



Europas größtes IT- und Tech-Magazin

Monitore auswählen, aufstellen, anschließen

Kaufberatung: Monitore & USB-C-Docks • Test: Displayhalterungen

TEST

Intel Core Ultra 200S: CPUs mit 65 Watt
Fotohandy Xiaomi 15 Ultra mit Leica-Kamera
Mini-PC-Barebone mit Intels neuer Spar-CPU
Photoshop für iPad und iPhone
Leselern-Apps für Schulanfänger

Netzwerk schnell & flexibel

Test: Sechs konfigurierbare Switches mit 2,5 Gbit/s

FOKUS

Wie Sie Fernsehton in Heimkinosound verwandeln
Schufa: Das neue Scoring-Verfahren
Verschlüsselung: Warum Kryptoagilität wichtig ist
Wie die EU das Recht auf Reparatur stärkt
Linux: Automatische Texterkennung beim Scannen



€ 6,20
AT € 6,90 | LUX, BEL € 7,30
NL € 7,50 | IT, ES € 7,80
CHF 10.50

Citizen Science: Forschen Sie mit

Ihre Daten helfen: Feinstaub messen, Vögel zählen, Barrieren abbauen



TDWI MÜNCHEN 2025

24. – 26. Juni | MOC München



10%-Rabattcode: TDWI25_ct



Expand your Data Universe!

Wie weit reicht eure Leidenschaft für Daten?

In unserer Welt, in der Daten unaufhörlich generiert werden, ist die Fähigkeit, sie effektiv zu nutzen, ein **entscheidender Erfolgsfaktor für Unternehmen**.

Warum soll ich teilnehmen?

Du willst wissen, wie du Daten in echten Business-Mehrwert verwandelst? Auf der TDWI-Konferenz triffst du führende Expert:innen, tauschst dich mit Gleichgesinnten aus und sammelst wertvolle Impulse für deine Data-Strategie.

Freut euch auf

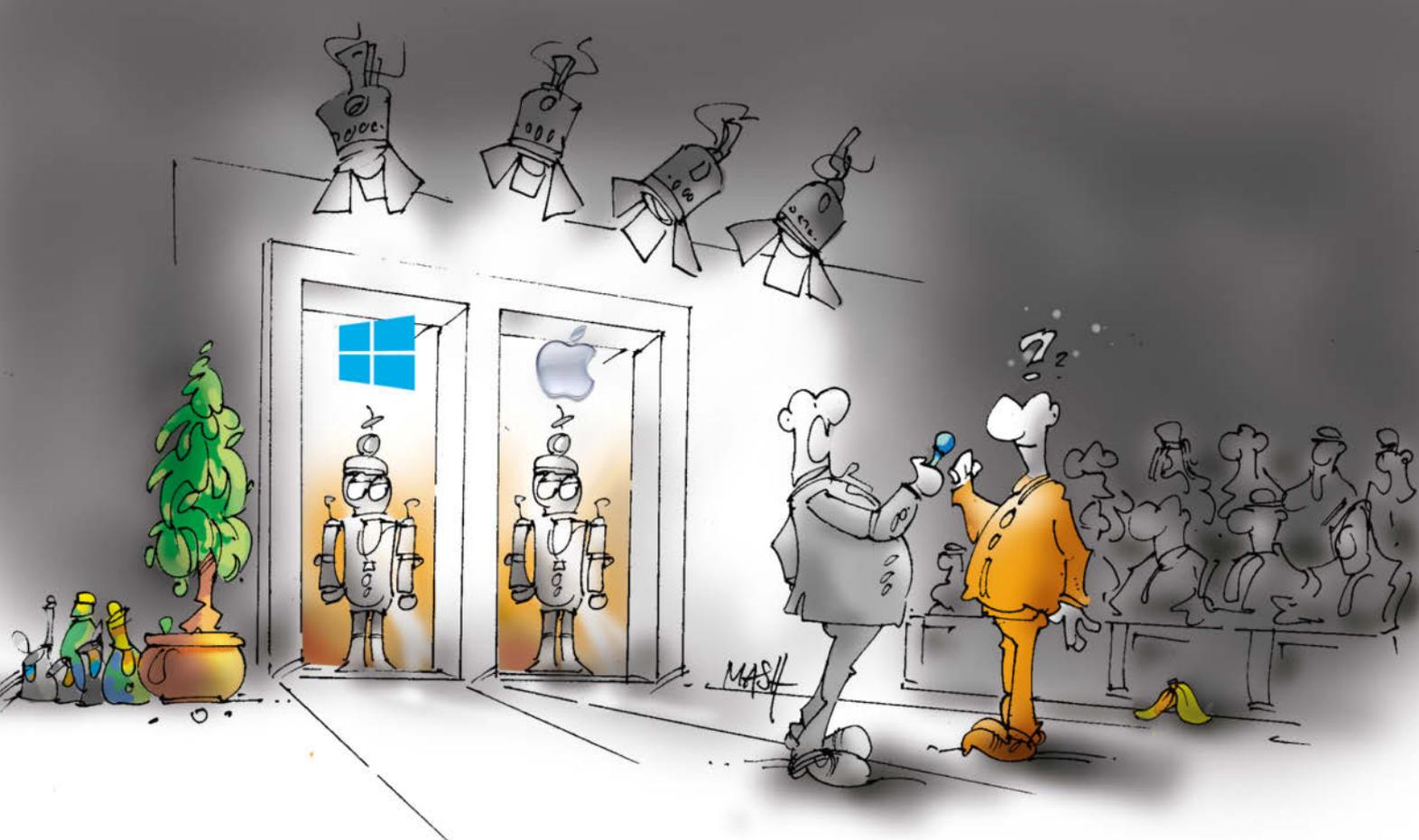
- **Praxisnahe Talks**
- **Interaktive Hands-on-Sessions**
- **World-Cafés**
- **Panel-Diskussionen**

Jetzt anmelden: www.tdwi-konferenz.de

Die TDWI München ist unabhängig und herstellerneutral.

© Copyright by Heise Medien.





KI-Regulierung: OpenAI wird zum Torwächter

Tech-Konzerne aus den USA sind Weltmeister darin, Konkurrenten aus dem Markt zu drängen und Torwächterpositionen einzunehmen. In der EU versucht man deshalb, ihre Marktmacht mit dem Digital Markets Act (DMA) ein wenig einzudämmen. Beispielsweise muss Googles Browser Chrome den Nutzer nun beim ersten Aufruf fragen, welche Suchmaschine er nutzen möchte – ein netter Versuch, an der Dominanz von Google Search zu rütteln.

Einen Bereich spart der DMA bislang allerdings komplett aus: KI. Denn der Aufschrei der Lobbyisten und Marktradikalen ist groß, man dürfe Innovationen nicht "kaputtregulieren". Dabei ist es gerade der unregulierte Markt, in dem die Marktriesen jedes kleine Start-up aufkaufen oder aus dem Markt drängen, das mit einer innovativen Idee ihr Geschäftsmodell gefährden könnte. Dieser Marktradikalismus ist die wahre Innovationsbremse, nicht eine um fairen Wettbewerb bemühte Regulierung. Letztere wirkt nur hilflos, wenn es darum geht, Quasimonopole tatsächlich erst dann zu brechen, wenn das Kind bereits in den Brunnen gefallen ist.

Im Bereich der KI hat OpenAI inzwischen eine marktbeherrschende Stellung erreicht. Weil dessen KI-Modelle das Rückgrat von Microsofts Copilot und Apple Intelligence bilden, sind sie künftig in über 95 Prozent aller Desktoprechner eingebaut und auf Knopfdruck abrufbar. Microsofts Copilot wird von einem OpenAI-Dienst in

der Azure-Cloud angetrieben. macOS und iOS leiten alle Anfragen, die Siri überfordern, an ChatGPT weiter – und das sind eine ganze Menge. So bekommt OpenAI unzählige Daten, Texte und Bilder frei Haus geliefert, ohne die Nutzer dafür zu bezahlen. Beim Abschöpfen von Trainingsdaten liegt der US-Konzern damit uneinholbar vor der Konkurrenz.

