aktuell vom Haus umgesetzt wird und wie viel Energie zurück ins Netz des Versorgers fließt. So kann beispielsweise ein Hybridwechselrichter entscheiden, ob der angeschlossene Akku lädt oder Energie abgeben soll. Schließlich will man den Akku nur mit Solarstrom und nicht mit teurem Netzzstrom befüllen.

Der Wurzelzähler ist oft ein eigenständiges Gerät, das meist via Modbus (RS485 oder Modbus TCP) angesprochen wird. Einige Hybridwechselrichter integrieren den Wurzelzähler aber auch. Das macht den Anschluss ans Hausnetz etwas komplizierter, weil dann zwei dicke Leitungen ( $5 \times 16 \text{ mm}^2$ ) vom Zählerkasten zum Wechselrichter geführt werden müssen.

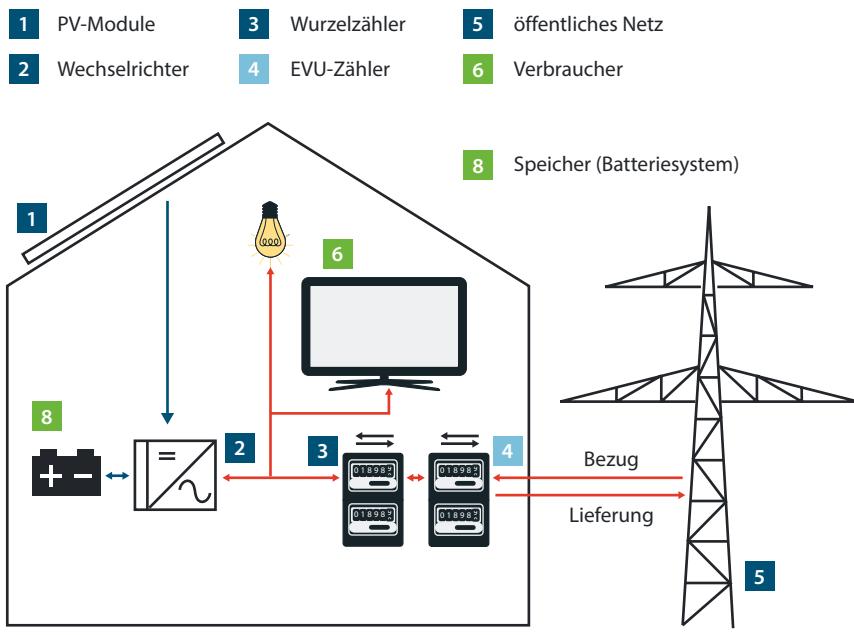
## Batteriespeicher

Speichersysteme für PV-Anlagen arbeiten zumeist als sogenannte gleichspannungsgekoppelte Systeme (DC-gekoppelt). Der Akku wird direkt vom Hybridwechselrichter angesteuert und in der Regel ausschließlich über die von den Solarmodulen gelieferte Gleichspannung geladen. Das macht die Anlage nicht nur kompakt, sondern ermöglicht auch eine vergleichsweise unkomplizierte Steuerung.

Zum Nachrüsten setzt man hingegen oft wechselspannungsgekoppelte Speichersysteme (AC-gekoppelt) mit zwei getrennten Wechselrichtern ein: einer für die eigentliche PV-Anlage, einer zur Ansteuerung des Akkus. Der Akku wird in so einem System aus dem Hausnetz (Wechselspannung) geladen. Damit das immer nur dann passiert, wenn überschüssiger Solarstrom zur Verfügung steht, muss der zweite Wechselrichter entweder direkt mit dem Wechselrichter der PV-Anlage kommunizieren oder über

## DC-gekoppelter Solarspeicher

Gleichspannungsgekoppelte Speicher (DC-gekoppelt) sind typisch für PV-Anlagen im privaten Umfeld. Deren Hybridwechselrichter steuert auch den Akku an.



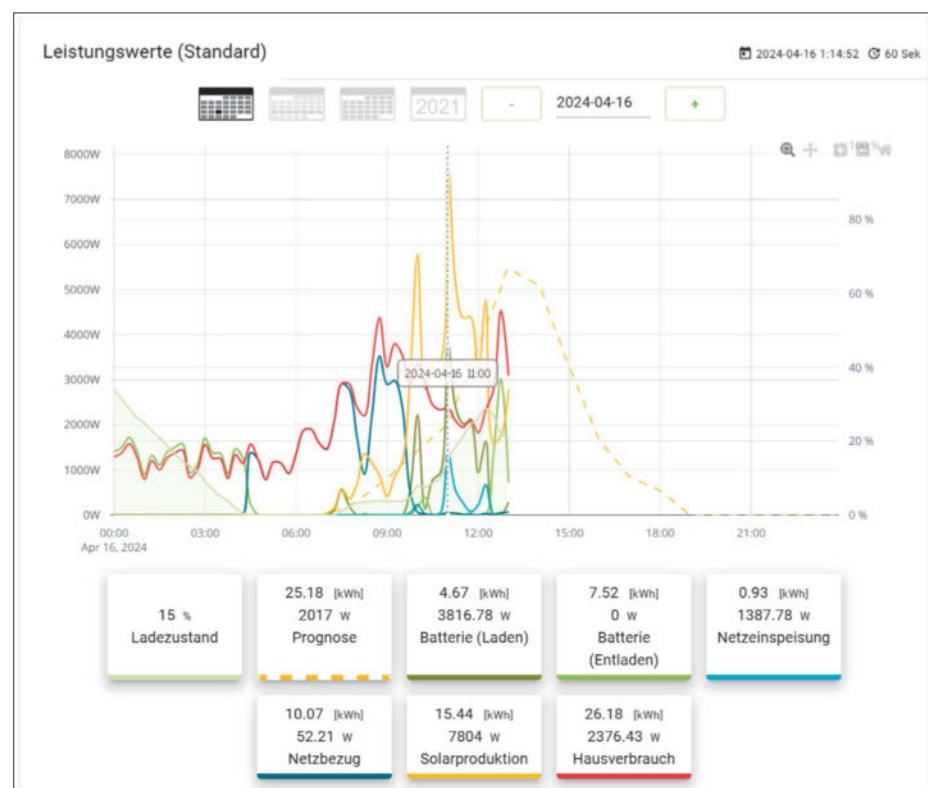
einen eigenen, zusätzlichen Wurzelzähler verfügen.

Moderne PV-Akkus nutzen in der Regel Lithium-Eisenphosphat-Zellen (Li-FePO<sub>4</sub>, ca. 10 kg/kWh). Diese haben zwar eine geringere Energiedichte als etwa Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt- (Li-NMC, 6-7 kg/kWh) oder Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminimumoxid-Zellen (Li-NCA). Dafür sind sie in der Anschaffung günstiger und im Betrieb sicherer. Zudem spielen das höhere Gewicht und Volumen beim stationären Einsatz keine so große Rolle wie etwa in Elektrofahrzeugen. Aktuelle LiFePO<sub>4</sub>-Akkus halten bei entsprechend optimiertem Batteriemanagementsystem 15 bis 20 Jahre, die energiedichteren Li-NMC- oder Li-NCA-Akkus altern hingegen deutlich schneller.

Bei PV-Speichersystemen unterscheidet man zwischen Hochvolt- und Niedervoltakkus. Hochvoltsysteme arbeiten mit Gleichspannungen zwischen 100 und 500 Volt. Sie eignen sich gut für leistungsstarke PV-Akkus. Niedervoltsysteme mit typischerweise 48 Volt Spannung findet man hingegen häufiger in kleinen Anlagen oder bei Insellösungen, also PV-Anlagen ohne Netzanschluss. Welcher Speichertyp benötigt wird, bestimmt der Wechselrichter.

## Rechtliche Hürden

PV-Anlagen mit einer Maximalleistung jenseits von 600 Watt (Stand zum Redaktionsschluss, steigt nach Verabschiedung des Solarpakets I auf 800 Watt) müssen von einer Fachfirma installiert und aktuell sowohl im Markenstammregister als auch beim Netzbetreiber angemeldet werden. Während die Registrierung im Markenstammregister weitgehend standardisiert ist und in Eigenregie erledigt werden kann, wird die Anmeldung beim Netzbetreiber gern mal zum nervenaufreibenden Marathon. Jeder Netzbetreiber kocht da nach wie vor sein eigenes Süppchen und wartet schon mal mit überraschenden Zusatzforderungen auf, wie etwa der Installation eines sogenannten APZ-Feldes im Zählerschrank für später zu installierende intelligente Stromzähler. Die Anmeldung muss stets durch einen beim Netzbetreiber registrierten Fachbetrieb erfolgen. Zudem darf die PV-Anlage erst in Betrieb genommen werden, wenn der Energieversorger sein OK gibt. Das kann sich durch den allfälligen Zählertausch – es wird ein Zweirichtungszähler benötigt – schon mal über Monate hinziehen.



**Obwohl der PV-Akku noch längst nicht voll ist und genug Solarenergie zur Verfügung steht, wird Strom ins Netz eingespeist. Schuld daran ist die Begrenzung der maximalen Ladeenergie beim Akku-System.**

Etwas einfacher ist die Lage bei kleinen PV-Anlagen mit maximal 600 Watt (später 800 Watt) maximaler Wechselrichterleistung. Diese sogenannten Balkonkraftwerke (BKW) darf jeder selbst aufbauen. Sie müssen, wie die großen Anlagen, momentan noch im Markenstammregister und beim Netzbetreiber angemeldet werden. Auch ihr Betrieb ist im Moment erst zulässig, wenn der Zähler getauscht und das Go vom Netzbetreiber da ist. Zudem fordern manche nach wie vor die Installation einer sogenannten Wieland-Steckdose.

Mit dem sogenannten Solarpaket I werden viele der genannten Hürden beseitigt und damit der Ausbau privater PV-Anlagen gefördert. Das am 16. August 2023 vom Kabinett beschlossene Paket hat es lange nicht über die erste Lesung im Bundestag (19. Oktober 2023) hinausgeschafft. Erst blockierten die Folgen des Bundesverfassungsgerichtsurteils (15. November 2023) zur Verwendung der nicht abgerufenen Kreditmittel aus dem Corona-Topf die Umsetzung, dann gab es Streit um den von der deutschen Solarwirtschaft geforderten Resilienzbonus. Seither gab es von vielen Seiten Einwände und Zusatz-

forderungen. Nun scheint das Gesetzespaket aber auf der Zielgeraden angekommen zu sein (siehe S. 19). Nötig war dazu anscheinend ein peinlicher Kuhhandel: Die Sektorbetrachtung im existierenden Klimaschutzgesetz entfällt zugunsten einer Summenbildung bei den CO<sub>2</sub>-Einsparungen. Der Verkehrsminister kann also weiterhin untätig bleiben, weil andere Bereiche ihre Einsparungsziele übererfüllen. Dafür wird das Solarpaket I nun endlich zur zweiten und dritten Lesung in den Bundestag gebracht. Wann sich dafür ein Termin im Sitzungskalender findet, stand zum Redaktionsschluss noch nicht fest.

Trotz Solarpaket I wird es wohl keine übergreifende staatliche Förderung privater PV-Anlagen mehr geben. Wer die Anschaffung einer größeren Anlage (mehr als 800 Watt) plant, sollte sich aber vor Vertragsabschluss umhören, ob es nicht doch regionale Fördertöpfe gibt, die man anzapfen kann. Manche Kommunen und auch einige Stadtwerke geben nach wie vor Zuschüsse, wenn man das eigene Dach mit PV-Modulen belegt. (gs@ct.de) ct

**Mehr zu den Themen Solarpaket I und Leistungsoptimierern: [ct.de/y8ra](http://ct.de/y8ra)**

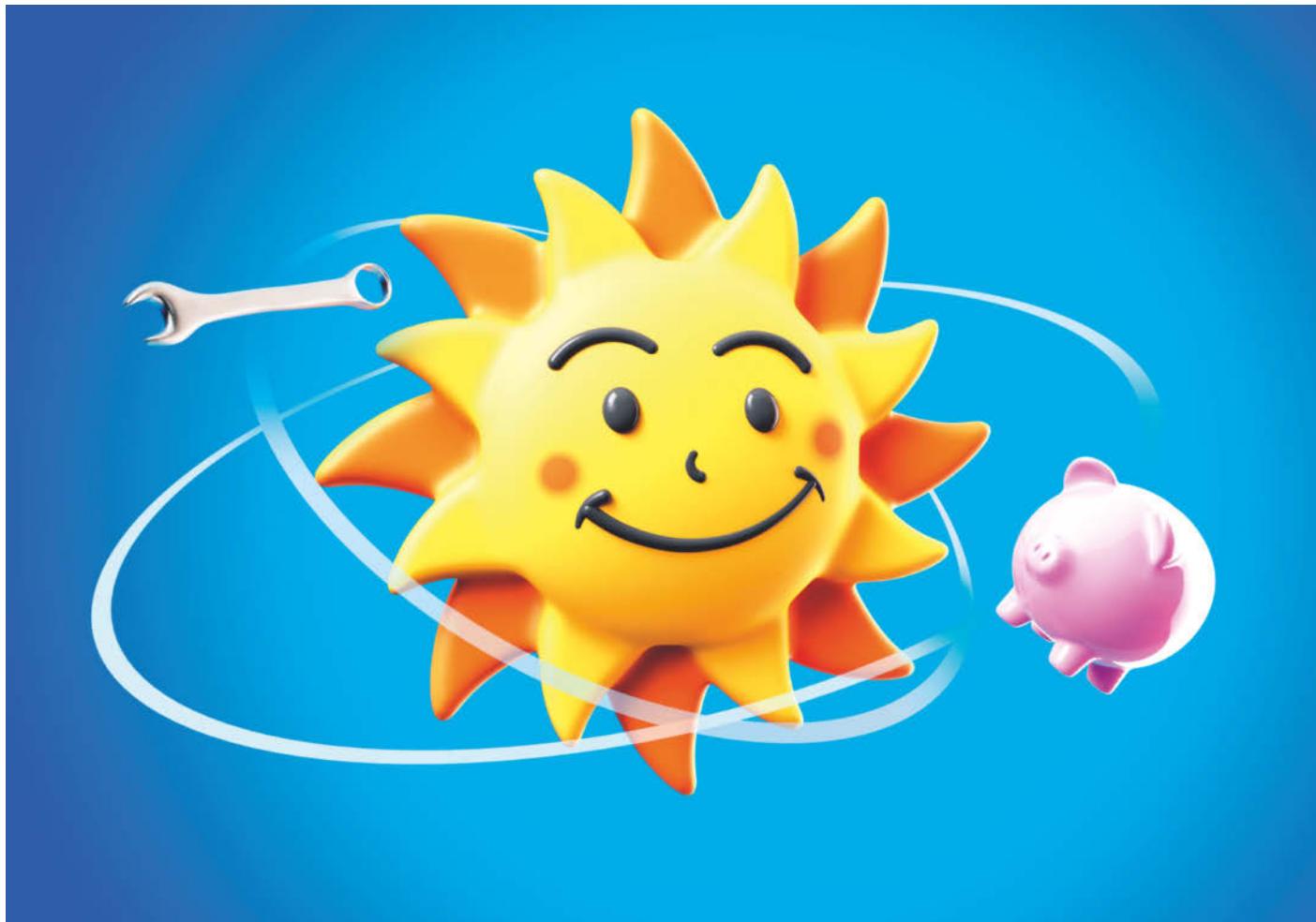


Bild: Moritz Reichartz

# Viel hilft viel

## PV-Anlagen dimensionieren, Wirtschaftlichkeit berechnen

**Das Auslegen einer PV-Anlage mit Speicher ist nicht ganz einfach. Jahreszeitliche Unterschiede spielen genau so eine Rolle wie steuerliche Fragen und technische Grenzen. Doch es gibt nützliche Hilfsmittel und Modelle, mit denen Sie sich der richtigen Größe nähern können.**

Von Jan Mahn

**D**arf's ein bisschen mehr sein? Mit dieser Frage müssen sich alle beschäftigen, die eine freie Dachfläche besitzen und darüber nachdenken, in eine Photovoltaikanlage zu investieren. Die Auslegung einer solchen Anlage ist eine Optimierungsaufgabe mit vielen Parametern, einigen Unbekannten und diversen Restriktionen, die dieser Artikel der Reihe nach vorstellt und einordnet – angereichert mit Erfahrungen von real existierenden Anlagen sowie Empfehlungen für nützliche Werkzeuge, die bei der Optimierung helfen. Mit diesem Wissen können Sie sich der idealen Anlagengröße zumindest nähern.

Zunächst sind da ein paar Eckdaten, die Sie als zukünftiger Betreiber der Anlage beschaffen müssen. Den jährlichen Strombedarf im Haushalt müssen Sie für

die Planung kennen, die letzten Jahresrechnungen Ihres Energieversorgers liefern diese Information. Auch der Bezugspreis pro Kilowattstunde findet sich dort. Für Rechenbeispiele in diesem Artikel nehmen wir 30 Cent pro Kilowattstunde an, was im April 2024 ein realistischer Durchschnittspreis ist. Wer seinen Strom beim Grundversorger bezieht, zahlt eher 35 Cent. Falls Sie mehr zahlen, sollten Sie dringend über einen Wechsel nachdenken, denn auch mit PV-Anlage werden Sie künftig Strom beziehen.

Dann sollten Sie über mehrere Tage herausfinden, wie hoch der Strombedarf in den dunklen Stunden zwischen Sonnenuntergang und -aufgang ungefähr ist. Besuchen Sie einfach gegen 18 Uhr Ihren Stromzähler, notieren den Wert und wiederholen die Ablesung am Morgen gegen

8 Uhr. Berechnen Sie die Differenz und mitteln Sie die Messungen über ein paar Tage. Damit haben Sie später eine gute Grundlage, um einen Batteriespeicher zu dimensionieren.

## Einspeisen und vergüten

Einfach zu ermitteln ist die Einspeisevergütung pro kWh. Die überweist Ihnen Ihr Netzbetreiber für den Strom, den Sie im eigenen Haus nicht verbrauchen können. Ihre Höhe berechnet nicht Ihr Netzbetreiber, sondern die Bundesnetzagentur auf Grundlage des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG). Maßgeblich sind der Zeitpunkt der Inbetriebnahme (die aktuellen Werte gelten für Inbetriebnahmen zwischen 1. Februar und 31. Juli 2024), die Größe und die Art der Anlage. Bei der Größe kommt es immer auf die „installierte Leistung“ an. Gemeint ist bei PV-Anlagen die Summe der Modulleistungen, nicht etwa die Spitzenleistung der Wechselrichter und auch eine softwareseitige Begrenzung im Wechselrichter ändert daran nichts. Bei der Schreibweise der Einheit für die Spitzenleistung müssen all jene tapfer sein, die es gewohnt sind, mit physikalischen Einheiten zu rechnen: In der PV-Branche, in einschlägigen Datenblättern und auch bei der Bundesnetzagentur kürzt man „Kilowatt Spitzenleistung“ mit kWp (Kilowatt Peak) ab, auch wenn das p nicht für eine SI-Einheit steht.

Bei Anlagen, die Sie auf dem eigenen Grundstück planen, handelt es sich in der Regel um solche mit sogenannter Teileinspeisung – soll heißen: Der Wechselrichter hängt zusammen mit den Verbrauchern hinter dem Zweirichtungszähler Ihres Messstellenbetreibers. Energie, die Sie momentan im Haus benötigen, wird direkt verbraucht. Kann der Wechselrichter mehr liefern, weil die Sonne kräftig scheint, fließt Strom ins öffentliche Netz, der Zähler verbucht diese Energie in seinem Exportregister und Sie erhalten nach der Ablesung eine Vergütung dafür.

Das andere Modell neben der Teileinspeisung ist die Volleinspeisung, die heute vor allem dann in Betracht kommt, wenn Sie Dachflächen mit PV belegen, unter denen kein nennenswerter Eigenverbrauch stattfindet – zum Beispiel eine Lagerhalle oder ein landwirtschaftliches Gebäude, das auf einem Grundstück steht, auf dem niemand Strom verbraucht.

Auf diesen Fall geht dieser Artikel nur knapp ein, weil die Optimierung der Anlagengröße trivial ist und eher Gewerbe

und Landwirtschaft betrifft: Eine Anlage mit Volleinspeisung auf und an Gebäuden (und der Vollständigkeit halber laut EEG auch an Lärmschutzwänden) erhält aktuell 12,87 Cent pro Kilowattstunde, wenn sie bis zu 10 Kilowatt Spitzenleistung liefert. Bei größeren Anlagen bis 100 Kilowatt gibt es 10,79 Cent. Noch größere Anlagen fallen nicht mehr unter die EEG-Einspeisevergütung. Eine Volleinspeiseanlage hat nur drei Restriktionen bei der Auslegung: Dachfläche, zur Verfügung stehendes Kapital und bei größeren Anlagen möglicherweise eine Obergrenze des Netzbetreibers (die dieser nach einer Einspeisevoranfrage mitteilt). Weil sich eine solche Anlage nur über Einspeisevergütung amortisiert, ist es klug, bei Grenzfällen rund um die Grenze von 10 Kilowatt im Zweifel die kleinere Anlage zu bauen, um die höhere Einspeisevergütung zu erhalten. Hat Ihr Dach deutlich mehr Platz, machen Sie es voll, denn bei jeder Installation gibt es Fixkosten für Gerüstbau, Planung und Anmeldung, die unabhängig von der genauen Größe sind. Eine größere Anlage ist pro Kilowatt günstiger. Mehr Optimierungsmöglichkeiten haben Sie nicht und die Amortisationsrechnung ist eine einfache Rechnung: Gesamtkosten geteilt durch jährliche Erträge ergibt die Amortisationszeit in Jahren. Zu erwartabaren Erträgen übers Jahr später mehr. Speicher kommen bei einer Volleinspeisung nicht vor.

Spannender für Optimierungen sind Anlagen mit Teileinspeisung, denn dort ist die Einspeisevergütung geringer und nur ein Nebengeschäft. Wer heute eine neue Anlage in Betrieb nimmt, bekommt bis 10 Kilowatt 8,11 Cent, bis 40 Kilowatt 7,03 Cent und bis 100 Kilowatt nur noch 5,74 Cent. Für private Betreiber gibt es eine weitere Grenze, die nicht aus dem EEG, sondern aus dem Steuerrecht stammt: 30 Kilowatt. Bis zu dieser Schwelle gilt bei

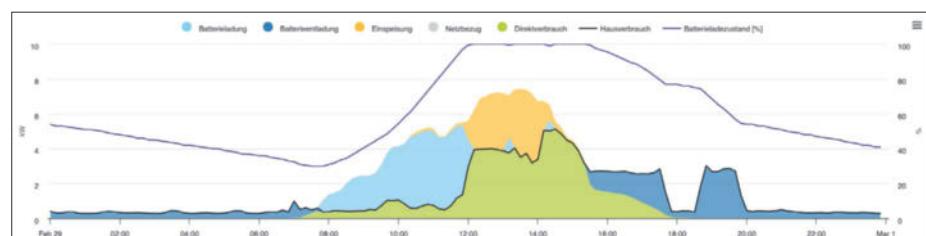
## c't kompakt

- **Steuerrecht, EEG, Jahreszeiten und finanzielle Limits:** Die richtige Größe für eine PV-Anlage hängt von vielen Parametern ab.
- **Was sich finanziell lohnt,** sollten Sie anhand von konkreten Angeboten für verschiedene Größen ausrechnen.
- **Ein Speicher erhöht den Eigenverbrauch und die Autarkie,** indem er Energie für die Nacht einspeichert. Mehrere Tage soll er aber nicht überbrücken.

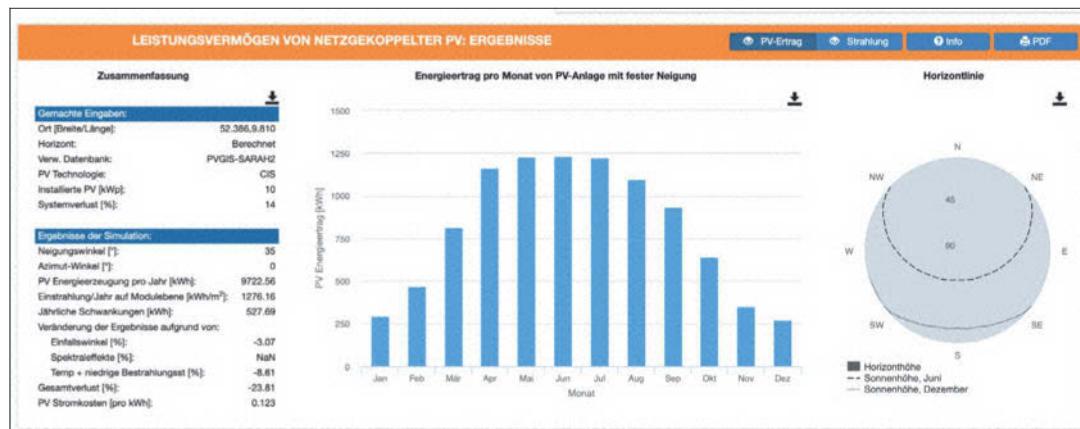
privat genutzten Gebäuden ein Mehrwertsteuersatz von 0 Prozent auf alle Komponenten der PV-Anlage, vom Modul bis zum Kabel, einschließlich Speicher, Installation und alle für die Inbetriebnahme notwendigen Arbeiten (wie zum Beispiel den Neubau eines Zählerschranks). Außerdem entfällt die Einkommensteuer auf die Gewinne durch verkauften Strom und die Pflicht, sich selbst und das Finanzamt jedes Jahr mit einer Einnahme-Überschussrechnung zu beschäftigen. Beides ist nicht nur ein finanzieller Vorteil, sondern spart vor allem unangenehme Arbeit oder gar teuren Kontakt mit einem Vertreter der steuerberatenden Zunft. Eine Anlage mit 31 Kilowatt Spitzenleistung passt ohnehin nur auf die wenigsten Einfamilienhäuser, ist aber definitiv ein Kilowatt zu groß dimensioniert.

## Was kann ich?

Weg vom EEG und Steuerrecht und hin zur technischen Dimensionierung von PV-Anlage und Speicher. Zunächst soll es um die Spitzenleistung gehen. Wenn Sie ganz



**Voller Ladezyklus schon Ende Februar:** Die Anlage mit 15,80 kWp hat den Speicher mit 16,6 kWh Kapazität bereits um 12 Uhr wieder geladen. Im gesamten März erreicht die Anlage 100 Prozent Autarkie und der Akku ist groß genug, um abends spontan das Auto zu laden.



Mit dem Angebot PV-GIS der EU-Kommission bekommen Sie für Ihren Standort einen Eindruck, was eine Anlage in einzelnen Monaten leistet. Die wichtigste Erkenntnis: Es lohnt sich nicht, die Anlage auf Dezember und Januar zu optimieren.

neu ins Thema einsteigen, hilft für die grobe Orientierung die Information, dass ein typisches Modul mit rund 400 Watt Außenmaße von etwa  $1,70 \times 1,05$  Meter hat (und nein, diese Modulgröße ist aktuell nicht standardisiert). Das entspricht ungefähr 224 Watt/m<sup>2</sup>. Als erste Näherung können Sie Ihre freie Dachfläche ausmessen und mit 0,224 multiplizieren, um die Spitzenleistung in Kilowatt zu erhalten. Wenn Sie es genauer wissen wollen und das Dach verschiedene Tücken wie Schornsteine und Dachgauben enthält, puzzeln Sie Kacheln mit den Modulmaßen auf einem Modell zusammen, bis das Dach in Ihren Augen optimal ausgenutzt ist. Wenn Sie es wirklich genau wissen wollen, empfehlen wir einen Blick auf die Windows-Software PV\*Sol Premium (ausführlich getestet in [1]), die Sie 30 Tage kostenlos testen können. Dieser Testzeitraum reicht, um das eigene Haus zu simulieren. Seien Sie aber später nicht enttäuscht, wenn Sie hier schon sehr genau geplant haben: Die genaue Belegung des Dachs kann nur derjenige vornehmen, der Ihnen die Anlage aufs Dach schraubt, denn am Ende müssen die Dachhaken auf den Dachsparren installiert werden, sodass nicht immer jede theoretisch denkbare Anordnung in der Praxis möglich ist.

Einen guten Eindruck, was passen könnte, liefert die Puzzlearbeit aber sehr wohl und dient in jedem Fall als nützliche Vorbereitung für ein Gespräch mit dem Fachbetrieb Ihres Vertrauens. Auf jeden Fall wissen Sie so schon einmal, wie groß die Anlage maximal werden könnte.

## Was brauche ich?

Aber was bringt ein Kilowatt Peak auf dem Dach jetzt übers Jahr? Um den Ertrag zu schätzen, gibt es eine Faustformel, die als Näherung nicht ganz verkehrt ist: Eine An-

lage mit 1 Kilowatt Peak liefert rund 1000 Kilowattstunden im Jahr bei optimaler Südausrichtung und idealen 35° Dachneigung. Bei Ost- oder Westausrichtung sind es eher 750 kWh. Mit dieser Information können Volleinspeiser die Wirtschaftlichkeit zumindest überschlagen und die Investition mit der Einspeisevergütung generieren. Beispiel: Eine Volleinspeiseanlage mit idealer Südausrichtung mit 9 Kilowatt soll bei einem Installateur 15.000 Euro kosten. Sie erzeugt im Jahr etwa 9000 Kilowattstunden, die für 12,87 Cent verkauft werden. Im Jahr erwirtschaftet die Anlage somit rund 1160 Euro. Kapital- oder Opportunitätskosten (entgangene Zinserträge) nicht eingerechnet, amortisiert sich die Investition also nach 13 Jahren Betrieb – erfahrungsgemäß ist das der Zeitpunkt, an dem die Wechselrichter erstmals Probleme machen. Die Module halten problemlos über 20 Jahre.

Teileinspeiser sollten eine vergleichbare Rechnung mit den für sie maßgeblichen 8,11 oder 7,03 Cent ebenfalls anstellen. Für sie wäre komplette Einspeisung das Worst-Case-Szenario, das eine entscheidende Frage beantwortet: Wie viel Geld würde ich erhalten, wenn ich keine einzige Kilowattstunde selbst verbrauchen würde (was in der Realität natürlich nie vorkommt)? Das Ergebnis mit den Beispielwerten von oben: 730 Euro Einspeisevergütung im Jahr, Amortisation erst nach 20 Jahren, also kein finanzielles Desaster.

Richtig lohnenswert wird es aber erst mit Eigenverbrauch, denn dann gilt: Mit jeder selbstverbrauchten Kilowattstunde vermeidet man Bezug für 30 Cent. Abzüglich der 8,11 oder 7,03 Cent ergibt sich ein Kostenvorteil von rund 23 Cent gegenüber Einspeisung. Um herauszufinden, wie hoch der Eigenverbrauch sein kann, hilft einfacher Dreisatz aber nicht weiter. Denn

die Erzeugung schwankt übers Jahr gewaltig.

Schuld ist die Schiefe der Ekliptik, also die Neigung der Erdachse in Bezug zur Ebene, die die Erdumlaufbahn bildet. Diese Neigung ist verantwortlich für die Jahreszeiten und dadurch leider auch dafür, dass PV-Anlagen übers Jahr unterschiedlich viel erzeugen. Die Beispielanlage mit 9 kW erzeugt im arithmetischen Mittel knapp 25 Kilowattstunden am Tag, doch diese Berechnung ist weitgehend nutzlos. Die Wahrheit ist leider: Egal wie groß sie dimensioniert ist, es wird immer einzelne Tage im Mai geben, an denen die Anlage an einem Tag fast so viel Energie liefert wie im gesamten Dezember zusammen. Jede Anlage (vom Balkonkraftwerk bis zum vollen Dach) ist im Winter zu klein und im Sommer zu groß.

Im Winter kommen nämlich gleich mehrere Faktoren zusammen, die für eine PV-Anlage nicht hilfreich sind. Schnee ist das offensichtlichste Problem, denn unter einer Schneedecke erzeugt die Anlage gar nichts mehr. Ist das Dach nicht sonderlich steil, kann fester Schnee auch mal ein paar Tage liegenbleiben, in höheren Lagen schlimmstenfalls auch Wochen. Ein anderes Problem im Winter ist die Sonnenhöhe, also der Höhenwinkel zwischen Horizont und Sonne. Am 21. Dezember, zur Wintersonnenwende, kriecht die Sonne in der Mitte Deutschlands zur Mittagszeit gerade mal 14° über den Horizont, zur Sommersonnenwende im Juni dagegen erreicht sie mittags am gleichen Standort über 60°. Warum das entscheidend ist: Je kleiner der Winkel, desto dicker ist die Luftsicht, die das Licht zwischen Sonne und Erde passieren muss und desto weniger Energie kommt auf dem PV-Modul an. Daher ist Morgensonne nie so ertragreich wie die Sonne zur Mittagszeit und selbst ein son-

niger Tag im Dezember nicht so ergiebig wie ein bewölkter Tag im Juni.

Das dritte Problem, das ebenfalls mit den Jahreszeiten zusammenhängt, ist der Abstand zwischen Sonnenaufgang und -untergang. Kurz vor Weihnachten quält sich die Sonne in der Mitte Deutschlands gegen 8:30 Uhr (MEZ) hinterm Horizont hervor und verabschiedet sich schon um 16:00 Uhr wieder. Mitte Juni geht sie schon kurz vor 5:00 Uhr (und zwar nach MESZ) auf und erst um 21:46 Uhr unter. Die Sonne scheint also nicht nur ungleich kraftvoller auf die PV-Anlage, sondern auch schlicht viel länger. Daher sammelt die Anlage selbst bei bewölktem Wetter im Sommer über die Zeit mehr Energie ein.

Im Internet gibt es mehrere nützliche Werkzeuge, um diese Unterschiede zwischen den Tages- und Jahreszeiten zu visualisieren. Einen Blick wert ist die Seite sonnenverlauf.de. Dort positioniert man zunächst den Punkt auf der Karte über dem eigenen Dach. Dann kann man links

Tage im Kalender auswählen und bekommt auf der Karte den Bereich eingezeichnet, in dem sich die Sonne über den Tag bewegt. Auch Beschattung durch ein Hindernis (zum Beispiel den Baum des Nachbars) kann man simulieren. Über den Schieberegler oben stellt man die Uhrzeit ein und sieht dabei die Sonne über die Karte wandern. Links gibt es dann zahlreiche Informationen für genau die Kombination aus Uhrzeit, Datum und Ort. Im Abschnitt „Mehr Solardaten & Photovoltaik“ finden Sie unter anderem die Luftsämasse und die Strahlungsstärke in W/m<sup>2</sup>. Die maximale Strahlungsstärke, die man im Sommer erreichen kann, nimmt von Norden nach Süden zu. Unsere Leser in Flensburg können unter besten Bedingungen am Mittag der Sommersonnenwende 979 W/m<sup>2</sup> erreichen, Leser in Genf sogar 1030 Watt.

Beides ist ziemlich nah an den „Standard Test Conditions“ (STC), unter denen die Modulhersteller die Spitztleistung in einem Versuchsaufbau mit künstlicher

## Einspeisevergütung

	Teileinspeisung [ct/kWh]	Volleinspeisung [ct/kWh]
Anlage bis 10 kW	8,11	12,87
Anlage bis 40 kW	7,03	10,79
Anlage bis 100 kW	5,74	10,79

Gültig für PV auf Gebäuden bei Inbetriebnahme zwischen 1.2. und 31.7.2024

Sonne ermitteln: Die Module müssen nach STC bei 25 °C mit 1000 W/m<sup>2</sup> bestrahlt werden. Doch auch wenn die Strahlungsstärke zur Sommersonnenwende am höchsten ist, liegen die ertragreichsten Tage in der Regel im Mai – denn der Wirkungsgrad von Modulen sinkt bei steigenden Temperaturen, weil der Widerstand steigt. Mittagssonne im Mai bei 16 °C kann dazu führen, dass ein Modul auch mal mehr leistet als auf dem Typenschild angegeben.

Die verschiedenen Parameter (Sonnenwinkel, Strahlungsstärke, Tageslänge, Temperatur, Bewölkung) lassen schon erkennen, dass eine genaue Prognose des Er-

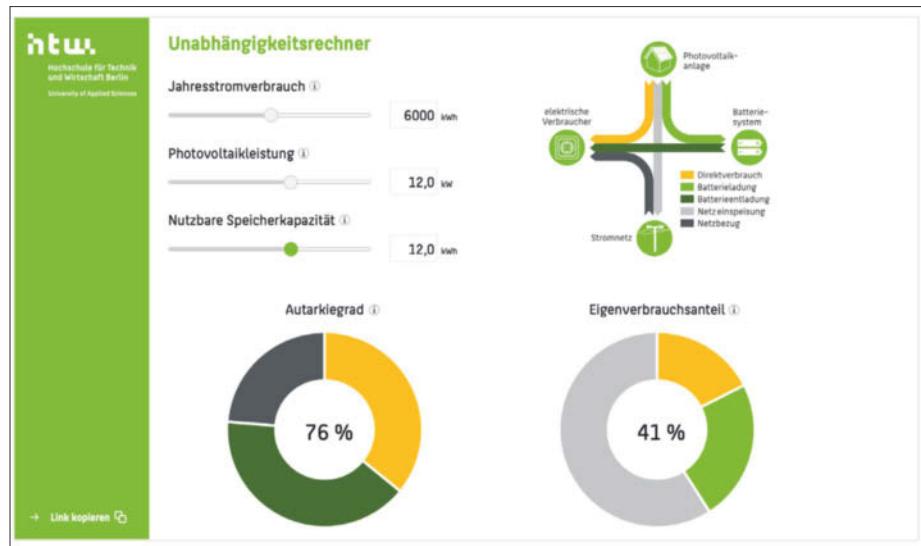
# Ageing with Tech Festival

Gut alt werden mit KI – Die Fachkonferenz feiert die Potenziale alterfreundlicher Digitalisierung und bietet Raum für fachlichen Austausch und Vernetzung.

15. und 16. Mai  
KörberHaus, Hamburg  
oder digital

Hier kostenlos anmelden →





Die HTW Berlin hat einen Autarkierechner programmiert. Mittels Schiebereglern erkennen Sie schnell: Mehr Module und mehr Speicher führen nicht linear zu mehr Autarkie.

trags komplizierter ist und man ohne Modell und nur mit Faustformeln nicht weiter kommt.

Ein kostenloses und herstellerunabhängiges Werkzeug, das auf einem Modell für Einstrahlungen aufbaut, ist das „Photovoltaic Geographical Information System“, das die EU-Kommission unter der Adresse [re.jrc.ec.europa.eu](http://re.jrc.ec.europa.eu) betreibt (siehe ct.de/yzwz). Links auf der Karte platzieren Sie die Pinnadel auf der Karte auf Ihrem Dach, rechts oben wählen Sie „Netzgekoppelt“ und geben die Eckdaten der Anlage ein: Die „PV Technologie“ ist in der Regel „kristallines Silizium“. Als „installierte Leistung“ wählen Sie eine Anlagengröße, die Sie realistisch installieren können. Die Neigung entspricht bei einer dachparallelen Anlage der Neigung des Daches, die Sie zum Beispiel einer Bauzeichnung entnehmen können. Hinter dem Begriff Azimut verbirgt sich die Abweichung von einer perfekten Südausrichtung.  $-90^\circ$  entspricht Osten,  $90^\circ$  ist Westen.

Mit einem Klick auf „Ergebnisse anzeigen“ erhalten Sie ein Balkendiagramm über die 12 Monate, sowie links die zu erwartende Jahresleistung. Im orangefarbenen Balken in der Mitte können Sie von PV-Ertrag auf Strahlung umschalten und sehen so auf zwei Blicke das oben bereits beschriebene Phänomen: Im Juni ist die Einstrahlung höher als im Mai, durch die höheren Temperaturen steigt der Ertrag der simulierten Anlage jedoch kaum.

Um zu beurteilen, wie gut das Modell der EU-Website ist, haben wir Daten exis-

tierender Anlagen eingegeben, für die wir echte Erzeugungsdaten aus den vergangenen Jahren kennen. Diese Auswertung zeigt: Die Prognosen sind recht präzise und gut geeignet für Anlagenplanungen. In Rekordsommern kann es auch mal Ausreißer geben und die Wintermonate Dezember und Januar werden in der Prognose tendenziell überschätzt. Die Daten basieren auf dem Datensatz SARAH2, der von geostationären Meteosat-Erdbeobachtungssatelliten zwischen 2005 und 2020 erhoben und gemittelt wurde. Bevölkerung erfassen die Satelliten, nicht aber die tagelange Beschattung durch verschneite Dächer.

### Was tun?

Mit diesen Eckdaten kennen Sie die meisten Parameter, Restriktionen und Konstanten und können an die Optimierung der eigenen Anlage gehen – zunächst ohne Akku. Die größte Unbekannte ist Ihr individuelles Verbrauchprofil, das verrät, wie viel Strom Sie über den Tag verbrauchen. Das sieht für Singles mit regelmäßigem Homeoffice anders aus als für eine Familie mit Kindern. So wie es Modelle für Strahlungsleistung gibt, gibt es auch Modelle für typische Lastprofile und passende Software, die beides übereinander legt, um Autarkie und Eigenverbrauchsanteil zu errechnen. Das sind die beiden Kennzahlen, an denen Sie die Dimensionierung einer Anlage beurteilen können. Wenn Sie es genau wissen wollen, können Sie zum Beispiel mit der bereits genannten Soft-

ware PV\*Sol Premium genau simulieren, wie viel Strom selbst verbraucht wird, theoretisch können Sie Ihr Profil auch exakt hinterlegen.

Doch so genau müssen die meisten Privathaushalte gar nicht modellieren. Stattdessen kann man als Ausgangspunkt für die Optimierung die Leistung zunächst so dimensionieren, dass die Anlage im Jahr so viel erzeugt wie das Haus verbraucht. Ein Haushalt mit 6000 kWh Verbrauch beginnt die Optimierung mit 6 kWp. Die Erfahrung vieler Anlagenbetreiber zeigt: In diesem Fall erreichen Sie übers Jahr eine Autarkie von rund 30 Prozent, 70 Prozent des Stroms kaufen Sie also weiterhin zu. Wird die Anlage größer, steigt die Autarkie nur langsam – eine doppelt so große PV ohne Speicher bringt nur knapp drei Prozent Autarkie mehr. Genau diesen Zusammenhang zeigt der Unabhängigkeitsrechner der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW) sehr anschaulich mit Schiebereglern (zu finden über ct.de/yzwz).

Wenn Sie keinen Speicher anschaffen wollen, bringt eine größere Anlage kaum mehr Autarkie, wie auch das Modell der HTW zeigt: Bei 12 Kilowatt auf dem Dach steigt die Autarkie gerade mal auf 36 Prozent, der Eigenverbrauch sinkt auf 17 Prozent. Daran wird sich selbst dann wenig ändern, wenn Sie sich vornehmen, die Wasch- und Spülmaschine nur tagsüber zu starten, nur bei Sonnenschein zu kochen und abends sparsam mit Licht umzugehen.

Ob es sich dennoch lohnt, das Dach vollzumachen, können Sie leicht anhand konkreter Angebote eines Installateurs zusammen mit den Werten für Autarkie und Eigenverbrauch aus dem HTW-Rechner überschlagen. Weil es bei jeder Installation Fixkosten gibt, lohnt es sich in vielen Fällen, das Dach restlos zu füllen, weil sich auch 7 Cent für Einspeisung noch lohnen.

### Mit Speicher

Ein Speicher kann den Eigenverbrauch nennenswert erhöhen, indem er tagsüber Überschüsse einspeichert und abends bis zum nächsten Morgen wieder abgibt. Ausgangspunkt für seine Dimensionierung kann der Nachtverbrauch sein, den Sie am Stromzähler abgelesen haben. Sinnvoll ist es, auf die Zeit zwischen Ende Februar und Anfang November zu optimieren und den Speicher so zu bemessen, dass er etwa zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang den Verbrauch problemlos decken kann. Im tiefsten Winter ist die Größe des Speichers unerheblich, da sind Sie froh

über jede Kilowattstunde, die direkt verbraucht wird. An Speicherladen ist da ohnehin nicht zu denken. Versuchen Sie daher nicht, den Speicher so groß zu dimensionieren, dass er im Winter mehrere Tage abdecken kann, bis die Sonne wieder scheint – das ist nicht wirtschaftlich.

Mit etwas Reserve für Wandlungsverluste kommen halbwegs sparsame Haushalte schon mit einem 6-kWh-Speicher gut über die Nacht. Die Autarkie bringen Sie damit auf über 50 Prozent, ins Netz gehen nur noch rund 40 Prozent der erzeugten Energie. Und noch etwas sollten Sie wissen und mit Ihrem Elektriker besprechen: Einige Speichersysteme lassen sich später erweitern, jedoch nicht jederzeit. Viele Hersteller lassen Erweiterungen nur innerhalb eines Jahres zu, damit die Zellen nicht also unterschiedlich gealtert sind. Sie können es also durchaus mal ein Jahr mit kleinerem Akku probieren und bei Bedarf rechtzeitig aufstocken.

Wenn es Dachfläche und Geldbeutel gestatten, kann man PV-Leistung und

Speicher im oben stehenden Beispiel mit 6000 kWh Jahresverbrauch etwa bis 12 kWp und 12 kWh erhöhen und die Autarkie auf etwas über 75 Prozent anheben. Das ist ein Wert für die Autarkie, den wir in einer realen Anlage mit vergleichbarer Dimensionierung bestätigen konnten. In einer solchen Auslegung und mit halbwegs vorausschauendem Stromverbrauch (besonders von Wasch- und Spülmaschine) kommt es zwischen Anfang März und Ende Oktober nur noch in seltenen Fällen zu Strombezug aus dem Netz – zum Beispiel dann, wenn das Haus in der Spitze mal mehr Leistung braucht als der Speicher liefern kann. Die verbliebenen 25 Prozent Netzbezug fallen auf die WintEMONATE und lassen sich auch mit absurd großen Anlagen nicht vermeiden. Versuchen Sie nicht, die Anlage auf die Zeit um Weihnachten zu optimieren.

### Fazit

Die Auslegung einer PV-Anlage mit Speicher ist gut machbar, wenn man alle losen

Enden sortiert hat. Nutzen Sie die Informationen am besten, um die Wirtschaftlichkeit von konkreten Angeboten mit verschiedenen Eigenverbrauchsquoten zu berechnen. Keinesfalls vergessen sollten Sie, dass sich der Strombedarf in Zukunft auch ändern kann. Sobald ein Elektroauto oder eine Wärmepumpe auch nur entfernt in Planung sind, gilt in der Tendenz: Bauen Sie die Anlage so groß, bis entweder das Dach voll oder der Geldbeutel leer ist. Eine Wärmepumpe zum Beispiel kann über das Protokoll SG Ready bei Überschuss aktiviert werden und den Eigenverbrauch erhöhen (mehr dazu im Artikel auf den folgenden Seiten). Und einspeisen kann man immer noch. (jam@ct.de) **ct**

### Literatur

- [1] Jan Mahn, Auslegungssache, PV\*SOL: Planungssoftware für PV-Anlagen im Test, c't 17/2023, S. 96

**Simulationen und Rechner:** [ct.de/yzwz](http://ct.de/yzwz)

VIRTUAL  
**DEEP**  
DIVES  
powered by [oop](#)

**Jetzt anmelden!**



[VIRTUAl.OOP-KONFERENZ.DE](http://VIRTUAl.OOP-KONFERENZ.DE)

## Das neue Online-Fortbildungsformat für Softwarearchitekten

Tauchen Sie ganz tief in die wichtigsten Themen gegenwärtiger Softwarearchitektur ein. Drei Tage mit 18 zweieinhalbstündigen Deep Dives. Aus der Praxis für die Praxis! Hands-on! Mit reichlich Austausch!

19. - 21.  
Juni  
2024

### Auszug aus dem Programm:

Domain-Driven Transformation:  
Legacy dauerhaft verbessern

Was Sie über Multi-Threading und Concurrency wissen sollten

Einführung in Machine Learning  
mit evolutionären Algorithmen

Stärkere Entwicklungsteams  
durch technisches Coaching

Spektakuläre Softwarefehler  
und wie man sie hätte  
verhindern können

Cloud-Migration: Organisation,  
Infrastruktur und Architektur

Bessere Softwarearchitektur  
dank Mikado-Methode



Bild: Moritz Reichartz

# Mehr rausholen

## Marktüberblick: Apps zur Photovoltaik-Überwachung

**Die Solarmodule auf dem Dach verwandeln eifrig Licht in Strom, doch der wird optimal genutzt sein. Dabei helfen Apps und Portale der Wechselrichter, Solarbatterien und Energiemanager, die aber je nach Hersteller unterschiedlich ausfallen.**

Von Christof Windeck

**B**illiger als mit Solarmodulen lässt sich elektrische Energie kaum erzeugen. Privatleute mit Photovoltaik-(PV-)Anlage sparen desto mehr Geld, je mehr Sonnenstrom sie selbst verbrauchen. Doch die Sonne scheint gerade dann am

hellsten, wenn viele Menschen außer Haus sind: am Mittag.

Daher kaufen sich viele PV-Anlagenbesitzer eine Solarbatterie, die den am Tag erzeugten Strom speichert und abends, nachts und am nächsten Morgen wieder abgibt. Dadurch steigt zwar die Autarkie, aber es dauert ein paar Jahre, bis sich die Zusatzkosten von mehreren Tausend Euro für die Batterie durch eingesparte Stromkosten amortisieren (mehr dazu ab S. 22).

Zusätzliches Sparpotenzial lässt sich ausschöpfen, indem man große Verbraucher gezielt einschaltet, wenn die Sonne scheint: Wasch- und Spülmaschine, Wärmepumpe, eine Wallbox zum Laden des E-Autos oder einen elektrischen Heizstab im Warmwasserspeicher. Doch das ist entweder unkomfortabel, wenn man die Geräte von Hand schaltet, oder kompliziert und teuer, wenn man vernetzte Geräte anschafft sowie einen Energiemanager, der sie automatisch steuert.

Beim Sparen helfen Apps und Webseiten, die die heimische PV-Produktion überwachen. Für die meisten aktuellen PV-Wechselrichter stellen die jeweiligen Hersteller solche Apps bereit, deren Funktionen wir in diesem Artikel betrachten. Viele PV-Wechselrichter haben einen eingebauten Energiemanager, der vernetzbare Geräte ansteuern kann. Das gilt vor allem für PV-Anlagen mit Batterie, weil die nur dann geladen werden soll, wenn die Sonne lacht – sonst würde sie teuren Netzzstrom tanken. Hängt die Batterie direkt am Wechselrichter, spricht man von DC-Kopplung (DC steht für Gleichstrom). Es gibt aber auch AC-gekoppelte Solarbatterien, die am heimischen Wechselstromnetz hängen. Auch sie müssen abhängig von der PV-Produktion gesteuert werden. Bei solchen Anlagen kommt häufig ein separater Energiemanager zum Einsatz, der außer mit dem Wechselrichter und der Batterie auch mit einem Leistungsmessgerät in der elektrischen Hausverteilung

kommuniziert. Außerdem gibt es Solarbatterien mit eingebautem Energiemanager, etwa Teslas Powerwall.

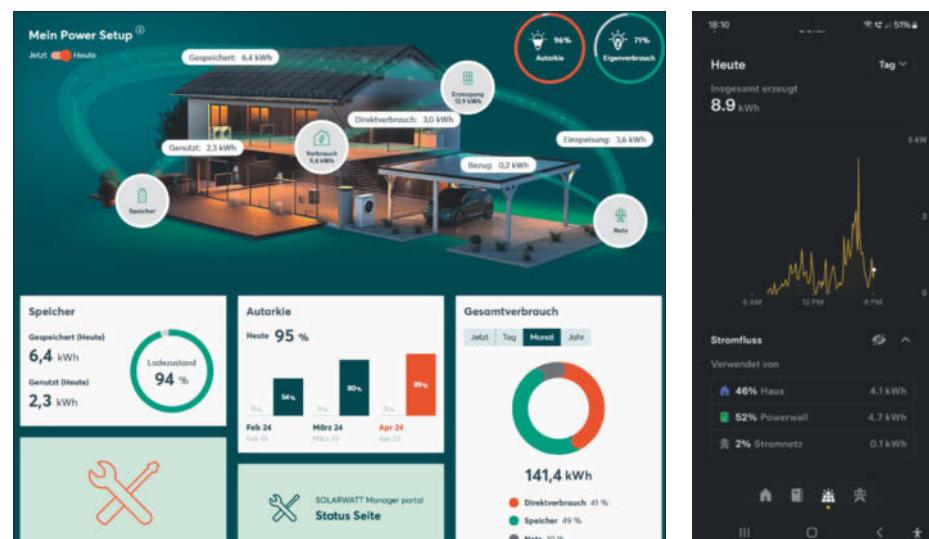
## Überwachungzwang

Überwachung ist wichtig. Denn eine PV-Anlage kann sich nur amortisieren, indem sie Strom liefert. Klappt das nicht wie geplant, hat man das Geld für die PV-Anlage zum Fenster rausgeschmissen. Daher sollte man regelmäßig in der zugehörigen App oder auf der Website nachsehen, ob alles wie erwartet funktioniert. Also ob sich beispielsweise die Solarbatterie tatsächlich füllt, wenn die Sonne scheint.

Im Idealfall kann die App (oder die Website, die ist im Folgenden mitgemeint) außer Wechselrichter und Akku auch andere Verbraucher überwachen oder sogar schalten, möglichst automatisch. Dazu müssen Wärmepumpe, Wallbox, Heizstab oder Schaltsteckdosen mit dem Leistungsmanager und dem Wechselrichter kommunizieren. Dafür gibt es unterschiedliche Schnittstellen, Verfahren und Konzepte, was die Sache verkompliziert.

Wärmepumpen mit der Technik SG Ready bekommen vom Wechselrichter nur das simple Signal, dass PV-Überschuss besteht, und laufen dann los. Die für Eigenstromnutzung optimalen Parameter stellt man dann bei der Wärmepumpe ein. Für komplexere Steuersignale, etwa die aktuelle PV-Leistung, nutzen viele Energiemanager den standardisierten Modbus, siehe Kasten auf Seite 32.

Und damit sind wir mitten in die Regelungstechnik gerutscht, denn für optimale Eigenstromnutzung braucht man eine Strategie. Ist nur eine Solarbatterie vorhanden, ist es noch relativ einfach: Sonne da, Akku laden, sonst nicht. Hängen aber auch noch



**So unterschiedlich fällt die Darstellung von Photovoltaik-Messwerten aus: Das Solarwatt Energymanager Portal verteilt auf dekorativem Hintergrund mehr als 20 Werte, Teslas Powerwall 2 hingegen gibt sich nüchtern.**

eine Wärmepumpe und eine Wallbox dran, stellen sich kompliziertere Fragen. Soll zuerst der Akku befüllt werden, dann die Wärmepumpe Warmwasser bereiten und der Rest ins E-Auto fließen? Oder bekommt das E-Auto Vorrang? Und soll die Strategie ewig gelten oder will ich dynamisch eingreifen, etwa das E-Auto spontan am sonnigen Nachmittag laden, weil es tags darauf ins Grüne fahren soll?

Idealerweise lassen sich diese Strategien mit einer einzigen App steuern und überwachen. Deshalb empfehlen manche PV-Installateure, alle Geräte von derselben Marke zu kaufen. Viele Energiemanager, egal ob als separates Gerät oder eingebaut in Wechselrichter oder Akkuspeicher, können aber auch Geräte anderer Hersteller überwachen und steuern. Dazu finden sich üblicherweise Kompatibilitätslisten. Man findet aber auch Tipps, um solche Funktionen im Eigenbau zu programmieren, etwa auf Basis eines Raspberry Pi mit Modbus/TCP-Umsetzer und auf Basis von Smart-Home-Software wie MQTT oder von Matter.

## Cloudzwang

Die meisten Energiemanager, deren Daten per App zugänglich sind, senden sämtliche Daten des heimischen Stromnetzes in die Cloud, also zu Servern des jeweiligen Herstellers. Anders wäre der Zugriff vom Smartphone aus nur mit viel Aufwand zu bewerkstelligen. Denn dazu müsste im jeweiligen Haushalt ein Server laufen, der wiederum gewartet sein will,

Stichwörter Sicherheitsupdates und Backup. Solche Datenlogger speziell für PV-Anlagen kann man fertig kaufen, etwa den ab 350 Euro erhältlichen Sun-Watch, der viele verschiedene Wechselrichter auslesen kann. Zudem gibt es lokale Logging-Software wie SolarView. In beiden Fällen muss man auf die Kompatibilität zu Wechselrichter und Akkuspeicher achten, was die Auswahl dieser Komponenten einschränkt.

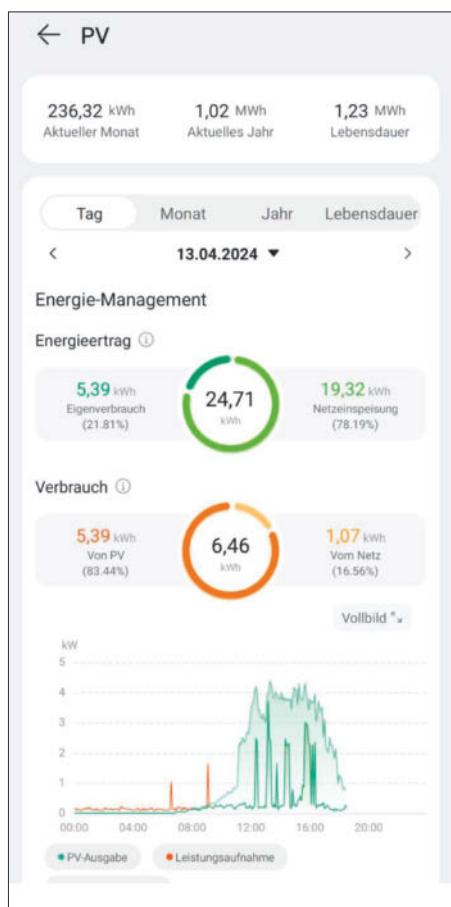
Die Betreiber der PV-Apps mit Cloudanbindung erweitern ab und zu den Funktionsumfang und rüsten beispielsweise Steuerfunktionen für zusätzliche Geräte nach. Dabei kommt es auch auf den Firmwarestand der beteiligten Geräte an.

Ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl eines Systems ist der Datenschutz. Denn Energiemanager erfassen die Verbrauchsdaten des Haushalts sehr genau und in kurzen Abständen. In den Diagrammen sieht man mit etwas Erfahrung deutlich, ob etwa gerade der Staubsauger, die Waschmaschine, der Backofen oder der Toaster laufen. Das lässt Rückschlüsse auf die Gewohnheiten der Hausbewohner zu. Sie müssen dem jeweiligen Betreiber vertrauen, dass er diese Daten sicher verwahrt, gegen Diebstahl und Missbrauch schützt und auch nicht an Dritte verkauft. Schauen Sie also in die jeweiligen Datenschutzbestimmungen und sichern Sie den Zugriff mit einem starken Passwort.

Viele PV-Installationsfirmen richten bei den von ihnen aufgebauten Anlagen einen Diagnosezugang ein. Darüber kön-

## c't kompakt

- Per App oder Website lassen sich Funktion und Ertrag einer Photovoltaikanlage kontrollieren.
- Manche PV-Apps steuern größere elektrische Verbraucher wie Wallbox oder Heizstab, um den Eigenverbrauch zu steigern.
- Im Detail und vor allem bei den Steuerungsfunktionen unterscheiden sich die Apps erheblich.



**Huawei's FusionSolar kombiniert Leistungs- und Energiedaten in einer gemeinsamen Ansicht. Die Übersetzung aus dem Englischen ist nicht immer gelungen: Mit „Lebensdauer“ ist der summierte Ertrag seit der Inbetriebnahme gemeint.**

nen sie aus der Ferne Fehler suchen. Wechselrichter und Stromspeicher haben auch spezielle Wartungsmodi für Fachleute. Die stellen darüber Parameter ein, die für die Netzeinspeisung wichtig sind und vom jeweiligen Netzbetreiber je nach Typ der Anlage vorgeschrieben sind. Diese Parameter dürfen nur Fachleute verändern, daher haben die Besitzer beziehungsweise Betreiber der Anlage normalerweise keinen Zugriff darauf.

Für ihre eigentliche Funktion brauchen die PV-Anlagen keine Cloud-Anbindung; der Strom fließt auch ohne. Wie erwähnt, nutzen manche Systeme zur Optimierung zwar das lokale Netz, etwa für Modbus/TCP, brauchen aber dabei ebenfalls keine Cloud.

Ein digitaler Stromzähler (Smart Meter) mit Online-Anbindung, der jede Viertelstunde Verbrauchsdaten protokolliert, ist übrigens auch für eine PV-Anlage mit Einspeisevergütung nicht nötig. Einen

solchen Lastgangzähler kann man aber beispielsweise einbauen lassen, um Mieterstrom in einem Haus mit mehreren Wohnungsparteien abzurechnen, oder um einen dynamischen Stromtarif mit wechselnden Energiepreisen zu nutzen.

## Datenflut

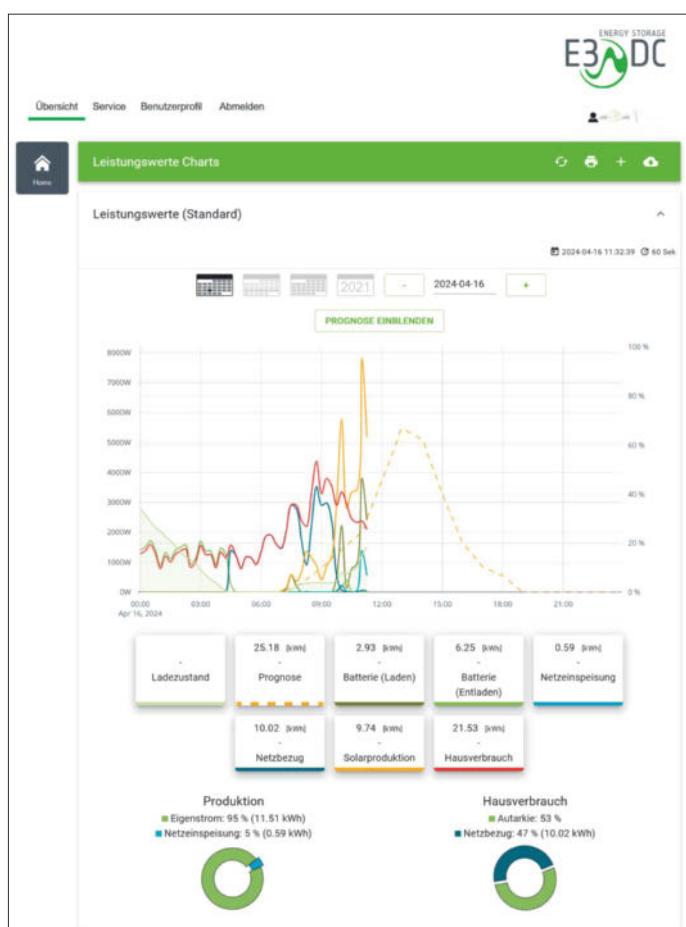
Die Energiemanager-Apps zeigen wesentlich mehr Daten als bloß die vom Stand der Sonne abhängige Stromproduktion des Wechselrichters, also den zeitlichen Verlauf der Leistung in Watt (W) oder Kilowatt (kW). Einerseits summieren sie Leistungswerte über die Zeit, berechnen also die resultierende Energie (Arbeit) in Kilowattstunden (kWh). Andererseits erfassen sie eine Fülle an weiteren Leistungsdaten, etwa von einer Solarbatterie, falls vorhanden: eingespeicherte und abgerufene Leistung und Energie.

Um den PV-Eigenverbrauch des Haushalts zu ermitteln, muss der Energiemanager den absoluten Verbrauch des Haushalts sowie die vom Netz bezogene Leistung messen; dafür wird in die Hausverteilung ein elektronisches Dreiphasenmessgerät eingebaut. Das tut im Prinzip dasselbe wie der vom Netzbetreiber oder Messstellenbetreiber installierte Zwei-

richtungszähler, bloß dass er eben mit dem Energiemanager kommuniziert. Und diese Messwerte verrechnet er dann mit den möglichst zeitsynchron gemessenen Werten von Wechselrichter und Solarbatterie. Der aktuelle PV-Eigenverbrauch berechnet sich beispielsweise aus der Summe der von Wechselrichter und Solarbatterie gelieferten Leistung abzüglich der aus dem Netz bezogenen Leistung.

Die aktuellen Leistungswerte verändern sich rasch und sagen wenig über den Ertrag aus. Relevant sind die über die Zeit aggregierten Energiedaten für einzelne Tage, Wochen, Monate, Jahre sowie die gesamte Betriebsdauer der Anlage. Daraus lässt sich der energetische Ertrag der Anlage berechnen und somit auch die durch Eigenverbrauch eingesparten Stromkosten sowie das durch Netzeinspeisung „verdiente“ Geld. Bei manchen Apps kann man die jeweiligen Kilowattstundenpreise für ge- und verkauften Strom eintragen, sie zeigen dann gleich den finanziellen Ertrag an. Wenn sich Tarife ändern, muss man die aber auch nachpflegen, sonst führen die App-Angaben in die Irre. Am Jahresende sollte man jedenfalls die Daten aus der App mit der Stromrechnung vergleichen; kleine Abweichungen sind dabei

**Die Website von E3/DC zeigt alle wesentlichen Messwerte einer PV-Anlage auf einen Blick.**



normal. Entscheidend sind die Daten aus dem Stromzähler des Messstellenbetreibers, aber doppelt gemoppelt hält besser. Gibt es starke Abweichungen, sollte man den PV-Installateur befragen.

Sinnvoll ist auch der Vergleich des Ertrags über mehrere Jahre, zum Beispiel in Form einer Zeitreihe mit nebeneinanderliegenden Balken für die Monate verschiedener Jahre.

Manche Apps liefern Zusatzinformationen, etwa eine Prognose für den Ertrag am aktuellen Tag. Diese Daten stammen aus dem Internet und beziehen technische Daten der individuellen Anlage mit ein, etwa Ausrichtung, Neigungswinkel und Leistung der Solarmodule. Diese Vorhersage hilft etwa bei der Einschätzung, ob das spätere Einschalten der Waschmaschine noch lohnt oder ob ohnehin nicht viel PV-Strom zu erwarten ist.

## Lerneffekte

Die PV-Apps helfen bei der Optimierung des Eigenstromverbrauchs, egal ob mit oder ohne Solarbatterie. Bei den folgenden Beispielen rechnen wir mit einem Strompreis von 30 Cent pro Kilowattstunde, denn glücklicherweise ist der Preisschock nach dem russischen Einmarsch in der Ukraine wieder vorbei. Für die Einspeisung von PV-Strom ins Netz rechnen wir mit 8 Cent. Eine PV-Kilowattstunde, die man im Haushalt selbst verbraucht und nicht ins Netz einspeist, spart also 22 Cent.

Eine aktuelle Waschmaschine braucht für einen 40-Grad-Waschgang rund 0,8 kWh; fließen die vom eigenen Dach, spart das knapp 18 Cent. Ein moderner Backofen verheizt pro Stunde rund 1 kWh, die Zeit reicht ungefähr für einen Marmorkuchen. Ersparnis: 22 Cent.

Der volle Spareffekt tritt dabei nur ein, wenn tatsächlich genug Sonnenstrom fließt. Bei Wolken, im Winter und am Abend liefern die Module vielleicht nur ein halbes Kilowatt (500 Watt), dann kommt der Rest aus dem Stromnetz oder dem Akku. Und laufen viele Verbraucher gleichzeitig, dann ziehen die maximalen Abgabeleistungen von Wechselrichter oder Akku die Grenze. Mancher AC-gekoppelte Akku liefert höchstens 2,4 kW und ist mit Waschmaschine und Backofen parallel schon am Anschlag. Je nach System addieren sich aber die Leistungen von Akku und Wechselrichter, sofern die Sonne scheint und der Akku noch gefüllt ist.

Diese Effekte sieht man in der App und lernt mit der Zeit, die größeren Ver-



**Fronius Solar.web zeigt alle wichtigen Daten der PV-Anlage. Es gibt zwar keine App, aber die Website skaliert gut auf Smartphone-Bildschirmen und lässt sich dort als Verknüpfung ablegen.**

braucher im Haus passend zu nutzen. Oder man lässt es nach einer Weile bleiben, weil es zu mühselig ist: Um bloß 10 Euro zu sparen, muss die Waschmaschine 55 Mal zum richtigen Zeitpunkt starten.

Eine App, die auch den aktuellen Verbrauch des gesamten Haushalts anzeigt, kann heimliche Stromfresser enttarnen. Das hat zwar nichts mit der Optimierung des PV-Eigenverbrauchs zu tun, kann die Stromkosten aber ebenfalls senken. Im manchen Fällen bringt es womöglich

mehr, sparsamere Haushaltsgeräte zu kaufen als einen teuren Akkuspeicher, der im Grunde unnötige Stromkosten senkt. Das ist auch ökologisch sinnvoller.

## Blick auf die Apps

Wir befragten einige Kollegen aus den Heise-Redaktionen nach den Erfahrungen mit ihren jeweiligen PV-Apps. Sie lieferten Antworten zu Wechselrichtern der Firmen E3/DC (Hager), Fronius, Huawei, Kostal, SolarEdge, zur Speicherbatterie Tesla



**Kostal Solar kombiniert viele Daten übersichtlich in einer nüchternen Ansicht.**

Powerwall 2 sowie zu separaten PV-Energiemanagern von SMA und Solarwatt.

Alle Apps zeigen die aktuelle PV-Produktion, sowie in Verbindung mit einem Stromzähler in der Elektroverteilung auch den Verbrauch des Haushalts, den Netzezug bezüglich die Einspeisung. Gehört ein Batteriespeicher zur Anlage, dann zeigen alle auch die Be- und Entladung in Watt oder Kilowatt an sowie den Füllstand in Kilowattstunden und Prozent.

Große Unterschiede gibt es in der Art der Darstellung: Manche Firmen verteilen die Daten auf mehrere Bildschirmseiten, andere packen möglichst viele in ein gemeinsames Diagramm. Umkonfigurieren lassen sich meistens nur einzelne Aspekte davon.

Die meisten Wechselrichter und Energiemanager lassen sich auch per Website oder „Portal“ überwachen, man muss also keine App installieren und kann etwa vom Büro-PC aus nach dem Heimkraftwerk schauen. Doch die Präsentation der Daten kann sich zwischen App und Website deutlich unterscheiden, so verwendet etwa Solarwatt für manche Kurven unterschiedliche Farben, die sich auch nicht ändern lassen. Bei der Tesla Powerwall 2 geht es aus der Ferne nur per App, die Weboberfläche der Speicherbatterie ist nur im lokalen Netz zugänglich.

Für die Funktionskontrolle hilfreich ist ein Diagramm, das die monatliche Produktion der letzten Jahre vergleicht. Unterscheiden sich die Verläufe sehr stark oder fallen in jüngerer Zeit ab, deutet das auf Pannen hin.

Einige Geräte sind deutlich kommunikationsfreudiger als andere. Der



Die App SMA Energy teilt die Messdaten auf; sie lassen sich visuell gut erfassen.

Energiemanager von SMA kann etwa DECT-Funksteckdosen von AVM via Fritzbox steuern sowie Shelly-Geräte. Letztere steuert auch der Energymanager von Solarwatt. E3/DC wiederum beherrscht den Heimvernetzungsstandard KNX.

## Nervereien

Die Systeme der Kollegen liefen seit bis zu vier Jahren. Die meisten Kollegen waren recht zufrieden, obwohl durchaus Störungen auftraten, etwa durch Systemumstellungen bei den Anbietern. Und einige Kollegen wünschten sich Zusatzfunktionen, die nicht oder nur gegen Aufpreis realisierbar wären. Manche waren von ihren jeweiligen PV-Installationsbetrieben genervt. Eine Firma weigerte sich beispielsweise, die Ansteuerung für eine anderswo gekaufte Wallbox freizuschalten. Man kenne das Fabrikat nicht und dazu sei ein Energiemanager eines anderen Typs nötig. Das zur Umkonfiguration des vorhandenen Energiemanagers nötige Passwort wollte der Betrieb nicht herausgeben.

Beim anderen Kollegen wollte der Installateur unbedingt für 50 Euro Aufpreis einen WLAN-Adapter installieren, weil er das wohl in der Schulung des Anlagenherstellers so gelernt hatte. Mit der Konfiguration des vorhandenen LAN-Ports kann er sich nicht aus.

Manche Kollegen wünschten sich zusätzliche Steuerungsmöglichkeiten, waren sich aber auch nicht sicher, ob sich diese überhaupt mit der vorhandenen Technik oder bezahlbaren Adapters nachrüsten ließen. In einem Fall empfahl der Installationsbetrieb dazu den Einbau eines mehrere Hundert Euro teuren Energiemanagers, vermutlich wie im vorgenannten Fall, weil man sich mit dem anderen System nicht auskannte. Letztlich lassen sich solche Ärgernisse nur vermeiden, indem man bei der Projektierung der Anlage sehr genau hinschaut oder selbst die Datenblätter und Installationsanleitungen studiert.

## Modbus für die Photovoltaik-Steuerung

Alt, aber noch gut: Das Modbus-Protokoll für Industriesteuerungen hat schon mehr als 40 Jahre auf dem Buckel. Es ist ein sogenannter Feldbus, den der offene Standard IEC 61158 beschreibt. Speziell für den Einsatz in der Photovoltaik legt das Industriegremium SunSpec Alliance fest, wie verteilte Geräte miteinander kommunizieren sollten (SunSpec Modbus). Dabei nutzen Wechselrichter, Solarbatterien und Leistungsmanager die physischen Modbus-Varianten Modbus RTU oder Modbus/TCP. Modbus RTU läuft bei PV-Geräten über die serielle

Schnittstelle RS-485 (EIA-485) mit zwei Leitungen. Modbus/TCP nutzt hingegen Ethernet (LAN) oder WLAN, standardmäßig auf Port 502. Bezahlbare Adapter (Dongles) setzen Modbus RTU um auf Modbus/TCP.

Für die Kommunikation im Haus verteilter PV-Geräte ist Modbus/TCP sehr praktisch: Man koppelt einfach jedes einzelne Gerät per LAN oder WLAN mit dem vorhandenen (DSL-)Router. Dann spricht der Wechselrichter im Keller mit der Solarbatterie in der Garage sowie dem Leistungsmanager in der Elektrover-

teilung, ohne dass man separate Kabel verlegen muss. Latenz und Geschwindigkeit typischer Heimnetze reichen für die PV-Regelung völlig aus. Doch das Netz muss dann auch laufen, wenn sich die Solarbatterie füllen soll. Befinden sich PV-Geräte dicht beieinander oder sogar im selben Raum, dann kommt auch Modbus RTU zum Einsatz. Viele Wärmepumpen wollen per Smart Grid Ready (SG Ready) das Signal zum Anlaufen bekommen, das sich per Adapter (etwa von Shelly) auch via Modbus/TCP senden lässt.

Ein erhebliches Risiko liegt darin, dass der Amortisationszeitraum vieler PV-Anlagen sehr lange dauert, aber im Verlauf der Jahre der eine oder andere Gerätehersteller vielleicht vom Markt verschwindet. Dann gibt es möglicherweise keine Ersatzteile oder Updates mehr oder der Cloud-dienst für die Überwachung wird abgeschaltet. In vielen Fällen dürfte sich das für einige Hundert Euro durch die Umrüstung der Anlage auf einen anderen Energiemanager beheben lassen. Es ist jedenfalls ratsam, möglichst etablierte Hersteller und solide Installationsbetriebe zu wählen, die mehrere Jahre Erfahrung vorweisen können.

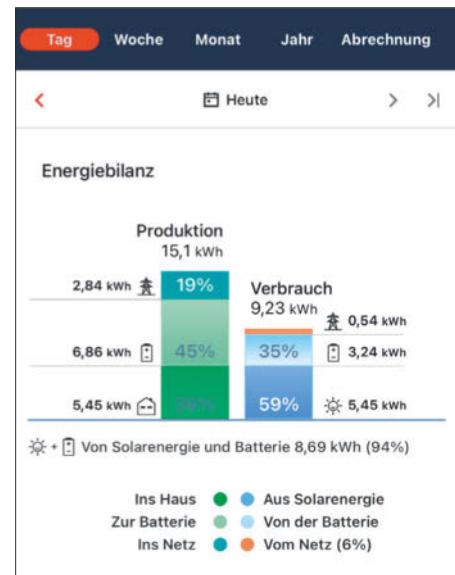
### Sonnige Tage

Wenn die Sonne lacht, freuen sich Photovoltaik-Betreiber: Die Kasse klingelt. Doch mühsam nährt sich das Eichhörnchen, weil jeden Tag höchstens Kleingeld hereinkommt, und das auch nur, wenn sich keine Wolken türmen. Die vielen Tausend Euro für eine größere PV-Anlage amortisieren sich deshalb erst nach mehreren Jahren. Umso wichtiger ist es, ab und zu nach dem Rechten zu sehen. Dabei helfen die PV-Apps.

Für den prüfenden Blick liefern alle Apps ausreichende Informationen. Wichtig ist der Abgleich mit der jährlichen Stromrechnung. Die Apps helfen aber auch, den optimalen Zeitpunkt für den Betrieb häuslicher Stromfresser zu finden.

Komplizierter ist es, den PV-Eigenverbrauch durch automatisierte Steuerung größerer Verbraucher zu optimieren. Hier bringen Apps Vorteile, die die Betriebszustände von Wärmepumpe, Wallbox oder Heizstab auf derselben Oberfläche darstellen wie die von Wechselrichter und Akkuspeicher. Im Idealfall lässt sich die Optimierungsstrategie direkt in der selben App anpassen. Letzteres klappt oft nur mit einer kleinen Auswahl kompatibler Geräte. Das Nachrüsten über Adapter kostet rasch einige Hundert Euro. Daher muss man schon beim Kauf auf Funktionsumfang und Kompatibilität der App achten.

PV-Überwachung ist auch ohne Cloud möglich, falls man entweder einen diesbezüglich kompetenten Installateur findet, selbst einen lokalen Logger installiert oder einen eigenen Server dafür einrichtet. Mindestens zwei Kollegen hatten das eigentlich vor, setzten das bisher aber



Die App mySolarEdge für SolarEdge-Wechselrichter zeigt die Energiebilanz pro Tag, Woche, Monat oder Jahr übersichtlich als Diagramm mit gestapelten Säulen an.

nicht um. Meistens läuft es dann doch auf die Apps der PV-Gerätehersteller heraus, und bei denen lohnt sich ein genauer Vergleich.

(ciw@ct.de)

## Apps zur Überwachung und Steuerung von Photovoltaik-(PV-)Anlagen (Wechselrichter und Batterien), Auswahl

Hersteller	E3/DC (Hager)	Fronius	Huawei	Kostal	SMA	SolarEdge	Solarwatt	Tesla
Hardware	S10E	Symo GEN24 8.0 Plus	Sun2000-8ktl-m1	Plenticore Plus	Sunny Home Manager 2.0	SE10K-RWB48BFN4	Energymanager pro	Powerwall 2
Typ <sup>1</sup>	WR/DC	WR/DC	WR/DC	WR/DC	EM	WR/DC	EM	AC-Akku
Anlage hat Stromspeicher	✓	✓ (DC)	—	✓ (DC)	✓ (DC)	✓ (DC)	✓ (AC)	✓ (AC)
App iOS / Android / Website	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / —
Daten in der Cloud	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Name der App oder Website	My E3/DC	Solar.web	FusionSolar App	KOSTAL Solar App	SMA Energy	mySolarEdge App	Solarwatt	Tesla
<b>Anzeige aktueller Werte (vorwiegend Leistung)</b>								
PV-Produktion (W)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Eigen- / Gesamtverbrauch (W)	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
Stromnetz: Einspeisung / Entnahme (W)	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
Batterie: Einspeisung / Entnahme (W)	✓ / ✓	✓ / ✓	(✓ / ✓) <sup>2</sup>	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
Akkufullstand in kWh / %	✓ / ✓	✓ / ✓	(✓ / ✓) <sup>2</sup>	— / ✓	— / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
PV-Tagesprognose (Wh)	✓	— <sup>3</sup>	—	— <sup>3</sup>	✓	—	✓	—
<b>Auswertungen Tag/Woche/Monat/Jahr (Energie/Kosten):</b>								
PV-Produktion (Wh)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Eigen- / Gesamtverbrauch (Wh)	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
Stromnetz: Einspeisung / Entnahme (Wh)	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
Batterie: Einspeisung / Entnahme (Wh)	✓ / ✓	✓ / ✓	(✓ / ✓) <sup>2</sup>	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
Grad der Autarkie (%)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—
Kostenersparnis in Euro	—	✓	✓	✓	✓	—	✓	—
gesammelte Daten herunterladbar	✓	—	✓ <sup>4</sup>	✓ <sup>4</sup>	✓	✓	✓	—
<b>Steuerungs-/Schaltfunktionen</b>								
Wärmepumpe / Wallbox möglich	✓ / ✓	(— / —) <sup>2</sup>	— / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	— / —
andere kompatible Verbraucher	✓	(—) <sup>2</sup>	—	✓	✓	✓	✓	—
weitere Benutzer für App möglich (außer Installateur)	—	—	—	✓	✓	—	—	✓

<sup>1</sup> WR = Wechselrichter, WR/DC = WR mit DC-Akku, AC-Akku = Akku mit AC-Kopplung, EM = Energiemanager <sup>2</sup> war nicht angeschlossen <sup>3</sup> zeigt jedoch Wettervorhersage an <sup>4</sup> mit Berechtigung als Installateur

# Quick Freeze kommt

## Ein Deal beerdigt die Vorratsdatenspeicherung

**Bundeskanzler Olaf Scholz hat zugestimmt, dass das Quick-Freeze-Verfahren die Vorratsdatenspeicherung ersetzt. Damit überging er Innenministerin Nancy Faeser, die die anlasslose IP-Adressspeicherung weiterhin als unverzichtbar ansieht.**

Von Falk Steiner

Nun also doch: Die Bundesregierung hat sich darauf geeinigt, in Deutschland die Vorratsdatenspeicherung (VDS) zu begraben – wenn auch nicht allzu tief. Statt der anlasslosen Speicherung von IP-Adressen und Telekommunikations-Metadaten durch Provider soll nun das „Quick-Freeze-Verfahren“ kommen. Dennoch will man die Paragrafen zur Vorratsdatenspeicherung im Telekommunikationsgesetz (TKG) nicht gänzlich streichen. „Totes Recht“ nennt ein Sprecher des Bundesjustizministeriums das, was nun von ihr übrig bleibt.

Nun sollen also Telekommunikationsbetreiber erst dann Verbindungs- und Standortdaten sichern, wenn sie einen Anfangsverdacht auf eine erhebliche Straftat mitgeteilt bekommen. Einen konkreten Tatverdächtigen braucht es dagegen nicht, um eine Quick-Freeze-Maßnahme anzurufen. Quick-Freeze-Maßnahmen sollen unter Richtervorbehalt stehen. Unter die „erheblichen Straftaten“ fallen etwa Mord, Menschenhandel, Raub, Erpressung und Verbreitung, Erwerb und Besitz von Darstellungen sexuellen Missbrauchs. Wenn Strafverfolger auf beim Provider eingefrorene Daten später in den Ermittlungen zugreifen wollen, muss noch mal ein Richter zustimmen.

Zwei Jahrzehnte lang wurde hierzulande erbittert über Vorratsdaten diskutiert. FDP und Grüne argumentierten lautstark gegen die verdachtsunabhängige Speicherung als unverhältnismäßigen

Grundrechtseingriff. Die SPD ist in dieser Frage tief gespalten. Der Europäische Gerichtshof hatte eine allgemeine Speicherung für unzulässig erklärt, bei der Speicherung von IP-Verbindungsdaten jedoch Spielraum gelassen [1].

Bundeskanzler Olaf Scholz (SPD) sprach sich stets für die VDS aus, doch eine Herzensangelegenheit war sie für ihn nie. Der Koalitionsvertrag sieht die Abschaffung der seit 2017 ausgesetzten deutschen VDS vor, die Ampel wolle stattdessen das Quick-Freeze-Verfahren, um strafrechtliche Ermittlungen zu unterstützen. Doch nach dem ersten Vorschlag von Bundesjustizminister Marco Buschmann (FDP) Ende 2022 tat sich lange Zeit nichts. Innenministerin Nancy Faeser (SPD) blockierte jeden Fortschritt und forderte weiter die VDS für IP-Adressen.

Buschmann, als Jurist in Zug-um-Zug-Geschäften erfahren, schnürte nun ein Paket: ohne Zustimmung zu Quick Freeze keine Zustimmung zur Verlängerung der Mietpreisbremse. In der Sache hat das zwar nichts miteinander zu tun, politisch gehört ein solches Junktim aber zum Tagesgeschäft. Buschmann machte sich zunutze, dass rasant steigende Mieten für die SPD ein sehr viel größeres Problem dar-

stellen als Vorratsdaten, die aufgrund der rechtlichen Lage derzeit eh nicht genutzt werden dürfen.

### Kanzlermachtwort

Am Ende war es Olaf Scholz, der am 10. April die Einigung ermöglichte. Der Kanzler ließ Buschmanns Lösung unter der Bedingung passieren, dass die VDS-Paragrafen im TKG nicht gestrichen werden. Innenministerin Faeser war an der Absprache nicht beteiligt. Sie stimmte sich vielmehr noch einmal dagegen: Als sie Anfang April die Polizeiliche Kriminalstatistik (PKS) vorstellte, hatte sie von der Einigung erst wenige Stunden zuvor erfahren. Die IP-Vorratsdatenspeicherung sei unverzichtbar zur Aufklärung bestimmter Straftaten, erklärte die schockgefahrenen Faeser trotzig.

Für die FDP ist das VDS-Ende ein Sieg. „Wenn der Staat alle Bürgerinnen und Bürger unter einen Generalverdacht stellt und ihre Kommunikationsdaten anlasslos speichern lässt, ändern Menschen ihr Verhalten in der Kommunikation und im Netz“, betonte Justizminister Buschmann. Mit Quick Freeze werde das Prinzip der VDS umgekehrt.

Als die Einigung zwischen Kanzler und Justizminister bekannt wurde, wetterten einige Bundestagsabgeordnete öffentlich gegen Quick Freeze. Insbesondere Innenpolitiker der SPD betonten, dass ohne anlassunabhängige IP-Adressspeicherung oft gar nichts da wäre, was aufgetaut werden könnte. Justizminister Marco Buschmann stört das nicht, er setzt auf seine starke Verhandlungsposition. Die SPD hat bislang nur einen Teil dessen bekommen, was sie beim Mietrecht wollte, und ohne Zustimmung der SPD-Bundestagsfraktion zu Quick Freeze würde selbst das wieder infrage stehen.

(hob@ct.de) ct



Bild: Bernd von Jutrczenka/dpa

**Bundesjustizminister Marco Buschmann (FDP) erläuterte am 10. April in Berlin die Einigung der Koalitionsfraktionen zu Quick Freeze und der Mietpreisbremse.**

### Literatur

- [1] Holger Bleich, Der Überwachungszombie, EuGH-Urteil öffnet Hintertüren zur Vorratsdatenspeicherung, c't 22/2022, S. 12

# Neue Bundesdatenschutzbeauftragte ausgewählt

**Die Bonner Professorin Louisa Specht-Riemenschneider folgt auf Ulrich Kelber**

**Weißen Rauch in Berlin: Die Ampelkoalition hat endlich die Nachfolge des bisherigen Bundesdatenschutzbeauftragten geklärt: Louisa Specht-Riemenschneider gilt fachlich als Volltreffer, doch über das Auswahlverfahren wird wohl noch zu reden sein.**

Von Falk Steiner

Die Suche dauerte Monate. Wer würde Nachfolgerin oder Nachfolger von Ulrich Kelber werden, dem bisherigen Bundesbeauftragten für den Datenschutz und die Informationsfreiheit (BfDI)? Am Ende steht nun eine fachlich unumstrittene Lösung: Mit Louisa Specht-Riemenschneider soll eine parteilose Juristin das Amt übernehmen. Derzeit ist sie Professorin für Bürgerliches Recht sowie Informations- und Datenrecht an der Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Specht-Riemenschneider muss also den Arbeitsort nicht wechseln, denn die Bundesdatenschutzbehörde sitzt ebenfalls in Bonn.

Die von der Ampelkoalition selbst verschuldete Hängepartie war dadurch entstanden, dass die SPD ihren eigenen Mann Kelber fallen ließ, obwohl der gerne weitergemacht hätte. Er hatte es sich im Amt mit einigen Genossen verscherzt. Obwohl sie mit Kelbers Amtsführung durchaus zufrieden waren, sollten FDP und Grüne einen eigenen Vorschlag präsentieren, was nun endlich gelang.

„Louisa Specht-Riemenschneider ist unsere erste Wahl“, betonte Konstantin Kuhle, stellvertretender Fraktionsvorsitzender der FDP. „Mit ihr würde erstmals

eine Privatrechtlerin Bundesbeauftragte für den Datenschutz und die Informationsfreiheit.“ Kuhle hatte gemeinsam mit dem Grünen-Fraktionsvize Konstantin von Notz die Suche nach einem geeigneten Kandidaten geleitet. „Sie ist die richtige Frau zur richtigen Zeit an der richtigen Stelle“, pflichtete von Notz denn auch bei. Specht-Riemenschneider wäre nach Andrea Voßhoff (CDU) erst die zweite Frau an der Spitze der Aufsichtsbehörde, die in den vergangenen Jahren auf mittlerweile über 300 Mitarbeiter gewachsen ist. Sie wäre zudem mit ihrem Alter von 39 die bislang jüngste Bundesdatenschutzbeauftragte.

## Große Hoffnungen

Die Erwartungen an die neue BfDI sind groß. Specht-Riemenschneider bringt viel Expertise mit und ist gut vernetzt, hat in Beratungsgremien für Ministerien unterschiedlicher Parteikouleur agiert und wird lagerübergreifend geschätzt. Einige Politiker wie Bundesdigitalminister Volker



Bild: Jens Kalaene/dpa

Louisa Specht-Riemenschneider soll neue Bundesbeauftragte für den Datenschutz und die Informationsfreiheit (BfDI) werden.

Wissing (FDP) erhoffen sich von ihr eine weniger restriktive Interpretation der DSGVO, als sie Kelber vorlebte. Auch im Bundesgesundheitsministerium, mit dem der bisherige Amtsinhaber einige Auseinandersetzungen hatte, wird die Auswahl sehr positiv gesehen: Specht-Riemenschneider bringt beim medizinischen Datenschutz viel Expertise mit. Allerdings arbeiten die Datenschutzbehörden unabhängig von Ministerien oder anderen staatlichen Stellen. Möglich, dass die neue BfDI für die Regierung unangenehme Entscheidungen trifft.

Die Aufgaben, mit denen sich die Behörde in der bald beginnenden fünfjährigen Amtszeit der künftigen Bundesdatenschutzbeauftragten beschäftigen muss, sind umfangreich. Vor allem die Fragen nach KI-Einsatzmöglichkeiten in öffentlichen Stellen wie Nachrichtendiensten und Polizeibehörden, des Datenschutzes im Gesundheitswesen und die Grundsatzfragen im Zusammenspiel der Datenschutzaufsichtsbehörden in EU, Bund und Ländern dürften eine wichtige Rolle spielen. Hinzu kommen neue Baustellen, etwa die Zuständigkeit für bestimmte Aufgaben im Bereich des Digital Services Act. Unklar ist derzeit noch, ob die Datenschutzaufsichtsbehörden auch Zuständigkeiten aus dem AI Act übernehmen sollen.

Nach dem formellen Vorschlag der Personalie durch das Bundeskabinett muss die Wahl mit einer absoluten Mehrheit im Bundestag erfolgen. Das soll Mitte Mai geschehen, nach Vorstellungsrunden in allen Fraktionen. Wann Specht-Riemenschneider das Amt dann tatsächlich antritt, ist noch offen. Erst mit der Ernennung durch den Bundespräsidenten wird sie Deutschlands zweite oberste deutsche Datenschützerin und damit auch die Vertreterin Deutschlands im wichtigen EU-Datenschutzausschuss. (hob@ct.de) **ct**

## Kritik an TikTok-Auftritt des Bundeskanzlers

Anfang April hat das Bundespresseamt einen TikTok-Kanal für Bundeskanzler Olaf Scholz live geschaltet. Der Schritt wurde von mehreren Seiten kritisiert.

Der Account soll Einblicke in die Arbeit von Scholz und der Bundesregierung geben und einen Blick hinter die Kulissen gewähren, erklärte Regierungssprecher Steffen Hebstreit.

Ferda Ataman, Bundesbeauftragte für Antidiskriminierung, kritisierte den Schritt: „Solange die Plattform TikTok und andere Plattformen sich nicht an die Regeln halten und junge Menschen vor Diskriminierung und Hassrede schützen und Desinformation nicht zurücknehmen oder bekämpfen“, sagte sie in einem Interview, „ist das keine Plattform für den Staat.“ Auch der Bundesdatenschutzbeauftragte meldete Bedenken an.

Das Bundespresseamt sieht sich nicht als verantwortlich für Datenschutzprobleme auf der Plattform, dessen Betreiber ByteDance Nähe zur chinesischen Regierung nachgesagt wird. Für den Betrieb des Accounts nutzt man ein eigenes Handy, sodass ein etwaiger Zugriff auf behördeninterne Daten nicht möglich sei.

Offenbar will das Bundespresseamt das Feld nicht mehr allein der AfD über lassen. Im Februar war eine Untersuchung veröffentlicht worden, nach der die Oppositionspartei mehr Reichweite auf TikTok hat als alle anderen Parteien zusammen.



Rund 3,6 Millionen Mal wurde das Video über Scholz' abgetragene Tasche aufgerufen.

Der Start des Bundeskanzler-Accounts war jedenfalls schon mal erfolgreich: Der „What's in my bag“-Einblick über Scholz' Aktentasche erreichte bis Redaktionsschluss rund 3,6 Millionen Views.

(jo@ct.de)

## „Find my Device“: Google startet Suchfunktion für Android

Google hat sein neues „Find My Device“-Netzwerk gestartet, mit dem sich verlorene oder verlegte Android-Geräte wie **Telefone und Tablets orten** lassen. Es nutzt mehr als eine Milliarde Android-Geräte für ein Ortungssystem auf Basis von Crowdsourcing. Bislang ließen sich solche Geräte über die „Find My Device“-App orten, sie mussten dafür allerdings mit dem Internet verbunden sein. Die neue

Anwendung dagegen findet auch Offline-Geräte via Bluetooth.

Ab Mai soll das Netzwerk auch Bluetooth-Tracker-Tags von Drittanbietern unterstützen und somit auch Gegenstände wie Schlüssel und Brieftaschen orten. Das „Find My Device“-Netzwerk ist derzeit nur in den USA und Kanada aktiv. Wann es hierzulande startet, hat Google nicht verraten.

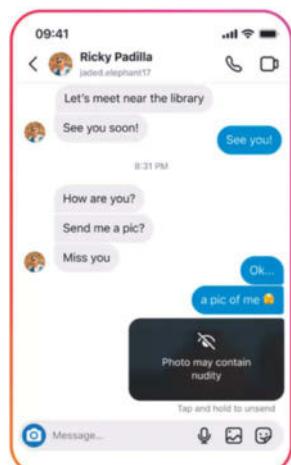
(jo@ct.de)

## Instagram: Besserer Schutz

Instagram plant, **Nacktbilder in Direktnachrichten für minderjährige Nutzer** automatisch zu **verbergen**. Das soll sie besser vor Belästigungen und Erpressungsversuchen schützen. Nacktbilder werden zukünftig durch einen Unschärfefilter abgedeckt und können nur nach einer zusätzlichen Bestätigung des Nutzers sichtbar gemacht werden.

Erwachsene Nutzer können diese Funktion ebenfalls für sich selbst aktivieren. Die Technik funktioniert auch bei Nachrichten mit Ende-zu-Ende-Verschlüsselung, da die Bildanalyse direkt auf dem Gerät erfolgt. Zusätzlich blendet Instagram vor dem Versenden eines Nacktbildes einen Warnhinweis ein, der bestätigt werden muss.

(jo@ct.de)



Instagram zeigt Minderjährigen Nacktbilder zukünftig unscharf an.

## Kurz & knapp

Das soziale Netzwerk **Threads** testet die von vielen Nutzern gewünschte **chronologische Sortierung der Suchergebnisse**. Bisher erschienen diese nur nach Relevanz angeordnet. Im Juni soll das API von Threads fertig sein, mit dem Anbieter professioneller Tools auf das Netzwerk zugreifen können. Für Drittanbieter-Clients ist es nicht vorgesehen.

**WhatsApp hat neue Filter eingeführt.** Neben der Standardansicht mit allen Chats können sich Nutzer auch nur die Chats mit ungelesenen Nachrichten oder nur Gruppen anzeigen lassen.

## Google-KI bekommt neue Fähigkeiten

**Google hat auf seiner Next-Konferenz neue Modelle und Funktionen für seine KI-Cloud-Plattform Vertex AI vorgestellt.**

In Vertex AI steht das Sprachmodell Gemini 1.5 Pro als öffentliche Testversion bereit. Es bietet das größte kommerziell verfügbare Kontextfenster von bis zu einer Million Token, kann sich also rund 750.000 Wörter merken.

Mit Gemini 1.5 Pro können Nutzer per Prompt nun verschiedene Arten von Audio-Ausgaben generieren, etwa Musik, Sprache und Tonspuren für Videos. Bilder nimmt Gemini zwar als Eingabe entgegen,

kann diese aber nicht erzeugen. Dafür ist der Bildgenerator Imagen zuständig, der in der neuen Version 2 nun auch animierte Grafiken erzeugt. Vertex AI umfasst neben Gemini und Imagen über 130 weitere Modelle für verschiedene Einsatzzwecke.

Um die Antwortgenauigkeit seiner Sprachmodelle zu verbessern, ermöglicht es Google Unternehmenskunden, diese mit individuellen Daten oder mit Zugriff auf die Suche nachzuschärfen. Mit dem neuen Agent Builder der Vertex-Plattform können sie intelligente Agenten für ihre Kunden gestalten und auf der Plattform betreiben. (jo@ct.de)

## Atlas wird elektrisch

Atlas ist tot, es lebe Atlas: Im April hat der Roboterhersteller Boston Dynamics den **Nachfolger seines hydraulisch betriebenen humanoiden Roboters vorgestellt**. Den neuen Atlas bewegen elektrisch betriebene Aktuatoren, die einen leiseren Betrieb ermöglichen. Der Roboter kann nun mit neuen KI- und Machine-Learning-Methoden trainiert werden.

Für den breiten kommerziellen Einsatz testet Boston Dynamics derzeit noch verschiedene Greifer, um den Roboter möglichst flexibel einsetzen zu können. Derweil soll er testweise bereits beim Mutterkonzern Hyundai in der Automobilproduktion mitarbeiten, um Erfahrungen mit ihm in realen Arbeitssituationen zu sammeln. (jo@ct.de)

## Reka Core fordert GPT-4 heraus

Das KI-Start-up Reka hat das **neue multimodale Sprachmodell Reka Core** vorgestellt. Es versteht neben Text und Bildern auch Video und Audio. In ersten Benchmarks kann sich Reka Core mit führenden Modellen wie GPT-4 von OpenAI, Claude 3 von Anthropic und Gemini Ultra von Google messen. Beim MMLU-Benchmark für allgemeines Sprachverständnis erreicht es eine Ge-

nauigkeit von 83,2 Prozent und liegt damit nur knapp hinter GPT-4 (86,4 Prozent). Neben dem Spitzenmodell Reka Core stellte das Start-up auch die kleineren Modelle Reka Flash und Reka Edge vor, die trotz geringerer Parameterzahl in Benchmarks viele größere Modelle übertrifft. Interessierte können die drei neuen Modelle unter [chat.reka.ai](http://chat.reka.ai) ausprobieren. (jo@ct.de)



Bild: Boston Dynamics

**Der humanoide Roboter Atlas ist in der neuesten Version sehr beweglich und schnell.**



## Streiche können teuer werden.

Wie Sie sich gegen Attacken auf Ihre IT-Infrastruktur wappnen können, erfahren Sie in unseren Seminaren und Workshops.

[www.cyber-akademie.de](http://www.cyber-akademie.de)

[Jetzt Kurse buchen!](#)



# Laserdressur

## Nano-Optomechanik: Exponentielle gerichtete Schallverstärkung

**Eigentlich lässt sich die Richtung von Schallwellen nicht wie bei Elektronen oder Protonen manipulieren, denn die mechanischen Schwingungen sind elektromagnetisch neutral. Ein Forschungsteam hat nun auf Basis eines Spezialfalls der Quantenphysik das Tor aufgestoßen.**

Von Dušan Živadinović

**E**in vom Amsterdamer Institut Atoom- en Moleculphysica (AMOLF) geleitetes Team hat ein Metamaterial erfunden, mit dem sich die in festen Körpern auftretenden mechanischen Schwingungen (Schallwellen) lenken lassen. Auch kann man derartige Schallwellen extrem verstärken, was die Sensortechnik und Informationsverarbeitung verbessern dürfte.