Nutzer haben derzeit keine Möglichkeit, Alternativen aus Europa (Mistral), China (DeepSeek) oder tatsächlich quelloffene Modelle (Ai2) ähnlich tief in ihr Betriebssystem zu integrieren. Das Mindeste, was die EU-Kommission tun könnte, wäre, OpenAI auf die Gatekeeper-Liste zu setzen und den Betriebssystemen per DMA ähnliche Wahlmöglichkeiten wie bei Browsern und Suchmaschinen zu verordnen. Ein weiterer Schritt wäre eine KI-Steuer, um mit den Einnahmen die Entwicklung und den Betrieb echter Open-Source-Modelle mit voller Datentransparenz in Europa zu fördern. Anwender haben derzeit nur eine Alternative: Schalten Sie Copilot und Apple Intelligence aus.



Hartmut Gieselmann

Hartmut Gieselmann

Im Cockpit in die nächste Generation

Setzen Sie sich ins Cockpit der Zukunft und erleben Sie mit **Thomas-Krenn** die grenzenlosen Möglichkeiten der **Virtualisierung**. Egal ob mit **ProxmoxVE** oder **Hyper V** – mit leistungsstarken Lösungen steuern Sie Ihre IT-Infrastruktur effizient, sicher und zukunftsorientiert und sind bereit neue Dimensionen zu durchfliegen. Lassen Sie sich von der Technologie von morgen begeistern und heben Sie mit uns ab!

Virtualisierung auf Kurs!
Steuern Sie Ihr Unternehmen
in eine neue Ära!

JETZT DURCHSTARTEN:

Virtualisierung mit Thomas-Krenn!

Alle Informationen unter:

thomas-krenn.com/cockpit



thomas-krenn.com/cockpit

VIRTUALISIERUNG

**THOMAS
KRENN**
IT's people business

**THOMAS
KRENN®**

IT's people business

Titelthemen

Monitore auswählen, aufstellen, anschließen

- 18 **Kaufberatung** Wie Sie das passende Display finden
- 26 **Notebook-Docks** mit USB-C oder Thunderbolt
- 32 **Tischhalterungen** und Monitoradapter im Test

Citizen Science: Forschen Sie mit

- 56 **Bürgerwissenschaften** im Überblick
- 58 **Interview** Was nützt Citizen Science?
- 60 **Vögel zählen** Diese Apps helfen beim Beobachten
- 64 **Feinstaub messen** mit Selbstbausensor
- 66 **Stadtleben verbessern** mit Mitmachprojekten

Netzwerk schnell & flexibel

- 78 **6 konfigurierbare Switches** mit 2,5 Gbit/s im Test

Aktuell

- 16 **Schufa: Das neue Scoring-Verfahren**
- 38 **Schwarz-rot** Mit der Brechstange zum Digitalstaat
- 40 **Apple** Durchgängiges 5G für iPhones im O2-Netz
- 41 **Internet** Kartellprozess gegen Meta gestartet
- 42 **Windows** Wirrwarr um Zwang zum MS-Konto
- 43 **Open Source** 20 Jahre Git
- 44 **Bit-Rauschen** Zollchaos verunsichert Chipfirmen
- 45 **DDR5-SODIMMs** 128 GByte RAM für Mini-PCs
- 46 **Handelsstreit** US-Zölle treffen Streaming und Kino
- 47 **Spiele** Neue Monitore, Nintendo bringt Switch 2
- 48 **Photovoltaik** Mikrowechselrichter mit 5000 Watt
- 49 **Forschung** Lichtcomputer, Mond-Solarzellen
- 50 **Handel und Geld** Wero auch für Kleinstgewerbe
- 52 **Web-Tipps** Street Art, Hühnerspiel, Stadtteilpuzzle

Test & Beratung

- 68 **Mini-PC-Barebone mit Intels neuer Spar-CPU**
- 70 **Homebanking-Software** StarMoney 15
- 71 **Browser** für die macOS-Menüleiste
- 72 **Fotohandy Xiaomi 15 Ultra mit Leica-Kamera**
- 74 **Waipu.tv Box** IPTV-Zuspieler und Streamingplayer
- 75 **Smart Home** Sprachsteuerung für Home Assistant
- 76 **Photoshop für iPad und iPhone**
- 84 **Intel Core Ultra 200S: CPUs mit 65 Watt**
- 88 **Spielergrafikkarte** mit Nvidia GeForce RTX 5070
- 92 **Leselern-Apps für Schulanfänger**
- 100 **Messenger-Apps** Exoten für spezielle Zwecke
- 104 **Aufbauspiele** mit frischen Ideen
- 110 **Wie Sie Fernsehton in Heimkinosound verwandeln**
- 166 **Bücher** KI im Uni-Alltag, Retrospiele in Python

18 Monitore auswählen, aufstellen, anschließen



Nichts haben Sie am PC so oft im Blick wie den Monitor. Beim Kauf sollten Sie deshalb auf die passende Ausstattung achten. Wir erklären außerdem, worauf es bei externen USB-C-Hubs und bei Displayhalterungen ankommt.

Wissen

- 124 **Künstliche Intelligenz** gefährdet Denkvermögen
- 128 **Verschlüsselung: Warum Kryptoagilität wichtig ist**
- 134 **Retrogames** ohne Emulation auf PCs spielen
- 136 **KI-Entwicklung in Europa**
- 140 **Interview** DeepL-Chef fordert digitale Souveränität
- 154 **Wie die EU das Recht auf Reparatur stärkt**

Praxis

- 118 **Musik- und Heimkino-Anlagen** richtig einstellen
- 142 **Linux: Automatische Texterkennung beim Scannen**
- 150 **Security-Recherchen** per Browsererweiterung

Immer in c't

- 3 **Standpunkt** KI-Regulierung: Die neuen Torwächter
- 10 **Leserforum**
- 15 **Schlagseite**
- 54 **Vorsicht, Kunde** Keine Gnade bei kleinanzeigen.de
- 160 **Tipps & Tricks**
- 162 **FAQ** Programmieren lernen
- 168 **Story** Very Important Robot
- 176 **Inserentenverzeichnis**
- 177 **Impressum**
- 178 **Vorschau c't** 11/2025

56 Citizen Science: Forschen Sie mit



Ob Feinstaub messen oder Vögel zählen: Dank Citizen Science kann jeder forschen und dabei Gutes tun. Wir stellen die Idee der Bürgerwissenschaften vor und zeigen Projekte, mit denen Sie gleich loslegen können.

Frisch aus
c't Nerdistan

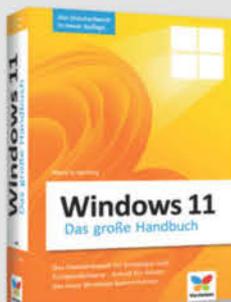
- 118 **Sound-Optimierung** auf Wohnzimmer-Anlagen
- 134 **Recompiling** Retrogames nativ am PC zocken

c't Hardcore

- 142 **Linux digitalisiert Text** vom Scanner automatisch

Für Wissenshungrige...

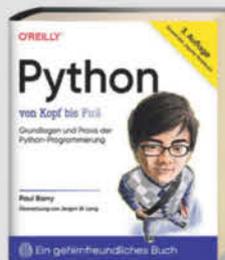
Ausgewählte Fachliteratur



Mareile Heiting
Windows 11 – Das große Handbuch (5. Auflage)

Das umfassende Handbuch zu Windows 11 bietet Einsteigern und fortgeschrittenen Nutzern alles, um das Betriebssystem sicher und effektiv zu handhaben.

19,90 €



Paul Barry
Python von Kopf bis Fuß (3. Auflage)

Die aktualisierte Auflage bietet unterhaltsame, fundierte Einführung in Python, behandelt Grundlagen, Datenstrukturen, Web-Technologien, Datenanalyse mit Pandas, für leicht fortgeschrittene Einsteiger.

Auch als PDF und ePub erhältlich!

49,90 €

NEU

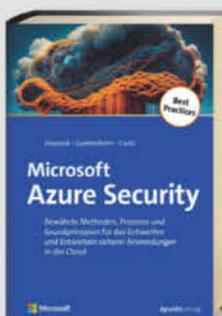


Charles Petzold
Code – Wie Computer funktionieren

Charles Petzold lüftet das Geheimnis über das verborgene Innenleben und die grundlegende Funktionsweise von Computern – von der Hardware bis zur Software.

Auch als PDF und ePub erhältlich!

39,99 €



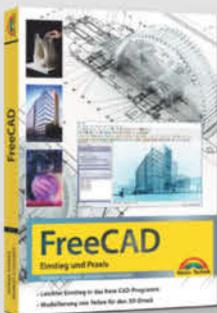
Heinrich Gantenbein, Michael Howard, Simone Curzi

Microsoft Azure Security

Bietet bewährte Methoden und Grundprinzipien für sichere Cloud-Anwendungen in Microsoft Azure, einschließlich Entwurf, Entwicklung, Einsatz und Langzeitstrategien gegen Sicherheits Herausforderungen, von Experten erläutert.

Auch als PDF und ePub erhältlich!

59,90 €



Werner Sommer, Andreas Schlenker
FreeCAD – Einstieg und Praxis

Dieses praxisorientierte FreeCAD-Buch ist ein Tutorial und Nachschlagewerk für 2D/3DModellierung und technische Zeichnungen, deckt 3D-Druck, Gebäudedesign, CNC, FEM ab, inklusive Übungen.

19,95 €

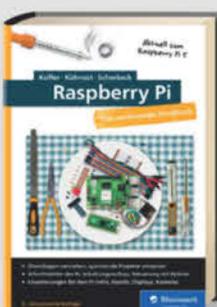


Eric Amberg, Daniel Schmid
Hacking – Der umfassende Praxis-Guide (3. Aufl.)

Aktualisierte 3. Auflage des Guides mit CEHv12 Prüfungsvorbereitung, bietet Workshops, Anleitungen und Tipps zu Hacking-Techniken und Gegenmaßnahmen in sechs Bereichen, ideal als Lehr- und Nachschlagewerk.

49,99 €

BEST-SELLER



Michael Kofler, Charly Kühnast, Christoph Scherbeck
Raspberry Pi (8. Auflage)

Standardwerk in 8. Auflage, aktuell zum Raspberry Pi 5. RasPi-Experten Michael Kofler, Charly Kühnast und Christoph Scherbeck bieten auf über 1.000 Seiten umfassendes Wissen zum Raspberry Pi.

44,90 €



Sophia Sanner, Pit Noack
Künstliche Intelligenz verstehen (2. Aufl.)

Interaktive, spielerische Einführung in KI-Technologien, Schwerpunkt auf Experimentieren, mit handgezeichneten Infografiken, Online-Projekten, deckt von Grundlagen bis Neuronale Netze und Transformers ab, ideal zum Lernen.

29,90 €

NEU



shop.heise.de/highlights2024

PORTOFREI AB 20 € BESTELLWERT INNERHALB DEUTSCHLANDS

© Copyright by Heise Medien.



Zubehör und Gadgets



Oxocard Artwork Creative Coding

Lernen Sie die Grundlagen der Computeranimation mit dem ESP32-Chip. Erzeuge beeindruckende visuelle Effekte wie in Spielen und Filmen dank leistungsfähiger Hardware.

Ideal für Einsteiger!

~~69,90 €~~

39,90 €



Oxocard Science Plus GOLD Edition

Hochwertige Computerplatine mit 8 Sensoren, 16 Werten, Experimentierplatine und offener Programmierschnittstelle zur Beobachtung und Änderung der Programme.

Im praktischen Kreditkartenformat!

119,90 €



c't 3003-Hipbag/Bauchtasche

Total praktisches c't 3003-Merch. Dieses ultimative Fashion-Statement fällt garantiert überall auf und es passt jede Menge rein. Mit Innentasche und verstellbarem Hüftgurt.

Sieht garantiert ghyle aus!

14,90 €



Cyber Clean Professional Reinigungsmasse

High-Tech-Masse entfernt 99,99% der Keime, reinigt strukturierte Oberflächen und Zwischenräume, ohne Feuchtigkeit abzugeben. Ideal für empfindliche Oberflächen und elektronische Geräte.

Für Hygiene und Wohlbefinden!

16,90 €



Nitrokey Passkey

Schützen Sie Ihre Accounts zuverlässig gegen Phishing und Passwort-Diebstahl mit sicherem, passwortlosem Login und Zweifaktor-Authentifizierung (2FA) durch WebAuthn/FIDO2. Praktisches USB-A Mini Format für den Schlüsselbund.

Qualität made in Germany!

34,90 €



Nitrokey-Secure-Bundle C/C

Der Nitrokey 3A NFC ist ein starker Security Token für mobile Geräte. Der USB-C Daten Blocker schützt vor unerwünschter Datenübertragung. Inklusive c't-Security-Checklisten als PDF.

Schutz gegen Massenüberwachung und Hacker!

64,90 €

AUCH ALS
USB-A/C-
VERSION



c't Jumbotasse „Kein Backup? Kein Mitleid!“

Unsere Tasse erinnert Ihre Kollegen an regelmäßige Updates. Jetzt mit 450 ml für mehr Kaffeegenuss.

Nie wieder Stress ungesicherter Daten: Kein Backup? Kein Mitleid!

Natürlich spülmaschinengeeignet!

17,90 €



Messbecher „Wissenschaft“

Schluss mit Langeweile in der Küche! Auf diesem Messbecher stehen 14 nerdige Fun Facts. Fragen wie „Wie viel Platz nehmen 30.000 Reiskörner ein?“ werden beantwortet.

Aus hitzebeständigem Borosilikatglas!

19,90 €

Auch für Fernwärme

Smart Meter: Schnittstelle für lokalen Datenabruf, c't 9/2025, S. 34

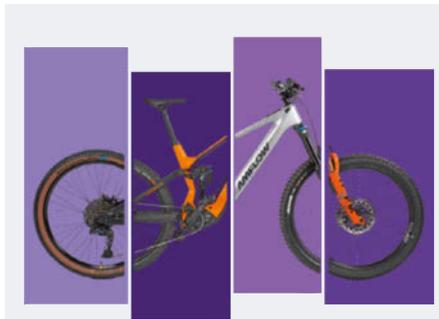
Das wäre auch für künftige Fernwärmetauscher nützlich und zu begrüßen. Auch da will man seine Heizeinstellungen anhand der Verbrauchsdaten (freilich auch anhand von Wetter- und Gebäudedaten, die aber woanders herkommen und teilweise konstant sind) optimieren und die Verbrauchsdaten zwecks Transparenz mit der Abrechnung vergleichen (geht nach eigener, optischer Ablesung jetzt auch).

Außerdem will man die Einstellungen der Offset-Temperatur und der Heizkennlinie künftig mittels Software durchführen und nicht, wie jetzt oft noch bei älteren Heizungen, in den Keller laufen und an einem schlecht ablesbaren LCD in unmöglicher Körperhaltung die Kennlinie optimieren.

Thomas Michalka ✉

Lobbyismus in Deutschland

Hier in den Niederlanden haben Smart-Meter eine standardisierte serielle Schnittstelle und es gibt billige, Mikrocontroller-



Zu teuer und verschleißanfällige Technik: Einige Leser üben Kritik am E-Bike-Markt.

basierte MQTT-Gateways. Außerdem kommt hier Strom, Gas und Internet an einer Stelle ins Haus. Erstaunlich, was Lobbyismus in Deutschland so alles anrichtet.

StefanO 🗨️

Liebe Hersteller

Auf Testfahrt mit E-Bike-Antrieben von Bosch, DJI, Hephra und Shimano, c't 9/2025, S. 56

Da baut ihr ein Fahrrad, hängt einen Elektromotor dran, klatscht ein paar Kabel und einen Akku ins Rahmenrohr und verlangt dafür plötzlich Preise, für die man ein Motorrad mit Straßenzulassung, ABS, Lichtanlage, Stoßdämpfer, Abgasanlage und was-weiß-ich-noch bekommt.

Hört auf, so zu tun, als hättet ihr das Rad neu erfunden. Ihr habt es nur unter Strom gesetzt. Und dafür 8.000 Euro auf das Preisschild zu schreiben, ist kein Fortschritt – das ist Frechheit mit Akku. Ein normales Reise- oder Trekkingrad hält auch Geschwindigkeiten bis 60 km/h aus, inklusive der Bremsen, Lenkung und Federung. Das muss garantiert nicht alles neu konstruiert und erfunden werden.