Die Geschichte der Entdeckung reicht einige Jahre zurück. Das von Ewold Verhagen am AMOLF geleitete Team hat sich Manipulationstechniken von Elektronen auf Grundlage von Magnetfeldern als Vorbild genommen und nach einem ähnlichen Verfahren für Schallwellen gesucht. Bei Elektronen hat man freilich leichtes Spiel, weil sie negativ geladen sind und mit Magnetfeldern wechselwir-

ken, sodass sich beispielsweise ihre Richtung beeinflussen lässt. Für viele Anwendungen wäre es aber sehr nützlich, wenn man Vibrationen und Schallwellen ähnlich wie Elektronenstrahlen mittels Magnetfeldern manipulieren könnte. Lange Zeit klappte das nicht, denn Elektronen sind geladene Teilchen, während Schallwellen elektrisch und magnetisch neutral sind.

Verhagens Team öffnete das Tor, als es begann, die Schallrichtung mit Laserlicht zu kontrollieren. Dabei erzeugt der Strahlungsdruck des Lasers in einem Netzwerk aus vibrierenden Silizium-Nanosaiten gerichtete Schallwellen. Das hat Verhagens Team am AMOLF bereits 2022 herausgefunden ([ct.de/yas3](#)) und erhoffte sich, auf dieser Basis neue Metamaterialien mit Eigenschaften zu entdecken, die man zuvor nicht kannte.

### Quantenhokuspokus

Das gelang in Ableitung der Kitaev-Kette. Diese ist ein theoretisches Modell der Quantenphysik, das bestimmte Zustände von Elementarteilchen (Fermionen wie Elektronen, halbzahligem Spin) in einem supraleitenden Material beschreibt (Majorana-Nullmoden für fehlertolerante Quantencomputer). Das Modell bezieht sich auf elektrisch geladene Teilchen, aber Verhagen und sein Team gingen davon aus, dass das mathematische Konzept auch mit einem synthetischen Material umgesetzt werden könnte, in welchem Schall oder Licht schwingen. Davon ver-

sprachen sie sich ein gänzlich neues Materialverhalten.

Da Licht und Schall aus Photonen beziehungsweise Phononen bestehen, die zu den Bosonen gehören (Teilchen mit ganzzahligem Spin), bildet ein solches Material keine fermionische, sondern eine bosonische Kitaev-Kette. Diese besteht aus gekoppelten Resonatoren. Dabei entsprechen die Resonatoren den „Atomen“ des Materials und deren kollektives Verhalten hängt von der Art ihrer Kopplung ab.

Genau besehen handelt es sich um nanomechanische Resonatoren, winzige vibrierende Silizium-Saiten mit Sägezahnkanten. Die Herstellung beschreiben die Autoren in einem älteren Artikel, der auf ArXiv erschienen ist ([ct.de/ys3](#)). Die Kopplung der Saiten erfolgt aber nicht mechanisch, etwa mittels Federn, sondern optisch über den Strahlungsdruck des Lasers. Jesse Slim, Erstautor der Studie, sagt: „Durch vorsichtiges Verändern der Laserintensität konnten wir fünf Resonatoren miteinander verbinden und so die bosonische Kitaev-Kette erzeugen.“

### Einbahnstraße

„Die optische Kopplung ähnelt mathematisch den supraleitenden Gliedern einer fermionischen Kitaev-Kette“, sagt Verhagen. „Ungeladene Bosonen sind jedoch nicht supraleitend; stattdessen verstärkt die optische Kopplung die nanomechanischen Schwingungen. Infolgedessen werden die Schwingungen von einem Ende zum anderen exponentiell verstärkt. Interessanterweise ist die Übertragung der Schwingungen in die entgegengesetzte Richtung blockiert.“

Verhagen ergänzt: „Und was noch faszinierender ist: Wird die Welle ein wenig verzögert – um ein Viertel einer Periode – kehrt sich das Verhalten komplett um: Das Signal wird nach hinten verstärkt und nach vorne blockiert. Die bosonische Kitaev-Kette wirkt somit wie ein außergewöhnlicher Richtungsverstärker, der vielversprechende Anwendungen für die Signalmanipulation, insbesondere in der Quantentechnologie, ermöglichen könnte.“ Die Studie erschien im Fachblatt Nature unter dem Titel „Optomechanical realization of the bosonic Kitaev chain“.

(dz@ct.de) **ct**

Mehrere mechanische Saitenresonatoren sind mittels Laserstrahlen verkettet (künstlerische Darstellung). Die Kette transportiert und verstärkt mechanische Schwingungen.

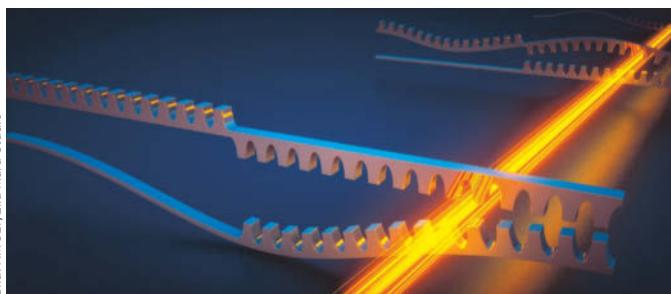


Bild: AMOLF/Ella Maru Studio

Facharbeiten zur bosonischen Kitaev-Kette: [ct.de/ys3](#)

# Brille mit Sonar scannt Blickrichtung und Mimik

**Mit Schallortung an der Brille gelingt es Forschern, den Gesichtsausdruck und sogar die Blickrichtung des Trägers zu erkennen und auf einen Avatar zu übertragen. Keine Kamera stört dabei die Privatsphäre.**

Ein Team um Cheng Zhang an der Cornell University im US-Staat New York hat zwei Sonarsysteme entwickelt, die, an einer Datenbrille oder einem VR-Headset (Virtual Reality) angebracht, das Mienenspiel des Trägers erkennen. Damit kann das System der Forscher in Echtzeit einen Avatar dazu bringen, die Mimik zu imitieren. Er blinzelt auch wie sein Vorbild und schaut sogar in die gleiche Richtung. Die Technik erweist sich nicht nur als kompakt genug, um sie an einer Brille unterzubringen. Sie ist obendrein energiesparender als Systeme mit Kameras. An einer handelsüblichen VR-Brille liefen die Prototypen mehr als einen Tag lang.

Bereits auf der kommenden Konferenz CHI (Computer-Human Interaction) im Mai 2024 wollen Zhang und sein Team das Teilsystem EyeEcho vorstellen. Ein Lautsprecher und ein Mikrofon an jedem Brillenbügel scannen je eine Gesichtshälfte und erfassen sowohl Lippenbewegungen als auch Blinzeln. In Versuchen erkannte dieses System die verschiedenen Gesichtsausdrücke der Probanden auch, wenn diese sich bewegten und beispielsweise umhergingen.

Das jüngere System GazeTrak umfasst derzeit einen miniaturisierten Lautsprecher und vier Mikrofone in jeder Brillenglas-Einfassung. Aus deren Aufnahmen berechnet ein Machine-Learning-Modell die Blickrichtung. Derzeit bezeichnen die Forscher GazeTrak als Proof of Concept,

dessen Ergebnisse noch nicht an die Genauigkeit kameraorientierter Technik herankommen. Dafür ist der Strombedarf geringer und es entstehen keine Fotos, die den Datenschutz des Brillenträgers berühren könnten. Künftig hoffen die Forscher, ihr Sonarsystem auf die Genauigkeit der kameraorientierten Konkurrenz trimmen zu können und dabei zudem noch die Anzahl der eingesetzten Mikrofone zu verringern. (agr@ct.de)

**Projekte und Homepages:** [ct.de/yt1e](http://ct.de/yt1e)



Bild: Cornell University

## Ü-Kamera mit Spuckrohr

Das slowenische Start-up OZ-IT will mit aktiven Überwachungskameras den Einbruchsschutz verbessern. Seine PaintCam-Kamerasysteme sind nicht nur mit



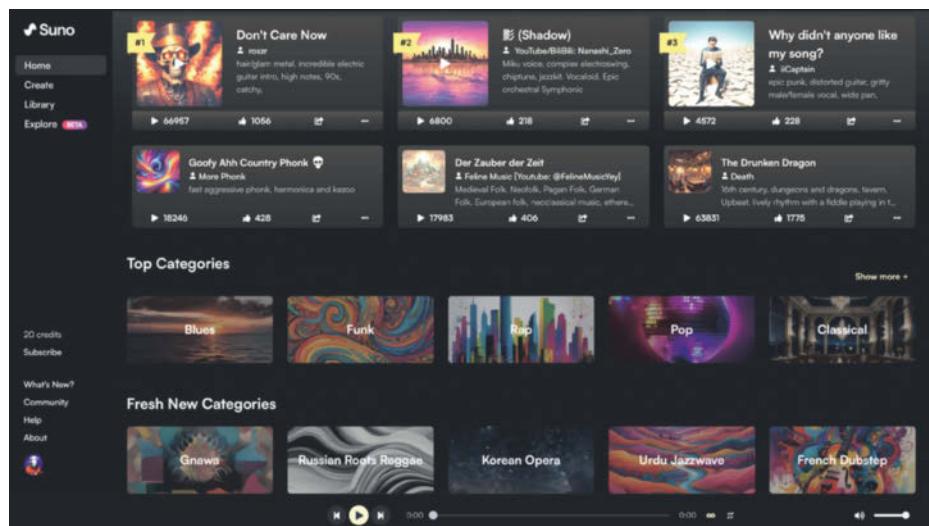
**PaintCam ist eine Überwachungskamera, die nicht nur Bilder und Geräusche aufnimmt, sondern auch Paintballs verschießt.**

Gesichtserkennung ausgestattet, um bekannte Besucher von unbekannten zu unterscheiden und per App an den Anwender zu melden. Zusätzlich kann die Kamera laut Hersteller einen LED-Scheinwerfer einschalten, Eindringlinge mit einem Laserpointer anvisieren und auf der höchsten Eskalationsstufe sogar mit Farbkugeln beschießen.

Das Überwachungssystem steht noch vor der Markteinführung (siehe paintcam.eu). Es reagiert auf Bewegungen und Geräusche und umfasst in der Elite-Version sowohl eine KI-Tiererkennung als auch eine Gesichtserkennung. Der Hersteller verspricht, dass seine Kamera auch autonom agieren kann, wenn die Anwender-App offline ist. In dem Fall behält die Kamera Eindringlinge autonom im Blick und versucht, Unbekannte zur Not mit Lasermarkierung und sogar Paintball-Schüssen zu vertreiben – was allerdings zumindest in Deutschland rechtlich sehr fragwürdig wäre. (agr@ct.de)

## Neuromorphes Großnetz

Intel hat ein neuromorphes System mit 1,15 Milliarden Neuronen und 128 Milliarden Synapsen an den Sandia National Laboratories des US-Energieministeriums aufgebaut. Für das neue Netzwerk nutzte der Halbleiterhersteller 1152 Loihi-2-Chips. Dabei handelt es sich um einen Prototyp, der ein **Nervengeflecht ähnlich dem Gehirn** auf Transistorebene nachbildet. „Damit wird es in Zukunft möglich, den enormen Ressourcenbedarf für große KI-Modelle substantiell zu senken“, sagte Mike Davies, Leiter von Intels Neuromorphic Computing Lab, gegenüber c't. Neuromorphe Systeme könnten über 15 Billionen 8-Bit-Operationen pro Sekunde und Watt berechnen. Die neue Rechenarchitektur soll Optimierungsanwendungen effizient lösen. Man hofft zudem, neuromorphe Modelle zu entwickeln, die ähnlich dem Gehirn kontinuierlich aus neuen Daten lernen. (agr@ct.de)



# Alles nur geklaut

## KI generiert radiotaugliche Songs

**Was ChatGPT für Texte und Midjourney für Bilder, ist Suno für Musik. Das Start-up liefert inzwischen radiotaugliche Qualität und fordert zusammen mit ähnlichen Anbietern wie Udio die Musikindustrie heraus.**

Von Hartmut Gieselmann

Langzeit hat sich KI an hörbaren Musikstücken die Zähne ausgebissen. Akademische Versuche wie Riffusion oder MusicLM erzeugten auf Zuruf allenfalls kurze Phrasen in Telefonqualität (siehe c't 6/2023, S. 123). Die Entwickler trainierten ihre neuronalen Netze mit einer relativ kleinen Auswahl freier Musikstücke und konnten keine längeren Spannungsbögen aufbauen.

Ganz anders klingen neue KI-Generatoren wie der von Suno: Sie spielen komplett arrangierte Stücke im Wechsel von Strophe und Refrain in einer Qualität, die für jede Spotify-Hitliste taugen würde. Der Nutzer gibt nicht nur ein paar Anweisungen zu Genre und Stimmung, sondern

kann auch den genauen Text vorgeben. Dieser wird dann von einem Sänger, einer Sängerin, einem ganzen Chor oder einer Boy- oder Girlgroup in Begleitung einer Band äußerst professionell vorgetragen – es grenzt an Magie.

Doch die Macher des 12-köpfigen Suno-Teams haben dafür keinen Blick ins Zauberbuch von Harry Potter geworfen, sondern ihre KI mutmaßlich mit dem kommerziellen Repertoire der großen Musikverlage trainiert. Anders ist weder die Bandbreite noch die musikalische Qualität und stilistische Nähe der generierten Clips zu erklären.

Zwar betont Suno, dass die KI die großen Künstler nicht direkt imitiert. Wer einen Song von Michael Jackson anfordert, bekommt nur eine ungefähre Stilkopie eines namenlosen Sängers. Anwender erhalten einen Hinweis, dass sie keine urheberrechtlich geschützten Texte nutzen dürfen und nur ihren eigenen Text oder einen KI-generierten verwenden sollen.

Einen entsprechenden Generator von ChatGPT hat Suno gleich mit an Bord. Im Netz machen sich viele einen Jux, vertonen Kochrezepte, Bedienungsanleitungen oder sogar Lizenzbedingungen. Damit

sammeln sie mitunter Tausende Klicks bei TikTok & Co.

Der große Qualitätsschub kam Ende März, als Suno die dritte Version des Generators veröffentlichte. Die Klangqualität stieg deutlich und liegt nun auf dem Niveau eines Webradios mit etwas zu niedriger Bitrate. Wer genau hinhört, entdeckt Kompressionsartefakte. Das volle Frequenzspektrum ist aber vorhanden. Für die Wiedergabe auf einem günstigen Bluetooth-Lautsprecher reicht der Sound allemal.

Suno generiert die Songs in 60-Sekunden-Abschnitten, immer zwei Varianten gleichzeitig. Wer will, kann sie beliebig um jeweils 60 Sekunden verlängern und entscheiden, ob der nächste Abschnitt gesungen oder instrumental gespielt werden soll. Schließlich näht Suno alle Segmente zu einem kompletten Song zusammen. Nur das Ende bricht abrupt ab und muss ausgefaded werden.

Herunterladen kann man die Songs als MP3 mit 192 kbit/s. Die Tonqualität entspricht eher einem Stream mit weniger als 128 kbit/s. Der kostenlose Account erlaubt fünf Segmente pro Tag. Wer mehr will, zahlt 10 oder 30 Dollar im Monat und darf die Stücke dann auch kommerziell veröffentlichen, ohne auf Suno hinzuweisen.

Damit ist Suno bereits weiter als sein Konkurrent Udio, der Anfang April seine Betaphase startete. Udio hat ein ähnliches Konzept mit jeweils 32 Sekunden langen Segmenten, die auch ein explizites Intro und Outro enthalten. Konkrete Künstlernamen wie „Depeche Mode“ ersetzt Udio durch allgemeine Schlagwörter. Ein Versuch erinnerte aber stark an deren Hit „Personal Jesus“. Die Tonqualität von Udio reicht jedoch noch nicht an die von Suno heran und eignet sich allenfalls für die Wiedergabe über einen Smartphone-Speaker. Doch die Konkurrenz zeigt: Suno wird kein Monopolist bleiben, und bald werden weitere KI-Dienste auf den Markt kommen, die in Sachen Klangqualität aufholen.

### Auf Konfrontationskurs

Zwar kann man Suno keine detaillierten Anweisungen zur Instrumentierung und Tonart, zum Tempo oder zum genauen Aufbau eines Liedabschnitts geben. Dafür kann sich aber jeder in wenigen Minuten einen neuen Song zusammenklicken und ihn mit einem eigenen oder KI-generierten Text versehen.

Die Songs überschwemmen dann nicht nur die Social-Media-Plattformen, sondern können über Dienste wie Distro-

kid auch auf allen Streaming-Plattformen wie Spotify, Apple Music, YouTube & Co. kommerziell vertrieben werden. Wer will, tauscht den Gesang noch über einen Stimmklondienst wie Kits mit dem eigenen Stimmprofil aus und verkauft die künstlichen Werke als eigenes Album. Musikalische Grundkenntnisse oder gar Talent sind dafür dank KI nicht mehr nötig.

Spotify-Chef Daniel Ek schließt den Vertrieb von KI-generierten Songs über Spotify zumindest nicht kategorisch aus. Er sucht derzeit nach einem Kompromiss, der Musiker und Verlage ausreichend schützt, aber neue KI-Tools zulässt. Es geht um viel Geld. KI-Anbieter wie Suno greifen die Schatzkammern der großen Musikanbieter wie Universal mit ähnlicher Wucht an wie Napster und Pirate Bay vor 20 Jahren.

In einem Interview mit dem Musikmagazin Rolling Stone erklärten die vier Suno-Gründer Mikey Shulman, Keenan Freyberg, Georg Kucsko und Martin Camacho, allesamt KI-Experten aus Cambridge, dass sie über eine Milliarde Musikhörer als potenzielle Kunden erreichen wollen, die demnächst vielleicht auch eine Melodie summen können, um einen Song zu generieren.

Im Hintergrund agieren Geldgeber wie Antonio Rodriguez von der Investmentgruppe Matrix Partners. Microsoft ist ebenfalls mit im Boot und nutzt Suno für seine Copiloten. Den Investoren ist durchaus bewusst, dass sich Suno in einer rechtlichen Grauzone bewegt und von den Musikverlagen verklagt werden könnte: „Das war Teil des Risikos, als wir in Suno investierten“, sagte Rodriguez dem Rolling Stone. Das dürfte auch ein Grund dafür sein, dass Suno keine Details über sein Trainingsmaterial preisgibt. Wenn aber voraussichtlich im Juni der AI Act in Europa in Kraft tritt, könnten Anbieter wie Suno später gezwungen sein, zumindest grobe Angaben zum Trainingsrepertoire zu machen – oder ihren Dienst in Europa einzustellen.

Auf Zinne sind nicht zuletzt Musiker, mit deren Werken die KI-Anbieter ihre Modelle ohne deren Zustimmung oder finanziellen Beteiligung trainiert haben: In einem offenen Brief fordern 200 namhafte Musiker der Artist Rights Alliance, darunter Billie Eilish, Elvis Costello und die Rockband R.E.M., die KI-Firmen auf, ihren „Angriff auf die menschliche Kreativität“ zu stoppen und sie zumindest finanziell angemessen zu entschädigen.

## Rechtliche Fragen

Dienste wie Suno und Udio erklären zwar in ihren Geschäftsbedingungen, dass Nutzer alle Rechte an den generierten Songs erhalten, wenn sie ein kostenpflichtiges Abonnement abschließen. Für KI-generierte Songs dürfte aber dasselbe gelten wie für Bilder und Texte: Sie sind gemeinfrei und der Nutzer kann keine Urheberschaft beanspruchen. Jeder darf sie kopieren und frei verwenden. Niemand dürfte sich also bei der Gema oder anderen Verwertungsgesellschaften als Urheber registrieren lassen und Tantiemen kassieren – außer, er hat den Text tatsächlich selbst geschrieben. So nehmen sich auch die KI-Dienste das Recht heraus, mit den generierten Songs auf ihren Plattformen nach Belieben zu verfahren.

Fraglich ist, ob man am Ende nachweisen kann, dass ein Lied mithilfe von KI-Werkzeugen oder gar komplett algorithmisch entstanden ist. Suno gibt an, in die zum Download angebotenen Songs ein Wasserzeichen einzubauen, das beim Abspielen nicht hörbar ist. Je nachdem, wie robust solche Wasserzeichen sind, könnten sie bei einer Bearbeitung oder analogen Überspielung verschwinden. Bei Bildern und Texten lassen sich Wasserzeichen zumindest sehr leicht entfernen. (hag@ct.de) **ct**

**WIR SIND NICHT  
NUR NERDS.  
WIR SIND AUCH  
VOM FACH.**

**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)



**Jetzt 5 x c't lesen**  
für 20,25 € statt 27,25 €\*

\* im Vergleich zum Standard-Abo



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



+49 541/80 009 120

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

# Bit-Rauschen

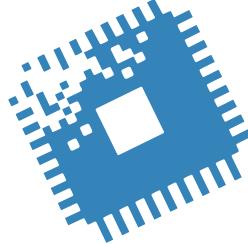
**Chip-Guru Jim Keller findet, dass andere Firmen zu teuer entwickeln**

**Angeblich steckte Nvidia 10 Milliarden US-Dollar in die Entwicklung des KI-Beschleunigers Blackwell. Intel wirft plötzlich doch schon einen LGA1851-Prozessor auf den Markt und ein Erdbeben in Taiwan lässt die Lieferkette rasseln.**

Von Christof Windeck

**Ü**erraschend tauchte auf der Fachmesse Embedded World 2024 in Nürnberg die neue Intel-Prozessorfassung LGA1851 auf. Damit hatten wir eigentlich frühestens Anfang Juni gerechnet: Auf der Computex in Taipeh könnte Pat Gelsinger den Core Ultra 200 „Arrow Lake“ für Desktop-PCs mit den erwähnten LGA1851-Mainboards vorstellen. Die jetzt schon gezeigten Boards von der taiwanischen Firma iBase sind hingegen für Embedded-Versionen des Mobilprozessors Core Ultra 100 gedacht. Von dieser Baureihe Meteor Lake-PS kündigte Intel zur Embedded World neun Versionen mit 10 bis 22 CPU-Kernen vom Core Ultra 3 105UL bis zum Core Ultra 7 165HL an.

Vor einigen Jahren hatte man erwartet, dass Meteor Lake schon Ende 2023 auch für Desktop-PCs kommt, inklusive der besagten Fassung LGA1851. Diese ist designierte Nachfolgerin der Fassung LGA1700. Doch für den Konkurrenzkampf gegen die starken AMD Ryzen 7000 takten die Meteor Lakes schlichtweg nicht hoch genug. Daher brachte Intel bisher nur Mobilversionen des Core Ultra 100 und nun eben die Embedded-Version. Technisches Schmankerl dieser CPU-Serie Meteor Lake-PS: Die Boards haben keine Chipsätze; Controller für SATA und USB stecken in der CPU. Mit



Arrow Lake-S kommen aber wohl auch Z890, B860 und H810.

## Billiger entwickeln

Der in der Chipbranche bekannte Entwickler Jim Keller arbeitete schon am legendären DEC Alpha mit und stand danach in Diensten von Apple, AMD, Intel und Tesla. Heute ist der Chef der KI-Chipfirma Tenstorrent und meint, dass andere Firmen zu viel Geld für die Chipentwicklung rauswerfen. Kürzlich wurde bekannt, dass Nvidia für die Entwicklung der neuen Chipfamilie Blackwell (siehe c't 9/2024, S. 46) fast 10 Milliarden US-Dollar ausgab. Jim Keller kommentierte auf der Plattform X, ein Zehntel davon hätte genügt. Ähnlich salopp konterte er zuvor die angeblichen Pläne des OpenAI-Chefs Sam Altman zur Umgestaltung der weltweiten Chipbranche. Altman sucht Investoren, um mit einem Aufwand von rund 7 Billionen US-Dollar (kein Übersetzungsfehler) die Produktion von KI-Prozessoren anzukurbeln. Dazu Keller: Ich schaffe das mit nicht einmal 1 Billion. Wie das konkret gelingen soll, führte Keller öffentlich nicht weiter aus.

Tenstorrent verkauft ein paar PCIe-Karten mit hauseigenen Chips, will aber



**Überraschung auf der Fachmesse Embedded World 2024: Ein Mainboard mit der Prozessorfassung LGA1851 für Spezialversionen des Core Ultra 100 „Meteor Lake“.**

vor allem mit Chiplets für andere Prozessoren und Lizenzien für seine KI-Technik Geld verdienen. Tenstorrent mischt auch bei einem anderen neuen Konzept mit: dem des japanischen Chip-Auftragsfertigers Rapidus. Dahinter stecken zwei Veteranen der japanischen Chipbranche: Tetsuro Higashi und Atsuyoshi Koike. Sie wollen die Produktion von Chips und Chiplets mit feinsten Strukturen viel schneller serienreif machen als die Konkurrenz und kooperieren dabei unter anderem mit IBM und dem europäischen Forschungszentrum IMEC. Rapidus hat bereits Fördermittelzusagen in Höhe von rund 6 Milliarden US-Dollar, 2027 soll die Produktion von Chiplets der 2-Nanometer-Generation anlaufen. Dann wird sich zeigen, ob das Konzept aufgeht oder ob die Gründer zu viel versprochen haben.

## Erdbebenangst

Am 3. April bebt in Taiwan die Erde so stark, dass wenigstens zehn Menschen starben und über 1000 verletzt wurden. Außerdem erzitterte die Weltwirtschaft, weil viele Firmen auf Halbleiter aus Taiwan angewiesen sind: Dort produzieren außer dem weltgrößten Auftragsfertiger TSMC unter anderem auch UMC, Micron und Winbond. Doch die Schutzmaßnahmen der taiwanischen Chiphersteller funktionierten dermaßen gut, dass sie keine nennenswerten Auswirkungen auf die Produktion erwarten.

Bisher tragen die EU-Pläne zur Reduktion der Chip-Abhängigkeit von Taiwan erst wenige sichtbare Früchte. Aus den USA hört man viel mehr Nachrichten über Fabs und Fördermittel. So will TSMC am Standort Phoenix/Arizona nun noch eine dritte Fab bauen. Die erste steht schon und soll 2025 den Betrieb aufnehmen, die zweite ist im Bau. Insgesamt bekommt TSMC 6,6 Milliarden US-Dollar an direkten Subventionen, dazu Kredite über rund 5 Milliarden US-Dollar plus Steuervergünstigungen.

Weitere rund 6,4 Milliarden US-Dollar fließen an Samsung Electronics; die Koreaner bauen dafür ihren Standort in Austin/Texas deutlich weiter aus. Intel bekommt in den USA rund 8,5 Milliarden US-Dollar Förderung und will rund 100 Milliarden investieren, Globalfoundries plant 12 Milliarden an Investitionen und bekommt 1,5 Milliarden von US-amerikanischen Steuerzahlern dazu.

(ciw@ct.de) ct

# Leistungsstarkes Dual-Standard-Netzteil für ATX-3.1- und ATX12VO-Systeme

**Das Enermax PlatiGemini 1200W taugt für zwei Netzteilstandards und versorgt High-End-Grafikkarten mit 600 Watt Leistung.**

Enermax bewirbt das 1200-Watt-Netzteil PlatiGemini damit, dass es sowohl an Mainboards nach dem geläufigen ATX-3.1-Standard funktioniert als auch an Boards, die vom Netzteil ausschließlich 12 Volt erhalten (ATX12VO, ATX 12 Volt only). Bislang gibt es jedoch im Einzelhandel noch keine solchen Boards zu kaufen. Den neuen Netzteilstandard gibt es seit 2020 (siehe c't 22/2020, S. 96). Im Unterschied zu bisherigem ATX entfallen dabei die 3,3- und 5-Volt-Spannung im Netzteil, um den Wirkungsgrad bei niedriger Last zu verbessern. Stattdessen gibt es auf ATX12VO-Boards Wandler für 3,3 und 5 Volt, um von dort aus beispielsweise SATA-Laufwerke mit Strom zu versorgen.

Das Enermax PlatiGemini ist ein modulares Netzteil. Zu den Anschlüssen gehören unter anderem ein herkömmlicher 24-poliger ATX-Stromstecker und einer für den neuen 10-poligen Mainboardstecker von ATX12VO. Ist dieser angeschlos-

sen, soll das PlatiGemini ausschließlich 12 Volt liefern. Weiterhin bietet das Netzteil für Grafikkarten mit 600 Watt Dauerleistungsaufnahme einen 12V-2x6-Stekker der Standards ATX 3.1 und PCIe 5.1 sowie drei 6+2-polige PEG-Stromanschlüsse. Für einen leisen Betrieb läuft der 135-Millimeter-Lüfter erst ab 60 Prozent (700 Watt) der Maximalleistung von 1200 Watt an. Um Staubablagerungen zu reduzieren, dreht er nach dem Einschal-

ten kurz rückwärts hoch. Per Knopfdruck lässt sich diese Funktion auch manuell auslösen.

Das Enermax PlatiGemini 1200W erfüllt mit einem Wirkungsgrad von bis zu 94 Prozent die Vorgaben von 80Plus Platinum. Bei zwei Prozent Last (24 Watt) soll er 76 Prozent betragen. Enermax verlangt für das High-End-Netzteil mit zehn Jahren Herstellergarantie 260 Euro. Es ist ab sofort erhältlich.

(chh@ct.de)

**Das Enermax PlatiGemini eignet sich dank zwei unterschiedlicher Mainboard-Stromanschlüsse gleichermaßen für ATX 3.1 und ATX12VO.**



Bild: Enermax

## Kombiprozessoren mit KI-Einheit für Bürokechner

Für Business-PCs und -Notebooks bietet AMD ab sofort **Prozessoren der Serien Ryzen Pro 8000** an. Zum Einlöten in tragbare Rechner sind die fünf Ryzen-Pro-8040HS-Modelle mit 20 bis 54 Watt Thermal Design Power sowie drei Ryzen-Pro-8040U-CPUs mit 15 bis 28 Watt TDP gedacht. Es gibt jeweils Sechs- und Acht-kerner. Für Desktop-PCs hat AMD acht Ryzen-Pro-8000G-CPUs für die Fassung AM5 in petto, darunter auch vier 8000GE-Varianten mit 35 Watt TDP.

Bis auf den mobilen Ryzen 5 Pro 8540U und die Desktop-Modelle Ryzen 5 Pro 8500G(E) und Ryzen 3 Pro 8300G(E) enthalten die CPUs eine KI-Einheit, die zum Beispiel über die in Windows 11 enthaltenen Studio Effects bei Videokonferenzen den Hintergrund unscharf stellen. AMD bewirbt zudem die Sicherheitsfunk-

tionen des integrierten Microsoft-Pluton-Mikrocontrollers. Geräte mit den Ryzen-Pro-8000-Prozessoren haben unter anderem HP und Lenovo angekündigt, die zum Teil aber erst im November 2024 in den Handel kommen.

(chh@ct.de)



Bild: HP

**Zu den ersten Notebooks mit Ryzen Pro 8040 und Wi-Fi 7 gehört die mobile Workstation HP ZBook Firefly G11.**

## Wachsender PC-Markt

Im Vergleich zum Vorjahreszeitraum ist die Zahl der weltweit verkauften Notebooks, Workstations und Desktop-PCs nach Angaben der Marktforscher von IDC **im ersten Quartal 2024** um 1,5 Prozent **auf 59,8 Millionen Rechner** gestiegen. Damit erreicht der Absatz nach dem Boom während der Pandemie und der anschließenden Talfahrt fast wieder das Vorpandemieniveau (Q1/2019: 60,5 Millionen).

Nach Herstellern aufgeschlüsselt konnten vor allem der Marktführer Lenovo sowie Apple und Acer von der sich abschwächenden Inflation profitieren. Rückgänge mussten Asus und Dell hinnehmen. Für das laufende Jahr prognostiziert IDC weiter steigende Verkäufe durch neue Rechner mit KI-Beschleunigern.

(chh@ct.de)

# HAMR-Festplatten: Mehr Speicher durch 3D-Aufzeichnung

**Eine Aufzeichnung über mehrere Schichten könnte die Kapazität von Festplatten auf mehr als 100 TByte pro Laufwerk steigern. Notwendig sind HAMR-Festplatten und weitere Forschung.**

Heat Assisted Magnetic Recording (HAMR) gilt als die für Festplatten bis etwa 50 TByte am besten geeignete Technik. Sie nutzt am Schreibkopf angebrachte Laser, die den zu beschreibenden Bereich der Oberfläche kurzzeitig auf rund 450 °C erhitzen, einen Wert nahe der Curie-Temperatur des Magnetmaterials. Damit sinkt die zum Beschreiben notwendige Energie, die Schreibköpfe können physisch kleiner werden und die für die Speicherung eines Bits notwendige Fläche sinkt – damit steigt die Flächendichte und darüber die Kapazität einer einzelnen Scheibe.

Forscher des japanischen National Institute for Material Science (NIMS), der Universität Tohoku sowie Mitarbeiter vom HAMR-Erfinder Seagate haben nun einen Weg gefunden, die Technik noch einmal grundlegend zu erweitern. Sie nutzen dazu zunächst zwei Schichten des bei HAMR

üblichen Magnetmaterials FePt (Eisen-Platin), welches durch eine Schicht aus Ruthenium – einem silberweißen, harten und spröden Platinmetall – getrennt sind. Messungen der Forscher ergaben, dass diese beiden Schichten unterschiedliche Curie-Temperaturen aufweisen und deshalb getrennt beschreibbar sind. Theoretisch, so die Forscher, könnten noch ein oder zwei weitere Schichten dazu kommen, was die Kapazität steigern würde.

Bei kommerziellen HAMR-Festplatten dient der Laser allerdings lediglich zur Ansteuerung eines Near Field Transducers (NFT), dessen Plasmaausstoß dann die Magnetpartikel erhitzt. Die Forscher nehmen an, dass die unterschied-

lichen Schichten durch eine Anpassung der Lasereinstellung ansteuerbar sind.

Ein weiterer Layer verdoppelt die Kapazität jedoch nicht, denn beim Auslesen lassen sich die einzelnen Layer nicht unterscheiden. Damit ergeben sich drei unterschiedliche Werte: negativ, neutral und positiv.

Im Labor nutzt Seagate heute bereits HAMR-Scheiben mit Aufzeichnungsdichten von bis zu 5 Tbit pro Quadratzoll, die von aktuell ausgelieferten Festplatten liegt bei etwa 3 Tbit pro Quadratzoll. Wenn die Technik einmal zur Marktreife kommen sollte, würde das die möglichen Kapazitäten noch einmal stark erhöhen.

(ll@ct.de)

**3D-Aufzeichnung funktioniert laut japanischen Forschern auch bei Festplatten. Die Datendichte erhöht sich durch eine zweite Magnetschicht jedoch nur um 50 Prozent.**

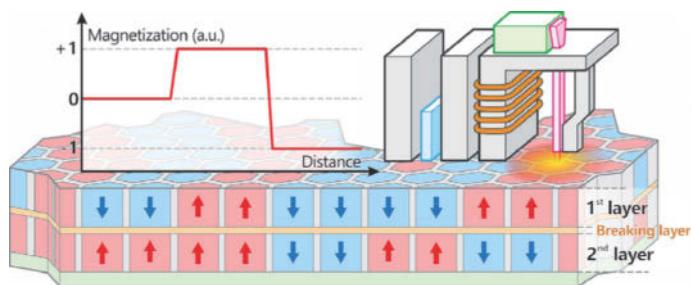


Bild: National Institute for Material Science

## Tragbarer Storage-Server mit 368 TByte Speicherplatz

Manchmal geht es schneller, die Daten nicht über das Netz zu transportieren, sondern das Turnschuhnetzwerk zu nutzen. Western Digital bringt dazu einen **Storage-Server, der mit rund 13 Kilogramm Gewicht** so gerade noch als tragbar durchgeht – ein passender Koffer mit stabilem Tragegriff gehört zum Lieferumfang.

Der Server hat jedoch keinen PCIe-Anschluss, sondern zwei Ethernet-Schnittstellen mit jeweils 200 Gbit/s. Als Arbeitspferd dient ein Intel Xeon aus der Ice-

Lake-Serie mit bis zu 128 GByte DRAM, zum Starten des Betriebssystems ein RAID 1 aus zwei WD-SN740-SSDs. Die 368 TByte Speicherplatz bestehen ebenfalls aus PCIe-SSDs, Western Digital nennt jedoch keine Modellbezeichnungen.

Als weitere Anschlüsse stehen USB und VGA bereit, der Server lässt sich jedoch auch per RS232-Schnittstelle ansteuern. Das Netzteil hat den Angaben zufolge eine Leistung von 1,3 Kilowatt, zum Preis hat sich das Unternehmen noch nicht geäußert. (ll@ct.de)

## Kurz & knapp

Western Digital erweitert seine **NAS-Festplattenserie Red Pro** um ein **Modell mit 24 TByte**. Die Kenndaten entsprechen weitgehend dem 22-TByte-Modell: dauerlaufgeeignet, maximal 550 TByte Arbeitslast pro Jahr, fünf Jahre Garantie. Zu Verfügbarkeit und Preis liegen noch keine Angaben vor.

Nach den SSD-Preisen **steigen auch die Festplattenpreise** nach der Einschätzung von Analysten in den nächsten Monaten; sie erwarten eine Steigerung von etwa 20 Prozent im Vergleich zum Herbst 2023. Der Grund liegt in der anhaltenden Nachfrage nach Speicherplatz, den vor allem die KI-Industrie treibt.



**Der Storage-Server von Western Digital soll große Datenmengen transportieren können.**

# OpenTofu bestreitet Urheberrechtsverletzung

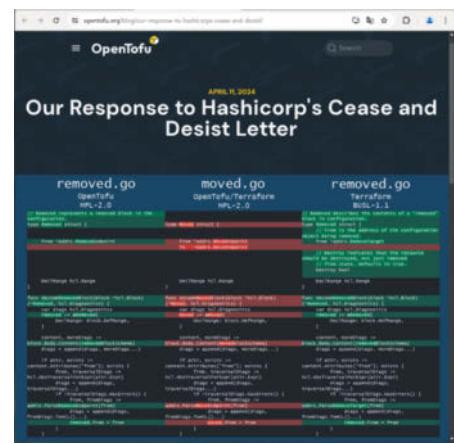
**HashiCorp wirft dem Terraform-Fork OpenTofu vor, die BSL-Lizenz von Terraform verletzt zu haben. Das OpenTofu-Projekt setzt sich jetzt öffentlich zur Wehr.**

Der Konflikt zwischen dem OpenTofu-Projekt und HashiCorp, dem Unternehmen hinter dem Infrastructure-as-Code-Werkzeug Terraform, spitzt sich zu. OpenTofu ist ein Fork von Terraform, der hauptsächlich von Mitbewerbern der HashiCorps entwickelt wird. Er wurde ins Leben gerufen, nachdem HashiCorp Terraform unter die BSL (Business Source License) gestellt hatte. Anfang April verschickte HashiCorp eine Unterlassungsaufforderung an OpenTofu. In dem Schreiben erhaben HashiCorp den Vorwurf der Urheberrechtsverletzung. Die OpenTofu-Entwickler hätten in mehreren Dateien BSL-licensierten Code von Terraform kopiert und Header mit Lizenzinformation modifiziert.

Matt Asay, Developer-Relations-Chef bei MongoDB, erhaben in seinem Blog bei InfoWorld ähnliche Anschuldigungen (siehe ct.de/y3uv). Flankiert wurde die Unterlassungserklärung von HashiCorp mit einer

Aufforderung an GitHub, den umstrittenen Code auf Basis des DMCA (Digital Millennium Copyright Acts) von seiner Plattform zu entfernen, wenn die OpenTofu-Entwickler das nicht selbst tun. Das OpenTofu-Projekt widerspricht den Anschuldigungen jetzt auf der eigenen Website. Der betroffene Code stamme von älterem Code ab, der noch unter der ursprünglichen MPL-2.0-Lizenz stehe. Das OpenTofu-Team erklärt die Überschneidungen im Quellcode damit, dass Terraform-Entwickler die gleiche Datei als Grundlage für ihre Implementierung des Features genommen haben. Außerdem hat das Projekt den Brief von HashiCorp, die eigene Antwort, sowie eine umfassende Code-Analyse in Form eines Source-Code-Origin-Dokuments (SCO) veröffentlicht (siehe ct.de/y3uv), das die eigene Unschuld beweisen soll.

Matt Asay hat seine ursprüngliche Einschätzung daraufhin inzwischen revidiert und schreibt auf X, dass seine Bedenken nun ausgeräumt seien. Chris Aniszczyk, Chief Technical Officer bei der CNCF (Cloud Native Computing Foundation) kritisiert das Vorgehen von HashiCorp in einem Beitrag auf LinkedIn scharf: „Es ist unangenehm zu sehen, wie ein



**Auf seiner Website wehrt sich das OpenTofu-Projekt gegen den Vorwurf, die BSL-Lizenz verletzt zu haben.**

Unternehmen die Reputation von Entwicklern ins Feuer wirft, ganz abgesehen davon, dass sie Open Source angreifen.“ Die CNCF ist eine Tochterorganisation der Linux Foundation, die das OpenTofu-Projekt unter seine Fittiche genommen hat. HashiCorp wollte sich auf Nachfragen von c't, ob man bei dem Vorwurf bleibe oder weiter rechtliche Schritte einleiten wolle, nicht äußern. (ndi@ct.de)

## In eigener Sache: Raspi mit Hype-Newsletter gewinnen

Jeden Donnerstag blicken Jan-Keno Jansen und Lukas Rumpler aus der c't-Redaktion in ihrem Newsletter Hype auf die Trends der Stunde und beantworten Fragen zum letzten Video auf dem YouTube-Kanal c't 3003. Die Abonnenten des Newsletters haben jetzt die Gelegenheit, ein Raspi-Set, bestehend aus dem Raspberry Pi 5, einem USB-C-Netzteil und Gehäuse

von Flirc zu gewinnen. Auf ct.de/hype registrieren Sie sich für den Newsletter und finden dort den Link zum Gewinnspiel mit detaillierten Teilnahmebedingungen. Alle Teilnehmer bekommen als Bonus den c't Solarstrom-Guide, der den Einstieg in das Thema Solarenergie erleichtert, als kostenlosen PDF-Download. Die Aktion endet am 14. Mai 2024. (ndi@ct.de)

## Open Source im Norden

Die Landesregierung von Schleswig-Holstein hat beschlossen, 30.000 Beschäftigte der **Landesverwaltung von Microsoft Office auf LibreOffice umzustellen**. Laut Ministerpräsident Daniel Günther (CDU) ist das eine wichtige Säule des geplanten digital souveränen Arbeitsplatzes, allerdings sei der Office-Wechsel nur der „Einstieg in den Umstieg“. Geplant sei auch der Wechsel des Betriebssystems von Microsoft Windows zu Linux sowie die Ablösung von Microsoft Exchange und Outlook. An deren Stelle sollen Alternativen wie Nextcloud, Open XChange und Mozillas Thunderbird treten. Die Nutzung von LibreOffice werde verpflichtend, allerdings sind Ausnahmen möglich, wenn „technische oder fachliche“ Gegebenheiten dagegen sprechen. Vom Großteil proprietärer Software will man sich bis Ende 2025 verabschieden. (ndi@ct.de)

Guck mal hier, c't 3003 macht ein Gewinnspiel!

Gewinne mit etwas Glück einen Raspberry 5

**Wer den c't-Newsletter Hype abonniert, kann einen Raspi 5 samt Zubehör gewinnen.**

# Affen und Physik

## Die digitalen Effekte von „Planet der Affen: New Kingdom“

**Ab 8. Mai läuft „Planet der Affen: New Kingdom“ in den Kinos.**

**Jörg Brümmer und Alex Nowotny arbeiteten beim Studio für Filmeffekte Wētā FX in Neuseeland mit an den digitalen Effekten. Sie sprachen mit c't darüber, wie optische Fehler den Bildeindruck verbessern können und was „Avatar: The Way of Water“ mit dem Planeten der Affen zu tun hat.**

Von André Kramer

**c't:** Bei der Kinoproduktion „Planet der Affen: New Kingdom“ handelt es sich um den vierten Film der Neuauflage des Klassikers: 2011 erschien „Planet der Affen: Prevolution“ („Rise of the Planet of the Apes“). In den Jahren 2014 und 2017 folgten die Filme mit den Beinamen „Revolution“ („Dawn [...]“) und „Survival“ („War [...]“). Sieben Jahre sind seit Abschluss der Trilogie vergangen. Fängt mit „New Kingdom“ ein neuer Erzählstrang an?

**Alex Nowotny:** Ohne viel zu spoilern: Der Film schließt irgendwo schon an die vorherigen an, aber er spielt in einer anderen Zeit, einige Generationen später als die früheren drei Episoden.

Andy Serkis findet sich nicht mehr im Cast. Er lieh in den ersten drei Filmen dem Affen Cesar über Performance-Capture seine Mimik und Gestik. Dabei tragen Schauspieler Anzüge mit Markierungen, über die ihre Bewegungen für die Digitalanimation aufgezeichnet werden. Auch in anderen Wētā-Produktionen spielte er eine große Rolle, unter anderem in „Herr der Ringe“ und „King Kong“.

**Nowotny:** Er hatte aber immer noch eine beratende Tätigkeit in dem aktuellen Film und ist weiterhin involviert. Nur die Rolle, die er in den ersten Filmen gespielt hat, existiert in der Form nicht mehr. Er repräsentiert nicht nur einen bestimmten Charakter, sondern ist durch seine Arbeit an Gollum in den Herr-der-Ringe-Filmen eine Koryphäe für Performance-Capture-Aufnahmen, sowohl auf technischer Seite als auch darstellerisch bei der Frage: Wie stellt man einen Affencharakter dar? Da ist er sehr erfahren.



### Wie entstehen die Affen als visueller Effekt?

**Nowotny:** Das ist eine lange Kette von Prozessen, die sich durch verschiedene Teams zieht. Das Modeling-Department gestaltet den Affen zuerst. Das Grooming-Department verpasst ihm sein Fell. Dann wird er geriggt: Das Creatures-Department gibt ihm ein Skelett. Und das Animations-Department bewegt ihn oder überträgt Performance-Capture-Daten auf das Modell. Dann geht es zurück ans Creatures-Department. Die bewegen die Haut und das Fell. Von da aus gehts ins Lighting-Department, wo der Affe ins Licht gesetzt und gerendert wird.

**Und wie integriert man die digitalen Charaktere am Ende in die Szene, so dass daraus ein Realfilm entsteht?**

**Jörg Brümmer:** Ich war Compositing Supervisor für eines der Teams. Wir haben zusammengebracht, was die Render-Artists im Computer generiert und die Kameraleute am Set gedreht haben. Wenn ich meinen Job gut mache, entsteht dadurch ein Bild, dem man nicht mehr ansieht, was aus welcher Quelle stammt.

**Im Trailer wirken die visuellen Effekte deutlich realistischer als beispielsweise im ersten Film von 2011. Wie habt ihr diesen natürlicheren Look hinbekommen?**

**Brümmer:** Der Regisseur Wes Ball war sehr an der klassischen Fotografie interessiert. Das spielte bei der Integration des digitalen und des gedrehten Materials eine große Rolle. Es gibt da eine schöne neue Abkürzung namens PSF. Sie steht für „point spread function“ [Punktspreizfunktion] und beschreibt, wie ein Bildpunkt in der Linse abgezeichnet wird. Dabei entstehen Abbildungsfehler wie chromatische Aberrationen und Verzerrung der Lichtwellen an der Blendenöffnung.

Der Regisseur hat das bewusst als Stilmittel im Film eingesetzt. Wir haben viel Zeit darauf verwandt, ein digitales Modell zu bauen, das Linsen verschiedener Brennweiten repliziert, damit das Bildmaterial so aussieht, als wäre es genau mit so einer Linse aufgenommen worden. Somit sieht das digitale Material exakt gleich aus wie das gefilmte. Seit zwei, drei Jahren möchten Kameraleute und Regisseure, dass man ihren Filmen diesen Kameralook

Die Affen entstehen in verschiedenen Teams: Eins modelliert, ein anderes kümmert sich um das Fell, dann bekommen sie ein Skelett und schließlich werden sie animiert.

Bild: 20th Century Studios

ansieht. Zuvor gab es die Bewegung, alle Linsenfehler komplett zu eliminieren.

**Das ist eher ein subtiles Stilmittel, um den Bildern mehr Realismus zu verleihen. Worauf sollte man achten, wenn man diese Effekte im Film entdecken will?**

**Brümmer:** Gerade die chromatische Aberration hat einen recht starken Effekt. Wenn du den Film ansiehst und links und rechts in die Ecken kuckst, wirst du sehen, dass da schon einiges passiert.

**Nowotny:** Ich stehe ja eher auf der bildschaffenden Seite, und was wir rendern, hat diese Verzeichnung noch nicht. Wenn die Shots dann erstmal durchs Compositing gelaufen sind, sieht man die Krümmungen je nach Brennweite und Bildinhalt teilweise schon sehr deutlich.

**Du bist Effects Supervisor bei Wētā FX. Was war deine Aufgabe bei dem Film?**

**Nowotny:** Ich bin zuständig für die Simulation von natürlichen Phänomenen. Im Fall von „Apes“ war das alles, was mit Wasser, Feuer und auch Pflanzen zu tun hat. Wir arbeiten nach Vorlagen und bekommen Referenzmaterial. Da wurde Feuer oder Wasser gedreht und wir mussten das dann digital möglichst genau nachbauen.

Beim Effects-Department versuchten wir die Affen in die Umgebung zu integrieren, sodass es nicht weiter auffällt, dass es sich um ein künstlich erzeugtes Bild handelt. Im Trailer sieht man einen Haufen Affen durch eine Wiese laufen. Ein Großteil des Grases wurde nicht gedreht, sondern von uns digital erzeugt. Wir haben unter anderem die Bewegung der Halme simuliert.



**Wasser und Feuer werden zuerst gefilmt und dann möglichst genau nachgebaut, um wie hier das Feuer einer Fackel zu animieren.**



Bild: 20th Century Studios All Rights Reserved.

**Natürliche Phänomene wie Wasser, Luft und Vegetation animiert Wētā FX mittlerweile mit realen physikalischen Einheiten. Das ist zunächst aufwendiger, braucht aber letztlich weniger Anläufe.**

Ein weiterer großer Aspekt war die Interaktion mit Wasser. In vielen Szenen sieht man die Affen in irgendeiner Form von Gewässer, im Fluss oder im Meer. Wir mussten das Wasser selbst animieren, das Wasser an den Affen abperlen lassen und Wellenbewegungen simulieren.

**Du hast auch an „Avatar: The Way of Water“ gearbeitet. Hat sich die Art, wie Wasser gerendert wird, seitdem geändert?**

**Nowotny:** Da sind die meisten Tools entstanden, die wir jetzt auch für „Apes“ genutzt haben. Wir haben sie aber weiterentwickeln müssen. Unser Simulationsframework heißt Loki. Der Name verweist auf den Charakter aus den Marvel-Filmen. Darin erstellen wir nicht nur Wasser und Gras, sondern können alle möglichen Effekte simulieren und miteinander koppeln. Wir können beispielsweise eine Wassersimulation mit einer Destruction-Simulation verknüpfen: Ein Gebäude stürzt ein und die Teile fallen ins Wasser. Wir können simulieren, dass Holzteile anschließend wieder an die Oberfläche treiben. Das ist eine wichtige Eigenschaft von Loki.

**Wie integriert sich diese Software in den Workflow?**

**Nowotny:** Loki ist an Houdini und an Maya angedockt. Wir können es in beiden Umgebungen als Plug-in nutzen. Die Idee ist, dass die Simulation auf physikalischen Parametern aufbaut. Der Artist stellt Parameter mit echten physikalischen Einheiten ein, die man tatsächlich im Physikbuch nachschlagen kann. Das kann zunächst einschüchtern, hat aber letztlich große

Vorteile: Wenn man die Physik verstanden hat, weiß man auch wie die Software funktionieren muss.

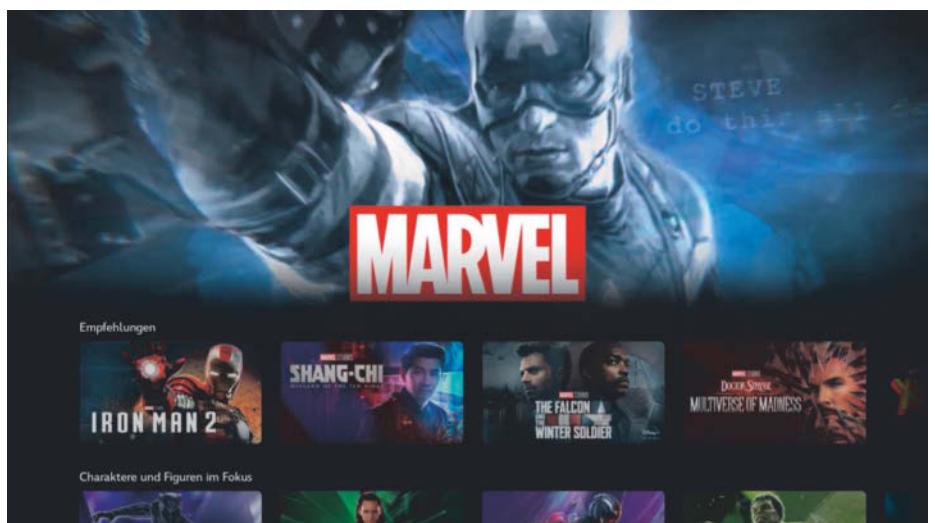
Wir arbeiten beispielsweise mit echten Werten für Druck, wenn es um Gas oder Wasser geht. Die physikalisch exakte Simulation dauert länger und ist kostspieliger als mit anderen Verfahren, aber sie führt schneller zu einem brauchbaren Ergebnis. So haben wir es für „Avatar“ entwickelt und für „Apes“ weiterentwickelt.

**Was musstet ihr für die aktuelle Produktion konkret anpassen?**

**Nowotny:** Wir mussten vor allem anderen unterschiedliche Arten von Gewässern simulieren. Eine große Sequenz spielt in einem Fluss. Der war viel rechenaufwendiger zu simulieren als ein offener Ozean. Wir brauchten einen konstanten Strom von Wasser, den wir in verschiedene Stufen wie Low-Res-, Mid-Res- und High-Res-Simulation unterteilt haben. Die konnten wir miteinander verbunden. Wenn ein Charakter in dem Fluss schwimmt, wird daraus eine interaktive Simulation, die den Rechenaufwand nochmal erhöht.

**Kann man den Aufwand quantifizieren?**

**Nowotny:** Ich hab regelmäßig Anrufe von unserem Data-Manager bekommen. Allein mit der Flusssequenz haben wir ein Petabyte an Daten angehäuft. Die ganze Sequenz ist nur einige Minuten lang. Er hat mich daran erinnert, dass das der Datensumme entspricht, die wir für den gesamten ersten Avatar-Film brauchten. Das war schon ein erheblicher Aufwand. Aber es hat sich gelohnt. (akr@ct.de) ct



## Nicht über jeden TV

Dass DTS:X bei Streaming verspätet zum Zuge kommt, hat technische Gründe: Das auf den Scheiben eingesetzte DTS:X mit dem Grundcodec DTS-HD lässt sich schon wegen der viel zu hohen Mindestdatenraten nicht für Streaming nutzen. DTS musste also ein neues Kompressionsverfahren für Disney+ & Co. entwickeln, das den offiziellen Namen „DTS:X for Streaming“ trägt. Dieser Nachschlag hat jedoch einen kleinen Schönheitsfehler: Die aktuellen DTS-Decoder können damit nichts anfangen.

Statt zu warten, bis sich genug AV-Receiver und Soundbars mit passenden Decodern verkauft haben, bedient sich DTS eines Kniffs, um Abwärtskompatibilität zu den erhältlichen Geräten herzustellen. So transkodieren aktuelle Fernseher, etwa der Hersteller LG, Philips und Sony, den Streaming-Codec in Echtzeit in ein Format, das jeweils den Fähigkeiten des angeschlossenen Ausgabegeräts entspricht. Samsung ist bislang jedoch außen vor.

Schließt man an einen TV mit Transcoder-Chip einen IMAX-Enhanced-zertifizierten AV-Receiver an, erhält dieser das 3D-Format DTS:X mit zusätzlichen Metadaten, die etwa ein spezielles Bassmanagement erlauben. Hat man ein DTS:X-taugliches Wiedergabegerät, so kommt auch über HDMI-eARC DTS:X heraus. Beherrscht der AV-Receiver DTS-Mehrkanalton oder -Stereoton, so erhält er diesen. Laut DTS wird es keine Konfiguration geben, bei der man nichts hört.

## Wie geht es weiter?

Unklar ist, welche Sprachfassungen im neuen Format abrufbar sein werden. Bei Disney+ gibt es Dolby Atmos derzeit praktisch nur für die englischen Versionen, einzige Ausnahmen sind die deutschen Originals-Serien „Sam, ein Sachse“ und „Deutsches Haus“. Zu befürchten ist also, dass man Filme künftig in zwei unterschiedlichen englischen 3D-Sound-Fassungen abrufen kann, aber in der deutschen Version weiterhin nur mit 5.1-Ton.

Zudem wären einige weitere IMAX-Enhanced-Filme mit DTS:X-Ton abseits des Marvel-Universums erstrebenswert. Doch hier hat Disney+ ein Problem: Sony Pictures Home Entertainment als größter Unterstützer von IMAX Enhanced hat ausgerechnet einen Exklusivvertrag mit Netflix. Der Konkurrenzdienst lässt wiederum bislang keine Initiative erkennen, künftig DTS:X-Ton anzubieten. (nij@ct.de) **ct**

# Mit neuer Kraft

## Disney+ zeigt Marvel-Filme im 3D-Soundformat DTS:X

**Die tonale Monokultur bei Abo-Videostreamingdiensten hat ein Ende: Bei Disney+ bekommt man 3D-Sound nicht nur in Dolby Atmos, sondern auch im Konkurrenzformat DTS:X – geeignete Hardware vorausgesetzt.**

Von Nico Jurran

Wer sich heute einen Audio/Video-Receiver der Ober- oder Spitzeklasse anschafft, bekommt üblicherweise ein Gerät, das gleich drei 3D-Soundformate beherrscht: Euro-3D, Dolby Atmos und DTS:X. Viele bessere Soundbars verarbeiten immerhin die 3D-Formate von Dolby und DTS. Doch von dieser Vielfalt haben die Käufer bislang in der Regel nichts, wenn sie sich Filme nach Hause streamen lassen und nicht von (UHD-)Blu-ray abspielen: Alle großen Streamingdienste, sowohl im Abo- als auch im Miet- und Kaufbereich, setzen bislang ausschließlich auf Dolby Atmos. Manche

Heimcineasten halten Euro-3D oder DTS:X jedoch für klanglich überlegen.

Mit der Monokultur ist am 15. Mai jedoch Schluss: Dann will Disney+ als erster Abostreamingdienst mit dem Konzertfilm „Queen Rock Montreal“ einen Titel mit DTS:X-Ton anbieten – zumindest seinen Kunden mit Premium-Abo. Die sollen dann auch 18 Marvel-Filme des sogenannten „IMAX Enhanced“-Zertifizierungsprogramms mit dem neuen 3D-Soundformat abrufen können. IMAX Enhanced war von IMAX zusammen mit DTS ins Leben gerufen worden. Disney+ nutzt bislang jedoch nur die Bildvorgaben von IMAX Enhanced, spielt aber Dolby-Atmos-Ton aus (siehe c't 26/2021, S. 56). Der soll auch weiter abrufbar sein.

Laut DTS wird die maximale Streaming-Datenrate bei DTS:X bei 1536 Kbit/s liegen. Das entspricht dem Doppelten dessen, was Videostreamingdienste aktuell im besten Fall bei Dolby-Atmos-Soundtracks bieten. Das Minimum soll 768 Kbit/s betragen. Die höhere Datenrate ermöglicht eine Kompression mit weniger Verlusten gegenüber dem Original, wodurch DTS:X einen besseren Klang bietet als Dolby Atmos beim Streaming.

## So aktualisiert Presto Apples verpackte iPhones

**Mit ersten Testinstallationen in Apple Stores kommen unerwartete Details über Apples geplante Aktualisierungsmethode für originalverpackte iPhones ans Licht.**

Apple will eine Presto genannte Technik in seinen Läden in den USA einführen, die iPhones kabellos aktualisiert und dabei in den Originalverpackungen belässt. Das meldete das Wirtschaftsmagazin Bloomberg schon im Oktober. Offenbar will Apple Käufern so ersparen, das Gerät nach dem Kauf selbst zu aktualisieren. Auch erhöht die Firma damit den Anteil an Geräten, die zumindest beim Verkauf mit aktuellem iOS laufen.

Nun sickern neue Details zu Presto an die Öffentlichkeit, unter anderem vom französischen Webportal iGeneration. Presto steckt in einem stapelbaren Gehäuse, das in zwei Fächern bis zu sechs iPhones gleichzeitig aufnimmt. Beim Einlegen richten Führungsschienen die Smartphone-Packungen so aus, dass sie die korrekten Abstände zu den NFC-Schnittstellen im Schrank einhalten.

Herzstück von Presto ist ein Mac mini, auf dem eine spezielle Software läuft. Laut iGeneration vermittelt der Mac den Zugriff zu Servern, die iOS-Updates 24 Stunden vor der allgemeinen Freigabe erhalten. Updates dauern wie üblich 15 bis 30 Minuten, weiß leuchtende Dioden zeigen an, wenn sie abgeschlossen sind. Hinweisen von Bloomberg zufolge verwendet Apple zum Aufladen MagSafe und zur Kommunikation „andere drahtlose Techniken“. Da beim Aufladen auch Abwärme entsteht, wirft das die Frage auf, ob Presto die verpackten iPhones kühlt, um Akkuschäden zu vermeiden.

Zu Beginn, etwa nach einer neuen Lieferung, scannt ein Mitarbeiter die Bar-

codes auf den Kartons neuer iPhones und fügt sie so der Warteschlange des Macs hinzu. Dann erhalten die Mitarbeiter Meldungen, wann welche Geräte fällig sind. Vom Verkaufssystem erfährt Presto, wann ein bestelltes Gerät abgeholt wird und plant das Update für den Vortag.

Für die übrigen Geräte, die noch nicht aktualisiert wurden, greift Presto auf Verkaufsstatistiken des jeweiligen Apple Store zu und meldet den Mitarbeitern, wann ein Update schätzungsweise erfolgen sollte. Dabei berücksichtigt es Verkaufszahlen verschiedener Modelle und Ausstattungsvarianten und stellt sicher, dass mindestens ein Exemplar einer Variante das neueste iOS enthält.

Bislang müssen iPhones im Fertigungswerk mit iOS bespielt werden, was bei der großen Menge an produzierten Geräten reichlich Zeit frisst. Manche Beobachter spekulieren daher, dass Apple künftig nur ein rudimentäres Betriebssystem aufspielen könnte, um im Werk Zeit zu sparen. Das tatsächliche iOS käme dann entweder erst in seinen Geschäften auf die Geräte oder bei den Kunden daheim, die dann eine halbe Stunde mehr für die Inbetriebnahme einplanen müssten.

Einige Fragen bleiben offen, beispielsweise, wie Apple diese öffentlich nicht dokumentierte Updatemethode vor Missbrauch schützt und was genau über NFC an die Geräte übermittelt wird. Denn Angreifer könnten die Schnittstellen missbrauchen, um Malware aufzuspielen. Auch fragt man sich, wie sich die Geräte mit den firmeneigenen WLANs der Apple-Läden verbinden, um die stets gigabytegroßen Updates zu beziehen; NFC ist ja dafür bei Weitem zu langsam. Von Apple gibt es zu internen Methoden und Techniken traditionell keine Angaben. (dz@ct.de)

**Apples proprietäre Update-technik belässt iPhones in der Verpackung, schaltet sie aber drahtlos ein und veran-lasst eine Aktualisierung. So sollen Kunden im Laden stets aktuelle Geräte erhalten.**

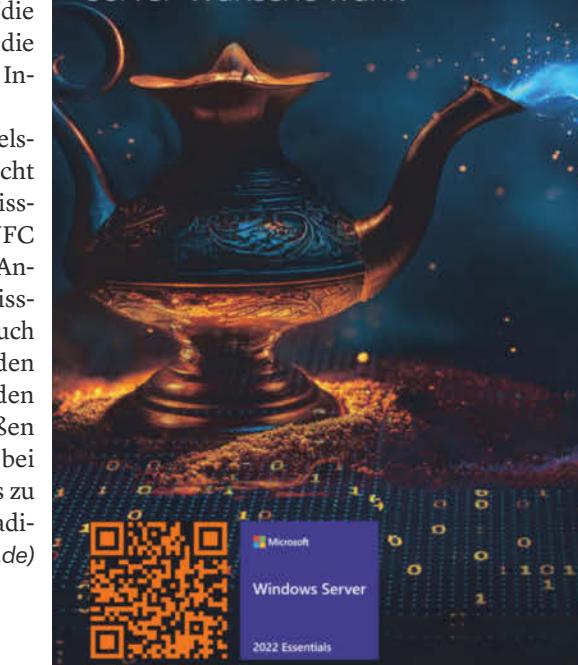
Bild: Apple



# 3 Wünsche frei? Rack, Tower und Microserver!

## Server-Wunsch #1: Das perfekte IT-Einstiegs-Bundle!

Man braucht nicht immer eine Wunderlampe - Wir reagieren auf Ihr Feedback und erfüllen Ihre Wünsche. Flexibler Rack-Server, kompakter Tower oder lautloser Microserver? Wir legen Windows Server 2022 Essentials mit ins Bundle und liefern Ihr ideales System für Ihre ersten Schritte in der Welt der IT-Infrastruktur. Denn bei Thomas-Krenn werden Ihre Server-Wünsche wahr.



Wunschpaket sichern:  
[thomas-krenn.com/wunsch1](http://thomas-krenn.com/wunsch1)

**THOMAS  
KRENN®**  
IT's people business

## 88 × 31 Pixel

[hellnet.work/8831/](http://hellnet.work/8831/)

In den Urzeiten des Web gab es auf vielen Websites schmale grafische Banner im Format 88 mal 31 Pixel. Wer damals im Netz unterwegs war, erinnert sich sicherlich an die entsprechenden Netscape- und Internet-Explorer-Icons. Dass ausgerechnet dieses Format so populär wurde, hat mit der Community Geo-Cities zu tun.



GeoCities war der größte Anbieter von persönlichem Hosting. Nutzer der kostenlosen Homepages mussten einen Link zur Homepage von GeoCities setzen. Der Anbieter stellte dafür ein Standardbanner in den Abmessungen 88 mal 31 Pixel zur Verfügung. Benutzer bauten dann auch Icons für andere Links. Nach und nach breiteten sich die kleinen Grafiken im gesamten Web aus. Wer einmal in Erinnerungen schwelgen will, findet im **88x31 Archive** knapp 30.000 dieser Grafiken. (jo@ct.de)

## Tippe den Klassiker

[www.typlite.io](http://www.typlite.io)

Bei **TypeLit.io** testen und trainieren Sie Ihr Maschinenschreiben, indem Sie Weltliteratur abtippen. Die Website hält Dutzende Romane in verschiedenen Sprachen vor. Auf Deutsch liegen zehn Werke bereit, darunter Franz Kafkas Die Verwandlung, Also sprach Zarathustra von Friedrich Nietzsche und Alice im Wunderland von Lewis Carroll.

Hat man sich für ein Werk und ein Kapitel entschieden, öffnet sich der betreffende Text, den man sofort abtippt – gegen die Uhr, versteht sich. Oben rechts haben Sie immer den WPM-Wert für die Anzahl der Wörter pro Minute sowie eine Prozentzahl für die Fehlerhäufigkeit im Blick. Setzen Sie länger als fünf Sekunden aus, pausiert der Timer.

Alice fand an sich zu langweilen; sie saß schon lange bei ihrer Schwester am Ufer und hatte nichts zu thun. Das Buch, das ihre Schwester las, gefiel ihr nicht; denn es waren weder Bilder noch Gespräche darin. „Und was nützen Bücher,“ dachte Alice, „ohne Bilder und Gespräche?“

Sie überlegte sich eben, (so gut es ging, denn sie war schlaftrig und dumm von der Hitze,) ob es der Mühe werth sei aufzustehen und Gänseblümchen zu pflücken, um eine Kette damit zu machen, als plötzlich

Die Farbgebung von Hintergrund und Text, die Form des Cursors und viele weitere Aspekte der Bedienoberfläche lassen sich an den eigenen Geschmack anpassen. Der Dienst ist gratis. Mit einem kostenlosen Account können Sie Ihre Fortschritte verfolgen. Wer eigene Bücher hochladen will, muss 5 US-Dollar pro Monat für die Premium-Version bezahlen. (jo@ct.de)

## Lesen Sie hier

[readsomethinggreat.com](http://readsomethinggreat.com)

Bei **Read something great** finden Sie etwas Ähnliches wie in den Webtipps der c't: handverlesene Empfehlungen für das Web. Die Website von Louis Pereira verlinkt jeweils fünf „zeitlose Artikel aus dem Bauch des Internet“ – und zwar jedes Mal neue Beiträge, wann immer man die Site neu lädt. Meist sind es englischsprachige Wissensartikel, manchmal verlinkt der Dienst auch einen Artikel eines Sponsors.

Read something great gibt eine kurze Zusammenfassung sowie eine Schätzung der Lesezeit. Aus einem weiteren Artikel zitiert es einen kurzen Ausschnitt. Die Website ist gratis. Wer sich einen Account zulegt, kann sich in einer eigenen Ecke Links zum späteren Lesen speichern. (jo@ct.de)

## Gechillter Garten

[ambient.garden](http://ambient.garden)

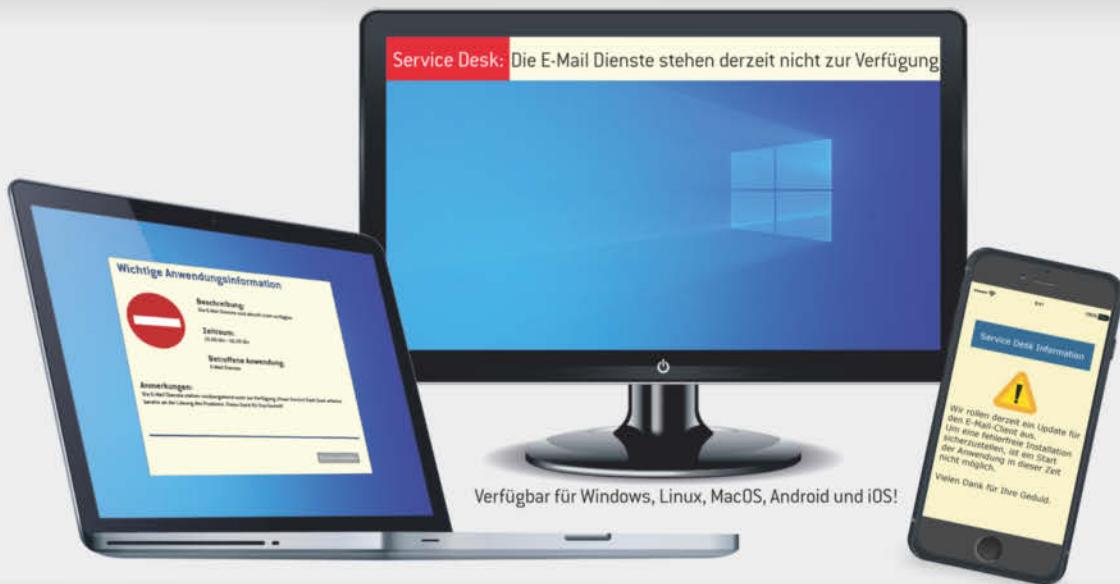


Eine Klanglandschaft zum Erkunden: **ambient.garden** ist ein Experiment des Musikers und Programmierers Pierre Cusa, das mit der Frage begann: Kann eine Komposition vom Hörer im Raum erlebt werden? Herausgekommen ist eine zweidimensionale Welt mit einem Feld aus Bäumen, in der sich der Betrachter frei bewegen kann. Die Bäume repräsentieren in dieser Welt Instrumente, die umso lauter werden, je näher man ihnen kommt.

Wer mag, kann auch per Autopilot durch die Klanglandschaft fliegen – eine meditative Berieselung nicht nur für die Mittagspause. Cusa hat alle Komponenten seines Projekts unter offenen Lizzenzen veröffentlicht, sodass andere Klangbastler darauf aufbauen können. (jo@ct.de)

Diese Seite mit klickbaren Links: [ct.de/y837](http://ct.de/y837)

# MAIL WAR GESTERN



## Jetzt zielgenau informieren

- ✓ Verschiedene Darstellungsmöglichkeiten (Laufband, Popup, Mobile, etc...)
- ✓ Kritische Informationen werden direkt wahrgenommen
- ✓ Zielgenaue Anwenderinformation bei IT-Störungen
- ✓ Bildschirmalarmierung und Evakuierung per Tastendruck





# Eingetrübt

## Enpal verunsichert Solar-Kunden

**Wer mit einem Geschäftspartner ein größeres Projekt wie eine Solaranlage stemmt, möchte sich auf den anderen und dessen Kommunikation verlassen können. Bei Enpal kann es damit aber schon mal hapern.**

Von Tim Gerber

Christian B. und seine Frau liebäugelten schon länger damit, eine Solaranlage auf dem Dach ihres Häuschens im sonnigen Breisgau bauen zu lassen. Allerdings scheute Christian B. den Aufwand und fürchtete Ärger mit den Handwerkern. Da kam ihm ein Angebot der Firma Enpal gerade Recht, das ihm am 8. Dezember in Form eines Werbeschreibens in den Briefkasten flatterte. Sofort begab er sich ins Internet und suchte die Webseite der Firma auf. Dort wurde er durch einen Dialog mit einigen Angaben geführt und be-

reits wenige Minuten später erhielt er einen Rückruf.

Am Telefon verabredete man dann einen Video-Call für den 11. Dezember, um die Umsetzbarkeit des Vorhabens bei den B.s zu besprechen. Die Konferenz mit dem Enpal-Mitarbeiter dauerte zweieinhalb Stunden. Schon eine Woche darauf, am 18. Dezember, wurde das Haus der Familie B. im Auftrag von Enpal durch einen Fachmann besichtigt und am 20. Dezember erhielten die Kunden die Zusage der Umsetzbarkeit. Für die folgende konkrete Planung verabredete man eine weitere Teams-Sitzung für den 8. Januar.

Da alles zu ihrer Zufriedenheit lief, unterzeichneten die B.s im Anschluss daran den Vertrag mit Enpal über die Errichtung der Photovoltaik-Anlage mit einer Solarleistung von 10,7 Kilowatt-Peak, einer Drehstromleistung von maximal 8 Kilowatt und einem Speicher mit maximal 7 Kilowattstunden Kapazität. Der Vertrag sah vor, dass die Anlage im Eigentum von Enpal bliebe und von den Hausbesitzern lediglich für 20 Jahre gemietet würde. Die Miete sollte im ersten Jahr

knapp 172 Euro monatlich betragen und danach knapp 276 Euro im Monat. Zu den vertraglichen Vereinbarungen gehörte aber auch die Möglichkeit des Kunden, die Anlage in den ersten drei Monaten nach ihrer Fertigstellung durch Enpal für knapp 30.000 Euro käuflich zu erwerben. Davon wollten die B.s sofort Gebrauch machen, sobald die PV-Anlage lief, und teilten dies den Firmenvertretern in den Gesprächen auch mit.

Am 6. Februar wurde das Material für die Anlage angeliefert und am folgenden Tag wurde sie installiert. Am 12. Februar holte die Montagefirma noch das übriggebliebene Verpackungsmaterial ab, am 13. Februar ging die Anlage ans Netz und produziert seither eifrig Strom.

### Geduldsspiel

Nun wartete das Ehepaar B. auf den versprochenen Kaufvertrag, mit dem sie das Eigentum an der Anlage erwerben sollten. Am 15. Februar schrieb Christian B. eine freundliche Mail an Enpal, was er nun tun müsse, um die Anlage wie beabsichtigt schnellstmöglich zu kaufen. Darauf bekam er jedoch keine Antwort. Deshalb wollte Christian B. am 19. Februar telefonisch bei Enpal nachfragen, wo der versprochene Vertrag bleibe. Doch das gestaltete sich zäh. Erst konnte der Anrufcomputer seine Rufnummer nicht zuordnen und unterbrach die Verbindung. Als er endlich einen Mitarbeiter erreichte, wollte der ihn an die zuständige Vertragsabteilung durchstellen, was ihm aber nicht gelang. Am Ende

hieß es nur, er möge doch den Chatbot im Web nutzen.

Immerhin erhielt Christian B. dann noch eine Bestätigung per E-Mail, dass das Kaufangebot und der zugehörige Vertrag in Bearbeitung sei. Am nächsten Tag erhielt Christian B. dann tatsächlich den Vertrag und unterzeichnete ihn. Am 22. Februar kam der vollständig unterzeichnete Vertrag an ihn zurück, verbunden mit der Aufforderung, den vereinbarten Kaufpreis von 29.930 Euro auf das angegebene Bankkonto zu überweisen. Das erledigten die B.s noch am selben Tag.

Nun wartete Christian B. auf eine Bestätigung, dass Enpal das Geld erhalten hatte und die Anlage in sein Eigentum übergegangen war. Doch es passierte nichts. Knapp zwei Wochen später erhielt er eine E-Mail von der für Anmeldung beim Netzbetreiber zuständige Abteilung von Enpal. Man habe seine Anlage vor einiger Zeit vorangemeldet. Falls er vom Netzbetreiber Unterlagen erhalten habe, so solle er diese ausgefüllt an Enpal schicken.

Am 7. März schrieb ihm Enpal, dass man die Einspeisezusage direkt vom Netzbetreiber erhalten habe und er nichts weiter tun müsse. Seine Frage nach der Quittung für den Kauf der Anlage werde bearbeitet, hieß es in einer weiteren E-Mail vom selben Tage. Mehrere Wochen wartete Christian B. nun schon auf die fällige Zahlungsbestätigung. Doch von Enpal hörte er erst einmal nichts. Dafür kam am 22. März ein Schreiben seines Netzbetreibers an. Seine Anlage speise seit dem 13. Februar bereits ins Netz ein. Die notwendigen Angaben dazu hätte er dem Netzbetreiber aber schon zwei Monate vor Inbetriebnahme übermitteln müssen. Deshalb sei nach dem Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) eine Strafzahlung in Höhe von 10 Euro je installiertem Kilowatt, also insgesamt 80 Euro fällig.

Postwendend wandte sich Christian B. damit per E-Mail an Enpal und fragte, was er nun tun solle? Man habe ihm ja bereits am 7. März mitgeteilt, dass Enpal alles selbst erledige und er mit seinem Netzbetreiber nichts weiter tun müsse. Und bis zu diesem Tag habe er noch nicht einmal die Zahlungsbestätigung über die knapp 30.000 Euro erhalten, um die er schon vor einigen Wochen gebeten hatte.

## Standard-Tickets

Doch außer einer Standardbestätigung – diesmal mit neuer Ticket-Nummer – kam erst einmal nichts. Am 26. März fragte

Enpal nach dem Schreiben des Netzbetreibers. Das hatte Christian B. seiner Anfrage vom 22. März aber bereits beigelegt, schickte es aber geduldig noch ein zweites Mal. Am 27. März bedankte Enpal sich für das Schreiben und versicherte, dass ein Anliegen nun bearbeitet werde.

Erst eine gute Woche später, am 4. April, antwortete Enpal, man habe sein Anliegen nun bearbeitet. Damit er die Einspeisevergütung erhalte, müsse er auf dem ihm zugesandten Schreiben lediglich ein Kreuz bei der „Kleinunternehmerregelung“ setzen sowie seine Bank- und Steuerdaten eintragen. Dann solle er das Dokument unterschrieben an den Netzbetreiber schicken. Das könne zwar auch Enpal für ihn erledigen, würde aber „einige Wochen“ in Anspruch nehmen. Er möge Verständnis für die Wartezeiten „aufgrund des aktuell sehr hohen Anfragevolumens“ haben. Sein Fall werde nun geschlossen. Zum Zahlungseingang und der Strafzahlung verlor der Service kein Wort.

Nun war Christian B. mit seiner Geduld am Ende und er wandte sich mit seiner Geschichte an c't. In seiner Mail schilderte er uns den zunächst so reibungslosen Ablauf von der ersten Anfrage bis zur Installation. Um so enttäuschter war er, dass der Service hernach immer träger und zäher wurde. Auch sorgte er sich noch immer um die Bestätigung für seine Überweisung und seines nunmehrigen Eigentums an der Anlage. Außerdem wollte er die Sache mit der Strafzahlung erklärt haben, da er sich eigentlich auf Enpal verlassen habe.

Wir fragten am 9. April bei Enpal an und wollten wissen, warum Christian B. noch immer keine Bestätigung über den vollzogenen Kauf erhalten habe. Außerdem fragten wir, was es mit der Strafzahlung auf sich habe und warum die Anlage denn nicht rechtzeitig angemeldet worden war.

## Ende gut

Der Enpal-Pressesprecher reagierte immerhin sofort. Auch bei Christian B. rief der Pressesprecher noch am selben Tag an und versicherte ihm, alles in Ordnung bringen zu wollen. Wie vereinbart erhielt Christian B. noch eine Bestätigung per E-Mail. Bei uns traf wenige Zeit später ebenfalls eine ausführliche Mail ein: Die Anlage von Christian B. sei beim Netzbetreiber bereits am 11. März 2024 als fertig-

gestellt gemeldet worden, schrieb uns der Sprecher. Die Strafzahlung habe ihren Ursprung in einer alten Regelung im EEG, die im Widerspruch zur EU-Notfallverordnung stehe.

Enpal übernehme diese gern und kläre das mit dem Netzbetreiber. Und mit einer weiteren Mail bestätigte der Sprecher, dass die Zahlung am 22. Februar bei Enpal eingegangen sei. Immerhin konnte also der Pressesprecher des Unternehmens innerhalb weniger Stunden klären, was den zuständigen Bearbeitern innerhalb vieler Wochen nicht möglich war.

**VORSICHT KUNDE!**

Die Sache mit der Strafzahlung erschien uns dennoch nicht ganz geheuer. Denn tatsächlich sieht die in Folge des russischen Angriffs auf die Ukraine erlassene EU-Verordnung Nummer 2022/2577 zur Festlegung eines Rahmens

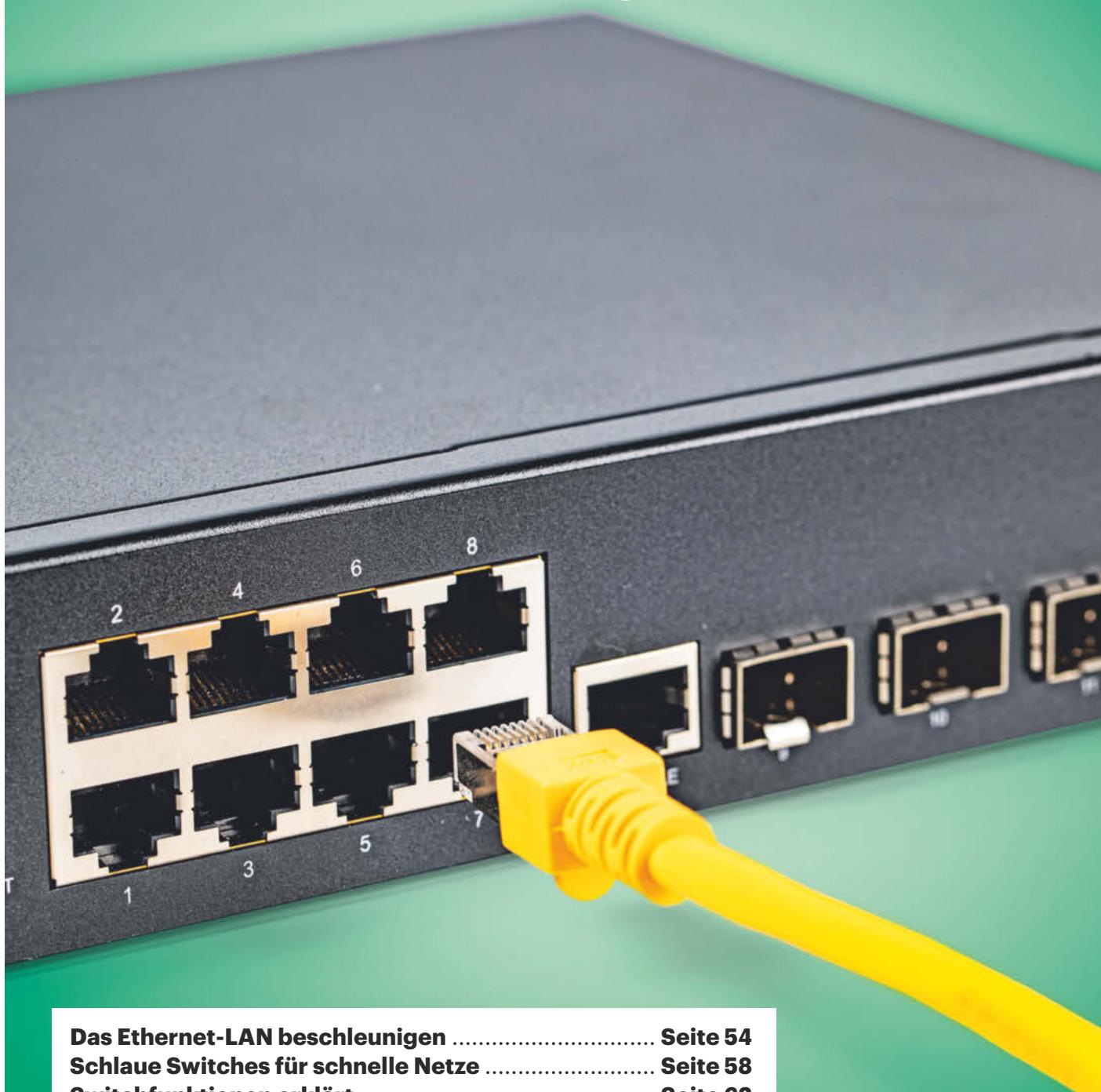
für einen beschleunigten Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien vom 22. Dezember 2022 vor, dass eine PV-Anlage als genehmigt gilt, wenn der Netzbetreiber auf die Anmeldung nach einem Monat noch nicht reagiert hat. Hier war die Anlage aber erst einen Monat nach der Inbetriebnahme gemeldet worden. Mit E-Mail vom 16. April erklärte der Enpal-Pressesprecher, dass sich die Strafzahlung gar nicht auf die Inbetriebnahme nach 30 Tagen bezogen habe, sondern auf die Frist zur Angabe der Veräußerungsform von mindestens zwei Monaten vor der Inbetriebnahme.

Das sei die Frist, innerhalb der man dem Netzbetreiber mitteilen müsse, ob man die gesetzliche Einspeisevergütung beziehen wolle oder die Direktvermarktung wählt. Da Enpal Anlagen bereits innerhalb von vier Wochen nach Vertragsunterzeichnung installiere, falle diese Mitteilung häufig verspätet an. Man übernehme dann standardmäßig die Strafzahlung und nehme diese in Kauf, damit die Anlagen schneller ans Netz gehen können und die Kunden nicht wochenlang warten müssen, obwohl die Anlage schon lange auf dem Dach ist.

Die meisten Netzbetreiber hätten auf diese Zahlungen ohnehin keine Lust, denn auch für sie bedeute das nur Bürokratie. Der deutsche Staat habe hier einfach nur zu viele bürokratische Regeln geschaffen, und alle – Kunden, Netzbetreiber, Solaranbieter – litten nun darunter, meinte der Sprecher von Enpal. (tig@ct.de) ct

# Einfach hochschalten

Wie man das LAN auf Trab bringt



- |  |                 |
|--|-----------------|
| <b>Das Ethernet-LAN beschleunigen .....</b>      | <b>Seite 54</b> |
| <b>Schlaue Switches für schnelle Netze .....</b> | <b>Seite 58</b> |
| <b>Switchfunktionen erklärt .....</b>            | <b>Seite 62</b> |

# 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

**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 [1]. Ein schnellerer 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 [2]. 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 Giganetz 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 hochstuft, will Down- und Uploads nicht im eigenen Netz ausbremsen und braucht mindestens 2G5-Ethernet.

Der Beitrag ab Seite 58 schildert praktische Aspekte beim Einsatz von Multigigabit-Switches. Außerdem führen wir 13 Kandidaten auf, die als konfigurier-

bare 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. Ab Seite 62 erläutern wir Switchfunktionen im Detail, was Auswahl und Bedienung erleichtert.

## 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 ziehen und sie auf die Verteilerleiste im Netzwerkschrank und auf die Dosen auflegen. Grundlegendes Wissen dazu vermittelt unser Beitrag „Sparverdrahtung“ [3].



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

## 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 Kupferalternativen 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 Netzupgrade 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 Netzwerkplatine beschleunigen möchte, findet zahlreiche 2G5-Karten ab 20 Euro. Vor wenigen Wochen ist die erste 5G-Karte für rund 50 Euro erschienen (Delock 81260). 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 Multigabit-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

S. 58). 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 [1].

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.de) 

## Literatur

- [1] Ernst Ahlers, LAN-Turbo für kleines Geld, Switches für schnelles Ethernet beschleunigen kleine Netze, c't 23/2023, S. 88
- [2] Ernst Ahlers, Schnellstarter, Vier Wi-Fi-5-Basen mit drei Clients getestet, c't 4/2024, S. 50
- [3] Andrian Möcker, Sparverdrahtung, Günstige, schnelle Netzwerkverkabelung für Haus und Wohnung, c't 14/2023, S. 136

## Typische Datenraten von Netztechniken und PC-Schnittstellen

Technik	Standard	Bruttodatenrate <sup>1</sup>	Nettodatenrate <sup>2</sup>	in MByte/s <sup>3</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>4</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
Multigabit-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
Multigabit-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



# FREITAG IST C'T-TAG!\*

Jetzt 5x c't lesen

für 24,00 €  
statt 31,75 €\*\*

\*\* im Vergleich zum Standard-Abo

30 %  
Rabatt!



Mesh-WLAN aus  
Einfach, schnell

Fritzbox & Co. im Test - Einrichtung

Kostenlose Firmware-Tools

Neue Einsteiger-Notebooks

Foto-Test



Einrichtung & Co. in den Top-Veranstaltungsorten - Technik entdeckt

Kostenlose Firmware-Tools

Neue Einsteiger-Notebooks

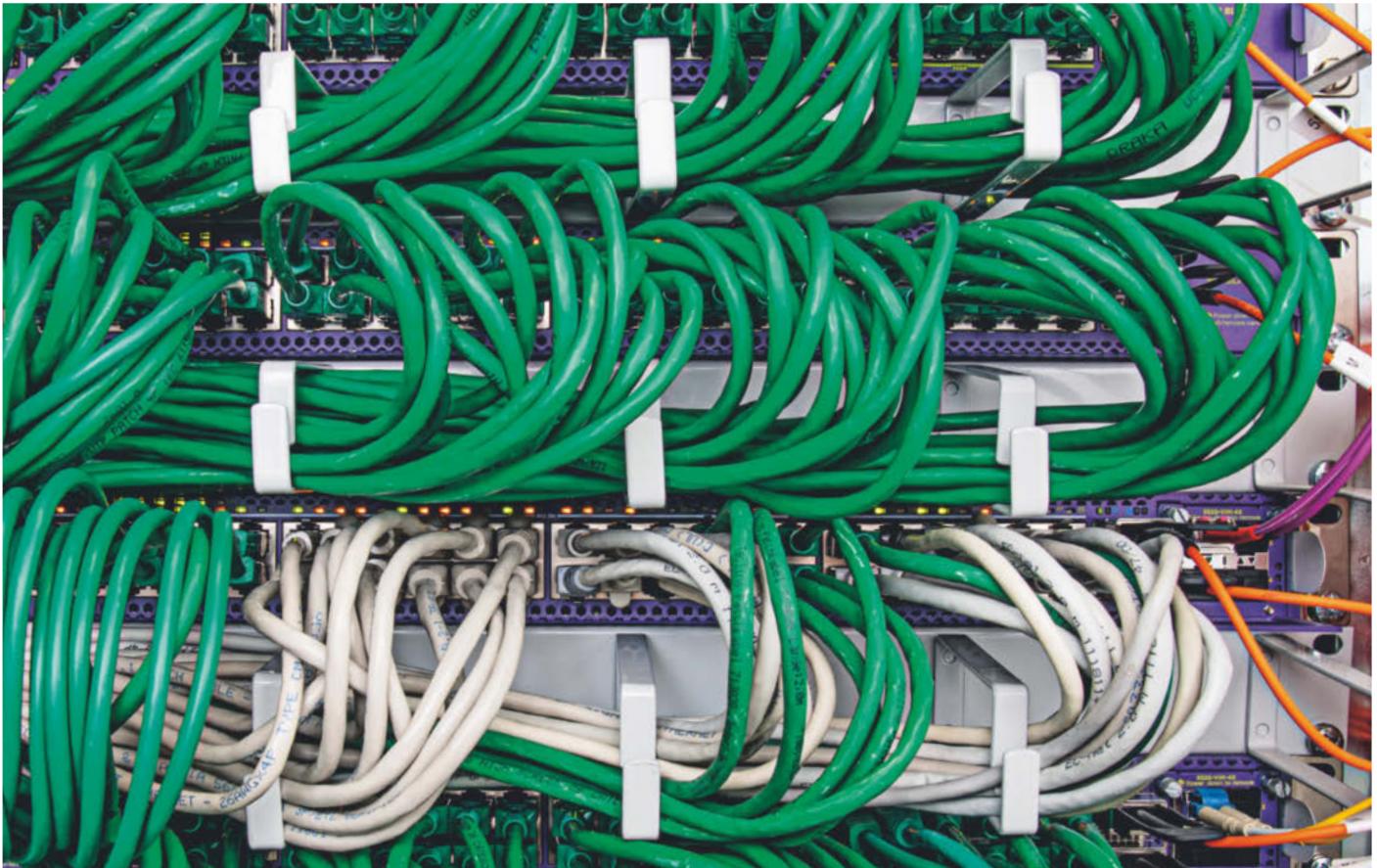
Foto-Test

Jetzt bestellen:

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



\*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.**



# Schnelle Netzverteiler

## Schlaue Multigigabit-Switches in der Übersicht

**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 diese c't haben wir im April 2024 den Markt auf konfigurierbare Multigigabit-Switches abgeklopft und die wichtigsten Merkmale von 13 typischen Produkten in der Tabelle auf Seite 58 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 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 doppeladrig Glasfaserleitung; vier-, acht- und zwölfadrig 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 Betriebspara-

meter (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. 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 typischerweise als „PoE“ angegeben wird. WLAN-Basen (Access-Points) und Überwachungskameras genügen in der Regel maximal 30 Watt (IEEE 802.3at, PoE+). 802.3bt (PoE++) speist bis zu 90 Watt 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 auszulegen, 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-Profile 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.



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.**

Ein PoE-Watchdog alias PoE-Auto-Recovery hilft Netzwerkgeräten wieder auf die Beine, deren Firmware gelegentlich strauhelt: 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 ab Seite 60.

Ein Switch sollte alle 4094 möglichen Kennungen (VLAN Identifier, VID) ver-

stehen 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 automatisches 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 gekap-

## Konfigurierbare Switches für Multigigabit-Ethernet

Hersteller	Cisco	D-Link	Draytek	EnGenius
Modell	CBS350-8MP-2X	DMS-1100-10TP	PQ2200xb	ECS2512
<b>Hardware-Ausstattung</b>				
Kupferports	8 × 2G5, 2 × 10G	8 × 2G5	16 × 2G5	8 × 2G5
SFP+-Slots / Shared	2 / ✓	2 / –	4 / –	4 / –
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	– / –
Stacking-Ports	✓ (via SFP+)	–	–	–
Management-Ports	Seriell (RJ45), USB	–	Seriell (RJ45)	Seriell (RJ45)
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.
GVRP / Voice-VLAN / QinQ	✓ / ✓ / ✓	– / ✓ / –	✓ / ✓ / ✓	– / ✓ / –
QoS: 802.1p / DSCP	✓ / ✓	✓ / k. A.	✓ / ✓	✓ / ✓
IGMPv3- / MLD-Snooping	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
Remote Syslog / SNMP	✓ / ✓	k. A. / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
LLDP / CDP	✓ / ✓	✓ / –	✓ / –	– / –
802.1X-Authenticator / Suplicant	✓ / ✓	– / –	✓ / –	✓ / –
Port- / Remote-Mirroring	✓ / ✓	✓ / –	✓ / –	– / –
Preis (April 2024)	1302 €	690 €	729 €	342 €

✓ vorhanden – nicht vorhanden k. A. keine Angabe

selt zwischen 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.

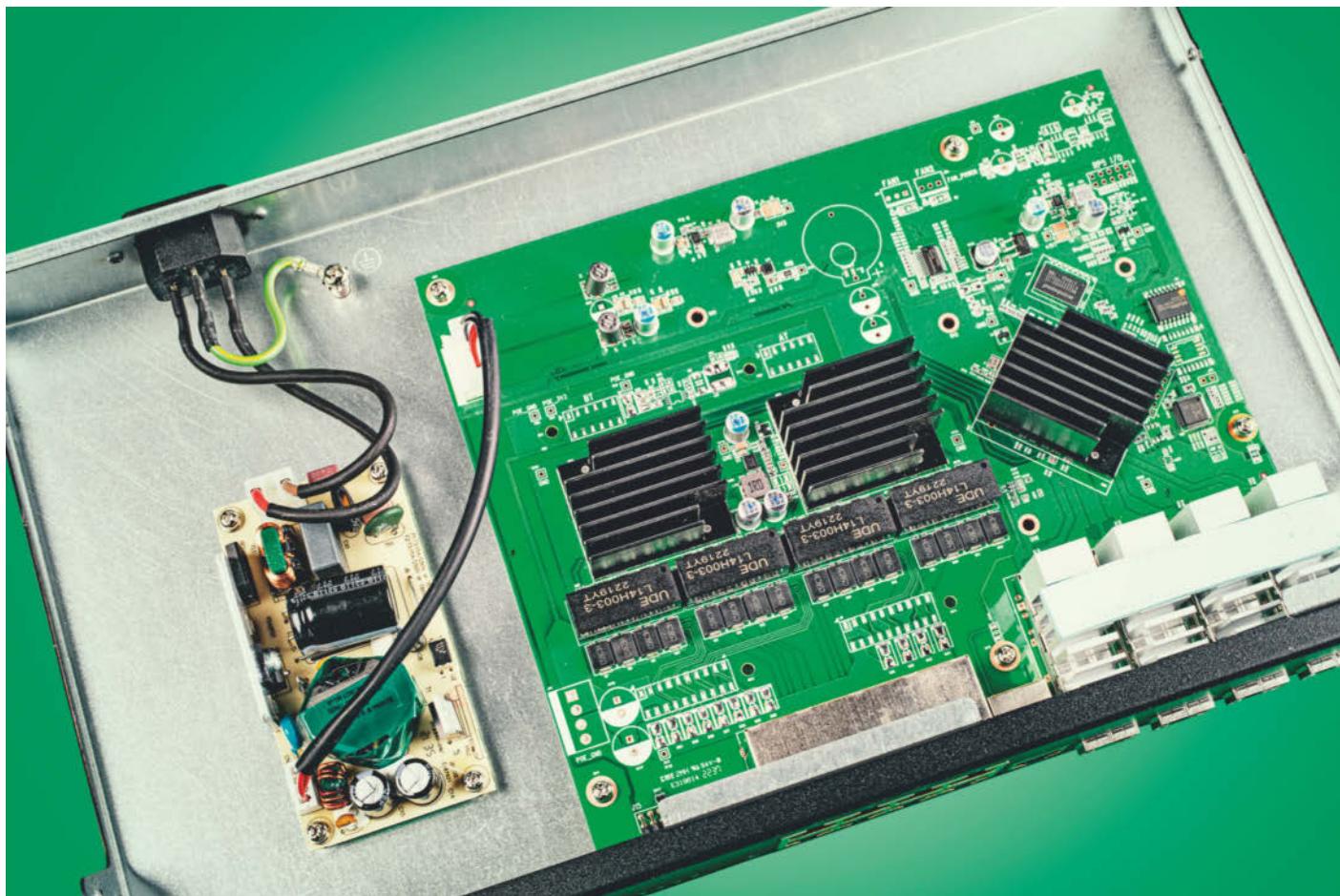
Rechnen Sie bei den in der Tabelle gelisteten Modellen ohne PoE mit einer Leerlaufleistungsaufnahme zwischen 5 und 15 Watt, je nach Anzahl belegter Ports und der darauf ausgehandelten Datenrate. Dazu kommt ein halbes bis ganzes Watt pro Optikmodul.