Also: Runter vom hohen Sattel, liebe Hersteller. Oder liefert endlich ein E-Bike, das Kaffee kocht, den Müll rausbringt und meine Steuererklärung macht.

dumbloderp 🗨️

Heckmotoren

Heckmotoren sind langlebiger und der Antriebsstrang verschleißt nicht so schnell. Ein Riesenvorteil, der natürlich den Fahrradwerkstätten nicht gefällt, was einer der

Gründe ist, warum fast nur noch Mittelmotoren am Markt sind.

voices 🗨️

Hoher Verbrauch

Preiswerte AM5-Boards mit B840- und B850-Chipsatz, c't 9/2025, S. 66

Die Mainboards brauchen 30 Watt im Leerlauf? Das ist doch ziemlich viel. Gab es nicht vor ein paar Jahren noch (damals aktuelle) Desktopsysteme, die mit 15 Watt im Idle ausgekommen sind?

amnesie 🗨️

Das ist leider richtig. AM5 ist vergleichsweise energiehungrig, Intel ist da tendenziell etwas sparsamer, wie auch AM4 mit den letzten Chipsätzen. Wir kritisieren in Tests schon viele Jahre, dass AMD bei den Chipsätzen besser werden muss.

Tinnef abschalten

Wie mechanische Knöpfe und Touchdisplays im Auto zusammenspielen, c't 9/2025, S. 132

Leute können Auto fahren und brauchen weder Assistenten noch Hinweise, dass ein Auto neben ihnen fährt. Herrlich, wenn ich in meinen alten Wagen steige: Das Radio ist sofort aus, ich kann blind die Temperatur einstellen und bekomme auch nicht zwei Uhren, den Radiosender und nur noch Zahlen angezeigt.

Anscheinend können Leute heute keine Zeigerinstrumente mehr lesen und müssen ständig wissen, wie das Lied im Radio heißt etc. Mein Firmenwagen nervt mit diesem Sch... nämlich. Kürzlich meinte der Kollege, die Navigation in den Tachobereich einblenden zu müssen. Ich muss mich nun wieder durch Menüs wühlen, um das Gblinke und den ganzen Tinnef abzuschalten. Mache ich aber natürlich in der Arbeitszeit.

Der Schah von Perversien 🗨️

Linux schwierig

Titelthema „Raus aus den US-Clouds!“, c't 8/2025, S. 16 ff.

Sie schreiben in Ihrem Artikel, dass man konsequent auf Open-Source-Software setzen muss und auch Linux als Betriebs-

Wir freuen uns über Post

✉ redaktion@ct.de

🗨️ c't Forum

f 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>

heise security

20 Jahre auf Tour

Jürgen Schmidt

Joerg, was denkst du über Phishing-as-a-Service?

Joerg Heidrich

Klingt fast wie ein Lieferdienst für Cyberkriminelle.
Wo bleibt da die persönliche Note?

Stimmt! Früher haben sie wenigstens noch selbst getippt.



10 Shades of Phish – so geht Phishing heute

... und viele weitere Themen bietet die heise security Tour mit aktuellen IT-Security-Insights renommierter Branchenexperten und vielen Networking-Möglichkeiten.

- 05. Juni – Köln
- 12. Juni – Hannover
- 18. Juni – Digital
- 26. Juni – Stuttgart
- 25. Sept. – Digital



Jetzt Ticket sichern:
security-tour.heise.de

system nutzen sollte. Sie führen dabei aus, dass es bei ganz modernen Systemen unter Umständen etwas schwieriger sein kann. Dies trifft nicht nur auf ganz moderne Systeme zu, sondern auch auf ältere, die Geräte integriert haben, für die es keine Treiber unter Linux gibt.

Ich habe einen Fujitsu Lifebook E744 Laptop, dessen Support für Windows 10 dieses Jahr abläuft. Ich habe daher letztes Jahr angefangen, parallel Linux darauf zu installieren. Das System läuft zwar stabil, leider kann ich den Fingerabdrucksensor nicht verwenden. Damit kann ich unter Linux nicht das volle Potenzial meines Laptops ausschöpfen.

Robert Braun

Welche Zweifel?

Mich hat der Punkt, dass bei pCloud Zweifel an den Hintergründen des Unternehmens bestehen, ratlos dastehen lassen. Was soll das bedeuten? Welche Zweifel sind damit gemeint?

Martin Drobny

Die wirtschaftlichen Grundlagen bei pCloud sind unklar. Die herausgestellte „Schweizer Sicherheit“ ist keine echte Rechtsgrundlage. Und es gibt Berichte, dass pCloud Dateien gesperrt hat, was in unseren Augen nicht zur clientseitigen Verschlüsselung passt.

Schlimme Abhängigkeit

Es geht nicht nur um die Clouds, sondern wohl um alles, was uns von USA-Dienstleistern und -Software abhängig macht. Für die Düsenjäger gibt es einen Kill-Switch? Microsoft kann Windows stilllegen? Wenn ich das weiterdenke, scheint mir diese Abhängigkeit schlimmer, als Teilmengen unseres Gasbedarfs in Russland zu kaufen.

Friedrich F. Zuther

Beste Investition

Leistungsfähige Kühler ab 30 Euro für AMD- und Intel-CPU's, c't 9/2025, S. 88

Habe vor vielen Jahren mal – endlich mit Erwachsenenbudget – einen Noctua NH-D15 und ein sehr solides, gedämmtes und bestens gelüftetes Gehäuse im Fraktaldesign gekauft und ein adäquates Seasonic-Netzteil.

Das hat zusammen deutlich mehr gekostet als jede andere Komponente im PC außer der Grafikkarte. Es wird aber für „immer“ mein Gehäuse und meine Kühlung bleiben und ist praktisch lautlos, bis man Langzeitlast drauflegt. Dann kann man was hören, ist aber nie genervt. Beste PC-Investition ever.

therealxray

Simulieren statt berechnen

D-Wave verkündet Quantenüberlegenheit – zu Unrecht?, c't 8/2025, S. 44

Ich postuliere hiermit „Lego-Überlegenheit“, weil man mit einem Sack Legosteinen den Aufprall eines aus mehreren miteinander verbundenen diskreten Steinen gebauten Hauses besser simulieren kann als mit jedem Supercomputer.

Und genau das steckt auch hinter dem im Artikel beschriebenen Postulat: Mit einem klassischen Computer simuliert man das Verhalten von Spingläsern nicht, man berechnet es. Der Quantencomputer aber simuliert es im eigentlichen Sinne, da in seinen Strukturen ein Spinglas nachgestellt wird, sodass man dessen Verhalten nicht berechnen muss, sondern direkt messen kann.

Das ist etwas grundsätzlich anderes. So betrachtet ist die hier gemachte Aussage zur Quanten-Überlegenheit nämlich nichts anderes als: „Quantensysteme können das Verhalten von Quantensystemen viel besser zeigen, als klassische Computer ein solches Verhalten berechnen können.“

Chipart

Hektik und Stress

Wie Kunden zu Selbst-Kassierern werden, c't 8/2025, S. 58

Im lokalen – eher kleineren – EDEKA-Markt gibt es seit einigen Monaten eben-

falls die Möglichkeit, in der Variante Scannen und Wiegen gegen Betrug selbst zu erfassen. Die vorhandenen drei Plätze werden im Regelfall nur zu Stoßzeiten geöffnet, wenn die drei herkömmlichen Kassensplätze bereits besetzt sind. Ein Mitarbeiter des Marktes steht dann im Bereich bereit, um bei Problemen schnell eingreifen zu können.

Ich habe dies ein einziges Mal ausprobiert und empfinde das Verfahren als umständlich, was sicherlich zu einem gewissen Grad meiner mangelnden Expertise geschuldet ist. Da die Einrichtung nur zu Stoßzeiten geöffnet ist, wenn eh schon viele Leute warten, fühle ich mich genötigt, das Verfahren möglichst schnell abzuschließen – was eine zuverlässige Fehlerquelle darstellt. Unter Strich entsteht dadurch bei mir Hektik und Stress, und wenn Storno notwendig wird, ist das Verfahren auch nicht schneller. Lieber stehe ich ein paar Minuten an der herkömmlichen Kasse an. Das wirkt entschleunigend und ermöglicht mir eine geistige Verschnaufpause im Alltag. Schlussendlich kann ich noch ein bisschen mit den Angestellten schäkern und ihnen ein Lächeln aufs Gesicht zaubern.

Patrick Schindler

Umständlich

Obwohl ich gern Selbstzahlkassen nutze, gibt es in manchen Supermärkten ein zusätzliches Ärgernis: Zur Betrugsprävention werden Waagen eingesetzt. Man muss umständlich die gescannte Ware zwischenstapeln. Wenn man den Menüpunkt findet, kann man dort vorher einen mitgebrachten Einkaufsbeutel ablegen. Eine Einkaufskiste ist dafür aber oft zu schwer.

Udo Jungnickel

Ergänzungen & Berichtigungen

Das falsche KTM

Die Fahrradindustrie auf dem Weg aus der Krise, c't 9/2025, S. 54

Wir nannten irrtümlich „KTM“ bei den Fahrradherstellern mit finanziellen Problemen. Tatsächlich ist zwar die KTM AG insolvent, die Motorräder produziert, nicht aber die KTM Fahrrad GmbH.

Fragen zu Artikeln

✉ Mail-Adresse des Redakteurs am Ende des Artikels

Ab sofort bieten wir keine telefonische Hotline mehr an. Bitte senden Sie uns Ihre Fragen per E-Mail.

IONOS

DEUTSCHE CLOUD

250.000 Kunden vertrauen der IONOS Cloud.
Entwickelt und betrieben in Deutschland.



IONOS Domain · Website · Cloud

+49 30 57700 840

cloud@ionos.de

cloud.ionos.de

GITEX
EUROPE x
Berlin

ai
EVERYTHING
— GERMANY —

21 /
23 MAY
2025
MESSE BERLIN
— SOUTH ENTRANCE —

EUROPE'S LARGEST INAUGURAL TECH, STARTUP AND DIGITAL INVESTMENT EVENT

Forging an Open, Bold & Collaborative
European Digital Economy

2,000+

Enterprises
& Startups

100+

Participating
Countries

800+

Global
Investors

500+

Global
Speakers



SCAN TO
GET INVOLVED

#GITEXEUROPE
gitex-europe.com

ENDORSED BY



ORGANISED BY

KAOUN
INTERNATIONAL





Weitere Schlagseiten auf ct.de/schlagseite

Scheibe für Scheibe

Schufa kündigt neues Scoreverfahren an, Zweifel bleiben

Deutschlands größte Wirtschaftsauskunftei hat ein neues Scoring für Verbraucher angekündigt. Es soll Ende 2025 kommen und erheblich transparenter und verständlicher werden als das bisherige Verfahren. Aus Sicht von Verbraucher- und Datenschutz löst es trotzdem nur ein Teilproblem.

Von Markus Montz

Deutschlands größte Wirtschaftsauskunftei Schufa will ein neues Berechnungsverfahren für die Kreditwürdigkeit von Verbrauchern einführen. Es soll noch 2025 in den Einsatz gehen. In einer Übergangsphase von mindestens zwei Jahren will die Schufa das bisherige Berechnungsverfahren aber parallel weiter betreiben.

Die Berechnung des neuen Punktwerts („Score“), in dem sich die Kreditwürdigkeit ausdrückt, will das Unternehmen dabei deutlich transparenter gestalten als mit dem bisherigen, geheim gehaltenen Algorithmus. An die Stelle eines Prozentwertes soll ein Punktwert treten, die Berechnungsformel offengelegt werden. Verbraucher sollen ohne große mathematische Kenntnisse nachvollziehen können, wie sich ein Girokonto, ein Ratenkredit und andere bei der Schufa gespeicherte Vertragsdaten auf den Score auswirken.

Nur online einsehbar

Damit Verbraucher den neuen Score einsehen können, müssen sie sich wie bisher beim Dienst „Bonify“ der Schufa-Tochter Forteil registrieren und deren App oder Website nutzen; Registrierung und App sind kostenlos. Als Alternative will die Schufa außerdem ein ebenfalls kostenloses Online-Angebot unter eigener Flagge schaffen.

Wer einmal registriert ist, kann seinen Score jederzeit abrufen. Berechnen will ihn die Schufa nicht mit KI oder komplexen Formeln, sondern als sogenannten

monotonen Risikoverlauf. Dabei erhalten alle Risikobestandteile, beispielsweise ein Kreditkartenvertrag, einzeln einen zum Risiko passenden Punktwert. Deren Summe ergibt den Score. In einer Pressekonferenz zeigte die Schufa Screenshots eines Prototyps, dessen noch vorläufige Punktwerte von 0 bis 999 reichten.

Vorläufigen Status haben auch noch die Gewichtungen von einzelnen Verträgen sowie von Zahlungsstörungen, die Unternehmenskunden der Schufa gemeldet haben. Diese Teilwerte sollen Verbraucher ebenfalls als Punktwert abrufen und mithilfe eines „Erklärtools“ einordnen können.

Im Prototyp hätte man beispielsweise 80 Punkte erhalten, wenn der Schufa kein laufender Ratenkreditvertrag gemeldet ist. Bei einem Ratenkredit reduzierte sich der Wert auf 40 Punkte, bei zweien auf 25 und bei drei und mehr auf 0. Ein acht Jahre alter Bankvertrag hätte weitere 50 Punkte gebracht, eine seit acht Jahren geführte Kreditkarte 60, das störungsfreie Zahlungsverhalten 260 Punkte und so weiter.

In den zwölf einzelnen Kriterien sollen Verbraucher außerdem angezeigt bekommen, wie sich Änderungen auf die Punktwerte auswirken würden. Wer zum

Beispiel das Girokonto wechselt und nur das neu eröffnete Konto als ältesten Bankvertrag behält, würde in diesem Merkmal bei null starten. Ohne Zahlungsstörungen stiege der Punktwert dann im Zeitverlauf schrittweise wieder an.

Vereinfachungen

Bisher können Verbraucher nur den Basis-Score mit Stand zu Quartalsbeginn kostenlos über Bonify einsehen. Abonnenten des kostenpflichtigen Dienstes „Meine Schufa“ bekommen den Basisscore tagesaktuell. Das Problem: Der Basisscore stellt nur einen Anhaltswert dar. Ein Kreditinstitut oder Unternehmen, das die Bonität für einen Rechnungskauf oder Kredit abfragt, bekommt nämlich einen speziell berechneten Score für eine der sechs Branchen Banken, Sparkassen, Genossenschaftsbanken, Telekommunikation, Versandhandel und Handel oder gleich einen Score nach unternehmensindividuellen Kriterien.

Ist der Branchenscore nicht hoch genug, kann ein Unternehmen selbst bei einem sehr guten Basisscore eines Verbrauchers einen Kredit ablehnen. Verbraucher können die Branchenscores aber nur einsehen und nachvollziehen, indem sie eine kostenlose Selbstauskunft nach DSGVO anfordern und interpretieren oder für 30 Euro (ermäßigt 15 Euro) die deutlich übersichtlichere „Bonitätsauskunft“ bestellen.

Die Schufa will ihre derzeit sechs Branchenscores sowie den Basisscore daher in einem Einheitscore zusammenfassen. Sie will darüber hinaus die Zahl der Kriterien, die in den Score einfließen, von bisher 250 auf zwölf reduzieren – dabei handelt es sich laut der Auskunft um die aussagekräftigsten Parameter.

Zugleich plant die Auskunft, die Wirkung von Anfragen von Banken und Unternehmen auf den Score zu reduzieren, wenn jemand einen Kredit verbindlich beantragt. Solche Vertragsanbahnungen und tatsächlichen Vertragsabschlüsse von Verbrauchern will die Schufa künftig nicht mehr doppelt zählen. Auch Mehrfachanfragen innerhalb von 28 Tagen, wie sie beispielsweise beim Vergleich über

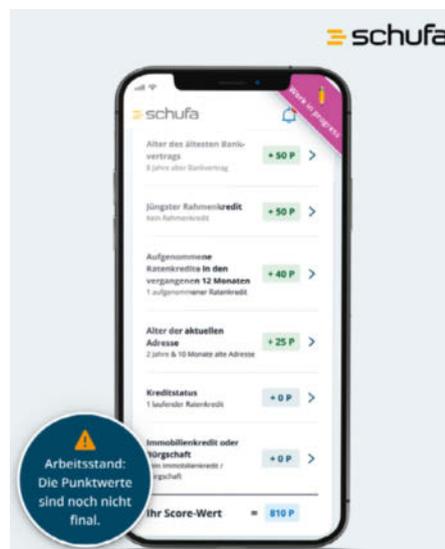


Bild: Schufa Holding AG

Das Prinzip des neuen Schufa-Scores so wie auf diesem PR-Bild wäre einfach zu verstehen, wenn er so kommt.