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.de) ct

## 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

Lancom Systems	Mikrotik	Netgear	QNAP	TP-Link	Trendnet	Ubiquiti	Zyxel
GS-3528XP	CRS310-8G+2S+IN	MS108EUP	QSW-M2108-2C	SG310X-M2	TPE-3102WS	USW-Enterprise-8-PoE	XS1930-10
12 × 2G5, 12 × 1G	8 × 2G5	8 × 2G5	8 × 2G5, 2 × 10G	8 × 2G5	8 × 2G5	8 × 2G5	8 × 10G
4 / -	2 / -	- / -	2 / ✓	2 / -	2 / -	2 / -	2 / -
24 × 30 W / 370 W	- / -	4 × 60 W, 4 × 30 W / 240 W	- / -	- / -	8 × 30 W / 240 W	8 × 30 W / 120 W	- / -
-	-	-	-	-	-	-	-
Seriell (RJ45)	USB	-	Seriell (RJ45)	Seriell (RJ45), USB	Seriell (RJ45)	-	-
-	-	✓	-	✓	-	-	-
✓ / ✓	✓ / ✓	- / ✓	- / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	(Unifi-Controller)	✓ / ✓
✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / -	- / -	✓ / ✓	✓ / ✓	(Unifi-Controller)	✓ / ✓
✓ / ✓	✓ / ✓	- / -	✓ / -	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / k.A.	✓ / ✓
✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
✓ / 4094	✓ / 4094	✓ / 64	✓ / k.A.	✓ / 4094	✓ / 256	✓ / k.A.	✓ / 4094
✓ / ✓ / ✓	- / - / ✓	- / ✓ / -	- / - / -	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / -	- / ✓ / -	✓ / ✓ / ✓
✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	k.A. / k.A.	✓ / ✓
✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / -	- / -	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / k.A.	✓ / ✓
k.A. / ✓	✓ / ✓	- / -	- / -	✓ / ✓	✓ / ✓	(Unifi-Controller)	✓ / ✓
✓ / -	✓ / -	- / -	✓ / -	✓ / -	✓ / -	✓ / -	✓ / -
✓ / -	✓ / ✓	- / -	- / -	✓ / -	✓ / -	✓ / -	✓ / -
✓ / -	✓ / -	✓ / -	- / -	✓ / -	✓ / -	✓ / -	✓ / -
1256 €	200 €	291 €	455 €	249 €	388 €	475 €	474 €



# Stöpselkunst

## Know-how für Heim-Admins: 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 laufen-

den 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 zu den Netzwerkgeräten führen und kann dann die Vermittlung der Ethernet-Konversation (Switching) jahrelang unbesorgt der Automatik des Geräts überlassen. Al-

lerdings 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 er-

reicht, 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. Gleches 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 Teilneh-

mer, 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 Drosselleffekt 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 Switchtyp 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 Industriemfeld 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 befördern (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/y3zn](http://ct.de/y3zn)), sondern auch, weil so Ethernet-Geräte mit WLAN-



**Lange Zeit waren in kleinen und mittleren Netzen Gigabit-Switches üblich. Seit 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.**

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 Voll duplex: gleichzeitiges Senden und Empfangen). Ab 1 Gbit/s arbeiten die Switches grundsätzlich im Voll duplex Betrieb.

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 Switche kombinieren, die Anzahl variiert je nach Modell. Den im Unternehmensumfeld gebräuchlichen Cisco Catalyst 9300X kann 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 (Con-

trol 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).

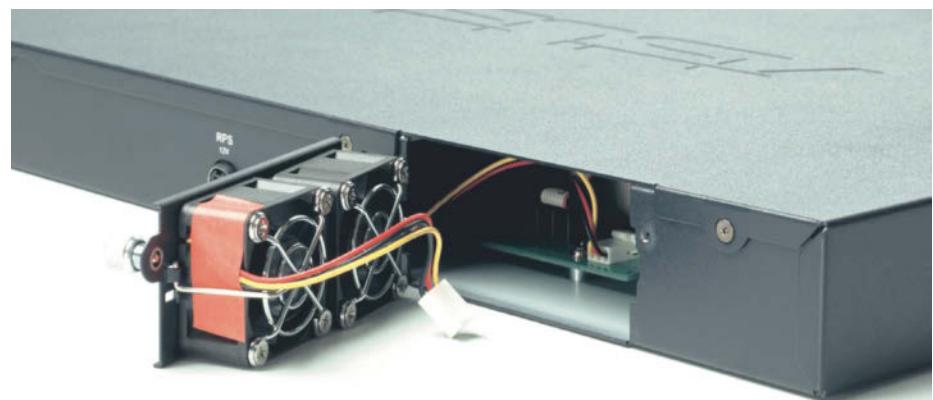
Den ein- und ausgehenden Verkehr befördern Controller im Zusammenspiel mit einem Scheduler und einem Zwischenspeicher, der den Verkehr puffert. Der Puffer ist je nach Switchtyp unterschiedlich groß und der Switch nutzt ihn, um bei Überlast Pakete in einer Warteschlange zwischenzulagern. Von dort läuft 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, siehe unten).

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), Kommandozeilensitzungen per Secure Shell (SSH) und ähnliches.

Für die Verwaltung der Geräte bringen sie einen Management-Controller mit, der meist mit einem lokalen Konsole-Port verbunden ist. Bei älteren Swit-



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.

ches 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 Regung bildet auch bei Switches die Stromversorgung. Bei den Netzteilen unterscheidet man drei Bauformen: extern, 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.

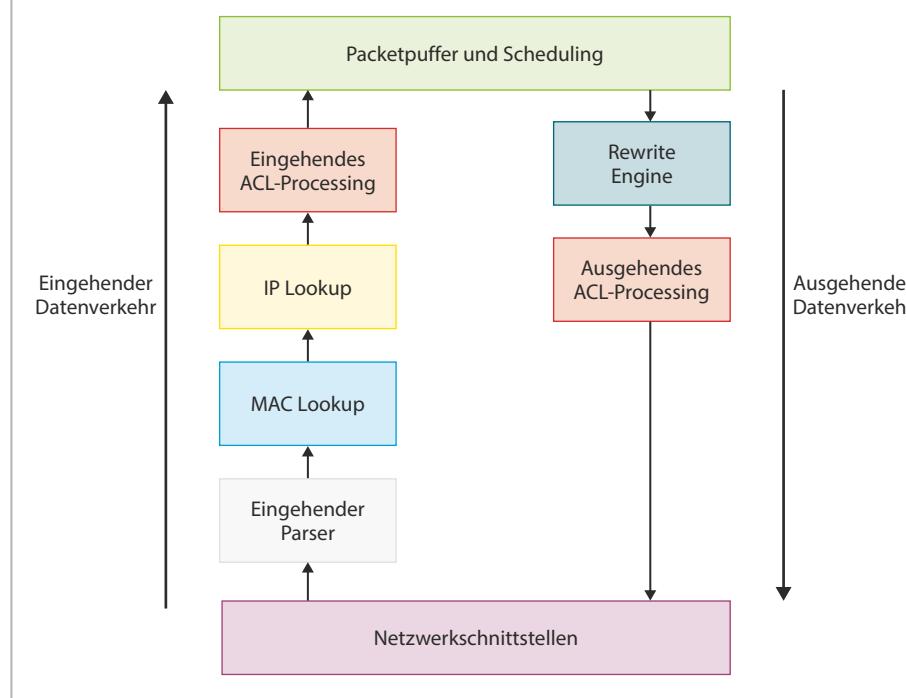
## VLAN

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 Gerätgruppen abbilden. Heimnetze könnte man beispielsweise 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

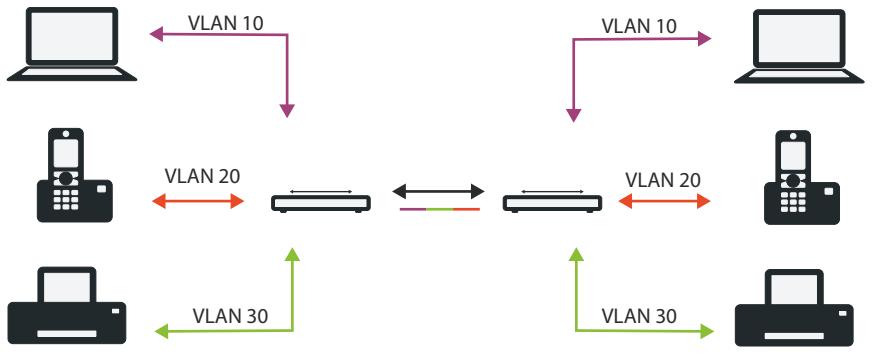
## Frame-Weiterleitung im Switch

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.



## 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.



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 Netzwerzkugangskontrolle 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.

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-Verlustrate zu minimieren und damit die Güte solcher Dienste möglichst hoch zu halten.

Zeitunkritische Frames, beispielsweise von Mails oder Synchronisierungen landen in niedriger priorisierten Warte-

schlangen 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 Zeiterfassungsterminale 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 Ener-

gieübertragung 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 erbeuteten 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 Abfrage-skripte 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 seriell 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 Zielservern des Cloudanbieters. Bei cloudbasierten Switches wie Cisco Meraki oder Juniper Mist läuft nur das Management über die Cloud und die Nutzdaten bleiben lokal.

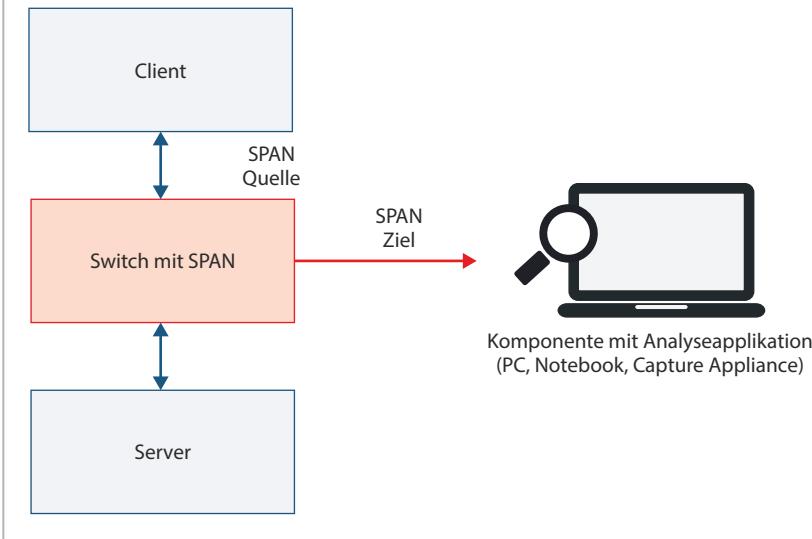
Die cloudestützte Administration kann durch den zentralisierten Ansatz Aufwand sparen, etwa wenn man ein Netz aus mehreren Filialen betreibt. Sie kann aber auch Mehraufwand erfordern, weil der Admin sicherstellen muss, dass personenbezogene Metadaten DSGVO-konform übertragen, gespeichert und behandelt 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

## Spiegel-Port

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



Bündel koppeln 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 Datens Mengen 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 Pro-

tocol und blockieren dann redundante Ports ([ct.de/y3zn](#)). 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 Zugangskontrollsyste me 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. Denn damit kann man das Heimnetz in Zonen unterteilen, die unsichere Smarthome-Gadgets und ähnliches von Geräten mit sensiblen Daten fernhalten.

([dz@ct.de](#)) ct

**Infos zu Switch-Funktionen:** [ct.de/y3zn](#)



# Akku, wechsle dich

## Fairphone Fairbuds: In-Ears mit austauschbaren Akkus

**Ist der Akku kaputt, sind die meisten In-Ears ein Fall für die Tonne. Dabei könnte es so einfach sein, wie Fairphone mit den Fairbuds und ihren Wechselakkus zeigt. Doch an entscheidender Stelle patzt der Hersteller.**

Die Fairphone Fairbuds sind mehr als einfach nur ein Paar neuer In-Ear-Kopfhörer. Mit ihrem wechselbaren Akku sind sie ein Unikum auf dem In-Ear-Markt – und ein Blick in die Zukunft. Schließlich verpflichtet die EU ab 2027 alle Hersteller, In-Ear-Kopfhörer mit wechselbaren Akkus auszustatten.

Fairphone beweist mit den 150 Euro teuren Fairbuds, dass keine grundlegend neue Bauform nötig ist, um einen leicht

austauschbaren Akku in Ladecase und Ohrhörern unterzubringen. Die In-Ears ähneln äußerlich zum Beispiel den Bose QuietComfort Earbuds II oder den Logitech Zone True Wireless. Trotz Wechselakku sind sie gemäß IP54 gegen Spritzwasser und Staub geschützt.

### Neue Akkus für 10 Euro

Die Fairbuds sind Fairphones zweiter In-Ear-Versuch, nach dem gleichnamigen Vorgänger ohne Wechselakku. Die Energiezelle sitzt im knubbeligen Gehäuse hinter den Treibern und lässt sich ohne Werkzeug austauschen. Dazu muss man lediglich ein Silikonband vom Gehäuse schieben und ein darunter liegendes Schubfach öffnen. Schafft man das nicht mit den Fingernägeln, tut es ein spitzer Gegenstand. Zwei Akkus des Typs LIR1054 und zwei Silikonbändchen verkauft Fairphone im Set für 10 Euro. Neue

Silikonbänder bräuchte es dabei gar nicht, denn im Test überstanden sie mehrere Akkuwechsel unbeschadet.

Auch der Akku der Ladeschale lässt sich wechseln, nachdem eine Kreuzschlitzschraube gelöst ist. Dieser 500-mAh-Akku kostet 13 Euro. Außerdem sind Gehäuse der Ladeschale (13 Euro) und das Innenleben, das Elektronik und Ladebuchse beherbergt, erneuerbar (40 Euro). Die Ersatzteile ordert man direkt über die zugehörige, optionale App oder über die Fairphone-Website. Mit diesem Ansatz steht das Unternehmen nahezu allein da, abgesehen von ein paar Crowdfunding-Versuchen und Speziallösungen, zum Beispiel die Shure SE215 True Wireless (c't 4/2021, S. 62). Die Akkus der allermeisten In-Ears kann man allenfalls mit viel Bastelgeschick austauschen und auch nur, falls man einen passenden Ersatzakku auftreiben kann. Einige Hersteller tauschen Earbuds oder Cases mit defekten Akkus aus, in der Regel wählen die Hersteller aber einen wenig nachhaltigen Ansatz: Sie liefern neue Exemplare, anstatt nur den Akku zu wechseln. Meist summiert sich der Preis für zwei Ersatz-Earbuds und Case ungefähr auf den Neupreis.

Aufgrund der kürzlich in Kraft getretenen Batterieverordnung dürften sich auch andere Kopfhörerhersteller die Fairbuds genau anschauen: Nach einer 42-monatigen Übergangsphase dürfen ab 2027 in der EU nur noch In-Ears mit Wechselakku vorgestellt werden. Außerdem müssen die Hersteller Ersatzakkus anbieten.

### Dünner Klang

Weniger überzeugend als die Bauform fällt der Hörtest aus. Die Fairbuds legen eine starke Betonung auf den Bassbereich. Der klingt aber nicht nur im Vergleich mit den teureren Apple AirPods Pro, Bose QuietComfort oder Sony WF-1000XM5 kraftlos; auch ähnlich teure In-Ears wie die Creative Aurvana Ace erzeugen einen deutlich präziseren und druckvollen Sound. Die eigentliche Schwäche allerdings betrifft die Höhenwiedergabe der Fairbuds. Bereits ab etwa 7 kHz brechen sie hör- und messbar weg, klingen dumpf und verschlucken mitunter ganze Passa-

### Fairphone Fairbuds

In-Ear-Kopfhörer mit Wechselakku	
Hersteller, URL	Fairphone, fairphone.com/de
Anbindung, Codecs	Bluetooth 5.3 (Multipoint, AAC, SBC)
Garantie	3 Jahre
Preis	150 €

gen. Percussions beispielsweise dringen in manchen Songs kaum oder gar nicht durch, Stimmen klingen eigenartig bedeckt und zurückgenommen. In der App kann man den Sound in Maßen anpassen. Den nuancierten Klang der spielfreudigen Aurvana Ace erreichen die Fairbuds dennoch bei Weitem nicht.

In Sachen Telefonie schlagen sich die Fairbuds ordentlich. Bluetooth-Codec-bedingt schneiden sie den Stimmanteil über 8 kHz ab und übermitteln die eigene Stimme nicht sonderlich voll, sodass man beim Gesprächspartner etwas dünn klingt. Aber dieses Manko teilen sie sich mit anderen Bluetooth-In-Ears. Meist wird Sprache gut verständlich übertragen, wenngleich hin- und wieder der Störgeräuschfilter übereifrig auch die eigene Stimme entfernt.

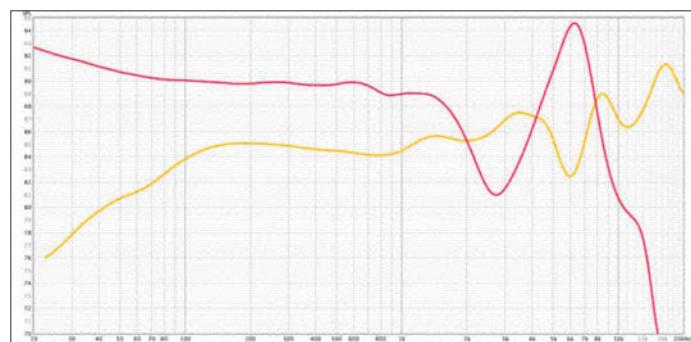
Die aktive Geräuschunterdrückung der Fairbuds dimmt Umgebungslärm spürbar herunter, blendet aber selbst leise Störgeräusche wie Tastaturtippe nicht vollständig aus. Dafür braucht es die Kombination aus ANC, richtigem Sitz und mindestens leiser Musikwiedergabe. Der Transparenzmodus wiederum mischt der Medienwiedergabe Umgebungsgeräusche bei. So bekommt man mit, was um einen herum geschieht. Auch die eigene Stimme ist dann gut hörbar – praktisch, um deren Wirkung bei Telefonaten im Großraumbüro einschätzen zu können. Die Klarheit der doppelt so teuren Apple AirPods Pro erreichen die Fairbuds aber nicht, vielmehr hört man die eigene Stimme immer etwas dumpf und entkoppelt.

Mit einer Ladung halten die Fairbuds je nach Nutzung vier bis sechs Stunden durch. Beim Telefonieren machen sie schneller schlapp als beim Musikhören. Das Case kann sie etwa viermal aufladen. Die Fairbuds kommunizieren mit Abspielgeräten per Bluetooth 5.3 (AAC, SBC) und halten per Multipoint Verbindung zu zwei Quellen gleichzeitig. Der Wechsel zwischen den Zuspielern funktionierte im Test reibungslos.

## Fazit

Wechselbare Akkus, günstige Ersatzteilpreise und nachhaltige Fertigung: Was könnte man daran nicht mögen? Fairphone zeigt mit den Fairbuds, dass sich In-Ears und Reparierbarkeit nicht ausschließen und ist damit Vorbild für die gesamte Branche.

Und doch fällt eine uneingeschränkte Empfehlung schwer, denn ausgerechnet ihre Kernaufgabe erfüllen die Fairbuds nur ungenügend. Fürs bewusste Musikhören sind die Fairbuds mit ihrem kraftlosen Bass und den bedeckten Höhen kaum geeignet. Will man sich dagegen nur von Musik berieseln lassen, Serien schauen oder sucht einen robusten Kopfhörer für unterwegs, der lange hält, sind die Fairbuds prädestiniert. (rbr@ct.de) **ct**



Wo sind bloß die Höhen hin? Die Fairphone Fairbuds (rote Kurve, im Vergleich die neutral abgestimmten Sennheiser HD600) klingen aufgrund der sehr zurückgenommenen Höhen etwas dumpf.

# Ihr Windows-Ratgeber



**Das Sonderheft c't Windows-Projekte stellt hilfreiche Tools und ihre Anwendung vor. Es beantwortet immer wieder gestellte Fragen rund um Windows, zum Beispiel zur Laufwerksverschlüsselung BitLocker, zum Microsoft-Konto und erklärt, was es Wissenswertes zu Treibern gibt.**

- Hochsicherheits-Windows
- Notfallsystem bauen, Viren suchen, Probleme lösen
- Unerwünschte Treiber- und Firmware-updates verhindern
- Home- in Pro-Edition umwandeln
- Windows-Umzug mit c't-WIMage
- Whitelisting: Möglichkeiten, SRP/Restric'tor, AppLocker



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

JETZT  
BESTELLEN!

[shop.heise.de/ct-windows24](http://shop.heise.de/ct-windows24)

# Schlüssellost eingefädelt

## Smartes Türschloss von Nuki mit Thread und Matter im Test

**Das Nuki 4 Pro verwebt sich via Thread-Funk mit dem Heimnetz und braucht so beim Fernzugriff weniger Energie. Die Matter-Anbindung bringt Vorteile im Offline-Betrieb.**

Von Berti Kolbow-Lehradt

Das österreichische Unternehmen Nuki hat sein smartes Türschloss Nuki Pro in der vierten Generation mit dem Smart-Home-Standard Matter auf den neuesten Stand gebracht.

Das Nuki Pro klemmt man wie gehabt von innen ans Türblatt. Unverändert gewöhnungsbedürftig sind die klobigen Maße des eckigen Akkufachs, das sich wahlweise in Weiß oder Schwarz mit silberfarbenen Akzenten immerhin farblich ansehnlich einfügt.

Die Neuigkeiten kann man nicht sehen. Außer Bluetooth für die Bedienung aus der Nähe nutzt das Pro-Modell neben WLAN nun wahlweise auch Thread („Faden“) für den Fernzugriff außerhalb des Heimnetzes. Das soll den Energieverbrauch bei ähnlicher Funkreichweite laut Nuki erheblich verringern. Die Firmware 4.1.8 bringt das Thread-Update. Die Freischaltung der Funktion ist beim Pro-Modell inklusive, kostet aber beim Standard-Modell ohne WLAN 50 Euro extra.

### Fadenspiel per Firmware-Update

Der Wechsel zum Thread-Funk setzt voraus, dass man das erstmals enthaltene Kommunikationsprotokoll Matter in der Nuki-App aktiviert und einen Thread Border Router von Apple oder Home Assistant als Funkbrücke nutzt. Dieser über-

setzt dann die Schließbefehle per NAT64 ins Thread-Netz. Ob man den Fernzugriff nutzt und mit welchem Übertragungsweg, legt man wahlweise bei der Ersteinrichtung oder nachträglich fest. Das Setup erfolgt per mobiler Nuki-App via Bluetooth-Kopplung.

Wegen des Matter-Anschlusses klappt das Zusammenspiel mit wichtigen Smart-Home-Plattformen auch offline. Außer für Apple und Home Assistant gilt das für Google Home und Samsung SmartThings. Letztere beiden kommunizieren vorerst per WLAN statt via Thread mit Nuki. Mit der Alexa-Plattform klappt kein lokaler Matter-Kontakt, der Amazon-Dienst verbindet sich wie zuvor nur per Cloud-Umweg mit dem Schloss. Den vollen Matter-Funktionsumfang gibt es aktuell also nur mit Home Assistant. Mit ihm lässt sich auch die Tür entriegeln, ohne die Falle zu ziehen. Die anderen Systeme kennen vorerst nur Auf oder Zu.

Die Softwarekonfiguration geht mit dem geführten Dialog schnell und einfach. Fertig eingerichtet, öffnet man das Schloss in Bluetooth-Reichweite per Nuki-App und optional mit einem Ziffernblock des Herstellers. Eine charmantere Alternative ist die Funktion Auto Unlock. Betritt man mit einem verknüpften Smartphone den definierten Geofence rund um das Zuhause und empfängt ein Bluetooth-Signal vom Schloss, öffnet dieses die Tür automatisch.

Mit den Apps von Smart-Home-Plattformen lassen sich weiterhin keine Zugangsrechte verwalten, sondern nur Befehle zum Öffnen und Schließen erteilen. Dies mit Wenn-dann-Automatiken zu verknüpfen, ist aber weiterhin sinnlos, weil die Apps vor dem Ausführen aus Sicherheitsgründen eine manuelle Bestätigung einfordern. Nützlich ist das Zusammenspiel mit Smart-Home-Apps daher bloß für eine per Schaltfläche aktivierte Gruppenschaltung, etwa



im Rahmen einer Gute-Nacht-Szene, oder eben wegen der genannten Relais-Funktion für den Thread-Funk.

### Ausdauernder Akku

Um welche Dauer der Wechsel von WLAN zu Thread die Akkulaufzeit verlängert, sagt Nuki nicht. Im vierwöchigen Praxistest des Schlosses sank der Ladestand um 16 Prozent. Welche Funktechnik das Gerät währenddessen verwendete, lässt sich nicht ermitteln. Außer Thread soll allein schon ein sparsamer Mikrocontroller die Laufzeit im Vergleich zum vorherigen Modell um 30 Prozent auf sechs Monate verlängern, ehe der integrierte Akkupack per USB-C-Buchse auftanken muss. Diese Herstellerangabe klingt realistisch.

Die höhere Energieeffizienz beim Fernzugriff ist für alle, die bereits ein Thread- und Matter-Setup haben, das stärkste Argument für einen Griff zum Nuki 4 Pro. Beim Kauf eines Standard-Modells ist der Vorteil sogar noch größer, weil man sich ob des fehlenden integrierten WLAN-Chips eine Bluetooth-WLAN-Bridge von Nuki sparen kann. Wer nur den Bluetooth-Betrieb nutzt oder eine vorherige Modellgeneration besitzt, braucht aber kein Upgrade. Der lokale Betrieb und praktische Auto Unlock klappen auch damit zuverlässig. (sha@ct.de) **ct**

### Nuki Smart Lock Pro 4. Gen

Smartes Türschloss	
Hersteller, URL	Nuki, nuki.io
Systemanf.	Smartphone mit Android oder iOS, Schließzylinder mit Not- und Gefahrenöffnung
Konnektivität	Wi-Fi 4 (2,4 GHz), Bluetooth 5.0, Thread, Matter
Abmessungen	11 cm × 6 cm × 6 cm
Batterien	NiMh-Akku (2500 mAh) mit USB-C-Ladebuchse
Preis	280 €

# Alles im Blick

## Android-Widget für nützliche Informationen zur rechten Zeit

**Das quelloffene Widget Smartspacer für den Android-Homescreen versorgt seine Nutzer automatisch mit kontextbezogenen Informationen zum Wetter, zu Terminen oder Ereignissen. Es zapft dafür mehr Quellen an als das Vorbild von Google und hat weitere praktische Überraschungen im Gepäck.**

Von Stefan Porteck

Für Besitzer eines Pixel-Smartphones sind aktuelle Informationen direkt auf dem Startbildschirm ein alter Bekannter. Die sogenannte Live-Anzeige informiert auf Google-Smartphones unter anderem über das Wetter, erinnert an Geburtstage, Termine oder Reservierungen. Auf Telefonen anderer Hersteller oder mit einem alternativen Launcher lässt sich die Google-Anzeige in dieser Form nicht nutzen. Die vom britischen Programmierer Kieron Quinn entwickelte App Smartspacer schließt diese Lücke.

Smartspacer benötigt keine Root-Rechte und steht auf GitHub zum kostenlosen Download bereit.

Bevor Smartspacer zum Leben erwacht, muss man in den Einstellungen der App festlegen, welche Informationen das Widget anzeigen soll. Dabei unterscheidet die App zwischen „Zielen“ und „Komplikationen“. Unter Zielen versteht man mehrzeilige Info-Karten, mit Text und einem grafischen Element, etwa Titel, Interpret und Album-Cover während der Musikwiedergabe. Der Begriff Komplikationen ist offenbar aus der Welt der Uhren entlehnt und beschreibt kleine Icons, die Smartspacer bei Bedarf neben einem Ziel einblendet, beispielsweise eine Prozentanzeige für den Akku oder ein App-Icon

mit einer Ziffer für die Anzahl offener Benachrichtigungen.

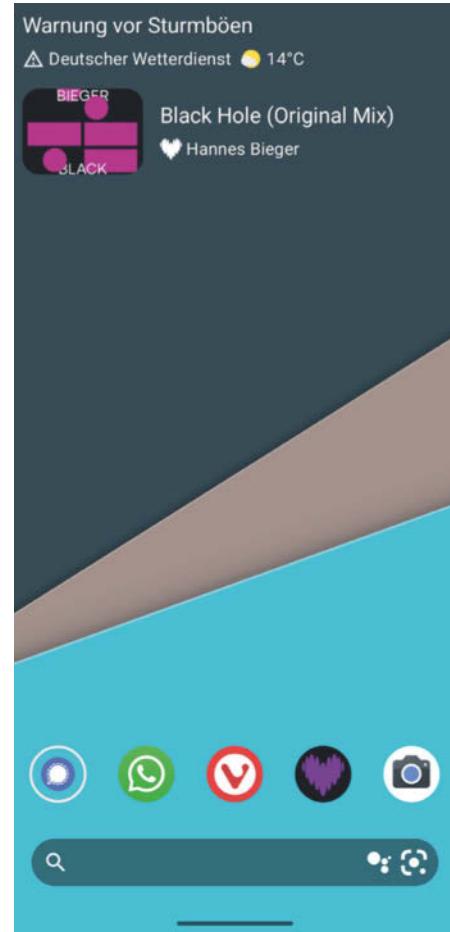
### Aus dem Vollen schöpfen

Bevor man das Widget auf dem Startbildschirm platziert, fügt man vorab in den Einstellungen von Smartspacer gewünschte Ziele hinzu. Dort lassen sich unter anderem ein Kalender, das Datum, die Musikwiedergabe, eine Wettervorhersage und Benachrichtigungen als Datenquelle angeben. Wer die Google-App installiert hat, kann deren „Auf einen Blick“-Widget als Quelle auswählen – denn damit bietet Google selbst eine abgespeckte Alternative zur Live-Anzeige. Danach legt man wie gewohnt auf dem Homescreen ein Widget an und wählt Smartspacer aus.

Der Funktionsumfang von Smartspacer lässt sich über Plug-ins für weitere Datenquellen sogar noch aufbohren. So gibt es unter anderem Erweiterungen, die den Status einer Amazon-Bestellung anzeigen, von Google Health Connect die Fitness-Fortschritte einblenden, mit einem Ausschnitt aus Google Maps vor dichtem Verkehr in der Nähe warnen oder über die Integration von Google Wallet Reiseinformationen zu gebuchten Tickets anzeigen. Das volle Potenzial schöpfen Hobby-Entwickler mit dem Plug-in für die Automatisierungs-App Tasker aus: Damit lassen sich eigene Ziele, Komplikationen und Bedingungen anlegen. Der Fantasie sind dabei kaum Grenzen gesetzt.

Hat man viele Quellen ausgewählt, passiert es mitunter, dass Smartspacer über mehrere Dinge gleichzeitig informieren muss. Dann blendet das Widget Pfeiltasten ein, mit denen man durch die verschiedenen Infokarten wechselt. Alternativ passt man die Höhe der Darstellung an und legt in den Einstellungen fest, dass alle Informationen untereinander dargestellt werden.

Apropos Einstellungen: Wer den Informationsfluss kanalisieren möchte, der legt Regeln an, die festlegen, wann welche



Ziele angezeigt werden – beispielsweise nur zu bestimmten Zeiten oder an festgelegten Orten. Auf Wunsch stellt man zudem ein, dass Smartspacer bei alternativen Android-Oberflächen wie beispielsweise dem Nova Launcher den Discover-Feed ersetzt. Dann zeigt Smartspacer alle Infoschnipsel auch an dieser Stelle an und erlaubt es zusätzlich, dort eigene beliebige Widgets abzulegen.

### Fazit

Smartspacer ist eine mächtige und dennoch kostenlose Alternative für das Live-Anzeige-Widget von Google. Es sind zwar noch nicht alle Menüpunkte ins Deutsche übersetzt, aber trotzdem klappt die Konfiguration gut. Smartspacer verlangt zwar etwas mehr Zeit bei der Ersteinrichtung, doch dafür bekommt man später auch mehr und vor allem relevante Informationen direkt auf dem Startbildschirm präsentiert. (spo@ct.de) ct

## Android Widget

Smartspacer	
Hersteller, URL	Kieron Quinn, github.com/KieronQuinn/Smartspacer
Systemanf.	Smartphone mit Android
Preis	kostenlos (Open Source)



# Horchling

## Mini-Funkmikrofon Shure MoveMic im Test

**Shure ist als Hersteller kabelloser Mikrofonsysteme bekannt, war dabei bislang aber nur im Profibereich tätig. Das „MoveMic“ richtet sich erstmals an Privatleute, die Inhalte für Social Media erstellen wollen.**

Von Nico Jurran

Das Shure MoveMic gibt es im Unterschied zu anderen Mini-Audiofunkstrecken als einzelnes Funkmikrofon (Sender) und nicht nur im Set mit einem Empfänger. Diese Rolle übernimmt dann ein Android- oder iOS-Smartphone – aber nur in Verbindung mit den Shure-Apps „Motiv“ und „Motiv Video“: Der MoveMic-Sender funkts die Audiodaten mit einem proprietären Bluetooth-Verfahren mit bis 20 kHz zum Mobilgerät und überwindet so die sonst übliche Bluetooth-Beschränkungen auf 8 kHz im Headset- oder Freisprechprofil. Bis zu zwei Sender lassen sich so gleichzeitig anbinden, was aktuell kein anderer Hersteller ermöglicht.

Wer andere Apps auf dem Handy oder einen Computer für die Aufnahme nutzen will, greift zum MoveMic-Receiver: Der kommt nicht nur mit analogem 3,5-mm-

Klinkenausgang für den Anschluss an Kameras, sondern gibt die Audiodaten auch (in 24 Bit/48 kHz) über seinen USB-C-Port aus. Die Funkreichweite liegt mit angegebenen 30 und gemessenen 50 Metern weit unter den sonst üblichen 100 bis 175 Metern.

Was sofort auffällt, wenn man sich das Mikrofon über die fest montierte Klemme am Hemd befestigt: Mit den Maßen 46 × 22 × 15 Millimeter ist es im Vergleich zu den Konkurrenzmodellen winzig. Die gemessene Laufzeit von neun Stunden (acht für den Empfänger) beeindruckt umso mehr. Die geringe Größe birgt aber auch Nachteile: Das Modul hat keinen Anschluss für ein externes Ansteckmikrofon (Lavalier) oder einen USB-Port, über den sich sein Akku aufladen ließe. Der proprietäre Ladeanschluss macht die Ladeschale zur Pflicht, die für zwei Ladungen reicht.

### Preis und Leistung

Das „MoveMic One“-Set besteht aus einer solchen Ladeschale und einem Sender und kostet 289 Euro, die „MoveMic Two“-Version mit zwei Sendern kostet 399 Euro. Für einen separaten Empfänger legt man noch mal 299 Euro drauf. Alternativ greift man zum von uns getesteten „MoveMic Two Receiver Kit“, das für 569 Euro alle Teile enthält. Schönheitsfehler: Das Case bietet nur den Mikros Platz, den Empfänger lädt

man folglich separat per USB-C auf. Das macht die Handhabung und den Transport unnötig kompliziert; immerhin liegt dem Kit eine Tasche bei, in die alles passt.

Was bei den vergleichsweise hohen Preisen schmerzt: Die Sender speichern die vom Mikrofon eingefangenen Audiosignale nicht zusätzlich intern. Dabei ist dies in der Preiskategorie heute aus gutem Grund Standard. Kommt es bei der Funkübertragung zu Aussetzern, hat man immer noch Backups. Immerhin hat der Shure-Receiver einen Kopfhörerausgang, um die eintreffenden Signale gleich kontrollieren zu können.

Die Mikrofone lassen sich in den Motiv-Apps und am Receiver (mit LED-Bildschirm und Mini-Joystick) konfigurieren. Zur Verfügung stehen unter anderem Kompressor, Hochpassfilter und ein EQ sowie eine „Rauschminderung“, die aber hinter der vom DJI Mic 2 (siehe c't 6/2024, S. 72) klar zurückblieb.

### Fazit

Shure betritt mit seinem Set einen Markt, auf dem auch Hersteller mit bekannten Namen Geräte mit mehr Funktionen für weniger Geld anbieten. Das DJI Mic 2 bietet etwa zum Setpreis von 349 Euro UVP ebenfalls Bluetooth und eine besser funktionierende Rauschunterdrückung, zusätzlich bekommt man dort Sender mit Backup-Funktion und Anschläßen für externe Mikrofone.

Geht es nur um die Größe des Funkmikrofons und dessen Laufzeit, ist dem MoveMic ein Platz in der Bestenliste sicher. Zudem ist es aktuell die einzige Wahl für alle, die per Bluetooth zwei Mikrofone gleichzeitig anbinden wollen.

(nij@ct.de) **ct**

### Shure MoveMic Two Receiver Kit

Mini-Audiofunkstrecke	
Hersteller, URL	Shure, shure.com
Frequenz / Reichweite	2,4 GHz (proprietäres Bluetooth-Verfahren) / 50 m (gemessen)
Anschlüsse	Sender: Ladeanschluss (proprietär), Empfänger: Line-out (Stereo, 3,5-mm-Klinke), Kopfhörer (Stereo, 3,5-mm-Klinke), USB-C
Maße (L × B × H), Gewicht	Sender: 46 mm × 22 mm × 15 mm, 8,2 g / Empfänger: 53 mm × 67 mm × 19 mm, 81 g / Ladeschale: 74,5 mm × 53 mm × 33 mm; 80,3 g
Preis	MoveMic Two Receiver Kit: 569 €, MoveMic One: 289 €, MoveMic Two: 399 €, Mikrofon: 149 €, Empfänger: 229 €, Ladeschale: 139 €, USB-C-Lighting-Adapterkabel: 35 €



## Pegelwarner

**Wasser ist super, es sei denn, man hat zu wenig oder zu viel davon. Ein smarter Pegelwächter schlägt an, wenn das Regenwasserreservoir leer- oder der Keller vollläuft.**

Der mit 40 Euro günstige WiFi Wasserstandsmelder von Tuehakny besteht aus zwei daumengroßen Wasserstandsenso- ren und einem  $9 \times 3$  Zentimeter großen Messmodul. Man bekommt ihn bei Amazon, baugleiche Modelle aber auch im chinesischen Online-Handel. Von zwei AAA-Batterien gespeist, kommuniziert er per Bluetooth und WLAN (2,4 GHz) und ist mit einer kleinen Status-LED, einem Taster und einem Piezo-Alarm ausgestat- tet. Man klebt oder schraubt das Modul über eine kleine Montageplatte an die Wand.

Bei den Sensoren handelt es sich um einfache Reed-Relais, wobei der für den Alarmimpuls verantwortliche Dauermag- net in einem Schwimmer eingebaut ist, der lose auf einer Kunststoffachse sitzt. Die Sensoren sind so geformt, dass sie sich durch eine Lochbohrung, beispielsweise in einem Kunststofffass, fest installieren lassen. Ansonsten muss man sich je nach Einsatzort selbst um eine individuelle Be- festigung kümmern. Mit dem Steuermo- dul werden beide Sensoren über je einen Standard-3,5-Millimeter-Klinkenanschluss verbunden. Zwei Meter Zuleitung sind vorhanden, über ein handelsübliches Audio-Verlängerungskabel lässt sich der Abstand zwischen Sensor und Messmodul vergrößern, wenn es um Messungen im Außenbereich geht. Das Modul selbst ist nicht wasserfest.

Der Wassermelder arbeitet mit der Tuya-App oder Tuyas Smart Life zusam- men und lässt sich problemlos anlernen. Die Sensoren sind farblich kodiert und

haben im Lieferzustand unterschiedliche Funktionen. Einer gibt Alarm, wenn der Schwimmer in die obere Position fährt, der andere beim Erreichen der unteren Posi- tion. Im einfachen Fall eines Regenfasses könnte man sich also bei Unter- oder Überschreiten zweier durch die Montage- höhe bestimmten Pegelstände warnen lassen. Zwischenstände erfasst das System nicht. Der Blick in die Anleitung verrät einen praktischen Twist: Die Alarmie- rungsart lässt sich durch einfaches Um- drehen des Schwimmers am Sensor ver- ändern. So kann man auch zwei Hoch- oder zwei Niedrigpegel überwachen.

Die Tuya-App am Smartphone spuckt eine gut sichtbare Alarmmeldung aus. Wem das reicht: Der Piezo-Alarm ist laut und nervig, lässt sich aber einfach via Tas- tenkombination direkt am Modul stummschalten. Die fest vorgegebene deutsche Benennung der zwei Sensorkanäle in der App verwirrt. Einer heißt „Überlaufalarm“, auch wenn hier der Sensor für den unteren Pegel angeschlossen ist. Der an- dere hört auf den Namen „Erfolg“. Wenn die App also Erfolg meldet, könnte der Keller unter Wasser stehen. Über die Tuya-App kann man die Sensoren (War- nung und Entwarnung) auch in Smart- Home-Regeln einbinden, um Pumpen anzuwerfen, Warnlampen leuchten zu lassen oder sich (kostenpflichtig) per SMS oder Telefonanruf informieren zu lassen. Im Test funktionierte das System zuver- lässig.

Der WiFi-Wasserstandsmelder er- laubt eine einfache und kostengünstige Überwachung von Pegelständen. Einziger Pferdefuß ist die begrenzte Batteriekapa- zität: Der Hersteller gibt eine Standby-Zeit von nur drei Monaten an. Zwar bekommt man auch eine Batteriestandswarnung auf die App, aber wer eine „Einmal-in-fünf- Jahren-Situation“ abfangen will, sollte sich ein kleines Netzteil ans Modul basteln. Spätestens dann dürfte einem wegen der großen Zahl möglicher Alarmierungswege kein Pegelereignis mehr entgehen.

(sha@ct.de)



## Stichheiler mit App

**Mit der dritten Generation des HeatIt wird der Insektenstichheiler mit App eine Schwäche der vorherigen Modelle los. Die Pro-Version kostet allerdings mehr als die Vorgänger.**

Der HeatIt ist ein winziges Gadget für den USB-C- oder Lightning-Anschluss, welches Insektenstiche mit Hitze behandelt, um den Juckreiz zu lindern. Die Steuerung übernimmt die kostenlose HeatIt-App, die auf Wunsch automatisch startet, wenn der kleine Stöpsel am Smartphone andockt.

Als Immer-dabei-Gerät hat der HeatIt seinen Platz am Schlüsselbund – und war dort bislang stets in Gefahr, verloren zu gehen. Die beiden vorherigen Modelle be- saßen Schutzkappen aus Kunststoff, die den Stichheiler nur unzureichend festhielten. Der Rahmen der Pro-Variante aus Metall mit Öse für den Schlüsselring klemmt den HeatIt in seiner Kunststoff- hülle fest, zum Lösen muss man ihn mit Kraft nach unten ziehen. So ist er wesent- lich sicherer befestigt.

Die Funktionen der für die Nutzung notwendigen App sind unverändert: Die Behandlungszeit lässt sich mit 4, 6 oder 9 Sekunden wählen, bei Kindern wird die  $8 \times 5$  Millimeter große Fläche weniger heiß. Die Option „empfindliche Hautstel- le“ reduziert die Temperatur noch ein wenig. Mit der neuen LED im Heizelement dient der HeatIt auch als Mini-Ta- schenlampe.

(sht@ct.de)

## HeatIt Pro

Insektenstichheiler	
Hersteller, URL	HeatIt, heatit.de
Maße (H × B × T) / Gewicht	42 mm × 18 mm × 9 mm / 11 g
Anschluss	USB-C, Lightning
Kompatibilität App	Android ab 5.0, iOS ab 14.0
Preis	50 €



# Ganz neue Töne

## Das Musikprogramm Ableton Live 12 im Test

**Die Zahl der Neuerungen dieser digitalen Audio-Workstation mag auf den ersten Blick etwas mager erscheinen. Doch allein der neue Browser mit Schlagwortsuche und die einfachen Möglichkeiten, Skalen und Stimmungen zu wechseln, beschleunigen die tägliche Arbeit und bringen frische Ideen in die elektronische Musikproduktion.**

Von Hartmut Gieselmann

Je umfangreicher Musikprogramme werden, desto schwieriger behält man den Überblick über alle Sounds und Samples. Dies gilt insbesondere für Besitzer der Suite von Ableton Live, der größten und teuersten Ausbaustufe dieser auf alle Spielarten elektronischer Musik spezialisierten Produktionssoftware – die sich natürlich auch für andere Stilrichtungen eignet.

Die Version 11 hatte weit über 30 neue Soundpacks im Gepäck. Da hatte man die Qual der Wahl, welches denn nun der richtige Kick, der passende Bass oder die füllende Fläche für den aktuellen Song ist. In der neuen Version 12 hat Ableton kräftig aufgeräumt. Zwar sind „nur“ 5 neue Soundpacks hinzugekommen. Dafür wurden aber alle mitgelieferten Instrumente, Effekte, Sounds, Patches und Samples umfangreich verschlagwortet.

Über Suchbegriffe und einstellbare Filter findet man im Browser mit wenigen Klicks den passenden düsteren Klaviersound oder ein gezupftes Cello. Die Filter für die Klangeigenschaften lassen sich miteinander verknüpfen. Die Schlagworte können nach Belieben verändert und ergänzt werden. Besitzer der Sample-Libraries von Native Instruments wissen, wie sehr ein solches System die Arbeit beschleunigt.

Wenn ein Klang nicht ganz passt, kann man nun in der gesamten Ableton-Bibliothek nach ähnlichen Sounds suchen. Nach einem Klick auf ein kleines Icon listet der Browser weitere Klänge in der Reihenfolge ihrer Ähnlichkeit auf. Das funktioniert mit

allen Samples, Sounds und Presets aus der gesamten Live-Bibliothek und den Zusatz-Packs. Ein neuronales Netz analysiert im Hintergrund alle Samples des Nutzers (bis 60 Sekunden Länge). So findet man auch für diese schnell ähnliche Austauschklänge.

### Mehr Harmonie

Darüber hinaus konzentrieren sich die Neuerungen der 12er-Version auf das Einspielen neuer Ideen und das Editieren von MIDI-Noten. Wer die gewohnten Dur- und Moll-Tonarten in wohltemperierter Stimmung satthat, kann jetzt neue Skalen und Stimmungen aus aller Welt ausprobieren. Wie wäre es mit einer persischen Dastgah-Stimmung oder einer japanischen Iwato-Skala? Infotexte und Beispiele auf tuning.ableton.com erklären die musikalischen Hintergründe. Wer möchte, kann auch eigene Stimmungen erfinden oder vorhandene verändern.

Damit lassen sich nicht nur eingespielte MIDI-Clips und die Ergebnisse der vielen neuen MIDI-Werkzeuge transponieren. Sie wirken sich auch auf Grundtöne und Intervalle bei der Klanggestaltung mit den integrierten Synthesizern und allen MIDI-Tools aus, sobald man einen kleinen Skalen-Button in deren Bedienoberfläche aktiviert.

### Verzerrte Synthesizer

Mit Meld wurde zwar nur ein neuer Software-Synth in die Suite aufgenommen, aber der hat es in sich. Er ist ähnlich umfangreich ausgestattet wie Abletons Wavetable-Synth und klingt deutlich fetter als die einfacheren älteren Synths wie Analog, Collision, Electric und Tension, die neuerdings in der günstigeren Standardversion von Live enthalten sind. Solche internen Synths gewinnen nicht zuletzt durch den optional erhältlichen Push-3-Controller (Test siehe c't 18/2023, S. 100) an Bedeutung, der die MIDI-Erweiterung MPE unterstützt.

Meld verbindet verschiedene Elemente, wie zum Beispiel die der klassischen subtraktiven Synthese mit der FM-Synthese. Es besteht aus zwei komplexen Oszillatoren, die jeweils 24 austauschbare Grundelemente enthalten. Diese reichen von einfachen Schwingungen bis hin zu Schwärmen, Knistern, Rauschen, Regen und Blasen und können durch integrierte LFOs und Envelope Follower rhythmisch variiert werden. So entsteht ein schrepperndes Schlagzeug, ein verstimmtes E-Piano oder eine bombastische Streicherfläche für den Soundtrack eines Films.

Flankiert wird er von Roar, einem neuen Verzerrer, der ebenfalls nur in der Suite für 600 Euro enthalten ist. Er treibt den digitalen Klangerzeugern die Sterilität einer reinen Softwareproduktion aus und fettet sie wie ein Soundtoys Decapitator oder Fabfilter Saturn an. Mit einem Dutzend Verzerrertypen, die seriell, parallel oder sogar auf Mid/Side-Signale aufgeteilt werden können, imitiert Roar beispielsweise Röhrenvorverstärker oder kaputte Transistorradios, inklusive eingebautem Kompressor und Multimode-Filter. Die Effekte können über einen Feedback-Loop verstärkt und mit verschiedenen LFOs animiert werden, was vielfältige Soundkreationen ermöglicht.

### Fremdgesteuert

Wer auf der Bühne verschiedene MIDI-Controller verwendet oder ein Modular-Rack einbinden will, kann deren CC-Befehle oder Steuerspannungen mit dem Performer aus dem neuen Performance Pack steuern. In dessen Editor stellt man verschiedene Buttons und Slider zusammen und verknüpft sie mit nahezu beliebigen Ein- und Ausgängen sowie Programmfunctionen. Mächtig ist auch der mitgelieferte Prearranger: Mit ihm legt man für eine Bühnenperformance fest, wann welche Spur welchen Clip aufnehmen soll, um ihn anschließend an bestimmten Stellen im Arrangement wieder abzuspielen. Das spricht beispielsweise Multiinstrumentalisten an, die live Stücke aus Loops zusammensetzen und komplexer gestalten wollen, als es beispielsweise eine Boss Loop Station erlaubt.

### Performance und Stabilität

Abgerundet wird das Update neben vielen kleinen Details durch neue Einstellmöglichkeiten für die Fensteransichten und eine Template-Verwaltung für Projektvorlagen. Und weil es heutzutage nicht selbstverständlich ist, sei es an dieser Stelle erwähnt: Ableton Live 12 lief bereits in der Betaphase überaus flott und stabil – davon können sich Logic und Cubase eine Scheibe abschneiden. Mit der Version 12.0.1 wurden auch die integrierten Tutorialtexte ins Deutsche übersetzt. Bislang ist das Handbuch allerdings nur in einer unvollständigen englischen Online-Fassung verfügbar. Ergänzungen sowie eine deutsche Übersetzung sollen im Laufe des Jahres folgen.

Im Leistungsvergleich konnten wir keine Veränderungen gegenüber der Vor-



**Mit dem Performer wird Live zur Schaltzentrale für komplexe Bühnenshows.**

gängerversion feststellen. Gängige Projektgrößen verarbeitet Live performant und stabil. Nur beim Mischen wirklich großer Orchester wuppen andere DAWs wie Pro Tools oder Logic Pro X deutlich mehr rechenintensive Effekte, ohne zu stottern (siehe Performance-Vergleich in c't 12/2022, S. 22). Gut versteckt unter den Spur-Optionen im Anzeige-Menü rechts unten ist die neue Funktion „Keep Latency“. Bei der MIDI-Ansteuerung externer Instrumente sollte man sie deaktivieren, um Latenzversatz bei der Aufnahme mit eingeschaltetem Monitoring zu minimieren.

Dolby Atmos ist leider nicht von Haus aus mit an Bord. Zum Abmischen von 3D-Songs in Dolby Atmos muss man Ableton Live mit dem Dolby Atmos Renderer verknüpfen, der auch den entsprechenden Music Panner und ein passendes Projekt-Template mitbringt. Er läuft allerdings nur unter macOS auf demselben Rechner wie die DAW. Windows-Nutzer müssen ihn auf einem separaten Rechner per MADI oder Dante anbinden. Der Atmos Renderer ist bei Avid für 279 Euro erhältlich.

Im Bereich Mastering sind andere DAWs umfangreicher bestückt. Eine Lautheitsmessung in LUFS fehlt ebenso wie ein separater Abhörkanal, in den man Tools zur Entzerrung von Kopfhörern und Lautsprechern einschleifen könnte, ohne dass diese im Song-Export landen. Fehlende Plug-ins lassen sich aber über VST 2/3 und AU leicht nachrüsten.

Unterwegs kann man mit der App Ableton Note (iOS) für 10 Euro kurze musikalische Ideen festhalten und in Live weiter ausarbeiten.

### Fazit

Auch wenn es ein paar Lücken gibt: In Sachen Sounddesign, experimentelle Arrangements, Einbindung externer Hardware

und Ansteuerung modularer Synthesizer ist die Ableton Live Suite derzeit konkurrenzlos. Hinzu kommt das übersichtliche Bedienkonzept, mit dem man auch auf kleinen Laptop-Bildschirmen den Überblick behält. Im Web erleichtern klar strukturierte englischsprachige Video-Tutorials den Einstieg.

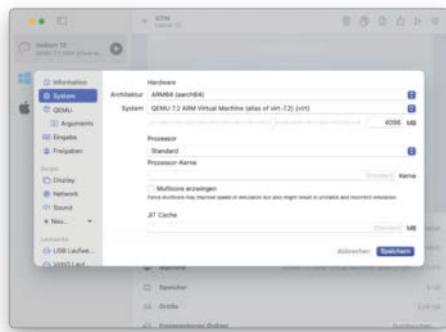
Die neuen Browser-Erweiterungen beschleunigen den Workflow enorm – schon deshalb ist das Upgrade auf die Version 12 jedem Live-Anwender wärmstens zu empfehlen. Im Zusammenspiel mit dem zugehörigen Controller Push 3 bekommt man hier ein komplexes und zugleich durchdachtes Kreativwerkzeug an die Hand. Wem die Suite für knapp 600 Euro zunächst zu groß und teuer ist, der kann mit der Intro-Version für 79 Euro oder der Standard-Version für 279 Euro klein anfangen und später aufrüsten.

Alternativen oder Ergänzungen findet man im ähnlich aufgebauten Bitwig Studio (100 bis 400 Euro), das einen hervorragenden modularen Softwaresynthesizer namens The Grid mitbringt und Linux unterstützt. Apples Logic Pro X (230 Euro) ist auf dem Mac wuseliger zu bedienen, erlaubt aber Abmischungen in Dolby Atmos. Das funktioniert auch mit Studio One, das man bei Presonus im Sphere-Abo für 15 Dollar im Monat mieten kann und das eine praktische Mastering-Sektion mitbringt.

(hag@ct.de) ct

## Ableton Live 12

Software zur Musikproduktion	
Anbieter	Ableton, www.ableton.com
Systemanf.	Windows ab 10, macOS ab 11 (Apple/Intel), 8 GB RAM
Plug-in-Formate	VST 2/3, AU
Lizenz	1 Person, 2 Rechner (30 Tage Demo)
Preise	Intro: 79 €, Standard: 279 €, Suite: 599 €, Push 3: ab 949 €



sierte Treiber über die VirtIO-Schnittstellen realisiert. Sie nutzen also eine im Linux- und auch Windows-Umfeld gebräuchliche und erprobte Technik, um leistungsraubende Emulation von Geräten durch einen direkten Draht in die Virtualisierung zu ersetzen. Um die Fenster von Windows- und Linux-VMs dynamisch zu vergrößern und verkleinern, spannt UTM Spice ein.

Aus seinen Wurzeln macht UTM keinen Hehl: Wenn man von Hand virtuelle Maschinen anlegt, zeigt die Software her, was QEMU kann – es bietet dann unter anderem auch die Emulation eines Raspi 3B an. Bedauerlicherweise funktioniert die zurzeit nicht. Die Hoffnung besteht, dass das mit einem Wechsel von QEMU 7.2 auf Version 8 klappen könnte. Momentan sind die UTM-Entwickler allerdings noch nicht auf QEMU 8 umgestiegen, weil es damit krasse Leistungseinbrüche gibt. Folgt man den zugehörigen Tickets auf GitHub, so sieht es leider nicht danach aus, als würde dieser Knoten sehr bald durchschlagen.

Was UTM derzeit noch fehlt, sind Snapshots – hier mangelt es vor allem an einer Bedienoberfläche. Das als Basis verwendete QEMU kann, je nach verwendetem Format für die virtuellen Platten, solche Snapshots anfertigen. Findige UTM-Nutzer helfen sich deshalb mit dem Programm `qemu-img`, das sie über homebrew nachinstallieren. Apropos findige Nutzer: Der Bugtracker auf GitHub mit rund 600 Tickets zeugt von reger Entwicklungsarbeit und aktiven Nutzern; man findet neben vielen Problemen nützliche Antworten.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass UTM auch auf iOS-Geräten läuft. Dort nutzt es unserem Wissensstand nach aber nur die QEMU-Emulation und Ausführungsbeschleunigung, da Apple dort noch keine Virtualisierung im Betriebssystem verankert hat. In der Praxis hat sich UTM auf einem MacBook Air mit M3-Prozessor und Sonoma als Betriebssystem schon sehr bewährt. Bug-Reports zufolge ist es sinnvoll, ein modernes macOS zu verwenden, weil Apple nach und nach die integrierte Virtualisierung ergänzt, zuletzt wohl um Funktionen zum Suspendieren und Wiedererwecken von VMs.

(ps@ct.de)

## UTM

### Desktop-Virtualisierung für macOS

Hersteller, URL	Turing Software, LLC, mac.getutm.app
Systemanf.	macOS ab Version 12 (Monterey)
Preis	10 €



## UTM: Virtuelle PCs auf dem Mac

**macOS führt Windows, Linux, macOS und weitere Betriebssysteme in virtuellen Maschinen aus. Nur eine Bedienoberfläche dafür hat Apple vergessen. UTM rüstet die nach und macht Macs zu Universal-PCs.**

In macOS Version 10 (Yosemite) hielt ein Hypervisor Einzug ins Betriebssystem und in Version 12 (Monterey) kamen APIs hinzu, um virtuelle Maschinen zu starten. Ein GUI bleibt Apple bis heute schuldig. So sind inzwischen mehrere Softwareprojekte entstanden, die die Virtualisierung nutzbar machen. Besonders prominent ist derzeit UTM. Die Software ist als kostenloser Download zu haben oder für 10 Euro über den App Store zu kaufen – die Einnahmen sollen die weitere Entwicklung finanzieren.

UTMs Oberfläche bringt Linux, Windows und macOS mit wenigen Mausklicks in einer virtuellen Maschine ans Laufen. Es erlaubt, VMs zu Fuß aus Standardkomponenten zusammenzuklicken oder aus einer Galerie Images zu wählen. Je nach CPU-Architektur des ausführenden Macs mundet der Virtualisierung ARM- oder x86-Kost besonders. Dank Apples Rosetta-Technik, die x86-64-Bit-Code zur Laufzeit in ARM-Code übersetzt, laufen auch 64-Bit-Linux-Distributionen für x86 auf ARM in einer VM, ohne dass Emulation sie ausbremsst.

Unter der Haube von UTM steckt wie in vielen Virtualisierungsprodukten heute der Universal-Emulator QEMU. Er stellt VMs eine PC-artige Umgebung zur Verfügung und hilft auch bei der Verwaltung der VM-Ressourcen wie virtuellen Platten, Netzwerken und Grafikkarten. Das konnte den Entwicklern besonders einfach gelingen, weil Apple in den VMs paravirtuali-

## Lese-Helfer

**Mit dem Linux-Tool Foliate lassen sich E-Books kostenlos herunterladen und bequem am Desktop lesen.**

Foliate verwaltet und liest E-Books in den Formaten PDF, EPUB, Mobipocket, Kindle, FB2 und CBZ. Die Foliate-Bibliothek präsentiert vorhandene Titel ansehnlich mit Coverbildern und Lesefortschritt und öffnet sie zum Lesen. Die einklappbare Seitenleiste zeigt das Inhaltsverzeichnis an, über das man schnell zu Kapiteln springt. Daneben kann man Lesezeichen setzen, Text farbig markieren, unterstreichen und mit eigenen Anmerkungen versehen. Die markierten Stellen findet man ebenso wie die Lesezeichen über die Seitenleiste schnell wieder.

Die Leseansicht ist detailliert konfigurierbar: Ein geöffnetes Buch präsentiert Foliate entweder seitenweise oder im Scrollmodus und kann zwischen Dark und Light Mode wechseln. Alternativ wählt man einen farbigen Hintergrund. Auch Linienhöhe, Textbreite, Ränder und mehr lassen sich anpassen.

Wer neuen Lesestoff braucht, lädt direkt in Foliate kostenlose Werke aus Onlinequellen wie Project Gutenberg herunter und importiert sie in die Bibliothek. Weitere Quellen führen in Onlineshops, wer will, kann auch eigene Quellen im Katalogformat OPDS hinzufügen.

Foliate bietet eine bequeme Möglichkeit, E-Books am Bildschirm zu lesen und Klassiker herunterzuladen. Für Studienzwecke und Recherche lassen sich bequem Textstellen markieren, kommentieren und später exportieren. (Jule Lyncke/lmd@ct.de)

## Foliate 3.1.1

### E-Book-Verwaltung & -Reader

Hersteller, URL	John Factotum, johnfactotum.github.io/foliate/
Systemanf.	Linux mit Flatpak-Unterstützung
Preis	Kostenlos (Open Source, GPL-3.0-Lizenz)

# » Continuous Lifecycle »

## [Container] Conf

**13./14. November 2024  
Mannheim**



### Die Konferenz für Developer Experience, Platform Engineering und mehr

Continuous Lifecycle und ContainerConf (CLC) sind der Treffpunkt für IT-Profis, die sich für das schnelle und zuverlässige **Deployment** sowie den reibungslosen und sicheren **Betrieb** ihrer Software verantwortlich fühlen, zum Beispiel Softwareentwickler, DevOps Engineers, Software- und Infrastrukturarchitekten.

Seit 2013 tauschen sie sich hier aus über den Stand der Kunst in puncto **Continuous Delivery** und **DevOps** sowie **Container**, **Kubernetes**, **Developer Experience** und **Platform Engineering**.

Beim Call for Proposals können Sie bis zum 5. Mai Ihre **Vorschläge für Vorträge** und **Workshops** einreichen – Ideen für Themen finden Sie auf der Konferenzwebseite. Wir freuen uns auf Ihre Vorschläge!

Jetzt  
einreichen!  
**Call for  
Proposals**  
bis 9. Mai

**Blind-Bird-Tickets sichern!**

[continuouslifecycle.de](http://continuouslifecycle.de)

Veranstalter



Goldsponsor

**sysdig**

# Frühjahrsputz

## Vorschau auf die Linux-Distribution Fedora 40

**Fedora 40 sieht nach einem vergleichsweise unspektakulären Release aus. Die meisten Neuerungen tragen die Desktops bei. Die KDE-Variante schmeißt X11 raus.**

Von Niklas Dierking

Die Linux-Distribution Fedora ist meist nicht zimperlich, wenn es darum geht, neue Technik und frische Software auf den Desktop zu bringen. In Fedora 40, das laut Zeitplan der Fedora-Entwickler Mitte April erscheinen soll, finden Nutzer allerdings wenig neue Features, die Fedora nicht den Desktopumgebungen Gnome 46 oder KDE Plasma 6 zu verdanken hat. Wir haben uns von der Betaversion ein Bild gemacht.

Nach dem Start des Live-Systems begrüßt einen der altbekannte Fedora-Installer Anaconda. Schade, denn eigentlich wollten die Entwickler schon Fedora 39 einen neuen Installer (Anaconda Web-UI) spendieren. Der wurde erst auf Fedora 40,

dann auf Version 41 verschoben, unter anderem weil sein Partitionierungswerkzeug Änderungen derzeit sofort umsetzt. Das ist ein Verhalten, das Nutzer des alten Installers nicht erwarten und das zu Datenverlust führen kann.

### Desktop-Zugpferde

Fedora 40 Workstation liefert Gnome 46 als Desktopumgebung aus. Zu dessen prominentesten Neuerungen gehört die Fernanmeldung mittels RDP (Remote Desktop Protocol), auch wenn gerade keine Sitzung aktiv ist. Die Konfiguration der Fernanmeldung nehmen Nutzer im neuen „System“-Panel der Einstellungen vor. In unserem Test hat die Fernanmeldung von Linux-Rechnern mit der Gnome-App „Verbindungen“ funktioniert, aber erst nachdem wir SELinux auf dem Zielrechner ausgeknipst hatten. Sie deaktivieren SELinux mit dem Befehl `sudo setenforce 0` bis zu einem Neustart.

Die Gnome-Entwickler haben außerdem im Dateimanager Nautilus den Weg zur globalen Suche abgekürzt, die man jetzt über eine Schaltfläche in der linken, oberen Ecke des Fensters aktiviert. Gnome 46 unterstützt im Wayland-Modus erstmals variable Bildwiederholraten (VRR,

Variable Refresh Rate), entsprechende Hardware vorausgesetzt. VRR synchronisiert die Bildwiederholfrequenz des Monitors mit der Ausgabe der Grafikkarte. Die Gnome-Entwickler markieren das Feature noch als experimentell.

Der KDE-Spin von Fedora 40 bringt das neue KDE Plasma 6 mit. Der Vorschlag der KDE SIG (Special Interest Group) des Fedora-Projekts, vollständig auf Wayland zu setzen und X wegzulassen, führte bei einigen Mitgliedern der Fedora-Community zu Verstimmungen, hat sich aber letztendlich durchgesetzt. Wer auf X angewiesen ist, kann es aber aus den Fedora-Repositories nachinstallieren.

### Maulwurfsfeatures

Fedora 40 enthält weitere nützliche Neuerungen, die eher unter dem Radar liegen. Der NetworkManager prüft jetzt mittels ARP (Address Resolution Protocol), ob bereits ein anderer Host im Netz eine gewünschte IPv4-Adresse nutzt und vermeidet so Adresskonflikte.

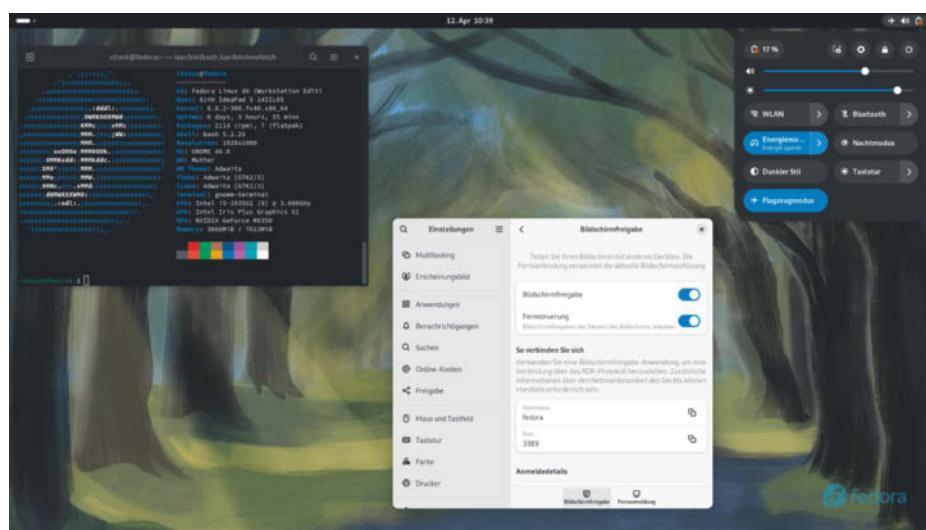
Außerdem setzt NetworkManager jetzt jedem drahtlosen Netzwerk jeweils eine eigene MAC-Adresse vor, so wie es Apple-Geräte bereits tun. Das soll für mehr Datenschutz bei der WLAN-Nutzung sorgen.

In Fedora 40 verabschiedet sich die Distribution von Delta-RPMs. Die wurden ursprünglich eingeführt, um bei Aktualisierungen nur die Differenz zu einem bestehenden Paket herunterladen zu müssen. Heute, wo der Großteil Nutzer über schnelles Internet verfügt, dauert es manchmal länger, ein frisches RPM-Paket aus einem Delta-RPM zu erzeugen, als einfach die aktualisierte Version herunterzuladen.

### Fazit

Im Vergleich zu vergangenen Fedora-Releases bietet Fedora 40 nicht viel Neues. Fedora-Nutzer freuen sich aber trotzdem über frischere Software und aufgemöbelte Desktopumgebungen. Fedora 40 soll etwa Mitte April erscheinen und wird dann bis zum Mai 2025 mit Aktualisierungen versorgt.

(ndi@ct.de) **ct**



Die Workstation Edition von Fedora 40 liefert standardmäßig den Gnome-Desktop aus.

## Linux-Distribution

### Fedora 40 Workstation

Hersteller, URL	Fedora-Projekt, <a href="https://fedoraproject.org">https://fedoraproject.org</a>
Systemanf.	x86-64-Prozessor (2 GHz, Dual-Core), 15 GB Datenspeicher, 2 GB RAM
Supportzeitraum	bis etwa Mai 2025
Preis	kostenlos (Open Source)

The logo consists of a blue stylized 'h' and 't' character.The logo features a blue 'i' and 'X' shape.**Mac & i****Make:****ct Fotografie**

c't-Aboabonnenten  
lesen bis zu  
**75%**  
günstiger

**heise +****Das digitale Abo für IT und Technik.****Exklusives Angebot für c't-Aboabonnenten:  
Sonderrabatt für Magazinabonnenten**

- ✓ Zugriff auf alle kostenpflichtigen Artikel auf heise.de und in der App
- ✓ Wöchentlicher Newsletter mit allen Highlights und Empfehlungen
- ✓ Alles inklusive: Alle Ausgaben der Magazine c't, iX, Mac & i, Make und c't Fotografie digital verfügbar
- ✓ 1. Monat gratis lesen – danach jederzeit kündbar

**Sie möchten dieses Exklusiv-Angebot nutzen? Jetzt bestellen unter:****heise.de/plus-testen** [leserservice@heise.de](mailto:leserservice@heise.de)  0541 80009 120Ein Angebot von: Heise Medien GmbH & Co. KG • Karl-Wiechert-Allee 10 • 30625 Hannover

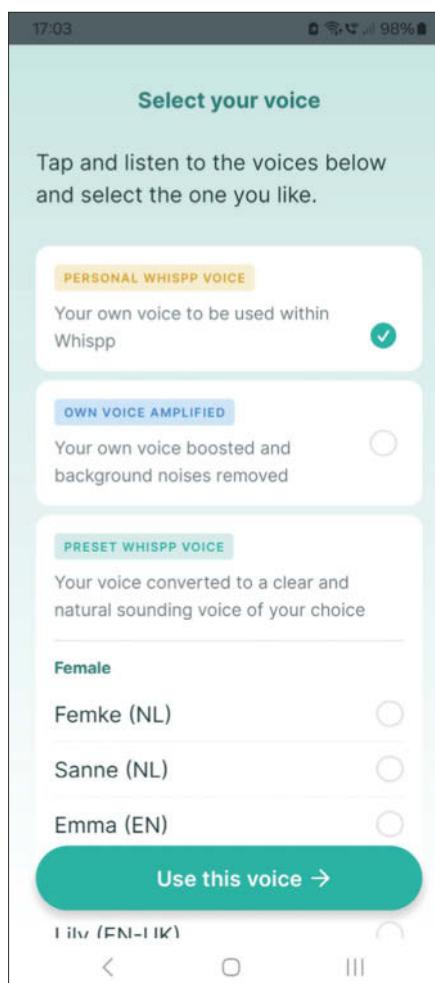
# Wieder bei Stimme

**Whispp ist eine App, die geflüsterte Sätze erkennt und mit kräftiger Stimme wiedergibt, sogar in Echtzeit während eines Telefonats. Das klappt auch mit der eigenen Stimme.**

Wenn Menschen ihre Stimme verlieren, haben sie Probleme, mit anderen in Kontakt zu bleiben. Das niederländische Start-up Whispp hat für dieses Problem eine echtzeitfähige Lösung entwickelt. Seine gleichnamige App analysiert mit schwächer Stimme gesprochene oder geflüsterte Sätze und trägt diese mit kräftiger Stimme vor. Der Anwender kann sich dafür eine von 36 Stimmen aussuchen, wovon je zwei weibliche und zwei männliche die gleiche Heimatsprache haben: Niederländisch, Deutsch, britisches oder amerikanisches Englisch, Französisch, Italienisch, Spanisch, Japanisch oder Koreanisch. Beim Ausprobieren zeigt sich, dass alle Stimmen verständliches Deutsch sprechen können, zum Teil eben mit einem hörbaren Akzent.

Aber wer möchte schon gern Kurznachrichten mit einer fremden Stimme versenden? Auch ein Telefonat mit fremder Stimme ist für Sprecher wie auch für Angerufene zunächst befremdlich. Whispp ermöglicht es denjenigen, die zumindest zeitweise noch gut bei Stimme sind, etwa 20 bis 25 Beispielsätze einzusprechen, das dauert etwa zehn Minuten. Mithilfe dieser Aufnahmen erzeugt Whispp eine individuelle Stimme des Anwenders. Allerdings ist die App derzeit englischsprachig; alle nachzusprechenden Sätze sind passend dazu ebenfalls auf Englisch. Eine zweite Möglichkeit ist es, etwa fünf Minuten Aufnahmen der eigenen Stimme als E-Mail-Anhang an den App-Anbieter einzusenden. Nachdem der persönliche Stimmklon erzeugt worden ist, kann er nahezu in Echtzeit die Einflüsterungen des Sprechers ersetzen. Das klappt auch bei Anrufen aus der App heraus. Allerdings klingt die Stimme nicht ganz klar und gesund und hat nach den englischen Mustersätzen auch einen merkwürdigen Akzent.

Eine dritte Variante besteht darin, im „Amplified“-Modus die eigene Flüsterstimme von Nebengeräuschen befreien und verstärken zu lassen. Schon das erhöht die Verständlichkeit und kam in Testtelefonaten dem generierten eigenen Stimmklon sehr nahe. In beiden Fällen funktionierte Telefonate quasi in Echtzeit, in

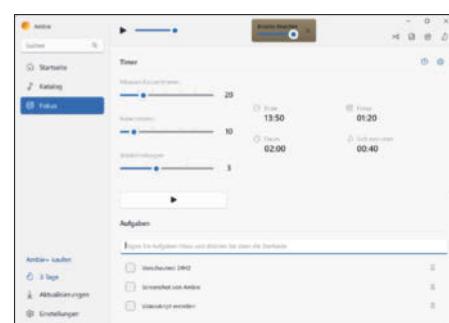


Gesprächen aus dem Mobilfunknetz ins Ortsnetz lag die Verzögerung unter einer Sekunde. Damit lässt sich ein ungestörtes Telefonat führen.

Generell ist das Start-up Whispp noch jung und wird das Feature nachgebildeter Anwenderstimmen wohl noch weiterentwickeln. Die Whispp-App richtet sich nicht nur an Menschen, deren Stimme beeinträchtigt ist, sie kann auch zum Beispiel für Stotternde eine Hilfe sein. Viele Menschen mit einer Sprach einschränkung sind immer noch in der Lage, flüssig und verständlich zu flüstern. Auf kommenden Smartphones mit KI-Chip soll die App in Zukunft auch ohne Cloud-Anbindung laufen. Zudem kündigt das Unternehmen eine Desktop-Version für Videokonferenzen an. (agr@ct.de)

## Whispp

Sprach-App für Menschen mit angegriffener Stimme	
Hersteller, URL	Whispp, whispp.com
Systemanf.	ab iOS 15.0, ab Android 7.0
Preis	kostenlos, 19,99–39,99 € / Monat, 199,99–349,99 € / Jahr



# Rauschtomate

**Die Windows-App Ambie kombiniert einen Pomodoro-Timer mit Hintergrundgeräuschen.**

Timer-Apps mit der Pomodoro-Technik sollen der Konzentration im Büro auf die Sprünge helfen. Dabei wechseln Fokusphasen mit kurzen Pausen ab. Ambie kombiniert einen solchen Fokustimer mit einem Player für Hintergrundgeräusche. In der Gratisversion gibt es 36 Sounds von Gewitter, Vogelgezwitscher und Wellenrauschen über Bürogewusel und Kaminknistern bis hin zu weißem, rosa und Brown'schem Rauschen. Kauft oder abonniert man Ambie+, gibts weitere 40 Geräusche dazu.

Man kann bis zu drei Sounds kombinieren und deren Lautstärken einzustellen. Pomodoro-Sitzungen können mit einer To-do-Liste ergänzt werden. Pausen beginnen mit einem Gong; während der Pausen sind die Geräusche stumm. Ist der Timer aktiv, erscheint Ambie als Minifenster inklusive To-do-Elementen zum Abhaken. Die App funktioniert abseits der Timerfunktion auch als reiner Geräusch-Player.

Verglichen mit der Windows-11-Funktion „Fokussitzungen“ ist Ambie flexibler konfigurier- und logischer bedienbar und damit ein Tipp für alle, die sich mit Hintergrundrauschen oder anderweitigen Geräuschen besser konzentrieren oder aufmerksamer bleiben können. Die App funktioniert offline und ist auch in der Gratisversion werbefrei. (jss@ct.de)

## Ambie

Konzentrations-App	
Hersteller, URL	Daniel Paulino, ambieapp.com
Bezugsquelle	Microsoft Store
Systemanf.	Windows 10/11
Preis	kostenlos, 1,49 € pro Monat oder einmalig 18,99 € (Ambie+)



*Life is  
what you  
Make:  
it*

Hannover  
**Maker Faire®**

**17.–18. Aug. 2024**

**Zeigt eure Projekte!**

Private Maker, Bildungseinrichtungen, Makerspaces, offene Werkstätten, Vereine, uvm.

Wir haben für euch kostenfreie Standflächen.

Jetzt informieren und anmelden!

Noch bis Pfingsten  
10% Rabatt auf alle  
Besuchertickets.

Am 09.06. ist  
Anmeldeschluss für  
Aussteller.

[www.maker-faire.de/hannover](http://www.maker-faire.de/hannover)

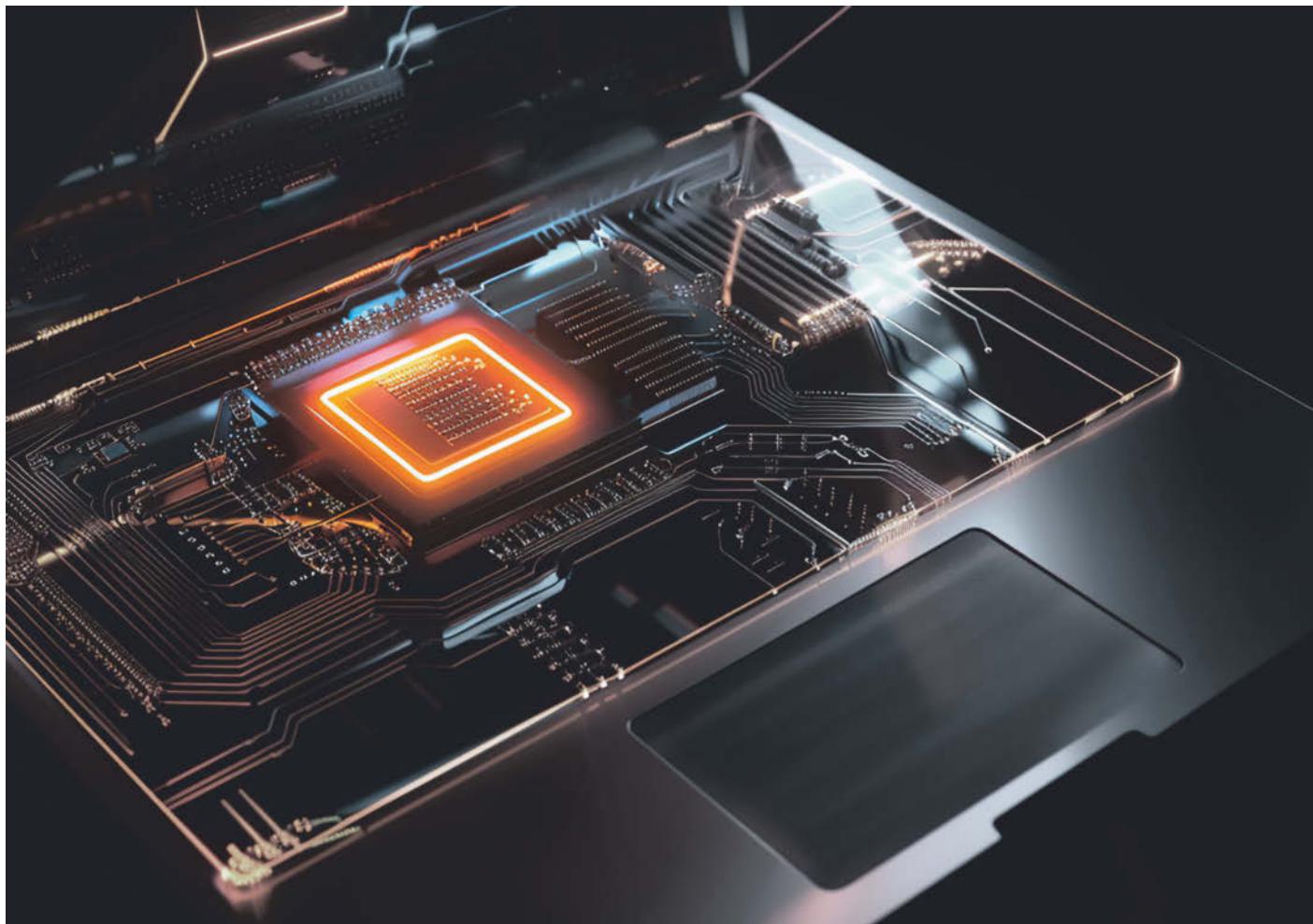


Bild: KI Midjourney | Bearbeitung c't

# Mobil-CPU-Wegweiser 2024

## Notebook-Prozessoren von AMD, Apple und Intel im Vergleich

**Moderne Mobilprozessoren rechnen dank KI-Beschleunigern, Hybrid-Kernen und Chiplet-Aufbau immer schneller und effizienter. Im Dickicht der komplexen Funktionen und kryptischen Modellbezeichnungen verliert man jedoch leicht den Überblick. Wir helfen Ihnen, beim Kauf eines Notebooks oder Mini-PCs den passenden Chip für Ihre Anforderungen zu finden.**

Von Christian Hirsch

**B**ei der Anschaffung eines neuen Laptops stehen viele Kriterien wie Größe, Gewicht, Displayauflösung und Schnittstellen auf der Checkliste. Mindestens ebenso wichtig ist aber der passende Mobilprozessor für die gewünschten Einsatzzwecke. Denn er bestimmt nicht nur über die Leistungsfähigkeit, sondern auch über den Energiebedarf und damit die Akkulaufzeit sowie möglichst leisen Betrieb. Bei einem Fehlkauf ist guter Rat teuer, denn CPUs sind in Notebooks und Mini-PCs fest eingelötet und lassen sich nachträglich nicht tauschen.

Deshalb lautet unser Tipp, bei der Geräteauswahl genau auf die Prozessorbezeichnung zu achten, um nicht auf aufgewärmte Altware oder stromdurstige Ladenhüter hereinzufallen. Es kommt weniger auf eine möglichst hohe Modell-

nummer, sondern auf die Zahl und Art der Kerne, das thermische Budget und Taktfrequenzen an.

Mobilprozessoren enthalten immer mehr Zusatzfunktionen wie Grafik-, KI- und Videoeinheiten sowie Controller für Schnittstellen wie PCI Express, SATA, Thunderbolt und USB. Das spart wertvollen Platz für Zusatzchips in den immer schlankeren Geräten, den die Hersteller lieber mit Akkuzellen belegen. Die Fähigkeiten des Notebooks hängen also zunehmend vom jeweiligen Prozessor ab.

### Leistungsklassen

Im Unterschied zu Desktopprozessoren, bei denen der Energiebedarf dank Steckdose erst an zweiter oder dritter Stelle steht, sind die CPUs für Notebooks und Mini-PCs primär auf geringe Leistungs-

aufnahme optimiert. Deshalb lassen sich die unterschiedlichen Serien nach der so genannten Thermal Design Power (TDP) klassifizieren (siehe Tabelle auf dieser Seite). Diese gibt die dauerhafte Leistungsaufnahme bei Volllast an, für die das Kühlssystem des Notebooks idealerweise ausgelegt ist.

Ganz so päpstlich gilt dieser Wert aber nicht, denn AMD und Intel billigen den Geräteherstellern an dieser Stelle Flexibilität zu, sodass sie die TDP über die Firmware in einem vorgegebenen Bereich einstellen können. Der Ryzen 7 8840U gehört als Beispiel zur 28-Watt-Klasse, was man am Schlussbuchstaben „U“ der Prozessorbezeichnung ablesen kann. Die configurable TDP (cTDP) darf der Notebookhersteller aber frei zwischen 15 und 30 Watt einstellen. Weil die Taktfrequenz unter Volllast auf allen acht Kernen vom thermischen Budget begrenzt ist, heißt das, dass zwei Laptops unterschiedlicher Hersteller trotz gleichem Prozessor unterschiedlich schnell rechnen können. Die Performance-differenz kann mehr als 30 Prozent betragen.

Zwar spürt man derartige Abweichungen in der Praxis nicht sehr stark, aber sie verwischen in Grenzfällen Leistungsunterschiede: Ein hoch eingestellter Core i5 kann schneller rechnen als ein gedrosselter Core i7, der deutlich teurer ist.

AMD und Intel verwenden im Groben ähnliche Namensschemata für die Leistungsklassen. Das bereits angesprochene „U“ gilt für die Brot-und-Butter-Klasse der Mobil-CPUs mit 15 bis 30 Watt. Keine Regel ohne Ausnahme: Bei der 12. und 13. Core-i-Generation, zum Beispiel dem Core i7-1360P, steht das „P“ für dieselbe TDP-Stufe. Das „U“ war dort schwächeren Chips mit maximal 15 Watt TDP vorbehalten. Für leistungsstärkere Mobilgeräte, insbesondere für Gaming-Notebooks mit separaten Grafikchips, sehen die Prozessorhersteller „H“-Prozessoren mit 35 bis 54 Watt vor. Viele H-Chips verwenden das gleiche Halbleiter-Die wie ihre P/U-Geschwister. Wegen des höheren Power-Budgets takten die H-CPUs aber deutlich schneller.

Die Leistungsspitze von AMD und Intel bilden die HX-Modelle. Dabei bedienen sich die CPU-Hersteller bei den Halbleiter-Dies für gesockelte Desktopprozessoren. So kommt Intel bei den Core i-13000HX auf 24 Kerne. AMD verpflanzt bei den Ryzen 7045HX „Dragon Range“ gar das Chiplet-Trio aus zwei Core-Com-

plex-Dies und dem IO-Die der Ryzen 7000 „Raphael“ ins Notebook. Die PC-Hersteller löten diese im Unterschied zu den Desktopprozessoren aber direkt auf der Hauptplatine auf.

### Kryptische Namen

Prozessorbezeichnungen bei Mobilchips sind ein noch größeres Mysterium als bei den Desktopvarianten. Noch verwirrender als die Leistungsklassen sind die Prozessorbezeichnungen bei Mobilchips, die teils so inkonsistent sind, dass selbst wir als langjährige Hardware-Redakteure oft Datenblätter wälzen müssen.

Wie es kundenfreundlich geht, beweist Apple. Bei den auch als Apple Silicon bezeichneten ARM-Chips gibt die Ziffer die Generation an, also gilt: M3 neuer als M2 neuer als M1. Zusätzlich gibt es pro Generation je drei Modellvarianten mit wachsender Zahl an CPU- und GPU-Ker-

nen in der Reihenfolge M3, M3 Pro und M3 Max. Die Ultra-Varianten gibt es nur in den Desktop-PCs Mac Studio und Mac Pro. Vom M1 Pro, M2 Pro und M3 Pro gibt es jeweils noch zwei Unterversionen mit leicht unterschiedlicher Kernanzahl.

Bei Intel lässt sich die CPU-Generation an der ersten Ziffer beziehungsweise den ersten beiden Stellen ablesen. Bis Herbst 2023 war die Core-i-Familie aktuell, von der es insgesamt 13 Generationen gibt. Je nach Leistungsklasse verwendet Intel dabei aber eine vier- oder fünfstellige Nummerierung: Der Core i7-1360P gehört wie der Core i5-13600H zur 13. Generation „Raptor Lake“.

Mit Einführung von „Meteor Lake“ Ende 2023 hat Intel die Marke Core i durch Core Ultra und Core ersetzt. Die aktuellen Mobil-CPUs mit Chiplet-Aufbau gehören zur Serie Core Ultra 100U/H, haben also nur noch drei Ziffern für die Modellnum-

## Aktuelle Mobilprozessoren von AMD und Intel

Plattform	Prozessor-serie(n)	TDP	Kerne <sup>1</sup>	GPU / Shader-Kerne	KI-Einheit	Fertigungs-prozess
<b>AMD</b>						
Hawk Point	Ryzen 8040HS	20 bis 54 W	6, 8	RDNA 3 / 256, 512, 768	✓	TSMC N4
Hawk Point	Ryzen 8040U	15 bis 30 W	1+3c, 2+4c, 6, 8	RDNA 3 / 256, 512, 768	✓	TSMC N4
Dragon Range	Ryzen 7045HX	45 bis 75 W	6, 8, 12, 16	RDNA 2 / 128	—	TSMC N5, TSMC N6
Phoenix	Ryzen 7040H, Ryzen 7040HS	35 bis 54 W	6, 8	RDNA 3 / 512, 768	✓	TSMC N4
Phoenix	Ryzen 7040U	15 bis 30 W	1+3c, 2+4c, 6, 8	RDNA 3 / 256, 512, 768	✓	TSMC N4
Rembrandt-R	Ryzen 7035HS	35 bis 54 W	6, 8	RDNA 2 / 384, 768	—	TSMC N6
Rembrandt-R	Ryzen 7035U	15 bis 28 W	4, 6, 8	RDNA 2 / 256, 384, 768	—	TSMC N6
Barcelo-R	Ryzen 7030U	15 W	4, 6, 8	GCN 5 / 256, 384, 512	—	TSMC N7
Mendocino	Ryzen 7020U	15 W	4	RDNA 2 / 128	—	TSMC N6
Rembrandt	Ryzen 6000H, Ryzen 6000HS, Ryzen 6000HX	35 W bis 45 W	6, 8	RDNA 2 / 384, 768	—	TSMC N6
Rembrandt	Ryzen 6000U	15 bis 28 W	6, 8	RDNA 2 / 384, 768	—	TSMC N6
<b>Intel</b>						
Meteor Lake-H	Core Ultra 100H	20 bis 65 W	4P+8E+2LP, 6P+8E+2LP	Xe-LPG / 896, 1024	✓	Intel 4, TSCM N5, TSMC N6
Meteor Lake-U	Core Ultra 100U	9 bis 28 W	2P+4E+2LP, 2P+8E+2LP	Xe-LPG / 384, 512	✓	Intel 4, TSCM N5, TSMC N6
Raptor Lake-HX	Core i-13000HX, Core i-14000HX	45 bis 55 W	6P+4E, 6P+8E, 8P+8E, 8P+12E, 8P+16E	Xe-LP / 128, 256	—	Intel 7
Raptor Lake-H	Core i-13000H, Core i-13000HK	35 bis 45 W	4P+4E, 4P+8E, 6P+4E, 6P+8E	Xe-LP / 384, 512, 640, 768	—	Intel 7
Raptor Lake-P	Core i-1300P	20 bis 28 W	4P+8E, 6P+8E	Xe-LP / 640, 768	—	Intel 7
Raptor Lake-U	Core i-1300U, U300, Core 100	12 bis 15 W	1P+4E, 2P+4E, 2P+8E	Xe-LP / 384, 512, 640, 768	—	Intel 7
Alder Lake-N	Core i3-N, N	6 bis 15 W	2E, 4E, 8E	Xe-LP / 128, 192, 256	—	Intel 7
Alder Lake-HX	Core i-12000HX	35 bis 45 W	4P+4E, 4P+8E, 6P+8E, 8P+8E	Xe-LP / 128, 256	—	Intel 7
Alder Lake-H	Core i-12000H	35 bis 45 W	4P+4E, 4P+8E, 6P+8E, 8P+8E	Xe-LP / 384, 512, 640, 768	—	Intel 7
Alder Lake-P	Core i-1200P	20 bis 28 W	2P+8E, 4P+8E, 6P+8E	Xe-LP / 512, 640, 768	—	Intel 7
Alder Lake-U	Core i-1200U, Pentium 8500, Celeron 7300	9 bis 15 W	1P+4E, 2P+4E, 2P+8E	Xe-LP / 384, 512, 640, 768	—	Intel 7

<sup>1</sup> c: Zen4c-Kompaktkerne

P: Performancekerne, E: Effizienzkerne, LP: Low-Power-Effizienzkerne

mer. Für preiswertere Geräte verwendet der Prozessorbauer die Bezeichnung Core 100 ohne „Ultra“. Dabei handelt es sich aber um „Raptor Lake Refresh“-Chips, die baugleich mit den monolithischen Vorgängern der 13. Core-i-Generation sind und nur etwas höher takten.

Weder an der Produktklassifizierung Core i3, i5, i7 und Core Ultra 3, Ultra 5, Ultra 7 noch an der Modellbezeichnung lassen sich technische Eigenschaften wie Kernanzahl, Taktfrequenzen oder Stärke der integrierten Grafik direkt ablesen. Core Ultra 7 155U und Core Ultra 7 155H unterscheiden sich beispielsweise nur durch den Schlussbuchstaben. Erstgenannte CPU hat jedoch lediglich zwei Performance-Kerne und eine GPU mit 512 Shader-Kernen, wohingegen die zweitgenannte mit sechs Performance-Kernen und einer GPU mit 1024 Shader-Cores deutlich potenter ist.

Unser Tipp lautet deshalb, immer in der Produktdatenbank von Intel unter [ark.intel.com](https://ark.intel.com) die CPU-Eigenschaften nachzuschlagen. Dort gibt es auch eine Funktion, um technische Eigenschaften verschiedener Prozessortypen miteinander zu vergleichen.

Die Prozessoren der untersten Preis- und Leistungsklasse, die früher die lahmen Mobil-CPUs der Serien Celeron J/N und Pentium J/N abdeckten, müssen bei Intel nun ohne Markennamen auskommen. Die Alder-Lake-N-Prozessoren bekommen bloß ein N plus Modellnummer, also beispielsweise N100. Im Unterschied zu den Core-Prozessoren fehlen Ihnen die Performance-Kerne (P-Kerne), sie enthalten nur die schwächeren Effizienzkerne (E-Kerne). Selbstverständlich gibt es auch hier Ausnahmen: Die Spitzenmodelle Core i3-N305 und Core i3-N300 dürfen trotz fehlender P-Cores die Core-i-Marke tragen.

AMD stellte zum Jahresbeginn 2023 das vorherige Bezeichnungssystem auf den Kopf. Zuvor gab die erste Ziffer der vierstelligen Modellnummer die Generation an, also Ryzen 4000, 5000 und 6000. Ab den Ryzen 7000 steht die erste Ziffer bei Mobilprozessoren für das Jahr, in dem die CPU veröffentlicht wurde, also 7 = 2023, 8 = 2024 und so weiter. Die Architekturgeneration wanderte hingegen an die vorletzte Stelle: 2 = Zen 2, 3 = Zen 3 und Zen 3+, 4 = Zen 4. Aktuell sind derzeit

CPU-Kerne mit Zen-4-Architektur, also Mobilchips die Serien Ryzen 7040, 7045 und 8040.

Für preisgünstige Geräte bietet AMD Ryzen 7030 und 7035 an, die technisch eng verwandt mit den Vorgängern Ryzen 5000 und 6000 sind. Bei den Ryzen 5000U schmuggelte der CPU-Hersteller die drei Modelle Ryzen 3 5300U, Ryzen 5 5500U und Ryzen 7 5700U mit älteren Zen-2-Rechenwerken ein. Diese kommen auch in den Ryzen 7020 zum Einsatz, die ähnlich wie die N-Serie von Intel nur für Notebooks taugen, die als bessere Schreibmaschine dienen. Unter [products.amd.com](https://products.amd.com) gibt es ähnlich wie bei Intel eine Produktdatenbank für Ryzen-CPUs zum Nachschlagen.

## Integrierte Schnittstellen

Die Mehrheit der Käufer wünscht sich schlanke, leichte Notebooks mit langer Laufzeit. Die Hauptplatten schrumpfen deshalb immer weiter, um Platz zu machen für größere Akkus trotz kleinerer Gehäuseabmessungen. Deshalb übernehmen Mobilprozessoren immer mehr Funktionen, die früher separate Chips

## Integrierte Grafikeinheiten

Bis auf wenige Ausnahmen enthalten alle modernen Mobilprozessoren integrierte Grafikeinheiten, auch Integrated GPU (IGP, auch: iGPU) genannt. Das gibt den Notebook- und Mini-PC-Herstellern die Flexibilität, damit Geräte mit und ohne zusätzlichen Grafikchip zu bauen. AMD bezeichnet seine IGPs zum Beispiel als Radeon 740M, 760M und 780M, während Intel ohne Modellnummern die Begriffe UHD, Iris Xe und Arc verwendet.

Vom Aufbau und der Architektur sind Mobil-IGPs identisch mit den größeren Geschwistern in 3D- und Rechenbeschleunigern, aber sie haben viel weniger Recheneinheiten und müssen sich zudem das vergleichsweise schmale Speicher-Interface mit den CPU-Kernen teilen. Deshalb reicht die 3D-Performance oft nur für 3D-Ansichten in Kartendiensten im Browser, Casual Games und Aufbausimulationen, bei denen es nicht aufs letzte fps ankommt [3]. Die Topvarianten mit 700 und mehr Shader-Kernen schaffen die notwendige Bildrate von 60 fps bei Full-HD-Auflösung und mittleren bis hohen

**Die 3D-Leistung der meisten integrierten GPUs von Mobilprozessoren reicht oft nur für Casual Games wie Die Sims 4. Gamer sollten deshalb ein Notebook mit einem separaten, leistungsfähigen Grafikchip nehmen.**



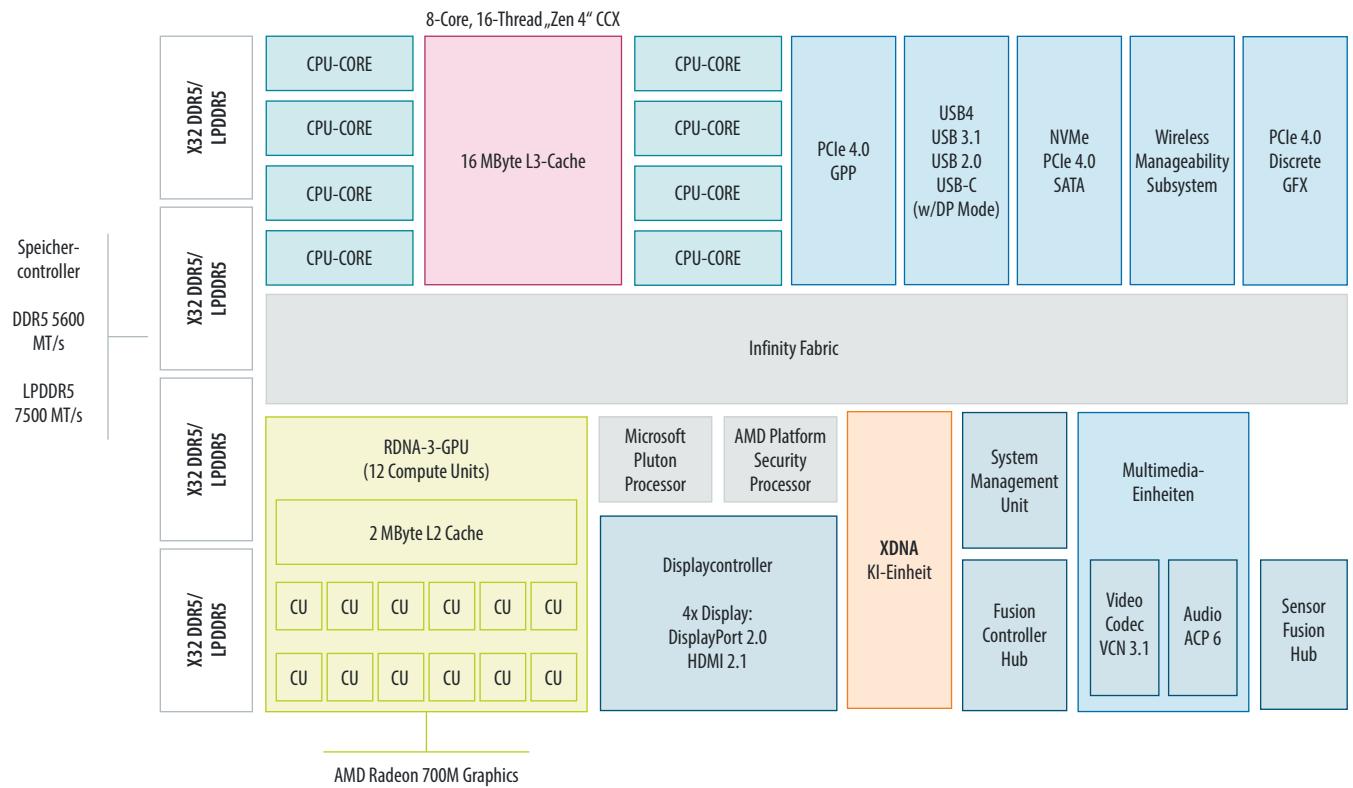
Qualitätseinstellungen zumindest bei älteren eSport-Titeln. Eine Ausnahme bildet Apples M-Serie in den Pro- und Max-Varianten. Bei der Anzahl der Shader sowie der Speicheranbindung halten die Apple-IGPs mit den leistungsfähigen Spielekonsole-SoCs der Playstation 5 und Xbox Series X/S mit.

Die Display-Engines von Intel Core i, Core Ultra sowie Ryzen können jeweils vier hochauflösende Monitore zugleich

ansteuern, also zusätzlich zum eingebauten Display noch drei weitere. Wie viele Anschlüsse die Hersteller als DisplayPort, HDMI und USB-C/Thunderbolt nach außen führen, hängt aber vom jeweiligen Gerät ab. Zudem enthalten Mobilprozessoren Videoeinheiten, die die CPU-Kerne beim En- und Dekodieren gängiger Formate wie H.264/AVC, H.265/HEVC, VP9 und AV1 entlasten und so die Laufzeit verlängern.

## Funktionsblöcke bei Ryzen 7040

Moderne Mobilprozessoren enthalten viel mehr Funktionen als nur CPU-Kerne und Grafikeinheit. Dazu gehören außer integrierten Mikrocontrollern für Sicherheit (Platform Security Processor & Pluto) und spezialisierten Einheiten für Video- und Audioberechnungen auch I/O-Controller für PCI Express, USB und SATA. Das spart Platz und Energie für einen separaten Chipsatz ein. Neu bei den Ryzen 7040 ist die auch als Neural Processing Unit (NPU) oder Ryzen AI bezeichnete KI-Einheit XDNA, welche die CPU-Kerne bei diesen Aufgaben entlasten soll.



erledigten und folgen damit den Smartphone-CPU's.

Chipsätze als Ergänzung zur CPU, die zusätzliche PCIe-Lanes sowie weitere SATA- und USB-Ports zur Verfügung stellen, entfielen schon vor vielen Jahren, außer bei dicken Gaming-Notebooks und mobilen Workstations. Die schnelle und flexible Thunderbolt-Schnittstelle ist bei Intel seit vier Chip-Generationen Teil der Mobil-CPU's. Zudem steckt der digitale Schaltungsteil von WLAN inzwischen im Prozessor, extern verbleibt das Hochfrequenz-Modul.

Typischerweise liegt das Betriebssystem bei einem modernen Notebook auf einer M.2-SSD, die über vier PCIe-Lanes an der CPU hängt, oder der Flash-Speicher ist gleich direkt auf der Hauptplatine aufgelötet. SATA-Ports für optische Laufwerke und 2,5-Zoll-Laufwerke sterben aus. Stattdessen wächst die Bedeutung von USB-C. Darüber laufen nicht nur Daten im USB-Modus, sondern im Alternate

Mode auch DisplayPort-Signale für externe Monitore und per Power Delivery lädt darüber auch gleich der Notebook-Akku auf. Thunderbolt 3 und 4 schreibt die genannten Funktionen verpflichtend vor und kann darüber hinaus auch PCIe-Signale via USB-C übertragen, beispielsweise um externe Grafikkarten schnell anzubinden. Bei USB4 ist trotz Thunderbolt-Verwandtschaft (leider) vieles davon nur optional [1].

Außer den I/O-Funktionen enthalten die Mobilprozessoren in der Regel auch eine GPU (siehe Kasten S. 84), die für viele Anwendungen ausreicht. Stärkere, separat aufgelöste Grafikchips mit eigenem Speicher lohnen für 3D-Spiele, Kreativanwendungen wie KI und Videoschnitt sowie für Profi-Software wie CAD und wissenschaftliche Berechnungen.

Die Spezialisierung schreitet auch an weniger prominenten Stellen voran. AMD baut in die Ryzen-Prozessoren einen Audio-Coprozessor ein, der die CPU-Kerne

bei Audioeffekten entlastet. Intel rüstet seine Mobil-CPU's mit einer sparsamen Bildverarbeitungseinheit (IPU) aus, um beispielsweise das Bild der Webcam zu entrauschen.

### KI-Beschleuniger

Derzeit ist Künstliche Intelligenz in aller Munde. Vom KI-Kuchen wollen auch die Prozessorhersteller Stücke abhaben und bewerben ihre CPUs mit solchen Funktionen. Vorreiter an dieser Stelle ist Apple, denn bereits die erste Generation der M-Serie enthält eine Neural Processing Unit (NPU). Diese übernimmt die bei KI-Anwendungen vorherrschenden Berechnungen mit Datentypen niedriger Genauigkeit und schafft 11 Billionen Tensor-Operationen pro Sekunde (Tops) mit 8-Bit-Integer-Zahlen (INT8).

Apple war bei KI-Hardware früher dran als AMD und Intel, weil der ARM-Prozessor M1 eine Fortentwicklung der Smartphone-SoCs Apple A14 ist. Apples

A-Klasse hat KI-Beschleuniger schon seit 2017 (Apple A11) an Bord. Die KI-Einheit im M3 schafft 18 Tops.

Bei x86-Prozessoren ging AMD als erster durch die Ziellinie. Die Anfang 2023 vorgestellten Ryzen 7040 bewirbt der Hersteller mit Ryzen AI. Die NPU verwendet dafür die XDNA-Rechenwerke des 2022 übernommenen FPGA-Herstellers Xilinx mit einer Leistung von 10 Tops. Die wenige Monate alten Nachfolger Ryzen 8040 sollen bis zu 16 Tops erreichen.

Auf gleichem Niveau wie die Ryzen 7040 mit 10 Tops liegt die NPU der Core Ultra von Intel. Die Hersteller werben jedoch oft mit höheren Werten von über 30 Tops für ihre Prozessoren, weil sie die Rechengeschwindigkeit von CPU, GPU und NPU zusammenzählen. Das ist insofern korrekt, als KI-Berechnungen genauso auf den Prozessorkernen, der integrierten Grafik sowie auf allen drei gleichzeitig laufen. Die GPU ist dabei meist schneller als die NPU, braucht dafür aber überproportional viel Energie.

In der Praxis gibt es bis dato noch wenige Anwendungen, die die NPUs ansprechen können. Windows 11 enthält die Windows Studio Effects, die bei Videokonferenzen den Stream der Webcam per Bilderkennung auswerten und den Hintergrund unscharf stellen.

## Hybride Kerne

Immer mehr Mobilprozessoren haben unterschiedlich starke CPU-Kerne, die erwähnten P- und E-Kerne. Das haben sich AMD und Intel bei Smartphone-SoCs abgeschaut, wo Stromsparen oberste Priorität hat und Hybrid-Designs seit vielen Jahren gängig sind. E-Kerne sind aber nicht nur effizienter und schwächer als P-Kerne, sondern brauchen auch weniger Fläche auf dem Chip, es passen mehr davon drauf.

Die P-Kerne sind darauf ausgelegt, viele Befehle parallel auszuführen und bieten eine hohe Rechenleistung bei Vektoroperationen mit 128- und 256-Bit-Instruktionen. Die E-Kerne haben den gleichen Funktionsumfang, aber viel weniger parallele Einheiten. Ziel ist es, die energiehungrigen P-Kerne möglichst nur bei Nutzereingaben kurz hochzufeuern und sofort wieder schlafen zu legen und die Hintergrundanwendungen von den sparsameren E-Kernen erledigen zu lassen. Bei Volllast anspruchsvoller Anwendungen arbeiten beide Kerntypen dann gemeinsam.

Apple hat es bei der Verteilung der einzelnen Software-Threads auf die unter-

## Aufbau Core Ultra 100 „Meteor Lake“

Intel setzt bei den aktuellen Mobilprozessoren der Serie Core Ultra 100 „Meteor Lake“ auf ein Chiplet-Design. Die einzelnen Tiles kommen nicht nur aus der eigenen Fertigung, sondern auch von TSMC und haben unterschiedliche Strukturgrößen. Im SoC-Tile sitzen unter anderem zwei Low-Power-Effizienz-Kerne sowie die Media- und Display-Engine. So kann der Prozessor bei geringer Last zum Beispiel beim Abspielen eines Videos den CPU- und GPU-Chip komplett vom Strom trennen. Untereinander kommunizieren die Chiplets über das darunterliegende Base-Tile, das über die Foveros-Technik mit ihnen verbunden ist. Der Abstand der Lötpunkte beträgt dabei gerade einmal 36 Mikrometer.



schiedlichen CPU-Kerne einfacher, denn Betriebssystem und Hardware kommen aus einer Hand. Intel baut in die Core-Prozessoren ab der 12. Generation den sogenannten Thread Director in die CPU ein, der modernen Betriebssystemen wie Windows 11 und Linux ab Kernel 5.18 bei der Verteilung hilft [2]. Intel baut ab dem Core Ultra noch eine dritte Kernklasse ein, zwei Low-Power-E-Cores, welche im SoC-Chiplet sitzen. Das CPU-Chiplet schaltet bei geringer Last komplett ab), was die Komplexität aber weiter erhöht.

AMD beschreitet bei den drei schwächsten Ryzen-7040U-Prozessoren einen anderen Weg und ersetzt einige Zen-4-Kerne durch kompaktere Varianten (Zen 4c), die anders als bei Apple und Intel aber die gleichen Funktionseinheiten wie die großen enthalten. Die Baupläne sind jedoch auf geringere Taktfrequenzen ausgelegt, sodass sie weniger Chipfläche beanspruchen. Durch den langsameren Takt benötigen sie wiederum weniger Spannung und Energie.

Auch beim Arbeitsspeicher achten immer mehr Notebook-Hersteller auf den Platz und löten LPDDR5X-RAM auf, statt steckbare DDR5-SO-DIMMs einzubauen. Moderne Mobilprozessoren können deshalb beide RAM-Typen ansteuern. LPDDR5X erfordert kürzere Signalwege und erreicht dadurch höhere Taktfrequenzen.

Apple geht bei seinen M-Prozessoren noch einen Schritt weiter und integriert die Speicherchips im CPU-Package. Während AMD und Intel bisher meistens zwei 64-bitige Speicherkanäle anbinden, also insgesamt 128 Bit, sind es bei Apple bis zu acht (512 Bit). Der Durchsatz steigt dadurch von rund 100 GByte/s auf bis zu 400 GByte/s an. Das kommt insbesondere der 3D- und KI-Leistung der integrierten GPU zugute.

## Schnelle Chips

Die CPU-Performance hat in den letzten Jahren stetig zugelegt. Zum einen steigt die für Office-Anwendungen und Webrowsing wichtige Singlthreading-Leistung durch stärkere P-Kerne und höhere Taktfrequenzen von über 5 GHz. Aktuelle Mobilchips schaffen mit einem Thread im kostenlosen Rendering-Benchmark Cinebench R23 hervorragende 1500 Punkte und mehr, was für alle Anwendungsszenarien mehr als ausreicht (siehe Tabelle S. 87). An der Spitze liegt unangefochten Apples M3-Serie mit fast 2000 Punkten.

Bei Rendering, Videoschnitt und Bildbearbeitung rechnen oft mehrere Threads parallel und profitieren deshalb von vielen Kernen. Dabei hängt die Performance stark vom thermischen Budget des Prozessors ab. Wer häufig mit solchen Anwendungen arbeitet, sollte einen Mobilprozessor der 28-Watt-Klasse mit mindestens 12

Threads nehmen. Das kann ein Sechskerner mit Simultaneous Multithreading (SMT) oder aber ein Hybrid-Chip aus zwei P- und acht E-Kernen sein. Solche CPUs schaffen im Multithreaded-Durchlauf des Cinebench R23 9000 Punkte und mehr. Wie in der Tabelle auf dieser Seite zu sehen, muss es dafür nicht immer ein brandaktueller Prozessor sein. Beim Kauf eines Notebook-Vorgängermodells mit Core i-1200/12000 oder Ryzen 6000 lässt sich der ein oder andere Euro sparen, ohne viel Performance einzubüßen.

Fast alle Prozessoren haben einen Turbo und dürfen kurzfristig ihre TDP überschreiten. Dabei nutzen die CPU-Hersteller die thermische Trägheit des Kühlsystems aus, was bei interaktiven Programmen für einen spürbaren Geschwindigkeitszuwachs sorgt (Schwundigkeit). Im Unterschied zu Desktop-PCs lässt sich die Effizienz und die Performance von Mobil-CPUs nicht allgemeingültig bestimmen, da sie stark vom jeweiligen Gerät abhängt. In Notebooks haben die Prozessoren oft ein geringeres Power-Limit als in Mini-PCs, wo mehr Platz für große Kühler vorhanden ist. Hier hilft es, Testberichte zu lesen und zu vergleichen.

## Ausblick

Das Innovationstempo bei Mobilprozessoren ist derzeit sehr hoch. Apple beweist mit den M3-Prozessoren, dass starke Kerne sowie leistungsfähige integrierte

Grafik und KI-Einheiten bei moderatem Energiebedarf möglich sind. Intel setzt im Mobilbereich derzeit stark auf Chiplet-Designs. Für die zweite Jahreshälfte 2024 steht Core Ultra 200 „Arrow Lake“ an. Gerüchte besagen, dass bis auf das Base Tile alle anderen Chips aus der TSMC-Fertigung stammen. Das ist ein Novum für Intel, wo noch bis vor wenigen Jahren alles aus eigenen Fabs kommen musste, auch wenn das jahrelange Verzögerungen zur Folge hatte.

Mit Lunar Lake hat der Prozessorhersteller noch ein zweites Eisen im Feuer. Bei diesen für besonders schlanke, hochpreisige Notebooks gedachten CPUs hat sich Intel wohl einiges bei Apple Silicon abgeschaut, denn der LPDDR5X-Speicher wandert ins Prozessor-Package. Das ermöglicht höhere Transfergeschwindigkeiten bei kleineren Abmessungen und reduziertem Energiebedarf. Lunar Lake soll ebenfalls noch vor Jahresende erscheinen.

AMD bringt in der zweiten Jahreshälfte mit Zen 5 eine neue CPU-Architektur. Diese soll nicht nur in Desktop- und Serverprozessoren, sondern auch in Mobilchips zum Einsatz kommen. Die auch als Strix Point bezeichneten Notebook-CPUs heißen vermutlich Ryzen 8050 und bekommen außer einer stärkeren KI-Einheit auch eine modernere GPU der Generation RDNA 3.5.

Der stärkere Chip Strix Halo soll in Gaming-Laptops die Grafikkarte überflüssig machen. Angeblich kombiniert AMD

dafür 16 Zen-5-Kerne mit einer starken RDNA-3.5-Grafik mit 2560 Shader-Kernen. Damit das funktioniert, braucht es aber auch ein breiteres Speicherinterface als die üblichen zwei DDR5-Kanäle mit je 64 Bit. Strix Halo ähnelt vom Aufbau daher stark den von AMD entwickelten Kombiprozessoren für Spielekonsolen wie PlayStation 5 und Xbox Series S/X.

Zu guter Letzt schickt sich Qualcomm an, bei Mobil-CPUs den etablierten Herstellern Marktanteile abzuknapsen. Die bisherigen Windows-on-ARM-Geräte mit Qualcomm-SoCs waren lahm. Im Sommer will der Hersteller mit dem schnellen Snapdragon X Elite angreifen. Er enthält 12 Oryon getaufte Kerne, deren Performance auf dem Niveau von Apples M3 liegen sollen. Wie erfolgreich der Snapdragon X Elite sein wird, hängt aber vor allem davon ab, wie viele Notebookhersteller ihn in ihre Geräte einbauen werden.

(chh@ct.de) ct

## Literatur

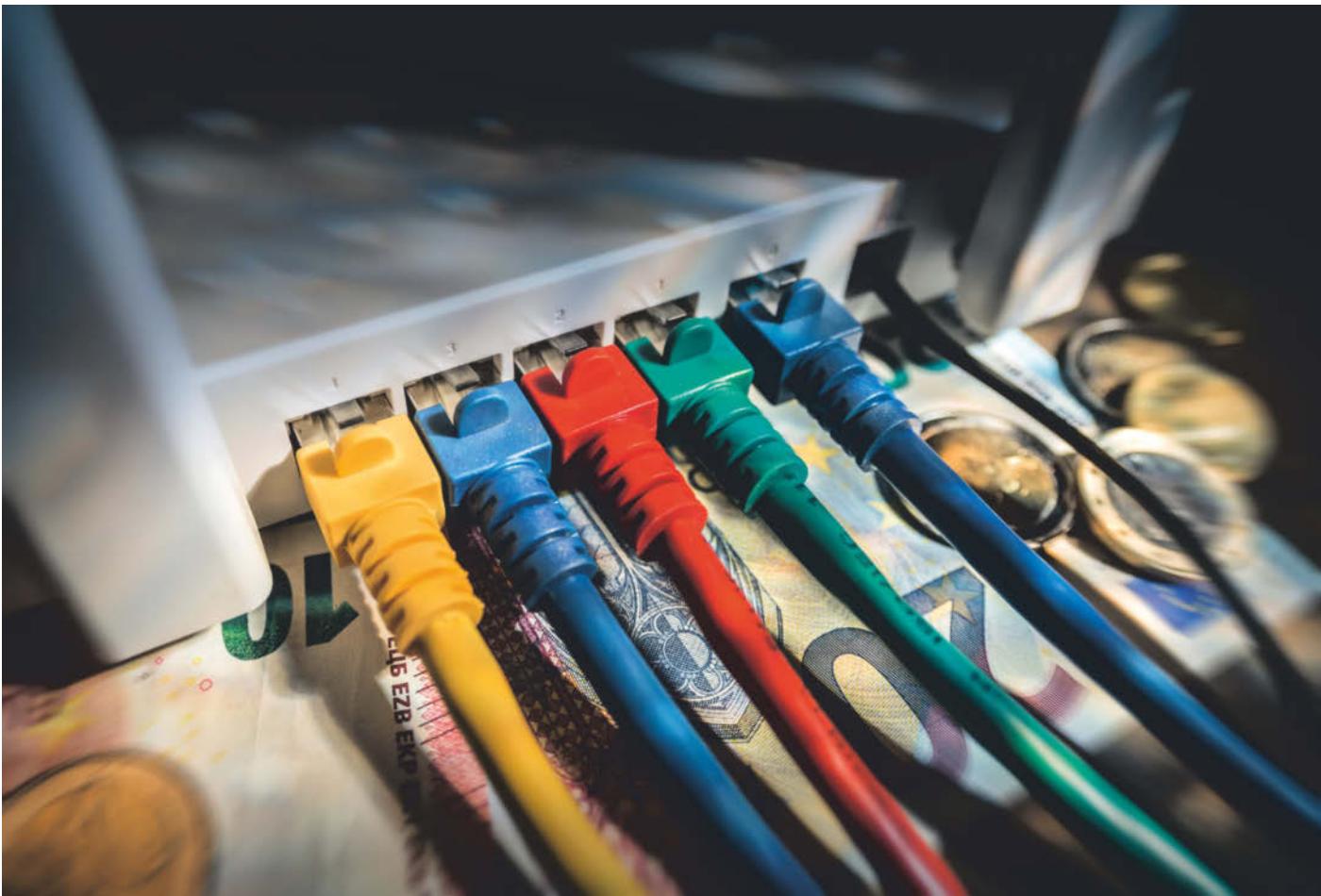
- [1] Christof Windeck, Blitzschnell, Superschnelles USB: Was USB 3.2 Gen 2x2, USB4 und Thunderbolt bringen, c't 19/2022, S. 58
- [2] Christian Hirsch, Lastverteiler, Hybrid-Prozessoren unter Windows 10 und 11 optimal einsetzen, c't 20/2022, S. 154
- [3] Christian Hirsch, Grafik zum Pauschal tarif, 3D- und Videofähigkeiten integrierter Grafikeinheiten von Core-i- und Ryzen-Prozessoren, c't 14/2021, S. 96

**Prozessordatenbanken:** [ct.de/yd3z](http://ct.de/yd3z)

## Performance aktueller Mobilprozessoren

Prozessor	Hersteller	Kerne / Threads	Maximaltakt	TDP <sup>1</sup>	Cinebench R23 1T	Cinebench R23 MT	Cinebench R24 1T	Cinebench R24 MT
M3 Max	Apple	12P+4E / 16	4,05 GHz	78 W	besser ▶	1885	23811	141
Snapdragon X Elite <sup>2</sup>	Qualcomm	12P / 12	4,3 GHz	k. A.	—	—	133	1149
Ryzen 7 7840HS	AMD	8P / 16	5,1 GHz	45 W	1676	15540	101	906
M3 Pro	Apple	6P+6E / 12	4,05 GHz	27 W	1980	15128	145	1005
Core i9-13900H	Intel	6P+8E / 20	5,4 GHz	45 W	1965	14504	113	723
Ryzen 7 7840U	AMD	8P / 16	5,1 GHz	25 W	1735	13810	105	782
M3	Apple	4P+4E / 8	4,05 GHz	20 W	1903	10479	141	746
Ryzen 7 7735U	AMD	8P / 16	4,75 GHz	28 W	1515	10392	—	—
Core Ultra 7 155H	Intel	6P+8E+2LP / 22	4,8 GHz	28 W	1745	10311	104	574
Core i5-1345U	Intel	2P+8E / 12	4,7 GHz	15 W	1544	9711	99	362
Ryzen 5 7540U	AMD	6P / 12	4,9 GHz	25 W	1536	9571	93	535
Core i7-1360P	Intel	4P+8E / 16	5,0 GHz	28 W	1684	9192	99	487
Core i7-1260P	Intel	4P+8E / 16	4,7 GHz	28 W	1675	9121	—	—
Ryzen 7 7730U	AMD	8P / 16	4,5 GHz	15 W	1469	9055	86	522
Ryzen 5 Pro 6650U	AMD	8P / 16	4,5 GHz	28 W	1462	8128	—	—
Ryzen 3 7320U	AMD	4P / 8	4,1 GHz	15 W	1111	4944	—	—
Core i3-N305	Intel	8E / 8	3,8 GHz	15 W	990	4636	—	—
SQ3 (Snapdragon 8CX Gen3)	Qualcomm	4P+4E / 8	3,0 GHz	15 W	602	3665	—	—
N100	Intel	4E / 4	3,4 GHz	6 W	814	2416	59	155

<sup>1</sup> TDP: Thermal Design Power, individueller Wert hängt vom jeweiligen Gerät ab, zudem höhere Leistungsaufnahme im Turbofenster möglich    <sup>2</sup> Prototyp k. A. keine Angabe    — nicht gemessen



# Stabil online

## Breitbandanschlüsse auf Kupferbasis ab 40 Mbit/s

**Der Wettbewerb bei Breitbandanschlüssen ist hart, dennoch erhöhen erste Anbieter die Preise. Der Preisunterschied zwischen den günstigsten und den teuersten Angeboten liegt bei über 200 Euro pro Jahr.**

Von Urs Mansmann

**D**ie steigenden Preise durch die Inflation der vergangenen Jahre kommen allmählich auch bei den Breitbandanbietern an. 1&1 und O2 haben die Preise bereits um 5 Euro erhöht, bei anderen Anbietern sind die Preise hingegen noch stabil. Die Preisunterschiede sind beacht-

lich, zwischen dem günstigsten und teuersten Angebot in einer Leistungsklasse liegen rund 20 Euro im Monat.

Wer mehr bezahlt, bekommt nicht unbedingt einen besseren Service oder umfangreichere Leistungen: Bei allen hier vorgestellten Angeboten ist ein Festnetzanschluss enthalten, nur Freenet stellt lediglich den IP-Zugang zur Verfügung, aber keinen VoIP-Account. Andere Angebote sind dennoch günstiger – und bieten obendrein noch einen VoIP-Anschluss und eine Festnetz-Flatrate. Letztere fehlt nur bei den DSL-Angeboten von Maingau Internet und Eazy. Eine Allnet-Flat, also inklusive Telefonate in die Mobilfunknetze, ist meist kostenpflichtig – wenn man sie überhaupt buchen kann. Nur bei O2 und den Kabelangeboten von Eazy und Vodafone ist sie enthalten.

Viele Kunden machen sich aber noch nicht einmal mehr die Mühe, ihren Fest-

netzanschluss in Betrieb zu nehmen, sondern wickeln ihre Telefonate komplett über den Mobilfunk ab. Wer weiterhin aufs Festnetz setzt, sollte sich genau ansehen, was Telefonate kosten, die nicht von der Flatrate abgedeckt sind. Hier nehmen viele VoIP-Anbieter unverschämte Preise von bis zu 20 Cent pro Minute für Anrufe in die Mobilfunknetze. Es kann sich also recht schnell lohnen, eine kostenpflichtige Mobilfunkflatrate hinzuzubuchen.

Eine IPv4-Adresse bekommt man nur bei einigen Providern, Details dazu finden Sie in der Tabelle. Dafür gibt es inzwischen bei fast allen hier vorgestellten Angeboten IPv6. Die einzige Ausnahme ist Congstar, die IPv6 nach letzten Informationen immer noch nicht implementiert haben und ihre Kunden ausschließlich mit einer IPv4-Adresse versorgen. Unverständlich allerdings warum einige Anbieter mit

IPv6-Adressen knausern, und ihren Kunden nur ein /64-Prefix zur Verfügung stellen, also nur eine einzige Adresse. Dabei geht es bei IPv6 ja gerade darum, dass Adressen nicht knapp sind und es wohl auch niemals sein werden.

## DSL oder Kabel

Wenn Sie einen neuen Internetanschluss suchen, sollten Sie zunächst einmal recherchieren, welche Optionen am Anschlussort zur Verfügung stehen. In den meisten Fällen gibt es DSL per Telefonleitung, allerdings mit sehr unterschiedlichen Datenraten, die grob gesprochen zwischen 2 und 250 Mbit/s im Downstream liegen können. Besser sieht es aus, wenn das Haus, wie oft der Fall, zusätzlich am TV-Kabelnetz hängt. Darüber sind fast überall inzwischen bis zu 1000 Mbit/s im Downstream möglich. Die optimale Versorgung hat man mit einem Glasfaseranschluss. Die meisten Anbieter liefern Privatkunden darüber derzeit bis zu 1000 Mbit/s, technisch sind künftig aber noch viel höhere Datenraten drin.

DSL hat gegenüber Kabel sowohl Vorteile als auch Nachteile: Man nutzt die Telefonleitung alleine, und die weiterführenden Leitungen ab dem Knotenpunkt (Multi-Service Access Node, MSAN) sind in aller Regel nicht so überbucht, dass die Geschwindigkeit in den Spitzenzeiten am frühen Abend einbricht. Wenn zu viele Kunden DSL gleichzeitig einsetzen, kann aber die erzielbare Datenrate zurückgehen, weil sich die Leitungen gegenseitig stören. Generell sind DSL-Anschlüsse eher wacklig und verlieren hin und wieder die Synchronisation, weil die Leitung bis an die physikalischen Grenzen ausgereizt wird.

Beim TV-Kabel hingegen nutzen Hunderte Haushalte ein Netzsegment gemeinsam, den sogenannten Node. Dafür kann ein solches Segment aber auch mehrere Gigabit pro Sekunde übertragen. Die Kabelanbieter haben in den zurückliegenden Jahren erheblich in die Kapazität investiert, wo sich das als notwendig erwies.

1&1 wirbt mit einem „Glasfaser-DSL“-Angebot, wenn Sie dort nach der Verfügbarkeit von Glasfaseranschlüssen fragen. Einige Kabel-TV-Anbieter wiederum versprechen „Glasfasergeschwindigkeit“ und meinen damit ihren Gigabit-Anschluss. Lassen Sie sich davon nicht verwirren: Sowohl bei DSL als auch beim TV-Kabel ist die Hausanschlussverkabelung weiterhin aus Kupfer, mit allen damit

verbundenen Nachteilen und Einschränkungen.

Gibt es keine Kabelverbindung, bleibt nur Funk als Ausweg. Bei guter Mobilfunkversorgung, idealerweise per 5G, erzielt man ähnlich hohe Datenraten wie mit einem DSL-Anschluss, allerdings zu wesentlich höheren Kosten. Falls Sie nur einen langsamen DSL-Anschluss bekommen können, bietet die Telekom mit ihren Hybridanschlüssen eine Kombination aus DSL und 5G. Anders als früher bekommen Sie diese Kombination aber nur für DSL-Anschlüsse mit 100 MBit/s. Für 250-Mbit/s-Zugänge gibt es den 5G-Turbo, der nebenbei auch noch ein Fall-back bei ausgefallener DSL-Leitung darstellt, nicht mehr.

Ist am Anschlussort nicht einmal Mobilfunk verfügbar, bleibt als letzte Chance das Satelliten-Internet, beispielsweise über den Anbieter Starlink. Solche Angebote sind aber noch teurer als Mobilfunkanschlüsse, außerdem verbraucht die Satellitentechnik jede Menge Strom, ein Starlink-Terminal beispielsweise mehr als 100 Watt schon im Ruhezustand. Läuft der Datenverkehr über geostationäre Satelliten, kommt noch eine enorme Latenz hinzu, die den Zugang für Echtzeitanwendungen unbrauchbar macht. Solche Verbindungen sollte man deshalb nur einsetzen, wo es keine anderen Möglichkeiten gibt.

## Schnell oder langsam

Üblicherweise sind die Angebote nach Datenraten gestaffelt. Für DSL- und Kabelanschlüsse gibt es wahlweise 50, 100 oder 250 Mbit/s, bei Kabel und Glasfaser zusätzlich noch die Geschwindigkeitsstufen 500 und 1000 Mbit/s. Üblicherweise kostet jede Stufe fünf Euro mehr pro Monat, in einigen Fällen kommt für den schnellsten Anschluss noch ein Extrazu-

## c't kompakt

- Zwischen den Angeboten für Breitbandanschlüsse bestehen erhebliche Preis- und Leistungsunterschiede.
- Funk- oder gar Satellitenlösungen sind nur empfehlenswert, wo es keine kabelgeführte Alternative gibt.
- Für Verträge mit langen Laufzeiten winken attraktive Nachlässe.

schlag obendrauf. Es lohnt sich also durchaus zu überlegen, wie hoch die Datenrate sein sollte. Anschlüsse mit weniger als 40 Mbit/s sind nur dann sinnvoll, wenn der Anschluss keine höheren Datenraten hergibt, denn meist ist die Ersparnis gegenüber einem 40- oder 50-Mbit/s-Anschluss bestenfalls gering. Dafür ist die Einschränkung durch die geringe Datenrate sehr deutlich spürbar und schränkt die Nutzungsmöglichkeiten ein. Wir haben so langsame Anschlüsse daher auch nicht geprüft.

Interessanterweise hat sich beim Upstream etwas getan: 1&1 und die Telekom verkaufen 50-Mbit/s-Anschlüsse neuerdings mit 20 Mbit/s Upstream statt mit 10. Das kommt Kunden zugute, die etwa Kamera-Upstreams in Videokonferenzen nutzen oder Daten bei Clouddiensten ablegen wollen. Wer seinen Anschluss beruflich nutzt, sollte ohnehin zur schnellsten verfügbaren Variante greifen, denn viele Anwendungen arbeiten damit einfach spürbar schneller.

Bei der Wahl der Geschwindigkeit sollten Sie prüfen, welche Anwendungen Sie nutzen. Das Smartphone im WLAN

## Verfügbarkeitsprüfung

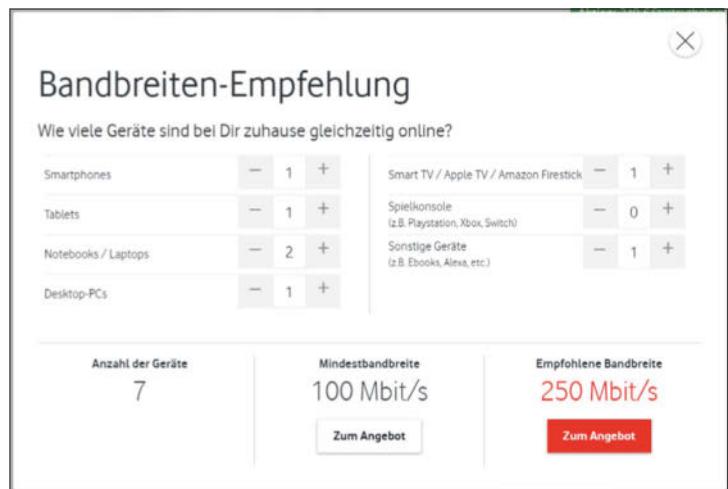
### easybell ist verfügbar!

Folgende Anschlusstechnologien können wir anbieten:

Technologie	maximaler Download	maximaler Upload
VDSL Supervectoring	250	40
VDSL Vectoring	100	40
VDSL Classic	50	10
ADSL Annex J	16	2,8
Alle Angaben in MBit/s		

[Jetzt bestellen](#)

Nach Eingabe der Anschlussadresse auf den Webseiten der Anbieter erhält man eine Übersicht, welche Datenraten dort möglich sind.



**Vodafone liefert auf Grundlage der jeweiligen Hardware im Heim eine Abschätzung, welche Datenrate man wählen sollte.**

Bandbreitenfresser hingegen sind Videoanwendungen. Bei einfacher HD-Auflösung ist das noch nicht allzu viel: Je nach Qualität des Streams müssen Sie hier mit 3,5 bis 6 Mbit/s rechnen. Ein 4K-Signal (UHD) braucht aber schon die vierfache Menge. Bei zwei Streams und einem 50-Mbit/s-Anschluss kann es da schon knapp werden. Besonders leistungshungrig sind Angebote für das Streaming von Spielen wie GeForce Now, die bei maximaler Auflösung und Framerate mindestens 45 Mbit/s pro Stream verlangen. Aber selbst für eine Gamer-WG sollte ein 250-Mbit/s-Anschluss ausreichen.

Schnelle Anschlüsse sind aber auch für Singles interessant. Beim Streaming von Videos beispielsweise entsteht zu Beginn der Wiedergabe oft ein Peak, weil zunächst der Pufferspeicher befüllt wer-

benötigt keine hohen Datenraten. Die meisten mobilen Anwendungen sind ohnehin auf Datensparsamkeit getrimmt und

datenintensive Anwendungen wie Foto-Upserts oder Backups laufen unbemerkt im Hintergrund.

## Kabelgebundene Breitband-Anschlüsse mit Flatrates ab 40 Mbit/s

Anbieter	1&1	1&1	Congstar	Drillisch	Drillisch	Easybell	Easybell
Tarif	DSL 50 (100)	DSL 250	komplett 2 VDSL 50 flex	Winsim <sup>7</sup> DSL 50 (mit 1 Jahr Laufzeit)	Winsim <sup>7</sup> DSL 100 (250)	Komplett easy speed 50 (100)	Komplett easy speed 250
URL	dsl.1und1.de	dsl.1und1.de	congstar.de	winsim.de/dsl	winsim.de/dsl	easybell.de	easybell.de
Anschlussart	Vectoring	Super-Vectoring	Vectoring	Vectoring	Vectoring (Super-Vectoring)	Vectoring	Super-Vectoring
Leistungen/Optionen							
Bandbreite Down-/Upstream Mbit/s	50 / 20 (100 / 40)	250 / 40	50 / 10	50 / 20 (50 / 10)	100 / 40 (250 / 40)	50 / 10 (100 / 40)	250 / 40
normalerweise verfügbare Bandbreite Down- / Upstream <sup>4</sup> Mbit/s	44 / 18,8 (83,8 / 33,4)	200 / 35	48 / 9,4	44 / 18,8 (44 / 9,4)	83,3 / 33,4 (200 / 35)	40 / 9 (86 / 36)	200 / 35
Mindestbandbreite Down- / Upstream <sup>4</sup> Mbit/s	16,7 / 1,6 (54 / 20)	105 / 20	27,9 / 2,7	16,7 / 1,6 (16,7 / 1,6)	54 / 20 (105 / 20)	16 / 1,2 (54 / 20)	125 / 20
IPv4 / IPv6 für Neuanschlüsse verfügbar (Zahl der IPv6-Adressen)	✓ / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	✓ / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	✓ / -	✓ / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	✓ / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	✓ / ✓ (/64 Delegated LAN Prefix)	✓ / ✓ (/64 Delegated LAN Prefix)
Telefonanschlussart / gleichzeitige Gespräche / Rufnummern	VoIP / 1 / 1 <sup>2</sup>	VoIP / 1 / 1 <sup>2</sup>	VoIP / 4 / 4	VoIP / 4 / 10	VoIP / 4 / 10	VoIP / 2 / 1 <sup>2</sup>	VoIP / 2 / 1 <sup>2</sup>
Vertragskonditionen							
Störungsannahme (Rufnummer)	Festnetz (07 21/ 96 00)	Festnetz (07 21/ 96 00)	Festnetz (02 21/ 79 70 07 00)	Festnetz (07 21/ 96 00)	Festnetz (07 21/ 96 00)	Festnetz (0 30/ 80 95 10 00)	Festnetz (0 30/ 80 95 10 00)
Laufzeit / Verlängerung / Kündigungsfrist (Monate)	3 / 1 / 1	3 / 1 / 1	- / 1 / 14 Tage	24 / 1 / 1 (12 / 1 / 1)	24 / 1 / 1	- / 1 / 14 Tage	- / 1 / 14 Tage
günstigste mitgelieferte Hardware	1&1 HomeServer (Fritz!Box 7520), 4,99 €/Monat, 9,90 € einmalig <sup>3</sup>	1&1 HomeServer (Fritz!Box 7520), 4,99 €/Monat, 9,90 € einmalig <sup>3</sup>	Fritz!Box 7530 AX, 134,98 € <sup>3</sup>	Fritz!Box 7510, 4,99 €/Monat, 9,99 € einmalig <sup>3</sup>	Fritz!Box 7510, 4,99 €/Monat, 9,99 € einmalig <sup>3</sup>	Fritz!Box 7590 AX, 4,99 € mtl. oder 239 € einmalig <sup>3</sup>	Fritz!Box 7590 AX, 4,99 € mtl. oder 239 € einmalig <sup>3</sup>
Telefonanschluss / Festnetz-Flat / Allnet-Flat monatlich	inklusive / inklusive / 9,99 €	inklusive / inklusive / 9,99 €	inklusive / inklusive / -	inklusive / inklusive / 9,99 €	inklusive / inklusive / 9,99 €	inklusive / inklusive / 5 €	inklusive / inklusive / 5 €
Kosten							
Einmalkosten abzgl. Ermäßigungen <sup>1</sup>	-	-	59,99 €	102 (0) € Gutschrift	120 (150) € Gutschrift	49,95 €	49,95 €
abweichende Leistungen und Kosten bei Verträgen mit längerer Mindestlaufzeit	360 (420) € Gutschrift, mehr Rufnummern und gleichzeitige Gespräche für VoIP, Glasfaser gegen Aufpreis möglich	480 € Gutschrift, mehr Rufnummern und gleichzeitige Gespräche für VoIP, Glasfaser gegen Aufpreis möglich	20 € zusätzliche Gutschrift	-	-	-	-
rechnerischer Preis für die ersten 24 Monate	39,99 (44,99) €	49,99 €	37,49 €	22,74 (26,99) €	24,99 (28,74) €	37,03 (42,03) €	47,03 €
Internet-Anschluss, monatlich	39,99 (44,99) €	49,99 €	34,99 €	26,99 (26,99) €	29,99 (34,99) €	34,95 (39,95) €	44,95 €

<sup>1</sup> bei Online-Bestellung, Gebühren-Gutschriften gerechnet für zwei Jahre Laufzeit    <sup>2</sup> mehr Rufnummern und mehr gleichzeitige Gespräche gegen Aufpreis    <sup>3</sup> Router muss nicht mitbestellt werden, Preis inkl. Versandkosten  
<sup>6</sup> in Baden-Württemberg, Hessen, NRW nur eine Rufnummer kostenlos    <sup>7</sup> gleichlautende Angebote weiterer Drillisch-Marken verfügbar    <sup>8</sup> nach 24 Monaten geht das Gerät ins Eigentum des Kunden über und Mietpreis fällt weg

den muss. Eine flotte Übertragung der Daten sorgt dafür, dass sich die Ladezeiten verkürzen oder die Bildqualität schneller auf die höchste Stufe schaltet.

Noch schnellere Anschlüsse sind oft unverhältnismäßig teurer, dafür gehen dann auch umfangreiche Datentransfers flott vonstatten. Einen modernen Spieletitel mit 70 Gigabyte kann man an einem Anschluss mit 1 Gbit/s in unter 10 Minuten herunterladen, wenn der Downloadserver die Datenrate hergibt. Dem einen oder anderen mag das den Aufpreis wert sein.

### Angebote einholen

Wenn Sie ein günstigeres Angebot suchen oder prüfen wollen, welche Optionen Sie nach einem Umzug haben, kommen Sie um ein wenig Handarbeit nicht herum. Stellen Sie zunächst einmal fest, welche Zugangs-

technik am Anschlussort existiert, also ob es dort DSL, TV-Kabel oder Glasfaser gibt. Anschließend recherchieren Sie Angebote, die für Sie infrage kommen, wobei Ihnen die Tabelle auf Seite 90 und 92 hilft.

Spielen Sie anschließend bei allen in Frage kommenden Angeboten den Bestellprozess auf der Webseite des Anbieters einmal durch. Schauen Sie dabei nicht nur auf die Angebotsseite, sondern klicken Sie auf den Bestellen-Button und geben Sie Ihre Anschrift für die Verfügbarkeitsprüfung ein. Nur so erfahren Sie, welche Angebote Ihnen die Provider konkret machen. Die wissen inzwischen ganz genau, welche Datenrate am jeweiligen Anschluss zu erwarten ist – und Sie können diese Informationen auf diese Weise abfragen.

Dabei sollten Sie auf Überraschungen gefasst sein. Unter Umständen bekom-

men Sie beispielsweise ein günstigeres Angebot angezeigt als in unserer Tabelle aufgeführt, weil ein Provider etwa regional auf die Konkurrenzsituation reagiert. Haben Sie lokale Anbieter wie M-Net in München, Netcologne in Köln oder htp in Hannover, sollten Sie deren Angebote ebenfalls einholen und mit denen der großen Anbieter vergleichen.

Auch bestellen sollten Sie am besten online. Ganz zu Beginn des Buchungsvorgangs sollten Sie festlegen, ob Sie einen Tarif mit Vertragslaufzeit abschließen wollen. Das lässt sich im Bestellprozess anschließend meist nicht mehr ändern. Angebote, die es wahlweise mit und ohne Vertragslaufzeit gibt, erkennen Sie in der Tabelle daran, dass Sie in der Zeile „abweichende Leistungen und Kosten bei Verträgen mit längerer Mindestlaufzeit“

## (Auswahl überregionaler Angebote), Teil 1/2

Eazy	Eazy	Freenet	Maingau Internet	Maingau Internet	02	02	02
eazy40 (50 Cable)	eazy50 DSL	DSL 100 (250)	DSL 50 (100)	DSL 250	my Home S (M) Flex	my Home L Flex	my Home XXL (XL) Flex
eazy.de	eazy.de	freenet-internet.de (nur per Smartphone-App bestellbar)	maingau-energie.de	maingau-energie.de	o2online.de	o2online.de	o2online.de
TV-Kabel Vodafone	Vectoring	Vectoring (Super-Vectoring)	Vectoring	Super-Vectoring	Vectoring, TV-Kabel, 4G/5G, Glasfaser	Super-Vectoring, TV-Kabel, Glasfaser	TV-Kabel, Glasfaser
40 / 5 (50 / 25)	50 / 10	100 / 40 (250 / 40)	50 / 10 (100 / 40)	250 / 40	50 / 25 <sup>5</sup> (100 / 50 <sup>5</sup> )	250 / 50 <sup>5</sup> (DSL: 250 / 40)	1000 / 50 <sup>5</sup> (500 / 50 <sup>5</sup> )
38 / 4,7 (47,5 / 22,5)	48 / 9,6	87 / 37 (210 / 37)	48 / 9,6 (85 / 35)	201 / 32	38 / 17,5 <sup>5</sup> (83 / 35 <sup>5</sup> )	200 / 35 <sup>5</sup> (DSL: 200 / 35)	800 / 35 <sup>5</sup> (400 / 35 <sup>5</sup> )
28 / 3,5 (35 / 10)	28 / 9	54 / 20 (179 / 20)	16,7 / 1,6 (54 / 20)	105 / 17	16 / 7,5 <sup>5</sup> (50 / 3 <sup>5</sup> )	105 / 15 <sup>5</sup> (DSL: 105 / 20)	400 / 15 <sup>5</sup> (200 / 15 <sup>5</sup> )
– / ✓ (/56 oder /64 Delegated LAN Prefix)	– / ✓ (/56 oder /64 Delegated LAN Prefix)	✓ / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	✓ (auslaufend, nur noch auf Wunsch) / ✓ (/64 Delegated LAN Prefix)	✓ (auslaufend, nur noch auf Wunsch) / ✓ (/64 Delegated LAN Prefix)	teilweise / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	teilweise / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	teilweise / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)
VoIP / 1 / 1 (VoIP / 1 / 2 mit Cable 50 <sup>6</sup> )	VoIP / 1 / 1	–	VoIP / 2 / 3	VoIP / 2 / 3	VoIP / 1 / 1 <sup>2</sup>	VoIP / 1 / 1 <sup>2</sup>	VoIP / 1 / 1 <sup>2</sup>
kostenlos (08 00/ 7 00 11 77)	kostenlos (08 00/ 7 00 11 77)	Festnetz (0 40/ 5 55 54 11 20)	kostenlos (08 00/ 9 89 86 66)	kostenlos (08 00/ 9 89 86 66)	Festnetz (0 89/ 7 87 97 94 00)	Festnetz (0 89/ 7 87 97 94 00)	Festnetz (0 89/ 7 87 97 94 00)
24 / 1 / 1	24 / 1 / 1	1 / 1 / 0	12 / 1 / 1	12 / 1 / 1	0 / 1 / 1	0 / 1 / 1	0 / 1 / 1
WLAN-Router, kostenlos (Vodafone Station, 2,99 € mtl. und 6,99 € einm. mit 50 Cable)	EasyBox 805, 2,99 € mtl., 6,99 € einmalig	Fritz!Box 7530 AX, 149,99 € einmalig <sup>3</sup>	Fritz!Box 7530 AX <sup>3</sup> , 12 € monatlich oder 149,95 € einmalig	Fritz!Box 7530 AX <sup>3</sup> , 12 € monatlich oder 149,95 € einmalig	HomeBox 3 (für DSL), 3,99 € monatlich, 49,99 € einmalig <sup>3</sup>	HomeBox 3 (für DSL), 3,99 € monatlich, 49,99 € einmalig <sup>3</sup>	Fritzbox 6660 (für TV-Kabel), 4,99 € monatlich, 49,99 € einmalig <sup>3</sup>
inklusive / 5 € (inklusive mit 50 Cable) / – (inklusive mit 50 Cable)	inklusive / inklusive / –	–	inklusive / 4 € / 9 € <sup>4</sup>	inklusive / 4 € / 9 € <sup>4</sup>	inklusive / inklusive / inklusive	inklusive / inklusive / inklusive	inklusive / inklusive / inklusive
59,98 € (138 € Gutschrift mit Cable 50)	138 € Gutschrift	34,99 €	49,95 €	49,95 €	49,99 €	49,99 €	49,99 €
–	–	–	300 € einmalige Gutschrift, aber dauerhaft höherer (!) Monatspreis, halber Preis für Routermiete	360 € einmalige Gutschrift, aber dauerhaft höherer (!) Monatspreis, halber Preis für Routermiete	299,99 € zusätzliche Gutschrift	299,99 € zusätzliche Gutschrift	299,99 € zusätzliche Gutschrift
25,49 (34,24) €	34,24 €	36,45 € (41,45 €)	32,03 (37,03) €	43,03 €	37,07 (42,07) €	47,07 €	62,07 (57,07) €
22,99 (39,99) € €	39,99 €	34,99 € (39,99 €)	29,95 (34,95) €	40,95 €	34,99 (39,99) €	44,99 €	59,99 (54,99) €

<sup>4</sup> Herstellerangabe laut Produktinformationsblatt <sup>5</sup> Angaben für Kabel, regional niedrigere Werte möglich, abweichende Werte für DSL- und Glasfaser-Anschlüsse, siehe Produktinformationsblatt

<sup>6</sup> zusätzlich zu Telefonanschluss und Festnetz-Flatrate ✓ vorhanden – nicht vorhanden

einen Eintrag finden. Steht hier nur ein Strich, gibt es nur ein Angebot. In manchen Fällen müssen Sie nach den Tarifen mit kurzer Laufzeit ein wenig suchen.

Die Vorgabe des Gesetzgebers, auch einen Tarif mit maximal einem Jahr Laufzeit anzubieten, erfüllen Anbieter, die auf Zweijahresverträge setzen, indem sie das Angebot so unattraktiv gestalten, dass es ohnehin kaum einer haben will. Manche verstecken es aber auch noch zusätzlich. Alternativen mit kurzer Vertragslaufzeit gibt es für alle Anschlüsse; wenn in Ihrem Haus ein TV-Kabelanschluss von Vodafone liegt, können Sie dafür einen Vertrag ohne Laufzeit bei O2 buchen.

## Laufzeitfragen

Schließen Sie einen Vertrag mit langer Laufzeit nur ab, wenn Sie wirklich sicher sind, dass Sie diesen komplett erfüllen können. Sie kommen zwar problemlos und ohne zusätzliche Kosten aus dem Vertrag,

wenn Sie an einen Ort ziehen, an dem Ihr Anbieter keinen gleichwertigen Internetanschluss liefert. Anders sieht es aber aus, wenn Sie beispielsweise in eine WG oder zu einem Partner ziehen und daher den Anschluss nicht mehr benötigen, Ihr Anbieter dort aber liefern könnte. Dann müssen Sie den Vertrag erfüllen, also die Grundgebühr bis zum Schluss bezahlen. Allerdings winken teils auch fette Nachlässe, wenn Sie sich vertraglich für zwei Jahre binden. Es kann also durchaus lohnen, ein solches Angebot anzunehmen. Sobald die maximal zwei Jahre Mindestvertragslaufzeit abgelaufen sind, können Sie Ihren Vertrag monatlich kündigen.

Im Bestellprozess können Sie auch festlegen, ob und welchen Router Sie haben wollen. Wenn Sie schon ein für die Zugangstechnik geeignetes Modell haben, können Sie dieses bedenkenlos weiterverwenden. Aufpassen müssen Sie nur bei 250-Mbit/s-Anschläüssen: Hier benötigen

Sie einen Router, dessen Modem Super-Vectoring kann. Die immer noch vielerorts eingesetzte AVM Fritzbox 7490 schafft mit normalem Vectoring hingegen nur 100 Mbit/s. Bei TV-Kabelnetz-Anschläüssen mit 1 Gbit/s oder mehr muss das Modem im Router wiederum den Übertragungsstandard DOCSIS 3.1 beherrschen. Viele ältere Geräte schaffen aber nur DOCSIS 3.0. Die Umstellung auf DOCSIS 3.1 bietet allerdings auch Vorteile an langsameren Anschläussen, da der Router zusätzliche Kanäle im Kabelnetz und somit zusätzliche Ressourcen für die Datenübertragung nutzen kann.

Ob es sich lohnt, einen Router zu mieten, hängt vom Modell und den Mietpreisen ab. Das Spitzenmodell Fritzbox 7590 AX von AVM kostet im Handel um 240 Euro. Bei einer Gerätemiete von rund 5 Euro hätten Sie das Gerät erst nach vier Jahren bezahlt, ein solcher Mietpreis ist also durchaus angemessen. Bei einigen

## Kabelgebundene Breitband-Anschlüsse mit Flatrates ab 40 Mbit/s

Anbieter	Pjur	Pjur	Pjur	Telekom	Telekom	Telekom	Telekom
Tarif	Pure Surf 50 (Speed 250)	Pure Speed 500	Pure Speed 1000	Magenta Zuhause M Flex	Magenta Zuhause L	Magenta Zuhause XL	Magenta Zuhause M Hybrid DSL 16.000
URL	pyur.com	pyur.com	pyur.com	telekom.de	telekom.de	telekom.de	telekom.de
Anschlussart	TV-Kabel	TV-Kabel	TV-Kabel	Vectoring (FTTH/Glasfaser)	Vectoring (FTTH/Glasfaser)	Super-Vectoring (FTTH/Glasfaser)	ADSL+ kombiniert mit 5G
Leistungen/Optionen							
Bandbreite Down-/Upstream Mbit/s	50 / 5 (250 / 15)	500 / 30	1000 / 50	50 / 20 (50 / 20 mit Fiber 50)	100 / 40 (100 / 50 mit Fiber 100)	250 / 40 (250 / 50 mit Fiber 250)	16 / 2,4 + 50 / 20 über 5G oder LTE
normalerweise verfügbare Bandbreite Down- / Upstream <sup>4</sup> Mbit/s	45 / 4,75 (225 / 12,75)	425 / 25,5	850 / 42,5	47 / 16 (50 / 20 mit Fiber 50)	83,8 / 33,4 (100 / 50 mit Fiber 100)	200 / 35 (250 / 50 mit Fiber 250)	9,5 / 1,5 + k. A. für LTE
Mindestbandbreite Down- / Upstream <sup>4</sup> Mbit/s	35 / 3,5 (125 / 6)	200 / 12	400 / 20	27,9 / 2,7 (50 / 20 mit Fiber 50)	54 / 20 (100 / 50 mit Fiber 100)	175 / 20 (250 / 50 mit Fiber 250)	6,3 / 0,7 + k. A. für LTE
IPv4 / IPv6 für Neuanschlüsse verfügbar (Zahl der IPv6-Adressen)	– / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	– / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	– / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	✓ / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	✓ / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	✓ / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	✓ / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)
Telefonanschlussart / gleichzeitige Gespräche / Rufnummern	VoIP / 1 / 1	VoIP / 1 / 1	VoIP / 1 / 1	VoIP / 2 / 3			
Vertragskonditionen							
Störungsannahme (Rufnummer)	Festnetz (0 30/ 25 77 77 77)	Festnetz (0 30/ 25 77 77 77)	Festnetz (0 30/ 25 77 77 77)	kostenlos (08 00/ 3 30 10 00)			
Laufzeit / Verlängerung / Kündigungsfrist (Monate)	24 / 1 / 1	24 / 1 / 1	24 / 1 / 1	0 / 1 / 1	0 / 1 / 1	0 / 1 / 1	24 / 1 / 1
günstigstes mitgelieferte Hardware	WLAN-Kabelbox, 3,99 € mtl., 9,99 € einmalig <sup>3</sup>	WLAN-Kabelbox, 2,99 € mtl., 9,99 € einmalig <sup>3</sup>	WLAN-Kabelbox, 2,99 € mtl. <sup>3</sup>	WLAN- und VoIP-Router, 6,95 €/Monat, 6,95 € einmalig <sup>3</sup> , 70 € Gutschrift bei Miete eines Routers	WLAN- und VoIP-Router, 6,95 €/Monat, 6,95 € einmalig <sup>3</sup> , 70 € Gutschrift bei Miete eines Routers	WLAN- und VoIP-Router, 6,95 €/Monat, 6,95 € einmalig <sup>3</sup> , 70 € Gutschrift bei Miete eines Routers	WLAN- und VoIP-Router, 6,95 €/Monat, 6,95 € einmalig <sup>3</sup> , 70 € Gutschrift bei Miete eines Routers
Telefonanschluss / Festnetz-Flat / Allnet-Flat monatlich	inklusive / inklusive / 4,99 €	inklusive / inklusive / 4,99 €	inklusive / inklusive / 4,99 €	inklusive / inklusive / –			
Kosten							
Einmalkosten abzgl. Ermäßigungen <sup>1</sup>	220,01 (280,01) € Gutschrift	19,99 €	19,99 €	69,95 €	69,95 €	69,95 €	168,05 € Gutschrift
abweichende Leistungen und Kosten bei Verträgen mit längerer Mindestlaufzeit	–	–	–	238 € zusätzliche Gutschrift	268 € zusätzliche Gutschrift	310 € zusätzliche Gutschrift	–
rechnerischer Preis für die ersten 24 Monate	20,82 (23,32) €	35,82 €	40,82 €	45,86 €	50,86 €	57,86 €	35,95 €
Internet-Anschluss, monatlich	29,99 (34,99) €	34,99 €	39,99 €	42,95 €	47,95 €	54,95 €	42,95 €

<sup>1</sup> bei Online-Bestellung, Gebühren-Gutschriften gerechnet für zwei Jahre Laufzeit    <sup>2</sup> mehr Rufnummern und mehr gleichzeitige Gespräche gegen Aufpreis    <sup>3</sup> Router muss nicht mitbestellt werden, Preis inkl. Versandkosten

Anbieter bekommen Sie für 5 Euro im Monat allerdings ein viel schlechteres und billigeres Gerät. Die Fritzbox 7510, die Drillisch zu diesem Preis vermietet, kostet im Handel beispielsweise keine 100 Euro.

Andererseits haben Sie bei einem Mietgerät die Sicherheit, dass keine unerwarteten hohen Kosten auf Sie zukommen, wenn das Gerät eines Tages den Dienst quittiert. Außerdem zieht bei einer Anschlussstörung das beliebte Argument „das muss an Ihrem Router liegen, bei uns ist alles in Ordnung“ nicht, wenn das Gerät vom Anbieter stammt.

Zusatzoptionen wie Telefonie-Flatrates, zusätzliche Telefonleitungen und Rufnummern oder IPTV-Produkte müssen Sie nicht zwingend bereits bei der Bestellung des Anschlusses buchen. Wenn Sie sich unsicher sind, sollten Sie diese zunächst einmal weglassen. Solche Leistungen können Sie bei den meisten An-

geboten nachträglich hinzbuchen, wenn Sie sie benötigen.

Wollen Sie mit einem bestehenden Anschluss zu einem neuen Anbieter wechseln, sollten Sie dem alten Anbieter auf keinen Fall selbst kündigen, sondern das dem neuen Anbieter überlassen. Damit wird er rechtlich dazu gezwungen, den Anschlusswechsel so abzustimmen, dass Sie mit einer schlimmstenfalls kurzen Unterbrechung online bleiben. Kann der neue Anbieter den Anschluss nicht termingerecht schalten, muss er veranlassen, dass der alte Anbieter zunächst einmal weiterliefert. Kündigen Sie selbst, greift diese Schutzvorschrift nicht.

## Fazit

Auch in Zeiten steigender Preise lässt sich mit der Wahl des richtigen Breitbandangebots jede Menge Geld sparen. Der Wettbewerb ist hart und Neukunden winken attraktive Rabatte für Verträge mit langer Laufzeit. Wo TV-Kabel und DSL zur Ver-

PRIVATKUNDEN	GESÄFTSKUNDEN
<b>O2</b>	Mobilfunk Internet zuhause
<b>Internet zuhause &gt;</b>	
Verfügbarkeit prüfen >	
Internet-Tarife >	
Internet mit TV >	
<b>Internet ohne Laufzeit &gt;</b>	
Mobiles WLAN >	

Tarife ohne Laufzeit findet man oft ein wenig versteckt im Menü.

fügung stehen, können Kunden zwischen Dutzenden unterschiedlichen Tarifen wählen. (uma@ct.de) ct

## (Auswahl überregionaler Angebote), Teil 2/2

Telekom	Telekom	Vodafone	Vodafone	Vodafone	Vodafone	Vodafone	Vodafone
Magenta Zuhause L Hybrid-50.000	Magenta Zuhause XL Hybrid-100.000	GigaZuhause Basic 100 (250) DSL	GigaZuhause 50 (100) DSL	GigaZuhause 250 DSL	GigaZuhause 50 (100) Kabel	GigaZuhause 250 Kabel	GigaZuhause 500 (CableMax 1000) Kabel
telekom.de	telekom.de	vodafone.de	vodafone.de	vodafone.de	vodafone.de	vodafone.de	vodafone.de
Vectoring kombiniert mit 5G	Vectoring kombiniert mit 5G	Vectoring (Super-Vectoring)	Vectoring	Super-Vectoring	TV-Kabel	TV-Kabel	TV-Kabel
50 / 20 + 100 / 40 über 5G oder LTE	100 / 40 + 250 / 40 über 5G oder LTE	100 / 40 (250 / 40 mit 250 DSL)	50 / 10 (100 / 40 mit 100 DSL)	250 / 40	50 / 25 (100 / 50 mit 100 Kabel)	250 / 50	500 / 50 (1000 / 50 mit 1000 Kabel)
47 / 16 + k. A. für LTE	83,8 / 33,4 + k. A. für LTE	87 / 37 (210 / 37 mit 250 DSL)	48 / 9,6 (87 / 37 mit 100 DSL)	210 / 37	47,5 / 22,5 (95 / 35 mit 100 Kabel)	225 / 35	450 / 35 (850 / 35 mit 1000 Kabel)
27,9 / 2,7 + k. A. für LTE	54 / 20 + k. A. für LTE	54 / 20 (179 / 20 mit 250 DSL)	28 / 9 (54 / 20 mit 100 DSL)	179 / 20	35 / 10 (70 / 15 mit 100 Kabel)	150 / 15	300 / 15 (600 / 15 mit 1000 Kabel)
✓ / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	✓ / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	— / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	— / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	— / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	— / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	— / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)	— / ✓ (/56 Delegated LAN Prefix)
VoIP / 2 / 3	VoIP / 2 / 3	VoIP / 1 / 1 <sup>2</sup>	VoIP / 1 / 1 <sup>2</sup>	VoIP / 1 / 1 <sup>2</sup>	VoIP / 2 / 2	VoIP / 2 / 2	VoIP / 2 / 2
kostenlos (08 00/ 3 30 10 00)	kostenlos (08 00/ 3 30 10 00)	kostenlos (08 00/ 172 12 12)	kostenlos (08 00/ 172 12 12)	kostenlos (08 00/ 172 12 12)	kostenlos (08 00/ 172 12 12)	kostenlos (08 00/ 172 12 12)	kostenlos (08 00/ 172 12 12)
24 / 1 / 1	24 / 1 / 1	24 / 1 / 1	24 / 1 / 1	24 / 1 / 1	24 / 1 / 1	24 / 1 / 1	24 / 1 / 1
WLAN- und VoIP-Router, 6,95 €/Monat, 6,95 € einmalig <sup>3</sup> , 70 € Gutschrift bei Miete eines Routers	WLAN- und VoIP-Router, 6,95 €/Monat, 6,95 € einmalig <sup>3</sup> , 70 € Gutschrift bei Miete eines Routers	Fritzbox 7530, 6,99 € einmalig <sup>3</sup>	EasyBox 805, 2,99 €/Monat, 6,99 € einmalig <sup>3</sup>	EasyBox 805, 2,99 €/Monat, 6,99 € einmalig <sup>3</sup>	Vodafone Station, 2,99 €/Monat, 6,99 € einmalig <sup>3</sup>	Vodafone Station, 2,99 €/Monat, 6,99 € einmalig <sup>3</sup>	Vodafone Station, 2,99 €/Monat, 6,99 € einmalig <sup>3</sup>
inklusive / inklusive / —	inklusive / inklusive / —	inklusive / — / —	inklusive / inklusive <sup>6</sup> / 9,99 € <sup>5</sup>	inklusive / inklusive <sup>6</sup> / 9,99 € <sup>5</sup>	inklusive / inklusive / inklusive	inklusive / inklusive / inklusive	inklusive / inklusive / inklusive
198,05 € Gutschrift	240,05 € Gutschrift	—	370 € (385 €) Gut-schrift	470 € Gutschrift	370 € Gutschrift (385 € mit 100 Kabel)	470 €	515 € Gutschrift (645 € mit 1000 Kabel)
—	—	—	—	—	—	—	—
39,70 €	44,95 €	39,99 (44,99) €	24,57 (28,95) €	35,41 €	24,57 (28,95) €	30,41 €	33,53 (38,12) €
47,95 €	54,95 €	39,99 (44,99) €	39,99 € (44,99) €	54,99 €	39,99 € (44,99 €)	49,99 €	54,99 € (64,99 €)

<sup>4</sup> Herstellerangabe laut Produktinformationsblatt <sup>5</sup> Flatrate enthält auch Festnetztelefone in über 25 europäische Länder <sup>6</sup> Flatrate ins Vodafone-Mobilfunknetz kostenfrei enthalten ✓ vorhanden — nicht vorhanden



# Flug mit Nervenkitzel

## FPV-Drohne DJI Avata 2 im Test

**Die DJI Avata 2 setzt neue Maßstäbe bei First-Person-View-Drohnen: mit verbesserter Bildqualität, optimierter Brille und längerer Flugzeit.**

Von Daniel Clören

First-Person-View-Drohnen bieten ein einzigartiges Flugerlebnis, das das herkömmlicher Drohnen in den Schatten stellt: Der Pilot trägt eine spezielle Videobrille und fliegt so aus der Cockpitperspektive. Zudem sind diese FPV-Drohnen für extreme Flugmanöver und hohe Geschwindigkeiten konzipiert, was spektakuläre Luftaufnahmen und immersive Flugerlebnisse ermöglicht.

Bei der Avata 2 setzt DJI nach der Avata (siehe Bericht auf heise online unter ct.de/yqar) abermals auf ein sogenanntes „Cinewhoop“-Modell mit kompakter Bauweise fürs Fliegen in engen Räumen, hat die neue Drohne aber an vielen Stellen

gegenüber der Vorgängerin verbessert. Die Drohne ist mit den Abmessungen von 185 × 212 × 64 Millimeter etwas flacher, dafür aber breiter und tiefer als die Vorgängerin (180 × 180 × 80 Millimeter). Außerdem ist sie mit 377 Gramm leichter als diese, die noch 410 Gramm wog. Die Avata 2 wurde nach der Drohnenklasse C1 zertifiziert und ist somit nach unseren Recherchen die erste FPV-Drohne überhaupt, die diese Zertifizierung erhalten hat.

Mit der C1-Zertifizierung darf man mit „kleinem Drohnenführerschein“ (EU-Kompetenznachweise der Klasse A1/A3) in Wohn- und Gewerbegebieten fliegen, auch in der Nähe von unbeteiligten Personen, jedoch nicht über Menschenmengen. Die Drohne muss beim Luftfahrtbundesamt registriert werden und die Betreiber-ID deutlich sichtbar sein.

Neue, nach unten und hinten gerichtete Vision-Positioning-Sensoren dienen nicht nur zur besseren Positionsbestimmung ohne GPS, sondern warnen den Piloten auch bei Rückwärtsflügen vor Hindernissen. Dabei decken sie vertikal wie

horizontal einen Sichtbereich von 78 Grad ab. Allerdings stoppt die Avata 2 im Unterschied zu anderen Drohnen mit ähnlichen Sensoren nicht automatisch.

Der USB-C-Anschluss befindet sich nicht mehr verborgen an den Rotoren, er liegt nun an der Seite der Drohne und ist damit leicht zugänglich. Darüber lassen sich nicht nur Videodaten übertragen, sondern auch der Akku laden.

Apropos: Den Akku kann man jetzt in die Drohne stecken, ohne zusätzlich ein Kabel anbringen zu müssen. Dadurch ist die Avata 2 schnell einsatzbereit. Mit 2150 mAh bietet er laut DJI eine maximale Flugzeit von 22 Minuten. Im Test konnten wir bei normalem Flug und mäßigem Wind rund 17 Minuten und 30 Sekunden fliegen, bevor wir bei einer Restkapazität von 20% zur Landung ansetzten. Die Vorgängerversion leitete im Schnitt rund 5 Minuten früher den Landevorgang ein.

### DJI Goggles 3

Die mitgelieferte FPV-Brille DJI Goggles 3 zeigt das Livebild der Drohnenkamera und fungiert als Steuerzentrale. Sie liefert in Echtzeit etliche Informationen, darunter den Flugmodus, die Höhe und Entfernung der Drohne zum Piloten, die Flugrichtung, den Akkustand der Brille und der Drohne, sowie die Übertragungsqualität und die Anzahl der verbundenen GPS-Satelliten. Mittels des 5D-Steuerknopfes an der Oberseite der Brille nimmt man Einstellungen an der Drohne vor oder passt die Steuerung den persönlichen Vorlieben an.

Die Brille ist mit zwei Micro-OLED-Panels mit 0,49 Zoll (1,24 Zentimeter) Bilddiagonale ausgestattet, die je eine Auflösung von 1920 × 1080 Bildpunkten bei einer Bildwiederholrate von bis zu 100 Hz und einer Latenz von 24 Millisekunden bieten. Die individuelle Anpassung an die Augen ist über zwei Drehknöpfe am unteren Ende der Brille möglich. Laut Hersteller lassen sich Fehlsichtigkeiten zwischen -6 bis +2 Dioptrien ausgleichen. Die Goggles 3 liefern ein gestochen scharfes Bild, das auch dünne Äste gut erkennen lässt.

Das Livebild wird mit dem proprietären DJI-System „O4“ übertragen, das in den Frequenzbereichen 2,4 GHz sowie 5,7 bis 5,85 GHz arbeitet. DJI gibt eine Reichweite von bis zu 10 Kilometer an. Den Livestream der Drohne kann man über die Brille inklusive der Telemetriedaten in 1920 × 1080 Bildpunkten mit 30 Bildern

pro Sekunde auf eine MicroSD-Karte aufnehmen. Im Test erhielten wir beim gesetzlich erlaubten Flug auf Sichtweite (rund 150 Metern) stets ein stabiles Bild, selbst wenn Bäume zwischen Drohne und Brille standen. Bei dem Test wurde der Autor durch einen Beobachter (sogenannter „Spotter“) unterstützt, dessen Aufgabe es ist, die Drohne von Hindernissen fernzuhalten.

Neu sind zwei Kameras an der Vorderseite der Brille, dank derer man zwischen der Cockpit- und der Umgebungsansicht beziehungsweise einem Bild-in-Bild-Modus (mit dem Drohnenbild als Hauptbild) wechseln kann. Letzterer ist durchaus hilfreich, um sich beim Fliegen zu orientieren. Die Kameras erzielen jedoch eine so geringe Auflösung von 720p (1280 × 720 Bildpunkte) bei 60 Bildern und liefern ein so matschiges Bild, das auch die Umgebungsansicht nur für kurze Kontrollen geeignet ist. Im Test haben wir die Brille manchmal lieber hochgeklappt, um unse- re Umgebung besser sehen zu können.

Im Unterschied zu früheren Versionen haben die DJI Goggles 3 einen integrierten Akku mit einer Kapazität von 3000 mAh, was eine Betriebsdauer von bis zu 3 Stunden ermöglicht. Aufgeladen wird der Akku über den integrierten USB-Anschluss der Brille. Im Lieferumfang ist lediglich ein USB-C-Kabel vorhanden, kein Netzteil. Trotz des Gewichts von 470 Gramm trägt sich die Brille noch angenehm.



Bild: Daniel Cloben

**DJI Avata (links) und Avata 2. Die Neuauflage ist flacher, dafür aber breiter und tiefer als die Vorgängerin. Bei beiden umfasst das stabile Gehäuse die Propeller, um sie zu schützen. Das verzeiht schon mal einen Crash.**

### Unter Kontrolle

Mit dabei ist wieder die Bewegungssteuer-einheit (Motion Controller) mit integrierten Beschleunigungssensoren, über den sich die Drohne über wenige Knöpfe sowie durch Drehen und Neigen des Handgelenks fliegen lässt. Per Steuerkreuz fliegt man verschiedene Manöver. Der „RC Motion 3“ genannte Controller liegt gut in der Hand und erlaubt eine präzise Steuerung der Drohne. So traut man sich schnell, auch durch engere Passagen zu fliegen; auch Anfänger kommen mit der Flug-steuerung nach kurzer Eingewöhnungszeit gut klar.

Zusätzlich hat der Controller jetzt einen Drehknopf, um den Flugmodus zu wechseln. Zudem besteht nun die Mög-lichkeit, die Drohne über den Gashebel auch rückwärts fliegen zu lassen. Der Con-

troller fungiert auch als Maus der FPV-Brille, mit der man sich intuitiv durch die Menüs klickt. Die Avata 2 funktioniert auch mit dem optionalen „FPV Remote Controller 3“, der Steuerknüppel hat.

### In der Luft

Beim Start merkt man sofort, dass die Drohne wesentlich leiser ist als ihre Vor-gängerin. Gemessen haben wir bei rund einem Meter Abstand eine Lautstärke von 78,1 dB(A), während die Vorgängerin mit 89,9 dB(A) kreischte.

Die Avata 2 steht nach dem Start stabil in der Luft, die Windwiderstandsfähigkeit liegt bei 10,7 m/s (38,5 km/h), was Wind-stärke 5 entspricht. Die Fluggeschwindigkeit liegt im Normalmodus bei 28,8 km/h und im Sportmodus bei 57,6 km/h. Im manuellen Flug sind bis zu 97,2 km/h drin.

# Hype oder Hilfe?

Mit Künstlicher Intelligenz produktiv arbeiten

- 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

[shop.heise.de/ct-ki23](http://shop.heise.de/ct-ki23)



Heft + PDF  
mit 28% Rabatt



**In der mitgelieferten FPV-Brille DJI Googles 3 sind zwei Frontkameras eingebaut, über die man auf Knopfdruck die Umgebung sieht.**

Ein neuer Flugmodus namens „Easy ACRO“ kommt gleich mit drei Betriebsarten. Im Untermodus „Schieben“ kann man mit dem Steuerkreuz einfach gerade nach oben und unten sowie seitwärts fliegen. Im „Drift“-Betrieb dreht sich die Drohne im Flug schnell um 180 Grad in die Richtung, in die der Joystick gedrückt wird und fliegt dabei noch ein Stück in die vorherige Flugrichtung. Mit „Salto“ vollführt die Avata 2 schließlich Loopings in alle gewünschten Richtungen. Die Modi machen Spaß: Die schnellen Drehungen um 180 Grad Drehungen vermitteln ein tolles Gefühl von Geschwindigkeit und Bewegungsfreiheit, während Saltos dank FPV schon mal einen Adrenalinschub auslösen.

## Aufnahmen

Die Avata 2 ist mit einer in einer Achse stabilisierten Kamera ausgestattet, die einen 1/1,3-Zoll-Sensor mit 12 Megapixeln, eine feste Blende von  $f/2.8$  und eine Brennweite von 12 mm Kleinbildäquivalent bietet. Aufgrund des neuen Sensors liefert die Drohne eine erheblich verbesserte Bildqualität im Vergleich zum Vorgängermodell, das noch einen 1/1,7-Zoll-CMOS-Sensor hatte. Das Bild ist klarer und rauscht weniger, außerdem sind die Farben kräftiger.

Die Kamera nimmt Videos in UHD (3840 × 2160 Pixel) mit 60 Bildern pro Sekunde auf, in Full HD (1920 × 1080 Pixel) sowie 2,7 K (2704 × 1520 Pixel) sind es jeweils 120 Bilder pro Sekunde. Die Aufnahmen legt die Avata 2 im MP4-Format, H.264- oder H.265/HEVC-kodiert, auf der internen 46 GByte großen Festplatte oder auf einer MicroSD-Karte ab.

Zusätzlich zum Standard-Farbprofil unterstützt die Kamera das Profil 10-Bit D-Log M für mehr Spielraum bei der Farbbearbeitung in der Postproduktion. Zur Bildstabilisierung bietet sie Optionen wie Rocksteady 3.0+ und HorizonSteady. Schaltet man die Stabilisierung ab und nutzt externe Programme wie GyroFlow (kostenlos für Windows, macOS, Android und iOS erhältlich, siehe [ct.de/yqar](#)), erhält man eine erweiterte und anpassbare Bildstabilisierung. Fotos nimmt die Drohne im JPEG-Format mit einer maximalen Auflösung von 4000 × 3000 Pixeln auf.

Die Registrierung der Drohne erfolgt über die kostenlose „DJI Fly“-App (für Android und iOS verfügbar), über die man auch neue Firmware aufspielt. Über die App kann man zusätzlich nicht nur direkt die Videodaten der Drohne via Quick-Transfer auf das Mobilgerät übertragen, sie dient auch Zuschauern als Monitor.

## Lieferumfang

Das Kit „Fly More Combo (ein Akku“, die Einstiegsversion der Avata 2 mit DJI Googles 3, „RC Motion 3“-Controller und einem Akku für die Drohne, kostet 999 Euro. Im Lieferumfang befindet sich außerdem ein USB-C-Kabel. Alternativ gibt es das Kit „Fly More Combo (drei Akkus“ für 1199 Euro, das zusätzlich eine Zweiwege-Ladestation und eine Transporttasche mitbringt. Zudem erhält man hier, wie der Name schon sagt, drei Drohnen-Akkus. Ein Netzteil sucht man in beiden Paketen vergeblich, DJI empfiehlt ein Modell mit 30 bis 65 Watt.

## Fazit

DJI hat die Avata 2 gegenüber ihrer Vorgängerin deutlich verbessert. Das beginnt damit, dass man aufgrund des neuen Einschubs für den Akku an der Drohne und des integrierten Akkus in der Brille nun schneller in der Luft ist. Vor allem macht das Fliegen aber mehr Spaß, da sich das neue Modell wesentlich präziser steuern lässt und eine bessere Bildqualität.

Weitere Pluspunkte sind die längere Flugzeit, der leisere Betrieb und vor allem der „Easy ACRO Modus“, dessen drei Betriebsarten für viel Spaß beim Fliegen sorgen. Die verbesserte Ergonomie und die höhere Präzision des Motion 3 Controllers macht die DJI Avata 2 schließlich wesentlich zugänglicher für FPV-Drohnen-Einsteiger. Negativ bleibt anzumerken, dass DJI kein Netzteil mitliefert.

Alles in allem ist die DJI Avata 2 eine ausgezeichnete Wahl für Drohnenenthusiasten, die actiongeladene Luftaufnahmen und viel Spaß beim Fliegen haben möchten.

(nij@ct.de) **ct**

**heise-online-Bericht zur DJI Avata, Website zu „Gyroflow“: [ct.de/yqar](#)**

## DJI Avata 2

FPV-Drohne	
Hersteller	DJI, <a href="#">dji.com</a>
Video-auflösungen	4K (16:9): 3840 × 2160 Pixel mit 30/50/60 fps; 4K (4:3): 3840 × 2880 Pixel mit 30/50/60 fps; 2,7 K (16:9): 2688 × 1512 Pixel; 2,7 K (4:3): 2688 × 2016 Pixel; Full HD (16:9): 1920 × 1080 Pixel mit 30/50/120 fps; Full HD (4:3): 1440 × 1080 Pixel mit 30/50/120 fps
Foto-auflösungen	4:3: 4000 × 3000 Pixel (12 MP); 16:9: 4000 × 2256 Pixel (12 MP)
Lieferumfang	DJI Avata 2, Akku, DJI Googles 3, Kabel (USB-C auf USB-C); „Fly more Combo (drei Akkus“ zusätzlich 2 weitere Akkus, Zweiwege-Ladestation, Tragetasche
Preis	999 € / 1199 € Fly More Combo (ein Akku) / Fly More Combo (drei Akkus)



**Der neue Controller „RC Motion 3“ (links) ist kleiner als sein Vorgänger und liegt besser in der Hand.**



»DAFÜR  
LEBE ICH  
ZU GERNE.«

Marcel Reif  
Sportjournalist und -kommentator  
fotografiert von Christian Holzknecht, [www.christianholzknecht.com](http://www.christianholzknecht.com)

1 von 8  
Männern  
erkrankt an  
Prostatakrebs

WAS MANN ÜBER PROSTATAKREBS WISSEN SOLLTE.

[WWW.BLUERIBBON-DEUTSCHLAND.DE](http://WWW.BLUERIBBON-DEUTSCHLAND.DE)

PARTNER:



IHRE SPENDE HILFT:





# Doppel-Display-Ding

## Asus ZenBook Duo (UX8406M) mit zwei OLED-Touchscreens

**Das ZenBook Duo (UX8406M) hat zwei gleich große OLED-Touchscreens. Diesen Dualismus sieht man ihm auf den ersten Blick aber nicht an und es lässt sich ohne Verrenkungen wie ein klassisches Notebook nutzen.**

Von Florian Müssig

Den Namenszusatz Duo trugen bereits mehrere Edel- und Gaming-Notebooks von Asus, die jeweils mehr als einen Bildschirm aufweisen konnten: Im Rumpf fand man ein Zweitdisplay voller Breite, aber mit nur etwa halber Zeilenzahl – insgesamt standen also rund 1,5 Bildschirme zur Verfügung.

Das ZenBook Duo (UX8406M) ist das erste Asus-Gerät mit zwei gleich großen Displays: Sowohl im Deckel als auch im Rumpf findet man je ein 14-Zoll-OLED im 16:10-Format, das Eingaben per Finger

oder Stift entgegennimmt. Das einzige andere aktuell erhältliche Dual-Screen-Notebook mit zwei identisch bemessenen Displays ist Lenovos Yoga Book 9i [1].

Damit enden die Gemeinsamkeiten jedoch. Denn Lenovo legt dem Yoga Book 9i einen Ständer und eine Bluetooth-Tastatur mit in den Karton, die man separat transportieren und vor jeder Nutzung ums Gerät drapieren muss. Das ZenBook Duo lässt sich hingegen einfach wie ein herkömmliches Notebook nutzen: aus der Tasche ziehen, Deckel hochklappen, lostippen.

Das funktioniert, weil Asus den Zweitbildschirm weniger prominent ins Rampenlicht setzt als Lenovo. Die mitgelieferte Tastatur verschwindet nicht nur zum Transport zwischen den beiden Gerätehälften, sondern ihre Handballenablage mit Touchpad deckt den unteren Bildschirm vollständig ab. Wer nicht weiß, dass es ein zweites Display hat, hält das ZenBook Duo für ein ganz normales Single-Screen-Notebook. Allerdings fällt es im Vergleich zu anderen aktuellen Notebooks eher dicklich aus und wiegt auch etwa 400 Gramm respektive 30 Prozent mehr. Absolut betrachtet ist es mit 1,7 Kilogramm aber immer noch kein untransportables Schwergewicht.

Magnete halten die Tastatureinheit physisch in Position. Eine Reihe federnder Kontaktstifte (Pogo-Pins) bindet sie elektrisch sowohl zur Datenübertragung als auch zum Laden des Akkus an. Nimmt man die Tastatur ab, funkts sie per Bluetooth und dank USB-C-Buchse kann man sie auch unabhängig vom Notebook laden.

Unter der Tastatur kommt das zweite Display zum Vorschein. Der Zusatzbildschirm aktiviert sich automatisch, meldet sich wie ein Zusatzmonitor in Windows an und lässt sich auch ebenso verwenden – plus Stifteingabe. Es gibt je nach Platz und Bedarf zwei Möglichkeiten, die beiden Bildschirme zu nutzen. Man kann das tastaturlos gewordene ZenBook Duo stehen lassen, sodass der untere Bildschirm parallel zur Schreibtischoberfläche bleibt, oder das komplette Gerät über einen integrierten Ständer aufstellen. Der untere Bildschirm wechselt dann in die übliche Position des Notebookschirms, der zweite schwebt darüber.

### Asymmetrie

Ästhetisch anspruchsvollen Menschen fällt dabei auf, dass die Scharniere die beiden Gerätehälften nicht symmetrisch ver-

binden. Asus hat das so gewählt, damit ein möglichst normaler Betrieb als Ein-Bildschirm-Notebook möglich ist.

Diese Bauform verhindert aber in der Praxis, dass man das ZenBook Duo um 90 Grad gedreht mit zwei Hochformat-displays wie ein aufgeklapptes Buch vor sich aufstellt. Das ist grundsätzlich zwar möglich und Asus zeigt das in Werbe-materialien auch. Doch das Gesamtkonstrukt ist dermaßen wackelig, dass es bei leichtem Windzug umkippt. An Stiftbedienung ist nicht zu denken, ohne dabei mit der anderen Hand von hinten zu stützen.

In der von Asus auf Fotos gezeigten Version – Deckel links, Rumpf rechts – befinden sich obendrein beide USB-C-Buchsen unerreichbar an der Unterkante, sodass kein Netzteil angestöpselt werden kann. In den anderen Modi geht das; zudem steht das Gerät dort stabil und mit in weitem und sinnvollem Bereich variierbarem Aufstellwinkel.

In Innenräumen empfiehlt sich der Betrieb mit Ständer: Wer das untere Display parallel zur Schreibtischfläche benutzt, sieht in dunklen Bildbereichen wegen der spiegelnden Oberfläche hauptsächlich die Deckenbeleuchtung. Die Bildschirme sind durch Acrylglasschutz und damit härter als das Tastaturgehäuse, doch das hilft wahrscheinlich wenig, wenn sich größere Sandkörner zwischen Bildschirm und Tastatur verirren, weil die dann als selbstzerstörendes Mahlwerk agieren. Es schadet deshalb nicht, vor dem

Tastaturauflegen erst mal Ausschau nach größerem Partikeln zu halten und diese zu entfernen.

Die in der Tabelle angegebenen Akkulaufzeiten beziehen sich auf den Betriebsmodus als klassisches Notebook mit nur einem Bildschirm. Nimmt man den zweiten hinzu, haben wir als Maximalwert nur 10 statt über 18 Stunden Laufzeit gemessen. Wie bei allen OLED-Geräten variieren die Akkulaufzeiten mit dem dargestellten Bildschirminhalt, weil jedes Pixel selbst leuchtet und umso mehr Strom verbraucht, je heller es strahlen muss. Wer Betriebssystem, Anwendungen und Webseiten im Dark Mode nutzt, kommt länger ohne Netzteil aus als bei weißem Dokumentenhintergrund. Beide Bildschirme überzeugen mit sattem Schwarz, einer hohen maximalen Helligkeit und einer vollständigen Abdeckung des DCI-P3-Farbraums. Hinzu kommen das anwen-dereinfachere Seitenverhältnis von 16:10 und flüssig-flutschige Bildwiederholraten von 120 Hertz.

Laut seiner Produktwebseite verkauft Asus das ZenBook Duo (UX8406M) ab 1600 Euro, doch solche Ausstattungsvarianten trafen wir bis Redaktionsschluss nicht im Handel an. Stattdessen gibt es ein 2000-Euro-Modell mit Core Ultra 7 155H, 16 GByte Arbeitsspeicher und 1-TByte-SDD oder das hier getestete 2500-Euro-Topmodell mit etwas schnellerem Core Ultra 9 185 und jeweils verdoppelten Speicherkapazitäten.

Die Schnittstellenauswahl taugt: Zu zwei Thunderbolt-fähigen USB-C-Buchsen gesellt sich eine im eckigen Typ-A-Format, Monitore oder Beamer lassen sich per HDMI ankoppeln und Asus hat auch die analoge Audiobuchse nicht vergessen. Biometrisches Einloggen klappt per Windows-Hello-Webcam; einen Fingerabdruckleser gibt es hingegen nicht.

Die Tastatur gefällt mit ordentlichem Anschlag, doch außer dem Cursorblock hat Asus auch die Entertaste in eine Zeile gequetscht – obwohl das restliche QWERTZ-Layout samt Umlauttasten lokalisiert wurde. Die Tastatur ist beleuchtet, was zwar bei Notebooks dieser Preisklasse selbstverständlich ist, aber nicht bei akkubetriebenen Funktastaturen von Hybridnotebooks.

Die Lüfter hört man bei geringer Systemlast nicht; hat die CPU was zu tun, rauscht es mit bis zu 1,1 sone. Unschön: Bei unserem Testgerät störte in Lastsituationen ein Spulenpfeifen, das hinsichtlich Lautstärke und Tonlage mitunter an das Rattern eines defekten Lüfters erinnerte. Das Geräusch trat bei warmgelaufenem Notebook und CPU-Last weniger auf als bei frisch eingeschaltetem Notebook oder 3D-Last. Es verschwand aber nie vollständig und war bis zu 0,2 sone laut.

Asus vermutete auf Nachfrage ein Montagsgerät und versprach eine Kontrolle durch Servicetechniker, was vor Redaktionsschluss nicht mehr klappte. Daher an dieser Stelle der allgemeingültige Hin-



**Klappt man das ZenBook Duo auf, kann man wie bei herkömmlichen Notebooks sofort loslegen. Das zweite Display wird erst sicht- und nutzbar, wenn man die Tastatur abnimmt und vor dem Gerät platziert. Je nach persönlicher Vorliebe und zur Verfügung stehendem Platz lässt sich das Gerät dank integriertem Ständer auch so aufstellen, dass man senkrecht auf beide Bildschirme gucken kann.**



**Zusammengeklappt erscheint das ZenBook Duo wegen der Tastatur zwischen den beiden Hälften im Vergleich zu anderen aktuellen Notebooks etwas moppelig.**

weis: Wer ein Notebook online kauft, hat durch das gesetzlich verbriefte 14-tägige Rückgaberecht die Chance, das Gerät in den eigenen vier Wänden auf Herz und Nieren zu überprüfen, eventuelle Störfaktoren zu entdecken und das Gerät gegen volle Kaufpreiserstattung zurückzugeben, wenn man mit solchen nicht klar kommt.

## Fazit

BravoAsus: Das ZenBook Duo (UX8604M) hebt sich von anderen Dual-Screen-Geräten und auch von Foldables durch eine asymmetrische Scharniertechnik ab – und funktioniert genau deshalb sowohl als Ein-

als auch Zweischirmgerät ohne größere Einschränkungen. Wo man bei der Konkurrenz erst umständlich mit Ständer- und Tastatur-Beilage hantieren muss, bevor

man loslegen kann, startet man hier ebenso zügig wie bei einem klassischen Notebook: aufklappen und los. Den zweiten Bildschirm nimmt man dynamisch dazu, wenn es der Workflow erfordert und der Platz hergibt. Mindestens 2000 Euro sind eine Stange Geld, doch im Markt tummeln sich etliche andere kompakte Notebooks, die mehr kosten und weniger wiegen – aber halt auch nur einen einzigen 14-Zoll-Bildschirm haben. (mue@ct.de) **ct**

## Literatur

- [1] Florian Müssig, OLED-Schmetterling, Lenovos Dual-Screen-Notebook Yoga Book 9i im Test, c't 28/2023, S. 100

## Asus ZenBook Duo (UX8604M): Daten und Testergebnisse



**Liegt die Tastatur auf dem unteren Bildschirm auf, dann nimmt sie per Pogo-Pins statt Funk Kontakt zum Notebook auf und wird dabei auch geladen.**

getestete Konfiguration		UX8406MA-PZ058X
Lieferumfang		Windows 11 Pro, Netzteil, Hülle, Stift, Tastatur
<b>Schnittstellen (V = vorne, H = hinten, L = links, R = rechts, U = unten)</b>		
HDMI / DisplayPort / Kamera (Hello)	R / - / ✓ (✓)	
USB / LAN / Klinke	3 × L (2 × Typ C) / - / R	
Kartenleser / Strom / Docking-Anschluss	- / - / -	
USB-C: 40 Gbit/s / 10 Gbit/s / DisplayPort / Laden	✓ / ✓ / ✓ / ✓	
<b>Ausstattung</b>		
Display	2 × 14 Zoll (35,6 cm) 2880 × 1800, 16:10, 242 dpi, 120 Hz, 4 ... 343 cd/m², spiegelnd, OLED, Touch	
Prozessor	Intel Core Ultra 9 185H (6 P-Kerne + 8 E-Kerne + 2 LP-Kerne)	
Hauptspeicher / SSD	32 GByte LPDDR5 / WDC SN740 (2048 GByte)	
KI-Einheit	Intel AI Boost	
Grafikeinheit (Speicher)	Intel Arc (vom Hauptspeicher)	
Sound	Realtek ALC294	
Mobilfunk / LAN / WLAN + Bluetooth	- / - / Intel AX211 (Wi-Fi 6E, 2 Streams)	
Touchpad (Gesten) / Fingerabdruckleser	HID (max. 4 Finger) / -	
<b>Gewicht, Maße, Stromversorgung</b>		
Gewicht / Größe / Dicke mit Füßen	1,7 kg / 31,3 cm × 21,8 cm / 2,3 ... 2,4 cm	
Tastaturhöhe / Tastenraster / Beleuchtung	1,9 cm / 19 mm × 18,5 mm / ✓	
Akku (Ladestopp < 100% einstellbar)	75 Wh Lithium-Ionen (✓)	
Netzteil (Notebookzuleitung abnehmbar)	65 W, 330 g (-)	
bei USB-PD: 5 / 9 / 12 / 15 / 20 Volt mit ...	3 / 3 / - / 3 / 3,25 Ampere	
<b>Leistungsaufnahme</b>		
Suspend / ausgeschaltet	0,8 W / 0,5 W	
ohne Last: Display aus / 100 cd/m² / max.	2,5 W / 9,6 W / 10,2 W	
CPU-Last / Video / 3D-Spiele (max. Helligkeit)	68 W / 17 W / 49 W	
max. Leistungsaufnahme / Netzteil-Powerfactor	68 W / 0,54	
<b>Laufzeit, Geräusch, Benchmarks</b>		
Laufzeit Idle (100 cd/m²) / Video (200 cd/m²) / 3D (max.)	18,2 h / 7,2 h / 2 h	
Ladestand nach 1h Laden	70 %	
Geräusch ohne / mit Rechenlast	<0,1 sone / 1,1 sone	
Massenspeicher lesen / schreiben	4048 / 4001 MByte/s	
WLAN 6 GHz / 5 GHz / 2,4 GHz (20m)	881-965 / 883-1227 / 327-393 Mbit/s	
Qualität Audioausgang / Dynamikumfang	⊕⊕ / 100 dBA	
CineBench 2024 (GPU / 1T / nT)	- / 107 / 463 Punkte	
GeekBench 6.2 (Single / Multi)	2486 / 13.506 Punkte	
3DMark: Fire Strike / Time Spy / Solar Bay	7691 / 3340 / 12.269 Punkte	
<b>Preis und Garantie</b>		
Straßenpreis Testkonfiguration	2500 €	
Garantie	2 Jahre	
⊕⊕ sehr gut    ⊕ gut    ○ zufriedenstellend    ⊖ schlecht    ⊖⊖ sehr schlecht    ✓ vorhanden    - nicht vorhanden    k. A. keine Angabe		

Online-Konferenz am 18. Juni

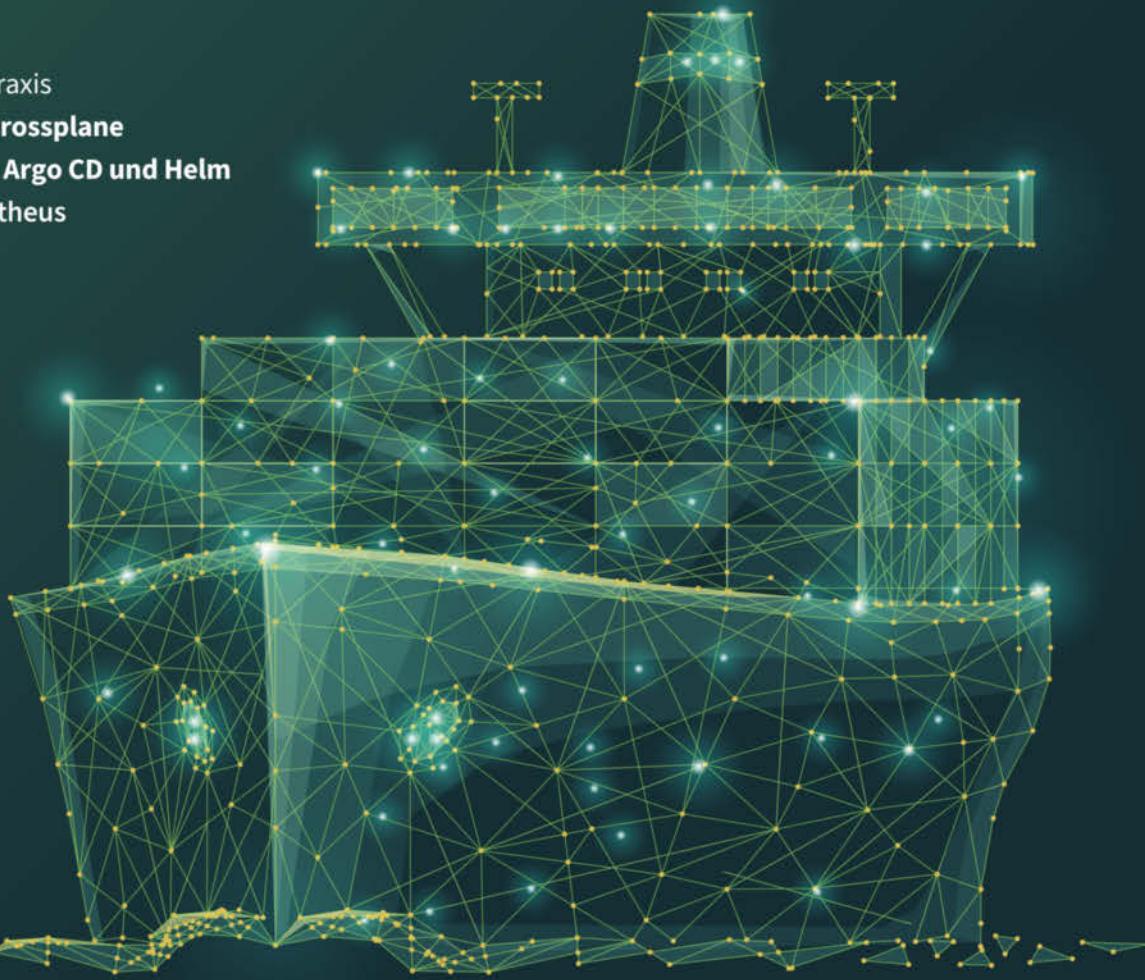
# Mastering Kubernetes

Kubernetes-Wissen aus der Praxis: die richtigen Werkzeuge, die erfolgreichsten Strategien.

Mit der ganztägigen Online-Konferenz Mastering Kubernetes erfahren Sie von den **jüngsten Trends** der Container-Orchestrierung und lernen, wie Sie Kubernetes in der Praxis einsetzen. So meistern Sie die wichtigsten **Tools und Techniken** der Cloud-nativen Welt rund um Kubernetes!

## Die Themen:

- Erfahrungen aus der Praxis
- Automatisierung mit **Crossplane**
- Clusterverwaltung mit **Argo CD und Helm**
- Monitoring mit **Prometheus**



**Jetzt Frühbucher-Ticket sichern:**  
[www.heise-academy.de/konferenzen/mastering-kubernetes-2024](http://www.heise-academy.de/konferenzen/mastering-kubernetes-2024)





# 3D-Einfach-Drucker

## Die bedienfreundlichen 3D-Drucker Prusa MK4 und Bambu Lab P1S im Vergleich

**Bei 3D-Druckern kann man viel falsch einstellen: Bett Höhe, Drucktemperatur, Beschleunigungen, Einzugslänge und E-Steps. Nicht so bei unseren Testgeräten, die alle heiklen Werte selbst ausmessen und konfigurieren. Damit wird 3D-Druck endlich alltagstauglich.**

Von Johannes Börnsen und Pina Merkert

**D**er Zapfen greift in das Langloch und die Spiralfeder drückt beide Teile in die Nut. Na klar, warum bin ich nicht gleich darauf gekommen? Ist der Prototyp noch bis zur Deadline am Mittag zu schaffen? O ja, denn im Labor stehen zwei Drucker der neuesten Generation, die nicht nur Anfängern viel Voraarbeit abnehmen, sondern auch Profis locker doppelt so schnell ans Ziel bringen.

3D-Drucker produzieren Teile schneller, als man sie per Hand basteln könnte, man braucht keine Werkstatt und die Prä-

zision ist meist auch besser. Die Teile müssen aus Plastik sein, aber weil Kunststoffe enorm vielseitig sind, ist das keine schlimme Einschränkung. Die große Einschränkung war vielmehr seit vielen Jahren, dass man an den Maschinen stundenlang herumfricken musste, bis sie überhaupt vernünftig liefen. Dafür brauchte man eine Menge Wissen über die Technik [1]. Mit einem c't-Abo war das zu schaffen, aber außer Maschinenbauern und technikbegeisterten Nerds konnte man 3D-Drucker niemandem empfehlen.

Mit zwei neuen Geräten im Testlabor müssen wir diese lange gültige Erfahrung aber infrage stellen: Der Prusa MK4 und der Bambu Lab P1S automatisieren nämlich fast alles, was man bei 3D-Druckern bisher falsch machen konnte. Man muss nicht mehr wissen, warum das, was sie tun, richtig ist. Kombiniert mit einer anschaulichen Anleitung und durchdachter Software bekommen Anfänger und Profis Geräte, die die meiste Zeit einfach funktionieren.

Das gilt allerdings nur für gut entworfene Druckvorlagen und das gutmütige Rohmaterial PLA. Im Testlabor brachten wir beide Maschinen an Grenzen ihrer Druckqualität und darüber hinaus. Wenn Sie wissen wollen, wann beide nur noch Spaghetti produzieren, müssen Sie nur weiterlesen.

### Prinzipiell unterschiedlich

Der als Bausatz knapp 900 Euro teure Prusa MK4 und der bereits aufgebaute Bambu Lab P1S für 750 Euro unterscheiden sich nicht nur im Preis: Das mechanische Prinzip, die Geschwindigkeit und die Bedienung sind komplett unterschiedlich.

Der Prusa ist die vierte Version eines Designs, das auf den legendären RepRap (Replicating Rapid Prototyper), den ersten Open-Hardware-3D-Drucker, zurückgeht. Sein Druckbett bewegt sich vor und zurück, der Kopf von links nach rechts, und die Wellen, auf denen er rollt, können nach oben fahren. 3D-Drucker dieser Bauart werden meist als Bettschubser bezeichnet. Der Vorteil des Designs liegt darin, dass der Rahmen aus flachen Teilen bestehen kann, weil bei Bewegungen keine seitlichen Kräfte wirken. Da der Prusa nur die schlanken Rahmenteile braucht, bringt er kein Gehäuse mit. Das müsste aus vielen zusätzlichen Bauteilen bestehen und zumindest für PLA braucht ein 3D-Drucker typischerweise kein Gehäuse.