Vermittlungsplattformen stattfinden können, sollen so behandelt werden, als hätte man den Kredit nur bei einer Bank angefragt und abgeschlossen.

Laut Schufa verwässern weder der Einheitsscore noch die Reduktion der Kriterien die Qualität der Prognose. Der dafür herangezogene Gini-Koeffizient soll in Tests bei 60 gelegen haben, was tatsächlich ein sehr guter Wert wäre. Die Wissenschaftlichkeit der Entwicklung und Prüfung des neuen Scores sowie die erforderliche Signifikanz der verwendeten Daten hat der Schufa zufolge das Fraunhofer-Institut für intelligente Analyse- und Informationssysteme bestätigt.

Unklar bleibt noch, ob auch die etwa 50 Scores entfallen, die die Schufa losgelöst von den Branchenscores nach den Vorgaben einzelner Unternehmen für diese berechnet. Solche Unternehmensscores machen zusammen etwa ein Drittel aller Anfragen aus, die Unternehmen zur Kreditwürdigkeit von Verbrauchern bei der Schufa stellen. Die übrigen zwei Drittel nutzen den jeweiligen Branchenscore.

Startbedingungen

Derzeit testen laut Schufa 17 Banken und Unternehmen das neue Berechnungsverfahren oder wollen zeitnah damit beginnen. Eingebunden sei auch der Verbraucherbeirat des Unternehmens, der sich vor allem im universitären Umfeld rekrutiert. Die Auskunftsteilnehmer will außerdem mit ungenannten externen Verbraucher- und Datenschutzorganisationen gesprochen haben. Positive Rückmeldung habe auch der Hessische Beauftragte für Datenschutz und Informationsfreiheit (HBDI) gegeben. Der HBDI bestätigte auf c't-Anfrage knapp, dass er den neuen Score „aus datenschutzrechtlicher Sicht“ als „Fortschritt“ werte, da er die Transparenz für Betroffene erhöhe und sich besser nachvollziehen und überprüfen lasse.

Bereits für den Start noch 2025 lässt sich die Schufa aber ein großes Hintertor offen. Bedingung sei, dass eine „kritische Masse“ an Unternehmen mit dem neuen Score arbeitet. Erst dann soll er auch für Verbraucher zugänglich werden. Die Schufa nannte auf Nachfrage ein Viertel ihrer Unternehmenskunden und ein Viertel der Unternehmensanfragen. Allerdings sollen viele Unternehmenskunden noch skeptisch sein, abgesehen davon, dass vor allem Banken ihr Risikomanagement mit dem neuen Score aufsichtsrechtlich prüfen lassen müssen. Damit ist auch das endgültige Aus für

den bisherigen Score Ende 2027 noch lange nicht in trockenen Tüchern.

Das gute Pferd

Die Schufa selbst stellt den neuen Score als angemessene Reaktion auf den „Wunsch vieler Menschen nach informeller Selbstbestimmung im digitalen Zeitalter“ dar, der außerdem das veränderte Konsumverhalten mit vermehrtem Rechnungsbesser einbeziehe. Sie könne ihre „bedeutende Position am Markt nur sichern“, wenn sie „den Erwartungen der Menschen nach mehr Transparenz, Einfluss und Kontrolle und den sich seit Längerem abzeichnenden Anforderungen aus der Regulierung“ entspreche.

Diese verklausulierte Formulierung deutet an, dass Politik, Zivilgesellschaft, Verbraucher- und Datenschützer (einschließlich des HBDI) und insbesondere Gerichte die Schufa seit Jahren stärker unter Druck setzen. Auf den ersten Blick freiwillige Maßnahmen, die die Schufa seit 2022 als Teil einer „Transparenzoffensive“ verkauft, haben nicht ohne Grund immer eine Entsprechung in der Gesetzgebung und in Gerichtsurteilen.

Dazu zählen insbesondere Entscheidungen des Europäischen Gerichtshofs (EuGH) zur DSGVO-Auslegung. Das letzte stammt aus dem Februar 2025, als das Gericht in der Rechtssache C-203/22 Wirtschaftsauskunfteien in der EU verpflichtete, Verbrauchern ihre Bonitätsscores auf Nachfrage deutlich transparenter und nachvollziehbarer zu erläutern (c't 7/2025, S. 47). Die Schufa erklärte daraufhin zwar, dass sie diesen Anforderungen bereits nachkomme. Datenschützer, mit denen c't sprach, sehen das aber anders: Die Gewichtung der Kriterien im bisherigen Score lasse sich allenfalls erahnen und der neue Score sei weder eingeführt noch praxiserprobt.

Auch der zeitliche Ablauf von C-203/22 spricht gegen eine freiwillige Maßnahme der Schufa. Das EuGH-Urteil geht auf ein Vorabentscheidungsersuchen des Verwaltungsgerichts Wien vom 16. März 2022 zurück. Das war ein halbes Jahr bevor die Schufa medial zum ersten Mal zur „Transparenzoffensive“ blies. Darin sehen Daten- und Verbraucherschützer auch in diesem Fall wieder etwas sarkastisch das gute Pferd, das nicht höher springt, als es muss. Die Schufa überlässt aus Sicht der Kritiker nichts dem Zufall, tut aber maximal das, was sie nach Recht und Rechtsprechung tun muss. Anders



Bild: Schufa Holding AG

Schufa-Chefin Tanja Birkholz hebt die „Transparenz und Erklärbarkeit“ des neuen Scores hervor, Daten- und Verbraucherschützer sehen ungelöste Probleme.

ausgedrückt: Der neue Score und die Transparenz könnten tatsächlich eine etwas dickere Salamischeibe der Schufa werden, wenn sie diese denn wirklich abschneidet – aber abgemessen hat die Dicke der EuGH.

Andere Probleme in Sachen Transparenz löst der neue Score zudem nicht, wie Datenschützer im Gespräch kritisierten. So bekämpften die Schufa und andere Auskunftsteilnehmer mangelhafte Datenqualität und daraus resultierende falsche Scores nach wie vor unzureichend – obwohl Auskunftsteilnehmer und meldende Unternehmen genau dazu verpflichtet sind. Problematisch bleibt auch, dass Verbraucher ihren Score selbst erfragen müssen und Auskunftsteilnehmer von sich aus weder über den Punktestand noch über die Wirkung neuer Unternehmensmeldungen und -anfragen informieren, obwohl man die DSGVO so auslegen müsste, dass das ihre Pflicht wäre. Der gemeinsamen Auskunftspflicht, die die DSGVO vorsieht, kommt an dieser Stelle bisher keine Seite nach.

Von Verbraucherschützern hörten wir außerdem Kritik am faktischen Digitalzwang, da man nur mit einem Bonify-Account oder über den geplanten Schufaeigenen Service an den neuen Score kommt. Das schließt alle aus, die diese Dienste nicht nutzen können oder wollen. Auf dem Weg zu einer echten Transparenz gibt es also noch einiges zu tun, immer in dem Wissen, dass echte Freiwilligkeit kein Markenzeichen von Auskunftsteilnehmern ist.

(mon@ct.de) **ct**

Augen auf beim Kauf

Fotos bearbeiten, Videos schneiden, texten oder zocken:
Auswahlkriterien für den Monitorkauf



Monitore richtig auswählen	Seite 20
Notebook-Docks mit USB-C oder Thunderbolt	Seite 26
Tischhalterungen und Adapter für Monitore im Test	Seite 32

Monitorkauf ist angesichts der vielen Modelle und Angebote kompliziert. Mit unseren Tipps finden Sie das passende Gerät für Ihre Anwendung.

Von Ulrike Kuhlmann

Gleich vorweg: Den einen „besten“ Monitor küren wir in diesem Beitrag nicht. Dafür dröseln wir auf, welcher Monitor am besten zu welchem Einsatzzweck passt, und erklären, worauf Sie bei der Auswahl sonst noch achten sollten. So brauchen Fotografen andere Displays als Softwareentwickler, und Gelegenheitsnutzer, die nur ab und an surfen oder eine E-Mail schreiben, können mit einer gezielten Auswahl viel Geld sparen. Wir haben uns sechs potenzielle Einsatzgebiete näher angeschaut: Monitore für daheim, fürs Büro, zur Bild- und Videobearbeitung, zum Streamen und fürs schnelle Spiel. Zunächst aber ein paar allgemeine Kriterien für die Monitorauswahl.

Allgemeines

Als Auflösung empfehlen wir mindestens Full HD, also 1920×1080 Pixel, je nach Bildschirmgröße auch mehr. Sie entscheidet darüber, wie viel Inhalt auf den Desktop passt. Ob die Darstellung aus dem am Schreibtisch üblichen Betrachtungsabstand von 60 Zentimetern pixelig wirkt oder nicht, hängt von der Pixeldichte ab, die in Bildpunkten pro Zoll (dots per inch, dpi) angegeben wird. Ein 24-Zöller mit FHD hat eine Pixeldichte von 92 dpi, für Adleraugen ist das zu wenig. Deutlich feiner zeichnen Displays mit WQHD-Auflösung, also 2560×1440 Pixeln: Ein 24-Zöller mit WQHD hat eine Pixeldichte von 122 dpi, ein 27-Zöller immerhin noch knapp 110 dpi – darunter sollte man für die tägliche Arbeit nicht gehen. Ein 27-Zöller mit FHD hat nur 82 dpi. Auf solchen Displays erscheinen Symbole und Schrift pixelig, aber auch sehr groß, was ein Vorteil für seheingeschränkte Nutzer sein kann.

Auf sehr hochauflösenden Displays kann man stattdessen die Anzeige im Betriebssystem vergrößern. Dazu ruft man mit einem Rechtsklick auf den Desktop die

Anzeigeeinstellung auf und stellt dort den Skalierungsfaktor ein. Symbole und Schriften werden dadurch auf dem Desktop und in allen Anwendungen größer dargestellt, abgeschnitten wird dabei nichts.

Etwas frapierend finden wir den Trend, alle möglichen Displays zu verbieten. Während es bei überbreiten Schirmen der Ergonomie zugutekommt, die Displayseiten ein wenig näher an den Nutzer zu bringen, ist die Biegung bei kleinen 16:9-formatigen Schirmen unnötig. Der Biegeradius in Millimetern benennt den Radius des Kreises, den mehrere aneinandergestellte Monitore bilden würden. Bei 1500R sind dies 1,50 Meter, bei 1000R nur noch ein Meter – je kleiner die Zahl, desto stärker die Biegung. Gaming-Monitore sind am stärksten gebogen, hier hilft die Krümmung von beispielsweise 800R, ins Spielgeschehen einzutauchen.

Bei manchen Geräten ist das Netzteil ausgelagert, die Elektronik sitzt dann direkt im Stecker und das Kabel zum Monitor ist meist fest verbunden – und bei güns-

tigen Geräten oft zu kurz. Den Vorteil externer Netzteile sehen einige Nutzer darin, die möglicherweise pfeifende oder summende Elektronik unter den Tisch verbannen zu können.

Für die Arbeit in einer normal beleuchteten Umgebung gilt eine Bildschirmhelligkeit von 120 cd/m^2 als ergonomisch. Dennoch sollte der Schirm ein paar Reserven haben, etwa für sehr helle Räume. Die Displayhelligkeit sollte deshalb mindestens 250 cd/m^2 erreichen – mehr ist besser.

Wer den Monitor auch zum Videogucken nutzen und Hochkontrast-Inhalte (HDR, High Dynamic Range) streamen will, sollte unbedingt auf höhere Maximalleuchtdichten achten. Die Video Electronics Standards Association (VESA) teilt HDR-Monitore in Klassen ein. So finden sich DisplayHDR-zertifizierte Varianten „HDR 400“ und höher für LCDs und „HDR True Black 400“ und höher für OLEDs. Die Zahl legt die Leuchtdichte fest, die die Monitore mindestens erreichen müssen.

Ergonomisch sinnvoll und im Büroalltag Pflicht ist die Möglichkeit zur Höhenverstellung. Eine seitliche Drehmöglichkeit ist hilfreich, wenn man den Kollegen mal schnell was zeigen will oder häufiger neben dem Schirm sitzt, etwa beim Telefonieren. Lässt sich das Display ins Hochformat drehen, kann man daran komfortabel lange Tabellen bearbeiten und muss auf Webseiten weniger scrollen.

Auflösungsvergleich

Ein 34-Zöller mit 3440×1440 Pixeln (WQHD) und ein 44,5-Zöller mit WQHD-Auflösung stellen dieselbe Menge Bildinhalt dar. Weil die Pixel des 44,5-Zöllers aber auf einer viel größeren Bildfläche untergebracht sind, ist dessen Pixeldichte deutlich geringer und seine Darstellung damit gröber gerastert.



Gelegenheitsnutzung

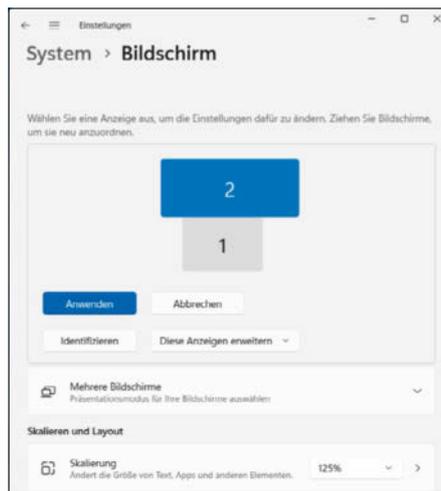
Wer nur ab und an den PC anschaltet, um eine E-Mail zu schreiben oder eine Reise zu planen, kann nach einem günstigen Gerät Ausschau halten. Sofern es der Platz auf dem Tisch zulässt, sollten Sie mindestens 23 Zoll nehmen, also knapp 60 Zentimeter in der Diagonalen. Entscheidender ist hier aber die Stellfläche, die das Gerät mit seinem Standfuß belegt. Gerade die modernen großen Fußplatten sind recht raumgreifend.

Gelegenheitsnutzer können auf eine Höhenverstellung verzichten oder besorgen sich einen VESA-Arm, der am Schreibtisch befestigt wird. Solche Monitorhalter haben wir auf Seite 32 getestet, es gibt sie in einfacher Ausführung schon ab 30 Euro.

Je nach Lichtbedingungen im Raum und Position des Schreibtisches empfiehlt sich ein mattierter Schirm. Dieser reflektiert das einfallende Licht diffus, die Umrisse von Lampen oder Fenstern zeichnen sich an ihm nur als leicht aufgehellter Bereich im Bild ab. Sitzt man am Monitor mit dem Fenster im Rücken, ist die mattierte Oberfläche Pflicht. In den Angaben zu mattierten Monitoren findet sich oft ein Hinweis wie „non-glare (matt)“, beim Preisvergleichler geizhals.de etwa unter dem Punkt Beschichtung. Eine dielektrisch entspiegelte Displayoberfläche läuft dort unter „anti-glare“; sie reduziert die Stärke der Reflexion, spiegelt helle Objekte aber mit scharfen Umrisen. Das Auge weiß dann nicht mehr, ob es auf den Bildinhalt oder die Spiegelung fokussieren soll, und ermüdet so schneller.

In vielen sehr günstigen Monitoren stecken 6-Bit-Panels, die keine sauberen Farbverläufe hinbekommen. Sie reduzieren die von der Grafikkarte gelieferten 8-Bit-Signale auf die 6 Bit breiten Treiberstufen des Panels. Fürs Mailen oder Surfen ist das unkritisch, wer häufig Fotos anschauen möchte, sollte auf ein 8-Bit-Panel achten.

Als Paneltechnik empfehlen sich Vertical Alignment (VA) und In Plane Swit-



In den Anzeigeeinstellungen unter Windows positioniert man die Arbeitsflächen zueinander und stellt den gewünschten Zoomfaktor ein.

ching (IPS): VA-Displays sind kontraststärker, aber ihre Farben verblassen von der Seite betrachtet etwas. Sitzt man mittig vor dem Monitor, ist das unerheblich. Schauen mehrere Leute gleichzeitig aufs Display, empfiehlt sich eher die winkelstabilere IPS-Technik. Panels mit TN-Technik (Twisted Nematic), deren Darstellung sich stark mit dem Einblickwinkel verändert, findet man nur noch in einigen wenigen Gaming-Displays mit Frameraten bis 540 Hertz. Monitore mit organischen Displays (OLED) sind für Gelegenheitsnutzer zu teuer.