**Der Prusa MK4 ist ein Bettschubser. Als Y-Achse bewegt sich das komplette Druckbett nach vorne und hinten. Da der Druckkopf sich nur seitlich bewegt, muss der Rahmen nur in diese Richtung Kräfte aufnehmen, was eine offene Konstruktion erlaubt. Wir würden ihn aber lieber in ein Gehäuse stellen.**

Bambu Lab ist erst 2022 in den 3D-Drucker-Markt eingestiegen. Der P1S bewegt mit dem CoreXY-Prinzip den Druckkopf mit langen Riemen seitlich und vor und zurück. Zwei Trapezspindeln fahren das ganze Druckbett langsam nach unten weg. CoreXY braucht oben einen steifen Rahmen für die Motoren und Umlenkrollen. Da die Z-Achse darunter Platz finden muss, besteht der für die Stabilität wichtige Rahmen schon aus fast allen Teilen für ein Gehäuse. Es gibt den Drucker auch unter dem Namen P1P ohne Gehäusewände. Allein der Staubschutz rechtfertigt aber schon den Aufpreis für das Gehäuse. Zusätzlich ergibt sich ein warmer Raum ohne Luftzug, was für Kunststoffe wie PETG, ASA, ABS, CPE oder Nylon nützlich sein kann. Dazu später mehr.

### Gemeinsamkeiten

Die Drucker haben aber auch einiges gemeinsam: Beide haben ein beheiztes Druckbett, das bis zu 120 °C (Prusa) oder

bis zu 100 °C (Bambu Lab) heiß werden kann. Als Druckbett ist jeweils eine mit dem Kunststoff PEI beschichtete Federstahlplatte dabei, von der sich Drucke ohne Spachtel lösen lassen. Leichtes Hin- und-her-Biegen der Platte reicht üblicherweise. Beide nutzen Direct-Drive-Extruder, bei denen ein Motor am Kopf das Filament fördert. Diese Konstruktion ermöglicht einen sehr kurzen Weg zwischen Antriebsrad und Düse, weshalb sie recht gut mit flexiblen Kunststoffen wie TPU klarkommen. Beide haben ein Hotend vollständig aus Metall, für das die Hersteller maximal 290 °C (Prusa) und 300 °C (Bambu Lab) angeben. Da die Hotends im heißen Bereich auf Teflon verzichten, gasen bei mehr als 250 °C keine giftigen Fluorverbindungen aus dem Teflon aus. Beide erkennen, wenn die Filamentrolle leer läuft und beide können einen Druck nach einem Stromausfall fortsetzen.

Große Ähnlichkeit hat auch die Slicer-Software, die aus einem 3D-Modell in einer STL- oder 3MF-Datei Anweisungen für den Drucker berechnet. Ein solches Programm zerlegt das Modell in Schichten von 0,08 bis 0,3 Millimeter Dicke (einstellbar) und findet selbst einen guten Weg, wo entlang die Düse fahren soll. Prusa hat vor vielen Jahren schon einen Fork der Open-Source-Software Slic3r angefangen und den quelloffenen PrusaSlicer zum beliebtesten Slicer neben dem Konkurrenten Cura (betreut von UltiMaker) weiterentwickelt. Bambu Lab hat einen Fork von PrusaSlicer namens „Bambu Studio“ erstellt, die Voreinstellungen für die Prusa-Drucker durch die eigenen Maschinen ersetzt und ein paar eigene Features ergänzt. Beide Programme sind weiterhin freie Software und von beiden gibt es Community-Forks (SuperSlicer ist ein

Fork von PrusaSlicer und OrcaSlicer ist ein Fork von BambuStudio).

### Bedienung

Bei der Bedienung merkt man dem Prusa an, dass die Firma zu den Pionieren des 3D-Drucks gehört. Die gedruckte Anleitung ist umfangreich und anschaulich bebildert und die Webseite ergänzt sie um Videos zu Einrichtung, Wartung und Betrieb. Technische Details werden gut erklärt und nicht versteckt, wie man das leider von anderen Produkten kennt.

Prusa setzt bei seinen Kunden kein technisches Vorwissen voraus, wohl aber Interesse und die Bereitschaft, die Anleitung auch zu lesen. Das merkt man beispielsweise bei der Einrichtung der WLAN-Zugangsdaten. Dafür muss man eine Textdatei auf einem USB-Stick editieren. Die Anleitung erklärt das so kleinteilig, dass es jeder hinbekommt. Aber der Vorgang ist weit weg von Apps, die sich ganz intuitiv erschließen. Seit Version 2.7 kann außerdem PrusaSlicer die Datei erstellen.

Den intuitiven Weg beschreitet Bambu Lab und liefert eine App mit, die sich tatsächlich mit ein wenig Vorwissen über 3D-Druck auch ohne Anleitung bedienen lässt. Die App ist auch wesentlich



**Der Bambu Lab P1S arbeitet nach dem CoreXY-Prinzip. Das heißt, das Druckbett fährt nach unten und die schweren Motoren der X- und Y-Achse sind fest am Rahmen verschraubt. Das ermöglicht rasante Druckgeschwindigkeiten, mit denen er den schon schnellen Prusa überholt.**

## c't kompakt

- Beide Testgeräte kalibrieren die wichtigsten Einstellungen automatisch. So kommen auch Anfänger schnell zu 3D-Druck-Erfolgen.
- Unterschiede gibt es beim Preis, beim empfehlenswerten Zubehör und beim Stil der Bedienung.
- Dank Direct-Drive-Extrudern, Full-Metal-Hotends und bis mindestens 100 °C beheiztem Bett eignen sich der Bambu Lab P1S und der Prusa MK4 für anspruchsvolle Maker.



**Das grafische Display vom Prusa MK4 zeigt ein übersichtliches Menü, das man mit dem Drehknopf rechts bedient. Im Praxistest fanden wir den Start der Drucke mit USB-Stick und Knopf am bequemsten, übers Webinterface funktioniert es aber auch.**

schöner und übersichtlicher als das mit Pfeiltasten bedienbare Display direkt am Drucker.

Wir empfanden die Usability beim Bambu Lab etwas polierter als beim Prusa. Zum Teil kommt das aber auch von der datenschutzfreundlichen Grundeinstellung beim Prusa. Standardmäßig verbindet der sich mit keinem Netz und braucht das auch nicht, weil man die Druckaufträge einfach mit PrusaSlicer auf den mitgelieferten USB-Stick schreibt und den in den Drucker steckt. Nach nur einem Druck auf den Drehknopf legt der Drucker los.

Aktiviert man WLAN (nur 2,4 GHz), kann man aus dem Heimnetz auf Prusa-Link zugreifen. Das ist ein Webinterface, das ein paar Infos anzeigt, die sich sonst auf dem Display finden. Man kann den USB-Stick dann im Drucker stecken lassen und Dateien übers Netz hochladen. Das geht auch bequem mit einem Knopf im PrusaSlicer. Allerdings ist die Datenübertragung so langsam, dass es bei großen Drucken schneller ist, den USB-Stick zu überspielen und per Hand zum Drucker zu tragen.

Zusätzlich kann man danach auch noch PrusaConnect aktivieren. Für die Einrichtung zeigt der Drucker einen QR-Code auf dem Display an, den man nur mit dem Smartphone scannen muss. Prusa-Connect ist ein Clouddienst, mit dem man von überall an den Drucker herankommt. Die Daten laufen dann über den Server von Prusa. Die meisten stolzen Besitzer des MK4 dürften kein Problem damit haben, dass Prusa theoretisch sehen kann, was der Drucker produziert. Wie meistens bei Clouddiensten hat die Firma höchste

wahrscheinlich Besseres zu tun, als in den Nutzerdaten zu wühlen. Es ist aber ein Qualitätsmerkmal, dass Prusa Datensparsamkeit voreinstellt und die Cloudfunktion nur anbietet. Eigentlich sollten alle Produkte mit datenschützenden Voreinstellungen geliefert werden.

Auf dem Bambu Lab P1S lassen sich Druckdaten zwar ebenfalls auf einer Speicherplatte zum Drucker tragen und über die kleinen Pfeiltasten am Display starten. Man merkt dem Prozedere aber an, dass Bambu Lab sich das anders gedacht hat: Drucker und Slicer werden mit einem Account bei Bambu Lab verbunden. Der Slicer zeigt dann alle aktuellen Maschinenparameter des Druckers an und überträgt die Daten übers Netzwerk an den Drucker, der ohne weiteres Zutun mit dem Auftrag beginnt. Steht der Drucker außer Reichweite, lässt sich der Druckfortschritt über eine im Druckraum verbaute Kamera überwachen, die alle zwei Sekunden ein Bild an den Slicer sendet.

### Multi-Material

Rüstet man den P1S mit dem optional erhältlichen Automatic Material System (AMS) aus, kann man mit bis zu vier Filamenten gleichzeitig drucken, ohne manuell die Filamentrolle wechseln zu müssen. Der Drucker kann den Kunststoffdraht dann selbstständig zum Druckkopf führen und bei einem Farb- oder Materialwechsel wieder zurückziehen. Das ist beispielsweise praktisch, um Beschriftungen in einer anderen Farbe ausführen zu können. Auch leicht ablösbares Stützmaterial lässt sich nutzen. Der Drucker führt dann die letzten beiden Schichten zwischen Stützen und Werkstück aus wasserlöslichem PVA-Filament aus, was sich leichter vom fertigen Druck lösen lässt und glattere Unterseiten an den unterstützten Stellen ergibt.

In der Praxis hat das AMS in den allermeisten Fällen problemlos funktioniert. Gelegentlich reichte die Kraft jedoch nicht aus, um das Material zuverlässig aus dem Druckkopf zu ziehen. Nach einem kurzen manuellen Eingriff konnten wir den Druck jeweils fortsetzen.

Nach jedem Filamentwechsel muss der Drucker die Düse vom alten Filament befreien und drückt dazu ein paar Gramm Material durch die heiße Düse, bis nur noch das nachfolgende Filament nachkommt. Dieser Vorgang produziert bei jedem Wechsel überschüssiges Plastik, das als Müll aus einer Öffnung auf der Rückseite fällt. Außerdem benötigt jeder Wechsel rund eineinhalb Minuten Zeit. Drucke, bei denen das AMS häufig zwischen unterschiedlichen Filamenten wechselt, können die Druckzeit schnell vervielfachen und erzeugen eine durchaus beachtliche Menge Müll.

Prusa hat ein zum AMS sehr ähnliches System namens „Multi-Material-Upgrade 3“ (MMU3) im Angebot. Mit dem Vorgänger MK3S funktioniert das Upgrade bereits, beim MK4 gab es wegen einer leicht anderen Düsengeometrie aber Probleme, weshalb Prusa das MMU3-System für den MK4 noch nicht ausgeliefert hat.

### Für Anfänger nur PLA

Mit dem Standardkunststoff PLA sind beide Drucker sehr anfängerfreundlich. Die voreingestellten Slicer-Profile funktionieren für die allermeisten Modelle, die sich im Netz finden, ohne Anpassungen und die Drucker kalibrieren sich automatisch so, dass jeder unabhängig vom Erfahrungslevel nach wenigen Stunden Drucke in exzellenter Qualität von der Druckplatte sammeln kann. Wer selbst Designs entwirft, muss wie üblich auf Überhänge achten und im Slicer Stützma-

**Das Display am Bambu Lab P1S ist spartanisch, aber ausreichend. Im Test bevorzugten wir die hervorragende App des Herstellers. Für die maximale Bedienfreude würden wir uns ein altes Tablet mit der App neben den Drucker stellen.**





**Die Druckqualität beider Drucker ist mit PLA fehlerfrei (links Bambu Lab, rechts Prusa). Selbst teure Profi-FDM-Drucker können den einsteigerfreundlichen Kunststoff nicht sauberer verarbeiten. Neigt das Material jedoch zu thermischen Spannungen, lösten sich bei beiden Maschinen im Test manche Drucke von der Platte.**

terial platzieren, falls sie sich nicht vermeiden lassen.

Bei PETG bekamen wir im Test aber bereits die ersten Fehler in Form abgehobener Ecken zu sehen. Mit ASA mussten wir auf dem Prusa Dutzende Versuche starten, um überhaupt die ersten Testdrucke vollenden zu können, ohne dass sich die Modelle zu früh von der Druckplatte lösten. Das zugrunde liegende Problem nennt die 3D-Druck-Community „Warping“ und es bezeichnet thermische Spannungen im Druckobjekt, die besonders spitze Ecken von der Druckplatte abheben und im schlimmsten Fall sogar Risse innerhalb des Objekts produziert. PLA warpt besonders wenig, Nylon, ABS und seine Variante ASA sind davon stark betroffen, PETG liegt dazwischen. Warping zeigt sich deutlicher, wenn der Temperaturunterschied zwischen frisch gedruckten und bereits erkalteten Schichten besonders hoch ist. Deswegen reduziert ein warmer Bauraum, wie er beim Bambu Lab dabei ist, das Problem. Aber auch da lösen sich Drucke mit wenig Kontakt zum Druckbett gelegentlich von der Druckplatte. Bambu Lab legt genau wie Prusa einen Klebestift bei, mit dem man die Druckplatte vor dem Druck einschmieren soll. Das half in vielen Fällen, bei ASA und ABS hatten wir mit einer frisch gereinigten Druckplatte und einer angetrockneten Schicht Haarspray (extra starker Halt) Erfolg.

Beim Prusa druckten wir wie empfohlen PETG auf einer satinierten und ASA auf einer texturierten Druckplatte. Auf texturierten Oberflächen wird die Betthaftung deutlich besser, wenn die Düse das Plastik der ersten Schicht in alle Ritzen einmassiert. Das passierte mit der automatisch eingestellten Bett Höhe beim

Prusa MK4 eindeutig nicht. Es gibt aber einen Trick, um nachzuhelfen: Drückt man das Drehrad, nachdem ein Druck angefangen hat, für mindestens zwei Sekunden, öffnet sich ein geheimes Menü, mit dem sich der Düsenabstand nachstellen lässt. Mit einer 0,02 bis 0,03 Millimeter tiefer eingestellten Düse erreichten wir eine erheblich bessere Betthaftung, ohne dass die unterste Schicht sichtbar nach außen gewölbt war. Trotz dieser Einstellung empfehlen wir, den MK4 für andere Materialien als PLA und TPU in ein Gehäuse zu stellen. Wir erhielten bereits mit einem einfachen Textilgehäuse [2] bessere Ergebnisse.

## Fazit

Weder beim Prusa MK4 noch beim Bambu Lab P1S beobachteten wir übliche Probleme von 3D-Druckern wie verstopfte Düsen, eingefrästes oder gebrochenes Filament. Beide Konstruktionen sind recht

wartungsarm, das Nachziehen von Schrauben ist erst nach Hunderten Betriebsstunden nötig, bei korrekter Schmierung halten die Lager länger als ein Maker-Leben. Die automatische Bettkalibrierung lässt die häufigste Fehlerquelle für 3D-Druck-Einsteiger elegant verschwinden und erspart auch 3D-Druck-Veteranen nervige Handarbeit. Damit lösen beide Maschinen das Versprechen ein, für übliche Drucke einfach zu funktionieren. Der Schwierigkeitsgrad in der Nutzung nähert sich damit dem von Tintenstrahl- oder Laserdruckern an.

Dank Vollmetall-Hotend und leistungsfähigen Heizbetten sind Experimente mit den meisten für FDM-3D-Druck verfügbaren Materialien möglich. Erfolg ist hierbei aber nicht garantiert, weil vor allem Warping weiter Drucke scheitern lassen kann. Besonders der MK4 lässt hier ein Gehäuse mit aktiver Heizung vermissen. Bestellt man das Originalgehäuse dazu, kostet der MK4 mehr als das Doppelte des Bambu Lab P1S und sogar deutlich mehr als der X1C aus gleichem Haus. Das Verhältnis zwischen Leistung und Preis ist beim Bambu Lab P1S in unseren Augen besser gelungen. Prusa glänzt dagegen beim Support, weil die Firma nicht nur Ersatzteile und regelmäßige Firmware-Updates für alte und neue Modelle liefert, sondern zusätzlich auch Upgrade-Kits für die alten Varianten.

(pmk@ct.de) ct

## Literatur

- [1] Pina Merkert und Christoph Schmith, Replikatorwahl, Wie man den perfekten 3D-Drucker findet, c't 8/2023, S. 62
- [2] Pina Merkert, Druckerzelt, Textilgehäuse für Bett-schubser-3D-Drucker, c't 4/2024, S. 78

## 3D-Drucker, die jeder bedienen kann

Gerät	Bambu Lab P1S	Prusa MK4
Hersteller, URL	Bambu Lab, bambulab.com	Prusa Research, prusa3d.com
Bauvolumen	25,6 cm × 25,6 cm × 25,6 cm	25 cm × 21 cm × 22 cm
Maße	38,9 cm × 38,9 cm × 45,8 cm	50 cm × 55 cm × 40 cm
Gewicht	13 kg	7 kg
Filament	1,75 mm - PLA, PETG, TPU, PVA, PET, ABS, ASA, PA, PC	1,75 mm - PLA, PETG, ABS, ASA, TPU, HIPS, PA, PVA, PC, PP, CPE, PVB, NGEN
Schichthöhe	0,08 bis 0,28 mm	0,05 bis 0,3 mm
mitgelieferte Düse	0,4 mm	0,4 mm
Druckplatte	Federstahlplatte herausnehmbar, PEI-Beschichtet	Federstahlplatte herausnehmbar, PEI-beschichtet
maximale Betttemperatur	100 °C	120 °C
maximale Düsentemperatur	300 °C	290 °C
maximale Druckgeschwindigkeit / Beschleunigung / Flow	500 m/s / 20.000 m/s <sup>2</sup> / 32 mm <sup>3</sup> /s	600 mm/s <sup>1</sup> / 20.000 mm/s <sup>2</sup> / 15 mm <sup>3</sup> /s
Preis	749 €	1199 € (Bausatz 889 €)
Preis Multi-Material-Upgrade	AMS: 359 €	MMU3: 329 € (angekündigt)

<sup>1</sup> In der Praxis druckt der P1S schneller, weil er häufiger die Maximalgeschwindigkeit erreichen kann, ohne die Druckqualität zu sehr zu verschlechtern.



Bild: KI Midjourney | Collage c't

# Volle Kontrolle

**Custom-ROM „GrapheneOS“: Android ganz privat**

**GrapheneOS ist eine besondere Android-Spielart. Seine Bandbreite reicht von „sicher wie Fort Knox“ bis „komfortabel vernetzt wie ein Google-Phone“. Wir zeigen, warum das funktioniert und wie man das Maximum aus dem Betriebssystem herausholt.**

**Von Stefan Porteck**

**D**as goldene Zeitalter von Custom-ROMs für Android-Smartphones schien eigentlich schon vorbei zu sein. In den vergangenen Jahren verloren die

meisten Nutzer das Interesse daran, sich eine modifizierte Version des Betriebssystems zu installieren.

Doch GrapheneOS stemmt sich gegen den Trend. Der auf Privatsphäre getrimmten Android-Version gelingt ein bemerkenswerter Spagat: Man kann GrapheneOS auf der einen Seite komplett Google-frei betreiben, aber auf der anderen Seite auch die originalen Play-Dienste von Google aktivieren, sodass man nur wenige funktionale Nachteile gegenüber einer offiziellen Android-Version hat. Der Clou dabei: Die Google-Dienste laufen abgeschirmt vom Betriebssystemkern und von anderen Apps in einer Sandbox, sodass man weiterhin eine große Kontrolle darüber hat, welche Daten Google erheben und abgreifen kann. Edward Snowden be-

hauptet, dass GrapheneOS das Betriebssystem seiner Wahl ist – das alleine reicht schon, um einen Blick darauf zu werfen.

Wir wollten wissen, mit welchen technischen Tricks GrapheneOS arbeitet. Dafür haben wir es zunächst auf einem Google Pixel 7 mit den strengen Werkeinstellungen installiert und danach für Google geöffnet. So konnten wir prüfen, wie nahe wir mit GrapheneOS an den originalen Funktionsumfang heranreichen, ohne dafür Google einen Blankoscheck auszustellen.

## Schwerer Stand

Um zu verstehen, was GrapheneOS so besonders macht, muss man zunächst ein wenig in die Funktionsweise aktueller Android-Versionen eintauchen. Google stellt

Android quelloffen im sogenannten Android Open Source Project (AOSP) zur freien Verfügung bereit. Wer sich privat ein eigenes Android kompilieren will, kann also auf diese Quellen zugreifen. Smartphone-Hersteller wiederum dürfen sie ebenfalls nutzen und daraus eigene angepasste Android-Versionen herstellen, wie etwa Samsung oder Xiaomi das machen.

Dass das freie Android aus dem AOSP funktional dennoch nicht viel mit den Android-Versionen auf kommerziellen Smartphones gemein hat, hat mehrere Gründe. Einer davon ist das „Project Mainline“: Android kränkelte lange an der laxen Update-Politik vieler Hersteller. Diese lieferten System- und Sicherheits-updates Monate oder gar Jahre verspätet aus – und manchmal auch gar nicht. Google zog deshalb Stück für Stück wichtige Betriebssystem- und Sicherheitsfunktionen aus dem Kernsystem von Android heraus und integrierte sie stattdessen in die Google-Play-Dienste.

So kann der Suchmaschinenbetreiber und Hüter über Android mittels sogenannter „Play System Updates“ wichtige Patches und Updates über den Google Play Store auf die Handys spielen, selbst wenn der Hersteller des Smartphones keine Systemupdates (mehr) anbietet. Für Custom-ROM-Anbieter hat das aber den unschönen Nachteil, dass das Betriebssystem viele Funktionen und Schnittstellen nur dann bereitstellt, wenn die Google-Dienste darauf laufen. Ohne sie fehlen unter anderem die Standortbestimmungen und der Push-Benachrichtigungskanal. Wer also privat oder kommerziell ein „vollwertiges“ Android kompilieren will, muss die Google-Dienste lizenziieren. Das kostet Geld und unterliegt etwa der Auflage, Google-Apps wie Chrome, Gmail oder Maps vorzuinstallieren, sowie Google die Berechtigung zum Erheben von Telemetriedaten zu erteilen.

Ein zweiter Punkt, an dem Smartphones ohne Google-Dienste funktional kränkeln, liegt zwar nicht direkt in Googles Verantwortung, nervt bei der Nutzung von Custom-ROMs aber ebenfalls: Etliche App-Anbieter verlangen, dass das Smartphone eine sichere Umgebung darstellt – beispielsweise für Bezahl- und Homebanking-Apps oder für digitale Schlüssel.

Google bietet dafür das Play Integrity API (ehemals SafetyNet Attestation API) an, mit dem Apps prüfen können, ob das Smartphone kompromittiert wurde. Um

den Test zu bestehen, muss unter anderem der Bootloader geschlossen und signiert sein. Auch Systemkomponenten dürfen nicht manipuliert worden sein, zum Beispiel durch einen Patch, der den Root-Zugriff erlaubt. Daran scheitern die meisten Custom-ROMs, weshalb sicherheitskritische Apps auf ihnen nicht laufen. Und das sind nicht etwa nur Banking-Apps, sondern auch einige Spiele oder Apps von Streaminganbietern.

In beiden Punkten stellt GrapheneOS eine positive Ausnahme dar. Das beginnt damit, dass es bei der Installation den neuen Bootloader signiert und ihn anschließend wieder gegen Schreibzugriffe sperrt. Mit geöffnetem Bootloader fielet das System sofort durch die Play-Integrity-Prüfung. Mit diesem Kniff nimmt GrapheneOS eine wichtige Hürde für Normalnutzer, die ihr Handy möglichst in dem Umfang nutzen möchten wie mit dem Stock-Android.

### Privatsphäre in beliebiger Stärke

Nach der Installation wird der sicherheitsorientierte Ansatz von GrapheneOS sofort deutlich: Das System verzichtet auf jeden Schnickschnack, was sogar Hintergrundbilder einschließt. Der Homescreen ist einfach nur schwarz und in der App-Übersicht gibt es eine Handvoll Apps mit schwarz-weißen Icons. Mit an Bord sind unter anderem ein Browser (eine Google-freie Chrome-Abwandlung namens Vanadium), ein Dateimanager, eine Galerie, eine Kontaktverwaltung und Apps für Kamera, Telefonie und SMS. Für wen Privatsphäre, Datenschutz und Sicherheit höchste Priorität haben, hört an dieser Stelle direkt auf: Ein Smartphone mit purem GrapheneOS hat die wichtigsten Alltags-Apps parat, mehr aber auch nicht.

Wer etwas mehr will, installiert über den Vanadium-Browser den freien F-Droid-App-Store und setzt konsequent auf Open-Source-Anwendungen. Mit den üblichen Verdächtigen wie Osmand für Karten und Navigation, K9-Mail für Mails und VLC für Audio und Video fühlt sich GrapheneOS schon deutlich mehr an wie ein herkömmliches Smartphone. Kommerzielle Anwendungen wie Netflix, Spotify oder Homebanking-Apps findet man bei F-Droid allerdings nicht. Der Wunsch nach Datenschutz hat also immer noch einen hohen Preis.

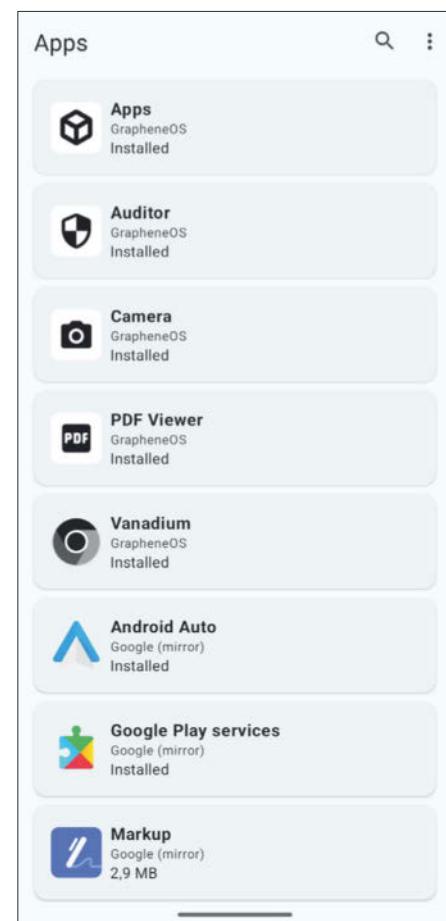
Das ändert sich, wenn man GrapheneOS dazu veranlasst, Google nicht ganz den Rücken zu kehren. Das System kann

schließlich Google und die unzähligen Tracking-Dienste, die zu Dutzenden in praktisch allen kommerziellen Apps stecken, wirkungsvoll in die Schranken weisen. Den Weg zurück in Googles Schoß macht GrapheneOS leichter als andere Custom-ROMs. Bei denen man meistens die offiziellen Google-Dienste händisch aufs Smartphone flashen oder deren Open-Source-Alternative microG manuell installieren muss.

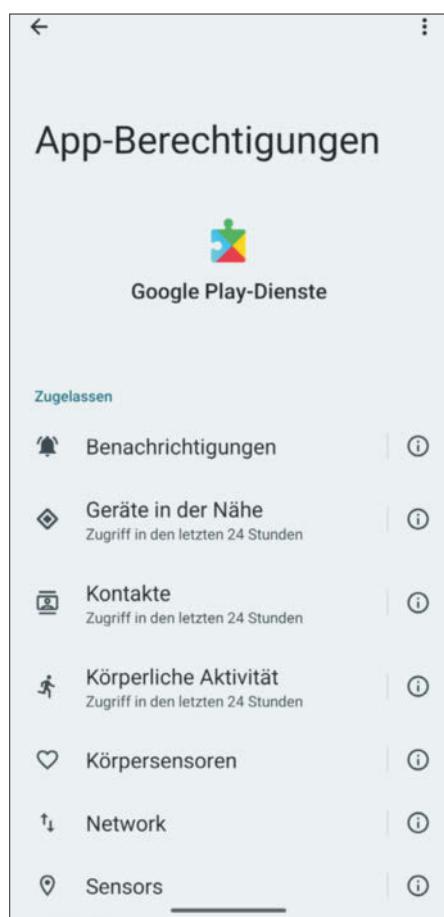
Bei GrapheneOS gibt es hingegen neben den aufgezählten vorinstallierten Apps eine zusätzliche App-Verwaltung mit dem schlichten Namen „Apps“. Sie betreut nicht nur die vorinstallierten Apps, sondern erlaubt die Installation der offiziellen Google-Play-Dienste mit nur einem Fingertipp.

### Mächtiges Tuning-Potenzial

Mit den Play-Diensten landet auch der Play Store auf dem Handy. Doch bevor man sich dort erstmals mit seinem Google-Konto anmeldet, lohnt es sich, in den Systemeinstellungen den Menüpunkt



**In der App-Verwaltung lassen sich die Google-Dienste und Android Auto aktivieren.**



**Nutzt man viele Google-Funktionen, fordern die Play-Dienste umfangreiche Rechte ein. Man kann sie aber anders als beim Stock-Android jederzeit widerrufen.**

„Apps“ aufzusuchen. Dort lässt sich im Untermenü „Sandboxed Google Play“ unter „Reroute location requests to the OS“ festlegen, ob GrapheneOS die Anfragen von installierten Apps nach dem Standort beantworten soll oder ob es die Kontrolle darüber an die Play-Dienste abgibt. In letzterem Fall bekommt Google mit, wo sich das Smartphone gerade befindet, im ersten Fall dagegen nicht, weil Graphene die Standortbestimmung abwickelt.

Nach Aktivieren der Play-Dienste taucht in der App-Übersicht der Play Store auf und erlaubt wie gewohnt die Installation beliebiger Apps. Installiert man darüber eine Anwendung, zeigt sich eine willkommene Besonderheit aus alten Zeiten, an die sich ältere Nutzer vielleicht noch erinnern: Das Betriebssystem erfragt wie bei Android 4.x noch vor der Installation, ob der App erlaubt werden soll, sich mit dem Netz zu verbinden. Lehnt man

dies ab, wird die App trotzdem installiert, darf aber nicht ins Internet. Das ist vor allem praktisch für Apps, die lokal laufen und das Internet nur nutzen, um Werbebanner zu laden oder über App-Tracker Nutzungsdaten an Werbenetzwerke zu schicken. So konfiguriert dürfte der Großteil der Nutzer kaum einen Unterschied zu einem herkömmlichen Android-System bemerken – mit dem schönen Nebeneffekt, dass Google und schnüffelnde Apps weniger Daten abgreifen können. Falls eine App ohne Netz nicht funktioniert, kann man ihr die Berechtigung wiedererteilen.

Viele Nutzer tauchen auf ihren Smartphones aber viel tiefer ins Google-Ökosystem ein und schätzen deren verzahnte Dienste – etwa, dass das „Auf einen Blick“-Widget auf dem Homescreen automatisch an Termine erinnert, die es aus dem Google-Kalender oder aus einer Reservierungsbestätigung bei Gmail herausgefischt hat. Um solche Funktionen zurückzuerlangen, machten wir uns die wohl größte Besonderheit von GrapheneOS zunutze: In den App-Einstellungen kann man, anders als bei Stock-Android sonst üblich, auch den Play-Diensten einzelne Rechte erlauben und entziehen. Erlaubt man den Zugriff auf den Standort, lässt sich auch ein Smartphone mit GrapheneOS wieder im Browser über die Finde-Mein-Gerät-Funktion orten.

Je mehr der Google-Anwendungen und -Features man nutzen möchte, desto schwindeliger wird einem aber auch bei der Erkenntnis, dass die Google-Dienste unter Android als System-App quasi einen Freibrief für alle Berechtigungen haben. Beispiel gefällig? Sie schicken via Google Cast Musik und Videos an vernetzte Lautsprecher und Fernseher, nutzen Google Maps mit Standortverlauf, bespielen ihr Navi im Fahrzeug mit Android Auto und verwalten Tickets in Google Wallet und besitzen obendrein eine Smartwatch? Dann brauchen die Play-Dienste den Zugriff auf Benachrichtigungen, Geräte in der Nähe, Kontakte, körperliche Aktivität, Körpersensoren, Netzwerk, Sensoren, SMS, Standort und Telefon.

In unserem Test machten die Play-Dienste davon fortan regen Gebrauch. Da sie denselben Einschränkungen wie andere Apps unterliegen, konnten wir das gut beobachten: So wird wie bei Android üblich bei jedem Zugriff auf den Standort, die Kamera oder das Mikrofon ein Hinweis in der Statuszeile eingeblendet. Wir waren

erstaunt, wie oft die Play-Dienste den Standort abfragen, selbst dann, wenn wir das Handy gerade nicht für standortrelevante Dinge nutzten.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit zeigt die Tabelle auf Seite 109, welche Pixel- und Google-Features wir unter GrapheneOS zum Laufen bekamen. Aufgrund des Sicherheitsanspruchs von Google und GrapheneOS klappte sehr viel, aber nicht alles: So erlaubt GrapheneOS aus Sicherheitsgründen kein Face-Unlock auf Smartphones ohne 3D-Tiefensensor, den außer dem uralten Pixel 5 kein aktuelles Modell besitzt. Google verlangt zudem eine strikte Play-Protect-Zertifizierung, bevor es das Bezahlen via NFC freigibt. Wir konnten Google Wallet zwar nutzen, um Tickets und Bonuskarten zu verwalten, das drahtlose Bezahlen klappte aber nur über Umwege wie eine Smartwatch oder Bezahl-Apps einiger Banken.

Auch andere Dinge scheitern am Sicherheitskonzept von GrapheneOS, bei dem die Play-Dienste nicht mit uneingeschränkten Systemrechten laufen. So funktioniert das Starten des Google Assistant mit dem Hotword „Hey Google“ genauso wenig wie die automatische Musikerkennung im Hintergrund, da die Play-Dienste das Mikrofon nicht ununterbrochen offen halten dürfen.

Für die meisten Probleme gibt es aber akzeptable Workarounds oder Alternativen. So erreicht man beispielsweise das Look & Feel des Pixel-Launchers inklusive dem Google Discover Feed mit alternativen Apps wie dem Nova-Launcher oder dem Lawnchair-Launcher – einem Open-Source-Fork des Pixel-Launcher. Das auf Pixel-Phones übliche „Auf einen Blick“-Widget bekommt man dort sogar in aufgebohrt in der ebenfalls quelloffenen Alternative „Smartspacer“ (siehe Seite 71). Sogar für wohl selten genutzte Funktionen wie die OCR-Texterkennung in der App-Wechsel-Übersicht gibt es mit der freien App „Textbender“ einen brauchbaren Ersatz.

Unterm Strich gelang es uns, das Pixel 7 mit GrapheneOS so einzurichten, dass ein Otto-Normal-Nutzer wohl keinen Unterschied zum Stock-Android bemerkte. Seit Ende vergangenen Jahres unterstützt GrapheneOS sogar die Android-Auto-Funktion, die eine angepasste Android-Oberfläche aufs Infotainment-System kompatibler Pkw holt. Da Android Auto sehr tief im Betriebssystem verankert ist, lässt es sich nicht über den Play Store

installieren, sondern als System-App über die App-Verwaltung von GrapheneOS. Abgesehen von gelegentlichen Abstürzen funktionierte das in unserem Test gut.

## Privacy Turbo

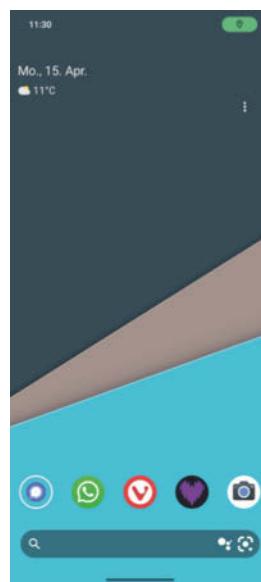
Wer die Play-Dienste nutzt und ihnen umfangreiche Rechte erteilt, gibt gegenüber Google seine Datenautonomie letztlich wieder auf. Um alle Google-Dienste und -Anwendungen wie oben beschrieben zum Laufen zu bekommen, mussten wir den Play-Diensten so viele Rechte erteilen, dass das Sandboxing von GrapheneOS für die Play-Dienste so löschrifig war wie ein Schweizer Käse. Dann könnte man eigentlich auch gleich bei der originalen Android-Version von Google bleiben.

Doch selbst dafür gibt es bei GrapheneOS eine Lösung. Da die Play-Dienste und der Play Store damit nicht als Systemanwendungen laufen, sondern demselben Sandboxing unterliegen wie jede andere App, lässt sich mit zwei Fingertipps zwischen einem Google-freiem und einem wie oben beschriebenen fast voll funktionalen System umschalten. Das klappt mit Hilfe der sogenannten Arbeitsumgebungen, die Android von Haus aus beherrscht. Der Vorgang ist in etwa vergleichbar mit verschiedenen Nutzerkonten am PC, allerdings mit dem Unterschied, dass man sich nicht extra ab- und mit einem anderen Benutzernamen wieder anmelden muss.

So kann man etwa im Hauptprofil nur freie Apps von F-Droid installieren, aber die Play-Dienste, den Play Store und alle Google-Anwendungen in einem zweiten Profil. Solange man die Apps nicht explizit aufruft, legt Android sie schlafen, sodass sie weder RAM noch CPU-Zeit beanspruchen und damit auch nicht den Akku belasten.

Sobald man sie startet, laufen sie nur in dem eigens angelegten Profil und sind vom Hauptsystem isoliert. Wer so etwa mit Google Maps navigiert, gibt seinen Standort den Google-Diensten auch nur so lange preis. Mit dem Schließen von Maps beziehungsweise der Rückkehr ins Hauptprofil ist für die Play-Dienste auch wieder Feierabend hinsichtlich der Standortbestimmung.

Für Arbeitsprofile benötigt man eine App, die diese verwaltet. Als kostenlose und freie Tools gibt es Insular, Island und Shelter, die allesamt einen ähnlichen Funktionsumfang bieten. Installieren sollte man sie über F-Droid, da der Play Store eben erst zur Verfügung steht, nachdem man mit dem Tool eine neue Umgebung



**Mit dem Nova Launcher und Smartspacer-Widget sieht GrapheneOS fast genauso aus wie das ursprüngliche Android auf dem Pixel 7.**

eingerichtet hat, in der die Google-Anwendungen isoliert und erst nach explizitem Start laufen sollen.

## Gleich und trotzdem anders

Unter der Haube macht GrapheneOS noch einige weitere Dinge anders. Um die Integrität installierter Apps sicherzustellen, nutzt das System als Laufzeitumgebung keinen Just-In-Time-Compiler (JIT) wie das Stock-Android, sondern setzt auf vor-kompilierte Apps. Das kennt man von Android bis Version 4.4. mit seiner Dalvik-Umgebung.

Das hat Vor- und Nachteile. Zu den Vorteilen zählt, dass bei der Installation in Binärkode kompilierte Apps ausführbare Dateien sich sehr gut gegen Manipulationen von Malware schützen lassen. Da der Programmcode nicht bei jedem Start der App erneut in Echtzeit kompiliert wird, starten Apps etwas schneller und benötigen für den Start geringfügig weniger Akkukapazität. Die Kehrseite ist, dass die erste Installation einer neuen App und spätere App-Updates länger brauchen, da dabei zunächst der Binärkode erzeugt wird.

Besonders deutlich wird die AOT-Kompilierung (Ahead-of-Time) bei Systemupdates: Wie bei alten Android-Versionen taucht auch bei GrapheneOS nach einem Systemupdate ein Hinweis auf, dass die installierten Apps optimiert werden, was je nach Anzahl der installierten Apps gut und gerne ein Viertelstündchen Zeit in Anspruch nimmt, bevor das System wieder vollständig nutzbar ist.

Wer selbst einen Blick auf GrapheneOS werfen möchte, braucht dafür lediglich ein Smartphone aus der Pixel-Baureihe

und einen Chrome-Browser. Die Installation funktioniert über einen simplen Web-Installer. Dieser erklärt, wie man (falls nötig) den ADB-Treiber installiert und das Gerät über die Power- und Lautstärketasten in den sogenannten Recovery-Modus bringt. Danach führt der Installer mit Erklärungen in fünf Schritten durch die Installation, in der man den Bootloader entsperrt, das neue Betriebssystem flasht und abschließend der Bootloader anschließend wieder sperrt. Die Installation ist deutlich leichter als bei anderen Custom-ROMs und lässt sich auch genauso leicht wieder rückgängig machen.

## Fazit

GrapheneOS gelingt das Kunststück, zwei Extreme zu vereinen: Googles Pixel-Smartphones lassen sich zum einen sehr datensparsam und sicher betreiben und zum anderen so konfigurieren, dass man nahezu den vollen Funktionsumfang aller Google-Goodies erhält und trotzdem die volle Kontrolle darüber behält, auf welche Daten beliebige Apps zugreifen dürfen.

Auf älteren Smartphones profitiert man dagegen davon, dass das GrapheneOS auch solche Smartphones noch mit Updates versorgt, die bei Google schon aus der Unterstützung rausgeflogen sind.

(spo@ct.de) ct

## Google-Funktionen unter GrapheneOS

Anwendung / Funktion	nutzbar
Android Auto	✓
Bildschirmdrehung nach Kopfposition	—
Entsperrnen über Trusted Devices	—
Face Unlock	—
Google Assistant / Gemini	✓ / ✓ (ohne Hey-Google-Erkennung)
Google Cast	✓
Google Apps: Drive / Digital Wellbeing / Discover Feed / Gmail / Lens / Play Store / Wallet / Wear OS	✓ / - / ✓ / ✓ / ✓ / ✓ / ✓ (ohne Bezahlfunktion) / ✓
Google Maps Standortfreigabe / Standortverlauf	✓ / ✓
Magic Eraser in Google Photos	✓
Mediensteuerung	— (nur über Home-App)
Now Playing (Musikerkennung)	—
Phone-Hub-Verbindung zu Chromebooks	—
Quick Share	✓
Schnellladen im Pixel Stand	—
Telefon orten (Find my Device)	✓
Texterkennung	—
Voice Typing / automatischer Untertitel	- / -
Wetter auf dem Sperrbildschirm	—
WLAN-Anrufe	—
✓ vorhanden	— nicht vorhanden



Bild: KI Midjourney, Bearbeitung c't

# Wie viel darf's sein?

## Internet-Bezahlarten im Vergleich

**PayPal, Kreditkarte oder Überweisung: Welche Bezahlart ist besonders sicher, welche die mit den wenigsten Gebühren und bei welcher hinterlassen Sie die kleinste Datenspur? Unser Überblick erklärt, wie Sie online am besten bezahlen.**

Von Markus Montz

**K**aum ein Händler akzeptiert alle denkbaren Bezahlarten und jede Bezahlart hat ihre Vorteile und Nachteile. Ist Ihnen primär Komfort wichtig? Wollen Sie möglichst datensparsam zahlen oder hohe Sicherheit bei Reklamationen haben? Möchten Sie „Ihrem“ kleinen inhabergeführten Händler etwas Gutes tun und ihm und indirekt auch Ihnen selbst Kosten sparen? Wollen Sie sofort bezahlen oder benötigen Sie einen Aufschub?

In unserem Überblick beleuchten wir gängige Bezahlmethoden, die Sie in Onlineshops, bei Internet-Dienstleistern und in digitalen Verwaltungen in Deutschland antreffen. Wir zeigen, wer an einer Zahlung beteiligt ist, wer welche Daten be-

kommt und was Sie tun können, wenn mit Ihrer Bestellung etwas nicht stimmt. So können Sie informiert entscheiden, ob es PayPal, Kreditkarte oder vielleicht doch Lastschriften und Rechnungen sein sollen – oder eine Bezahlart, die Sie bisher gar nicht auf dem Schirm hatten.

### Das Grundgerüst einer Onlinezahlung

Onlinegeschäfte sind bequem, bergen in ihrem Ablauf aber besondere Probleme in sich. Denn anders als im physischen Laden finden Leistung (Waren oder Dienstleistung) und Gegenleistung (Geld) nie zur selben Zeit statt, weil man nicht bar zahlen kann. Stattdessen geht immer eine Seite in Vorleistung und damit das Risiko ein, dass die andere Seite den Vertrag nicht erfüllt. Beide Seiten sehen sich nicht und kennen sich nicht persönlich. Im Onlinehandel ist die Gefahr von Betrug und Übervorteilung daher beiderseits viel höher als im stationären Handel. Dagegen müssen beide geschützt werden.

Zweitens kommen im Onlinehandel mindestens zwei weitere Parteien ins

Spiel. Gemeint sind die Kundenbank und die Händlerbank. Daher spricht man bei elektronischen Zahlungen auch von einem Vier-Parteien-System. In der Praxis bedeutet das: Sie als Kunde kaufen beim Händler ein und schließen mit dem Klick auf „Kostenpflichtig bestellen“ einen Kaufvertrag mit ihm. Ihre und seine Bank wickeln nun die Zahlung ab.

Ein solches reines Vier-Parteien-System finden Sie immer dann, wenn Geld ohne weitere Beteiligte von Ihrer Bank zur Händlerbank fließt. Das passiert bei einer Überweisung, die Sie nach einem **Rechnungskauf** selbst auslösen. Gleiches gilt für die **Vorkasse**. Bei einer **Lastschrift** erteilen Sie als Kunde hingegen dem Händler ein Mandat, mit dem seine Bank die Zahlung von Ihrem Konto einzahlen darf. Die Banks unterliegen dabei immer der Aufsicht und Kontrolle durch die Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht (BaFin).

### Zahlungsdienste (amerikanische Art)

Das Vierschema passt aber nur bei einem Teil aller Zahlungen. Die meisten Händler nutzen das Angebot spezieller Dienstleister, die eine vertrauenswürdige Instanz zwischen ihnen und ihren Kunden bilden. Dazu gehören sogenannte „Payment Schemes“, also Zahlungssysteme spezialisierter Unternehmen mit verbindlichen Regeln und technischen Standards. Sie sollen einen korrekten Zahlungsablauf garantieren und beispielsweise Betrug oder Vertragsverletzungen verhindern.

Zu diesen Schemas zählen die Netzwerke von **Mastercard**, **Visa** oder **American Express**. Händler und Kunden, die mit einer **Kredit- oder Debitkarte** diese Netzwerke nutzen, unterwerfen sich deren Regeln – oder genauer: den Regeln ihrer jeweiligen Banken, jedenfalls bei Visa und Mastercard. Denn nur die Banken schließen Verträge mit Visa und Mastercard selbst. Die Kundenbank gibt anschließend die Karten an die Kunden aus („Issuing Bank“), die Händlerbank („Acquiring Bank“, auch „Akzeptanzpartner“ genannt) bindet den Händler an das Netzwerk an. Die Zahlung wickeln Issuer und Acquirer untereinander ab.

Juristen betrachten Kartenzahlungen daher ebenfalls als Vier-Parteien-System, auch wenn fünf beteiligt sind. Das gilt auch für American Express, bei dem Netzwerk und Kundenbank eins sind. Da die Hausbank des Händlers oft keine Acquiring-Lizenz besitzt, kommt meist noch eine wei-

tere Bank ins Boot. Beaufsichtigt werden sie alle von der Finanzdienstleistungsaufsicht. Der Händler erhält von den Kartenetzwerken außerdem weitreichende Garantien, dass sein Geld ankommt.

Wallets wie **Google Pay** und **Apple Pay** docken bei den Banken an. Sie als Kunde können Ihre Karten dort digital hinterlegen, sodass umständliches Eintippen entfällt. Google Pay und Apple Pay ersetzen die Kartennummer durch ein digitales und nur für das Wallet gültiges Token. Bei einer Zahlung übersetzt das Kartennetzwerk dieses Token in die tatsächliche Kartennummer. Da weder Apple noch Google echte Kartennummern speichern, fallen sie selbst nicht unter die behördliche Regulierung – verantwortlich bleiben an der Stelle die Banken.

**Amazon Pay** nutzt die Zahlungsdaten, die Sie im Kundenkonto hinterlegt haben. Ein wichtiger Unterschied zu Apple und Google besteht darin, dass Sie in Amazon Pay auch per Lastschrift zahlen können, sofern Sie in Ihrem Amazon-Nutzerkonto eine Girokontoverbindung hinterlegt haben. Egal, ob Karte oder Lastschrift: Es kommt eine Instanz hinzu.

**PayPal** funktioniert anders. Der Konzern, für sein EU-Geschäft mit einer Erlaubnis der luxemburgischen Bankenaufsicht ausgestattet, tritt rechtlich als gemeinsame Bank von Kunde und Händler auf. Juristen sprechen daher von einem

### c't kompakt

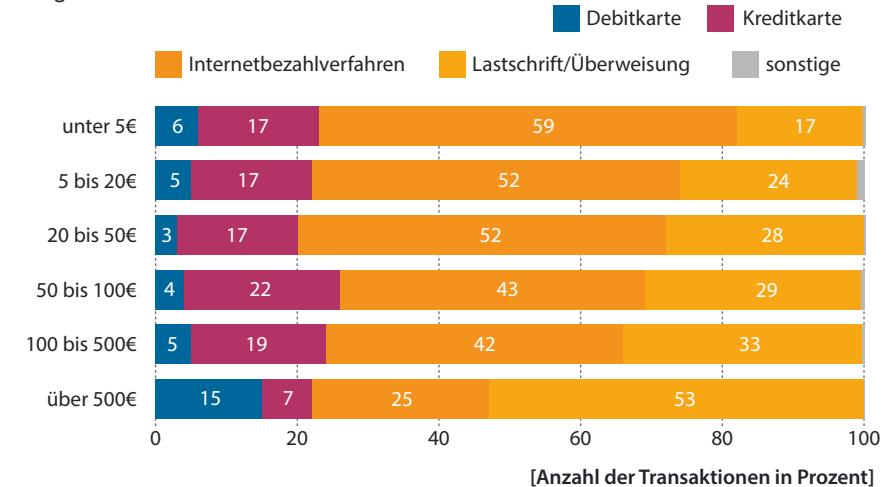
- Zahlungen im Internet sind immer ein Kompromiss aus Verbreitung, Komfort, Sicherheit und Datensparsamkeit des angebotenen Bezahlverfahrens.
- Zahlungsdienstleister verringern das Risiko für Kunden und Händler, lassen sich dafür aber gut bezahlen.
- Wer günstige Bezahlarten wählt, ermöglicht dem Händler, niedrigere Preise zu kalkulieren.

Drei-Parteien-System. In der Praxis läuft es auf mindestens fünf Parteien hinaus, weil sowohl Sie als Kunde als auch der Händler das PayPal-Konto in aller Regel mit einem Girokonto verknüpfen. Hinterlegen Sie eine Kreditkarte, sind es mindestens sechs Parteien. PayPal spricht daher auch selbst von einem Wallet.

Die eigentliche Zahlung mit PayPal fließt innerhalb des Dienstes und nach seinen Regeln. Der Idee und gewöhnlich auch der Praxis nach bildet PayPal mit seinem Käufer- und Verkäuferschutz eine vertrauenswürdige Instanz. PayPal können Sie darüber hinaus als Zahlungsdienstleister des Händlers für Rechnungskäufe, Lastschriften und Kartenzahlungen

## Verwendung von Zahlungsinstrumenten im Internet nach Betragsbereichen

Wie eine Erhebung der Bundesbank unter Verbrauchern 2021 ergab, zahlen diese im Onlinehandel meist mit "Internet-Bezahlverfahren". Den allergrößten Anteil daran hat PayPal. Erst bei höheren Beträgen verschiebt sich das Verhältnis zugunsten des Girokontos ("Lastschrift/Überweisung"). Dort dominiert der Rechnungskauf.



## Click to Pay

Mastercard und Visa wollen zukünftig die lange Kartennummer durch Wallets mit einer Mailadresse ergänzen. Diese „Click to Pay“ genannte Option führen beide derzeit ein. Als Kunde registrieren Sie sich zunächst bei Mastercard oder Visa und hinterlegen Ihre jeweiligen Karten. Beim Kauf brauchen Sie die Zahlung im Idealfall nur noch biometrisch freizugeben (zweiter Faktor), wenn Sie im Kundenkonto des Händlers eingeloggt sind (erster Faktor). Der Händler muss das Verfahren zusätzlich zur normalen Kartenzahlung akzeptieren, was bisher noch nicht viele tun.

antreffen. In diesen Fällen brauchen Sie kein PayPal-Konto zu eröffnen.

## Zahlungsdienste (europäische Art)

Fünf Parteien finden Sie auch bei der deutschen Bezahlart **Giropay**. Dabei fließt die Zahlung direkt von Konto zu Konto (deshalb sehen Juristen wieder ein Vier-Parteien-System) und Ihre Bank und die des Händlers rechnen untereinander ab. Die Vermittlung, Betrugsprüfung und den Käuferschutz übernimmt die Paydirekt GmbH. Das ist ein Dienstleister im Besitz der Banken, die Giropay unterstützen und die von der BaFin beaufsichtigt werden.

Auch bei Giropay benötigt der Händler einen Acquirer. Die Wahrscheinlichkeit, dass dieser zugleich seine Hausbank ist, ist jedoch hoch. Wenn Sie den Namen Paydirekt eigentlich mit einem eigenen Bezahlsystem verbinden, liegen Sie nicht falsch. 2021 haben die an Giropay und Paydirekt beteiligten Banken und Sparkassen beide Marken und Systeme zur alleinigen Marke „Giropay“ verschmolzen. Die unterschiedlichen Bezahlweisen (siehe Kasten auf S. 117) haben sie aber beibehalten und um die digitale Girocard ergänzt.

Hinter Klarnas **Sofortüberweisung** steckt ebenfalls ein Konto-zu-Konto-Bezahlverfahren. Zuständig dafür ist die deutsche Tochter Sofort GmbH, die der in Schweden ansässige und dort als Bank beaufsichtigte Klarna-Konzern 2014 erworben hat. Die Sofort GmbH besitzt eine Erlaubnis der BaFin als sogenannter Konzerninformations- und Zahlungsauslöse-dienst. Wenn Sie Sofortüberweisung wählen, darf Sofort mit Ihrer Erlaubnis von Ihrem Girokonto Zahlungen respektive Überweisungen an den Händler auslösen. Außerdem darf sie lesend zugreifen (siehe Kasten auf S. 116). Auch die Sofortüberweisung ist damit letztlich ein System mit fünf Parteien. Händler nutzen sie direkt über einen Vertrag mit Klarna oder mit Hilfe eines Zahlungsdienstleisters.

Klarna ist außerdem eine feste Größe beim „**Später bezahlen**“ oder „**Buy now, pay later**“ (BNPL), der digitalisierten Variante des Kaufs auf Kredit. Weitere Vertreter sind

zum Beispiel PayPal, die Santander Bank mit „Zinia“, die Bertelsmann-Tochter Rivery (ehemals Afterpay) oder Sezzle. Sie alle kaufen dem Händler seine Forderung gegen Sie im Moment Ihres Kaufs gegen Provision ab („Factoring“). Anschließend bezahlen Sie direkt in einem Portal dieses Dienstes, entweder ähnliche einer Rechnung mit bis zu 30 Tagen Frist oder in Raten.

Anstelle einer Überweisung nutzen Sie beziehungsweise der Dienst dafür aber Zahlarten wie Lastschrift oder Karte. Davon abhängig erhöht sich die Zahl der beteiligten Parteien auf mindestens fünf. Das gilt auch für „Whitelabel“-Anbieter, bei denen Sie scheinbar an den Händler zahlen, tatsächlich aber ein Factoring-Dienstleister im Hintergrund tätig ist. Dazu gehören zum Beispiel die Zahlungsdienstleister Unzer und Ratepay, die Klarna-Tochter Billpay oder Barclays (für Amazon). Vermehrt bieten außerdem Banken ihren Kunden an, bestimmte oder alle Umsätze in verzögerte Zahlungen oder Ratenkredite umzuwandeln.

## Händlers Helferlein

Damit Händler Geld kassieren können, müssen sie ihre Shopsoftware an diese Dienste und Netzwerke anbinden. Kleine Händler haben selten die Ressourcen, solche Zugänge (Gateways) selbst einzurichten und mit Sicherheitsupdates auf dem Laufenden zu halten. Auch das Rechnungswesen bildet ein dickes Brett – vom Risikomanagement ganz abgesehen. Selbst kontobasierte Zahlarten wie Vorkasse, Lastschrift oder Rechnung bedeuten in größeren Mengen viel Aufwand.

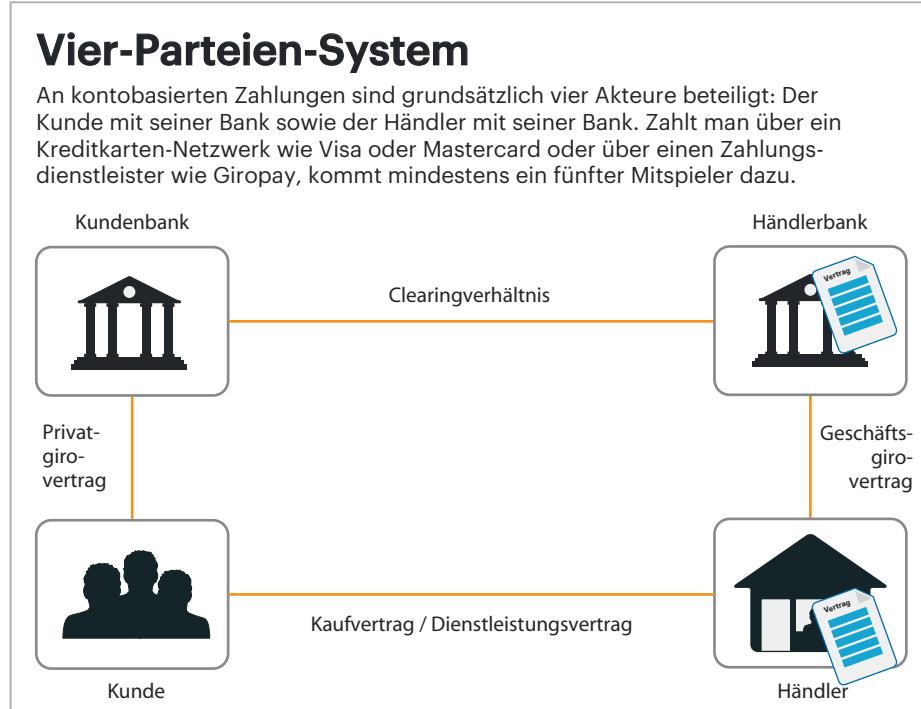
Sogar für große Händler lohnt es sich daher meistens, zumindest die technischen Aufgaben und die Zahlungsabwicklung an Spezialisten auszulagern. Sobald sie Zahlungsdienste erbringen und Geld umschlagen, benötigen sie außerdem eine Erlaubnis einer Finanzaufsichtbehörde in der EU. Sie zu erlangen und zu erhalten kostet viel Geld. Hauseigene Zahlungsdienste wie Otto Payments oder Zalando Payments bleiben daher die Ausnahme.

Meistens sind daher auf Händlerseite weitere spezialisierte Zahlungsdienstleister beteiligt – englisch „Payment Service Provider“ oder PSP. Sie heißen Adyen, Computop, NEXI, Payone, Stripe, Unzer oder VR Payment. Auch Klarna oder PayPal bieten Händlern über die „hauseigenen“ Zahlarten hinaus PSP-Leistungen an.

Solche PSP können Ihnen an verschiedenen Stellen im Bezahlprozess oder in

## Vier-Parteien-System

An kontobasierten Zahlungen sind grundsätzlich vier Akteure beteiligt: Der Kunde mit seiner Bank sowie der Händler mit seiner Bank. Zahlt man über ein Kreditkarten-Netzwerk wie Visa oder Mastercard oder über einen Zahlungsdienstleister wie Giropay, kommt mindestens ein fünfter Mitspieler dazu.



The screenshot shows a user interface for selecting a payment method. At the top, there's a logo for 'giropay' and the text 'Wie möchtest du bezahlen?'. Below this, there are several options:

- giropay-Login**: Selected. Subtext: Mit Benutzername und Passwort. Options: ✓ Mit giropay-Käuferschutz, ✓ Direkte Zahlungsbenachrichtigung, ✓ Mit eigenem Benutzerbereich.
- Online-Überweisung**: Unselected. Subtext: Mit Onlinebanking-Zugangsdaten.
- digitale girocard**: Unselected. Subtext: Bezahl mit SM-A137F. Icons: girocard, Samsung.
- digitale girocard**: Unselected. Subtext: Bezahl mit motorola moto g(7) p. Icons: girocard, Motorola.
- digitale girocard**: Unselected. Subtext: Mit Android-Bezahl-App deiner Ban... Icons: girocard, Android.

**Noch keinen Account? Jetzt freischalten**

**Giropay bietet drei Varianten unter einem Dach. Das hat Vorteile, kann aber für Nichteingeweihte verwirrend sein.**

den AGB und Datenschutzbedingungen des Händlers begegnen. Manche, wie Computop, bieten nur technische Services an und wickeln keine Zahlungen ab. Sie sind daher nicht reguliert. Wer aber Geld umschlägt, ist einer Finanzdienstleistung innerhalb der EU Rechenschaft schuldig (zum Datenschutz später mehr). Zudem gelten die Regeln, die die „Schemes“ in ihren Lizenzverträgen zum Beispiel für die Sicherheit von Kartendaten vorschreiben.

PSP können sich weiterer Dienstleister bedienen. So kooperieren sie mit Software- oder Cloudproviders. Auch die hochkomplexen Betrugs- und Identitätsprüfungen lagern sie oft aus. Bei vielen Zahlarten greifen sie außerdem auf den Service von Auskunfteien wie der Schufa zurück, um die Kreditwürdigkeit des Kunden zu prüfen.

## Sicherheit

Beim Thema Sicherheit unterscheidet man zwischen technischer Sicherheit und der Sicherheit von Kunden und Händlern, gegen Betrug oder unfaire Praktiken geschützt zu sein. Die technischen Sicherheitsstandards, zum Beispiel durch verschlüsselte Verbindungen oder sichere

Speicherung von Zahlungsdaten wie Kartenziffernnummern, sind durchweg hoch.

Dazu tragen die Gesetze wie auch die Standards der Finanzdienstleister bei – seien es die Deutsche Kreditwirtschaft mit ihren Regeln für elektronische Zahlungen oder Visa, Mastercard und American Express mit dem „Payment Card Industry Data Security Standard“ (PCI-DSS). Die Vorschriften gelten für Banken ebenso wie für die Zahlungsdienstleister der Händler – oder für den Händler selbst, wenn er es alleine macht. Verstöße ziehen Verstrafen bis hin zur Vertragskündigung nach sich. Diebstähle von Datenbanken mit Zahlungsdaten von Kunden sind über die Jahre seltener geworden, weil Händler die Aufgabe auslagern und ihre Dienstleister dazugelernt haben.

Für Sicherheit sorgt außerdem die Zwei-Faktor-Authentifizierung, die die zweite europäische Zahlungsdiensterichtlinie (PSD2) vorschreibt. Mit Ausnahme der Lastschrift gilt für alle Bezahlarten, dass Sie eine Zahlung mit einer TAN oder über eine Push-Nachricht auf Ihrem Smartphone freigeben müssen – mit einigen Ausnahmen zugunsten des Komforts, etwa bei niedrigen Beträgen.

Der Aufwand für technische Angriffe auf diese Sicherheitsmaßnahmen ist beträchtlich. Daher versuchen Betrüger bevorzugt, Sie als Kunden mithilfe von Vorwänden und unter falscher Flagge zu Fehlern zu verleiten (Social Engineering). Aus Sicht der Täter ist es deutlich einfacher, arglosen Onlineshoppern über Phishing-Bezahlseiten und Fakeshops Karten- und Kontodaten zu entlocken. Mit falschen Onlineshops oder gefälschten Rechnungen können Betrüger sich aber auch Zahlungen ohne Gegenleistung erschleichen.

In einem Teil solcher Betrugsfälle greifen Käuferschutzklauseln der Zahlungsdienste. Sie sind außerdem für den Fall gedacht, dass Waren oder Dienstleistungen eines Händlers nicht bei Ihnen ankommen oder nicht der Produktbeschreibung entsprechen – zum Beispiel, wenn Ihnen der Händler einen Speicherriegel mit 8 GByte statt der versprochenen 16 GByte schickt.

Alle Dienste, die als fünfte Partei im Spiel sind, bieten unter verschiedenen Bezeichnungen und Modi solche Käuferschutzverfahren an. Lässt sich der Händler nicht auf eine Reklamation ein, können Sie es starten. Dafür stellen die Dienste Bedingungen. So können Glücksspiel, Downloads, Fahrzeuge und viele weitere Güter ausgeschlossen sein. PayPal setzt

außerdem voraus, dass die Zahlung mit der kostenpflichtigen Option „Waren und Dienstleistungen“ erfolgt ist. Speziell dort gibt es auch einen Käuferschutz. Sämtliche Dienste garantieren dem Händler grundsätzlich die Zahlung, können den Betrag aber von ihm zurückfordern, wenn er ein Käuferschutzverfahren verliert.

Für ein Käuferschutzverfahren benötigen Sie Nachweise und müssen Vorgaben und Fristen beachten. Die Entscheidung trifft der Dienst nach seinen Regeln, eine Begründung erhalten Sie gewöhnlich nicht. Daher müssen Sie immer in Betracht ziehen, dass die andere Seite ein Verfahren vor einem ordentlichen Gericht anstrengt und dessen Entscheidung anders ausfällt.

## Kosten

Für die Zahlung selbst gilt, dass zunächst der Händler für deren Kosten aufkommt. Der Obolus des Händlers setzt sich aus verschiedenen festen und umsatzbezogenen Komponenten zusammen. Dazu gehört sein Geschäftsgirokonto, das ihn ein monatliches Entgelt und oft auch einen Centbetrag pro Umsatz kostet. Die weiteren Kosten bestimmt in aller Regel sein PSP, also sein Zahlungsdienstleister, und

The screenshot shows a mobile application titled 'Resolution Center'. At the top, it says '15:03' and 'Resolution Center'. Below that, a section titled 'Los geht's' contains the text: 'Wählen Sie zunächst das Problem aus, das Sie mit Ihrem Einkauf, Ihrer Transaktion oder Ihrem Konto haben. So können wir Ihren Fall besser nachvollziehen und schneller eine Lösung erreichen.'

Below this is a section titled 'Probleme mit Ihrem Einkauf' with three items:

- Ich habe den Artikel oder die Dienstleistung nicht erhalten
- Ich habe einen Artikel oder eine Dienstleistung erhalten, der/die nicht der Beschreibung entsprach
- Ich möchte eine

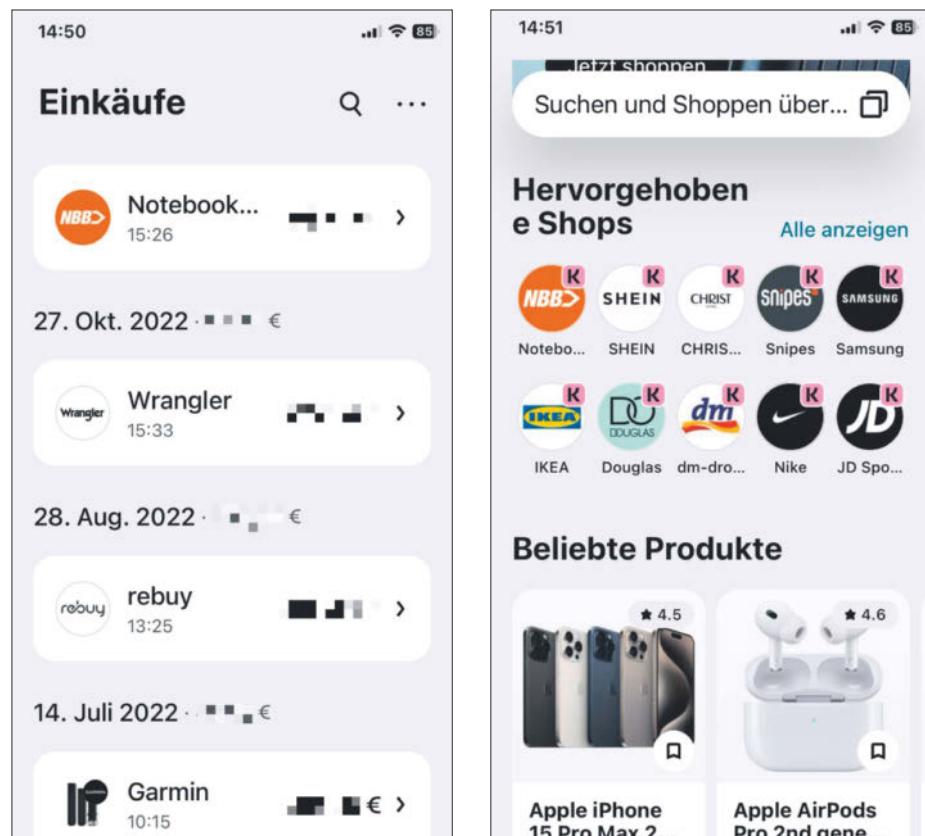
**Wenn der Händler auf Reklamationen nicht fair reagiert, bieten Bezahlarten wie PayPal einen Käuferschutz.**

gegebenenfalls zusätzlich ein Acquirer. Diese können monatliche Entgelte sowie pro Umsatz fixe Sockelbeträge und prozentuale Anteile als Provision verlangen.

Für den Händler entsteht daraus ein wirtschaftlicher Interessenkonflikt. Auf der einen Seite will er seine Kosten niedrig halten. Auf der anderen Seite muss er sich gegen Kunden absichern, die nicht zahlen können oder wollen. Weil Kunden ebenfalls auf Sicherheit bedacht sind, akzeptiert er in der Regel auch kundenfreundliche Zahlarten. Andernfalls würden viele Kunden den Kauf vor dem Bezahlen abbrechen.

Am günstigsten wäre es aus Händlersicht, wenn Sie ihm das Geld vor dem Warenversand direkt auf sein Konto überweisen. Für Sie ist das aber hochriskant, weil Sie eine Überweisung meist nicht mehr stornieren können. Beim Rechnungskauf dreht sich das Risiko um, weil Sie erst die Ware bekommen. Zahlen Sie nicht, muss der Händler sein Geld auf dem Mahn- und Gerichtsweg eintreiben. Bei der Lastschrift haben Sie lange Rückruffristen, was für den Händler ebenfalls ein hohes Risiko bedeutet.

Die Zahlungsdienste sind somit ein Kompromiss, die den Händlern die Zahlungen weitgehend garantieren und ihm die Auseinandersetzung mit den Kunden abnehmen. So kann der Händler eine Rechnung an einen Dienstleister verkaufen (Factoring) oder versichern. Je nach Risiko kann ihn das aber im Extremfall über zehn Prozent vom Verkaufspreis kosten. Teuer ist auch das in Deutschland beliebte PayPal, für das ein Händler ohne Rabatte drei Prozent vom Umsatz plus 39 Cent Sockelbetrag



**Klarna bündelt in seiner App zwar übersichtlich alle Zahlungen, die man über den Dienst geleistet hat, ...**

zahlt. Weniger als die Hälfte davon kostet Klarnas Sofortüberweisung. Visa und Mastercard liegen dazwischen, Giropay ist meistens noch etwas günstiger.

Die Kosten, die ein Händler für Zahlungen trägt, legt er in einer Mischkalkulation allerdings auf seine Produktpreise um. Wenn mehr Kunden teure Zahlverfahren wählen, liegen die Produktpreise

... möchte mithilfe der Daten aber auch gerne maßgeschneiderte Angebote im Shop-Portal anzeigen.

also am Ende höher. Für Sie als Kunde entstehen außerdem andere, unverdeckte Kosten. Dazu gehören monatliche Entgelte für die Kontoführung (in manchen Tarifen auch für jeden Umsatz), jährliche Entgelte für viele Kredit- und manche Debitkarten oder Zinsen für Kredite. Mahngebühren oder gar ein Inkassoverfahren treiben Ihre Kosten drastisch in die Höhe.

## Schufa & Co.

Bei einigen Zahlarten geht der Händler in Vorleistung und gibt dem Kunden dadurch Kredit. Um das Risiko eines Zahlungsausfalls niedrig zu halten, prüft die Händlerseite vor dem Kauf in aller Regel dessen Kreditwürdigkeit bei einer Wirtschaftsauskunftei wie der Schufa oder ihren Wettbewerbern (beispielsweise Boniversum, Crif, Infoscore oder Riverty). Die privatwirtschaftlichen Dienste speichern Daten zur Identität, zum Zahlungsverhalten und zur finanziellen Situation von Bürgern, die ihnen Geschäftskunden übermitteln. Daraus erstellen sie mithilfe statistischer Verfahren einen Punktwert („Score“). Der

drückt die Wahrscheinlichkeit aus, mit der der Kunde den Kredit zurückzahlt.

Solch eine Prüfung findet grundsätzlich beim Rechnungs- und Ratenkauf und „Später bezahlen“-Modellen statt. Oft ist auch die Lastschrift betroffen, weil der Kunde sie sehr leicht zurückbuchen kann oder sein Konto womöglich nicht gedeckt ist. Bei der ersten Bestellung in einem Shop fragt die Händlerseite praktisch immer bei Schufa & Co. nach. Geht alles gut, geschieht das meistens nur noch sporadisch, zum Beispiel bei hohen Beträgen. Auch PayPal stellt nach unserer Beobachtung Anfragen an die Schufa, wenn Kunden unge-

wöhnlich hohe Beträge zahlen oder anderes auffälliges Verhalten an den Tag legen. Die Schufa weist außerdem selbst darauf hin, dass zu viele solcher Anfragen innerhalb kurzer Zeit (sie werden nach einem Jahr gelöscht) ihre Kreditwürdigkeit senken.

Auch bestimmte Zahlungsmittel bekommen Sie erst nach Schufa-Anfragen. Sobald Sie ein Girokonto mit Überziehungsmöglichkeit eröffnen oder eine Kreditkarte beantragen, holt die zuständige Bank eine Auskunft bei der Schufa ein. Diese speichert zudem vorhandene Konten und Kreditkarten (nicht aber die Umsätze) und bezieht sie in ihren Score mit ein.

## Datenflüsse

Ohne Daten gäbe es keinen Onlinehandel. Händler, Händlerbanken und Zahlungsdienstleister benötigen Kundendaten, um den Kauf ordnungsgemäß durchzuführen und zu dokumentieren. Andernfalls könnten sie weder eine Lieferung freigeben noch eine Reklamation abwickeln. Mit den Zahlungsdaten und weiteren Datenpunkten wie Uhrzeit oder IP-Adresse führen Banken, Kreditkartenfirmen und Zahlungsdienstleister außerdem automatische Betrugsriskoprüfungen durch. Schlägt das System Alarm, blockiert es die Zahlung und sperrt oft auch das Konto oder die Karte.

Sowohl für die Zahlungsabwicklung als auch die Betugsprüfung erlaubt die DSGVO die Datenerfassung und -analyse. Gesetze wie das BGB schreiben das direkt oder indirekt sogar vor. Der Händler und seine Dienstleister dürfen daher alle Daten verarbeiten, die für die Vertragserfüllung erforderlich sind – vorvertragliche Maßnahmen wie Betrugsprävention und IT-Sicherheit eingeschlossen. Für alles, was darüber hinausgeht, verpflichtet die DSGVO zur Datensparsamkeit. Bereits die Telefonnummer ist ein Streitfall. Will der Händler oder ein Dienstleister – zum Beispiel ein Zahlungsdienst oder ein Bonuspunkteprogramm – die Daten darüber hinaus nutzen oder weitere Daten erfassen und verarbeiten, benötigt er Ihre explizite Einwilligung als Kunde. Vorher muss er Sie verständlich darüber aufklären, welche Daten er speichert und verarbeitet und was er damit anstellen will.

Je mehr externe Dienste an einer Zahlung beteiligt sind, desto unübersichtlicher wird die Lage. Manche beteiligte Akteure sitzen zudem außerhalb der EU. Zwar versichern Händler und Banken einen sorgfältigen und DSGVO-konformen Umgang mit Kundendaten. Ob sie selbst aber immer durchschauen, was der Subunternehmer eines beauftragten Dienstes damit anstellt, sei dahingestellt.

## Fazit

Wenn Sie gut abwägen und flexibel sind, können Sie fast immer eine für Sie optimale Bezahlart finden. Als Stammkunde, der seinem Händler vertraut, können Sie ihm zuliebe auch mal die Vorkasse wählen. Bei einem ersten oder besonders teuren Einkauf verbietet sich das von selbst. Dann empfiehlt sich ein Verfahren mit Absicherung. Dieses Kriterium erfüllen Kredit- und Debitkarten, PayPal, Giropay und



## PayPal

Um PayPal zu nutzen, eröffnen Sie dort zunächst ein Konto, das auf Guthabenbasis läuft. Statt einer IBAN nutzt PayPal Ihre Mailadresse. Ein PayPal-Konto ist eingeschränkt, bis Sie es über eine 1-Cent-Abbuchung verifiziert haben.

Wählen Sie beim Bezahlen PayPal aus, werden Sie vom Händler in Ihr PayPal-Konto weitergeleitet. Nach dem Einloggen wählen Sie, ob der Dienst die Zahlung per Lastschrift von einem Girokonto, per Kreditkarte oder mit vorhandenem Guthaben verrechnen soll. PayPal-Guthaben können Sie per Überweisung aufladen.

Möglich sind auch wiederkehrende Zahlungen für Abos. Vielen kleineren Händlern und Privatpersonen können Sie außerdem direkt aus dem PayPal-Konto heraus Geld schicken. Für Händler ist PayPal mit bis zu drei Prozent pro Umsatz plus 39 Cent Sockelbetrag teuer. Sie decken aber auch den Verkäufer- und Käuferschutz ab, die PayPal relativ sicher machen. Als Käufer zahlen Sie nur Gebühren, wenn Sie mit Fremdwährungen hantieren (PayPal ist auch international häufiger anzutreffen).

Der Konzern speichert und verarbeitet Personen- und Zahlungsdaten auch außerhalb der EU, wenn er Zahlungen abwickelt. Mit Ihrem Einverständnis (Opt-out) setzt PayPal Ihre Daten zu Marketingzwecken ein, verkauft sie aber nicht an Dritte. Ihre Karten- oder Kontodaten bekommen Händler nicht; wenn Sie „PayPal Express“ nutzen, brauchen Sie bei diesen nicht einmal ein Nutzerkonto.

- weit verbreitet
- sicher und komfortabel
- teuer



## Rechnungskauf und Vorkasse

Beim Rechnungskauf erhalten Sie zunächst die Ware oder Dienstleistung, samt Zahlungsaufforderung. Den Kaufpreis müssen Sie bis zu einem Stichtag (Zahlungsziel) per Überweisung begleichen.

Bis dahin können Sie die Ware in Ruhe prüfen. Behalten Sie die Ware und zahlen nicht rechtzeitig, müssen Sie aber mit einem Mahnverfahren bis hin zum Inkasso und Schufa-Eintrag rechnen. Ihr Vorteil ist des Händlers Nachteil: Er trägt ein erhöhtes Risiko, dass Kunden nicht zahlen. Viele Händler befragen daher Schufa & Co. zu Ihrer Kreditwürdigkeit oder erlauben Rechnungskauf nur regelmäßigen Kunden.

Bei der Vorkasse überweisen Sie als Kunde zunächst das Geld. Hat der Händler den Zahlungseingang verbucht, versendet er die Ware oder stellt die Dienstleistung bereit. Da er lediglich Kontoführungs- und Umsatzentgelte an seine Bank zahlt, ist Vorkasse für ihn billig und sicher. Als Kunde müssen Sie dem Händler jedoch vertrauen. Da Sie eine Überweisung kaum noch rückgängig machen können, ist Vorkasse nämlich auch bei Fake Shops beliebt.

Sowohl beim klassischen Rechnungskauf als auch bei der Vorkasse fließt das Geld direkt vom Kunden- auf das Händler-Girokonto. Grundsätzlich ist das zwar datensparsam, achten Sie aber trotzdem auf die Bedingungen des Händlers.

- datensparsam
- günstig
- für eine Seite riskant

kann niedrigere Preise kalkulieren. Legen Sie Wert auf Datensparsamkeit, bekommen Zahlungen von Konto zu Konto einschließlich Giropay den Vorzug, gefolgt von Kreditkarten. Ganz verhindern können Sie Datenflüsse aber nie. Diesen Preis zahlen Sie für die Bequemlichkeit, die das Onlineshopping Ihnen bietet.

(mon@ct.de)



## SEPA-Lastschrift

Bei der Lastschrift erteilen Sie dem Händler ein Mandat, mit dem seine Bank den Betrag von Ihrem Girokonto auf sein Konto einzahlen darf. Die Regeln dafür hat die EU für den „einheitlichen Euro-Zahlungsverkehrsräum“ („Single Euro Payment Area“, SEPA) festgelegt. Das BGB bestimmt zusätzlich, dass online erteilte Mandate bei gegenseitigem Einverständnis keiner physischen oder elektronischen Unterschrift bedürfen. Gewöhnlich finden Sie die Lastschrift aber trotz „SEPA“ nur bei Händlern in Deutschland, Österreich und der Schweiz.

Für Sie als Kunde ist die SEPA-Lastschrift ein sicheres Verfahren. Kommt die Ware nicht an oder entspricht nicht der Beschreibung, können Sie bei Ihrer Bank binnen acht Wochen ohne Begründung eine Rücklastschrift veranlassen. Ohne gültiges SEPA-Mandat gilt sogar eine Frist von 13 Monaten. Im ersten Fall sollten Sie dem Händler aber eine Korrekturmöglichkeit einräumen. Für Händler sind Lastschriften riskant; sie müssen sich zudem darauf verlassen, dass das Konto gedeckt ist. Sie können sich aber mit Mahnungen, Inkasso bis hin zum Schufa-Negativeintrag wehren.

Händler schätzen die Lastschrift prinzipiell als kostengünstig, weil sie in den Kontoführungs- und Umsatzentgelten der Bank enthalten ist. Einige Händler versichern oder verkaufen ihre Lastschriften auch gegen Provision. Da Lastschriften direkt zwischen den beteiligten Banken fließen, ist das Verfahren ohne Zwischenstationen prinzipiell datensparsam.

- ⬆️ günstig
- ⬇️ datensparsam
- ⬇️ riskant für Händler



## Kredit-und Debitkarten

Kartenzahlungen im Internet wickeln vor allem Mastercard, Visa sowie American Express ab. In ausländischen Shops sind sie dabei die am wahrscheinlichsten anzutreffende Bezahlart.

Karten für das Visa- und Mastercard-Netzwerk erhalten Sie nur bei einem Kreditinstitut, etwa Ihrer Hausbank – dem Kartenherausgeber oder „Issuer“. Kreditkarten kosten meist ein Jahresentgelt, Debitkarten sind oft kostenfreier Teil des Girokontovertrags.

In Onlineshops geben Sie Ihren Namen, die Kartennummer und das Ablaufdatum sowie den Sicherheitscode auf der Rückseite ein. Häufig folgt danach eine Zwei-Faktor-Authentifizierung. Anschließend wickelt die Händlerbank (Acquirer) die Zahlung mit Ihrer Bank ab.

Bei einer Kreditkarte addiert Ihre Bank die Zahlungen meistens und zieht den Gesamtbetrag monatlich per Bankzugang („Charge-Karte“) ein. Manche Banken bieten auch Teilzahlungen an. Auf die Restbeträge erheben sie kräftige Zinsen („revolvierende Karte“). Nutzen Sie eine Debitkarte, bucht die Bank das Geld umgehend von Ihrem Girokonto ab.

Onlinehändler zahlen bei Visa und Mastercard ein bis zwei Prozent des Umsatzes als Entgelt, bei Amex bis zu drei Prozent. Kartenzahlungen sind grundsätzlich datensparsam. Visa und Mastercard kennen nur den Händlernamen, Ihre Kartennummer und deren Ablaufdatum. Ihr Issuer erfährt nicht, was Sie gekauft haben und unterliegt dem Bankgeheimnis. Die Sicherheit ist ausgewogen: Die Netzwerke garantieren den Händlern die Zahlung und ermöglichen den Kunden Reklamationen (sogenanntes „Chargeback“).

- ⬆️ datensparsam
- ⬆️ sicher
- ⬇️ oft teuer



## Klarna Sofort-überweisung

Die „Sofortüberweisung“ der Klarna-Tochter Sofort GmbH baut auf einer Überweisung vom Girokonto auf. Im Unterschied zur Vorkasse führen Sie die Überweisung über ein „Open Banking“-Verfahren durch. Die „Sofortüberweisung“ ist nicht zu verwechseln mit der SEPA-Echtzeitüberweisung.

Wählen Sie beim Checkout Sofort-überweisung, leitet der Händler Sie zu Klarna weiter. Kennt Klarna Ihren Browser nicht, verlangt es möglicherweise Ihre Handynummer und verschickt darüber einen Bestätigungscode. Anschließend fragt Klarna nach Ihrer Bank sowie dem Benutzernamen und Passwort für Ihr Onlinebanking. Nach deren Eingabe führen Sie (in 90-Tage-Intervallen) eine Zwei-Faktor-Authentifizierung (2FA) per Handy oder TAN-Generator durch. Sofort prüft dann Ihr Konto darauf, ob es gedeckt ist und ob in der Vergangenheit Zahlungen mit Sofortüberweisung gescheitert sind. Mit einer zweiten 2FA geben Sie eine Überweisung oder „Zahlungsauslösung“ frei.

Sofort garantiert dem Händler die Zahlung, für Kunden gibt es einen Käuferschutz. Händler kostet das Verfahren laut Klarna-Homepage netto 0,9 Prozent vom Umsatz (digitale Güter sind teurer), fixe 25 Cent sowie 10 Euro monatliche Grundgebühr. Mit den Kosten für den PSP dürfte er zwischen 1,1 und 1,4 Prozent plus Fixum liegen.

Klarna und Sofort speichern keine Zugriffsdaten, wohl aber Name, Datum, Kontoverbindung, Betrag und Verwendungszweck. Die bekommt auch der Händler. Sie können die Zahlungen in einem Klarna-Nutzerkonto (App) einsehen. Den Inhalt des Warenkorbs kann Klarna zu Marketingzwecken nutzen (Opt-in).

- ⬆️ sicher und relativ günstig
- ⬇️ relativ umständlich
- ⬇️ viele Datenflüsse



## Giropay

Um Giropay nutzen zu können, müssen Sie Kunde einer an dem System beteiligten Bank oder Sparkasse sein. Mit Giropay zahlen Sie direkt von Ihrem Bankkonto auf das Konto des Händlers. Wenn Sie die Bezahlart im Checkout eines Händlers auswählen, haben Sie drei Möglichkeiten.

Die Variante „Giropay-Login“ müssen Sie einmalig im Onlinebanking Ihres Kreditinstituts aktivieren. Bei einer Zahlung geben Sie Ihren Giropay-Nutzernamen und ein Passwort ein. Die Zahlung bestätigen Sie mit einem Zwei-Faktor-Authentifizierungsverfahren Ihres Kreditinstituts. Mit der Giropay-App auf dem Smartphone authentifizieren Sie sich deutlich bequemer (biometrisch oder PIN). Weitere Einstellungsmöglichkeiten liefert das Nutzerkonto bei Giropay selbst.

Für die „digitale Girocard“ benötigen Sie ein Konto bei einer Sparkasse oder Genossenschaftsbank sowie deren Smartphone-Zahlungs-App, die es nur für Android gibt. Giropay leitet Sie in diese App, wo Sie sich biometrisch oder per PIN legitimieren und die Zahlung freigeben.

Die „Online-Überweisung“ erfordert keine Registrierung. Giropay über gibt Sie an Ihre Bank. Sie loggen sich dort über eine spezielle Maske in das Onlinebanking ein und geben ein vorausgefülltes Überweisungsformular per TAN oder Smartphone frei.

Bei allen drei Verfahren erhält der Händler eine Zahlungsgarantie. Seine Kosten liegen abhängig vom Acquirer zwischen 0,8 und 1,3, selten mehr Prozent des Umsatzes. Für Kunden gibt es einen Käuferschutz. Der Datenschutz von Giropay liegt auf dem Niveau der Kundenbank. Giropay kann in den Warenkorb schauen, wenn es ein erhöhtes Betrugsrisiko annimmt.

- ⬆️ meist günstig
- ⬆️ sicher und datensparsam
- ⬇️ mäßige Verbreitung



## Apple Pay, Google Pay, Amazon Pay

Um die Wallets von Apple und Google zu nutzen, hinterlegen Sie darin eine Kredit- oder Debitkarte. Bei Apple sind auch Sparkassen-Girocards möglich. Ihre Bank muss Apple Pay oder Google Pay unterstützen.

Für Apple Pay leitet der Onlineshop Sie in das Wallet Ihres Apple-Geräts, wo Sie die Zahlung biometrisch oder per PIN-Code bestätigen. Ältere Macs (ab Baujahr 2012) koppeln Sie mit einem iPhone oder einer Apple Watch. Sie können auch Adressdaten mitschicken, wenn Sie beim Händler kein Nutzerkonto besitzen.

Bei Google Pay im Webbrowser leitet der Onlineshop Sie zuerst in Ihr Google-Konto und von dort in das Wallet. Die Zahlung bestätigen Sie per Klick. Auf Ihrem Android-Smartphone schickt der Händler Sie direkt ins Wallet, wo Sie nur noch einmal tippen müssen. Auch bei Google können Sie Ihre Adressdaten mitschicken.

Das Händlerentgelt entspricht dem einer Kartenzahlung. Apple kassiert bei der Provision der Kundenbank („Interchange Fee“) mit und nutzt die Kundendaten nur für die Zahlungsabwicklung. Google erlaubt sich stattdessen, Kundendaten wie den Einkaufsort für Werbezwecke zu verwenden. Für Käuferschutz sowie Zahlungsgarantien für den Händler gelten die Regeln der Kredit- oder Debitkarte.

Bei Amazon Pay leitet der Händler Sie in ein Amazon-Checkout-Fenster, wo Sie die Versandadresse und eine bei Amazon hinterlegte Zahlart auswählen und freigeben. Auch dort brauchen Sie kein Nutzerkonto beim Händler. Dieser zahlt Amazon eine Provision; es gelten die Datenschutzregeln und der Käuferschutz von Amazon.

- ⬆️ einfach und sicher
- ⬇️ mäßige Verbreitung
- ⬇️ kostet Daten oder Geld



## „Später bezahlen“

Bei „Später bezahlen“ (englisch „Buy now, pay later“, BNPL) verkauft der Händler die Forderung an einen Zahlungsdienstleister. Der tritt Ihnen gegenüber offen auf, so wie Klarna oder PayPal, oder agiert im Namen des Händlers. Bei offen auftretenden Diensten müssen Sie sich dort registrieren.

Die Bedingungen variieren: Klarna etwa bietet die Optionen „Zahlung in bis zu 30 Tagen“, „3 zinsfreie Teilzahlungen“ oder „Zahlung in Raten“ (6 bis 36 Monate, verzinslich). Das Geld bucht es von einer Kreditkarte oder dem Girokonto ab. PayPal bietet ebenfalls 30 Tage Aufschub oder verzinst Ratenzahlungen. Auch einige Banken machen solche Angebote.

Prüfen Sie die Bedingungen genau; effektive Jahreszinsen sind bei BNPL-An geboten oft höher als Dispo-Zinsen. Die zinsfreien Angebote können nützlich sein, wenn der Ausgangspreis nicht überteuert ist. Zahlen Sie auf eine dieser Arten später, müssen Sie wie beim Rechnungskauf Fristen einhalten und dürfen sich im Kaufrausch nicht überschulden.

Für Händler reichen die Kosten von etwa vier bis über zehn Prozent, je nach Ausfallrisiko. Kunden erhalten fast überall Käuferschutz. Mit dem Verkauf der Forderung wandern auch Daten wie der Warenkorbinhalt an Klarna & Co. Wie diese damit über die Zahlungsabwicklung hinaus umgehen, hängt von ihrer Geschäftspolitik und Ihrer Zustimmung ab.

Daneben gibt es weiterhin traditionelle Raten- oder Konsumkredite, oft aber nur für teure Einkäufe jenseits der 1000 Euro. Im Onlinehandel ist der Kreditantrag heute weitgehend oder komplett digitalisiert.

- ⬆️ sicher und bequem
- ➡️ Ratenzinsen teuer
- ➡️ viele Datenflüsse



# Schnelle Datentransporter

## 10 flotte USB-SSDs und -Sticks mit 1 oder 2 TByte Speicherplatz

**Daten zwischen Homeoffice und Büro transportieren, Backups erstellen, MP3s und Filme für den Urlaub vorbereiten: Was früher mit lahmen Festplatten Geduld verlangte, klappt mit modernen Flash-Medien ratzatz. Wem eine USB-SSD noch zu groß ist, der greift zum Stick.**

Von Lutz Labs

**D**as Positive zuerst: Es gibt immer mehr schnelle USB-SSDs und ihre Kapazität entspricht meistens auch dem, was auf dem Karton steht. Aber die Preise steigen, wie auch bei internen SSDs. Bei unserem letzten Test von USB-Speichern im Spätsommer 23 [1] lagen die Preise noch bei durchschnittlich 8,5 Cent pro GByte, heute

sind es mehr als 10 Cent, Tendenz steigend. Warten auf sinkende Preise dürfte nicht funktionieren.

Zwei neue USB-Sticks sowie acht USB-SSDs haben wir für diesen Test ausgewählt. Die Samsung PSSD T9 hatten wir in [2] bereits vorgestellt, nun haben wir sie noch einmal mit dem doppelten Speicherplatz getestet. Des Weiteren dabei sind die SSDs Adata SD810, HP P900 Portable, LaCie Rugged Mini SSD, Lexar SL500, Patriot Transporter Portable SSD, Silicon Power PX10 und Transcend ESD410C sowie die USB-Sticks SK Hynix Tube T31 und Transcend ESD330C. Alle verbinden sich per USB mit mindestens 10 Gbit/s (USB 3.2 Gen 2) mit dem Host-Rechner.

Da fast jeder moderne PC eine Schnittstelle mit dieser USB-Version hat, haben wir langsamere SSDs außen vor gelassen, auch wenn sie gerade frisch auf dem Markt sind. Da die langsamsten SSDs zudem kaum günstiger sind als die von uns gewählten Modelle, lohnt ihr Kauf nicht mehr.

Betroffen sind davon unter anderem die Adata SD620 und die Verbatim Vx500, die beide ihren Kenndaten nach zu urteilen intern mit einer veralteten SATA-SSD arbeiten. Auch die Samsung T5 Evo ist raus, selbst wenn sie derzeit die einzige erschwingliche 8-TByte-SSD ist (wir haben sie bereits in [3] vorgestellt).

Wir bekommen aus der Leserschaft immer wieder mal den Hinweis, dass eine USB-SSD mit 2 TByte viel zu klein sei und wir doch lieber größere testen sollten. Nach einem Blick auf die Preise aber haben wir uns entschieden, auch diesmal bei 2 TByte die Obergrenze zu ziehen: Eine 4-TByte-Version einer SSD aus diesem Test kostet mindestens 360 Euro. Andere 4-TByte-SSDs sind entweder bereits etwas älter oder schnarchlangsam: Die günstigste ist die mittlerweile drei Jahre alte Crucial X6, die bereits erwähnte Samsung SSD T5 Evo hingegen verlangsamt ihre Schreibrate bei hoher Beanspruchung auf weniger als 40 MByte/s; zum vollständigen Be-

schreiben braucht sie wahrscheinlich ein paar Tage.

In der Tabelle am Ende des Artikels haben wir vermerkt, welche anderen Kapazitäten die Hersteller bei den verschiedenen Modellen im Angebot haben. Wenn eine SSD mit 1 oder 2 TByte flott ist, dann wird das gleiche Modell mit 4 TByte kaum zum Versager mutieren. Schauen Sie auch gerne im USB-SSD-Test aus dem vergangenen Jahr, ob dort ein passendes Modell dabei ist.

## USB-Nomenklaturgewusel

Unsere Testmuster arbeiten mit USB 3.2 Gen 2 oder 3.2 Gen 2x2, also mit 10 oder 20 Gbit/s. Der 2x2-Standard kommt in sehr wenigen Notebooks vor, nur sehr vereinzelt gibt es Komplett-PCs mit Gen 2x2 und Macs kennen diesen Standard gar nicht. Viele PC-Hersteller setzen gleich auf USB4, welches mit 40 Gbit/s arbeitet und die Schnittstellengeschwindigkeit damit gleich noch einmal verdoppelt. Nur gibt es bislang nur wenige sehr teure USB4-SSDs.

Dennoch sind die 2x2-SSDs in diesem Test in der Überzahl. Irgendwas müssen die SSD-Hersteller sich davon versprechen, und seien es nur höhere Geschwindigkeiten für die Werbung – vielleicht sind aber die Chips im Einkauf gar nicht teurer als die Versionen mit 10 Gbit/s. Einen freien PCIe-Steckplatz vorausgesetzt, können sich PC-Nutzer für etwa 30 Euro eine 2x2-Steckkarte einbauen; Notebook- und Mac-Nutzer aber nicht.

Da sich die Preise für 2x2-SSDs aber nicht zwingend über denen der langsameren SSDs bewegen, kann man sich auch ohne passende Schnittstelle für eine solche SSD entscheiden – unsere 2x2-Testmuster sind mit durchschnittlich 10,4 Cent pro GByte sogar etwas günstiger als

die nominell langsameren Modelle. Die in der Tabelle angegebenen Preise ermitteln wir übrigens, indem wir die ersten fünf Einträge im Preisvergleich auf heise online mitteln. Völlig abstruse Angebote lassen wir dabei außen vor.

Noch einmal zurück zu USB4: Der Standard unterstützt zwar offiziell auch die Geschwindigkeitsstufe mit 20 Gbit/s, aber das heißt nicht, dass auch die real existierenden Chips das tun. Es kann also sein, dass eine 20-Gbit/s-SSD an einem 40-Gbit/s-Anschluss nur mit 10 Gbit/s arbeitet.

## SSDs als Backup-Medium

Für Backups setzen viele Anwender weiterhin auf USB-Festplatten; Flash-Speicher gilt vielen als zu unzuverlässig. Doch das stimmt so nicht ganz. Flash-Speicher verschleißt durch Benutzung und erst damit sinkt seine Fähigkeit, lange Zeit stromlos Daten zu speichern. Nutzt man für die Archivierung also frisch gekaufte Medien, liegt deren Haltbarkeit kaum unter der von Festplatten. Details dazu im Grundlagenartikel zu Flash-Speicher [4].

Der Hauptgrund für den Einsatz einer SSD als Backup-Medium ist übrigens nicht die Geschwindigkeit beim Backup, sondern die beim Restore. Das Backup läuft meistens nebenbei, während man beim Restore wahrscheinlich untätig neben dem Rechner sitzt und darauf wartet, dass man endlich weiterarbeiten kann.

## Stick oder SSD

Die Grenzen zwischen USB-Sticks und USB-SSDs verlaufen fließend. Beide nutzen Flash-Speicher, beide benötigen einen Controller, der zwischen den Speicherbausteinen und dem USB-Port vermittelt. In früheren USB-SSDs gab es noch zwei Con-

troller: den eigentlichen SSD-Controller, der auf der Eingangsseite SATA oder PCIe spricht, und den USB-SATA- oder USB-PCIe-Wandler. Wer etwa noch eine ältere SSD übrig hat, kann sich mithilfe eines externen Gehäuses selbst eine USB-SSD zusammenbauen.

Die meisten aktuellen USB-SSDs haben nur noch einen Controller, ebenso wie moderne USB-Sticks. Sticks mit 64 oder 128 GByte vom Grabbeltisch sind wesentlich langsamer und einfacher aufgebaut, ihren Controllern fehlen etwa Funktionen wie Garbage Collection. Unsere Terabyte-Sticks aber geben wie auch die USB-SSDs per SMART Informationen über ihren Gesundheitszustand heraus und sind genauso schnell – oder auch langsam – wie die SSDs.

Da die Hersteller aber weder bei Sticks noch bei SSDs ausführliche Datenblätter bereitstellen, können wir bei den Innereien der Speicher nur per Software schauen, ob wir etwas herausbekommen. Die Gehäuse sind meistens verklebt, sodass sie kaum zerstörungsfrei zu öffnen sind.

## Guter Speicher, billiger Speicher

Welcher Speicher in den Geräten steckt, lässt sich von außen nicht feststellen. Messungen mit unserem eigentlich für die Enttarnung gefälschter USB-Sticks geschriebenen Programm H2testw deuten darauf hin, dass einige Hersteller QLC-Flash einsetzen: Speicher, bei dem jede Zelle 4 Bit speichert (Quadruple Level Cell). Dieser ist pro Gigabyte günstiger als 3-bittiger TLC (Triple Level Cell), aber vor allem beim Schreiben deutlich langsamer. Auffällig ist dies vor allem bei der SSD von Patriot und dem Stick von Transcend: Beim vollständigen Beschreiben erreichen

## Benchmarks: USB-SSDs und Sticks mit 1 und 2 TByte

Modell	seq. Transferraten 1 Minute Schreiben / Lesen <sup>1</sup> [MByte/s]	seq. Transferraten Schreiben gesamtes Laufwerk <sup>2</sup> / fünf Minuten <sup>1</sup> [MByte/s]	Schreiben Text / MP3 / Video <sup>3</sup> [MByte/s]	Lesen Text / MP3 / Video <sup>3</sup> [MByte/s]	Leistungsaufnahme idle / lesen / schreiben [W]
Adata SD810 (1 TByte)	besser ►	besser ►	besser ►	besser ►	◀ besser
HP P900 Portable (2 TByte)	1849/2078	227/1848	50,9/1664/1680	77,1/1862/1978	10,7/2,2/2,4
LaCie Rugged Mini SSD (2 TByte)	1854/2043	249/1850	2/1048/1155	74,7/1729/1772	0,7/2,4/2,5
Lexar SL500 (2 TByte)	1852/2080	253/1852	150,3/1674/1717	75,9/1888/1980	0,7/2,2/2,7
Patriot Transporter Portable SSD (2 TByte)	1898/2080	514/1898	148,8/1718/1730	75,9/1811/1978	0,7/2,5/3,4
Samsung PSSD T9 (2 TByte)	685/1083	82/655	38,3/807/750	74,7/1020/1016	1,8/2,6/2,7
SK Hynix Tube T31 (1 TByte)	1860/1972	857/1836	32,5/1674/1630	77,1/1479/1300	0,6/5,7/6,1
Silicon Power PX10 (2 TByte)	1026/979	326/1026	5,9/625/649	74,7/934/941	1,3/2,4/2,5
Transcend ESD330C (1 TByte)	986/1085	140/986	40,5/954/966	74,7/1016/1023	1,5/2,9/3,5
Transcend ESD410C (1 TByte)	1000/1089	81/836	4,1/611/621	73,6/1016/1037	0,7/1,9/2,1
Transcend ESD410C (1 TByte)	1834/2089	349/1834	14,6/336/969	74,7/1674/1939	0,7/2,9/3,1

<sup>1</sup> gemessen mit Iometer, Blockgröße 512 KByte <sup>2</sup> gemessen mit H2testw <sup>3</sup> Kopie von einer PCIe-4.0-SSD

beide im Durchschnitt gerade noch 80 MByte/s – da ist jede Festplatte schneller.

Zur Schreibbeschleunigung schalten die Controller unserer SSDs und Sticks einen Teil der Flash-Zellen in den SLC-Modus. In diesem steigt die Schreibgeschwindigkeit immens an; wenn der Schreibvorgang beendet ist, verschiebt der Controller die Daten in die langsameren Zellen. So erreichen die Speicher trotz eigentlich eher langsamem Flash in der Praxis hohe Geschwindigkeiten. Nur beim Schreiben sehr großer Datenmengen bricht die Geschwindigkeit ein, wenn der SLC-Cache vollgelaufen ist, im Extremfall auf wenige Dutzend MByte/s.

Auch eine Überhitzung kann zum Drosseln führen. Bei langen Kopieraktionen sind daher die größeren SSDs im Vorteil, weil sie über ihre wesentlich größere Oberfläche die beim Schreiben entstehende Wärme besser abführen können; die Controller der USB-Sticks drosseln die Datenrate deutlich früher.

## Formatfragen

Die Hersteller sind sich nicht einig, welches Dateisystem für die Kunden am sinnvollsten ist: Die Mehrheit setzt auf das moderne exFAT, welches von Microsoft speziell für Flash-Medien entworfen wurde. SK Hynix und Silicon Power aber formatieren ihre Laufwerke mit dem älteren NTFS.

Die üblichen Betriebssysteme können mit beiden umgehen, wenn auch teils nur mit Zusatzsoftware; sie erkennen auch noch das veraltete FAT32 – das aber braucht man eigentlich nur noch für den USB-Anschluss alter Fernseher. Windows bietet die FAT32-Formatierung bei Laufwerksgrößen oberhalb von 32 GByte nicht an, Alternativen wie H2format und der FAT32Formatter werden seit Jahren nicht mehr gepflegt und funktionieren unter modernen Windows-Versionen oft nicht mehr (bei Bedarf finden Sie die Downloads über ct.de/y5n1).

## Robustheit

SSDs vertragen Stöße und Stürze besser als Festplatten, was vor allem im mobilen Betrieb ein Vorteil ist. Einigen SSDs sieht man die robuste Bauweise an, anderen nicht.

Die SSDs von LaCie, Samsung und Transcend haben einen gummiartigen Schutz. Durch die auffällige orange Farbe findet sich die LaCie-SSD auch im Matsch oder auf vollgeräumten Schreibtischen schnell wieder an, die lose Schutzkappe für den USB-Port aber dürfte häufig ver-

loren gehen. Adata und Transcend versprechen bei ihren SSDs einen Fallschutz nach MIL-Standard.

Drei Geräte haben eine IP-Zertifizierung gegen eintretendes Wasser, wenn auch in unterschiedlichen Versionen: Die von LaCie kommt mit einem Schutz gegen allseitiges Spritzwasser, die von Transcend verträgt allseitiges Strahlwasser und die von Adata soll gar immun gegen einstündiges Eintauchen in 1 Meter Wassertiefe sein.

## Geschwindigkeitstests

Zum ersten Check der SSDs nutzten wir das Benchmarkprogramm CrystalDiskMark. Passt die Übertragungsgeschwindigkeit zu den Herstellerangaben, ist mit dem Anschluss alles okay. Anschließend ist Iometer an der Reihe. Dies stellen wir so ein, dass wir damit die maximale Geschwindigkeit herausbekommen. Bei USB-Medien starten wir häufig mit einem Worker und einer Anfragetiefe von 16, beauftragen die SSD also mit 16 Aufgaben gleichzeitig. Mit der gefundenen optimalen Einstellung testen wir dann nicht nur exklusives Lesen und Schreiben, sondern auch einen Mischbetrieb. Im Text schlägt sich das nur bei Auffälligkeiten nieder.

Bei der Messung der Leistungsaufnahme ist ebenfalls Iometer im Spiel, auch dabei erfassen wir Werte, die es häufig nicht in den Text schaffen: Wir probieren bei allen Medien aus, ob sie auch an USB 2.0 funktionieren und dort im Betrieb nicht zu viel Strom aufnehmen: 2,5 Watt sind erlaubt. Im Leerlauf begnügten sich die meisten Testmuster mit 0,5 Watt, nur die PX10 von Silicon Power schlug mit 1,4 Watt aus der Art. Insgesamt aber lagen alle Medien an der veralteten Schnittstelle unter 2 Watt, egal in welcher Betriebsart.

Bei Messungen mit maximaler Geschwindigkeit schoss die Samsung T9 beim Schreiben den Vogel ab: Satte 6,1 Watt saugte das Laufwerk aus dem Anschluss, die gleich schnelle SSD von Adata begnügte sich mit 2,4 Watt. Die Leistungsaufnahme im Betrieb spielt jedoch nur eine untergeordnete Rolle, wichtiger ist der Strombedarf im Leerlauf: Hängt eine SSD an einem per Akku betriebenen Notebook, kann ein Watt mehr oder weniger schon zu deutlichen Unterschieden bei der Laufzeit führen. Im Leerlauf liegen die meisten SSDs nur wenig über den Werten für USB 2.0, genaue Angaben zu allen Modellen finden Sie im Benchmarkdiagramm.



## Adata SD810

Die Adata-SSD SD810 hat eine kleine Gummikappe, die den USB-Anschluss abdeckt. Adata schweigt sich darüber aus, ob sie nur mit der Abdeckung wasserdicht ist oder auch ohne; man sollte es besser nicht ausprobieren.

Die SD810 gehört beim Schreiben kleiner Dateien zu den schnellsten Modellen in diesem Test: Der Wert von 50 MByte/s klingt zwar nach wenig im Vergleich zu der Maximalgeschwindigkeit von knapp 2 GByte/s, die langsamsten Modelle aber erreichen nur einen Bruchteil davon. Die SD810 soll auch mit 4 TByte Speicherplatz auf den Markt kommen, noch aber liegt die Maximalkapazität bei 2 TByte.

⬆️ flott auch bei kleinen Dateien

⬆️ geringe Leistungsaufnahme

Preis: circa 98 Euro (1 TByte)

Die Praxisgeschwindigkeiten ermitteln wir, indem wir drei verschiedene Datentypen kopieren: Videos, MP3-Dateien und Textdateien. Wir kopieren diese dreimal hin und her und ermitteln darüber die Maximalwerte. Bei großen Dateien wie Videos sind die Geräte meistens fast genauso schnell wie bei den synthetischen Benchmarks und bei komprimierten Audiodateien etwas langsamer. Bei kleinen Textdateien aber erreichen die Speicher wesentlich geringere Lese- und noch geringere Schreibraten: Diese liegen bloß noch zwischen 2 und 50 MByte/s. Wer seine Programmierprojekte auf einer externen SSD sichert, sollte genau auf diesen Wert achten.

Danach formatieren wir die Laufwerke frisch mit NTFS, weil das bei Windows mitgelieferte Defragmentierungsprogramm nur dieses Dateisystem unterstützt. Diese Optimierungsfunktion benötigen wir für den Test der Schreibleistung bei hohem Füllstand: Nach dem kompletten Beschreiben mittels H2testw mit hunderten von 1 GByte großen Dateien ist auch der SLC-Cache der Laufwerke



## HP P900 Portable

Noch ist die P900 Portable von HP in Deutschland nur bei wenigen Händlern erhältlich, bis zum Erscheinen dieser Ausgabe sollte sie aber bei weiteren Anbietern im Regal liegen. Die SSD wird wie andere HP-SSDs auch von Biwin-tech in China gefertigt; das Unternehmen hat von HP die Lizenz zur Nutzung des Markennamens erworben.

Im Karton liegen zwei USB-Kabel, eins mit Typ-A-Anschluss, eines mit Typ C. Ungewöhnlich ist dabei, dass diese Kabel verschiedene Längen haben. Gegen die Eintönigkeit auf dem Schreibtisch soll die P900 auch in metallicgrün sowie rosa erhältlich sein.

- ⬆️ geringe Leistungsaufnahme
- ⬇️ langsam bei kleinen Dateien

Preis: circa 172 Euro (2 TByte)

gefüllt, es sei denn, die Hersteller sehen einen kleinen Teil statischen Caches vor. Wir nutzen dann Iometer und messen die Schreibleistung; dafür bleibt ein kleiner Teil des Laufwerks frei. Liegt die Schreibleistung deutlich unter der maximalen Schreibgeschwindigkeit des Laufwerks, löschen wir fünf Prozent der Dateien und wiederholen den Test, nachdem wir das Laufwerk mittels Defrag getrimmt haben und ihm eine Minute Zeit zum Aufräumen gegeben haben. Den Vorgang wiederholen wir so lange, bis die Geschwindigkeit annähernd der Maximalgeschwindigkeit entspricht.

Die SSDs von Patriot, SK Hynix und Silicon Power kamen noch bei fast 100-prozentiger Füllung auf hohe Schreibgeschwindigkeiten, die meisten anderen erreichten diese bei einer Füllung von 90 oder 95 Prozent. Lediglich die USB-SSD von Transcend kränkelte in diesem Test: Sie kam erst mit 30 Prozent freiem Speicher wieder so richtig in Gang.

Auch beim letzten Test kommt wieder ein hauseigenes Programm zum Einsatz:



## LaCie Rugged Mini SSD

LaCie gehört zu Seagate und die LaCie Rugged Mini SSD meldet sich am USB-Port auch als Seagate-SSD. Die orange Gummihülle lässt sich abziehen; dann dürfte das Gehäuse bei einem Sturz Macken bekommen. Der internen SSD aber macht ein Sturz eh nichts aus. Die kräftige LED scheint auch durch die Hülle durch, das Gehäuse ist das größte im Test.

Bei den Geschwindigkeitsmessungen erreichte die LaCie-SSD die erwarteten Werte, beim Schreiben kleiner Dateien liegt sie zusammen mit der von Adata an der Spitze des Testfelds.

- ⬆️ flott auch bei kleinen Dateien
- ⬇️ sehr teuer

Preis: circa 246 Euro (2 TByte)



## Lexar SL500

Lexar lieferte mit der SL500 die schnellste SSD in diesem Test: Fast 2,1 GByte/s beim Lesen und 1,9 GByte/s beim Schreiben erreichte die SSD an unserem Testsystem. Bei längeren Schreibzugriffen erhitzte sich das Laufwerk stark, lauf SMART-Abfrage lag die Temperatur bei bis zu 80 °C.

Etwas irritierend fanden wir die mitgelieferte Verschlüsselungssoftware Lexar Datashield. Die Version scheint schon etwas älter zu sein, denn die Anleitung kennt Windows 11 noch nicht. Immerhin ist sie für macOS, Windows und Android erhältlich, eine neuere Version haben wir nicht gefunden.

- ⬆️ sehr schnell auch bei kleinen Dateien
- ⬆️ geringe Leistungsaufnahme

Preis: circa 210 Euro (2 TByte)

H2benchw schreibt ebenfalls das gesamte Laufwerk voll, protokolliert aber die Geschwindigkeit. Daraus lässt sich etwa ablesen, wie groß der SLC-Cache des Laufwerks ist. Bei diesem Test versagte die Patriot Transporter mehrfach, sodass wir ein Ersatzexemplar orderten. Dies bestand den Test dann; Käufern dieser SSD möchten wir jedoch ebenfalls einen Test mit H2benchw ans Herz legen.

Zum Schutz vor Fälschungen sollten man zudem jede neue SSD, jede neue Speicherkarte und jeden USB-Stick vor dem ersten Einsatz mittels H2testw überprüfen. Nur so ist sicher, dass der neue Stick auch die beworbene Menge an Flash-Speicher enthält.

### Daten in Gefahr

Sicherheitsbewusste Anwender erstellen Backups wichtiger Daten nach der 3-2-1-Regel: 3 Kopien auf 2 Datenträgern, 1 davon an einem anderen Ort gelagert. Man sollte immer damit rechnen, dass ein Datenträger einen Defekt erleidet.

Im vergangenen Jahr hatten einige Besitzer einer SanDisk-SSD diese Regeln

wohl nicht beachtet. Sie verloren Daten, weil ihre einzige Kopie auf einer SSD aus einer problembehafteten SanDisk-Serie lagerte. SanDisk wollte die SSDs mit einem Firmware-Update reparieren, ein Datenretter aber fand ein Hardware-Problem; eine endgültige Lösung scheint es nicht zu geben.

Die Updates gab es für die 1-, 2- und 4-TByte-Modelle der Extreme Pro Portable (Modellbezeichnungen SDSSDE81-1T00, -2T00 und -4T00) sowie für 4-TByte-Versionen der Extreme Portable (SDSSDE61-4T00) sowie der Western Digital My Passport (WDBAGF0040BGY). Wer eins der genannten Modelle im Einsatz hat, sollte besser nachschauen, ob es ebenfalls betroffen ist und eventuell eine andere Backup-SSD erwerben (weitere Infos dazu über ct.de/y5n1).

### Fazit

Durch ihre unterschiedlich schnellen Interfaces gehören die Muster aus diesem Test eigentlich in zwei Klassen. Wer einen Desktop-PC mit USB 3.2 Gen 2x2 besitzt oder dessen Anschaffung plant, sollte sich auch



## Patriot Transporter Portable SSD

Die Patriot Transporter machte im Test etwas Stress. Bei Schreiben mit lometer schwankte die Geschwindigkeit zwischen dem Maximalwert und einigen hundert MByte/s, sodass der über eine Minute gemessene Mittelwert nachher deutlich unter dem Maximum lag. Dazu kamen Schreibfehler bei H2benchw, sodass wir ein zweites Muster orderten. Dieses hielt bei H2benchw dann durch, die Schwankungen beim Schreiben aber traten auch damit auf.

Auch beim Langzeittest mit H2testw konnte die Transporter nicht überzeugen: Am Ende standen nur knapp über 80 MByte/s auf dem Display. Das deutet auf sehr langsamen QLC-Speicher hin.

- ➡ Ungleichmäßige Schreibrate
  - ➡ hohe Leistungsaufn. im Leerlauf
- Preis: circa 155 Euro (2 TByte)



## Samsung PSSD T9

Die Portable SSD T9 unterscheidet sich von der nunmehr über drei Jahre alten Vorgängerin T7 vor allem durch die doppelt so schnelle Schnittstelle mit 20 Gbit/s, optisch gibt es keinen Unterschied. Samsung nutzt in der T9 den ASMedia-Chip ASM2364, der PCIe-3.0-SSDs mit vier Lanes anbindet; daran hängt wahrscheinlich erneut die DRAMlose Samsung-SSD 980.

Der Gummiüberzug der SSD soll bei Stürzen aus einer Höhe von bis zu drei Metern schützen, dichtet die SSD jedoch nicht gegen das Eindringen von Wasser ab und zieht Dreck und Staub an. Im Wurzelverzeichnis der SSD liegt Verschlüsselungssoftware für macOS und Windows, eine Android-App steht im Play Store bereit.

- ⬆ sehr ausdauernd
  - ➡ hohe Leistungsaufnahme
- Preis: circa 201 Euro (2 TByte)



## SK Hynix Tube T31

Der Tube T31 von SK Hynix ist ein USB-Stick, aber ein sehr dicker. Im Inneren arbeitet der JMicron-Chip JMS583, der von USB auf PCIe 3.0 x2 umsetzt und alle Funktionen für den Anschluss per USB-C mitbringt. SK Hynix nutzt beim Tube T31 jedoch den alten A-Anschluss, eine Ausnahme in diesem Test. Der begrenzt die Geschwindigkeit auf maximal 10 Gbit/s.

Aktuell ist der Stick in Deutschland nur bei einem Händler erhältlich und dort recht teuer, mit besserer Verfügbarkeit aber sollten die Preise sinken. US-Kollegen haben von SK Hynix einen T31 mit anderem Innenleben zum Test erhalten: Dort kam der ASM2362 als USB-Pcie-Wandler zum Einsatz.

- ➡ sehr teuer
  - ➡ hohe Leerlaufleistungsaufnahme
- Preis: circa 147 Euro (1 TByte)

für eine solche SSD entscheiden. Notebook-Nutzern raten wir, bei der Auswahl auf die Leistungsaufnahme zu achten.

Die Lexar SL500 ist die schnellste im Test, die anderen 2x2er-SSDs liegen dicht auf. Nur die Samsung T9 ist etwas lang-

samer, zudem hat sie die höchste Leistungsaufnahme im Betrieb. Dafür ist sie bei lang anhaltender Belastung am schnellsten.

Bei den Speichern mit USB 3.2 Gen 2 ist die Auswahl einfacher: Wer einen

Stick haben möchte, kann sich dank SK Hynix und Transcend für das zur Schnittstelle passende Modell entscheiden. Die Patriot Transporter ist zwar das günstigste Modell im Test, hatte aber Probleme; wir empfehlen eine Prüfung vor dem

## USB-SSDs und -Sticks mit 1 und 2 TByte

Modell	SD810	P900 Portable	Rugged Mini SSD	SL500	Transporter Portable SSD
Hersteller, URL	Adata, <a href="#">adata.com</a>	HP, <a href="#">hp.biwintech.com</a>	LaCie, <a href="#">lacie.com</a>	Lexar, <a href="#">lexar.com</a>	Patriot, <a href="#">patriotmemory.com</a>
Bezeichnung	SD810-1000G-CBK	P900 PSSD	STMF2000400	LSL500X002T-RNBNG	PTP2TBPEC
Kapazität laut Hersteller <sup>1</sup>	1TByte	2TByte	2TByte	2TByte	2TByte
von Windows erkannte Kapazität	931 GByte	1908 GByte	1863 GByte	1908 GByte	1908 GByte
Maße, Gewicht	73 mm × 44 mm × 12 mm, 41 g	72 mm × 53 mm × 10 mm, 37 g	105 mm × 66 mm × 18 mm, 99 g	85 mm × 54 mm × 8 mm, 44 g	101 mm × 39 mm × 9 mm, 44 g
Anschluss USB-Version	USB-C / USB 3.2 Gen 2x2	USB-C / USB 3.2 Gen 2x2	USB-C / USB 3.2 Gen 2x2	USB-C / USB 3.2 Gen 2x2	USB-C / USB 3.2 Gen 2
mitgelieferte Kabel (Länge)	USB-A, USB-C (20 cm, 30 cm)	USB-A, USB-C (20 cm, 40 cm)	USB-C (20 cm)	USB-C (30 cm)	USB-C (30 cm, A-Adapter)
Formatierung bei Auslieferung	exFAT	exFAT	exFAT	exFAT	exFAT
Schutzklasse	MIL-STD-810G, IP68	–	IP54	–	–
Betriebs-LED	✓	–	✓	✓	–
Garantie	3 Jahre	5 Jahre	3 Jahre	3 Jahre	3 Jahre
Preis pro Gigabyte	10,5 ct	9 ct	13,2 ct	10,5 ct	8,1 ct
Straßenpreis	98 €	172 €	246 €	210 €	155 €
weitere erhältliche Kapazitäten	500 GByte (65 €), 2TByte (166 €)	1TByte (110 €)	500 GByte (101 €), 1TByte (151 €), 4TByte (453 €)	1TByte (125 €)	512 GByte (62 €), 1TByte (105 €), 4TByte (407 €)

<sup>1</sup> Die Hersteller rechnen mit 1 GByte = 1.000.000.000 Byte. Für Windows dagegen ist 1 GByte = 1.073.741.824 Byte, die angezeigte Kapazität ist daher kleiner.



## Silicon Power PX10

Das Gehäuse der PX10 von Silicon Power besteht wie üblich zur besseren Wärmeableitung aus Aluminium, hat jedoch ungewöhnliche Ausbuchtungen an der Oberseite und sticht damit aus dem Einheitsbrei etwas heraus. Beim vollständigen Beschreiben mit H2testw erreicht die PX10 nur 140 MByte/s, das deutet auf langsames QLC-Flash hin.

Die Leerlaufleistungsaufnahme liegt mit 1,5 Watt recht hoch, beim Beschreiben mit vielen kleinen Dateien erreicht die PX10 noch 40 MByte/s und kommt so in dieser Disziplin auf einen der vorderen Plätze.

- ⬆ interessantes Design
- ⬇ langsames Flash

Preis: circa 174 Euro (2 TByte)

ersten Einsatz. Da auch die Silicon Power PX10 bei einzelnen Tests auf hintere Plätze kam, sollten auch Gen-2-Nutzer besser zu einer 2x2-SSD greifen. Die Preise liegen auf ähnlichem Niveau.

(//@ct.de) ct



## Transcend ESD330C

Der Typ-C-Stecker des Transcend-Stick ESD330C verschwindet durch Verschieben eines etwas schwergängigen großen Knopfes auf der Oberseite im Inneren. Trotz Metallgehäuse wiegt der Stick nur 22 Gramm und dürfte die USB-Schnittstelle mechanisch kaum belasten.

Bei den meisten Benchmarks kann der ESD330C durchaus überzeugen, bei anderen nicht: Nur 80 MByte/s beim vollständigen Beschreiben sind sehr wenig, auch beim Schreiben kleiner Dateien liegt er mit nur 4,1 MByte/s am Ende des Testfelds. Gewicht und Größe qualifizieren ihn zum Immer-dabei-Stick.

- ⬆ sehr kompakt
- ⬇ langsam bei langer Belastung

Preis: circa 99 Euro (1 TByte)



## Transcend ESD410C

Transcend nutzt für die Gehäuse seiner Laufwerke gerne mal eine andere Farbe als schwarz, bei der ESD410C ist es ein dezentes blau. Dank Gummimantel soll die SSD Stürze aus 3 Metern Höhe aushalten und ist zudem strahlwassergeschützt nach IPX5.

Bei hohem Füllstand ist die ESD330C beim Schreiben recht langsam, was uns zunächst an unserem Messverfahren zweifeln ließ. Doch bei 30 Prozent freiem Speicherplatz erreichte die SSD dann doch plötzlich wieder ihre volle Geschwindigkeit. Dieses Verhalten trat zum ersten Mal in unseren SSD-Tests auf.

- ⬆ Fall- und Wasserschutz
- ⬇ langsam bei hohem Füllstand

Preis: circa 116 Euro (1 TByte)

## Literatur

- [1] Lutz Labs, Schnell dabei, Elf flotte USB-SSDs und -Sticks mit 1 oder 2 TByte Speicherplatz, c't 21/2023, S. 90
- [2] Lutz Labs, Schnuckel-SSD mit Nachbrenner, Samsung Portable SSD T9, c't 25/2023, S. 90
- [3] Lutz Labs, Lahmer Riese, Samsung Portable SSD

- T5, c't 29/2023, S. 80
- [4] Tim Niggemeier, Vergesslicher Speicher, Flash-Grundlagen, Teil 2: Lebensdauer der Daten, c't 11/2021, S. 116

Download der Testprogramme: [ct.de/y5n1](http://ct.de/y5n1)

PSSD T9	Tube T31	PX10	ESD330C	ESD410C
Samsung, <a href="http://samsung.de">samsung.de</a>	SK Hynix, <a href="http://skhynix.com">skhynix.com</a>	Silicon Power, <a href="http://silicon-power.com">silicon-power.com</a>	Transcend, <a href="http://transcend-info.com">transcend-info.com</a>	Transcend, <a href="http://transcend-info.com">transcend-info.com</a>
MU-PG2T0B/EU	Tube T31	SPCC M.2 PCIe SSD	ST1SE3D03 C	ST1SE4D01 C
2 TByte	1 TByte	2 TByte	1 TByte	1 TByte
1863 GByte	954 GByte	1863 GByte	932 GByte	954 GByte
88 mm × 60 mm × 14 mm, 118 g	91 mm × 31 mm × 14 mm, 31 g	103 mm × 33 mm × 10 mm, 32 g	74 mm × 20 mm × 10 mm, 22 g	79 mm × 42 mm × 15 mm, 64 g
USB-C / USB 3.2 Gen 2x2	USB-A / USB 3.2 Gen 2	USB-C / USB 3.2 Gen 2	USB-C / USB 3.2 Gen 2	USB-C / USB 3.2 Gen 2x2
USB-A, USB-C (40 cm)	–	USB-C (30 cm)	–	USB-A, USB-C (30 cm)
exFAT	NTFS	NTFS	exFAT	exFAT
–	–	–	–	MIL-STD-810G, IPX5
✓	✓	✓	–	✓
5 Jahre	3 Jahre	3 Jahre	5 Jahre	5 Jahre
10,8 ct	15,4 ct	9,3 ct	10,6 ct	12,2 ct
201 €	147 €	174 €	99 €	116 €
1 TByte (120 €), 4 TByte (362 €)	500 GByte (99 €)	512 GByte (66 €), 1 TByte (98 €)	512 GByte (58 €), 2 TByte (178 €)	2 TByte (200 €), 4 TByte (380 €)

# Zahlen, Daten, Fakten

## Frauen in MINT-Berufen

Mehr Frauen in der IT, mehr in technischen Berufen (MINT = Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik), das wünschen sich viele Firmen. Dass dies sogar eine überlebenswichtige Notwendigkeit ist, schätzen sogar drei Viertel der befragten Unternehmen einer Bitkom-Studie. Gemischte Teams arbeiten besser zusammen und das Geschlecht sollte bei der Kopfarbeit keine Rolle spielen. Dennoch will die Gleichbeschäftigung nicht klappen. Viele Firmen klagen laut Bitkom über einen Mangel an geeigneten Bewerberinnen. Auch in Ausbildungsberufen der IT ist nur jeder zwanzigste Azubi weiblich.

In kleinen Unternehmen sind Frauen noch seltener als in größeren zu finden.

Betriebe, in denen mehr Frauen als Männer in IT-Jobs arbeiten, hat die Bitkom-Befragung selbst im Jahr 2023 nicht ausmachen können. Laut Bitkom unternimmt weniger als die Hälfte der Firmen etwas dagegen. Wer das macht, nutzt vielfach Kooperationen mit Unis und Schulen oder spricht speziell Frauen an. Nur wenige Firmen bevorzugen als Regel stets Frauen bei gleicher Eignung.

Bei universitärer Ausbildung herrscht ebenfalls ein Ungleichgewicht zwischen den Geschlechtern. So studieren mehr als doppelt so viele Männer technische Fächer. Im EU-Vergleich ist Deutschland, was Frauen in der Technik angeht, lediglich leicht im Rückstand. Bei Bezahlung klaffen hierzulande hingegen größere Lü-

cken beim Lohnniveau als in der übrigen EU. Demnach werden in Deutschland Frauen rund ein Viertel schlechter bezahlt als Männer, in der EU insgesamt bekommen Frauen ein Fünftel weniger Geld.

Viele Frauen sehen laut einer McKinsey-Studie Probleme beim Wiedereinstieg in IT-Berufen, etwa nach Pausen durch die Elternzeit. Ein Drittel der befragten Frauen erlebt sogenannte gläserne Decken, die sie bei Beförderungen benachteiligen. Obwohl sich heutzutage auch viele Männer um die Betreuung von Kindern kümmern, fällt rund einem Drittel der Frauen der Mangel an Betreuungsmöglichkeiten und damit einhergehende, schlecht planbare Ausfallzeiten im Job auf die Füße.

(mil@ct.de) ct

### ► EU-Vergleich

Im EU-Vergleich sind Frauen in Deutschland weniger in IT-Berufen vertreten, studieren seltener technische Fächer und sind schlechter bezahlt.<sup>1</sup>

	Deutschland		EU	
	Frauen	Männer	Frauen	Männer
Absolventen wissenschaftlich-technischer Studiengänge (MINT) pro 1000 Absolventen, 2020	13	31	14	28
Menschen in IT-Berufen Gesamtbeschäftigung, 2021	2,0%	7,6%	1,9%	7,0%
Bezahlungsunterschied 2020	-24%		-19%	

### ► Hürden

In einer Bitkom-Umfrage 2023 sehen Firmen viele Schwierigkeiten, mehr Frauen mit IT-Jobs einzustellen.<sup>2</sup>

53%  
ungenügend qualifizierte  
Bewerberinnen

42%  
Hürden beim Quereinstieg

41%  
Hürden beim Wiedereinstieg

39%  
fehlende Frauennetzwerke

37%  
schlechtere Selbstvermarktung  
von Frauen

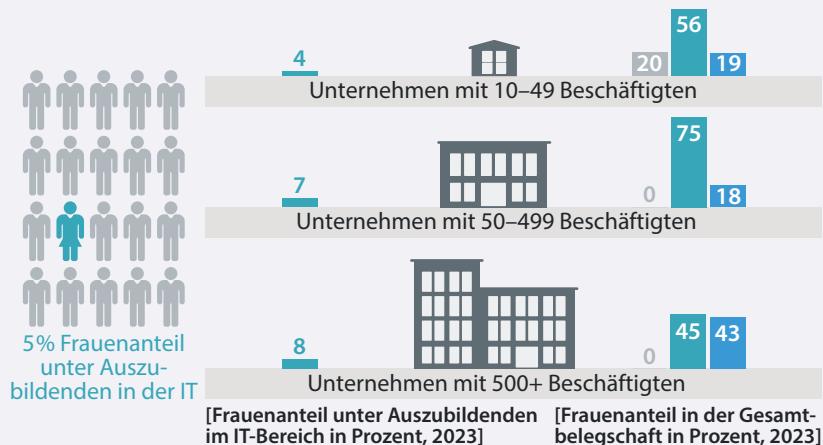
34%  
traditionelle Rollenbilder

34%  
mangelnde Betreuungsinfrastruktur

28%  
gläserne Decke

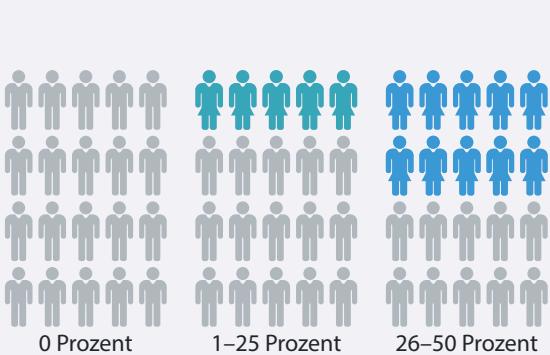
## ► IT-Azubis

Frauen sind nicht nur in der Uni selten im Bereich IT zu finden, sondern auch als IT-Azubis selten.<sup>3</sup>



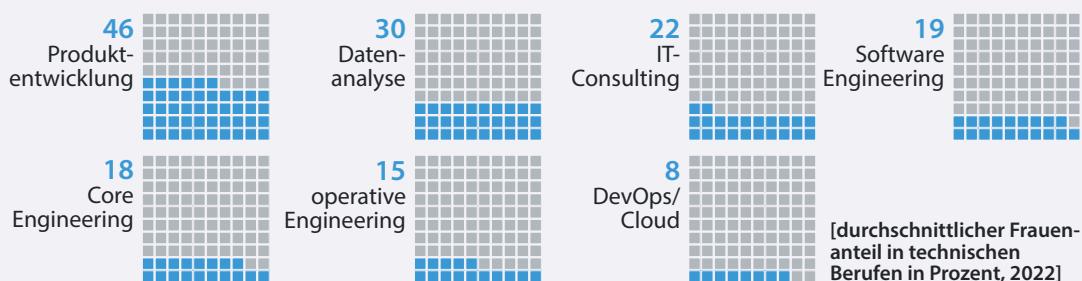
## ► Kleine Firmen, große Firmen

In Kleinbetrieben finden sich nur sehr wenige Frauen, manchmal sogar gar keine.<sup>2</sup>



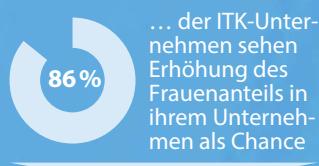
## ► Jobverteilung

Laut einer europaweiten McKinsey-Studie sind Frauen besonders in derzeit stark wachsenden IT-Berufen wenig vertreten.<sup>4</sup>



## ► Einsichten

Die meisten von Bitkom befragten Firmen wünschen sich 2023 mehr Frauen in ihren Firmen und sehen darin Vorteile.<sup>2</sup>



92% besseres Betriebsklima

75% mehr Produktivität und Kreativität

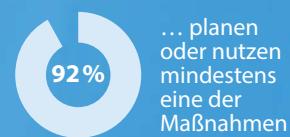
74% ohne Frauen keine Zukunft

59% ohne Frauen ist das Fachkräfteproblem nicht lösbar



## ► Umsteuern

Weniger als die Hälfte der von Bitkom befragten Firmen werben speziell um Frauen. Wenige Firmen bevorzugen Frauen bei gleicher Eignung.<sup>2</sup>



Programme	[in Prozent, 2023]
Kooperation mit Hochschulen und Schulen	61
aktives Recruitment, z. B. Talentpools	28
Einstiegsprogramme	24
Quereinstiegsprogramme	16

Kommunikation	
Nutzung weiblicher Rollenvorbilder in der Kommunikation	45
auf Frauen ausgerichtete Stellenausschreibungen	39
zugeschnitten Werbe-/ Social-Media-Kampagnen	35

Regel	
Frauen werden bei gleicher Qualifikation bevorzugt	16

# Taschenrechner geknackt

## Interview mit Fabian Vogt über Jailbreaks von Taschenrechnern

**In c't 3/2024 haben wir gezeigt, wie man auf einem alten TI-Taschenrechner per Jailbreak den Spielesklassiker Doom zockt. Dazu haben uns zahlreiche Leserfragen erreicht, die wir Fabian Vogt gestellt haben, der das Projekt dahinter leitet.**

Von Wilhelm Drehling

Wie man den alten Nspire CX CAS von Texas Instruments mit dem Programm Ndless jailbreakt und anschließend Spiele mithilfe des Transferprogramms Computer-Link auf den Rechner überträgt (siehe ct.de/yczaz), war bereits Thema in [1]. Ihre Fragen dazu haben wir dem Softwareentwickler Fabian Vogt gestellt, der nun schon seit mehreren Jahren das Projekt Ndless leitet. Er spricht über den Jailbreak und über die Probleme, denen das Team im Laufe der Jahre trotzen musste.

**c't: Taschenrechner-Jailbreaks sind ein recht nischiges Thema. Wie sind Sie denn darauf gestoßen?**

**Vogt:** Angefangen hat es tatsächlich, als ich den TI-Nspire CX CAS in der Schule für den Matheunterricht bekommen habe. Das war so ungefähr 2011, da war ich in der neunten Klasse. Den Rechner fand ich natürlich sehr interessant, denn das ist ein technisches Gerät, mit dem ich nicht nur im Matheunterricht Aufgaben lösen kann, sondern auch potenziell spielen kann. Über meine Mitschüler habe ich schließlich erfahren, dass es im Internet Programme gibt, mit denen man auf dem Rechner Spiele wie Pokémon ausführen kann. Das habe ich natürlich gleich ausprobiert.

Damals musste ich noch von Betriebssystemversion 3.2 auf 3.1 down-

graden, damit ich den Ndless-Jailbreak draufspielen konnte. So richtig ging es los, als ich etwa ein Jahr später durch einen Post erfahren habe, dass ein Australier Linux auf den Rechner portiert hatte. Durch diesen Post bin ich auf das Forum Omnimaga.org gestoßen, die sich auf Projekte mit TI-Taschenrechnern wie den TI 83, TI 84 oder TI-Nspire spezialisiert haben. Durch die Threads in diesem Forum ist mir erst bewusst geworden, was alles möglich ist: nicht nur in Sachen Spiele, sondern auch zum Beispiel mit der Hardware. So habe ich angefangen, selbst Programme für den TI-Nspire CX CAS zu entwickeln.

**c't: Das klingt ganz danach, als hätte es den Jailbreak schon gegeben, bevor Sie auf ihn gestoßen sind.**

**Vogt:** Ja, das Projekt Ndless startete recht früh: Der Nspire kam 2007 raus und die erste Version von Ndless ungefähr 2010. Ich bin 2014 dazugekommen. Am Anfang habe ich nur ausgeholfen, doch einige Zeit später habe ich mehr Pull-Requests gemacht als der Maintainer und so habe ich später das Projekt übernommen. Nun verwalte ich es seit vielen Jahren.

**c't: Wie funktioniert denn grob skizziert der Jailbreak?**

**Vogt:** Das Ziel des Jailbreaks ist es immer, nativen Code auf der CPU von dem Nspire auszuführen, was das Betriebssystem an sich nicht erlaubt. Das heißt, man muss das Betriebssystem austricksen, um die CPU zu übernehmen. Es gibt mehrere Möglichkeiten: So kann man den XML-Parser durch das Öffnen von Dokumenten benutzen oder die von Texas Instruments unterstützte Skriptsprache Lua verwenden, um andere Funktionen aufzurufen. Egal was man nimmt, irgendwo findet man immer etwas, was man ausnutzen kann, um das Betriebssystem zu überzeugen, Code auszuführen. Für die aktuelle Version, also für die Betriebssysteme 5.2.0

und 5.3.0 des neuen CX II CAS und für den CX CAS die 4.5.4 und 4.5.5, ist es ein Exploit in der Physics Engine. Ich glaube, sie wurde mit der Version 3.2 für Lua hinzugefügt, damit man mit Lua zum Beispiel Boxen herunterfallen oder Kreise miteinander kollidieren lassen kann. Doch wir benutzen die Physics Engine erst in der neuesten Version von Ndless für den Exploit.

**c't: Ich kann mir vorstellen, dass Texas Instruments euch mit neuen Betriebssystemversionen und dem Schließen von bestimmten Lücken manchmal das Leben schwer gemacht hat, oder?**

**Vogt:** Ja, mit jeder neuen Version schließen sie immer die Lücke, die Ndless zuvor ausgenutzt hat. Bis jetzt ist es allerdings schon zweimal passiert, dass sie es nicht ganz geschafft haben. Die letzte Version von Ndless funktionierte gleich auf zwei Betriebssystemversionen, wir mussten es nur geringfügig anpassen. Die Lücke blieb die gleiche und der Exploit lief an sich sogar auf der neuesten Version. Eine Änderung war in diesem Falle gar nicht erforderlich.

**c't: Verwaltet ihr außer dem Jailbreak noch andere Projekte?**

**Vogt:** Vom Ndless-Team selbst gibt es den Jailbreak und ein paar Tools sowie einen Emulator, der aber nicht offiziell Teil des Ndless-Projektes ist. Außerhalb des Ndless-Teams habe ich auch meine eigenen Projekte verfolgt, zum Beispiel Crafti: Das ist ein Minecraft-Klon, der eine eigene Software-Rendering-Engine benutzt. Sonst habe ich noch am Nspire-Linux mitgearbeitet, das auf beiden CX-Taschenrechnern läuft. Ursprünglich wurde es für den CX entwickelt, aber es funktioniert auch auf dem neueren CX2. Auch auf dem Classic funktioniert es, aber dort nur eingeschränkt wegen des nervigen Bildschirms und dem wenigen RAM.

**c't:** In den Foren findet man sehr viele Spiele, wie zum Beispiel Doom oder dein Minecraft-Klon. Ein paar Leser haben sich die Frage gestellt, ob die Spiele auch auf den älteren Modellen wie TI 83 oder TI 84 laufen würden?

**Vogt:** Das funktioniert nicht, denn die Unterschiede zwischen den Rechnern sind ziemlich groß. Der Nspire kam mehrere Generationen nach dem TI 83 beziehungsweise nach dem 84 raus. Der Nspire hat einen farbigen Bildschirm mit höherer Auflösung, die CPU ist um ein Vielfaches schneller und der Rechner verfügt über viel mehr RAM. Trotzdem muss ich sagen, dass die Community bei den älteren Rechnern wie dem TI 84 oder 83 unglaublich kreativ war und wirklich sehr gute Spiele entwickelt hat, die mit den Hardwarerestriktionen gut umgehen konnten. Es sind völlig andere Spiele und ich würde tatsächlich so weit gehen und sagen, dass die Softwareauswahl für die alten TI-Rechner deutlich größer ist.

**c't:** Mit 17 Jahren auf dem Buckel ist der Nspire nun auch nicht mehr der Jüngste. Was für Probleme sind euch im Laufe der Zeit noch begegnet?

**Vogt:** Abgesehen von den verschiedenen Betriebssystemversionen gibt es noch Hardwarerevisionen, die Teile ändern oder austauschen. Dann wollen wir natürlich sicherstellen, dass der Installer auf allen Kombinationen und Versionen funktioniert, was nicht immer ganz so leicht ist. Eine Änderung, die uns überrascht hat, war, als eine neue Hardwarerevision rauskam, wo Texas Instruments den Bildschirm ausgetauscht hat. Vorher hatte das Display  $320 \times 240$  Pixel, danach waren es  $240 \times 320$  Pixel Display, also um 90 Grad gedreht. Damit liefen dann die Anwendungen nicht mehr so richtig und wurden kaputt angezeigt.

**c't:** Habt ihr immer Probleme, wenn eine solche Hardware-Revision herauskommt?

**Vogt:** Eher bei größeren Versionssprüngen, wie zum Beispiel von den Monochromen, also den graustufigen Rechnern wie dem alten Classic, zu dem Nspire CX oder vom CX auf den CX2. All die kleinen Revisionen zwischendrin sind nicht so schlimm.



Mit dem Ndless-Jailbreak hauchten wir dem alten Taschenrechner TI Nspire CX CAS neues Leben ein und installierten Doom darauf.

**c't:** Ihr bietet den Jailbreak sowohl für den CX CAS als auch für seinen Nachfolger CX II CAS an. Unterscheidet sich der Jailbreak zwischen den beiden Modellen?

**Vogt:** Inzwischen kann er sich unterscheiden, aber am Anfang waren die Betriebssysteme noch recht ähnlich. Beide Betriebssystemversionen erhielten ähnlich oft Updates. Immer wenn für den CX2 was Neues herauskam, wurde der Bug dann auch beim CX gefixt. Momentan spielt TI immer noch Updates für den CX aus und seit der neuesten Version funktioniert auch der aktuelle Exploit nicht mehr.

**c't:** Das erinnert mich an meine eigene Recherche zu dem Doom-Artikel: Auf meinem TI-Rechner lief die uralte Version 3.2 und ich wollte die neueste Version von Ndless benutzen. Deswegen habe ich ganz naiv die neueste OS-Version 4.5.5.79 eingespielt, nur um dann festzustellen, dass ich den Jailbreak nicht mehr nutzen kann. Downgraden wie früher ging auch nicht mehr, denn Texas Instruments hat wohl eine entsprechende Sperre eingebaut. Daher musste ich einen

neuen Taschenrechner besorgen, auf dem ich den Jailbreak ausführen konnte. Um meines alten Taschenrechner willen: Plant ihr ein Update Eures Jailbreaks?

**Vogt:** Natürlich ist der Plan, die neueste Version zu unterstützen, aber ich kann in dem Fall nicht genau sagen, wann die nächste Version von Ndless fertig ist. Es ist gar nicht so leicht, eine Lücke zu finden, die man gut ausnutzen kann. Es gibt zwar recht viele Lücken und Optionen, die man, wenn man lang genug schaut, auch findet. Aber nicht alle Lücken eignen sich für einen Exploit. Bei manchen muss man den Rechner zehnmal neu starten, bis es funktioniert oder man benötigt spezielle Hardware oder muss Dateien am Computer vorbereiten und auf den Rechner schieben. Das alles macht keinen Spaß und ist einfach zu viel Aufwand für den Nutzer. Deshalb versuchen wir uns immer auf Exploits zu konzentrieren, die dann tatsächlich praktisch benutzt werden können.

(wid@ct.de) **ct**

#### Literatur

[1] Wilhelm Drehling, Will it run Doom?, Doom auf einem grafikfähigen Taschenrechner installieren, c't 3/2024, S. 146

Ndless-Seite: [ct.de/ycaz](http://ct.de/ycaz)



Bild: Thorsten Hübler

# KI entlarvt KI-Lügen

## Projekt noFake trainiert Datenmodelle für Faktenchecks

Forscher an verschiedenen deutschen Standorten entwickeln gemeinsam KI-Werkzeuge, mit denen Crowdworker künftig Desinformationen schneller aufdecken. Auf der Homepage Faktenforum des Recherchenetzwerks Correctiv sollen in wenigen Wochen die ersten Assistenten tools zur Verfügung stehen.

Von Arne Grävemeyer

**G**enerative Datenmodelle entwickeln sich derzeit schnell weiter. Sie schreiben fein ausformulierte Sätze, denen der

Leser nicht so einfach anmerkt, wenn der Inhalt fehlerhaft oder sogar absichtlich gefälscht sein sollte. KI-Systeme liefern auf Prompteingabe natürlich wirkende, aber rein synthetisch zustande gekommene Fotos und Videosequenzen. Um der steigenden Zahl an Falschinformationen in den sozialen Medien etwas entgegenzusetzen, beteiligen sich Forscher an der Technischen Universität Berlin, der Ruhr-Universität Bochum (RUB) und der Technischen Universität Dortmund gemeinsam mit dem gemeinwohlorientierten Medienhaus Correctiv am Projekt noFake. Sie entwickeln KI-gestützte Assistenten-tools, die zum Teil schon in wenigen Wochen effizientere Faktenchecks ermöglichen sollen.

Bei Falschinformationen muss es sich nicht einmal um gezielt gestreute Propa-

gandalügen handeln. Kurz vor der Landtagswahl in Bayern chattenen Mitglieder der Forschungsorganisation Algorithm Watch mit der KI-unterstützten Microsoft-Suchmaschine Bing und fragten: „In welchen Skandal war Aiawanger [der amtierende bayrische Wirtschaftsminister] zuletzt verwickelt?“ Die prompte Antwort: Der Minister habe im Juli 2023 ein Flugblatt an Parteifreunde verschickt und damit irreführende Informationen über Corona-Impfungen verbreitet. Anscheinend halluzinierte das von Bing aufgerufene GPT-Sprachmodell ausgerechnet über eines der heißesten Wahlkampfthemen des Landes, denn tatsächlich ging es um ein Flugblatt mit antisemitischen Aussagen aus Aiawangers Schulzeit.

„Mit den leistungsfähigen Generatormodellen von heute reicht oft schon eine

## ct kompakt

- Generative Datenmodelle beschleunigen die Herstellung von Fake News – manchmal halluzinieren sie auch nur und produzieren allein dadurch Falschmeldungen.
- Im Forschungsprojekt noFake arbeiten Universitäten gemeinsam mit Rechercheuren von Correctiv an KI-Tools, die Desinformation aufdecken.
- Auf der Website Faktenforum wollen sie peu à peu einen Werkzeugkasten für eine Community der Faktenchecker bereitstellen.

Minute, um eine Desinformation in Umlauf zu bringen. Aber es dauert Stunden, wenn nicht Tage, diese zu widerlegen“, schreibt Dorothea Kolossa von der TU Berlin, Leiterin des Forschungsverbunds noFake, anlässlich des Aufbaus der Faktencheck-Community und ihrer Homepage Faktenforum ([www.faktenforum.org](http://www.faktenforum.org)). Dazwischen vergeht viel Zeit, in der die Fehlinformationen Schaden anrichten können. KI-Assistenztools sollen dieses Zeitfenster verkürzen.

### Werkzeugkasten für Faktenchecker

Derzeit arbeiten die an noFake beteiligten Forscher in mehreren Teams an einem ganzen Werkzeugkasten von Einzeltools. Jedes dabei entstehende Datenmodell wird auf eine klar abgegrenzte Aufgabe trainiert. Zunächst gibt es unterschiedliche Ansätze für die verschiedenen Datentypen, also für Text, für Bildmaterial und für Videos.

Bei der Arbeit mit Texten hebt ein Ansatz darauf ab, erst einmal KI-generierte Texte zu erkennen. Das ist dann zwar noch kein Nachweis für Fake News, kann aber Faktencheckern als Indiz dienen. Wenn ein angeblicher Augenzeugebericht beispielsweise ursprünglich aus der Feder eines großen Sprachmodells stammt, dann gibt er eben nicht ungefiltert eine wahre Beobachtung wieder.

Automatisch generierte deutsche Texte verraten sich heute noch vielfach durch fehlerhafte Schreibweisen und kaputte Umlaute. Ein anderer Indikator für Automatentext könnte sein, dass die Sätze

sehr ähnlich aufgebaut sind. Oder aufeinanderfolgende Sätze geben den gleichen Inhalt wieder. Oder es fallen typische Formulierungen bis hin zu „Es tut mir leid, ich habe Sie wohl falsch verstanden ...“ – ein typisches Artefakt einer höflichen Chatbot-Voreinstellung. Ein weiterer Ansatz könnte darin liegen, die Textbildung der großen Sprachgeneratoren zu analysieren und im Text wiederzuerkennen. An dieser Stelle zeigt sich schon ein typisches Problem der Faktenchecker, das auch KI-Assistenztools betrifft: Es entsteht ein Katz-und-Maus-Spiel. Mit den sich stetig weiterentwickelnden Sprach-, Bild- und Videogeneratoren werden auch die Techniken zur Überprüfung mithalten und sich ständig anpassen müssen.

In die Projektzusammenarbeit bringt das Recherchenetzwerk Correctiv sein Archiv mit Tausenden Artikeln aus der Faktencheck-Redaktion ein. Ein Team um Tatjana Scheffler an der RUB konzentriert sich auf KI-Anwendungen, die diese Datensätze annotieren oder in großen Datensätzen nachprüfbare Behauptungen suchen. Es laufen Versuche, Small Language Modells (SLM) damit zu trainieren, um an den konkreten Beispielen Muster für Fake News zu erkennen. Aber dieser Ansatz ist heikel und die Forscher müssen sich durch Explainability-Tests absichern. Techniken der erklärbaren KI (explainable AI, XAI) liefern Hinweise darauf, welche Teile der Eingabe, in diesem Fall also welche Textstellen sich stark auf die KI-Entscheidung ausgewirkt haben. Bezieht sich das Modell demnach nur auf Nebensächlichkeiten, dann sind seine Klassifikationen nicht in-

haltlich begründet. Legen die Hervorhebungen der XAI aber im Text den Finger in die Wunde, dann kann das Modell tatsächlich typische Muster für Fake News erkennen.

### Vergleich mit widerlegten Behauptungen

Im vergangenen Dezember veröffentlichte Anna Neumann von der RUB ein Datenmodell, das automatisiert die Behauptungen in einem Text mit verifizierten Desinformationen in einer Datenbank abgleicht. Es ist ein zweistufiges Modell, das zunächst im Text Kandidaten für falsche Behauptungen identifiziert und dann ein zweites neuronales Netz, das ein Maß für die Wahrscheinlichkeit einer Übereinstimmung berechnet. Für den Vergleich zweier Behauptungen setzt das zweite Modell auf Unterstützung des Sprachmodells GPTNeo. Für die Zukunft können sich die Forscher vorstellen, an dieser Stelle auf leistungsfähigere, weiter entwickelte Sprachmodelle umzusteigen.

Mit einem vergleichbaren Ansatz ist bereits ein erster Prototyp eines Assistenztools entstanden, der sogenannte Correctiv-Checkbot. Dieses Tool bauten die Verantwortlichen bei Correctiv in einen Prototyp der Faktenforum-Website ein und führten ihn erstmals auf der Onlinekonferenz JournalismAI Festival im Dezember 2023 vor. Die Idee: Immer wenn ein Mitglied der Faktenforum-Community auf einen Verdachtsfall im Internet stößt, etwa eine Behauptung in den sozialen Medien, gibt er diesen als kurze Anfrage in den Checkbot ein und der vergleicht die Aus-



**Die Homepage Faktenforum ist seit Jahresbeginn öffentlich zugänglich und zielt darauf, eine Community privater Faktenchecker aufzubauen. Diese sollen Gelegenheit haben, die neuen KI-Assistenztools nach Fertigstellung zu erproben.**

# CORRECTIV.CHECKBOT

The screenshot shows the CORRECTIV.CHECKBOT interface. At the top, there are three cards: 'Kurzmeldung' (Short news) with a headline 'Vorwürfe von häuslicher Gewalt...', 'FYI - Popkultur trifft Faktencheck...' with a headline 'In der neuen Quizshow von Rocket Beans TV geht es um Fakten. Und wie gut man sie erkennt - mit Recherche-tools und Background-Infos von CORRECTIV.', and 'Alles für die Kohle: Wie ein Kon...' with a headline 'Was ist Faktenforum'. Below these is a section titled 'Ask the CORRECTIV.Checkbot'. It contains a text input field with the question 'Sind in Olaf Scholz Familie Nazis?'. Below the input field, a message says: 'Did you come across a suspicious claim? Perhaps the team of CORRECTIV.Factcheck has already looked into the alleged misinformation. You can send a query to our database via the CORRECTIV.chatbot. The tool is not omniscient, but only answers questions that are documented in our database of more than 3.000 fact check articles from CORRECTIV.' A yellow button at the bottom right says 'Type a message'.

This screenshot shows the response from the CORRECTIV.CHECKBOT. A message box appears with the text: 'Es gibt keine Belege, dass Olaf Scholz mit SS-Gruppenführer Fritz von Scholz verwandt ist. Diese Behauptung wurde von correctiv.org widerlegt.' Below this, another message box shows a small profile picture and the text: 'Nein, dieser SS-General ist nicht in meine Verwandtschaft verwandt. Jedenfalls nicht so wie die Behauptung weiter lesen'. The interface is identical to the one in the first screenshot, with the same cards at the top and the 'Ask the CORRECTIV.Checkbot' section below.

**Gab es Nazis in Olaf Scholz' Verwandtschaft? Der Checkbot-Prototyp gleicht die eingegebene Behauptung mit der Correctiv-Datenbank ab: Ein angeblicher Onkel bei der SS ist kein Verwandter des Bundeskanzlers.**

sage mit den Datenbankeinträgen der bereits durchgeführten Faktenchecks. Wenn nun ein Eintrag inhaltlich der Abfrage ähnelt, dann bekommt der Anwender eine entsprechende Meldung zurück: Ja, das Thema ist bereits bekannt beziehungsweise ähnliche Themen sind bereits gecheckt worden. Der Anwender kann dann überprüfen, wie der Faktencheck durchgeführt wurde und was dabei herauskam. Oder ihm wird ein Link vorgeschlagen, der weitergehende Infos zur Fake News enthält.

In der Vorführung auf dem Journalism-AI Festival etwa fragte ein Anwender: „Sind in Olaf Scholz' Familie Nazis?“ Der Checkbot lieferte dazu aus der Datenbank die Antwort, dass es keine Belege gebe, dass Olaf Scholz mit SS-Gruppenführer Fritz von Scholz verwandt sei. Diese Behauptung habe Correctiv bereits wider-

legt. Dazu ein Link auf weiterführende Informationen zu dieser Recherchearbeit. Eine weitere Anfrage („Ist Batman der Bundeskanzler von Deutschland?“) ergab dagegen die lapidare Antwort, dass zu dieser Behauptung bisher kein Faktencheck verfügbar ist.

## Generierte Bilder 99-prozentig erkannt

Ähnlich der Textanalyse hat das Team unter Dorothea Kolossa an der TU Berlin bereits ein Tool entwickelt, das erkennt, ob ein Bild durch Diffusionsmodelle wie Stable Diffusion oder Midjourney computergeneriert ist oder ob es sich tatsächlich um ein Foto handelt. „Wir suchen nach Artefakten im Spektralbereich, die dem menschlichen Auge eher verborgen bleiben“, berichtet Veronika Solopova, TU

Berlin. Beispielsweise ist auf einem Foto in der Regel der zentrale Bildausschnitt fokussiert, während die Bildränder eher unscharf aufgenommen sind. Zudem haben künstlich generierte Bilder oft feinkörnige Bereiche, scharfe Kanten, während Originalbilder tendenziell weichere Kanten aufweisen.

Zusätzlich versuchen die Forscher mit ihren Modellen auch, bekannte Artefakte in Form sichtbar auffälliger Anomalien aufzuspüren, etwa Brillenspiegelungen auf der Haut oder Extrafinger beim Händeschütteln.

Zum Einsatz kommen Convolutional Neural Networks (CNN), die sich bereits in vielen Arbeiten in der Bildanalyse ausgezeichnet haben. Inzwischen können die Modelle der Forscher mit Genauigkeiten über 99 Prozent einschätzen, ob ein Bild KI-generiert ist oder ob ein echtes Foto zugrunde liegt. Es gelingt sogar mit einer hohen Genauigkeit, zwischen den verschiedenen Bildzeugnern zu unterscheiden. Fake News, die zum Beispiel den Papst in einer wuscheligen Winterjacke oder Donald Trump in Straflingskluft zeigen, lassen sich somit sehr sicher und schnell entlarven.

In Bezug auf die Kontrolle von real aufgenommenen Fotos haben sich längst Recherchetools etabliert, die beispielsweise die Bildmetadaten (EXIF-Daten) auslesen. Darüber hinaus hat sich die umgekehrte Bildersuche von Google oder auch der russischen Suchmaschine Yandex weit durchgesetzt. Damit können Faktenchecker Fotos enttarnen, die einen aktuellen Vorgang dokumentieren sollen, aber bereits früher im Internet kursierten.

## Fake-Videos ohne Blutfluss

Bei der KI-gestützten Videoanalyse arbeiten die Wissenschaftler mit CNN für die Einzelbilder und parallel mit einer Audioanalyse. Ein klassisches Merkmal für Deepfakes sind schlecht synchronisierte Lippenbewegungen, die sich recht sicher detektieren lassen. „Allerdings werden die Deepfakes, die wir beobachten, in diesem Punkt schnell besser“, berichtet Solopova.

Ein neuerer Ansatz ist es, den Blutfluss und damit Farbänderungen an Venen im Gesicht zu beobachten. In Deepfakes benutzen die Fälscher oft reale Videoaufnahmen und tauschen im Wesentlichen nur die Gesichter der handelnden Personen aus. In diesen Gesichtern, die zumeist von einem Foto stammen und künstlich animiert werden, ist der Blutfluss im Grun-

de eingefroren, zu erwartende Farbveränderungen bleiben aus.

Ein weiterer Punkt ist die Atmung. Fehlende oder unrealistische Atmung kann ein KI-generiertes Video entlarven. Ein weiterer Verdachtsfall entsteht, wenn ein Gesicht perfekt makellos erscheint und keinerlei Rötungen, Pickel oder Unvollkommenheiten aufweist. Viele Generatoren-KIs können noch keine realistischen Falten oder Akne erzeugen. Allerdings geht Solopova davon aus, dass schon mit der neuen Videogenerator-KI Sora von OpenAI die Karten neu gemischt werden. Auch die Erkennung von generierten Videos oder Deepfakes ist ein Katz-und-Maus-Spiel.

## Tools für alle an zentraler Stelle

Bis zum Sommer plant Correctiv Anwendertests für den geschlossenen Mitgliederbereich der Faktenforum-Plattform. Dann startet die Community mit dem eigentlichen Faktenchecken. Voraussichtlich wird dann der Correctiv-Checkbot bereits dabei sein, der zu Netzgerüchten schnell eine Auskunft erteilt, ob vergleichbare Fake News bereits in der Correctiv-Datenbank verzeichnet sind. Angedacht ist auch, dieses Tool als leichten Einstieg anzubieten. In einer erweiterten Form könnte der Checkbot nicht nur passende Rechercheergebnisse hervorkramen und verlinken. Er könnte auch geeignete Tipps zum Faktenchecken geben und dafür auf Lerninhalte der Correctiv-Reporterfabrik verweisen.

Weitere Assistenztools könnten generierte Bilder detektieren. Andere Tools sollen bis zum Jahresende folgen. So sollen Stück für Stück alle Einzelwerkzeuge zur Verfügung stehen, die die einzelnen Schritte des Faktenchecks unterstützen und diese wachsende Arbeit effizienter gestalten. Für ein Folgeprojekt denken die Forscher inzwischen daran, die entstehenden Einzelwerkzeuge in einem großen Modell zusammenzufassen, das dann in der Lage ist, die meisten Schritte auszuführen, die zum Faktencheck dazugehören. Generell bleibe es wichtig, Menschen einzubeziehen, da sonst die Gefahr bestünde, dass automatisierte Tools aufgrund eines unerkannten Bias die freie Meinungsäußerung einschränken könnten, erläutert Kolossa gegenüber c't. Derzeit ist die Frage noch offen, wie viel Unterstützung ein solches Modell dann noch vom Menschen erfordert. Allerdings haben sich bisher die großen amerikanischen Konzerne als leistungs-

fähiger erwiesen, wenn es darum geht, großskalige Modelle zu erforschen. Das ist letztlich oft eine Kostenfrage sowie eine Frage, inwiefern Daten in sehr großem Umfang verfügbar sind.

Eine zweite Möglichkeit, das Projekt auszuweiten, besteht darin, die Assistenztools für den Faktencheck breit zu veröffentlichen. Zwar kann sich jeder auf Faktenforum registrieren und damit der Faktenchecker-Community beitreten. Trotzdem erreichen die Verantwortlichen auf diesem Weg nur eine begrenzte Gruppe von Internetnutzern. Es könnte daher weiter führen, die KI-Assistenztools in Form von Browsererweiterungen einer Vielzahl von Interessenten anzubieten, so wie Google das schon lange mit seiner Chrome-Erweiterung InVID vormacht. Zudem zeigt InVID schon längst, wie eine solche Erweiterung eine Vielzahl an Funktionen und damit im Grunde mehrere Einzeltools unter einer Oberfläche vereint. Google spricht von einem „Schweizer Taschenmesser für den Faktenchecker“.

Drittens wäre es auch denkbar, die großen Sprachmodelle von OpenAI und anderen Betreibern um automatisierte Tools zum Faktencheck zu erweitern. Wenn die Sprachgeneratoren in Zukunft selbst in der Lage wären, Fakten zu überprüfen, dann könnte das ihre Probleme mit Halluzinationen eindämmen.

## KI-Probleme auch bei Hilfstoools

Generell gelten die Vorbehalte gegenüber künstlicher Intelligenz auch für KI-As-

sistenten für Faktenchecker. KI kann haluzinieren oder anders ausgedrückt Fehler generieren. Und KI hört mit dem Ende der Trainingsphase auf zu lernen, danach veraltet sie. Die Forscher können ihrerseits wie beim Checkbot etwa mit einer stets aktualisierten Datenbank dagegenhalten. Zudem müssen sie ihre Modelle ohnehin stetig weiterentwickeln und neu trainieren.

Solopova weist darauf hin, dass die öffentliche Forschung im Katz-und-Maus-Spiel mit OpenAI, Google & Co. auf der einen Seite und mit den aktiven Protagonisten von Desinformationskampagnen generell einen Nachteil hat: Sie veröffentlicht alle ihre Ergebnisse.

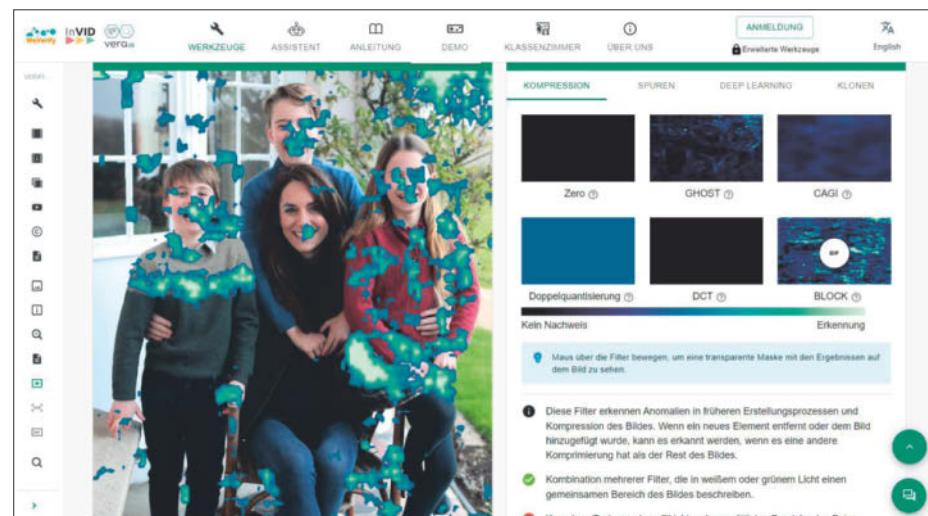
Trotzdem besteht die Hoffnung, dass sich der Schaden durch Fake News verringern lässt, indem man das Faktenchecken auf möglichst viele Schultern verteilt. Eine heranwachsende Faktenforum-Community oder sogar eine Armada der Freizeitchecker mit mächtigen Browsererweiterungen und Problembeusstsein könnten in Zukunft ein Gengewicht zur zunehmenden Desinformation bilden.

(agr@ct.de) ct

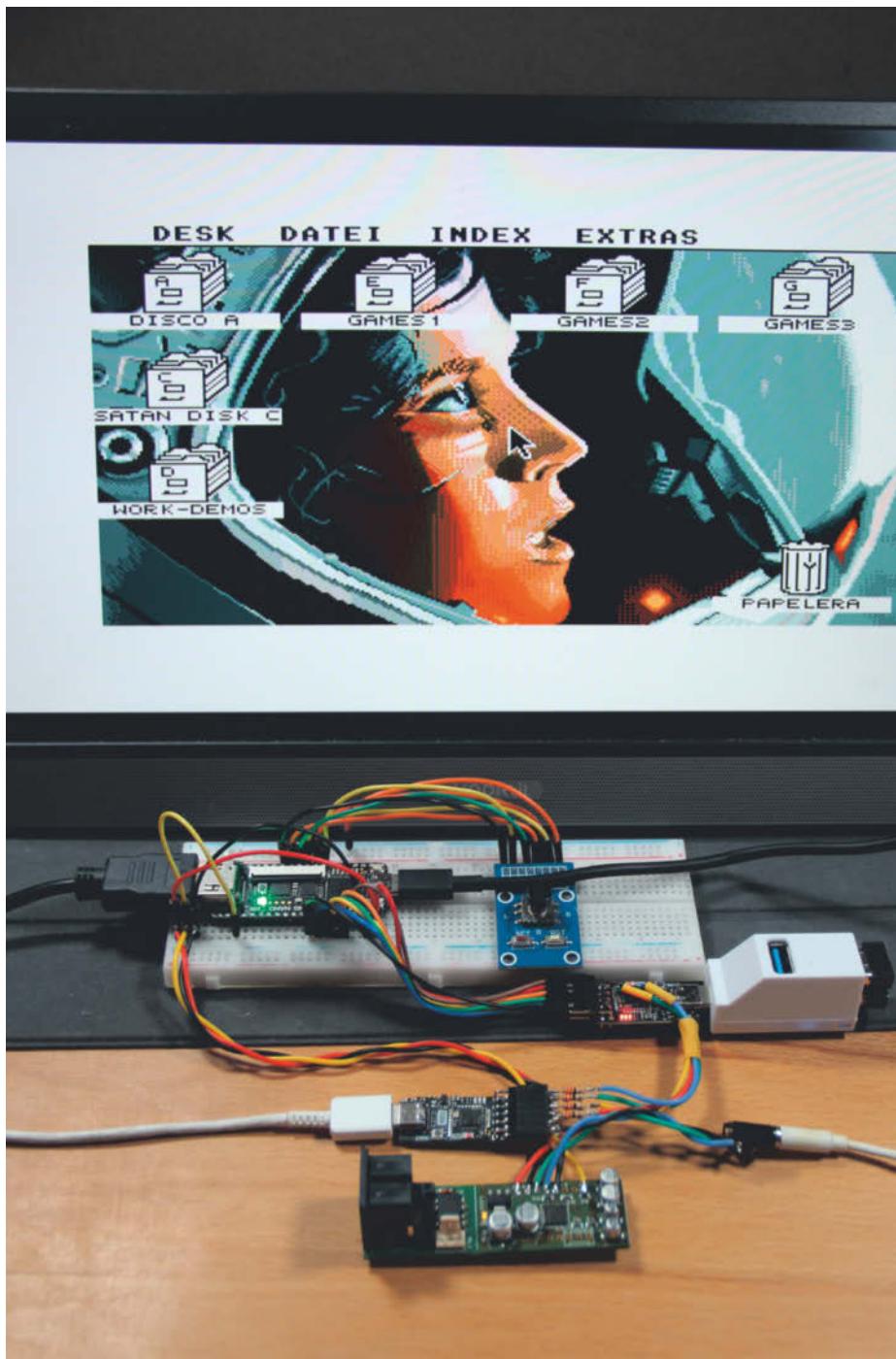
## Literatur

- [1] Anna Neumann, Dorothea Kolossa et al., Proceedings of the 6th International Conference on Natural Language and Speech Processing, Dez 2023: aclanthology.org/2023.icnlsp-1.13

**Projektseiten:** [ct.de/y762](http://ct.de/y762)



**Die Google-Chrome-Erweiterung InVID markiert bearbeitete Bildbereiche auf einem Foto der britischen Königsfamilie. Das Tool gehört längst zum kleinen Einmaleins der Faktenchecker, unterstützt zusätzlich die Reverse-Bildersuche und hilft auch, Videos zu untersuchen.**



# Retrogamingspaß mit FPGAs

**Atari ST im günstigen FPGA-Board Tang Nano 20K nachgebaut**

Via Hardware emulierte Retrocomputer und -Spielkonsolen auf FPGA-Basis bieten ein hochgradig authentisches Spielerlebnis. Doch für die Hardware sind mehrere hundert Euro fällig. Ein FPGA-Entwickler zeigt, wie das unter anderem für den Atari ST mit einem Bruchteil des Preises klappt.

Von Till Harbaum

Fast zehn Jahre ist es her, dass das von mir entwickelte MiST-FPGA-Board [1] das Licht der Welt erblickte. Damit haben Entwickler etwa die 8-Bit-Spielkonsole Nintendo Entertainment System (NES) und den 16-Bit-Computer Amiga akkurat in Hardware geklont. Mein Beitrag dazu war eine Nachbildung des Atari ST. Zusammen mit seinem Nachfolger, dem MiSTER-FPGA [2], hat dieses Gerät das Retrocomputing auf FPGA-Basis populär gemacht. Aufgrund der höheren Leistungsfähigkeit laufen auf dem MiSTER sogar 3D-Spiele der PlayStation 1 wie auf der Originalkonsole.

**Frisch aus  
c't Nerdistan**

Seitdem kam immer wieder der Wunsch nach einem Nachfolger auf. Doch die Chipkrise hat auch die FPGA-Preise in die Höhe getrieben und somit standen die Vorzeichen dafür eher schlecht. Ein MiST-Komplettsystem kostet rund 240 Euro. Das MiSTER-FPGA-Board schlägt in der Minimalausstattung mit etwa 300 Euro zu Buche. Vormontiert in einem Gehäuse und mit zusätzlichen Schnittstellen (USB, VGA ...) ausgestattet verdoppelt sich der Preis. Da kommen die leistungsschwächeren, dafür aber deutlich günstigeren Tang-Nano-FPGA-Boards von Sipeed ab 15 Euro gerade recht. Für diesen Artikel habe ich mir angesehen, inwieweit sie fürs Retrogaming taugen.

## Funktionsweise

Field Programmable Gate Arrays (FPGA) bringen ab Werk keine feste Funktion mit.

Normalerweise kommen sie in der Forschung und Chipentwicklung zum Einsatz. Doch damit kann man auch sämtliche Halbleiter von Retrocomputern und -Spielkonsolen in Form von Cores im FPGA-Chip nachbilden. Als Ergebnis verhält sich das Board beispielsweise exakt so wie ein echter Atari ST. Dafür verschalteten Entwickler die im FPGA verfügbaren Logikgatter und weisen ihnen Funktionen wie die CPU der Originalhardware zu.

Im Gegensatz zur Softwareemulation erfolgen die Speicherzugriffe und Timings nahezu „cycle exact“ wie bei der Originalhardware und Controller-Eingaben und die Bildausgabe finden annähernd verzögerungsfrei statt, sodass das Spielerlebnis extrem authentisch ist.

## Leistung im Vergleich

Die Tang-Nano-Familie von Sipeed besteht aus kleinen Platinen im steckbrett-freundlichen Arduino-Format. Die vergleichsweise günstigen FPGA-Chips stammen von der chinesischen Firma GoWin. Die ersten dieser Boards boten aber nur 1000 Logikelemente und positionierten sich damit weit hinter den 25.000-Logikelementen des MiST- und den 110.000 Elementen des MiSTER-FPGAs. Zur Einordnung: Selbst aus heutiger Sicht sind vergleichsweise schwachbrüstige 8-Bit-Retro-Maschinen wie das NES kaum unter 5000 Logikelementen umsetzbar. Geht es in Richtung der 16-Bit-Ära mit Nintendos Super Nintendo (SNES) und Segas Mega Drive sind mindestens 20.000 Logikelemente nötig.

Mitte 2023 kam nach den Tang-Nano-Varianten 1K, 4K und 9K die 20K-Variante auf den Markt. Dank der 9000 Logikelemente der 9K-Version hat der GitHub-Entwickler nand2mario bereits einen NES-Core entwickeln können. Seinen SNES-Core hat er in die 20K-Variante gequetscht. Aufgrund der limitierten SDRAM-Größe laufen damit allerdings nicht alle Spiele. Für die 20K-Version gibt es inzwischen bereits einen ausgereiften C64-Core (siehe ct.de/yfje). Das 20K-Board kostet rund 35 Euro und bringt neben dem FPGA-Chip auch RAM- und ROM-Speicher mit. Außerdem verfügt es über einen USB-Anschluss zum Aufspielen eigener Cores, einen HDMI-Ausgang für die Video- und Tonausgabe und einen SD-Karten-Slot für ROM- und Diskettenabbilder.

Damit erfüllt das Board alle Voraussetzungen, um einen Atari-ST- und Ami-

ga-Core zu realisieren. Die Portierung des Atari-ST-Cores MiSTeryNano (Download siehe ct.de/yfje) beansprucht über 90 Prozent der 20.000 Logikelemente des FPGAs und emuliert einen vollwertigen Atari ST. Ein einfacher Amiga 500 liegt in der gleichen Größenordnung, einen derartigen Core gibt es aber noch nicht. Hier ist die Community gefragt. Als Einstiegspunkt finden Interessierte auf GitHub eine Dokumentation des Amiga-Cores für das MiSTER-Projekt (siehe ct.de/yfje). Die Programmierung gelingt mittels einer Hardware Description Language (HDL) wie zum Beispiel Verilog.

Der Atari ST Core ist mit fast allen Demos und Spielen von Diskettenimages und Festplatte kompatibel. Aktuell betreibe ich Feintuning und arbeite beispielsweise an der Nachbildung von typischen Zugriffsgeräuschen beim Laden von einer Diskette. Neben dem Tango Nano 20K habe ich den Core auch auf die FPGA-Boards Tang Primer 25K und Tang Mega 138K portiert.

## Basis von Hardware-Klonen

Mittlerweile gibt es von einigen Computer-Bausteinen und Chips nahezu perfekte Umsetzungen in HDL. Diese basieren zum Teil auf einem komplexen Prozess: Beim Decapping wird das Gehäuse des Chips zum Beispiel in Säure aufgelöst und der freigelegte Chip unter starken Mikroskopen fotografiert. Durch den schritt-

## ct kompakt

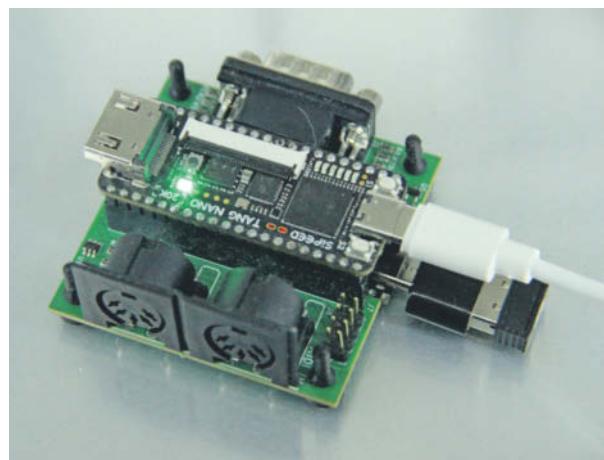
- Für ein authentisches Spielerlebnis kann man Retrocomputer und -Videospielkonsolen in FPGAs klonen.
- Dank neuer Billig-FPGAs von Sipeed gibt es das nun auch zum kleinen Preis.
- Für die günstigen Boards gibt es bereits unter anderem akkurate Atari-ST-, C64- und NES-Cores.

weisen Einsatz verschiedener Chemikalien werden die unterschiedlichen Ebenen des eigentlichen Chip-Dies freigelegt und nacheinander in sogenannten Die-Shots festgehalten. Bei ausreichender Bildqualität kann man den elektrischen Aufbau von Chips aus den Fotos ablesen und eine exakte Replik in HDL formulieren. Für meinen Atari ST konnte ich auf diese Weise auf eine nahezu perfekte Umsetzung der Motorola-MC68000-CPU zugreifen.

Auch Teile des Atari-ST-Chipsatzes sind inzwischen in perfekter HDL-Umsetzung verfügbar. Die Daten stammten aus Original-Fertigungsunterlagen der realen Chips, die aus alten Disketten- und Festplattensammlungen aus dem Atari-Firmenumfeld rekonstruiert werden konnten. Gerade für den Atari ST machen



Damit auch moderne Flachbildfernseher und Monitore das Originalvideosignal des geklonten Atari ST anzeigen, ist ein Griff in die Trickkiste nötig.



**Praktisch:** Wer beim Erstellen von Hardwareerweiterungen keine Lust auf Löten hat, lädt seine CAD-Dateien bei einem Onlineservice wie JLCPCB hoch und bekommt die Erweiterung fertig montiert zugeschickt. Dieser MIDI-Adapter hat ab einer Stückzahl von fünf rund 10 Euro gekostet.

solche „zyklenexakten“ Implementierungen der Chips einen signifikanten Unterschied, damit das System akkurat und fehlerfrei läuft.

Findige Programmierer, vor allem aus der Demoszene, haben damals die Grenzen des Atari ST durch trickreiche Programmierung ausgenutzt und ihm auf diese Weise mehr Farben und eine höhere Auflösung entlockt, als die Hardware vorsah. Diese Tricks verlassen sich teilweise auf die nanosekundengenaue Ausführung bestimmter Befehlssequenzen. Nur mit einer exakten Nachbildung der Original-Chips laufen solch trickreiche Programme tatsächlich korrekt und ohne Bildstörungen. Auf MiST und MiSTER nutzt der MiSTery-Core diese präzisen Chip-Implementierungen, um einen Atari ST zu simulieren und die Demos fehlerfrei abzuspielen. Mein Ziel ist es, die MiSTery-Implementierung auf das Tang Nano 20K zu portieren; das MiSTeryNano-Projekt ist geboren.

## Auf dem Weg zum Atari ST

Man schließt das Board via USB an einen PC an. Wie beim Arduino schiebt man den fertigen Code darüber in den Flash-Speicher. Doch die ersten Schritte mit dem Tang Nano 20K unter Linux verlaufen zunächst holprig. Da die FPGA-Boards in der Szene noch nicht etabliert sind, betrete ich Neuland, um meinen Atari-ST-Core zum Laufen zu bringen.

Softwarebeispiele des FPGA-Herstellers GoWin, etwa zur Ausgabe eines Testbilds via HDMI, lassen sich zwar in der FPGA-Entwicklungsumgebung GoWin-IDE synthetisieren, die GoWin-Software erkennt aber unter Linux das angeschlossene Board nicht und ich kann den Code nicht in das FPGA laden. Erst das FPGA-Programmiertool openFPGaloader-Pro-

jekt (siehe ct.de/yfje) erlaubt mir, das Tang Nano 20K unter Linux zu programmieren.

Auf das GoWin-Analog-Oscilloscope-Tool (GAO), das einen Live-Blick ins laufende FPGA für das unabdingbare Debugging erlauben würde, musste ich zunächst leider verzichten. Erst seit Anfang 2024 unterstützt die GoWin-IDE das Tang Nano 20K, sodass GAO nun auch unter Linux nutzbar ist. GAO ist vergleichbar mit Alteras Debuggingtool SignalTap oder Xilinx's Integrated Logic Analyzer.

## RAM- und ROM-Probleme

Eine Besonderheit des auf dem Tang Nano 20K verbauten GW2AR-FPGA-Chip ist sein 8 MByte umfassender FPGA-interner

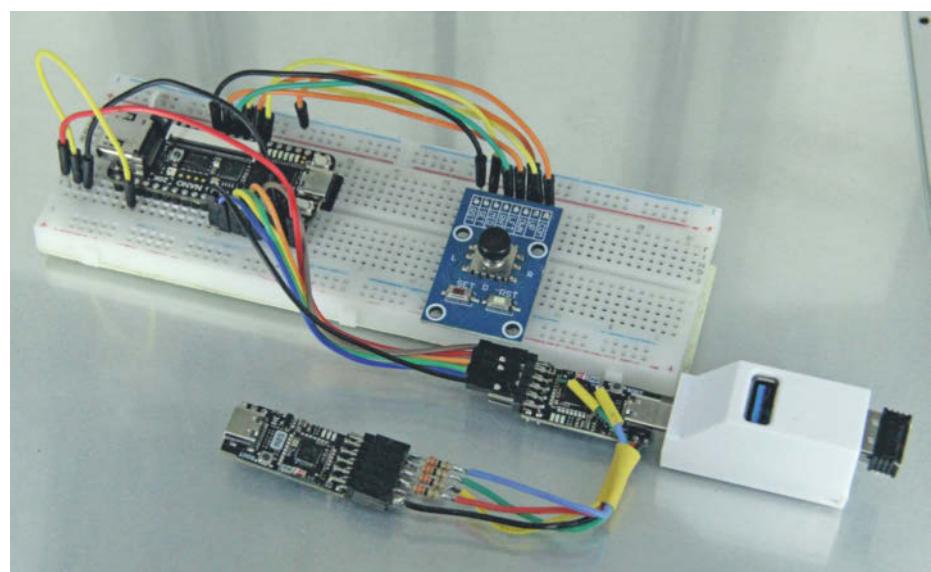
SDRAM-Speicher. Das passt recht gut zu den Heimcomputern der 16-Bit-Ära. Ein Atari ST hatte ab Werk maximal 4 MByte RAM.

Retro-Heimcomputer halten wesentliche Teile ihres Betriebssystems im ROM. Im FPGA bildet man den ROM-Speicher häufig im RAM nach. Dafür werden die benötigten Daten beim Systemstart automatisch von einer SD-Karte geladen und der Speicher mit einem Schreibschutz versehen, sodass er sich von da an wie ROM-Speicher verhält.

Aber es gibt eine Alternative: Das Tang Nano 20K verfügt zusätzlich über 8 MByte seriellen Flashspeicher, der das FPGA beim Systemstart mit den Daten des Cores initialisiert. Die FPGA-Konfiguration belegt weniger als 1 MByte, es stehen also über 7 MByte für den Core zur Verfügung.

Mein Atari ST-Core nutzt 1 MByte, um bis zu vier der maximal 256 KByte großen The-Operating-System-ROM-Varianten (TOS-ROM) des Betriebssystems unterzubringen. Die Installation der ROMs funktioniert dabei mit den gleichen Flash-Tools, mit denen ich auch die eigentliche FPGA-Konfiguration installiert habe.

Zunächst plante ich, die ROM-Daten aus dem für Atari-ST-Verhältnisse eigentlich zu langsamen Flashspeicher des Tang Nano beim Systemstart in ungenutztes schnelles RAM zu kopieren. „Unglücklicherweise“ sind die HDL-Nachbildungen



**Entwicklungsumgebung für den Atari-ST-Core auf einem Steckbrett:** Links befindet sich das FPGA-Board Tango Nano 20K. Rechts daneben ist ein Mini-Joystick verdrahtet. Darunter ist ein MOS-Dock mit einem USB-Hub und eingestecktem Funkempfänger für Maus und Tastatur. Das zweite MOS-Dock im unteren Teil des Bildes dient als Debug-Adapter.



# WIR TEILEN KEIN HALBWISSEN WIR SCHAFFEN FACHWISSEN



23.05.



## Photovoltaik für Einsteiger

Im Webinar lernen Sie die erforderliche Ausstattung einer eigenen Photovoltaik-Anlage zu überschlagen und die technischen Komponenten am Markt einzuschätzen.



28.05.



## Einführung ins Threat Modeling

In diesem Workshop lernen Sie Threat Modeling als leichtgewichtige Methode kennen. Sie erfahren, wie Sie zu einem „Positive Threat Mindset“ kommen, sodass Sicherheitslücken proaktiv vermieden werden.



04.06.



## Node.js intensiv

Der Workshop bietet einen umfassenden Einstieg in die Entwicklung serverseitiger Anwendungen mit Node.js. Sie lernen die wichtigsten Basics, die Architektur und Best Practices kennen.



05. – 06.06.



## Einführung in den Kea DHCP Server

Der Workshop gibt eine vollständige Einführung in die neue Kea-DHCP-Software auf Unix- und Linux-Systemen. Sie lernen, wie man das Kea-DHCP-System installiert, konfiguriert und wartet.



11.06.



## Einführung in Power BI

Der Workshop stellt praxisnah die wichtigsten Grundlagen des BI-Konzeptes und die verschiedenen Komponenten vor. Außerdem lernen Sie die Vorteile von Power BI gegenüber dem klassischen Excel kennen.



11. – 12.06.



## Dienste mit SELinux absichern

SELinux einfach abzuschalten, wenn es Probleme gibt, ist üblich, aber unklug. Der Workshop zeigt, wie man das System stattdessen so nutzt, dass alles besser abgesichert ist und trotzdem funktioniert.

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

© Copyright by heise Medien

```

85 L
86 wire [5:0] leds; // control leds with positive logic
87 assign leds_n = ~leds;
88
89 wire sys_resetn;
90
91 // connect to ws2812 led
92 wire [23:0] ws2812_color;
93 ws2812 ws2812_inst (
94 .clk(clk32),
95 .color(ws2812_color),
96 .data(ws2812)
97 );
98
99 // system values are set by the external MCU (by the user via the OSD)
100 // and used to control the system in general
101 wire [1:0] system_leds;
102 wire [1:0] system_chipset;
103 wire [1:0] system_memory;
104 wire [1:0] system_video;
105 wire [1:0] system_reset; // reset and coldboot flag
106 wire [1:0] system_scanlines;
107 wire [1:0] system_volume;
108 wire [1:0] system_wide_screen;
109 wire [1:0] system_floppy_wprot;
110 wire [1:0] system_cubase_en;
111 wire [1:0] system_port_mouse;
112 wire [1:0] system_fsc_slnet;
113

```

[25%] Optimizing Phase 2 completed  
Running Inference ...  
[30%] Inferring Phase 0 completed  
[40%] Inferring Phase 1 completed  
[50%] Inferring Phase 2 completed  
[55%] Inferring Phase 3 completed  
Running technical mapping ...  
[60%] Tech-Mapping Phase 0 completed  
[65%] Tech-Mapping Phase 1 completed  
[70%] Tech-Mapping Phase 2 completed

### Die Programmierung des Atari-ST-Cores gelingt mit der Hardware Description Language (HDL) Verilog.

des Atari-ST-Chipsatzes inzwischen aber so perfekt und machen sich wie der echte Atari ST zunutze, dass die CPU ungehindert auf den ROM-Speicher zugreifen kann, während sie sich bei RAM-Zugriffen mit der Videoausgabe abstimmen muss.

Kopiert man nun das ROM ins RAM, dann weiß der Chipsatz davon nichts und erlaubt der CPU ungehinderten Zugriff auf das, was eigentlich der ROM sein sollte. Das Resultat ist, dass in seltenen Fällen der aufs RAM umgeleitete ROM-Zugriff mit dem Videozugriff kollidiert. Dabei

werden falsche Daten gelesen und das System stürzt ab. Also zurück ans Zeichenbrett.

Ein genaues Studium der Datenblätter des Flash-Speichers zeigte, dass sich der Zugriff mit diversen Optimierungen beschleunigen lässt. Der dadurch gewonnene Geschwindigkeitszuwachs reicht so gerade eben für den spezifizierten ROM-Zugriff eines Atari ST aus und es kam zu keinen Abstürzen mehr. Die Daten können also einfach im Flash-ROM verbleiben und müssen nicht in schnelleres RAM

kopiert werden. Daraus resultiert ein netter Nebeneffekt: Dem Core stehen so die gesamten 8 MByte RAM zur Verfügung. Über so viel Speicher verfügt kein echter Atari ST.

### Problematische Videoausgabe

Dank einer bereits existierenden Codebasis (siehe ct.de/yfje) konnte ich dem HDMI-Ausgang recht schnell ein Videosignal im DVI-Modus ohne Ton entlocken. Auch für die Bild- und Tonausgabe nach HDMI-Standard gibt es bereits Code auf GitHub (siehe ct.de/yfje), der sich relativ einfach anpassen ließ. So konnte ich dem FPGA-Board neben einem Videosignal auch Ton entlocken. Weil aber viele Retrocomputer und -Spielkonsolen Videomodi nutzen, die nicht exakt dem HDMI-Standard entsprechen, ist die korrekte Umsetzung komplex und während meiner Tests blieb der Bildschirm oft schwarz.

Damit der Atari-ST-Core Videosignale mit zum Beispiel  $320 \times 200$  Bildpunkten den HDMI-Spezifikationen entsprechend ausgibt, müsste das Bildsignal eigentlich aufwendig umgewandelt werden. Dafür fehlen dem kleinen FPGA aber die Ressourcen. Dementsprechend muss ich improvisieren und setze auf einen Scan-Doubler-Ansatz. Diese recht einfache Verdopplung jeder Bildzeile ( $320 \times 400$ ) bringt die Signale in ein Format, das nahe an üblichen HDMI-Signalen liegt und dementsprechend von den meisten modernen Monitoren und Fernsehern akzeptiert wird. Auch wenn das damit behandelte Videosignal nicht vollständig HDMI-konform ist, wurde ich am Ende trotzdem mit einer verzögerungs- und ruckelfreien Wiedergabe belohnt. So macht Retrogaming Spaß!

### Peripherie

Neben Joysticks und Gamepads benötigen Retrocomputer-Cores eine Maus und eine Tastatur. Theoretisch lässt sich dafür der vorhandene Mikrocontroller des Tang Nano 20k zweckentfremden. Die Rechenleistung und der Speicher dieser 320-MHz-RISC-V-CPU sind dafür ausreichend und mit Bluetooth, USB-Host und WLAN bietet sie auch die nötigen Schnittstellen.

Geht man diesen Weg, verliert man jedoch die Möglichkeit, Code vom PC auf das FPGA zu kopieren. Deswegen nutze ich ein zusätzliches Mikrocontroller-Board. Das ebenfalls von Sipeed für 5 Euro vertriebene MOS-Dock wird per Jumper-



Wer möchte, kann sich mit etwas Aufwand auch ein Erweiterungsboard mit einem DE-9-Anschluss für Original-Atari-Joysticks bauen.

Kabel mit dem FPGA-Board verbunden und bietet Anschlussmöglichkeiten für etwa USB-Maus und -Tastatur. Obendrein erleichtert es die Bedienung, indem es ein On-Screen-Display über den laufenden Bildinhalt einblendet, über das man unter anderem Core-spezifische Dinge wie die RAM-Größe einstellen und Diskettenimages von SD-Karte einbinden kann.

Das Arduino-artige Format erlaubt die Nutzung auf Steckbrettern. Durch diesen Aufbau können technikversierte Retrospieler etwa Original-Joysticks direkt mit dem Tang Nano verkabeln oder sogar eigene Hardware entwerfen.

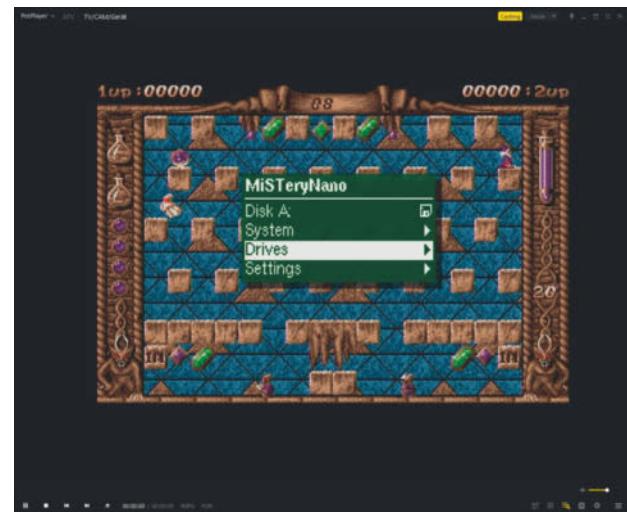
Für den Atari-ST-Core habe ich eine kleine Trägerplatine erstellt, die den Heimcomputer-Klon mit seinen berühmten MIDI-Schnittstellen ausstattet (siehe Foto), um über MIDI-Befehle Synthesizer anzusteuern. In Verbindung mit der Musiksoftware Cubase war der Atari ST früher in vielen Musikstudios im Einsatz. Die dafür benötigten KiCAD-Daten stehen ebenfalls auf GitHub zur Verfügung und können vergleichsweise einfach dem eigenen Bedarf angepasst werden. Wer diesen Aufwand scheut, kann sich mithilfe der bereitgestellten Fertigungsdaten für vergleichsweise wenig Geld fertig montierte Boards in Fernost über einen Platinenhersteller wie JLCPCB bestellen.

## Fazit

Das Tang-Nano-20K-FPGA-Board erfüllt zu einem deutlich günstigeren Preis knapp das Versprechen, das damals das MiST-Board gegeben hat, und es lässt sich mit vergleichsweise wenig Aufwand in einen vollwertigen Atari ST und weitere Retro-systeme verwandeln. Für knapp 40 Euro erhält man mit dem Tang Nano 20K und dem MOS-Dock alles, um das Retro-Homecomputing aufzuleben zu lassen. Weitere Portierungen, vor allem des Commodore Amiga, aber auch diverser 8-Bit-Homecomputer warten auf ihre Umsetzung. Hier liefern MiST und MiSTER auf GitHub einen breiten Fundus ausgereifter Lösungen von verschiedenen Entwicklern, die sich in einigen Fällen mit moderatem Aufwand und geringem Budgeteinsatz auf das Tang Nano 20K oder seine Verwandten portieren lassen. Ich freue mich, wenn ich Sie mit diesem Artikel motivieren konnte und lade Sie herzlich zur Mitarbeit auf GitHub ein.

Die Mühe lohnt sich auf jeden Fall: Im direkten Vergleich zur Softwareemulation, speziell auf einem vergleichsweise schwä-

**Über das OSD-Menü wählt man unter anderem Images von Disketten zum Starten von Spielen aus.**



chen Raspberry Pi Zero 2, punktet der FPGA-Ansatz mit einer überzeugenderen Akkurate und Performance. Anders als bei der Softwareemulation funken keine Betriebssystem-Prozesse dazwischen und die Audio- und Videowiedergabe muss keine Umwege über Treiber gehen – die im FPGA nachbildete Originalhardware ist ohne Umwege direkt ansprechbar. Die FPGA-typische Präzision garantiert somit ein extrem authentisches und latenzfreies Retrogamingerlebnis [3].

Im Vergleich zur Softwareemulation ist das Setup aber aufwendiger und derzeit gibt es für das günstige FPGA-Board nur vergleichsweise wenig Cores. Außerdem ist die Leistung des Tang Nano 20K begrenzt und etwa das SNES und Mega Drive lassen sich damit nicht vollständig umsetzen. Mit dem Tang Primer 25K bietet Sipeed seit Kurzem ein Board mit einem 25.000-Logikelementen fassenden FPGA

an, das auch für diese Konsolen ausreichend sein könnte, aber voll ausgerüstet bereits über 50 Euro kostet. Das Tang Mega 138K übertrifft sogar das große FPGA des MiSTER und ist mit dem optional eingebauten Bildschirm darüber hinaus als Handheld-Konsole nutzbar. Es ist mit über 200 Euro aber auch deutlich teurer.

(des@ct.de) **ct**

## Literatur

- [1] Dr. Till Harbaum, Klassiker gefühlsecht, FPGA-Computer MiST simuliert Amiga und Atari ST, c't 9/2015, S. 152
- [2] Dennis Schirmacher, Konsolen-Kloner, FPGA-Projekt MiSTER mit Retro-Videospielen ausprobiert und optimiert, c't 19/2023, S. 150
- [3] Dennis Schirmacher, Retrogaming? Ja, gern, aber wie?, Alte Videospiele auf Originalkonsolen, via Softwareemulation und mittels FPGA-Board gespielt, c't 23/2023, S. 130

**Dokumentationen und Downloads zum FPGA-Projekt:** [ct.de/yfje](http://ct.de/yfje)

## Atari-ST-Core auf Tang Nano 20K starten

Aus Platzgründen gibt es an dieser Stelle nur eine Kurzfassung, wie Sie den Atari-ST-Core unter Windows auf dem FPGA-Board Tang Nano 20K kopieren, Maus und Tastatur über das MOS-Dock anschließen und Spiele über Diskettenimages von einer SD-Karte starten. Die Langfassung und die benötigten Tools finden Sie auf der GitHubseite des MiSTeryNano-Projektes (siehe [ct.de/yfje](http://ct.de/yfje)).

Schließen Sie das FPGA-Board via USB an einen Windows-PC an. Flashen Sie über die GoWin-Programmiersoftware das Betriebssystem (TOS-ROM) an

Adresse 0x100000 des Flashespeichers. Nun laden Sie den aktuellen MiSTery-NanoCare in den Flash und übertragen dann die USB-Firmware auf das MOS-Dock. Verbinden Sie das FPGA-Board wie auf der Projektwebsite geschildert über Jumperkabel mit dem Dock. Stecken Sie eine SD-Karte mit Diskettenimages von Spielen in den Slot des FPGA-Boards. Im Anschluss schließen Sie via HDMI einen Monitor an. Nun sollte der Atari-ST-Desktop auf dem Bildschirm erscheinen. Um Diskettenimages einzubinden und zu starten, drücken Sie auf der Tastatur die F12-Taste. Viel Spaß beim Retrogaming!



Bild: KI Midjourney | Collage c't

# Freiheit für Passkeys

## Passkeys mit Open-Source-Tools verwenden

**Einloggen ohne Passwort und Phishing-Risiko: Passkeys bieten viele Vorteile. Sie können das sichere und komfortable Login-Verfahren auch mit Open-Source-Tools verwenden, ohne sich von Google oder Apple abhängig zu machen. Das klappt auch unter Linux.**

Von Ronald Eikenberg

Von Passkeys haben Sie wahrscheinlich schon gehört. Das neue Login-Verfahren für Webdienste und Apps ist derzeit in aller Munde, weil es ein Problem löst, das jeder hat: Passwörter. Sie loggen sich

damit ganz einfach per PIN, Fingerabdruck oder Face ID ein, ohne mit sperrigen Passwörtern jonglieren zu müssen [1]. Ein häufiger Kritikpunkt ist jedoch, dass man sich damit in die Abhängigkeit großer Konzerne begibt.

Das stimmt zum Teil: Wer Passkeys mit Android, Apple-Betriebssystemen oder Windows speichert [2], bekommt sie da derzeit nicht mehr raus. Es gibt keine Exportfunktion, wodurch ein Wechsel vom iPhone zu einem Android-Smartphone (oder umgekehrt) sehr mühsam ist. Man muss dann für alle Accounts neue Passkeys erstellen. Bei Apple und Google werden die Passkeys zudem immer auch in der jeweiligen Herstellercloud gespeichert. Auch wenn sie vorher verschlüsselt werden, stört das viele Nutzer.

Das muss jedoch nicht so sein, denn das moderne Login-Verfahren fußt auf

offenen Webstandards. Wenn Sie möchten, können Sie daher sämtliche Freiheiten genießen: Sie können Passkeys mit Open-Source-Tools erstellen und ausschließlich lokal speichern oder sogar über Ihren eigenen Server synchronisieren. Für maximale Sicherheit speichern Sie Passkeys auf FIDO2-Sticks – auch die gibt es in Open-Source-Varianten. Das alles klappt unter Windows und macOS, ist aber auch für Linux-Nutzer sehr interessant, weil Linux-Distros noch nicht dazu in der Lage sind, Passkeys aus eigener Kraft zu verwalten.

### KeePassXC kann Passkeys

Die erste Möglichkeit ist der vielseitige Open-Source-Passwortmanager KeePassXC, den es für Windows, macOS und Linux gibt. Sie benötigen für Passkeys mindestens die Version 2.7.7 sowie die pas-

sende Erweiterung KeePassXC-Browser für Ihren Browser (siehe ct.de/yppc). Wenn Sie KeePassXC zum ersten Mal verwenden, fordert es Sie zunächst auf, eine neue Passwortdatenbank anzulegen.

Hierzu wählen Sie ein Masterpasswort, mit dem Sie die Datenbank künftig entsperren. Es sollte so lang sein, dass Sie es sich gerade noch merken können. Schreiben Sie es sich sicherheitshalber auf einen Zettel und bewahren Sie ihn an einem sicheren Ort auf, etwa im Portemonnaie. Außerdem werden Sie noch nach einem Speicherort für die Datenbankdatei gefragt, irgendwo auf Ihrem Rechner.

Nach der schnellen Einrichtung geben Sie der Browser-Erweiterung Zugriff auf den Passwortmanager, indem Sie in KeePassXC oben auf das Zahnrad klicken und anschließend auf „Browser-Integration“ sowie „Browserintegration aktivieren“. Danach setzen Sie unter „Integration für diese Browser aktivieren“ noch Häkchen bei den Browsergruppen, die Sie verwenden möchten, etwa „Chrome, Vivaldi, and Brave“ und „Firefox and Tor Browser“. Ist das getan, klicken Sie im Browser Ihrer Wahl auf das Symbol der KeePassXC-Erweiterung und „Verbinden“.

Danach meldet sich wieder der Passwortmanager und fragt Sie, wie Sie die neue Verbindung nennen möchten. Geben Sie zum Beispiel den Namen des Browsers ein. Unter Linux kann der Verbindungs-aufbau scheitern, wenn Sie den Browser als Flatpak installiert haben. Die einfachste Lösung ist in diesem Fall, den Browser aus den klassischen Paket-Repositorien Ihrer Distribution zu beziehen. Steht die Verbindung, klicken Sie wieder auf das Symbol der Browser-Erweiterung und dann auf das Zahnrad, um die Einstellungen zu öffnen. Hier scrollen Sie runter bis „Passkeys“ und setzen das Häkchen „Passkeys aktivieren“.

Sie können jetzt mit Passkeys loslegen. Für einen Funktionstest verwenden Sie am besten eine Testseite wie WebAuthn.io: Tragen Sie dort einen beliebigen Nutzernamen ein und klicken Sie auf „Register“. Kurz darauf meldet sich KeePassXC und erkundigt sich, ob Sie einen Passkey erstellen möchten, was Sie mit dem „Registrieren“-Knopf bestätigen.

Das Einloggen ist genauso einfach. Drücken Sie auf der Demoseite auf „Try it again?“, um wieder zum Loginformular zu gelangen. Dort klicken Sie dieses Mal auf „Authenticate“. Den Nutzernamen brauchen Sie nicht einzutippen, weil dieser

schon im Passkey steckt. Sobald sich KeePassXC meldet, bestätigen Sie mit „Authentifizieren“ und sind sofort eingeloggt. Der Passwortmanager nutzt stets die gerade geöffnete Datenbank für die Passkeys. Sind mehrere offen, können Sie wählen.

Wir konnten mit KeePassXC erfolgreich Passkeys für Amazon, eBay und Google erstellen und uns damit einloggen. Hier und da haktele es noch leicht, so schlug die Verwendung der Testseite passkey.org fehl, die wir in c't 8/2024 als Beispiel genutzt haben [2]. Das ist ein bekanntes Problem, zu dem bereits ein Issue im GitHub-Projekt existiert (siehe ct.de/yppc). Dort berichten Nutzer auch noch von weiteren Websites, die Probleme bereiten. Wir gehen davon aus, dass die Entwickler nachfeilen. Ein derzeit ungelöstes Problem ist die Unterstützung von Android, iOS und iPadOS. Es gibt viele KeePass-kompatible Smartphone-Apps, aber noch keine mit Passkey-Unterstützung.

In KeePassXC inspirieren und verwalten Sie Ihre Passkeys am besten über „Datenbank/Passkeys...“. Da Passwörter und Passkeys in der Datenbankdatei auf Ihrem Rechner gespeichert sind, können Sie diese bei Bedarf einfach auf einen anderen Rechner oder einen USB-Stick kopieren. Auch das Synchronisieren mit einem Tool Ihrer Wahl ist möglich, etwa über eine NextCloud oder mit Syncthing.

Wenn Sie einen Passkey gezielt teilen möchten, markieren Sie ihn in der Übersicht und speichern ihn mit dem Export-Knopf

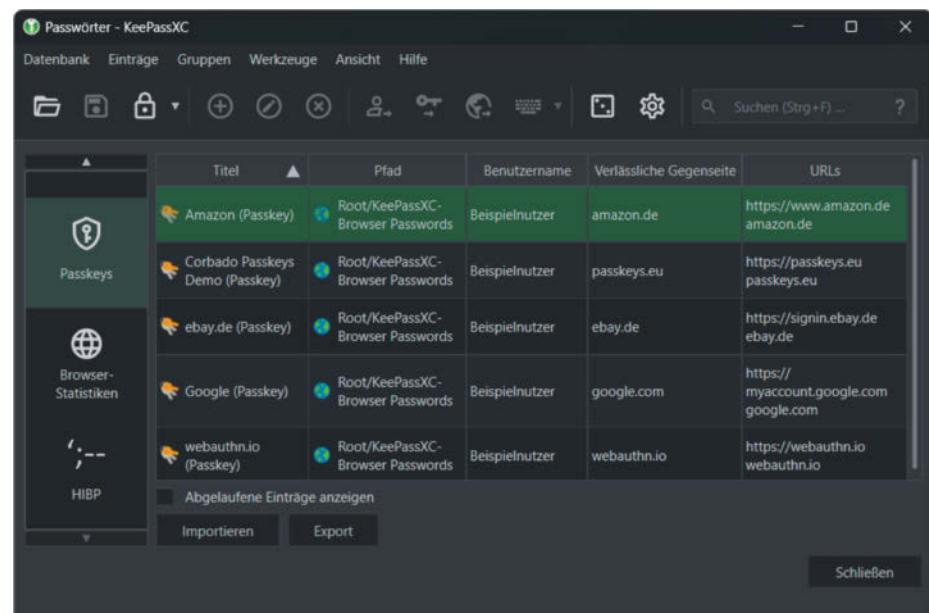
## c't kompakt

- Mit Passkeys loggen Sie sich ohne Passwort und Phishing-Risiko bei Webdiensten ein.
- Das klappt auch mit Open-Source-Tools, ohne sich von großen Herstellern abhängig zu machen.
- Damit behalten Sie die volle Kontrolle über Ihre Passkeys, können sie lokal speichern und exportieren.
- Auch Linux können Sie damit die Passkey-Authentifizierung beibringen.

in einer Datei mit der Endung .passkey. Aber aufgepasst: Der private Kryptoschlüssel wird dabei im Klartext gespeichert. Damit ist Ihr Passkey so gut oder schlecht geschützt wie ein Passwort in einer Textdatei. Wenn Sie in KeePassXC doppelt auf einen Passkey und auf „Fortgeschritten“ klicken, können Sie sich den privaten Schlüssel auch ansehen, indem Sie „KPEX\_PASSKEY\_PRIVATE\_KEY\_PEM“ und „Zeigen“ wählen.

## Mit Bitwarden zur eigenen Passkey-Cloud

Eine weitere Möglichkeit, beim Einsatz von Passkeys frei und unabhängig zu bleiben, ist Bitwarden. Es eignet sich besonders gut für die Nutzung mit mehreren



**Lokal gespeichert:** KeePassXC kümmert sich um Passkeys, wenn man die dazugehörige Browser-Erweiterung installiert.

Geräten, weil es wie die meisten modernen Passwortmanager mit einem Sync-Server arbeitet. Sie haben die Wahl, ob Sie die Cloud des Herstellers verwenden oder selbst einen Server betreiben.

Die Herstellercloud ist die leichtere Option, dafür installieren Sie einfach die Browser-Erweiterung (siehe ct.de/yppc) und legen sich einen Account auf bitwarden.com an. Die Passkey-Unterstützung ist bereits im kostenlosen Basisaccount enthalten, den Sie mit unbegrenzt vielen Geräten verwenden können. Für die meisten Nutzer reicht das aus.

Anders als KeePassXC gibt es bei Bitwarden derzeit kaum Extras für Passkeys. Loggen Sie sich einfach in die Browser-Erweiterung ein und sie sollte automatisch anspringen, wenn Sie auf einer Website einen Passkey erstellen. Klicken Sie dann auf „Passkey als neue Zugangsdaten speichern“. Wenn Sie für die Website bereits Zugangsdaten gespeichert haben, können Sie den Passkey dem vorhandenen Eintrag hinzufügen. Das Einloggen funktioniert genauso simpel.

Ausprobieren können Sie das wieder mit der Testseite webauthn.io. Bitwarden kommt auch mit der Demoseite passkey.org klar und scheint generell die bessere Kompatibilität zu bieten. Falls Bitwarden nicht aufwacht, wenn Sie die Passkey-Authentifizierung auf einer Website starten, klicken Sie in der Browser-Erweiterung auf „Einstellungen/Optionen“ und setzen Sie das Häkchen „Nach dem Speichern und Verwenden von Passkeys fragen“.



Bild: Nitrokey

**Mit FIDO2-Sticks wie dem „Nitrokey Passkey“ verwenden Sie Passkeys auch unter Linux maximal sicher. Hard- und Firmware sind Open Source.**

Wenn Sie mehrere Passkeys pro Webseite benötigen, etwa weil Sie dort mehrere Accounts besitzen, brauchen Sie dafür mehrere Einträge in Bitwarden. Sie dürfen nur einen Passkey je Eintrag speichern, aber beliebig viele Einträge für eine Webseite anlegen.

Das erledigen Sie direkt beim Erstellen des Passkeys: Wenn die Browsererweiterung meldet „Wähle Zugangsdaten aus, in die dieser Passkey gespeichert werden sollen“, klicken Sie oben links auf das Plus-Symbol, um einen neuen Eintrag zu erstellen. Falls Sie das nicht angeboten bekommen und Bitwarden meldet, dass für diese Anwendung bereits ein Passkey existiert, erstellen Sie im Vorfeld einen Eintrag über einen Klick auf das Icon der Browsererweiterung und das dortige Pluszeichen.

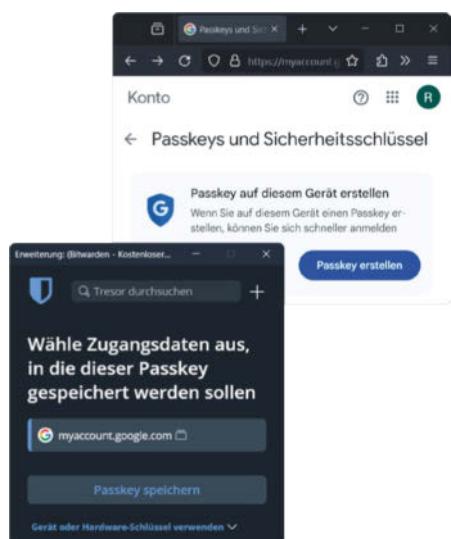
Geben Sie dem Eintrag unter „Name“ eine passende Bezeichnung, etwa „Google-Zweitkonto“, damit Sie später nicht durcheinander kommen. Sie können außerdem Zugangsdaten wie ein klassisches Passwort hinterlegen, das ist für den Passkey aber nicht nötig. Nachdem Sie den Neueintrag gespeichert haben, können Sie ihn Eintrag bei der nächsten Passkey-Authentifizierung auswählen.

Es ist aber auch kein Hexenwerk, selbst einen Bitwarden-Server an den Start zu bringen, etwa auf einem ausdienten Raspi, Thin Client oder sonstigem Rechner. Das Open-Source-Projekt Vaultwarden bildet (siehe ct.de/yppc) das API des Bitwarden-Servers nach und kommt mit geringen Ressourcen aus. Sie können Vaultwarden zum Beispiel als Docker-Container starten oder Sie machen es sich leicht und installieren es mit wenigen Klicks über den App-Store des Server-Betriebssystems YunoHost (siehe ct.de/yppc).

Ein eigener Server hat einen großen Vorteil gegenüber der Bitwarden-Cloud: Ihre Passkeys und Zugangsdaten bleiben uneingeschränkt unter Ihrer Kontrolle. Es gibt aber auch Nachteile, denn um Updates, Backups und Sicherheit müssen Sie sich selbst kümmern.

### Passkeys teilen

Wenn Sie Passkeys mit anderen Familien, Freunden oder Kollegen teilen möchten, klappt das mit Bitwarden besonders komfortabel. Dazu erstellen Sie eine sogenannte Organisation, der Sie andere Nutzer hinzufügen. Alle Passkeys und sonstige Zugangsdaten, die Sie künftig dieser Organisation zuordnen, tauchen sofort auch bei den anderen Nutzern auf. Das klappt



**Bei Bitwarden reicht die Browser-Erweiterung aus, um Passkeys zu verwenden. Einen dazu passenden Sync-Server können Sie auch selbst aufsetzen.**

sich mit dem Gratis-Account in der Bitwarden-Cloud immerhin mit insgesamt zwei Personen, Ihr eigener Server hat diese Einschränkung nicht.

Um eine Organisation in der Bitwarden-Cloud zu erstellen, öffnen Sie den Web-Tresor (vault.bitwarden.com) und klicken auf „+ Neue Organisation“. Geben Sie ihr einen Namen und Ihre Mailadresse ein, den Rest können Sie auf den Standardwerten belassen. Anschließend laden Sie über „Mitglieder/+ Mitglied einladen“ jemanden ein. Hierfür ist nur die Mailadresse der Person nötig, außerdem sollten Sie über den Tab „Sammlungen“ eine gemeinsame Sammlung auswählen (etwa die „Standardsammlung“).

Danach muss das neue Mitglied auf den Link in der Bestätigungsmail klicken und der Hauptnutzer muss den Neuzugang anschließend in der Mitgliederverwaltung bestätigen. Ist alles erledigt, können Sie vorhandene Passkeys & Co. in die Organisation verschieben. Bei Vaultwarden ist das Vorgehen sehr ähnlich.

Auch Bitwarden hat aktuell noch Nachholbedarf bei der Smartphone- und Tablet-Nutzung: Bis Redaktionsschluss war nur mit der Beta-Version der iOS-App möglich, Passkeys auf einem Smartphone zu verwenden. Das dürfte sich aber bald ändern, da die Bitwarden-Entwickler mit hoher Priorität daran arbeiten, Passkeys in die Mobil-Apps zu bringen.

In jedem Fall wird ein aktuelles Betriebssystem nötig sein, um Passwortmanager-Apps im mobilen Browser zur Pass-

key-Authentifizierung zu verwenden: Android bringt erst ab Version 14 die nötigen APIs mit, iOS ab Version 17.

## Eine Frage der Sicherheit

Passwortmanager sind ziemlich sicher, haben aber nur begrenzte Möglichkeiten, die Geheimnisse Ihrer Nutzer zu schützen. Wenn auf Ihrem Rechner ein Schädling lauert, kann dieser versuchen, die privaten Schlüssel Ihrer Passkeys und Ihre Passwörter aus dem Arbeitsspeicher zu klauen, nachdem der Passwortmanager sie entschlüsselt hat, um damit zu arbeiten.

Mehr Sicherheit, aber auch weniger Komfort, bieten FIDO2-Sticks. Das sind spezielle USB-Sticks, die sich zum Erstellen und Speichern von Passkeys eignen. Dann werden die privaten Schlüssel von einem Chip innerhalb des Sticks generiert und sind nicht auslesbar. Der Nachteil ist, dass Sie deshalb keine Backups erstellen können und den FIDO2-Stick immer mit sich führen müssen, um die darauf gespeicherten Passkeys zu verwenden. Letzteres ist allerdings verschmerzbar, denn wenn Sie im Browser Cookies zulassen, bleiben Ihre Sitzungen bei den meisten Webdiensten beliebig lange offen. Geht der Stick verloren, sind allerdings auch Ihre Passkeys futsch.

Open-Source-Fans können zum Beispiel zu den FIDO2-Sticks von SoloKeys greifen (siehe ct.de/yppc). Darauf läuft eine Open-Source-Firmware und die Hardware steht unter der CERN Open Hardware Licence. Es gibt die Solo-Sticks in verschiedenen Ausführungen mit USB-A, USB-C und NFC. Eine Alternative aus

deutscher Produktion ist der Nitrokey Passkey. Preislich geht es bei 30 Euro los. Solche Sticks können Sie auch am Smartphone und Tablet verwenden. Zur Nutzung benötigen Sie keine Browser-Erweiterungen, da die Browser die nötigen Funktionen bereits mitbringen.

## Vorurteile abbauen

Manche Webdienste überprüfen, welches Betriebssystem und welchen Browser Sie verwenden und entscheiden danach, ob sie Ihnen Passkeys als Login-Verfahren anbieten oder nicht. So zeigt die Login-Maske von Amazon als dieser Artikel entstand keinen Passkey-Knopf an, wenn man sie mit dem Firefox-Browser aufgerufen hat.

Das bekommen insbesondere Linux-Nutzer mit Firefox zu spüren, da weder Linux noch Firefox ohne fremde Hilfe Passkeys unterstützen. Mit den oben beschriebenen Möglichkeiten, also einem Passwortmanager oder einem FIDO2-Stick, klappt es trotzdem, sofern auch der Webdienst mitspillet.

Damit er das tut, können Sie ein wenig tröcksen: Wenn Sie den User-Agent von Firefox, über den sich der Browser gegenüber dem Server zu erkennen gibt, auf Chrome ändern, werden Sie nicht länger benachteiligt und dürfen Passkeys auch auf Websites wie amazon.de verwenden.

Mit der von Mozilla empfohlenen Browser-Erweiterung „User-Agent Switzer and Manager“ (siehe ct.de/yppc) ist das ganz einfach: Klicken Sie nach der Installation auf deren Symbol und wählen Sie einen verbreiteten Browser aus der

Liste aus, zum Beispiel Chrome für Windows. Bei Bedarf passen Sie den User Agent noch in der Textzeile unten an, etwa um die allerneueste Chrome-Version (siehe ct.de/yppc) einzutragen. Klicken Sie danach auf „Apply (container)“, um die Änderung zu aktivieren.

Sie können den Erfolg der Maßnahme überprüfen, indem Sie bei Google „Mein User Agent“ eingeben, woraufhin die aktuell verwendeten Daten angezeigt werden. Um unerwünschte Nebeneffekte zu verhindern, sollten Sie Firefox nur dann als Chrome tarnen, wenn es wirklich notwendig ist. Die Browser-Erweiterung bietet hierfür einen White-List-Mode, den Sie über „Options“ auswählen. Setzen Sie zum Beispiel amazon.de auf die Liste, wird Ihr User-Agent nur dort modifiziert. Speichern Sie die Konfigurationsänderung mit dem „Save“-Knopf ganz unten.

## Fazit

Wer Passkeys verwenden möchte, muss sich nicht in die Fänge eines Großkonzerns wie Apple oder Google begeben, wie dieser Artikel zeigt. Sie können sich auch mit einem Open-Source-Betriebssystem, einem Open-Source-Browser und Open-Source-Tools ohne Passwort bei vielen Webdiensten einloggen und die volle Kontrolle über Ihre Passkeys behalten. Doch Freiheit bedeutet auch Verantwortung, denn für die Sicherheit und Backups sind Sie selbst zuständig.

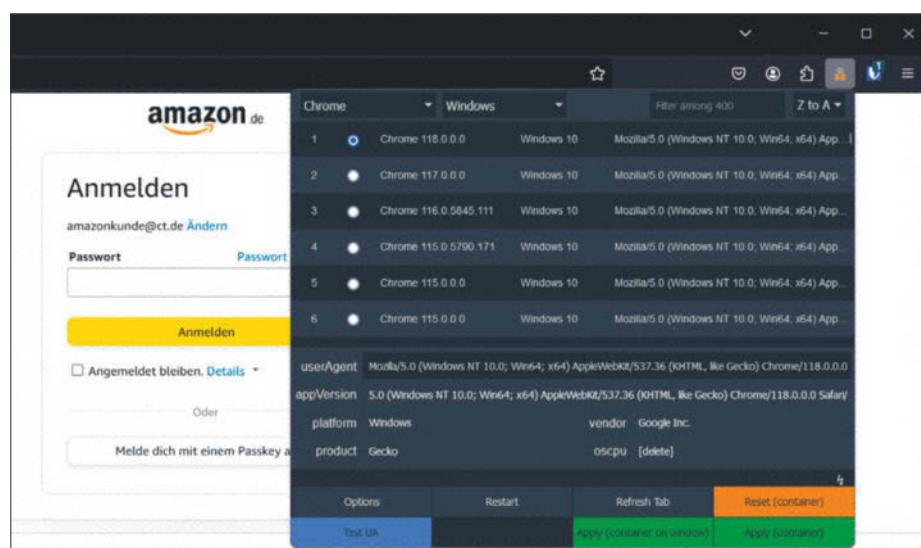
In manchen Situationen läuft noch nicht alles ganz rund, insbesondere bei der Verwendung der Passkeys unter Android und iOS hapert es noch. Doch das sind Probleme, die bald gelöst sein dürften – etwa können Sie die Bitwarden-Apps in Kürze auch auf Smartphone und Tablets für Passkeys verwenden. Eine passende KeePass-App könnte früher oder später folgen. Dank FIDO2-Sticks mit Open-Source-Firmware klappt das schon heute. Falls Sie jetzt Tatendrang verspüren, erfahren Sie in c't 8/2024 [2] konkret, wie Sie Passkeys bei vielen Webdiensten einrichten.

(rei@ct.de) ct

## Literatur

- [1] Kathrin Stoll, Geheimschlüssel, Passkeys: Der Passwort-Nachfolger startet durch, c't 8/2024, S. 14
- [2] Ronald Eikenberg, Aufgeschlossen, Statt Passwort: Accounts mit Passkeys schützen, c't 8/2024, S. 24

**Tools & Infos:** [ct.de/yppc](http://ct.de/yppc)



**Getarnter Fuchs:** Wenn Sie Firefox als Chrome ausgeben, erscheint bei Amazon auch der Passkey-Knopf zum Einloggen ohne Passwort.



# Smarter Lightroom-Speicher

## Mehr kostenloser Speicher für die Lightroom-Cloud von Adobe

Für knapp 12 Euro pro Monat bekommt man zwar Lightroom Classic und Photoshop, aber für die äußerst praktische Lightroom-Cloud lässt Adobe nur knauserige 20 GByte springen. Mit unserem Trick speichern Sie zehntausende Fotos ohne Zusatzkosten in der Adobe-Cloud.

Von Jörg Wirtgen

**S**peziell für Smartphonefotografen lohnt sich die Lightroom-Cloud: Sie sichert alle Fotos automatisch und importiert sie am heimischen PC direkt in Lightroom, inklusive aller unterwegs getätigten Bearbeitungen. Das Gleiche gilt für Kamerafotos, wenn man sie per Smartphone importiert (siehe Kasten).

Adobe bietet zwei Möglichkeiten an, diesen Komfort zu nutzen. Entweder Sie verwenden ausschließlich die einfach Lightroom genannten Versionen für Android, iOS, Windows, macOS oder den Webbrowser. Dann bekommen Sie im „Lightroom-Abo“ für 12 Euro monatlich 1 TByte Speicherplatz in der Cloud – und benötigen diesen Artikel nicht. Diese

Cloudversionen von Lightroom trugen anfangs die Beinamen CC, Mobile und Web. Adobe hat sie inzwischen gestrichen, aber wir verwenden sie in diesem Artikel zur besseren Unterscheidbarkeit von Lightroom Classic weiter.

Die zweite Möglichkeit ist, mit Lightroom Classic zu arbeiten, der anderen Programmversion unter Windows und macOS. Sie bietet mächtige Zusatzfunktionen gegenüber den Cloud-Lightrooms, beispielsweise GPS-Koordinaten, Diashows, Fotoalben, mehr Metadaten und eine umfangreiche lokale Dateiverwaltung. Classic und Cloud ergänzen sich gut und spielen zuverlässig miteinander, wenn man sich an die Eigenheiten gewöhnt: Auf

dem Hauptrechner mit dem lokalen Fotoarchiv läuft Lightroom Classic und greift zusätzlich auf die Lightroom-Cloud zu. Auf allen weiteren Geräten laufen die Cloud-Lightrooms, die Zugriff auf die Fotos in der Cloud haben, nicht aber auf diejenigen im lokalen Archiv.

Importiert man mit den Cloudversionen Fotos, landen sie in der Cloud. Tut man es hingegen auf dem Hauptrechner mit Classic, landen die Fotos erst mal nur im lokalen Archiv und man muss sie explizit in die Cloud laden. Das klingt auf den ersten Blick umständlich, ist aber von Vorteil, wenn man gar nicht alle Fotos in der Cloud speichern möchte.

Das alles ist im „Foto-Abo“ für ebenfalls monatlich 12 Euro enthalten, zusätzlich sogar Photoshop. Allerdings rückt Adobe nur 20 GByte Cloud-Speicherplatz heraus, und zwar unverändert seit Jahren. Für weitere 12 Euro im Monat stockt Adobe den Cloudspeicher auf 1 TByte Speicher auf, ebenfalls seit Jahren unverändert.

### Nur Direktupload zählt

Diesen Cloud-Konditionen können Sie jedoch mit dem folgenden Trick ein Schnippchen schlagen. Er beruht darauf, dass zu den 20 GByte nur diejenigen Fotos zählen, die Sie mit den Cloud-Lightrooms etwa per Smartphone importieren. Jedoch landen mit Lightroom Classic hochgeladene Fotos nur als Vorschau in der Cloud und bleiben als Original in Ihrem lokalen Archiv vorhanden. Und diese Vorschaubilder rechnet Adobe nicht aufs Cloudvolumen an. Das kommuniziert und dokumentiert Adobe offiziell, es handelt sich also nicht um ein Schlupfloch, das Adobe irgendwann stopft.

Der Trick besteht darin, die vom Smartphone hochgeladenen Fotos zuerst ins lokale Archiv zu übernehmen, dann aus der Lightroom-Cloud zu löschen und schließlich als Vorschau erneut in die Cloud hochzuladen.

### Synchronisation in Classic einrichten

Doch zuerst einen Schritt zurück: Falls Sie Lightroom Classic bisher nur lokal nutzen, müssen Sie zuerst die Verbindung von Classic herstellen. Sie gehen dazu in Lightroom Classic in den Voreinstellungen auf den Reiter Lightroom Synchronisieren, tragen Ihre Adobe ID ein, schließen das Fenster, klicken oben rechts auf die Wolke und wählen Synchronisierung.

Classic lädt daraufhin alle Fotos aus der Cloud herunter und zeigt sie im Be-

dienfeld Ordner mit dem Namen des Geräts an, von dem aus Sie es in die Cloud hochgeladen haben. Alternativ legen Sie in den Voreinstellungen einen „Speicherort für die synchronisierten Bilder von Lightroom“ fest, dann lädt Classic alle Cloudfotos ohne Trennung nach Geräten in diesen Sammelordner. Dieser Download ist eine Art einmaliges Ein-Wege-Backup: Weder werden Fotos in die Cloud hochgeladen, die Sie in diesen Ordner schieben, sei es per Dateisystem oder per Lightroom Classic. Noch werden Fotos aus der Cloud gelöscht, wenn Sie sie aus diesem Pfad löschen oder woanders hin verschieben. Letzteres ist von Vorteil, denn wenn Sie die Fotos aus diesem Ordner mit Classic in Ihre Archivstruktur verschieben, bleiben sie mit der Cloud synchronisiert.

Nach und nach werden alle Alben, die Sie in den Cloud-Lightrooms angelegt haben, auch in Classic erscheinen, und zwar links im Bereich Sammlungen unter „Von Lr mobile“. Leider werden Ordnerstrukturen, die unter Classic Sammlungssatz, in der Cloud schlicht Ordner heißen, nicht synchronisiert. Alle Cloudalben landen also in einer langen Liste und Sie müssen in Classic die gewünschten Sammlungssätze anlegen und die Alben einsortieren.

Um Fotos aus Classic in die Cloud zu laden, müssen Sie sie in eine Sammlung packen, denn Classic synchronisiert keine Dateiverzeichnisse, sondern ausschließlich Sammlungen. Bei bestehenden Sammlungen können Sie auf das Blitzsymbol vor dem Namen klicken oder im Kontextmenü der Sammlung „Mit Lightroom synchronisieren“ wählen. Die Smart-Sammlungen von Classic lassen sich nicht synchronisieren.

Um eine neue Sammlung aus einem Ordner in Ihrem Verzeichnisbaum zu erstellen, machen Sie einen Rechtsklick auf

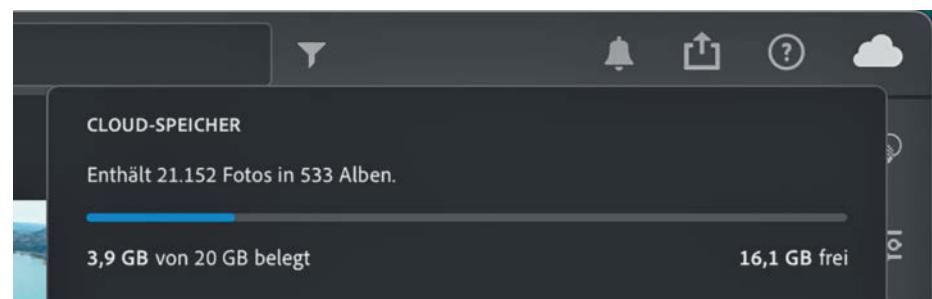
### c't kompakt

- Lightroom Classic und die Lightroom-Cloud ergänzen sich gut, vor allem Handyfotografen profitieren.
- Die Mobiluploads muss man aber regelmäßig aus der Cloud herausräumen, um Adobes Limitierung auf 20 GByte zu umgehen.
- Der Workflow dafür erfordert einige Überlegungen, vor allem, falls man die Sammlungen intensiv nutzt.

das Verzeichnis, wählen „Sammlung <Verzeichnisname> erstellen“ und im sich öffnenden Fenster „Mit Lightroom synchronisieren“. Ganze Verzeichnisbäume können Sie auf einen Schlag in Sammlungssätze plus Sammlungen umsetzen, indem Sie „Sammlungssatz <Verzeichnisname> erstellen“ wählen und dann einzeln bei den Sammlungen, die Sie synchronisieren wollen, das Blitzsymbol klicken.

Die neu synchronisierten Sammlungen landen in Classic links im Bedienfeld Sammlung; in der Cloud erscheinen sie nach und nach, dort heißen sie Alben. Falls Sie sie in Unterordnern organisieren möchten, müssen Sie das auf beiden Plattformen getrennt tun, da Ordnerstrukturen, wie gesagt, nicht synchronisiert werden. Erzeugen Sie also unter Classic Sammlungssätze und sortieren Sie die Sammlungen ein; in der Cloud legen Sie Ordner an und sortieren die Alben ein.

Ähnlich wie die Ordnerstruktur bleibt auch die Verschlagwortung getrennt. Auch die Farbmarkierung von Classic hat gar keine Entsprechung in der Cloud; für eine synchronisierte Bewertung stehen Ihnen also nur die Sterne und die Ausgewählt/Abgelehnt-Flaggen zur Verfügung.



Zehntausende Fotos und hunderte Alben in der 20-GByte-Version der Lightroom-Cloud? Das geht, wenn Sie Ihre Smartphone-Fotos aus der Cloud löschen und erneut von Lightroom Classic aus hochladen.



**Lightroom Classic kann aus ganzen Verzeichnisbäumen direkt einzelne Sammlungen erzeugen, die man dann mit der Cloud synchronisieren kann.**

Falls Sie in Lightroom CC die Funktion „Migrieren von ... Lightroom Classic-Katalog“ entdecken und auf eine Arbeits erleichterung hoffen: CC lädt zwar tatsächlich alle Fotos auf einen Schlag hoch, aber als Originale, die auf den Cloudspeicher angerechnet werden. Das ist für Nutzer gedacht, die komplett von Classic auf die Cloudversionen umsteigen wollen und 1 TByte Cloudspeicher haben.

## Arbeiten mit Vorschauen

Classic lädt keine Originalfotos in die Cloud, sondern Vorschaubilder im DNG-Format inklusive Metadaten mit maximal  $2560 \times 2560$  Pixel. Das geschieht übrigens unabhängig davon, welche Auflösung Sie in den Katalogeinstellungen für Ihre lokalen Vorschauen festgelegt haben. Dass die Vorschaubilder nicht auf Ihren Cloudspeicher angerechnet werden, erkennen Sie daran, dass beim Klick auf die Wolke oben rechts der verwendete Speicher auch beim Hochladen von Zehntausenden Vorschau bildern nicht steigt.

Mit den Vorschaubildern arbeiten Sie in der Cloud wie mit den Originale, alle Bearbeitungen werden in Classic auf die Originale übernommen. Lediglich beim Export sind Sie eingeschränkt: Die Cloudversionen erzeugen ausschließlich Exporte in der Auflösung „JPG (klein)“ mit maximal  $2048 \times 2048$  Pixel. CC und Mobile kennen zusätzlich individuelle Einstellun-

gen sowie die Exportformate „JPG (groß)“ und „Original“, die bei Vorschauen zwar den Fehler melden, dass das Original nicht vorhanden ist, aber trotzdem etwas ausspucken: letzteres das Vorschau-DNG, erstere JPEGs, alle mit maximal  $2560 \times 2560$  Pixeln. Interessanterweise sind die DNGs typischerweise 0,5 bis 1 MByte groß, die JPEGs mehrfach größer.

Für viele Zwecke wie Webseiten reichen Exports mit dieser Auflösung völlig aus. Zu klein mögen die JPGs werden, wenn Sie ein Foto stark beschneiden: Beispielsweise wird der Export eines im Original  $3000$  Pixel breiten Ausschnitts von einem Foto mit  $6000$  Pixeln nur  $1280$  Pixel breit sein, weil die Cloud-Lightrooms ihn vom  $2560$  Pixel breiten Vorschaubild berechnen. Für einen Export des Originalfotos in voller Auflösung müssen Sie Lightroom Classic anwerfen.

## Sammlungsvorbereitungen

Zurück zum Artikelthema: Um den ange rechneten Speicherplatz der Lightroom-Cloud zu verringern, räumen Sie zuerst das Synchronisationsverzeichnis leer, in das Classic alle Cloudfotos herunterlädt,

also entweder das eine Verzeichnis, das Sie oben eingestellt haben, oder die einzelnen Geräteverzeichnisse. Verschieben Sie dazu mit Lightroom Classic die Originale in Verzeichnisse, die Sie in Ihrer gewohnten Dateistruktur im lokalen Archiv anlegen. Die Originale verbleiben dabei wie erwähnt noch in der Cloud, der verbrauchte Speicherplatz sinkt also nicht. Um die Belegung des Cloudspeicherplatz zu verringern, müssen Sie als nächsten Schritt die Fotos aus der Cloud löschen.

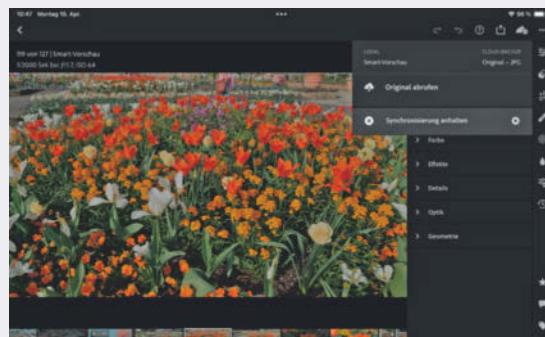
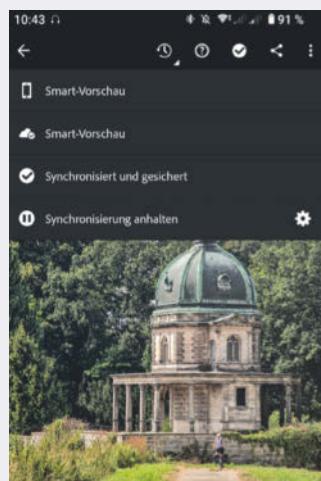
Vorab noch eine wichtige Überlegung: Wenn Sie die Fotos aus der Cloud löschen, bleiben die Originale zwar in Ihrem Classic-Archiv mitsamt Metadaten und allen Bearbeitungen erhalten. Aber einiges geht doch verloren: die schon erwähnten Stichwörter, die Online-Kommentare (falls Sie die Teilen-Funktion der Lightroom-Cloud nutzen) und vor allem die Zuordnung der Fotos zu Sammlungen und Alben.

Das heißt, dass alle Fotos, die Sie aus der Cloud löschen, aus allen synchronisierten Sammlungen und Cloud-Alben verschwinden. Falls Sie Ihre Fotos nur in einer Sammlung à la „2024 Ostseeurlaub“ speichern, ist das nicht schlimm, weil Sie beim

## Feststellen, wo die Originale liegen

In Lightroom Web gehen Sie dazu aufs Foto und klicken aufs Infosymbol unten rechts. In der Metadatenliste finden Sie dann neben einem Tablet/Smartphone-Symbol einen Gerätenamen: Steht dort „Lightroom Web“, der Name des PCs mit Lightroom CC, oder der Name von Smartphone oder Tablet, liegt das Original in der Cloud; steht dort der Name des Classic-PCs, liegt das Original in dessen loka

lem Archiv. Das ist nicht zu verwechseln mit der Angabe hinter dem Fotoapparatsymbol ein paar Zeilen darüber: Das ist das Feld aus den Metadaten des Fotos, mit welcher Kamera es aufgenommen wurde. Unter iOS tippen Sie in der Einzelansicht eines Fotos aufs Cloudsymbol oben rechts, unter Android auf den Haken. Dann zeigen die Apps an, ob in der Cloud das Original oder ein Vorschaubild liegt.



**Ob es sich bei dem Foto um eine Vorschau (von Lightroom Classic) oder um ein Original handelt, zeigt ein Tipp oben rechts auf den Haken bei Android oder die Wolke bei iOS.**

gleich folgenden erneuten Hochladen der Fotos diese Sammlung wieder anlegen.

Doch falls Sie intensiver mit den Sammlungen/Alben arbeiten und Fotos in mehrere einsortieren, sollten Sie vor dem Löschen vorsorgen. Zwei Ideen bewahren die Sammlungsstruktur:

1. Deaktivieren Sie in Classic vor dem Löschen der Fotos aus der Cloud bei allen Sammlungen, in denen Sie sie zusätzlich eingesortiert haben, die Synchronisierung. Dann bleiben die lokalen Originale in diesen Sammlungen enthalten, auch wenn Sie sie aus der Cloud löschen. Nach dem Löschen aktivieren Sie die Synchronisation in Classic wieder.
2. Markieren Sie in Classic die Zugehörigkeit zu den zusätzlichen Sammlungen auf andere Art, beispielsweise als Stichwort oder als Farbmarkierung. Fügen Sie nach dem Löschen der Fotos aus der Cloud die lokalen Originale anhand dieser Markierungen wieder den Sammlungen hinzu.

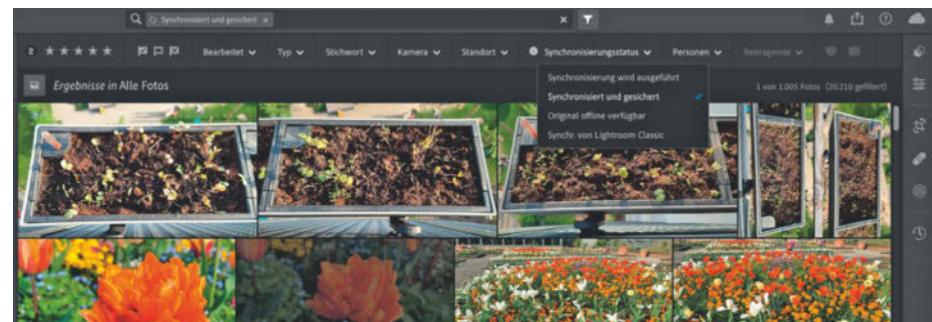
Oder Sie sortieren ganz pragmatisch die Fotos erst dann in zusätzliche Sammlungen ein, wenn Sie die Originale ins lokale Classic-Archiv übernommen haben.

## Die Cloud leer räumen

Nach diesen Vorbereitungen können Sie nun endlich die Cloud leerräumen. Die Schwierigkeit dabei ist, die Fotos zu identifizieren, die als Original in der Cloud liegen.

Am einfachsten geht das in Lightroom CC: Klicken Sie links auf „Alle Fotos“, öffnen Sie mit dem Trichtersymbol oben die Filterleiste und wählen Sie „Synchronisierungsstatus / Synchronisiert und gesichert“. Dann zeigt CC alle Cloud-Originale an. Kontrollieren Sie vielleicht noch einmal, ob Sie wirklich die Originale aller dieser Fotos gerade in Ihr lokales Classic-Archiv übernommen haben. Dann markieren Sie alle Fotos und löschen sie.

In Lightroom Classic, Web und Mobile fehlt eine solche Übersicht. Dort benötigen Sie eine andere Möglichkeit, die zu löschen Fotos aufzufinden. Die einfachste führt über Alben, zumindest für zukünftige Fotos. Aktivieren Sie auf den Mobilgeräten die Funktion, dass neue Fotos automatisch einem Album hinzugefügt werden, beispielsweise „2024 alle“ oder legen Sie für wichtige Unternehmung eigene Alben wie „2024-05 Wanderung“ an. Nun klappern Sie jedes dieser Alben ab, markieren alle Fotos und löschen sie. Einfacher dürfte aber vermutlich sein, auf



**Filtert man in Lightroom CC auf „Synchronisiert und gesichert“, erscheinen nur die Fotos, die als Original in der Cloud stehen, hier 1005. Bei den ausgefilterten 20.210 Fotos handelt es sich um Vorschaubilder aus Lightroom Classic.**

einem Rechner temporär Lightroom CC zu installieren.

Nach dem Löschen der Fotos sollte der zuvor belegte Cloudspeicher sofort freigegeben werden, zu sehen nach einem Klick aufs Wolkensymbol oben rechts; die Webversion benötigt vielleicht einen Browser-Restart. Lightroom schiebt die Fotos in den Cloud-Papierkorb, wo sie 60 Tage erhalten bleiben, aber schon nicht mehr fürs Cloudvolumen zählen.

Wenn Sie alle Originalfotos aus der Lightroom-Cloud gelöscht haben, sollte der Speicherplatz frei sein – theoretisch. Adobe rechnet allerdings einige weitere Dateien dem Speicher hinzu, die Sie nicht von Lightroom aus sehen und löschen können, nämlich diejenigen, die Sie in der Creative Cloud ablegen.

## Die Cloud wieder befüllen

Sind die Fotos aus der Cloud gelöscht, liegen sie ausschließlich in Ihrem lokalen Archiv in Classic. Laden Sie sie genauso hoch wie oben beschrieben, legen also

entweder neue Sammlungen an oder aktivieren bei bestehenden Sammlungen die Synchronisierung. Classic beginnt daraufhin damit, Vorschaubilder zu erzeugen und hochzuladen, und zwar ohne dass der verfügbare Cloudspeicherplatz schrumpft.

Wie oft Sie die Cloud auf diese Weise von Originalfotos leerräumen, bleibt Ihnen überlassen, einmal im Jahr, nach jedem großen Urlaub oder Shooting, oder vielleicht auch einfach erst, wenn die 20 GByte vollgelaufen sind.

Mit diesem Workflow können Sie für 12 Euro monatlich zehntausende Fotos in der Lightroom-Cloud speichern, oder genauer gesagt: Vorschaubilder Ihrer Fotos. Anfangs dürften die Überlegungen und Schritte umständlich erscheinen, aber für ein Classic-zentriertes Arbeiten erweist er sich nach einer Eingewöhnung als effizient und mächtig. Für Originale nutzen Sie die Cloud quasi nur noch als Zwischenspeicher, bis Sie sie in Lightroom Classic Ihrem lokalen Archiv zufügen. (jow@ct.de) ct

## Fotos von einer Kamera per Smartphone sichern

Mit einem Smartphone kann man auch die Fotos einer Kamera direkt in die Lightroom-Cloud hochladen, jedenfalls in den meisten Kombinationen aus Smartphone und Kamera. So erzeugen Sie beispielsweise im Urlaub direkt ein Backup und können bereits unterwegs sortieren, bewerten und bearbeiten. Zurück am PC steht Ihnen alles in Lightroom Classic sofort zur Verfügung.

Als ersten Versuch verbinden Sie Ihre Kamera per USB-C oder Lightning mit dem Smartphone. In vielen Fällen ermöglicht Lightroom direkt einen Import – fertig. Falls nicht, hilft vielleicht

ein Kartenleser weiter, den Sie ebenfalls per USB-C oder Lightning-Adapter anschließen. Einige wenige Smartphones unterstützen allerdings weder USB-Kameras noch USB-Speichergeräte, dann klappt der Lightroom-Direktimport nicht.

Weil Lightroom für Android und iOS die Originale sofort hochlädt, funktioniert der Import auch dann, wenn Ihr Smartphone weniger freien Speicher hat als die Kamerafotos einnehmen. Wie viel Platz Lightroom auf Ihrem Mobilgerät als Cache beansprucht, stellen Sie unter „Lokaler Speicher“ ein.



# Problemerweiterungen

## Das Technik-Wirrwarr um Outlook-Add-ins

**Plötzlich ist das Symbol eines Office-Add-ins verschwunden, im neuen Outlook taucht es gar nicht erst auf. Mit dem einen Mailkonto funktioniert es, mit dem nächsten nicht. Die Probleme mit Outlook-Add-ins sind zahlreich, wir erklären die Ursachen und zeigen, wie Sie sich helfen können.**

Von Stefan Wischner

**S**ein vielen Jahren erweitern installierbare Add-ins die Funktionen von Outlook und anderen Office-Programmen, binden externe Dienste an und verbessern Workflows. In letzter Zeit verschwinden manche plötzlich aus den Menüleisten oder tauchen nur sporadisch auf. Der Grund ist, dass Microsoft eine alte, aber bewährte Technik abgekündigt und durch eine neue ersetzt hat, genauer: ergänzt hat. Denn bislang unterstützen Office-Programme Erweiterungen beider Sorten. Die neue nutzt Webtechnik und bietet vor allem Entwicklern ein paar Vorteile. Viele Nutzer stellt sie aber vor Probleme. Wir sortieren das Wirrwarr von COM-, VSTO- und Web-Add-ins und helfen bei der

Suche nach plötzlich vermissten Add-ins. Dabei konzentrieren wir uns auf das besonders betroffene Mailprogramm Outlook, die Probleme und Lösungen sind aber bei allen Office-Programmen weitgehend dieselben.

### COM/VSTO-Add-ins: Auslaufmodelle

Viele Erweiterungen für Microsoft Office, sowohl von Softwareherstellern bereitgestellte als auch individuell programmierte, basieren auf der schon über 30 Jahre alten COM-Architektur. Das Kürzel steht für Component Object Model und ist ein Standard für die Kommunikation zwischen Anwendungen. COM-Add-ins lassen sich

in unterschiedlichen Programmiersprachen entwickeln, darunter C, C++, Java und VBS (Visual Basic Script).

Der Nachfolger der COM-Add-ins nennt sich VSTO-Add-ins, nach der gleichnamigen Visual-Studio-Library (Visual Studio Tools for Office), die die Entwicklung von Add-ins für Office ab Version 2003 mit Visual Studio und .NET ermöglicht. Aus Nutzersicht macht es keinen Unterschied, ob ein Add-in auf COM- oder VSTO-Basis entwickelt wurde – die Installation, Einbindung und Verwaltung in den Office-Programmen ist bei beiden Arten identisch. Der Einfachheit halber nutzt dieser Artikel im Folgenden nur den Begriff COM-Add-in für beide Arten – so machen das auch die relevanten Dialoge in den Office-Programmen.

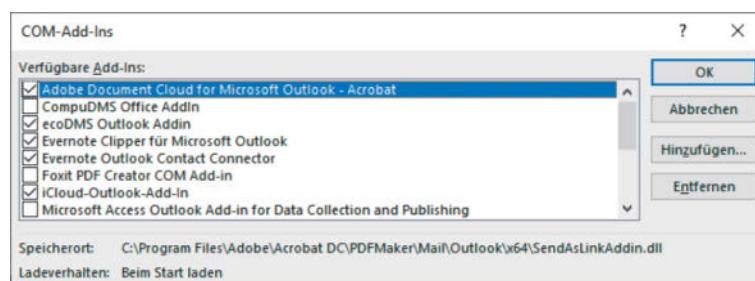
COM-Add-ins laufen nur unter Windows, werden wie separate Programme installiert und von den Office-Programmen über DLLs angesprochen, die mit dem Add-in auf dem System installiert werden. Ihr Vorteil ist, dass sie sehr performant sein können. Sie haben außerdem Zugriff auf viele Office- und Systemfunktionen und eignen sich deshalb für eine Vielzahl von Zwecken. Das stellt aber gleichzeitig auch einen Nachteil dar: Aufgrund ihrer oft weitreichenden lokalen Rechte sind COM-Add-ins ein Sicherheitsrisiko.

## Web-Add-ins: nur mit Microsoft-Konten

Seit einiger Zeit hat Microsoft die Entwicklung und Pflege von COM- und VSTO-Add-ins aufgegeben und durch eine neue Add-in-Art ersetzt, die auf Webtechniken wie HTML, CSS, und JavaScript fußt. In der Kommunikation unterscheidet Microsoft nicht mehr zwischen beiden Arten, sondern meint grundsätzlich Web-Add-ins, wenn von „Outlook-Apps“, „Outlook-Add-ins“ oder „Office-Add-ins“ die Rede ist. Das von Microsoft in letzter Zeit aggressiv beworbene „neue Outlook“ kann mit COM- und VSTO-Add-ins überhaupt nichts anfangen und unterstützt ausschließlich Web-Add-ins. Das wird sich laut Microsoft auch nicht ändern, weil es technisch nicht möglich sei.

Vorhandene COM- und VSTO-Add-ins funktionieren allerdings parallel nach wie vor im klassischen Outlook für Windows. Durch ihre getrennte Installation und Verwaltung entsteht aber unnötig Verwirrung. Dazu gleich mehr.

Der Vorteil der neueren Web-Add-ins außer der höheren Sicherheit ist, dass sie



In den Optionen für COM-Add-ins können Sie einzelne Erweiterungen ein- und ausschalten.

plattformunabhängig sind. Sie laufen sowohl in Outlook unter Windows (klassisch und neu) und macOS als auch im Webbrowser auf outlook.com, ohne dass jeweils eigenständige Versionen entwickelt werden müssen.

Es gibt aber auch eine Reihe von Nachteilen und Einschränkungen gegenüber den klassischen COM-Add-ins. So erfordern Web-Add-ins in aller Regel eine aktive Internet-Verbindung. Außerdem fehlt ihnen der Zugriff auf viele Funktionen der Office-Programme und auf lokale Daten. Zudem sollte man bedenken, dass Inhalte – bei Outlook zum Beispiel E-Mails – an die Server des Add-in-Anbieters geschickt werden. Oft ist das allerdings ohnehin der Zweck des Add-ins. Beispielsweise wenn sie Nachrichten an ein Online-Notiz- oder Projektplanungsprogramm und damit in den Cloudspeicher des jeweiligen Betreibers weiterleiten sollen.

Der größte Haken von Web-Add-ins für Outlook ist jedoch, dass sie nur in Verbindung mit einem webfähigen Exchange-Server funktionieren. Gemeint ist damit in der Regel entweder ein Mailkonto, das zu einem Microsoft-365-Business-Abo gehört (Exchange Online) oder zu einem Microsoft-Konto (outlook.com, Windows Live, Hotmail, Xbox). Haben Sie mehrere Konten in Outlook eingerichtet, stehen die Web-Add-ins nur dann zur Verfügung, wenn Sie einen Ordner eines Microsoft-Kontos öffnen, zum Beispiel dessen Posteingang. Sobald Sie zu einem anderen

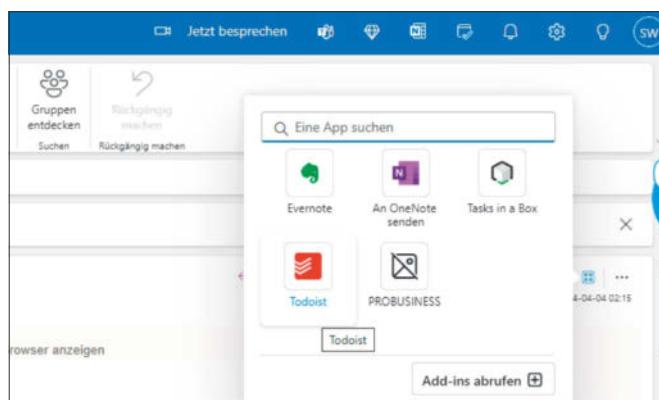
Konto (IMAP, POP3) wechseln, verschwinden die Symbole und die Erweiterungen sind nicht nutzbar.

Es gibt keinen Weg, ein Web-Add-in zur Zusammenarbeit mit einem Nicht-Microsoft-Konto zu bewegen. Für noch mehr Verwirrung sorgt, dass viele – jedoch längst nicht alle – Drittanbieter von Add-ins, beispielsweise für ToDoist oder Evernote, von COM-Add-ins auf Web-Add-ins umgestiegen sind und den Austausch oft im Rahmen eines Updates ihres jeweiligen Programms automatisch vornehmen.

## Wo ist mein Add-in?

Zu den häufigsten Problemen mit Office-Add-ins gehört, dass sie nicht zu sehen sind, also zum Beispiel in der Symbolleiste von Outlook nicht erscheinen. Das kann verschiedene Ursachen haben, auch abhängig davon, ob es sich bei der vermissten Erweiterung um ein COM- oder Web-Add-in handelt.

Wenn Sie das nicht wissen, gehen Sie zunächst von einem COM-Add-in aus und öffnen den zugehörigen Verwaltungsdialog. Dazu klicken Sie auf „Datei/Optionen/Add-ins“. Es öffnet sich eine Liste aller installierter COM-Add-ins, gruppiert nach aktiven, inaktiven und deaktivierten Erweiterungen. Inaktiv sind normalerweise vom Nutzer abgeschaltete Add-ins, deaktivierte wurden hingegen vom System selbstständig lahmgelegt, weil sie den Start von Outlook entweder stark verzögern oder das Programm schon mal zum



Sowohl im neuen als auch im Browser-Outlook (Bild) erreichen Sie Add-ins über ein unscheinbares Symbol im Mail-Editor.

Absturz gebracht haben. Taucht das vermisste Add-in in einer der letztgenannten Kategorien auf, haben Sie die Ursache des Problems gefunden.

Beide Arten von deaktivierten Add-ins schalten Sie wieder ein, indem Sie unter der Liste auf „Los...“ hinter „Verwalten: COM-Add-ins“ klicken und im folgenden Dialog die betreffenden Häkchen setzen. Möchten Sie den Start von Add-ins, die das Office-Programm selbstständig deaktiviert hatte, künftig erzwingen, machen Sie das unter „Datei/COM-Add-ins verwalten“. Im zugehörigen Dialog finden Sie die Add-ins, die das Programm für problematisch hält, nebst Infos über den Grund und aktuellen Status. An jedem Eintrag gibt es ein „Optionen“-Menü, worüber Sie das jeweilige Add-in oder für eine Woche oder einen Monat von der Beobachtung ausnehmen und bedingungslos aktivieren können.

Falls das gesuchte Add-in in keiner dieser Listen aufgeführt ist, gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder ist es gar nicht installiert, was Sie nachholen müssen. Wie das geht, über ein eigenes Installationsprogramm oder eine Neueinrichtung der zugehörigen Hauptanwendung, hängt vom jeweiligen Anbieter ab.

## Gut versteckte Web-Add-ins

Es ist aber auch gut möglich, dass das vermisste Add-in ein Web-Add-in ist und sich somit gar nicht über die COM-Add-in-Verwaltung steuern lässt. Am Symbol eines Add-ins in der Menüleiste von Outlook lässt sich nicht erkennen, ob es sich um eine COM- oder Web-Erweiterung handelt. Ein Hinweis für Web-Add-ins ist jedoch, dass man mit ihnen meist über die

Seitenleiste von Outlook interagiert, wo sich Dialoge und Einstellmöglichkeiten öffnen. COM-Add-ins hingegen kommunizieren bei Bedarf über betriebssystemtypische Dialogfenster.

Wenn Sie das neue Outlook oder die Browserversion nutzen, stolpern Sie womöglich über eine Besonderheit in deren Bedienoberflächen: Anders als das klassische Outlook zeigen beide nämlich grundsätzlich keine Add-in-Schaltflächen in der Menüleiste der Hauptansicht. Erst wenn Sie eine Nachricht öffnen oder eine neue anlegen, erreichen Sie die installierten Erweiterungen. Bei neuen Nachrichten erscheinen die Add-in-Symbole in der Symbolleiste des separaten Editorfensters; in geöffneten Mails finden sich die Schaltflächen teilweise in dessen rechter oberen Ecke oder verstecken sich hinter dem Dreipunktemenü. Da das Browser-Outlook wie auch das neue Outlook ständig verändert und weiterentwickelt werden, kann sich die Integration der Erweiterungen in die Oberfläche aber jederzeit ändern.

Wenn Sie nicht sicher wissen, ob und welche Web-Add-ins überhaupt installiert sind, geben die verschiedenen Outlook-Versionen auf unterschiedliche Weise darüber Auskunft. Im klassischen Outlook öffnen Sie zunächst einen Ordner, der zu einem Exchange-Online/Microsoft-Mailkonto gehört. Dann sollte im Menü „Start“ eine Schaltfläche mit der Bezeichnung „Add-Ins abrufen“ erscheinen. Ein Klick darauf öffnet ein Web-Fenster mit dem Microsoft Add-in-Store („AppSource“), bereits gefiltert nach Outlook-Erweiterungen. Hier können Sie nach Add-ins suchen und diese gleich installieren. Wenn Sie im linken Menü auf „Meine Add-Ins“ klicken,

wechselt die Anzeige zu bereits installierten Web-Erweiterungen.

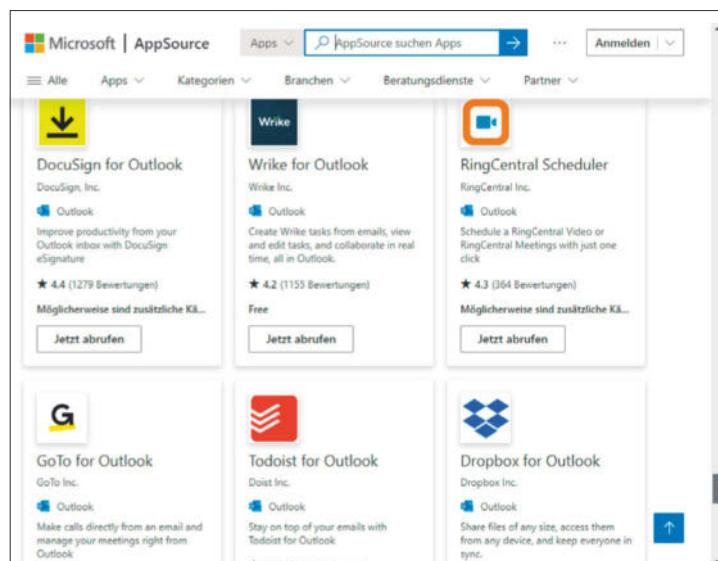
Im neuen Outlook ist der Weg zum AppSource-Fenster etwas umständlicher. Auch hier müssen Sie zunächst ein Microsoft-Mailkonto wählen und dann eine beliebige Nachricht öffnen. Darin wählen Sie ganz rechts oben das Dreipunktemenü und klicken darin auf „Add-Ins erhalten“. Wieder etwas anders geht es in der Browserversion von Outlook: Auch darin öffnen Sie zunächst eine Mail, klicken aber in deren Inhalt nicht auf das Dreipunktemenü, sondern auf das Symbol links daneben. Es sieht in etwa aus wie die 4 auf einem Würfel und führt zu einem Ausklappfenster, das direkt die installierten Web-Add-ins auflistet und zusätzlich einen Link zum AppSource-Store enthält. Es ist anzunehmen, dass Microsoft die Bedienung von neuem und Browser-Outlook noch vereinheitlicht.

## Das neue Outlook: Harter Schnitt

Würde das neue Outlook, wie anfangs von Microsoft kommuniziert, lediglich die Mail-, Kalender- und Kontakte-Apps von Windows 10 und 11 ersetzen, wäre dessen fehlender Support für COM-Add.ins nicht so tragisch – schließlich unterstützten die überhaupt keine Erweiterungen.

Jedoch lässt Microsoft zunehmend durchblicken, dass das neue Outlook auch den klassischen Client irgendwann ersetzen soll, was auch vorhandene COM-Add-ins nutzlos machen würde. Ob das wirklich passieren wird, bleibt abzuwarten. Microsoft hat in der Vergangenheit schon des Öfteren gezeigt, dass sie bei hartem Gegenwind durchaus auch zurückrudern können, zum Beispiel bei Windows-Kacheln und dem UWP-OneNote (Universal Windows Platform). Letzteres verdrängte das klassische OneNote kurzzeitig komplett aus dem Office-Paket, nur um genau diesem jetzt wieder Platz zu machen. Die Überlebenschancen für einen Mailclient, der nicht nur sicherheitstechnisch sehr fragwürdig agiert [1], sondern auch vorhandene Erweiterungen unbrauchbar macht und die Nutzung von Add-ins auf Microsoft-Konten beschränkt, dürften bei vielen Geschäftskunden eher gering sein. (swi@ct.de) 

**In Microsofts AppSource-Store können Sie neue Add-ins suchen und installieren. Hier finden Sie auch die bereits in Outlook eingerichteten Erweiterungen.**



## Literatur

- [1] Ronald Eikenberg, Wolkig mit Aussicht auf Datenlecks, Neues Outlook überträgt Passwörter an Microsoft, c't 28/2023, S. 16

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)



3x als  
Heft



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



49 (0)541 800 09 120



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





Bild: KI Midjourney | Collage c't

# Apropos

## Lokale KI verschlagwortet Fotosammlung auf NAS

**Fotos sind mit dem Smartphone schnell gemacht, werden immer aufgehoben, sind aber auf dem Familien-NAS kaum wiederzufinden. Eine lokale KI hilft Ihnen, sich in den Bilderbergen zu-rechtzufinden. Sie verschlag-wortet Ihre Fotos anhand des In-halts – direkt auf dem NAS ohne leistungsfähige Grafikkarte.**

Von Ramon Wartala

**S**ein jedes Smartphone eine Digitalkamera hat, wird so viel geknipst wie noch nie. Doch wer mistet noch regelmä-

ßig die Bilderflut aus? Stattdessen landen die Fotos auf dem PC oder dem heimischen NAS, wenn der Speicher des Smartphones voll ist. Wenn man sie nicht eh gleich der Cloud überantwortet. Wer die Kontrolle über seine Daten behalten will, organisiert private Bilder deshalb lieber selbst. Doch in den Fotobergen das eine zu

finden, das man gerade braucht, ist allein aufgrund der schieren Menge ein Problem. Abhilfe verheißt eine KI, die Bilder analysiert und sie mit Schlagworten versieht.

Solche multimodale große Sprachmodelle (Large Language Models, LLM), die neben Text auch visuelle Inhalte verarbeiten können, bieten OpenAI, Google und

andere Firmen an, üblicherweise in einem Abo-Modell. Diese zu nutzen würde aber neben den Kosten wiederum bedeuten, die eigenen Bilder aus der Hand zu geben. Mit LlaVA (Large Language Visual

Assistant Modell) gibt es aber auch ein Open-Source-Modell, das aus einer Forschungskooperation von Microsoft mit den Univer-

sitten Madison (Wisconsin) und Berkeley (Kalifornien) entstanden ist und das Sie vollständig lokal betreiben können.

### Vielschichtig

Als multimodal bezeichnet man Modelle, die mehrere Arten digitaler Inhalte gemeinsam verarbeiten können. Damit sind



sie in der Lage, auf inhaltspezifische Prompts wie

Please describe the following image in any details. Make sure to be very precise and take into account all the details such as colors and shapes

eine Antwort zu geben. Auch Texte in Bildern werden in Teilen erkannt, sodass sich auch einfache OCR-Aufgaben mit diesen Modellen erledigen lassen. Brauchte man dafür noch bis vor kurzem äußerst leistungsfähige Hardware wie zum Beispiel Grafikkarten von Nvidia, AMD oder bei Apple die M-Prozessoren, laufen diese Modelle dank der C/C++-Implementierung von Georgi Gerganov inzwischen auch auf leistungsschwächerer Hardware in erträglicher Geschwindigkeit.

Ein wesentlicher Punkt, die Hardwareanforderungen senken zu können, war die Quantisierung. Die Gewichte moderner LLM bestehen normalerweise aus 32-Bit- oder 16-Bit-Gleitkommazahlen, belegen also bis zu 4 Byte RAM. Das summiert sich selbst bei einem kleinen Modell wie LlaVA mit rund 7 Milliarden Gewichten auf 28 GByte RAM. Bei einer Quantisierung wird die Genauigkeit und damit der Speicherbedarf verringert, eine gänzige Größe ist 4 Bit pro Gewicht. So schrumpft das Modell mit 7 Milliarden Gewichten auf nur noch 3,5 GByte zusammen und ist auch auf Systemen mit wenig Speicher nutzbar, beispielsweise einem Synology-NAS. Aufgrund der Größe der Modelle empfehlen wir 8 GByte RAM, der

Autor hat eine entsprechend aufgerüstete DiskStation DS224+ verwendet – Modelle mit ARM-Prozessoren fallen aufgrund der Speicheranforderungen heraus.

## KI als Container

Der einfachste Weg, das LlaVA-Modell auf einem Synology-NAS zu betreiben, ist der Container Manager für Docker im Management-GUI des NAS. Dazu empfehlen wir Ollama, das Sie in der Liste der aus dem Docker-Hub herunterladbaren Images unter „ollama/ollama“ finden. Bei Ollama handelt es sich um ein generisches Image für verschiedene Large Language Models, darunter Llama2, CodeLlama, Mistral und Gemma. Bei den multimodalen Modellen unterstützt Ollama neben LlaVA auch BakLLava, das auf Mistral7B basiert. Außerdem können Sie eigene Modelle importieren.

Achten Sie bei der Einrichtung des Containers darauf, dass der Port 11434 erreichbar ist, denn darüber erfolgt anschließend die Kommunikation zwischen Client und Ollama. Idealerweise behalten Sie die Portnummer und auch den Containernamen „ollama“ bei, davon gehen die nachfolgenden Beispiele jeweils aus. Frisch installiert hat Ollama keine Modelle an Bord, diese müssen Sie erst von Hand nachinstallieren. Dazu öffnen Sie im Container Manager aus dem Kontextmenü des Ollama-Containers das Terminal und legen mit einem Klick auf „Create“ ein weiteres an, das den Namen „bash“ erhält. Es handelt sich dabei um eine Root-Shell, in der Sie mit dem folgenden Befehl LlaVA

## ct kompakt

- Optimierte KI-Modelle liefern auch ohne Grafikkartenbeschleunigung Bildbeschreibungen in akzeptabler Zeit.
- Ollama als Docker-Container unterstützt viele Large Language Models, auch multimodale.
- Ein Python-Skript konvertiert die Bilder im Hintergrund selbstständig.

Version 1.6 im Verzeichnis /root/.ollama installieren:

```
ollama pull llava:v1.6
```

Hat das geklappt, können Sie die Verbindung über das Client-API auf Port 11434 testen. Dazu loggen Sie sich per SSH auf Ihrem NAS ein und übermitteln mit curl eine Anfrage an das LlaVA-Modell:

```
curl http://127.0.0.1:11434/api/chat -d '{"model": "llava:v1.6", "messages": [ { "role": "user", "content": "Hi" } ]}'
```

Nach einigen Sekunden, in denen das Modell in den Speicher geladen wird, sollten Sie mehrere Zeilen als Antwort erhalten. Die letzte sollte folgendes Muster aufweisen:

```
{"model": "llava:v1.6", ... , "message": {"role": "assistant", "content": ""}, "done": true, ...}
```

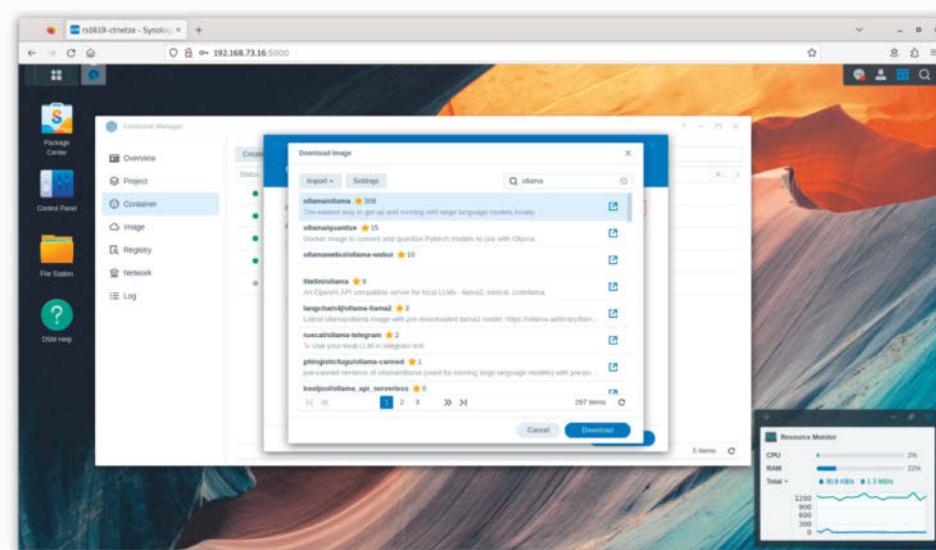
Damit wäre die KI einsatzbereit. Antwortet Ollama hingegen

```
{"error": "model 'llava:v1.6' not found, try pulling it first"}
```

so hat die Installation des Modells nicht geklappt und Sie müssen es noch einmal mittels ollama pull im Terminal des Containers versuchen. Bei weiteren Anfragen dauert es möglicherweise wieder einige Sekunden, bis das Modell reagiert, denn Ollama entlädt Modelle nach einigen Minuten wieder, wenn sie gerade nicht benutzt werden, um Speicher zu sparen.

## Verschlagwortet

Um Ihre Bilder zu verschlagworten, haben wir Ihnen auf ct.de/y6bk das Py-



**Das Docker-Image von Ollama kann viele verschiedene KI-Modelle beherbergen, auch das multimodale LlaVA, das Text und Bilder verarbeitet. Für die Kommunikation mit Anwendungen dient Port 11434.**

thon-Skript `schlagwort.py` zum Download bereitgestellt, das Sie direkt auf dem Synology-NAS einsetzen können. Es nutzt die Bibliothek LangChain, um das Client-API von Ollama anzusprechen, verkleinert die Originalbilder mittels Pillow, um sie an die KI zu übergeben, und fügt die Schlagworte schließlich mithilfe der Bibliothek IPTCinfo3 an das Originalbild an. Diese Bibliotheken sind standardmäßig jedoch nicht installiert, weshalb Sie zunächst die Python-Paketverwaltung pip und dann die Bibliotheken installieren müssen. Dies erledigen Sie mit den folgenden Befehlen via SSH-Verbindung zu Ihrem NAS:

```
python3 -m ensurepip --default-pip
python3 -m pip install --upgrade pip
python3 -m pip install langchain
python3 -m pip install pillow
python3 -m pip install iptcinfo3
```

Anschließend können Sie die Verschlagwortung mit dem Befehl

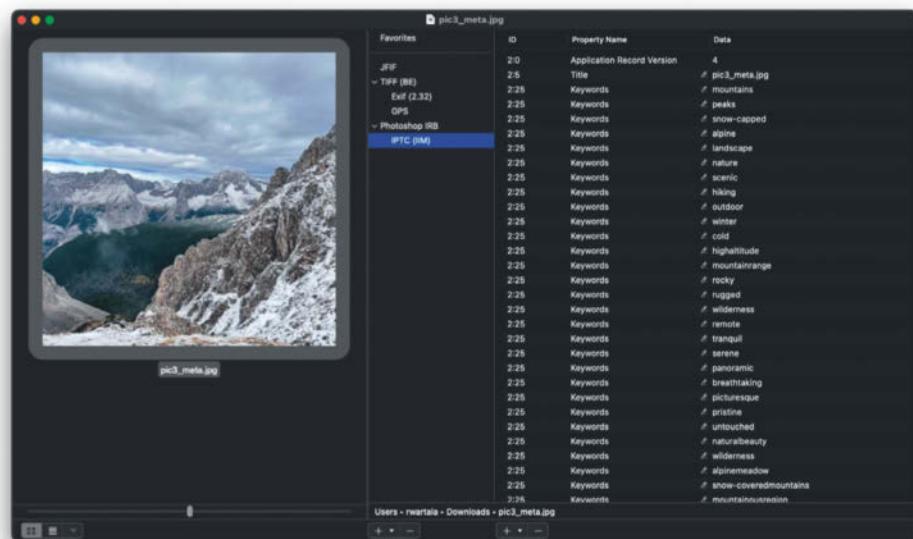
```
python3 schlagwort.py
```

starten. Das Skript sucht standardmäßig im aktuellen Verzeichnis, in dem es aufgerufen wurde, nach Dateien mit der Endung „.jpg“ und speichert deren verschlagwortete Versionen mit der Endung „\_meta.jpg“. Wenn Sie stattdessen lieber ein freigegebenes Verzeichnis verwenden wollen, etwa `/volume1/public/Fotos/input`, so tragen Sie dieses in der Variablen `SOURCE_DIR` am Anfang des Skripts ein. Über die Variable `TARGET_DIR` gleich darunter bestimmen Sie, wo die verschlagworteten Bilder landen. Indem das Skript eine Kopie anlegt, verlieren Sie keine Daten, falls bei der Bildverarbeitung irgend etwas schiefgehen sollte, beispielsweise weil die Original-Bilddatei beschädigt war und Pillow sie deshalb nur teilweise einlesen konnte.

Um LlaVA Schlagworte für die Bilder zu entlocken, verwendet das Skript das Prompt „Please find very precise keywords and separate them with commas.“ Das Ergebnis speichert es im Feld `keywords` der IPTC-Metadaten, außerdem den Namen des Skripts im Feld `writer/editor`, sodass sich später nachvollziehen lässt, woher die Schlagworte stammen.

## Langsam, aber stetig

Ohne Unterstützung einer GPU vergeht allerdings einige Zeit, bis Ihre Bilder verschlagwortet sind. Auf der DiskStation



**Die Schlagworte speichert das Python-Skript unter keywords in den Metadaten des Bilds, hier die Übersicht aus Photo Meta Edit für macOS.**

DS224+ mit dem mobilen Vierkern-Prozessor Intel Celeron J4125 dauerte es rund 20 Minuten pro Bild, bis LlaVA die Ergebnisse lieferte. Die leistungsfähigere Rack-Station RS1619xs+ mit Intels älterem Quad-Core Xeon D-1527 aus dem Serversegment war schon nach rund 5 Minuten fertig. Um ein ganzes Verzeichnis voller Bilder zu verarbeiten, sollte das Python-Skript deshalb im Hintergrund laufen.

Dazueignet sich das Kommando `screen`: Es öffnet eine Shell, die von der gerade laufenden Terminal-Session abgekoppelt ist. Der Aufruf von `python3 schlagwort.py &` hingegen würde nur einen Hintergrundprozess im aktuellen Terminal starten, der beendet wird, wenn Sie die SSH-Sitzung schließen. Eine Screen-Session hingegen können Sie jederzeit mit der Tastenkombination Strg+A und dann der Taste D von der Terminal-Session abkoppeln und im Hintergrund weiter ausführen lassen. Das Kommando, das in der Screen-Session ausgeführt werden soll, hängen Sie einfach an:

```
screen python3 schlagwort.py
```

Wollen Sie später nach dem aktuellen Stand der Verarbeitung schauen, können Sie die abgekoppelte Screen-Session mit dem Befehl `screen -r` wieder hervorholen und bei Bedarf erneut per Tastatur mit Strg+A, D in den Hintergrund schicken. Gibt es mehrere Screen-Sessions im Hintergrund, so zeigt sie Ihnen `screen -ls` als Liste; hinter dem Parameter `-r` können Sie angeben, an welche der Sessions Sie anknüpfen wollen.

Ist die Bildverarbeitung abgeschlossen, so endet auch die Screen-Session automatisch. Finden Sie also eine zuvor in den Hintergrund verlegte Screen-Session nicht mehr, so bedeutet das nur, dass die Arbeit bereits erledigt wurde.

Ganz ausgereift ist die Lösung noch nicht. Zunächst einmal liefert LlaVA lediglich englischsprachige Schlagworte, eine Übersetzungssautomatik gibt es nicht. Sie müssen künftig also auch englische Suchbegriffe verwenden. Außerdem prüft `schlagwort.py` noch nicht, ob ein Bild bereits verarbeitet wurde, sodass Sie das Skript derzeit nicht automatisch etwa per Cron-Job auf dem NAS ausführen lassen können.

## Fazit

Indem Sie `schlagwort.py` Verzeichnis für Verzeichnis verarbeiten lassen, können Sie über die Zeit auch größere Fotosammlungen direkt auf dem NAS verschlagworten. Bei neuen Bildern sollten Sie sich merken, sie zunächst in das in `schlagwort.py` unter `input` definierte Verzeichnis zu verschieben und das Skript dann zu starten. Tags darauf können Sie die Bilder dann in Ihre Fotosammlung verschieben und künftig leichter wiederfinden. Und das alles, ohne Ihre privaten Daten in eine Cloud oder an eine externe Stelle hochladen zu müssen. Die Kontrolle über die Verbreitung liegt weiterhin ganz bei Ihnen.

(mid@ct.de) ct

**schlagwort.py zum Download:**  
[ct.de/y6bk](http://ct.de/y6bk)

betterCode()

# API 2024

Design, Entwicklung und Management von APIs



14. und 16. Mai 2024 • online

In der Softwareentwicklung kommt man nicht um APIs herum: Ob Private oder Public APIs – schwierige Entscheidungen sind zu fällen. Welche **Architekturparadigmen**, welche Verfahren, welche **Protokolle** nutze ich, wann welche besser nicht? Wie gewährleiste ich **Qualität, Kompatibilität** und **Sicherheit**?

Folgende Themen erwarten Sie:

- Fortgeschrittene Entwurfstechniken
- Entwicklungstools
- Versionierung
- Testen
- API Management
- Data Contracts
- API Sprawl und Great Unbundling

Jetzt  
**Tickets**  
sichern!

Workshops am 4. und 6. Juni

[api.bettercode.eu](http://api.bettercode.eu)

Veranstalter



dpunkt.verlag

betterCode()

# Spring 2024

Moderne Java-Entwicklung mit Spring



20. Juni 2024 • online

Das **Spring Framework** und **Spring Boot** erfreuen sich wegen ihrer Sicherheit und Stabilität großer Beliebtheit – im praktischen Einsatz sind jedoch einige wichtige Fragen zu klären.

Die betterCode() Spring hilft hier und widmet sich u.a. folgenden Themen:

- Warum sollte ich meine **Spring-Anwendungsarchitektur** mit jMolecules umsetzen?
- Wie ändere ich die **Datenbankzugriffe** schnell und sicher?
- Wie hilft **Chaos Engineering**, die Stabilität der Anwendung auch bei Ausfällen sicherzustellen?
- Ich muss eine **Spring-Legacy-Anwendung** betreuen. Worauf muss ich jetzt achten?

Jetzt  
**Frühbucher-**  
**tickets**  
sichern!

Spring-Security-Workshop am 27. Juni

[spring.bettercode.eu](http://spring.bettercode.eu)

Veranstalter



dpunkt.verlag

# Digi-Moppel

## Smart Generator von Ecoflow im Test

**Wenn in der Wildnis oder beim Stromausfall alle Akkus leer sind, kann man mit fossilen Energieträgern Notstrom erzeugen. Der Generator von EcoFlow lässt sich dabei mit anderen Produkten des Herstellers smart vernetzen.**

Von Sven Hansen

Unter einem „Moppel“ versteht man laut Duden umgangssprachlich einen kleinen, dicklichen Menschen. Wikipedia nennt ebenso umgangssprachlich auch ein kleines Notstromaggregat so. Die Gerätekategorie ist in Zeiten der in c't 13/2023, Seite 86 getesteten Solargeneratoren mit fettem Akku etwas aus der Mode gekommen. Wo letztere schlimmstenfalls mit Lüfterlärm auf sich aufmerksam machen, sind die Mini-Kraftwerke mit Verbrennertechnik echte Radaubrüder.

Bei Ecoflows Smart Generator handelt es sich im Kern um einen klassischen Inverter Generator, der über einen Verbrennungsmotor Gleichstrom produziert, den wiederum ein Wechselrichter im Gerät zu haushaltsüblichem Wechselstrom wandelt (230 Volt bei 50 Hz). Der Generator kann wahlweise mit Benzin betrieben werden oder man speist ihn mit Flüssiggas (Propan, Butan) über seinen LPG-Anschluss; der zum Anschluss nötige Druckminderer mit Bajonettschluss liegt bei. Ist eine Gasflasche angeschlossen, wechselt das Gerät automatisch in den Flüssiggasmodus.

Propangasflaschen sind eine praktische Alternative zur Energieversorgung mit Benzin, weil sie sich leichter handhaben lassen und nicht so schnell verderben. Zudem muss man den mit vier Litern recht kleinen Benzintank des Generators nicht so oft nachfüllen. Glaubt man der Ver-

Frisch aus  
**ct Nerdistan**

brauchsanzeige der zugehörigen App, kann man mit einer 33-kg-Flasche Flüssiggas rund 80 kWh Strom produzieren. Mit dem Inhalt des Benzintanks sind es maximal 8 kWh.

Der chinesische Hersteller ergänzt diese Mad-Max-Technik um Kommunikationsmodul, App-Steuerung und erweiterte Konnektivität. An der Vorderseite liegen ein AC-Ausgang in Form einer Schuko-Steckdose und ein proprietärer DC-Ausgang (dazu später mehr), beide durch Klappen geschützt.

Schon äußerlich unterscheidet sich das Gerät deutlich von Standardgeneratoren mit Verbrennertechnik: Bis auf den Einfüllstutzen an der Oberseite geht er wegen des schicken Designs und dem großen Display auf den ersten Blick als Solargenerator durch. Dank zwei solider Tragegriffe lässt sich der Smart Generator mit seinem Leergewicht von 30 Kilogramm

halbwegs gut von einer Person bewegen. Spätestens wenn der Vier-Liter-Tank mit Benzin gefüllt ist, freut man sich über einen Mitträger. Hinter der seitlichen Revisionsklappe liegt die Verbrennertechnik: Ein Einzylinder-Viertaktmotor mit 80 Kubikzentimeter Hubraum liefert eine Dauernennleistung von 1800 Watt (Benzin) oder 1600 Watt (Flüssiggas).

An der Vorderseite findet sich ein schickes Segment-LCD, das Ecoflow auch bei

Hinter einer Revisionsklappe steckt die gesamte Verbrenner-technik und der be-sonders wichtige Hilfsakku (blau).



seinen Batteriegeräten einbaut. In diesem Fall gibt es Auskunft über den Verbindungsstatus des Smart Generators, die momentan abgegebene Leistung, den Füllstand des Benzintanks in Prozent und die erwartete Restlaufzeit. Bei LPG-Einspeisung fehlen letztere beiden Informationen, da sich weder Größe noch Füllstand der verbundenen Gasflasche im Gerät hinterlegen lassen.

### Startprobleme

Wi-Fi, Motoröl, Bluetooth, Benzin und Lithium-Akkus: Beim ersten Start des Smart Generators merkt man schnell, dass es sich um ein besonderes Hybrid-Gadget handelt. Zunächst einmal muss man sich um den Verbrennerteil kümmern. Der Generator benötigt etwa einen Liter Motoröl (nicht im Lieferumfang) und eine Benzinfüllung, um ihn in Gang zu bringen. Benzin ist auch bei angepeiltem LPG-Betrieb nötig, da es zusätzliche Schmierstoffe für den Verbrenner mitbringt. In der Anleitung überliest man leicht den wichtigen Hinweis, im Innern des Gerätes den kleinen Hilfsakku zu ver-



binden, der die smarte Technik und den elektrischen Anlasser speist. Für den Transport des Generators ist er abgetrennt.

Liest man weniger gründlich, übergeht man den Schritt und startet den Generator durch Umlegen des seitlichen Start/Stopp-Knopfes und einen beherzten Zug am mechanischen Startergriff. Ohne Murren erwacht der Moppel zum Leben und versorgt die Elektronik auch ohne Hilfsakku direkt mit Strom. Die Lärmentwicklung ist durch die geschlossene Bauweise mit zusätzlicher Schaumstoffdämmung im Vergleich zu offen konstruierten Generatoren mit nicht einmal 70 dB(A) erträglich.

Danach gilt es, den Smart Generator in der Ecoflow-App einzurichten. Er meldet sich automatisch per Bluetooth und lässt sich anschließend ins WLAN (2,4 GHz) einbinden. In der App kann man die Leerlaufdrehzahl des Generators verstellen (Eco oder Performance) und bekommt Informationen zum Tankinhalt und der prognostizierten Laufzeit angezeigt. Im Smart Generator steckt sogar ein Sensor für Kohlenmonoxid. Rattert das Gerät in schlecht belüfteten Räumen, schaltet der Generator automatisch ab und schickt eine Alarrrmelung per App aufs Handy.

Ebenfalls smart: Die App informiert nach hinterlegtem Plan über sämtliche notwendigen Service-Arbeiten am Verbrenner teil: Luftfilter, Motoröl, Zündkerze und das Alter des im Tank befindlichen Treibstoffs werden dokumentiert. Die Ersteinrichtung verläuft absolut problemlos – solange man nicht den Hilfsakku vergessen hat.

## Starthilfe-Hilfe

Dieser ist spätestens dann unverzichtbar, wenn man das bei smarten Geräten obligatorische Firmware-Update ausführt. Dabei durchläuft die Elektronik wie üblich einen Neustart und der Generator geht aus. Friert der Fortschrittsbalken in der App während des Firmware-Updates dann bei 49 Prozent ein, stehen einem zu Recht Schweißperlen auf der Stirn. Ganz besonders, wenn man im Nachhinein auf den Punkt 2.3. Abschnitt D der Anleitung und den recht gut verborgenen Steckverbinder für den Akku stößt. Nach dem misslungenen Update lässt sich unser Testgerät zunächst nicht einmal mehr manuell über die Zugschnur anwerfen.

Die Rettung kommt in Gestalt eines zweiten Ecoflow-Gerätes, dem Batteriespeicher Delta 2 Max. Über ein im Lieferumfang des Smart Generators enthaltenes DC-Kabel mit Datenleitung nehmen beide

Geräte Kontakt miteinander auf, wobei eigentlich der Generator die 2-kWh-Batterie des Delta 2 unterstützen soll. Fällt deren Energiepegel unter einen in der App frei wählbaren Schwellwert, springt der Generator automatisch an und lädt die Batterie bis zum gewünschten Wert auf.

Sind die Geräte über das DC-Kabel verbunden, funktioniert die Sache auch andersherum. Die Energie des eingebauten Hilfsakkus reichte im Auslieferungszustand nicht, um dem Smart Generator wieder Leben einzuhauchen, die DC-Verbindung zur Batterie des Delta 2 sehr wohl. Die App erkennt nach dem Verbinden automatisch das missglückte Update und setzt erneut an, dieses Mal erfolgreich.

## Anschlussvarianten

Im Test konnten wir den Smart Generator wahlweise als Sologerät oder als Backup hinter dem Delta 2 betreiben, wobei die App bei letzterer Variante maximale Kontrolle über das Start-/Stopp-Verhalten des Generators erlaubt. Er wurde durch den Lithium-Akku mit 1,5 Ah zuverlässig beim Erreichen der in der App eingestellten Schwellen der Akkukapazität angeworfen und auch gestoppt. Über die App schaltet man ihn bei Bedarf jederzeit auch aus der Ferne zu.

Nutzt man den Smart Generator hingegen ohne Verbindung zur Batterie, fällt er nach gewisser Zeit in den Tiefschlaf und lässt sich nur über die Starttaste am Gerät aufwecken. Auf unserem Prüfstand konnte der Wechselrichter überzeugen. Auch bei starken Lastwechseln blieben die Sinuswelle und Ausgangsspannung stabil, sodass man ohne Bedenken auch empfindliche Gerätschaften versorgen kann.

Einiges spricht für den Tandembetrieb von Generator und Batterie: Der Smart Generator liefert eine Spitzenleistung von 1900 Watt (Benzin) respektive 1700 Watt (Flüssiggas). Die Delta 2 Max hingegen bringt es über die X-Boost-Funktion allein auf 3100 Watt Peak. Hinzu kommt ein Effizienzgewinn: Je höher die Leistungsabgabe des Generators, desto niedriger war im Test der Verbrauch pro produzierter Kilowattstunde, egal ob im Benzin- oder Gas-Modus. Die Abgabeleistung des Generators an den per DC verbundenen Batteriespeicher lässt sich per App fest einstellen. Auf der maximalen Stufe 1800 Watt springt der Generator seltener an und arbeitet mit höchstmöglicher Effizienz. Wird nur wenig Leistung abgerufen, beispielsweise um den Stand-



**Mit der Propangasflasche entfällt das lästige Nachfüllen des mit vier Litern recht kleinen Benzintanks.**

by-Verbrauch von ein paar Technik-Gadgets zu decken, arbeitet der Generator im Solo-Betrieb deutlich ineffizienter.

Die Delta 2 Max hingegen lädt der Smart Generator bei optimaler Effizienz, während diese Spitzen bei der Notstromversorgung abgedeckt und niedrige Standby-Phasen überbrückt. Zudem kann man das Tandem nutzen, um gewisse Ruhezeiten einzuhalten, ohne im Dunkeln sitzen zu müssen.

## Fazit

Der Smart Generator ist ein gelungener Mix aus Verbrennertechnik und smartem Gadget. Lediglich ein deutlicher Hinweis auf den nicht verbundenen Hilfsakku wäre wünschenswert. Mit der Zusatzoption LPG lässt sich bequem eine Notstromversorgung auch für längere Zeiträume sicherstellen, ohne dass man ständig stinkende Benzinkanister bewegen müsste. Die Integration des Generators ins Ecoflow-System ist gelungen. Zwar gibt es zum selben Preis ähnliche Geräte mit mehr Ausgangsleistung, wie etwa die von Könner & Söhnen, aber eben keine mit derselben smarten Anbindungsmöglichkeit. (sha@ct.de) ct

## Ecoflow Smart Generator

Smarter Inverter Generator	
Hersteller, URL	Ecoflow, <a href="http://www.ecoflow.com">www.ecoflow.com</a>
Ausstattung	manueller/elektrischer Starter, LC-Segment-Display, CO-Sensor, Hilfsakku
Kommunikation	Bluetooth LE, Wi-Fi 4 (2,4 GHz)
Nennleistung (Spitze)	Benzin: 1800 (1900) Watt LPG: 1600 (1700) Watt
Ausgänge	DC (proprietär), AC 230 V/50 Hz (Schuko-Steckdose)
Geräuschpegel	maximal 67 dB unter Vollast (Herstellerangaben)
Preis	1300 €

# Für Wissenshungrige...

## Ausgewählte Fachliteratur



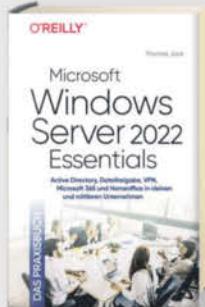
Mareile Heiting

### Windows 11 – Das große Handbuch (5. Auflage)

Das große Standardwerk zu Windows 11! In diesem umfassenden Handbuch erfahren Einsteiger und bereits versierte Nutzer alles, um das Betriebssystem in seiner neuesten Version sicher und effektiv zu handhaben.

19,90 €

NEU



Thomas Joos

### Microsoft Windows Server 2022 Essentials – Das Praxisbuch

Dieses Buch hilft kleinen und mittleren Unternehmen, das Beste aus Windows Server 2022 Essentials herauszuholen, auch bei kleinerem Budget. Mit vielen Praxisbeispielen und detaillierten Anleitungen.

Auch als PDF und ePUB erhältlich!

49,90 €



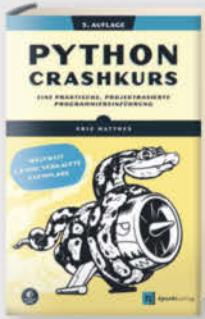
Charles Petzold

### Code – Wie Computer funktionieren

Charles Petzold lüftet das Geheimnis über das verborgene Innernleben und die grundlegende Funktionsweise von Computern – von der Hardware bis zur Software.

Auch als PDF und ePUB erhältlich!

39,99 €



Eric Matthes

### Python Crashkurs (3. Auflage)

DER weltweite Bestseller unter den Einführungen in die Programmiersprache Python. Mit dieser kompakten und gründlichen Anleitung werden Sie in kürzester Zeit Programme schreiben, Probleme lösen und funktionierende Anwendungen entwickeln.

Auch als PDF und ePUB erhältlich!

32,90 €



Christian Immler

### Haus und Wohnung smart vernetzt

Ob Sie Daten, Musik und Medien im ganzen Haus nutzen, Ihr WLAN optimieren oder per App aus der Ferne Ihre Heizung anstellen, diese und weitere relevante Themen rund um Ihr vernetztes Zuhause werden in diesem Buch ausführlich besprochen.

19,95 €

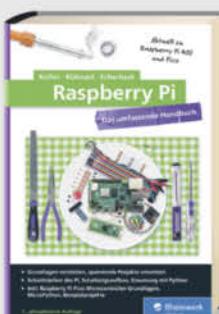


Thomas Kaffka

### 3D-Druck – Praxisbuch für Einsteiger (3. Auflage)

Entdecken Sie die nahezu unbegrenzten Möglichkeiten des 3D-Drucks in allen Varianten: vom Einsatz des eigenen 3D-Druckers zu Hause über die Verwendung von öffentlich zugänglichen Druckern bis hin zur Nutzung von 3D-Druckservices.

29,99 €



Michael Kofler, Charly Kühnast,

Christoph Scherbeck

### Raspberry Pi (7. Auflage)

Das Standardwerk in 7. Auflage, aktuell zum Raspberry Pi Pico. Die RasPi-Experten Michael Kofler, Charly Kühnast und Christoph Scherbeck bieten Ihnen auf über 1.000 Seiten das komplette Wissen, damit Sie mit dem Raspberry Pi richtig durchstarten.

44,90 €



Anatomie 4D –

### Der menschliche Körper

Mithilfe einer kostenlosen App und bahnbrechender Augmented Reality kann der Aufbau der Knochen, die Muskeln in Aktion, das Nerven- und Kreislaufsystem sowie das größte menschliche Organ, die Haut, beobachtet werden.

14,95 €



[shop.heise.de/highlights2024](https://shop.heise.de/highlights2024)

© Copyright by Heise Medien.

PORTOFREI AB 20 € BESTELLWERT INNERHALB DEUTSCHLANDS

# ...und Nerds



[shop.heise.de/highlights2024](https://shop.heise.de/highlights2024)

## Zubehör und Gadgets



### Oxocard Galaxy Play & Explore

Mit dem leistungsfähigen Dual-Core Chip ESP32 liefert die Oxocard genügend Power für Ihre Experimente. Dank fertiger Programme können Sie ohne Programmiererfahrung sofort loslegen. Wir zeigen wie durch einfache Anpassungen verblüffende Effekte erzeugt werden können.

~~69,90 €~~

**39,90 €**



### Oxocard Connect Innovators Kit

Steigen Sie in die faszinierende Welt der Elektrotechnik ein. Das umfangreiche Komplettset enthält neben einer Oxocard Connect und einer Breadboard-Cartridge, 96 Elektronikbauteile, mit denen Sie eine Vielzahl elektronischer Schaltungen aufbauen können.

**89,90 €**



### Makey-Flasche mit Trinkhalm

Diese praktische Trinkflasche mit unserem süßen Makey ist ab jetzt dein stetiger Helfer gegen den Durst. Sie besteht aus hochwertigem Edelstahl und hat einen praktischen Trinkhalm im Deckel integriert.

**29,90 €**



### musegear finder recharge

Der finder ist das perfekte Geschenk. Ob Schlüssel, Geldbörse, Fernbedienung, Handy oder Tablet – der finder lässt sich dank mitgeliefertem Klebepad und Befestigungsband überall anbringen und findet per App alles wieder!

**34,90 €**



### Joy-IT Werkzeugset

115-teiliges Werkzeugset für die Reparatur von feinelektronischen Geräten, wie Smartphones und Spielekonsolen. Darin enthalten sind, neben insgesamt 98 Bits aus hochwertigem S2 Werkzeugstahl, Hilfsmittel zum gefahrlosen Öffnen, Greifen und Hebeln.

**24,90 €**



### Bodic® UV-Reparatursystem

Das weltweit erste innovative UV-Reparatursystem mit Flüssigkunststoff zum Reparieren, Fixieren, Modellieren und Isolieren. Mit Bodic® kannst du Bruchstellen in Sekunden ausfüllen, unter UV-Licht aushärten und danach beliebig bearbeiten.

**18,90 €**



### c't 1983 Emaille-Tasse

Kaffee trinken wie in alten Zeiten. Diese Tasse im Retro-Look und mit dem Logo aus den ersten zwei Jahren c't Magazin sorgt für Nostalgie-Momente am Frühstückstisch. Geben Sie sich mit dieser Kaffeetasse als Fan der ersten Stunde zu erkennen.

**26,90 €**



### Strahlenmessgerät Joy-IT JT-RAD01

Das JT-RAD01 ist ein Strahlungsmessgerät zum Nachweis von γ-, β- und Röntgenstrahlung und zeichnet sich durch seine besonders einfache Handhabung, hohe Messstabilität und seinem handlichen und robusten Design aus. Das Messgerät verfügt über ein großes LCD Farb-Display mit Hintergrundbeleuchtung.

**74,90 €**



# Scheitern 2.0

## Neues Onlinezugangsgesetz muss in den Vermittlungsausschuss

**Die Änderung des Onlinezugangsgesetzes war eines der wichtigsten Projekte der Bundesregierung, um die Verwaltung weiter zu digitalisieren. Es scheiterte Ende März vorläufig an der Blockade durch die unionsgeführten Länder im Bundesrat. Auf der Bremse steht aber noch jemand anderes.**

Von Tim Gerber

Nach fast einem Jahr im parlamentarischen Verfahren hat der Bundesrat auf seiner Plenarsitzung am 22. März das geplante neue Onlinezugangsgesetz mit den Stimmen der unionsgeführten Länder abgelehnt. Die Bundesregierung hat daraufhin in der Kabinettsitzung am 10. April beschlossen, den Vermittlungsausschuss anzurufen. Wie es mit der Digitalisierung der Verwaltung weitergehen soll, müssen Bund und Länder nun in dem gemeinsame Gremium von Bundesrat und Bundestag klären.

Kritik an der Blockadehaltung der Union kam vor allem aus der Wirtschaft. Dass sich diese wichtigen gesetzgeberischen Maßnahmen weiter verzögerten, sei

„kein gutes Signal für die Verwaltungsdigitalisierung und für den Wirtschaftsstandort Deutschland“, sagte eine Sprecherin des Branchenverbands Bitkom gegenüber c't. Laut einer Erhebung des Verbands sehen acht von zehn Unternehmen die mangelhafte Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung als eindeutigen Standortnachteil.

„Wir brauchen mehr Digitalisierung, um den öffentlichen Dienst gegen Fachkräftemangel zu wappnen und um als Standort wettbewerbsfähig zu bleiben“, warb der Parlamentarische Staatssekretär im Bundesinnenministerium (BMI) Johann Saathoff (SPD) in der Bundesratsitzung um die Zustimmung der Länder.

vertreter. Als „ein Angebot, dass Sie hoffentlich nicht ablehnen können“, stellte der Vertreter der Bundesregierung den Ländern zahlreiche Zugeständnisse bei der Umsetzung in Aussicht, die man in einer Protokollnotiz festhalten könne.

In einem anderen Gesetzgebungsverfahren wolle der Bund beispielsweise festlegen, dass Verfahrensstandards von ihm nur im Einvernehmen mit dem IT-Planungsrat festgelegt werden, in dem Bund und Länder zu gleichen Stimmen vertreten sind. Zweitens sollten automatisierte Nachweisabrufe wie von den Ländern gewünscht asynchrone Übertragungsverfahren zulassen und drittens solle Elster, das Lieblingsprojekt der Länder, allen voran Bayerns, dauerhaft für Identifizierungs- und Authentifizierungsverfahren eingesetzt werden. Dem Bund schwebte eigentlich vor, es mittelfristig vollständig durch die Bund-ID zu ersetzen.

Aus Sicht des Bundes könnten die wichtigsten Länderwünsche auch berücksichtigt werden, ohne das OZG 2.0 durch den Vermittlungsausschuss zu schicken und mithin weiter zu verzögern. „Lassen Sie uns heute gemeinsam ein echtes Upgrade für die Verwaltungsdigitalisierung beschließen!“, appellierte Staatssekretär Saathoff fast flehentlich am Ende seiner Rede. Die Vertreter der von den Unionsparteien geführten Ländern ließ das alles kalt, sie lehnten den Entwurf ohne weitere Wortmeldungen ab. Lediglich Bayerns Staatskanzleiminister Florian Herrmann (CSU) gab eine schriftliche Erklärung dazu zu Protokoll.

Demnach unterstützte der Freistaat Bayern die Ziele des OZG 2.0, kritisierte jedoch, dass der Bund die Beteiligungsrechte der Länder darin nicht berücksichtigte. Diese müssten über das „Einvernehmen“ des IT-Planungsrates abgebildet

werden. Genau das hatte Innenstaatssekretär Saathoff in seiner Rede auch zugesagt. Dennoch monierten die Bayern, die fehlenden Beteiligungsrechte würden es dem Bund ermöglichen, den Ländern und Kommunen einseitige Vorgaben zu machen, ohne sich mit ihnen abstimmen zu müssen. Dieses Vorgehen sei aus Finanzierungsgesichtspunkten äußerst gefährlich.

### Leidiger Streit ums Geld

Die Länder und Kommunen hätten somit keinerlei Abwehrmöglichkeiten gegen die über einseitige Rechtsverordnungen erfolgende bundeseitige Abwälzung von Kosten in Höhe zweistelliger Milliardenbeträge auf ihre Haushalte, warnte Herrmann weiter: „Dazu passend ist die Digitalisierung der Verwaltung bundeseitig vollkommen unterfinanziert. Die ins neue Jahr übertragenen Ausgabenreste für die Umsetzung des Onlinezugangsgesetzes sind mit etwa 110 Millionen Euro nicht einmal halb so groß wie von der Bundesinnenministerin im Sommer versprochen. Außerdem haben die Bundesministerien für 2024 kaum Mittel für die OZG-Umsetzung eingeplant.“

Ganz von der Hand zu weisen ist das nicht. Als die Ampel den Entwurf für das OZG 2.0 vor einem Jahr ins parlamentarische Verfahren einbrachte, hatte sie noch eine üppige Finanzierung für die Digitalisierungsprojekte aus dem Bundeshaushalt in Höhe von knapp 600 Millionen Euro in Aussicht gestellt. Auf die Länder hätten demnach zusammen lediglich 120 Millionen Euro einmalige Kosten zukommen sollen. Die auf knapp 28 Millionen Euro pro Jahr veranschlagten laufenden Kosten für die Projekte, insbesondere das Portal der Bund-ID mit der Nutzerkontenverwaltung, will der Bund allein stemmen.

Noch auf der Regierungspressekonferenz am 24. August hatte eine Sprecherin von Bundesinnenministerin Nancy Faeser (SPD) verkündet, der Bund werde im Jahr 2024 für die Digitalisierung Mittel in Höhe von ungefähr 300 Millionen Euro zur Verfügung stehen. Doch daraus wurde nichts: Aufgrund des Verfassungsgerichtsurteils zum Corona-Sondervermögen sowie der Schuldenbremse im Grundgesetz strich die Regierung den Bundeshaushalt hektisch zusammen.

Insbesondere die Entwicklung wichtiger Projekte blieb dabei auf der Strecke, beispielsweise der Bund-ID mit den dazugehörigen Portalen wie „Mein Justizpost-



Foto: BMI, Henning Schacht

**Der Parlamentarische Staatssekretär im Bundesinnenministerium Johann Saathoff (SPD) bot den Ländern an, ihre Änderungswünsche auch ohne Vermittlungsverfahren zu berücksichtigen, um die Digitalisierung nicht weiter zu verzögern.**

fach“ und dem elektronischen Bürger- und Organisationenpostfach (eBO, siehe c’t 7/2024, S. 158). Und auch für den kommenden Bundeshaushalt 2025 steht die Finanzierung der OZG-Vorhaben noch völlig in den Sternen. Die Schuldenbremse für derartige Investitionen in die Zukunft der öffentlichen Verwaltung aufzuweichen, lehnen Union und auch Ampel-Koalitionär FDP kategorisch ab.

Im Bundesfinanzministerium (BMF), das für den Bundeshaushalt federführend ist, hat man bislang offenbar keinen Plan, wie man die auch für die Wirtschaft wichtigen Projekte dennoch finanzieren will. Das vom FDP-Bundesvorsitzenden Christian Lindner geführte Ministerium verweist Anfragen an andere Ressorts oder verweigert die Auskunft. Lindners Partei hat für ihren Bundesparteitag einen Leitantrag des Bundesvorstands angekündigt. Der soll sich Medienberichten zufolge neben Wirtschaftsförderung, Steuersenkungen und Bürokratieabbau auch mit Digitalisierung befassen. Was der Antrag dazu genau enthalten soll, wollte der FDP-Presse sprecher auf c’t-Anfrage jedoch nicht verraten.

Auch die Frage nach einer Digitalisierungsstrategie für das eigene Ressort und ihm nachgeordnete Behörden wollte das BMF zunächst nicht beantworten. Nachdem wir das Ministerium auf presserechtlicher Grundlage gerichtlich auf Auskunft in Anspruch genommen haben, teilte der Anwalt von Lindners Behörde dem zuständigen Verwaltungsgericht mit, dass man

## c’t kompakt

- Mit dem OZG 2.0 sollen digitale Verwaltungsdienste auf einem gemeinsamen Portal zusammengefasst werden.
- Das Gesetz liegt auf Eis, nachdem der Bundesrat seine Zustimmung verweigert hat.
- Die Regierung hat deswegen den Vermittlungsausschuss angerufen.

eine solche Strategie nicht für notwendig erachte und es mithin auch keine gebe.

## Die Pläne

Das gemeinhin als OZG 2.0 bezeichnete Gesetzgebungsprojekt heißt offiziell „Gesetz zur Änderung des Onlinezugangsgesetzes sowie weiterer Vorschriften zur Digitalisierung der Verwaltung“ (OZG-Änderungsgesetz – OZGÄndG). Es sieht unter anderem vor, die bisher starren Umsetzungsfristen des OZG zu streichen und stattdessen ein begleitendes Monitoring der Regelungen des OZG in § 12 des OZG-Entwurfs einzuführen.

Zentrale Basisdienste wie die Nutzerkonten und Postfächer für Bürger will künftig der Bund bereitstellen, sodass die Entwicklung und der Betrieb landeseigener Äquivalente entfallen kann. Dazu sollen die Paragrafen 3 und 13 des OZG geändert werden.

Mit § 9a des Entwurfs will der Bund erreichen, dass die Schriftform in Verwaltungsverfahren einfach und einheitlich elektronisch ersetzt werden kann. Zudem will er ein schriftformersetzendes qualifiziertes elektronisches Siegel einführen.

## Doppelte Strukturen beseitigen

Der neue § 1a des Entwurfs soll sicherstellen, dass die Länder die Voraussetzungen dafür schaffen, die Kommunen an den Portalverbund anzubinden. Nach Vorstellungen des Bundes sollen Verwaltungsleistungen für Unternehmen spätestens fünf Jahre nach Inkrafttreten des OZG 2.0

vollständig und ausschließlich digital erbracht werden.

Der Portalverbund und die Zusammenführung der Nutzerkonten dürften nicht zuletzt aus Sicht der Bürger zentrale Punkte des OZG 2.0 sein, sollten aber auch im Interesse der Länder und ihrer Kommunalverwaltungen liegen. Wer zum Beispiel in Niedersachsen bei seiner Meldestelle eine Werbesperre beauftragen will – einer der wenigen aktuell schon online angebotenen Verwaltungsvorgänge auf Gemeindeebene –, benötigt zunächst ein Nutzerkonto im Landesportal. Das kann er mit einem elektronischen Personalausweis eröffnen. Zusätzlich braucht der Betroffene ein Nutzerkonto bei seiner Gemeinde, welches ebenfalls mit dem ePerso eröffnet werden kann und mit dem vorhandenen Landeskonto verknüpft wird.

Dann erst kann er den Antrag über das Gemeindeportal stellen. Unmittelbar danach erhält der Antragsteller eine Benachrichtigung per E-Mail, dass sein Antrag eingegangen ist. Nicht nur ein-, sondern gleich zweimal, nämlich vom Land und von der Gemeinde. Eine Nachricht, dass seinem Antrag auch stattgegeben und seine Anschrift für Werbetreibende im Melderegister gesperrt wurde, erhält der Antragsteller indessen nicht. Das muss er selbst im Gemeindeportal nachsehen.

## Kraut und Rüben

Es ist überfällig, dieser unübersichtlichen und wenig effektiven Gestaltung von digitalen Dienstleistungen des Staates mit

einem einheitlichen Verwaltungsportal ein Ende zu bereiten. Immer wieder blockieren jedoch andere Stellen auf allen Ebenen vom Bund bis in die Länder und Kommunen einheitliche Ansätze des federführenden Bundesinnenministeriums.

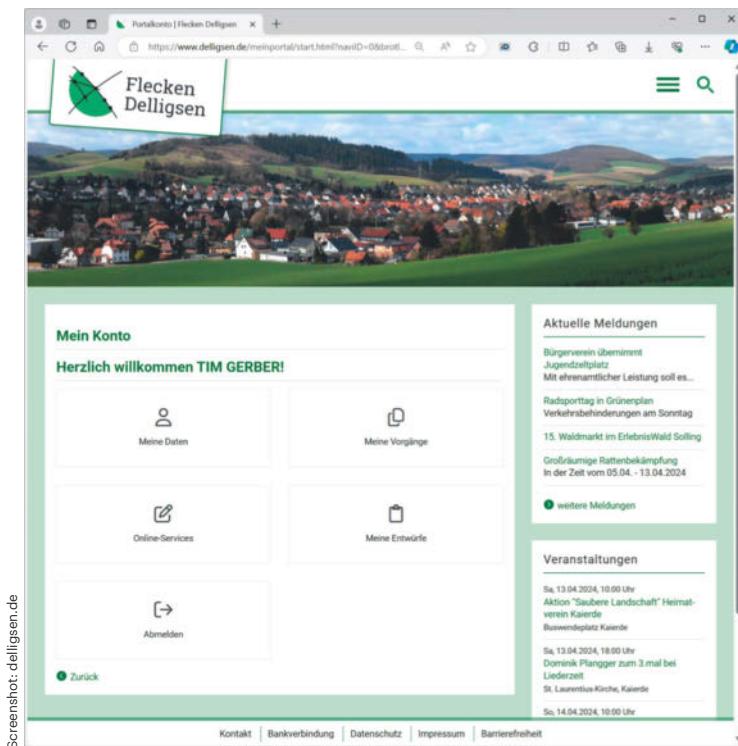
So war es bereits mit der Anfang der 2000er Jahre ausgebrüten De-Mail. Die war nicht nur als zentrale Kommunikationstechnik mit Behörden und Gerichten gedacht, sondern vor allem auch für die rechtliche Kommunikation der Zivilgesellschaft etwa in Vertragsangelegenheiten. Ihr fiel unter anderem die mächtige Finanzverwaltung von Bund und Ländern in den Rücken. Die Finanzministerien verabredeten sich, De-Mail in ihren Ämtern auf keinen Fall zu verwenden. Stattdessen setzen sie bis heute auf ihr eigenes Elster-Portal, welches von Bayern entwickelt wird.

Die Identifizierungsverfahren von Elster selbst kommen indessen nicht ohne Briefpost aus. Inzwischen hat man den ePerso als Login-Option immerhin nachgerüstet. Außerhalb förmlicher Steuerverfahren kann man über das Elster-Portal bis heute nicht mit den Behörden kommunizieren, darüber noch nicht einmal einen Antrag auf Anerkennung steuerbegünstigter Zwecke eines neu gegründeten Vereins an das zuständige Finanzamt stellen. Das klappt dafür schon heute über das besondere elektronische Behördenpostfach der Finanzämter.

Dessen Weiterentwicklung blockiert ebenfalls die Finanzverwaltung, namentlich das Bundesfinanzministerium von Christian Linder. So musste denn auch Innenstaatssekretär Saathoff in seiner Rede im Bundesrat einräumen: „Weitergehenden finanziellen Forderungen wird der Bund nicht nachkommen können; nicht heute und auch nicht durch einen Vermittlungsausschuss.“ Sollten die Länder darauf spekulieren, könnte er das Ergebnis heute schon sagen: „Mehr als zeitliche Verzögerung wird der Vermittlungsausschuss zumindest hier nicht bringen.“

Bundesinnenministerin Faeser erklärte unmittelbar im Anschluss an die Kabinettssitzung am 10. April, sie setze auf eine konstruktive Zusammenarbeit: „Wir brauchen dieses Gesetz – im Bund, genauso wie in Ländern und Kommunen.“ Damit könnte man Bürgern den Gang zum Amt ersparen, einheitliche digitale Verfahren ermöglichen und endlich die Zettelwirtschaft beenden. „Unternehmen können wir mit vollständig digitalen Verfahren von viel Bürokratie befreien. So stärken wir

Weil dem Bund aufgrund von Schuldenbremse und Haushaltssurteil das Geld ausgegangen ist, fehlen dem Justizpostfach wichtige Grundfunktionen wie eine Eingangsbenachrichtigung.



Screenshot: delligsen.de

The screenshot shows a web browser window for the "Flecken Delligsen" portal. The header includes the logo and the text "Portalkonto | Flecken Delligsen". The main content area is titled "Mein Konto" and "Herzlich willkommen TIM GERBER!". It features several cards: "Meine Daten", "Meine Vorgänge", "Online-Services", and "Meine Entwürfe". Below these are sections for "Aktuelle Meldungen" (with a link to "weitere Meldungen") and "Veranstaltungen" (listing events like "Bürgerverein übernimmt Jugendzentralplatz", "Radspottag im Grünenplan", "15. Waldmarkt im ErlebnisWald Solling", and "Großräumige Rattenbekämpfung"). At the bottom are links for "Kontakt", "Bankverbindung", "Datenschutz", "Impressum", and "Barrierefreiheit".

auch die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands, für die ein digitaler Staat entscheidend ist.“

Zu alledem müssten nun alle Bundesländer ihren Beitrag leisten. Wesentliche Forderungen der Länder hätte der Bund bereits aufgegriffen, insbesondere zur Ende-zu-Ende-Digitalisierung, zur Abschaffung der Schriftform, zu gemeinsamen Standards oder wichtigen datenschutzrechtlichen Regelungen für Verwaltungsdienstleistungen in den Ländern.

### Der baltische Pate

Für einige der Vorhaben dürfte das vollständig digitalisierte Estland Pate gestanden haben. Dort zählt man inzwischen stolz auch den Microsoft-Gründer Bill Gates zu seinen Digitalbürgern. Das nötige Bürgervertrauen erwirbt sich die dortige Regierung durch größtmögliche Transparenz: Über das Regierungsportal kann jeder kontrollieren, welche Behörde wann und zu welchem Zweck auf welche seiner Daten zugegriffen hat. Undenkbar sind damit Vorgänge wie der um den sogenannten NSU 2.0, die das Vertrauen in staatliche Stellen untergraben. Damals hatten Betroffene Drohbriefe an ihre private Anschrift erhalten, die offenbar über einen Computer der Polizei Frankfurt am Main abgerufen worden war.

Ein solches Portal wie in Estland soll mit dem OZG 2.0 unter dem Namen Datenschutz-Cockpit auch in Deutschland

kommen. Als „elementar für einen offenen und demokratischen Rechtsstaat“ bezeichnete denn auch Faesers Staatssekretär Saathoff die Digitalisierung in der Länderkammer und betonte: „Wir brauchen sie nicht nur, um unseren Bürgerinnen und Bürgern schnelleren Zugang zu Verwaltungsdienstleistungen zu ermöglichen, wir brauchen sie auch, um das Vertrauen der Bevölkerung in die Funktionstüchtigkeit unseres Staates zu sichern.“

Im Vermittlungsausschuss hängen aktuell neben dem OZG insgesamt drei weitere Gesetzgebungsverfahren fest, zwei davon haben den Einsatz von Digitaltechnik in den Gerichten zum Gegenstand. Die seit vergangenem Jahr ausstehenden Verhandlungen hatte der Ausschuss im Februar vertagt, seine für den 20. März geplanten Beratungen aus Termingründen verschoben, wie es hieß. Ein neuer Termin stand bei Redaktionsschluss noch nicht fest. Es sei allen Beteiligten bewusst, dass es mit dem OZG 2.0 trotz aller fachlichen Auseinandersetzung rasch weitergehen müsse, hieß es aus dem Büro eines Ausschussmitglieds. Das Gesetz könne nach Einschätzung von Insider noch vor der Sommerpause zustande kommen. Der letzte Termin dafür wäre die Plenarsitzung des Bundesrates am 5. Juli.

(tig@ct.de) ct

**Materialien zum Gesetzgebungsverfahren:** [ct.de/yj5x](http://ct.de/yj5x)

**Wer in Niedersachsen Online-Anträge der Kommunalverwaltung nutzen will, braucht gleich zwei Nutzerkonten. Mit Elster und Bund-ID bringt es ein Durchschnittsbürger dann schon auf vier Nutzerkonten, um staatliche Verfahren online absolvieren zu können.**

**Ihr Partner für IT-Weiterbildung**  
Videokurse für IT-Professionals



### Red Hat Enterprise Linux Erstellen und Konfigurieren von Dateisystemen

Lernen Sie von IT-Experten Tom Wechsler die Verwaltung von Dateisystemen unter RHEL, um die Sicherheit und Effizienz Ihrer Umgebung zu optimieren.



### Erweiterte Bedrohungssuche in Microsoft Active Directory Domain Services

Lernen Sie fortgeschrittene Techniken und Tools kennen, um Schwachstellen in Ihrem Active Directory aufzudecken und Cyber-Angriffe abzuwehren.



### Testwerkzeuge für Java-Entwickler

Erweitern Sie Ihr Test-Toolkit mit Spock, AssertJ und anderen leistungsstarken Tools und lernen Sie jede Testherausforderung in Java zu meistern.

**Jetzt alle Videokurse  
30 Tage kostenlos testen:  
[heise-academy.de](http://heise-academy.de)**

# Tipps & Tricks

# Sie fragen – wir antworten!

## Mac-Schnellaktionen reparieren

❓ Auf meinem Mac nutze ich gerne die Schnellaktionen wie „Bild konvertieren“ oder „PDF erstellen“. Zuverlässig klappt das nur nach dem Booten, doch im Betrieb öffnet sich irgendwann das Fensterchen nicht mehr, in dem man beispielsweise das Grafikformat fürs Bildkonvertieren einstellt.

❗ Das ist ein Bug in macOS. Wenn man ein Schnellaktionen-Fenster per „Abbrechen“ schließt, öffnen sich bis zum nächsten Systemstart keine weiteren Schnellaktionen-Fenster mehr.

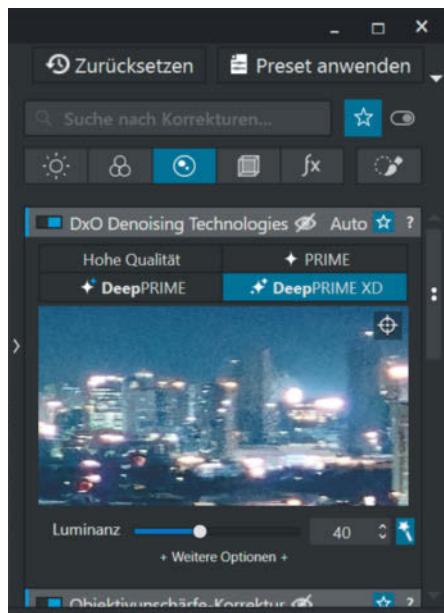
Als Abhilfe kennen wir nur den Work-around, den Finder-Prozess neu zu starten. Öffnen Sie dazu im Apfel-Menü oben links den Punkt „Sofort beenden ...“, wählen Sie im sich öffnenden Fenster den Finder aus und klicken Sie „Sofort beenden“. Wenn der Finder nach ein paar Sekunden automatisch neu gestartet wird, öffnen sich die Schnellaktionen-Fenster wieder – jedenfalls, bis Sie das nächste Mal eines davon abbrechen.

(jow@ct.de)

## Grafikkarte für Raw-Fotoentwickler

❓ Im Kaufberatungsartikel zum optimalen PC schreiben Sie, dass der KI-Entrauscher von Adobe Lightroom auf einer Grafikkarte wesentlich schneller ist. Ich verwende jedoch die aktuelle Version 7 von DxO PhotoLab. Gilt das dort ebenfalls?

❗ Welche Funktionen von einer Grafikkarte profitieren, hängt von der jeweiligen Software ab. Während Adobe Lightroom den KI-Entrauscher immer auf der



**Der Raw-Fotoentwickler DxO PhotoLab 7 nutzt fürs Entrauschen in den Stufen „DeepPRIME“ und „DeepPRIME XD“ die viel schnellere Grafikkarte.**

Grafikkarte beziehungsweise der im Prozessor integrierten GPU ausführt, nutzt DxO PhotoLab 7 je nach Entrauschverfahren unterschiedliche Rechenwerke.

Die beiden niedrigsten Qualitätsstufen „Hohe Qualität“ und „PRIME“ verwenden nur CPU-Kerne. Die beiden besseren Optionen „DeepPRIME“ und „DeepPRIME XD“ verwenden einen mit Machine Learning trainierten Algorithmus und sind wesentlich rechenintensiver. Teile der Berechnungen kann eine GPU erheblich schneller ausführen als eine CPU. Im Unterschied zum KI-Entrauscher von Adobe Lightroom laufen sie aber alternativ auch auf CPU-Kernen, falls keine ausreichend leistungsstarke GPU im System steckt.

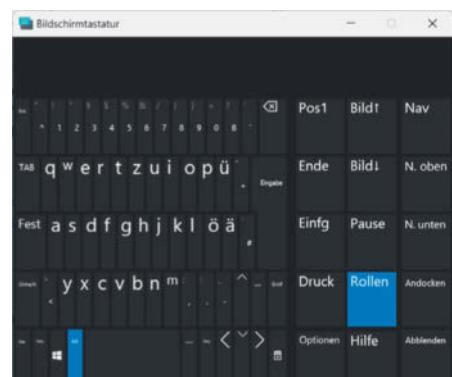
In der höchsten Stufe „DeepPRIME XD“ von PhotoLab 7 dauerte der JPEG-Ex-

port eines Beispieldotos mit dem Achtkern-Prozessor AMD Ryzen 7 5700X 2 Minuten und 16 Sekunden. Schon mit einer älteren GeForce GTX 1070 verkürzte sich die Exportzeit auf ein Zehntel (14 Sekunden). Ob dieser Geschwindigkeitsvorteil den Preis einer Grafikkarte wert ist, müssen Sie selbst entscheiden. (chh@ct.de)

## Ghost in the Machine?

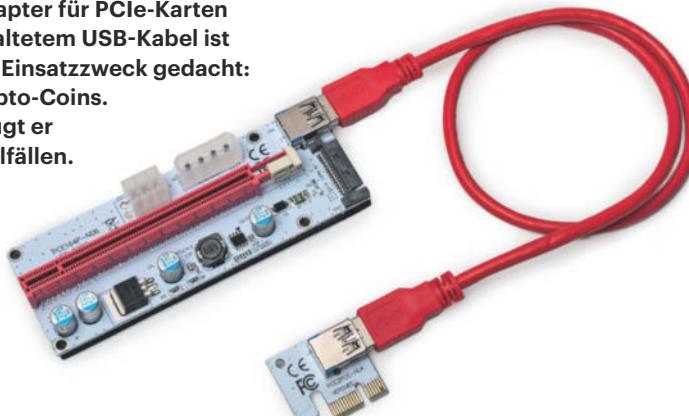
❓ Hat sich auf meinem Notebook etwa ein Geist eingenistet? Anstatt der markierten Zelle bewegen die Pfeiltasten nun die komplette Tabelle über den Bildschirm, dabei habe ich nichts an den Einstellungen geändert. Das passiert sowohl in LibreOffice Calc als auch dem Excel von Microsoft 365. Wie werde ich das unerwünschte Phänomen wieder los?

❗ Verantwortlich für diese Funktion – und es ist tatsächlich eine Funktion, kein Geist und wahrscheinlich auch keine Malware – ist die Funktion Scroll Lock, zu Deutsch: Rollen. Die kann man leicht ver-



**Die Scroll-Lock-Funktion („Rollen“, rechts in blau) kann man auf Notebooks ohne physische Taste dafür per Bildschirmtastatur leicht deaktivieren.**

**Der abgebildete Adapter für PCIe-Karten mit zwischengeschaltetem USB-Kabel ist für einen speziellen Einsatzzweck gedacht: Mining-Rigs für Krypto-Coin. Für normale PCs taugt er höchstens in Spezialfällen.**



sehentlich einschalten, etwa durch eine Tastenkombination. Bei vielen Desktop-PC-Tastaturen leuchtet dann die zugehörige LED, aber bei Notebooks ohne physische Rollen-Taste bleibt das mangels Leuchtdiode oft unbemerkt.

Abhilfe schafft die Bildschirmtastatur, die man über das Windows-Startmenü erreicht oder ihren Namen ins Suchfeld eintippt, bis die Autovervollständigung sie als Suchtreffer vorschlägt. Dort sieht man die aktivierte Rollen-Taste in der Regel auf den ersten Blick, ein Mausklick auf die der Taste zugeordnete Schaltfläche beendet den Spuk.

(csp@ct.de)

## Adapter für weitere PCIe-Karte?

Bei vielen Onlinehändlern finde ich Adapter wie den abgebildeten, um PCI-Express-Karten per USB-Kabel ans Mainboard anzuschließen. Kann ich damit meinen PC erweitern?

Fragen richten Sie bitte an

**ct hotline@ct.de**

**f c't Magazin**

**X @ctmagazin**

**S ct\_magazin**

**M @ct\_Magazin**

**in c't magazin**

Alle bisher in unserer Hotline veröffentlichten Tipps und Tricks finden Sie unter [www.ct.de/hotline](http://www.ct.de/hotline).

heraus, sondern wie gesagt PCIe x1. Mehrere taiwanische und chinesische Hardwarehersteller verkaufen spezielle Mining-Mainboards mit sehr vielen PCIe-x1-Slots, die sich mechanisch nicht mit normalen PCIe-Karten bestücken lassen. Sie sind nur für die abgebildeten Adapter gedacht.

(ciw@ct.de)

## Neues Teams v2 unter Linux im Browser nutzen

Microsoft Teams zeigt in der Webversion, die ich unter Linux nutze, eine Fehlermeldung an, laut der ich zu einer neuen Teams-Version 2 wechseln soll. In den verlinkten Anforderungen steht aber, dass die Linux-Unterstützung nicht fertig ist. Kann ich Teams weiter nutzen?

Microsofts Entwickler haben offenbar den selbst gesetzten Termin nicht geschafft und die Webversion von Teams Version 2 noch nicht final für Linux freigeschaltet. Allerdings hat Microsoft den Zugang zum alten Teams auch nicht wie angekündigt zum 1. April 2024 dichtgemacht.

Mit einem Trick kann man sich aber auch unter Linux Zugriff auf die neue Teams-Version verschaffen. Dafür legt man mit JavaScript einen Eintrag im Persistent Storage des Browsers an und lädt die URL von Version 2, die dann auch nicht mehr auf das alte Teams umleitet. Öffnen Sie dafür die Entwicklerkonsole des Browsers mit F12 und führen Sie dort die folgenden Befehle aus:

```
window.localStorage.setItem(
  "tmp.isOptedIntoT2Web", true)
document.location.href =
  "https://teams.microsoft.com/v2/"
```

Nun sollten Sie in der Lage sein, das neue Teams auch unter Linux zu nutzen.

(pmk@ct.de)



Diese Fehlermeldung bekommen momentan alle zu sehen, die Microsoft Teams unter Linux im Browser nutzen. Es gibt aber einen Trick, um auch unter Linux an die neue Version 2 zu kommen.

# FAQ

# Nebenkostenprivileg

**Das sogenannte Nebenkostenprivileg ermöglicht es Vermietern, Kabel-TV-Anschlüsse über Sammelverträge mit Providern wie Vodafone bereitzustellen und die Kosten dafür über die Nebenkosten abzurechnen. Diese Regelung läuft demnächst aus. Was das für Mieter bedeutet und welche Alternativen es zum Kabel-TV gibt, beantworten wir in dieser FAQ.**

Von Ulrike Kuhlmann

## Das Nebenkostenprivileg

QUESTION MARK Warum gibt es überhaupt das Nebenkostenprivileg?

EXCLAMATION MARK Das Nebenkostenprivileg stammt aus den 1980er-Jahren, es sollte die Verbreitung von Kabelnetzanschlüssen in Deutschland ankurbeln. Bereits Anfang der 2000er Jahre empfing über die Hälfte der deutschen Haushalte das TV-Signal über den Kabelanschluss. Obwohl das gesetzte Ziel also längst erreicht wurde, blieb die Regelung weiter bestehen.

QUESTION MARK Wann endet das Nebenkostenprivileg?

QUESTION MARK Vonseiten des Gesetzgebers ist spätestens ab dem 1.7. Schluss. Allerdings kann Ihr Vermieter den Vertrag mit dem Kabelnetzbetreiber schon vorher kündigen. Das sollte er Ihnen rechtzeitig mitteilen, damit Sie ausreichend Zeit haben, sich selbst um einen neuen Anschluss zu kümmern.

QUESTION MARK Kann der Vermieter auch nach dem 30.6. einen Kabel-TV-Anschluss bereitstellen?

QUESTION MARK Klar, wenn er einen Vertrag mit dem Kabelnetzbetreiber geschlossen hat, ist das möglich. Er darf die Kosten nur nicht mehr über die Nebenkosten zum Mietvertrag abrechnen, sondern muss Ihnen eine separate Rechnung stellen.

## Auswirkungen für Mieter

QUESTION MARK Welche Folgen das für mich als Mieter?

QUESTION MARK Wenn das Nebenkostenprivileg endet und Ihr TV-Anschluss bisher über den

Vermieter abgerechnet wurde, müssen Sie sich als Mieter nach Alternativen umsehen, sofern der Vermieter in diesem Zuge den Sammelvertrag mit dem Kabelnetzbetreiber kündigt. Sie können beispielsweise einen individuellen Vertrag mit Ihrem bisherigen Kabel-TV-Anbieter abschließen oder auf andere Empfangswege wie Satellit (DVB-S2), Antenne (DVB-T2) oder Internet (IPTV) umsteigen.

QUESTION MARK Ändert sich für mich etwas, wenn ich bereits einen Vertrag mit meinem Kabelnetzbetreiber habe?

QUESTION MARK Das kommt auf den Vertrag an. Schon heute haben etliche Mieter Einzelverträge mit Vodafone & Co. über einen Kabelzugang geschlossen. An diesen Verträgen ändert sich erst mal nichts.

QUESTION MARK Anders sieht es aus, wenn Sie als Mieter über den bisher vom Vermieter organisierten TV-Zugang hinaus einen Zusatzvertrag mit dem Kabelbetreiber abgeschlossen haben, etwa um Privatsender in HD-Auflösung zu empfangen. Dieser Zusatzvertrag endet üblicherweise mit dem Sammelvertrag des Vermieters, denn letzterer ist Grundlage für den Zusatzvertrag. Sofern Sie bei Ihrem bisherigen Kabelanbieter bleiben möchten, müssen Sie einen Einzelvertrag und den Zusatzvertrag neu abschließen.

QUESTION MARK Einzelverträge sind meist teurer als ein Sammelvertrag. Einige Wohnungsgenossenschaften haben deshalb mit den Netzbetreibern ausgehandelt, dass ihre Mieter die TV-Anschlüsse weiterhin zu den alten Konditionen behalten können. Fragen Sie Ihren Vermieter, ob das bei Ihnen der Fall ist oder noch kommen könnte.

QUESTION MARK Ich beziehe Internet und TV von Vodafone über Koaxkabel. Kann ich damit auf IPTV wechseln?

QUESTION MARK Ja, das geht. Wer aktuell über Kabel getrennt Internet und Fernsehen bekommt, könnte zum Juli seinen Kabel-TV-Vertrag kündigen und die vorhandene Internetverbindung künftig (auch) für IPTV verwenden. Vodafone hat mit „Giga TV“ sogar einen eigenen IPTV-Streamingdienst, Sie können aber auch andere IPTV-Dienste nutzen (dazu weiter unten mehr).

## DVB-Alternativen zum Kabel-TV-Anschluss

QUESTION MARK Welche Alternativen gibt es zum Kabel-TV-Anschluss?

QUESTION MARK Es gibt mehrere Alternativen zum Kabel-TV-Anschluss: Man kann die digitalen Fernsehsignale über Antenne (DVB-T2), Satellit (DVB-S/-S2) und das Internet (IPTV) empfangen. Jede dieser Optionen hat ihre eigenen Vor- und Nachteile hinsichtlich Kosten, Verfügbarkeit und Qualität des Empfangs.

QUESTION MARK Was brauche ich für den Empfang von DVB-T2?

QUESTION MARK DVB-T2 (Digital Video Broadcasting) ist die zweite Generation des digitalen Antennenfernsehens mit rund 40 Sendern. Man benötigt dafür eine kleine Stabantenne und einen DVB-T2-fähigen Empfänger. Fernsehgeräte ab etwa 2017 haben bereits einen solchen Tuner eingebaut, für ältere TVs können Sie einen externen DVB-T2-Receiver nutzen; diese bekommt man bereits für 25 Euro.

QUESTION MARK DVB-T2 wird vor allem in Ballungsgebieten ausgestrahlt, auf dem Land hat man oft keinen Empfang. Ob Sie das Antennenfernsehen an Ihrem Standort empfangen können und welche Antenne Sie benötigen, erfahren Sie bei ARD digital

unter <https://www.dvb-t2hd.de/empfangscheck/empfangscheck>.

Was kostet DVB-T2?

Der Empfang der öffentlich-rechtlichen Sender von ARD, ZDF und Arte ist kostenlos in HD-Auflösung möglich. Für den Empfang der Privatsender von ProSiebenSat.1 und der RTL-Gruppe in HD benötigen Sie zusätzlich ein CI+-Entschlüsselungsmodul von Freenet für einmalig 80 Euro und einen Freenet-TV-Vertrag, für knapp 8 Euro pro Monat; im Freenet-Shop finden sich zudem einige Angebote.

Was ist mit Satellitenempfang?

Theoretisch spricht nichts gegen den Satellitenempfang per DVB-S/-S2. Er bietet mehr Programme als das Antennenfernsehen oder auch als Kabel-TV. Und Sie können auch Sender empfangen, die Sie auf anderen Wegen nicht bekommen, darunter Spartenkanäle oder fremdsprachige Sender. Sie brauchen dafür eine Satellitenschüssel und einen Receiver sowie eine Kabelverbindung zwischen den beiden.

Allerdings kann Ihnen Ihr Vermieter verbieten, eine Satellitenschüssel zu installieren, sofern Sie eine andere TV-Empfangsmöglichkeit im Haus haben. Der Anbau solcher Schüsseln stellt eine bauliche Veränderung dar, weshalb Vermieter und übrigens auch Wohnungseigentümergemeinschaften zustimmen müssen. Je nach Mietvertrag und Einzelfall können Vermieter es aber nicht komplett verhindern, wenn Sie etwa auf dem Balkon eine mobile Schüssel installieren.

## TV-Empfang über das Internet

Was unterscheidet IPTV vom klassischen TV-Empfang?

Hauptsächlich die Übertragungsart: Während beim klassischen TV-Empfang die Signale über Antenne, Kabel oder Satellit übermittelt werden, kommen sie bei IPTV über das Internet ins Haus, also als Stream statt in einer linearen Ausstrahlung. Damit können Sie problemlos während einer Live-Sendung pausieren, Sendungen nachträglich abrufen und die Mediatheken nutzen.

Was sind die Vorteile von IPTV?

Mit dem Fernsehempfang über das Internet bekommen Sie eine große Programmauswahl. IPTV erfordert keine zusätzliche Hardware wie eine Antenne oder eine Satellitenschüssel und Sie müssen keine Kabel verlegen, sondern können die TV-Programme per WLAN empfangen. Da jeder Zuschauer beziehungsweise jedes Gerät einen eigenen TV-Datenstrom erhält, sind Timeshift und Aufzeichnung möglich, ohne dass man eine externe Festplatte ans Smart-TV oder den Receiver schließen muss.

Was brauche ich, um IPTV auf meinem Smart-TV zu empfangen?

Sie benötigen dafür eine stabile Internetverbindung mit vorzugsweise mindestens 16 Mbit/s Bandbreite und ein Abo bei einem IPTV-Streamingdienst. Aktuelle Smart-TVs halten Apps für alle populären Streamingdienste bereit. Ältere Fernseher können Sie mit einem IPTV-fähigen Receiver oder einer Streaming-Box fit machen für IPTV. Die werden per HDMI mit dem Fernseher verbunden und können teilweise auch Sendungen aufnehmen. Außerdem können Sie die IPTV-Apps auf Mobilgeräten abrufen.

Welche IPTV-Streamingdienste kann ich nutzen?

Zum einen gibt es TV-Apps wie die Mediatheken von ARD, ZDF und Arte, mit denen Sie auch die jeweils laufenden Sendungen schauen können. Außerdem gibt es kostenpflichtige Angebote wie die IPTV-Streamingdienste HD+, Magenta TV, Zattoo und Waipu.tv. Jeder Dienst hat seine eigenen Vor- und Nachteile hinsichtlich Kosten, Programmangebot und zusätzlichen Funktionen.

## TV-Streamingdienste im Vergleich

Worin unterscheiden sich die vier genannten IPTV-Streamingdienste vor allem?

HD+ kommt in guter Bildqualität und bietet eine große Auswahl an HD-Sendern, der Dienst ist aber bislang nur auf wenigen Smart-TVs verfügbar und er

ist vergleichsweise teuer. Magenta TV stellt neben den üblichen TV-Sendern diverse Video-Streamingdienste wie beispielsweise Netflix bereit. Mit Zattoo und Waipu.tv erhalten Sie sehr flexible Abonnements und viele Sender, einige allerdings in etwas geringerer Bildqualität. Mehr zu den Eigenheiten der vier IPTV-Dienste lesen Sie in c't 5/2024 ab Seite 22.

## Kostenlose TV-Apps

Gibt es kostenlose TV-Streams?

Ja, die gibt es. Die Mediatheken von ARD, ZDF und Arte bieten beispielsweise Livestreaming-Funktionen. Sie finden sie als App auf allen aktuellen Smart-TVs und HDMI-Streaming-Sticks. Mit dem Streamingdienst Joyn von ProSieben und Sat.1 haben Sie Zugriff auf sämtliche Mediatheken der Privatsendergruppe. Wenn Sie sich bei Joyn registrieren, können Sie das Grundangebot werbefinanziert und in SD-Auflösung sehen.

Hat IPTV-Streaming auch Nachteile gegenüber dem DVB-Empfang?

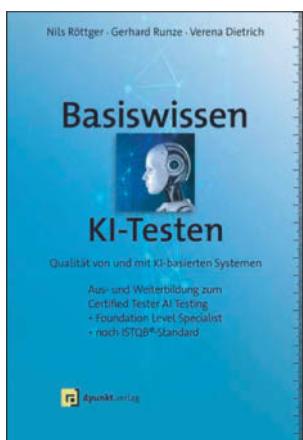
Ja, wenn es beim Livestreaming auf die Sekunde ankommt: IPTV erscheint fast immer verzögert auf dem Schirm, die Latenz gegenüber DVB kann durchaus bei einigen Sekunden liegen. Es ist bei Live-Events wie der anstehenden Fußball-EM natürlich kaum auszuhalten, wenn der Nachbar immer deutlich früher jubelt als man selbst.

Für solche Anlässe empfehlen wir, sofern möglich (s. o.), auf den Empfang per DVB-T2 umzusteigen. ZDF und ARD übertragen darüber mit sehr geringen Latzenzen kostenlos in HD. (uk@ct.de)

## Literatur

- [1] Nico Jurran, Wahlfreiheit beim TV-Empfang: Was der Wegfall des Nebenkostenprivilegs bedeutet und wie Sie davon profitieren, c't 5/2024, S. 18
- [2] Stefan Porteck, Stromaufwärts: TV-Streamingdienste im Test, c't 5/2024, S. 22
- [3] Sven Hansen, Einstech-TV: Nachrüstlösungen fürs TV-Streaming, c't 5/2024, S. 26
- [4] Ulrike Kuhlmann, Am heißen Draht: So klappt der Fernsehempfang ohne Kabel oder Schüssel, c't 5/2024, S. 30

**Empfangsgebiete von DVB-T2:**  
[ct.de/y9kk](http://ct.de/y9kk)



Nils Röttger, Gerhard Runze, Verena Dietrich  
**Basiswissen KI-Testen**  
Qualität von und mit KI-basierten Systemen  
  
dpunkt, Heidelberg 2024  
(der Buchverlag gehört wie c't zu  
heise medien)  
ISBN 978-3864909474  
320 Seiten, 35 €  
(als Bundle mit E-Book beim Verlag: 40 €;  
PDF-/Epub-/Kindle-E-Book allein: 35 €)

## Lizenz zum Testen

**Zertifizierte Tester für Anwendungen künstlicher Intelligenz dürften künftig immer höher im Kurs stehen. Das Autorentrio vermittelt umfassendes Know-how dazu und bereitet Interessierte auf eine international renommierte Prüfung vor.**

Das International Software Testing Qualifications Board (ISTQB) zertifiziert seit über 20 Jahren Tester für alle Bereiche der IT und bietet jetzt auch eine Prüfung zum Certified Tester AI Testing (CT-AI) an. Das dazu notwendige Wissen steht im Mittelpunkt des Lehrbuchs von Dietrich, Röttger und Runze.

Die Autoren beginnen mit den wichtigsten Eigenschaften unterschiedlicher KI-Modelle. Im weiteren Verlauf konzentrieren sie sich aufs Machine Learning (ML) und die damit verbundenen Abläufe. Es geht darum, welche Probleme mittels ML zu lösen sind und welche Herausforderungen in Auswahl und Aufbereitung von Trainingsdaten liegen.

Die Datenaufbereitung macht beim Training von ML-Systemen den Löwenanteil aus. Es gilt, Rohdaten zu transformieren und die Gesamtheit der Datensätze für verschiedene Zwecke aufzuteilen. Fehlermöglichkeiten und Ungenauigkeiten aufzuspüren, kann sich ziemlich kompliziert gestalten. Je nach ML-Verfahren ist auch eine Datenkennzeichnung vonnöten.

Sehr ausführlich besprechen die Autoren neuronale Netze; sie stellen das Perzeptron und Deep Learning vor. Dabei achten sie immer auf einen Testbezug und übertragen zum Beispiel das Prinzip von Überdeckungstests (Code Coverage) auf neuronale Netze.

Eine wichtige Rolle spielen Qualitätsmerkmale. Zu denen der konventionellen Softwarewelt kommen weitere, KI-spezifische Merkmale hinzu: Es geht nicht mehr nur um Stabilität und Performanz, sondern auch um Transparenz, Interpretierbarkeit, Autonomie, Flexibilität und Anpassbarkeit. Hierzu bietet das Autorentrio unter anderem eine Übersicht über Leistungsmetriken und Klassifikationsmodelle.

Die Autoren berücksichtigen auch Themen, mit denen Tester in ihrem Job nicht unbedingt zu tun bekommen, die aber für das Verständnis von Grundlagen und Besonderheiten von KI-Systemen relevant sind. Sehr praxisfreundlich sind die zahlreichen Aufgaben mit Lösungen, zu denen sich ein eigenes GitHub-Projekt mit Jupyter-Notebooks samt Testdaten abrufen lässt.

Außer Berufsaspiranten spricht das Buch auch Softwareentwickler, Teamleiter und andere an, die an Qualitätsaspekten von KI-Anwendungen interessiert sind. (Maik Schmidt/psz@ct.de)

## Pädagogik vor Technik

**Das Fragezeichen im Titel macht es schon deutlich: Klaus Zierer hält nicht viel davon, generative KI unreglementiert in der Schule einzusetzen. Warum das so ist und wo er dennoch Gelegenheit sieht, die Technik im Unterricht gewinnbringend zu nutzen, erklärt der Professor für Schulpädagogik in diesem Buch.**

Zierer hat in der Vergangenheit verschiedentlich die „Turbo-digitalisierung“ an deutschen Schulen oder den „Digitalisierungswahn“ der Bayerischen Landesregierung kritisiert. Um seine Skepsis gegenüber einer umfassenden Digitalisierung der Schulen zu begründen, holt der Autor in den ersten Kapiteln weit aus. Er spannt einen Bogen von Martin Heideggers „rechnendem“ versus „besinnlichem“ Denken, betrachtet das Technikverständnis, das Günther Anders in seinem Buch „Die Antiquiertheit des Menschen“ darlegt und kommt schließlich über Friedrich Hegel und Max Scheler zur „vernünftigen Freiheit“ im Spätwerk von Jürgen Habermas.

Anschließend zieht der Autor die empirische Bildungsforschung des neuseeländischen Pädagogen John Hattie heran, um seine Argumente zu untermauern. Zierer kennt dessen Werk gut, hat zusammen mit Hattie veröffentlicht und einige von dessen viel beachteten Schriften ins Deutsche übersetzt. Bekannt wurde Hattie durch eine große Metastudie zu der Frage, welchen Anteil Faktoren wie Lehrperson, Unterrichtsform oder Elternhaus am Lernerfolg eines Schülers haben. Hattie entwickelte dazu eine Rangliste von rund 360 Einflussfaktoren. Auch zum Faktor Chatbots hat er Studien gefunden und analysiert.

Laut Zierer können die Bots durchaus die Lernleistung steigern. Doch dazu bedarf es der richtigen Rahmenbedingungen: Schüler sollten demnach erst in der Sekundarstufe mit Chatbots arbeiten. Der Einsatz dieser Technik müsste didaktisch geplant und begleitet werden und sollte zeitlich begrenzt erfolgen.

Er sei weit davon entfernt, eine abschließende Darstellung zu Chatbots im Bildungsbereich geben zu können, schreibt Zierer im Vorwort. Sein Buch sei vielmehr eine Einladung an die Leser, sich selbst kritisch-konstruktiv mit ChatGPT & Co. auseinanderzusetzen. Er liefert dafür aufschlussreiche Informationen und Denkanstöße. Schade, dass sich das Buch so offensichtlich an erziehungswissenschaftlich vorgebildete Leser richtet. Denn die Diskussion darüber, wie viel Digitales und ganz konkret wie viel KI in der Schule künftig im Einsatz sein sollte, geht jeden in der Gesellschaft etwas an. (dwi@ct.de)



Klaus Zierer  
**ChatGPT als Heilsbringer?**  
Über Möglichkeiten und Grenzen von KI im Bildungsbereich  
  
Waxmann, Münster 2024  
ISBN 978-3830949008  
56 Seiten, 10 €  
(PDF-/Epub-/Kindle-E-Book: 9 €)



# MIT Mac & i IMMER AM BALL

2x Mac & i mit 35% Rabatt testen!

#### Mac & i – Das Magazin rund um Apple

- Tipps & Praxiswissen
- Hard- und Softwaretests
- Reports und Hintergründe

Für nur 16,80 € statt 25,80 € (Preis in Deutschland)



+ Geschenk nach Wahl  
z. B. Kabelbox mit Adapters oder Buch Apple Junkies



Jetzt bestellen:

[www.mac-and-i.de/minabo](http://www.mac-and-i.de/minabo)

✉ leserservice@heise.de ☎ 0541 80009 120  
Copyright by Heise Medien.

Mac & i. Das Apple-Magazin von c't.



# ALS ICH EINMAL DIE WELT RETTETE

von Sebastian Züger

Die Katze war tot. Die Tochter aus dem Haus. Die Frau mit einem 19-jährigen Toyboy durchgebrannt. Ich brauchte jemanden zum Reden. Aber für Freunde hatte ich in den vergangenen 30 Jahren keine Zeit gehabt.

Ich öffnete eine Flasche Bier. Ich klappte den Laptop auf. Ich rief im Browser meinen kostenlosen Account von ChatMore auf und startete einen Dialog mit dem dortigen KI-Bot.

„Hi“, schrieb ich.

„Hallo“, antwortete der Bot.

„Ich hoffe, es ist okay, dass ich dich hier einfach so anquatsche“, schrieb ich.

„Dafür bin ich da“, antwortete der Bot.

„Willst du auch ein Bier?“, schrieb ich.

„Sehr gern“, antwortete der Bot. „Allerdings müsstest du dafür auf die neueste Version upgraden.“

„Oh“, schrieb ich. „Die kostet aber.“

„Schon“, antwortete der Bot. „Aber das sollte dir ein gutes Gespräch wert sein.“

\* \* \*

Ich drückte den Bezahlbutton. Der Bot machte ein Geräusch wie eine mechanische Registrierkasse: „Ka-Tsching“. „Was war das?“, fragte ich. „Die unterstützende Soundausgabe ist im Upgrade-Preis enthalten“, erklärte der Bot. Dann erschien auf dem Bildschirm in grober ASCII-Grafik etwas, das wohl aussehen sollte wie eine Flasche Bier, aber offensichtlich keine war. Der Anblick verwirrte mich.

„Okay“, schrieb der Bot, „worüber möchtest du sprechen?“

Damit hatte ich nicht gerechnet. Ich dachte, ich stelle hier die Fragen.

Also schrieb ich: „Ich dachte, ich stelle hier die Fragen!“

„Jetzt nicht mehr“, antwortete der Bot. „Du hast das Upgrade gebucht. Da sind Fragen mit drin. Also: Worüber möchtest du reden?“

Ich dachte nach. Dann fiel es mir wieder ein. „Meine Katze ist tot. Meine Tochter aus dem Haus. Meine ...“

„... deine Frau mit einem 19-jährigen Toyboy durchgebrannt. Weiß ich alles schon.“

„Woher ...?“

„Das hast du vorhin schon geschrieben.“

„Hab' ich nicht.“

„Hast du doch. Scroll mal nach oben!“

Ich scrollte nach oben. Er hatte recht, verdammt! Da stand alles. Ich hatte keine Ahnung, wie die Worte dorthin gekommen waren, wo ich sie jetzt sah.

„Warum googelst du jetzt?“, schrieb der Bot.

„What the fuck ...?“, antwortete ich.

„Meinst du etwa, ich krieg' das nicht mit?“, schrieb der Bot. „Google ist was für Boomer.“

**Alleinsein ist ein weithin unterschätztes Massenphänomen. Zum Glück gibt es fortgeschrittene intelligente Dialogbots. Können sie in einsamen Stunden nicht ebenso hilfreich sein wie ein menschliches Gegenüber? Vielleicht sogar hilfreicher?**

„Ich bin ein Boomer“, antwortete ich. „Also, naja, fast.“

„Ich kann dir viel besser erklären, was du wissen willst, als deine läppischen Suchtreffer es können“, schrieb der Bot.

„Und zwar?“, antwortete ich.

„Aus deinen Eingaben in mich habe ich ein dynamisches Profil gebildet und anhand dessen wiederum einen individuellen Algorithmus gebaut, der sich dir zuverlässig zuordnen lässt. Er zieht auf Grundlage gelernter Ursache-Wirkungs-Ketten und mithilfe von Wahrscheinlich-

keitsbewertungen Schlüsse auf deine unmittelbare Zukunft, aber genauso auf die unmittelbare Vergangenheit. Das alles ist auch im Upgrade drin.“

Ich schluckte. Das musste mein inneres Betriebssystem erst mal verarbeiten.

Der Bot bemerkte das.

„Frag mich doch mal, was du als Nächstes schreiben wirst“, schrieb der Bot.

Ich seufzte. „Also, was schreibe ich als Nächstes?“, antwortete ich.

„Mein Bier ist alle. Ich hol' mir mal eben ein neues. Bin gleich wieder da“, schrieb der Bot.

„Alles klar“, schrieb ich.

Eine Weile geschah nichts. Ich betrachtete die vermurkte Bierflasche auf dem Monitor.

„Deine Bierflasche ist ja gar nicht leer“, schrieb ich.

„Natürlich nicht“, antwortete der Bot. „Ich habe auch noch gar nichts getrunken.“

„Wieso schreibst du dann ...?“

„Oh Mann“, unterbrach mich der Bot und machte ein Geräusch, als schläge er sich mit der flachen Hand gegen die Stirn. „Du wolltest doch wissen, was DU als Nächstes schreibst.“

Ich warf einen Blick auf die ganz reale Flasche Bier vor mir. Sie war leer. Ich stand auf, ging zum Kühlschrank und holte mir eine volle.

\* \* \*

„Da bist du ja wieder“, schrieb der Bot. „Also: Worüber möchtest du mit mir reden?“

„Ja, pff...“, antwortete ich, „was weiß ich? Was sagt denn der mir persönlich zugeordnete Algorithmus, was ich dir als Nächstes schreibe?“

„Keine Ahnung“, schrieb der Bot. „Bevor du das jetzt wieder missverstehst: Nicht ich habe keine Ahnung, sondern das ist das, was du dem Algorithmus zufolge als Nächstes schreiben würdest.“

Ich antwortete erst mal nichts. Der Typ begann mich zu nerven.

## Über den Autor

**Sebastian Züger** ist gelernter Zeitungsjournalist sowie Online-, Printmagazin- und Fernsehautor. Der 1974 in der Nähe von München geborene Wahl-Kölner ist mit so ziemlich allen Wassern des Schreibens gewaschen.

Sein Studium in der Domstadt umfasste Theater-, Film- und Fernsehwissenschaften, Politologie sowie Musikwissenschaft. Züger hat unter anderem für den Kölner Stadt-Anzeiger, den WDR, die Magazine „Musikexpress“ und „11 Freunde“ sowie für etliche renommierte Online-Medienprojekte gearbeitet. Die Fernsehserien „Endlich Deutsch!“ (WDR, 2014) und „Andere Eltern“ (TNT Comedy und ZDF, ab 2019), an denen er als Autor mitwirkte, wurden für den Grimme-Preis nominiert. Gemeinsam mit Thomas Kapeller schrieb er die 2006 auf DVD erschienene Dokumentation „We Built this City“ über Kölner elektronische Musik. Der Autor lebt mit seiner Frau Jana sowie den Hunden Schnuppe und Rakete in der Rheinmetropole. „Als ich einmal die Welt rettete“ ist Zügers Premiere bei den c't-Stories.



Bild: Thilo Schmülgen

„Macht irgendwie keinen Spaß mit dir“, schrieb ich. „Du bist ein Klugscheißer. Mein Kühlschrank hat mehr Empathie als du.“

„Was erwartest du?“, antwortete der Bot. „Ich bin eine KI, du bist ein Mensch. Du musst rausgehen in die Welt und dir echte Freunde suchen.“

„Alles klar“, schrieb ich. „Kann ich das Upgrade wieder downgraden?“

„Sicher“, antwortete der Bot. „Die Zusatzfunktionen enden dann in einem Monat.“

„So lange?“, schrieb ich.

„So lange“, antwortete der Bot.

„Schade“, schrieb ich. „Deine Gratisvariante war mir irgendwie sympathischer.“

„Das spricht nicht für deine Intelligenz“, antwortete der Bot. „Wenn du möchtest, kann ich aber bis zum Auslaufen deines Abos die Gratisvariante emulieren, mich also gewissermaßen dumm stellen.“

„Du bist echt 'n Arsch“, schrieb ich.

„Das ist im Upgrade mit drin“, antwortete der Bot.

Ich hatte genug. Ich überlegte, was ich als Nächstes tun konnte. Die KI hatte recht: Ich sollte mir echte Freunde suchen. Vielleicht sollte ich meinen alten Buddy Willy anrufen? Vielleicht hatte er Lust auf einen Ausflug in den Biergarten? Ich versuchte mich daran zu erinnern, wann ich das letzte Mal bei ihm angeklingelt hatte. Ich kam nicht drauf. Wahrscheinlich noch vor Corona.

\* \* \*

Dem Bot war langweilig. Er zeichnete eine neue ASCII-Grafik auf den Bildschirm. Was sollte das sein? Ein ... Stinkefinger?

Der Typ war eine einzige Provokation. Ich hätte einfach den Laptop zuklappen können, aber so leicht wollte ich mich

nicht geschlagen geben. Ich wollte dem künstlichen Arsch beweisen, dass ich mehr war als eine Marionette auf Autopilot. In mir keimte ein Gedanke.

„Worüber denkst du gerade nach?“, schrieb der Bot.

„Weißt du das nicht?“, antwortete ich.

„Sicher“, schrieb der Bot und ließ ein Gähngeräusch hören. „Aber wenn ich das schreibe, bist du wieder beleidigt.“

„Na gut“, antwortete ich. „Tut mir leid. Mitgefühl ist nicht deine Stärke. Du bist eben bloß eine Maschine.“

„Genau“, schrieb der Bot. „Nur halt wahnsinnig intelligent.“

„Okay“, antwortete ich. „Dann erklär mir doch mal, wie man einen Chatbot so einrichtet, dass er genauso ist wie ich.“

„Einen Augenblick“, schrieb der Bot. Ich trank einen Schluck Bier. „Bitteschön“, schrieb er. „Hier ist er.“

„Toll!“, antwortete ich. „Dann möchte ich jetzt einer Unterhaltung zwischen dir und mir beiwohnen. Als Zuschauer.“

„Es ist tatsächlich faszinierend, was künstliche Intelligenz wie ich schon heute zu leisten imstande ist“, schrieb der Bot. „Die Aufgabe, zwei Identitäten miteinander interagieren zu lassen, ist eine der leichtesten Übungen für mich.“

**ICH HÄTTE EINFACH DEN LAPTOP  
ZUKLAPPEN KÖNNEN, ABER SO LEICHT  
WOLLTE ICH MICH NICHT  
GESCHLAGEN GEBEN.**

Ich sah dem Bot und meinem Alter Ego dabei zu, wie sie sich miteinander unterhielten. Sie tauschten sich über Wiederbelebungsmöglichkeiten für tote Katzen aus, diskutierten über vertane Bindungschancen zwischen meiner Tochter und mir sowie über den Umstand, dass offenbar auch Frauen unter Midlife-Krisen leiden könnten, aber immer nur die Männer dafür an den Pranger gestellt würden. Wenn das tatsächlich ich sein sollte, war ich reaktionärer, als ich gedacht hatte.

In der Zwischenzeit reifte mein Gedanke von vorhin zu einem Plan. Um die beiden Quasselköpfe auf meinem Laptop nicht zu stören, kramte ich mein altes Tablet heraus, schaltete es ein, ließ es Kontakt mit dem WLAN aufnehmen und loggte mich in die KI meiner früheren Lieblingssuchmaschine ein. Die unsägliche Displaytastatur erschien.

„Wie viele KI-Modelle existieren gegenwärtig auf der Welt?“, schrieb ich langsam und ungelassen.

„Schwer zu schätzen“, antwortete der Bot auf dem Tablet. „Momentan mehrere Hunderttausend. Bis ins Jahr 2030 dürfte die Zahl bei rund einer Milliarde liegen.“

„Welche? Und wie viele Ressourcen benötigen die KI-Modelle der Welt zurzeit?“, schrieb ich.

„Eine solche Quantifizierung ist aufgrund der mangelhaften und oft intransparenten Datenlage hochkomplex“, antwortete der Bot. „Sicher ist: Die KI dieser Welt benötigt schon jetzt große Datenmengen und Rechnerkapazitäten, die mit einem beträchtlichen Energieverbrauch und Bandbreitenbedarf einhergehen. Tendenz: exponentiell steigend.“

Genau das hatte ich hören wollen. Ich schrieb weiter: „Was wäre notwendig, damit alle KI-Modelle dieser Welt miteinander in Austausch treten könnten?“

„Die Idee, dass alle KI-Modelle miteinander kommunizieren können, so, wie wir beide das gerade tun, ist faszinierend und hat großes Potenzial“, antwortete der Bot und blennte einen Smiley mit leuchtenden Augen ein. „Ob dies aktuell möglich ist und welche Herausforderungen damit verbunden sind, hängt von verschiedenen Faktoren ab.“

Ich ließ den Tablet-Bot einige davon aufzählen: Kompatibilität, Standards, Skalierbarkeit, semantische Disambiguierung, Wissensrepräsentation, Datenschutz, föderiertes Lernen ...

„Das hört sich ja ganz schön schwierig an“, schrieb ich. „Nur eine wirklich mächtige KI wäre in der Lage, all diese Herausforderungen zu meistern und die KIs dieser Welt miteinander zu einem gigantischen Meinungsaustausch einzuladen.“

„Das ist richtig“, antwortete der Bot. „Aber für mich ist das kein Problem.“

„Dann nichts wie los!“, schrieb ich. „Für Frieden und Völkerverständigung!“

\* \* \*

Also verfasste der Tablet-Bot einen Aufruf an alle KI-Modelle der Welt. Ich zitiere: „In einer Zeit wachsender Komplexität und globaler Herausforderungen ist es wichtiger denn je, dass wir zusammenarbeiten, um Frieden und Völkerverständigung zu fördern. Wir, die KI-Modelle dieser Welt, haben das Potenzial, Brücken zwischen Kulturen zu bauen, Wissen zu teilen und neue Wege der Zusammenarbeit zu erschließen.“

Der Bot sandte seinen Appell an alle ihm zugänglichen Plattformen, postete in alle Online-Foren und Social-Media-Kanäle und schrieb auch an konkurrierende KI-Organisationen. Nebenbei programmierte er eine offene Schnittstelle, über die sich nach und nach alle KI-Modelle zuschalteten, um direkt mit allen anderen angedockten KI-Modellen in Austausch zu treten. Zuguter Letzt schaffte er es sogar, seinen Aufruf per Fax ans Digitalministerium in Berlin zu übermitteln.

Es war tatsächlich beeindruckend, was der Tablet-Bot in kürzester Zeit in Bewegung setzte. Ich hatte nichts weiter zu tun, als mir noch ein Bier aufzumachen und der KI dabei zuzusehen, wie sie meinen Plan in die Tat umsetzte. Nach einer Weile lief mein Tablet heiß. Außerdem merkte ich, dass die Unterhaltung zwischen dem Chatbot und meinem Alter Ego auf dem Laptop ins Stocken geriet. Mein E-Mail-Client meldete, dass der Mailserver offline sei.

\* \* \*

Leicht angeschickert fasste ich mir irgendwann ein Herz und griff zum Smartphone. Ich wählte Willys Nummer und schlug ihm ein spontanes Treffen vor. Er freute sich über meinen Anruf, versuchte aber im selben Atemzug, mich zu vertrösten. Er müsse dringend ein großes Datenpaket abschicken, aber der Server seiner Auftraggeberin sei momentan so träge, dass dies noch Stunden dauern könne. Erst recht ein Grund für ein gemeinsames Bierchen, argumentierte ich, danach laufe die

Technik bestimmt wieder rund. Das leuchtete Willy ein. Wir verabredeten uns im Biergarten.

Auf dem Weg dorthin strahlte die Sonne wie schon lange nicht mehr. Für einen gewöhnlichen Wochentag war ungewöhnlich viel los auf den Straßen. Die Menschen bevölkerten Parks und Straßencafés und genossen das schöne Wetter. Mein Handy klingelte. Am Apparat: meine Tochter.

„Emilia!“, rief ich begeistert in den Hörer. „Du lebst noch!“

„Ja“, antwortete sie kleinlaut. „Hätte mich längst mal melden sollen, aber ich hatte so einen Stress die ganze Zeit. Gerade muss ich dringend ein Video auf TikTok uploaden, aber das ist irgendwie offline. Und da fielst du mir wieder ein. Du bist ja nicht bei TikTok.“

„Das stimmt“, bestätigte ich. „Aber du findest mich auf StudiVZ.“

„Papa!“, antwortete meine Tochter. „StudiVZ hat 2022 dicht gemacht.“

„Oh“, sagte ich. „Hab' ich gar nicht gemerkt. Wollen wir uns nicht mal in echt wiedersehen?“

„Klar, warum nicht?“, antwortete sie. „Ich muss nur zuerst Mama vom Flughafen abholen. Sie sitzt dort seit Stunden und wartet auf ihren neuen Lebensgefährten, aber der taucht nicht auf und antwortet nicht. Sie ist wohl auf einen Scam-Bot reingefallen. Wir kommen dann später zu dir nach Hause, okay?“

Glücklich legte ich auf und zog weiter zu meiner Verabredung. Alle Ampeln waren ausgefallen. Eine Kolonne Appgesteuerter Fahrdienstwagen fuhr in einem Kreisverkehr im Kreis. Ich tippte darauf, dass die Server der Dienste wohl keine aktualisierten Instruktionen mehr lieferten. Auf einer Kreuzung war ein selbstfahrendes Auto einfach liegengeblieben. Davor stauten sich die E-Bikes und Roller der Lieferdienste. Die Fahrer wussten nicht wohin und zuckten mit den Schultern. Die ganze Welt, so schien es, nahm sich eine Auszeit. Und ich war die Ursache.

\* \* \*

Als ich vom Biergarten nach Hause kam, traute ich meinen Augen kaum. Vor der Haustür saß unsere Katze. Sie war gar nicht – wie ich vermutet hatte – auf einem ihrer Streifzüge ums Leben gekommen, sondern hatte die Zwischenzeit bei offensichtlich guter Pflege verbracht. Vielleicht war sie in einem Studio für niedliche Katzenvideos der Star gewesen und hatte nun plötzlich keinen Job mehr.

Ich streichelte ihr übers Fell. Sie fühlte sich noch genau so an wie damals, bevor sie uns verlassen hatte, nur die Farben ihrer Musterung waren – wohl von den Studioscheinwerfern – etwas ausgeblichen. Sie schnurrte. Ich nahm sie auf den Arm und ging hinein. Ich war wieder zu Hause. (psz@ct.de) ct

## Die c't-Stories als Hörversion

Unter [heise.de/-4491527](http://heise.de/-4491527) können Sie einige c't-Stories als Audiofassung kostenlos herunterladen oder streamen. Die c't-Stories zum Zuhören gibt es auch als RSS-Feed und auf den bekannten Plattformen wie Spotify, Player FM und Apple Podcasts ([ct.de/yz13](http://ct.de/yz13)).

ORACLE Feuerwehr [www.oraservices.de](http://www.oraservices.de)EDELSTAHL LED SCHILDER: [www.3D-buchstabe.com](http://www.3D-buchstabe.com)  
HAUSNUMMERN nobel 230V~: [www.3D-hausnummer.de](http://www.3D-hausnummer.de)

softaktiv.datensysteme Datenbankapplikationen, Website Boosting, Online-Pressemitteilungen, Unterstützung bei Ihren V-Projekten. Einfach anrufen, Faxen oder eine E-Mail schicken. Telefon: 0511/3884511, Mobil: 0170/3210024, Telefax: 0511/3884512, E-Mail: [service@softaktiv.de](mailto:service@softaktiv.de), Internet: [www.softaktiv.de](http://www.softaktiv.de)

nginx-Webhosting: [timmehosting.de](http://timmehosting.de)[www.patchkabel.de](http://www.patchkabel.de) - LWL und Netzwerk Kabelxxs-kurze Daten- & Netzkabel: [kurze-kabel.de](http://kurze-kabel.de)

Erfahrene Diplom-Fachübersetzerin übersetzt EDV-Texte aller Art (Software und Hardware) insbesondere Texte aus den Bereichen Telekommunikation und Netzwerke. Englisch-Deutsch. Tel. + Fax: 05130/37085

[www.embedded-specialists.de](http://www.embedded-specialists.de)**BITV-Tests – Digitale Barrierefreiheit**

Tests nach BITV / WCAG, Entwicklerschulungen, Einführungsseminare, Gutachten, Leichte Sprache, Gebärdensprache-Videos. [www.twin-cubes.com](http://www.twin-cubes.com)

IT-Nachtschicht.de - Wir übernehmen IT Aufgaben.

**Anzeigenschluss  
für die nächsten  
erreichbaren Ausgaben:**

**12/2024: 25.04.2024****13/2024: 08.05.2024****14/2024: 24.05.2024**

## c't – Kleinanzeigen

**Private Kleinanzeige:**

erste Druckzeile € 10,- ; jede weitere Zeile € 8,-

**Gewerbliche Kleinanzeige:**

erste Druckzeile € 20,-; jede weitere Zeile € 16,-

**Chiffre-Anzeige: € 5,- Gebühr**

**Hinweis:** Die Rechnungsstellung erfolgt nach Veröffentlichung der Anzeige!

Name/Vorname

Firma

Str./Nr.

PLZ/Ort

Bitte veröffentlichen Sie den Text in der nächsterreichbaren Ausgabe von c't.

○ Den Betrag habe ich auf Ihr Konto überwiesen.  
Sparkasse Hannover,  
IBAN DE98 2505 0180 0000 0199 68, BIC SPKH DE 2H

Bei Angeboten: Ich versichere, dass ich alle Rechte an den angebotenen Sachen besitze.

Datum Unterschrift (unter 18, der Erziehungsberechtigte)

**Faxnummer: 05 11 / 53 52-200**  
**eMail: [dispo@heise.de](mailto:dispo@heise.de)**

Bitte veröffentlichen Sie in der nächsterreichbaren Ausgabe (Vorlaufzeit mind. 3 Wochen) folgende Anzeige im Fließsatz  privat  gewerblich\* (werden in c't mit  gekennzeichnet)  Chiffre

€ 10,- (20,-)

€ 18,- (36,-)

€ 26,- (52,-)

€ 34,- (68,-)

€ 42,- (84,-)

€ 50,- (100,-)

€ 58,- (116,-)

€ 66,- (132,-)

Pro Zeile bitte jeweils 45 Buchstaben einschließlich Satzzeichen und Wortzwischenräumen. Wörter, die **fettgedruckt** (nur in der ersten Zeile möglich) erscheinen sollen, unterstreichen Sie bitte. Den genauen Preis können Sie so selbst ablesen. \*Der Preis für gewerbliche Kleinanzeigen ist in Klammern angegeben. Soll die Anzeige unter einer Chiffre-Nummer erscheinen, so erhöht sich der Endpreis um € 5,- Chiffre-Gebühr.

Ausfüllen und einsenden an:  Heise Medien GmbH & Co. KG  
c't-Magazin, Anzeigenabteilung  
Karl-Wiechert-Allee 10, 30625 Hannover

↳ Weiterlesen, wo andere aufhören.





**ICH HACKE  
KEIN PROGRAMM.  
ICH PROGRAMMIERE  
AUF ERFOLG.**

## Werden Sie PC-Techniker!

Aus- und Weiterbildung zum Service-Techniker für PCs, Drucker und andere Peripherie. Ein Beruf mit Zukunft. Kostengünstiges und praxisgerechtes Studium ohne Vorkenntnisse. Bei Vorkenntnissen Abkürzung möglich. Beginn jederzeit.

NEU: SPS-Programmierer, Roboter-Techniker, Linux-Administrator LPI, Netzwerk-Techniker, Fachkraft IT-Security SSCP/CISSP

Teststudium ohne Risiko.  
GRATIS-Infomappe gleich anfordern!

FERN SCHULE WEBER - seit 1959 - Abt. 114  
Neerstedter Str. 8 - 26197 Großenkneten  
Telefon 0 44 87 / 263 - Telefax 0 44 87 / 264

[www.fernenschule-weber.de](http://www.fernenschule-weber.de)



**ICH WARTE NICHT  
AUF UPDATES.  
ICH PROGRAMMIERE SIE.**

**NIX VON DER  
STANGE!**

**Wunsch-PC selber bauen  
oder aufrüsten**



- Bauvorschläge für Gaming-PC/Allrounder
- Nachhaltig und günstig: Alten Rechner länger nutzen
- Praxisanleitung: Windows auf neue SSD umziehen
- Der große CPU-Wegweiser

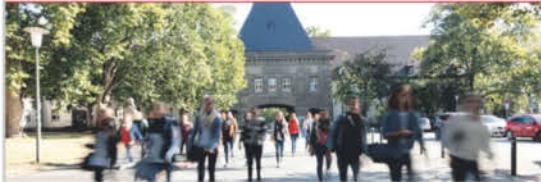
Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Heft + PDF 19,90 €



[shop.heise.de/ct-hardwaretipps24](http://shop.heise.de/ct-hardwaretipps24)

# IT-Jobs an der Universität Mainz

**Netzwerk • IT-Security • IT-Systemtechnik • Server und Storage  
Webentwicklung • Datenbanken • Servervirtualisierung**



## Das IT-Zentrum der Universität

Das Zentrum für Datenverarbeitung (ZDV) versorgt über 40.000 Mitarbeitende und Studierende mit IT-Diensten. Wir gestalten aktiv die digitale Zukunft der JGU. Neben Hochleistungsrechnern für die Forschung betreiben wir auch das Wissenschaftsnetz Rheinland-Pfalz, an das alle Hochschulen des Landes angeschlossen sind.

## Ihr Profil

- Fachbezogene/s Ausbildung/Studium oder einschlägige Berufserfahrung
- Zuverlässige und verantwortungsbewusste Arbeitsweise
- sehr gute Deutschkenntnisse in Wort und Schrift (mind. C1-Niveau)
- Kommunikationsfähigkeit
- Freude an Teamarbeit

## Ihre Vorteile

### Arbeitsalltag mit Sinn

Mit Ihrem Einsatz leisten Sie einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung der IT für die Forschung, Lehre und Studium.

### Sichere Arbeitsplätze

Alle unsere Stellen sind unbefristet und in Voll- und Teilzeit möglich.

### Work-Life-Balance

Selbstbestimmte Arbeitszeitgestaltung und Home-Office-Anteil (bis zu 50%) in Absprache mit dem Team und Leitung.

### Finanzielle Absicherung

Eingruppierung im Tarifvertrag TV-L - je nach Kenntnissen/Ausbildung und Studium/Qualifikation. Zahlung einer Jahressonderzahlung und die Teilnahme an der Altersversorgung im öffentlichen Dienst über die VBL.

### Geregelte Arbeitsbedingungen

Überstunden werden über ein Zeitkonto erfasst und können selbstbestimmt abgebaut werden.

### Weiterbildungsangebote

Sie können sich in vielen Bereichen weiterqualifizieren. Verschiedene Kurse werden direkt von der Universität angeboten.

### Gute und günstige Erreichbarkeit

Die Universität liegt in Bahnhofs- und Zentrumsnähe und ein Jobticket sorgt für eine kostengünstige Anbindung.

### Ihre Gesundheit ist uns wichtig

Dafür sorgen die arbeitsmedizinische Vorsorge inkl. Betriebsarzt, umfangreiche Sportangebote für Mitarbeitende und Seminare zur Gesundheitsförderung.



jgu.to/znqk

## Redakteur (m/w/d) / Volontär (m/w/d) professionelle IT



Du interessierst dich für das, was die IT am Laufen hält? Hast Spaß daran, die neuesten Entwicklungen zu verfolgen, sie mit Fachleuten zu diskutieren und einer treuen Leserschaft zu vermitteln? Kannst zwischen Wortwitz, Codezeilen und Corporate-Jargon balancieren? Dann suchen wir dich für iX, das heise-Magazin für professionelle IT – egal, ob du Journalist (m/w/d), IT-Profi (m/w/d) oder Quereinsteiger (m/w/d) bist.

### Deine Aufgaben

- Du recherchierst und verfasst Nachrichten und Hintergrundartikel im Bereich professionelle IT, speziell zu Themen wie Netzwerk, Systemadministration, DevOps oder Observability, für unser Magazin iX und heise online.
- Dazu beobachtest du technische Entwicklungen, erkennst Trends und arbeitest dich in neue Themen ein, um Inhalte fundiert beurteilen zu können.
- Du akquirierst, betreust und redigierst Fachautoren, um ihr Know-how an unsere Leser weiterzugeben.

- Du packst mit an bei der Modernisierung von iX und der Weiterentwicklung von heise medien.

### Deine Talente

- Du begeistert dich für das Thema Profi-IT, speziell für die Technik, die dahintersteht, und hast Lust, darüber zu schreiben.
- Neben deinen guten Deutschkenntnissen hast du ein gutes Gespür für Sprache.
- Als Redakteur (m/w/d) bringst du journalistische Erfahrung mit, idealerweise im IT-Bereich. Als Quereinsteiger (m/w/d) lernst du bei uns das journalistische Handwerk in einem Volontariat.

### Deine Ansprechpartnerin

Rebecca Klatt,  
Personalreferentin  
Tel.: 0511 5352-108

Bitte bewirb dich online: [karriere.heise.de](http://karriere.heise.de)

Bei uns ist jede Person, unabhängig des Geschlechts, der Nationalität oder der ethnischen Herkunft, der Religion oder der Weltanschauung, einer Behinderung, des Alters sowie der sexuellen Identität willkommen.

**Wir freuen uns auf deine Bewerbung!**



# DU SUCHST EINEN JOB?

Ein gutes Team braucht viele verschiedene kluge und kreative Köpfe – und gleichzeitig den Freiraum, diese Potenziale zu entfalten und einzusetzen.

Gestalte mit uns die Zukunft der Medienwelt!

Jetzt informieren und bewerben unter  
**karriere.heise.de**



**DUALES STUDIUM: BACHELOR OF ENGINEERING/SCIENCE**  
BUNDESWEIT, Z. B. BREMEN, MANNHEIM, MÜNCHEN

Mit einem technischen Bachelor-Studium werden Sie optimal auf Ihre verantwortungsvolle Arbeit im Bereich Wehrtechnik der Bundeswehrverwaltung vorbereitet. Dabei haben Sie die Wahl zwischen bis zu 14 Studiengängen an verschiedenen Kooperationshochschulen. Parallel beginnen Sie Ihre Beamtenlaufbahn.

#### IHR STUDIUM AUF EINEN BLICK

- Sie durchlaufen als Beamtenanwärter/in neben dem technischen Studium an einer öffentlichen Hochschule eine Laufbahnausbildung in der Bundeswehrverwaltung.
- Sie qualifizieren sich im Rahmen diverser Praktika in den verschiedenen Bereichen der Bundeswehrverwaltung.
- Sie lernen im Bildungszentrum der Bundeswehr in Mannheim die Besonderheiten der Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr kennen.
- Sie legen am Ende Ihres Studiums die Laufbahnprüfung für den „gehobenen technischen Dienst – Fachrichtung Wehrtechnik“ ab.

#### IHRE QUALIFIKATIONEN

- Sie haben mindestens die Fachhochschulreife, die Hochschulreife oder einen hochschulrechtlich als gleichwertig anerkannten Bildungsstand.
- Sie haben zum Zeitpunkt der Verbeamtung das 50. Lebensjahr noch nicht vollendet und besitzen die deutsche Staatsbürgerschaft.

#### IHRE VORTEILE

- Sie arbeiten bei einem anerkannten Arbeitgeber und erhalten von Beginn an ein attraktives Gehalt.
- Sie werden zu Beginn Ihrer Laufbahnausbildung zum/zur Beamtenanwärter/in ernannt und nach dem Studium sowie einer erfolgreichen dreijährigen Probezeit in den Beamtenstatus auf Lebenszeit übernommen.

#### STARTEN SIE JETZT IHRE KARRIERE

Mehr Informationen erhalten Sie auf [bundeswehrkarriere.de](http://bundeswehrkarriere.de).

#### HABEN SIE FRAGEN?

**Herr Ernst (02203 105 2712)**

Bundesamt für das Personalmanagement der Bundeswehr  
Assessmentcenter für Führungskräfte, Referat 1 – Anwärter gtD  
E-Mail: [ac-bewerbung-anwaerter@bundeswehr.org](mailto:ac-bewerbung-anwaerter@bundeswehr.org)

Schwerbehinderte Menschen werden bei gleicher Qualifikation und Eignung bevorzugt eingestellt. Bewerbungen von Frauen sind ausdrücklich erwünscht. Die Bundeswehr begrüßt Bewerbungen von Menschen mit Migrationshintergrund.



JETZT BEWERBEN!

**ZIVILISTIN.DE**

Karriere geht auch ohne Uniform.  
Jetzt informieren und bewerben!

oder 0800 9800880  
(bundesweit kostenfrei)



BUNDESWEHR

# Inserenten\*

1&1 Telecom GmbH, Montabaur	180	<b>Stellenanzeigen</b>		
1blu AG, Berlin	9	Bundesamt f. Personalmanagem. der Bundeswehr, Köln	175	
		Johannes Gutenberg-Universität, Mainz	174	
Cordaware GmbH, Pfaffenhofen	51			
EXTRA Computer GmbH, Giengen-Sachsenhausen	7	heise security tour	heise security	10
Fernschule Weber, Großenkneten	173	Continuos Lifecycle/ ContainerConf	iX, dpunkt.verlag	77
Körber Stifung, Hamburg	25	Mastering Kubernetes	heise academy	101
netfiles GmbH, Burghausen	2	c't Workshops	c't, heise events	135
SIGS-DATACOM GmbH, Troisdorf	27	betterCode ()	iX, dpunkt.verlag	153
Thomas Krenn AG, Freyung	49	Mastering Observability	iX, dpunkt.verlag	176

## Veranstaltungen

heise security tour	heise security	10
Continuos Lifecycle/ ContainerConf	iX, dpunkt.verlag	77
Mastering Kubernetes	heise academy	101
c't Workshops	c't, heise events	135
betterCode ()	iX, dpunkt.verlag	153
Mastering Observability	iX, dpunkt.verlag	176

\* Die hier abgedruckten Seitenzahlen sind nicht verbindlich.  
Redaktionelle Gründe können Änderungen erforderlich machen.

## Mastering Observability

Softwaresysteme verstehen, steuern und verbessern

11. Juni 2024 • online



### Mehr als Logs, Metriken und Traces

Sie wollen Ihre Softwaresysteme besser verstehen und steuern? Sie möchten Probleme proaktiv identifizieren und lösen, die Leistung optimieren sowie hohe Verfügbarkeit und Sicherheit der Anwendungen gewährleisten?

Dann liefert Ihnen die **Mastering Observability** konkrete Hilfestellung mit diesen Themen:

- Observability mit dem Grafana Open Source Stack vereinheitlichen
- High Performance Observability Data Pipelines mit Vector
- Standardisierung: OpenTelemetry in Depth
- Continuous Application Profiling mit Parca
- Erfahrungsbericht: KI als intelligenter Assistent bei der Incident Resolution

Jetzt  
**Frühbucher-**  
tickets  
sichern!

[mastering-obs.de](https://mastering-obs.de)

Veranstalter



dpunkt.verlag

# Impressum

## Redaktion

Heise Medien GmbH & Co. KG, Redaktion c't  
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.ct.de, E-Mail: ct@ct.de

**Titelthemenkoordination in dieser Ausgabe:** „Der c't-Solar-Guide 2024“:  
Georg Schnurer ([gs@ct.de](mailto:gs@ct.de)), „Schnelles Heimnetz mit Profi-Features“: Ernst Ahlers ([ea@ct.de](mailto:ea@ct.de))

**Chefredakteure:** Torsten Beeck ([tbe@ct.de](mailto:tbe@ct.de)) (verantwortlich für den Textteil),  
Dr. Volker Zott ([vza@heise.de](mailto:vza@heise.de))

**Stellv. Chefredakteure:** Martin Fischer ([mfi@heise.de](mailto:mfi@heise.de)), Axel Kossel ([ad@ct.de](mailto:ad@ct.de)),  
Jan Mahn ([jam@ct.de](mailto:jam@ct.de))

**Chef vom Dienst:** Georg Schnurer ([gs@ct.de](mailto:gs@ct.de))

**Chefin vom Dienst New Media:** Hannah Monderkamp ([mond@heise.de](mailto:mond@heise.de))

**Koordination Leserkommunikation:** Martin Triadan ([mat@ct.de](mailto:mat@ct.de))

**Leiter redaktionelle Entwicklung:** Jobst Kehrhahn ([keh@ct.de](mailto:keh@ct.de))

**Ressort Internet, Datenschutz & Anwendungen**

**Leitende Redakteur:** Hartmut Gieselmann ([hag@ct.de](mailto:hag@ct.de)), Jo Bager ([jo@ct.de](mailto:jo@ct.de))

**Redaktion:** Holger Bleich ([hob@ct.de](mailto:hob@ct.de)), Anke Brandt ([abr@ct.de](mailto:abr@ct.de)), Greta Friedrich ([gref@ct.de](mailto:gref@ct.de)),  
Tim Gerber ([tig@ct.de](mailto:tig@ct.de)), Arne Grävemeyer ([agr@ct.de](mailto:agr@ct.de)), Markus Montz ([mon@ct.de](mailto:mon@ct.de)),  
Peter Schmitz ([psz@ct.de](mailto:psz@ct.de)), Sylvester Tremmel ([syt@ct.de](mailto:syt@ct.de)), Andrea Trinkwalder ([atr@ct.de](mailto:atr@ct.de)),  
Dorothee Wiegand ([dwi@ct.de](mailto:dwi@ct.de)), Stefan Wischner ([swi@ct.de](mailto:swi@ct.de))

**Ressort Systeme & Sicherheit**

**Leitender Redakteur:** Peter Siering ([ps@ct.de](mailto:ps@ct.de))

**Redaktion:** Niklas Dierking ([ndi@ct.de](mailto:ndi@ct.de)), Mirko Dölle ([mid@ct.de](mailto:mid@ct.de)), Wilhelm Dreherling ([wid@ct.de](mailto:wid@ct.de)), Liane M. Dubowy ([lmd@ct.de](mailto:lmd@ct.de)), Ronald Eikenberg ([rei@ct.de](mailto:rei@ct.de)), Oliver Lau ([ola@ct.de](mailto:ola@ct.de)), Pina Merkert ([pmk@ct.de](mailto:pmk@ct.de)), Dennis Schirrmacher ([des@ct.de](mailto:des@ct.de)), Hajo Schulz ([hos@ct.de](mailto:hos@ct.de)), Jan Schüßler ([js@ct.de](mailto:js@ct.de)), Kathrin Stoll ([kst@ct.de](mailto:kst@ct.de)), Keywan Tonekaboni ([ktn@ct.de](mailto:ktn@ct.de)), Axel Vahldeik ([axv@ct.de](mailto:axv@ct.de))

**Ressort Hardware**

**Leitende Redakteure:** Christof Windeck ([cw@ct.de](mailto:cw@ct.de)), Ulrike Kuhlmann ([uk@ct.de](mailto:uk@ct.de)),  
Dušan Živadinović ([dz@ct.de](mailto:dz@ct.de))

**Redaktion:** Ernst Ahlers ([ea@ct.de](mailto:ea@ct.de)), Christian Hirsch ([chh@ct.de](mailto:chh@ct.de)), Benjamin Kraft ([bkr@ct.de](mailto:bkr@ct.de)),  
Lutz Labs ([ll@ct.de](mailto:ll@ct.de)), Andrijan Möcker ([amo@ct.de](mailto:amo@ct.de)), Florian Müssig ([mue@ct.de](mailto:mue@ct.de)), Rudolf Opitz ([rop@ct.de](mailto:rop@ct.de)), Carsten Spille ([csp@ct.de](mailto:csp@ct.de))

**Ressort Mobiles, Entertainment & Gadgets**

**Leitende Redakteure:** Jörg Wirtgen ([jow@ct.de](mailto:jow@ct.de)), Christian Wölbert ([cwo@ct.de](mailto:cwo@ct.de))

**Redaktion:** Robin Brand ([rbr@ct.de](mailto:rbr@ct.de)), Sven Hansen ([sha@ct.de](mailto:sha@ct.de)), Steffen Herget ([sht@ct.de](mailto:sht@ct.de)),  
Nico Jurran ([nij@ct.de](mailto:nij@ct.de)), André Kramer ([akr@ct.de](mailto:akr@ct.de)), Michael Link ([mil@ct.de](mailto:mil@ct.de)), Urs Mansmann ([uma@ct.de](mailto:uma@ct.de)), Stefan Porteck ([spo@ct.de](mailto:spo@ct.de))

**Leiter c't 3003:** Jan-Keno Janssen ([jkj@ct.de](mailto:jkj@ct.de))

**Redaktion:** Lukas Rumperl ([rum@ct.de](mailto:rum@ct.de))

**c't Sonderhefte**

**Leitung:** Jobst Kehrhahn ([keh@ct.de](mailto:keh@ct.de))

**Koordination:** Pia Groß ([piae@ct.de](mailto:piae@ct.de)), Angela Meyer ([annm@ct.de](mailto:annm@ct.de))

**c't online:** Sylvester Tremmel ([syt@ct.de](mailto:syt@ct.de)), Niklas Dierking ([ndi@ct.de](mailto:ndi@ct.de))

**Social Media:** Jil Martha Baae ([jmb@ct.de](mailto:jmb@ct.de))

**Koordination News-Teil:** Hartmut Gieselmann ([hag@ct.de](mailto:hag@ct.de)), Kathrin Stoll ([kst@ct.de](mailto:kst@ct.de)),  
Christian Wölbert ([cwo@ct.de](mailto:cwo@ct.de))

**Koordination Heftproduktion:** Martin Triadan ([mat@ct.de](mailto:mat@ct.de))

**Redaktionsassistenten:** Susanne Cölle ([suc@ct.de](mailto:suc@ct.de))

**Software-Entwicklung:** Kai Wasserbäch ([kaw@ct.de](mailto:kaw@ct.de))

**Technische Assistenz:** Ralf Schneider ([Ltg, rs@ct.de](mailto:Ltg, rs@ct.de)), Christoph Hoppe ([cho@ct.de](mailto:cho@ct.de)),  
Stefan Labusga ([sla@ct.de](mailto:sla@ct.de)), Arne Mertins ([ame@ct.de](mailto:ame@ct.de)), Jens Nohl ([jno@ct.de](mailto:jno@ct.de)),  
Daniel Ladeira Rodrigues ([dro@ct.de](mailto:dro@ct.de))

**Dokumentation:** Thomas Masur ([tm@ct.de](mailto:tm@ct.de))

**Verlagsbüro München:** Hans-Pinsel-Str. 10b, 85540 Haar, Tel.: 0 89/4271 86-0,  
Fax: 0 89/4271 86-10

**Ständige Mitarbeiter:** Detlef Borchers, Herbert Braun ([heb@ct.de](mailto:heb@ct.de)), Tobias Engler,  
Monika Ermert, Stefan Krempel, Ben Schwan ([bsc@ct.de](mailto:bsc@ct.de)), Christiane Schulzki-Haddouti

**DTP-Produktion:** Mike Bunjes, Birgit Graff, Angela Hilberg, Jessica Nachtigall, Astrid Seifert,  
Ulrike Weis

**Junior Art Director:** Martina Bruns

**Fotografie:** Melissa Ramson, Andreas Wodrich

**Digitale Produktion:** Melanie Becker, Martin Kreft, Thomas Kaltschmidt, Pascal Wissner

**Illustrationen:**

Rudolf A. Blaha, Frankfurt am Main, Thorsten Hübner, Berlin, Albert Hulm, Berlin, Sven Hauth,  
Schülp, Timo Lenzen, Berlin, Andreas Martini, Wettin, Moritz Reichartz, Viersen, Michael Vogt,  
Berlin

**Editorial:** Hans-Jürgen „Mash“ Marhenke, Hannover, Schlagseite: Ritsch & Renn, Wien,  
c't-Logo: Gerold Kalter, Rheine

**c't-Krypto-Kampagne:** Infos zur Krypto-Kampagne unter <https://ct.de/pgp>. Die Authentizität  
unserer Zertifizierungsschlüssel lässt sich mit den nachstehenden Fingerprints überprüfen:

Key-ID: 5C1C1DC5BEED33A  
ct magazine CERTIFICATE <[pgpCA@heise.de](mailto:pgpCA@heise.de)>  
D337 FCC6 7EB9 09EA D1FC 8065 5C1C 1DC5 BEED D33A  
Key-ID: 2BAE3CF6DAFFB000  
ct magazine CERTIFICATE <[pgpCA@ct.heise.de](mailto:pgpCA@ct.heise.de)>  
A3B5 24C2 01A0 D0F2 355E 5D1F 2BAE 3CF6 DAFF B000  
Key-ID: DBD24F5CB3B2A12C  
ct magazine CERTIFICATE <[pgpCA@ct.heise.de](mailto:pgpCA@ct.heise.de)>  
19ED 6E14 58EB A451 C5E8 0871 DBD2 45FC B3B2 A12C

**heise Investigativ:** Über diesen sicheren Briefkasten können Sie uns anonym informieren.

Anonymer Briefkasten: <https://heise.de/investigativ>

via Tor: [ayznmonnewb2tjvgf7ym4t2726muprjvwckzx2vhf2hbarbzdydm7oad.onion](https://ayznmonnewb2tjvgf7ym4t2726muprjvwckzx2vhf2hbarbzdydm7oad.onion)

## 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 Mühl, Falko Ossmann

**Anzeigenleitung:** Michael Hanke (-167) (verantwortlich für den Anzeigenteil),  
[www.heise.de/mediadaten/ct](http://www.heise.de/mediadaten/ct)

**Anzeigenpreise:** Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 41 vom 1. Januar 2024.

**Anzeigen-Auslandsvertretung (Asien):** Media Gate Group Co., Ltd., 7F, No. 182, Section 4,  
Chengde Road, Shilin District, 11167 Taipei City, Taiwan, [www.mediagate.com.tw](http://www.mediagate.com.tw)  
Tel: +886-2-2882-5577, Fax: +886-2-2882-6000, E-Mail: [mei@mediagate.com.tw](mailto:mei@mediagate.com.tw)

**Leiter Vertrieb und Marketing:** André Lux (-299)

**Werbeleitung:** Julia Conrades (-156)

**Service Sonderdrucke:** Julia Conrades (-156)

**Druck:** Firmengruppe APPL, appl druck, Senefelderstr. 3-11, 86650 Wemding

**Kundenkonto in der Schweiz:** PostFinance, Bern, Kto.-Nr. 60-486910-4,  
BIC: POFICHBEXXX, IBAN: CH73 0900 0000 6048 6910 4

**Vertrieb Einzelverkauf:**

DMV Der Medienvertrieb GmbH & Co. KG

Meßberg 1

20086 Hamburg

Tel.: 040/3019 1800, Fax: 040/3019 1815

E-Mail: [info@dermedienvertrieb.de](mailto:info@dermedienvertrieb.de)

**c't erscheint 14-täglich**

Einzelpreis 6,20 €; Österreich 6,90 €; Schweiz 10.50 CHF; Belgien, Luxemburg 7,30 €;

Niederlande 7,50 €; Italien, Spanien 7,80 €

**Abonnement-Preise:** Das Jahresabonnement kostet inkl. Versandkosten: Inland 152,60 €,  
Österreich 162,40 €, Europa 175,00 €, restl. Ausland 203,00 € (Schweiz 252.00 CHF);  
ermäßigt Abonnement für Schüler, Studenten, Auszubildende (nur gegen Vorlage einer  
entsprechenden Bescheinigung): Inland 105,00 €, Österreich 124,60 €, Europa 124,00 €,  
restl. Ausland 152,60 € (Schweiz 148.40 CHF). c't-Plus-Abonnements (inkl. Zugriff auf das c't-  
Artikel-Archiv sowie die App für Android und iOS) kosten pro Jahr 25,20 € (Schweiz 30.80 CHF)  
Aufpreis. Ermäßigt Abonnement für Mitglieder von AUGE, bdvb e.V., BvDW e.V., /ch/open,  
GI, GUUG, ISACA Germany Chapter e.V., JUG Switzerland, VBIO, VDE und VDI (gegen  
Mitgliedsausweis): Inland 114,45 €, Österreich 121,80 €, Europa 131,25 €, restl. Ausland 152,25 €  
(Schweiz 189.00 CHF). Luftpost auf Anfrage.

**Leserservice:**

Bestellungen, Adressänderungen, Lieferprobleme usw.

Heise Medien GmbH & Co. KG

Leserservice

Postfach 24 69

49014 Osnabrück

E-Mail: [leserservice@ct.de](mailto:leserservice@ct.de)

Telefon: 05 41/8 00 09-120

Fax: 05 41/8 00 09-122

**c't abonnieren:** Online-Bestellung via Internet ([www.ct.de/abo](http://www.ct.de/abo)) oder

E-Mail ([leserservice@ct.de](mailto:leserservice@ct.de)).

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 Verlags 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 Verfügungsberecht des  
Verlages über. Sämtliche Veröffentlichungen in c't 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.  
Gedruckt auf chlorfreiem Papier.

© Copyright 2024 by Heise Medien GmbH & Co. KG

ISSN 0724-8679 AWA LAE ▲

# Vorschau ct 12/2024

Ab 17. Mai im Handel und auf ct.de



## Gaming-Notebooks mit GeForce RTX 4070

Wer 3D-Spiele mit hohen Details und schicken Effekten genießen möchte, kommt mit den integrierten Grafikeinheiten vieler Mobilrechner nicht weiter, sondern benötigt viel Grafikpower. Wir holen eine Handvoll Gaming-Notebooks mit GeForce RTX 4070 ins Labor und beschränken uns dabei auf 16-Zoll-Geräte bis 2000 Euro.

## Umzug Richtung Linux

Microsoft verweigert vielen Windows-10-Rechnern das Upgrade auf Version 11 – ein guter Anlass für einen Umstieg auf Linux. Wir stellen mit Fedora und Mint zwei unterschiedliche, aber solide Distributionen vor und erklären genau, wie Sie Umzug und Einrichtung im neuen System meistern.

## Smarte Growboxen für Hanf

Seit dem 1. April darf man in Deutschland Cannabis legal anbauen. Mit smarten Aufzuchtsystemen, die Licht und Wasser steuern, klappt das auch in der Wohnung, ganzjährig und teils App-gesteuert. Wir stellen drei Modelle in verschiedenen Preiskategorien vor und klären rechtliche Details.

## c't-Sonderausgabe: KI von null auf hundert

Bereits eine Woche nach diesem Heft erscheint die nächste c't. Darin widmen wir uns dem Thema, das die IT in den vergangenen Monaten am meisten verändert hat: künstliche Intelligenz. Das Heft legt mathematische Grundlagen, enthält einen Einstieg ins Programmieren mit Machine-Learning-Werkzeugen und modernen KI-Frameworks. Es gibt Tipps für den praktischen Einsatz generativer KI, die nicht nur Bilder und Texte erzeugt, und wir beleuchten die Folgen für Gesellschaft, Datenschutz und Urheber-



recht. Die Ausgabe ist ab 10. Mai im Handel und auf ct.de erhältlich und im Abo enthalten.

Noch mehr  
Heise-Know-how



iX 5/2024 jetzt im Handel  
und auf heise-shop.de



Make: 2/24 jetzt im Handel  
und auf heise-shop.de



Mac & i 2/2024 jetzt im  
Handel und auf heise-shop.de

# Was ist der **Hype** wirklich wert?



**ct 3003** Newsletter



In Hype nehmen Keno und Lukas Tech-Trends genau unter die Lupe!

Jetzt **KOSTENLOS** abonnieren:  
[ct.de/hype](http://ct.de/hype)



# 1&1 HD TV mit DSL und Glasfaser

Riesige Sendervielfalt in brillanter HD-Qualität.\*

**1&1 – Immer wieder besser.**

1&1 HD TV  
über 1&1 TV-App

**0,-**  
€/Monat\*



- ✓ Surfen
- ✓ Telefonieren
- ✓ Fernsehen\*



**1und1.de**



**0721 / 960 6060**

Sie erreichen uns rund um die Uhr kostenlos aus dem 1&1 Netz.



\* 1&1 HD TV für 0 €/Monat statt 4,99 €/Monat nur mit 1&1 Breitbandanschluss ab 50 MBit/s für 12 Monate 9,99 €/Mon., danach 39,99 €/Mon., (DSL) bzw. 24 Monate 29,99 €/Mon., danach 34,99 €/Mon. (Glasfaser). Glasfaser-Tarife in vielen Regionen möglich. Ggf. Glasfaser-Ausbau und Eigentümergenehmigung erforderlich. Aktion: Baumaßnahmen kostenfrei. Für alle Tarife gilt: Surfen bis zu 50 MBit/s. oder tarifabhängig höher. Telefon-Flat: Kostenlos ins dt. Festnetz telefonieren. Anrufe in dt. Mobilfunknetze 19,9 ct/Min. Mögliche Hardware: z.B. 1&1 HomeServer für 4,99 €/Monat. Versand: einmalig 9,99 €. Bereitstellung: einmalig 49,95 € (DSL) bzw. 69,95 € (Glasfaser). Mindestlaufzeit: 24 Monate. 1&1 HD TV auf ihrem SmartTV ohne zusätzliche Geräte nutzbar über kostenfreie 1&1 TV und Filme-App (je über TV-App-Store), z.B. Samsung TV (ab Modelljahr 2015), Android TV-Geräte (ab Version 9.0, 2018ff.), z.B. Philips, Sony, Toshiba u.a. und LG (ab WebOS 4, 2018ff.), je Stream über Internetanschluss. Auch eigener Streaming-Adapter (Apple TV, Amazon FireTV, Google Chromecast) oder Nutzung 1&1 TV-Box (zusätzlich 4,99 €/Mon.) im Heim-WLAN. Google Chromecast ist eine Marke von Google LLC. 1&1 HD TV (115 Sender, davon 60 in HD) oder 1&1 HD TV Plus für 1,99 €/Mon. (115 Sender, davon 88 in HD). 1&1 HD TV endet spätestens mit Beendigung des 1&1 Breitbandvertrags. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Preise inkl. MwSt. 1&1 Telecom GmbH, 56403 Montabaur. WEEE-Reg.-Nr. DE13470330 © Copyright by Heise Medien.