Welche Signaleingänge ihr Gerät benötigt, hängt vom Zusprieler ab. Der noch in vielen billigen Monitoren eingebaute VGA-Eingang ist obsolet, die meisten PCs haben zumindest einen HDMI-Ausgang. Hat der Monitor statt HDMI einen DVI-Eingang, kann man sich mit einem DVI-HDMI-Adapter behelfen. State of the Art ist das jedoch nicht. Den Ton muss man dann etwa mit einem USB-Kopfhörer direkt am PC abgreifen, er wird vom Adapter nicht übertragen. Die in Monitoren eingebauten Lautsprecher taugen meist nur für

Hinweistöne des PCs. Wenn Sie zukunfts-sicherer kaufen wollen, sollte der neue Monitor HDMI, DisplayPort und einen USB- oder Line-Out für Audiosignale haben. 24-Zöller mit FHD-Auflösung wie BenQs GW2491 gibt schon für unter 90 Euro, mit 27 Zoll Diagonale für 100 Euro.

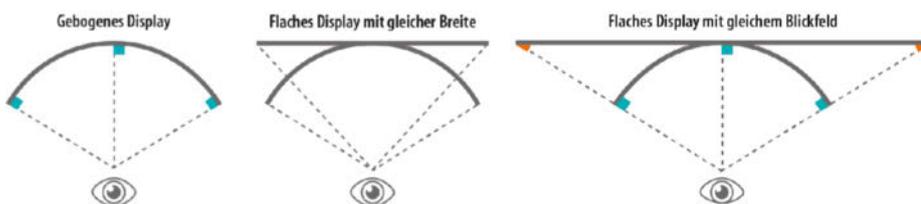
Weitere Anschlüsse, etwa einen Hub mit USB-Ports für Webcam, Headset oder Festplatte, bekommt man kaum für unter 100 Euro. Im vergangenen Jahr haben wir in c't 18/2024 günstige Monitore getestet, darunter den 24-zölligen S43GC von Samsung mit mattiertem IPS-Panel und USB-Hub, der aktuell ab etwa 110 Euro zu haben ist. Lenovos ThinkVision P25i-30 für etwa 155 Euro spielt in einer ähnlichen Liga [1].

Büroarbeit

Wer täglich mehrere Stunden am Monitor sitzt, sollte zu einem höhenverstellbaren Display mit mindestens 110 dpi greifen. Ein 27-Zoll-Monitor besitzt knapp 70 Zentimeter Diagonale und bietet ausreichend Schirmfläche. Mit QHD-Auflösung zeigt er 110 dpi für komfortables Arbeiten. Noch feiner zeichnen 27-Zöller mit 4K-Auflösung (3840 × 2160 Pixel) und 163 dpi. Daran kann man auch das eine oder andere Bild bearbeiten und bei geringer Zoomstufe passen eine Menge Tabellenspalten auf den Desktop. 4K-Monitore wie den 27E1N1800A von Philips bekommt man schon für unter 200 Euro. Es fehlt den günstigen Geräten aber die fürs Büro wichtige Ausstattung wie ein USB-Hub oder ein USB-C-Anschluss mit DisplayPort und Stromversorgung für Notebooks.

Über den USB-C-Eingang werden Videosignale und Daten vom PC zum Monitor geschickt, an dessen USB-Hub Tastatur, Maus, Webcam, Headset und externe Speicher hängen und der teilweise auch einen Ethernet-Anschluss bereithält. Das ist praktisch für Notebooknutzer, die zwischen Büro und Homeoffice pendeln: Steht auf jedem Schreibtisch ein Set aus Monitor und Peripherie, muss man morgens nur ein einziges Kabel anschließen und ist arbeitsbereit.

Liefert der Monitor am USB-C-Port Strom, kann auch das Notebooknetzteil in der Schublade bleiben. Die Funktion nennt sich USB Power Delivery (PD), angefügt wird die maximale Ladeleistung fürs Notebook. So stellt beispielsweise USB-C PD 65W die für viele Notebooks ausreichenden 65 Watt bereit. Bei hochauflösenden und mit hoher Framerate angeschlossenen Displays kann die Datenrate zum angeschlos-



Werden die Displayseiten passend nach vorn gebogen, sieht man am überbreiten Display alle Bildpunkte aus derselben Entfernung. Das Auge muss dadurch weniger umfokussieren und ermüdet so weniger.



FREITAG IST c't-TAG!*

**30%
Rabatt!**

Jetzt 5x c't lesen

für 24,00 €
statt 31,75 €**

** im Vergleich zum Standard-Abo



*Endlich Wochenende! Endlich genug Zeit, um in der c't zu stöbern. Entdecken Sie bei uns die neuesten Technik-Innovationen, finden Sie passende Hard- und Software und erweitern Sie Ihr nerdiges Fachwissen. **Testen Sie doch mal unser Angebot: Lesen Sie 5 Ausgaben c't mit 30 % Rabatt – als Heft, digital in der App, im Browser oder als PDF. On top gibt's noch ein Geschenk Ihrer Wahl.**

Jetzt bestellen:

ct.de/meintag



senen Datenträger zum Engpass werden. Hier muss man auf den maximalen Upstream achten. Gerade günstige USB-C-Monitore sind auf 5 Gbit/s entsprechend USB 3.0 limitiert, die Datenübertragung per USB-C bremsen sie bei gleichzeitiger Videoübertragung auf USB-2.0-Geschwindigkeit (480 Mbit/s) aus – der Datentransfer zur Festplatte dauert dann länger.

Besitzt der Monitor keinen videotauglichen USB-C-Eingang, kann man den gleichen Komfort mit einem externen USB-C-Dock erreichen. Das reicht sämtliche Signale vom angeschlossenen Notebook zum Monitor weiter und stellt Energie und Netzwerk fürs Mobilgerät bereit. Bei der Auswahl eines passenden Docks drohen einige Stolperfallen. Wie Sie die umgehen, erfahren Sie im Artikel auf Seite 26.

Wer mit mehreren PCs arbeitet, sollte einen Monitor mit zwei USB-Upstreams, eingebautem Hub und mehreren Videoeingängen ins Auge fassen. Der Monitor taugt dann als KVM-Switch (Keyboard, Video, Mouse) und man kann mit einem Tastatur-Maus-Set beide Rechner steuern. Oft wird die am USB-Hub angesteckte Peripherie und der LAN-Port beim Umschalten des Displayeingangs mit umgeschaltet. Hier muss man aufpassen, dass durch den Wechsel keine Backup-Vorgänge oder Downloads unterbrochen werden. Einige Hersteller liefern eine Software mit und lösen die Umschaltung darin per Mausklick, bessere Monitore integrieren einen echten KVM-Switch mit zwei Upstream Ports.

Schirme mit 21:9, 24:10- oder 32:9-Format haben gegenüber dem klassischen 16:9-Format von FHD-, QHD- oder 4K-Monitoren einige Vorteile. So passen mehrere Dokumente in A4-Größe nebeneinander auf die Arbeitsfläche. Das Auge wird anders als bei zwei nebeneinanderstehenden Monitoren nicht durch die Naht zwischen den Displays irritiert und der Mauszeiger fährt

Der ultrabreite 45-Zöller Lenovo Legion R45w-30 mit VA-Panel schafft viel Platz für Fenster, er hat diverse Videoeingänge und einen per KVM-Taster umschaltbaren USB-Hub nebst LAN-Buchse.



gleichmäßig über die gesamte Bildfläche. Außerdem bleiben alle Dokumente beziehungsweise Fenster in gleicher Größe erhalten, wenn man sie auf der Desktopfläche verschiebt. Wer lieber zwei Monitore nebeneinander stellt – das ist die preiswertere Lösung –, sollte Schirme mit derselben Pixeldichte und am besten auch identischer Diagonale nutzen. Im Windows-Anzeigemenü platziert man die Monitore entsprechend der Anordnung auf dem Tisch zueinander. Zwei 27-Zöller mit QHD-Auflösung bieten dieselbe Arbeitsfläche wie ein überbreiter 49-Zöller mit DQHD-Auflösung, kosten aber kaum die Hälfte.

Überbreite Monitore können ihre Schirmfläche üblicherweise hälftig oder im Verhältnis 2:1 aufteilen und die beiden Desktopflächen für zwei Signalquellen nutzen. Außer dem Side-by-Side-Betrieb (SbS) bieten einige auch eine Bild-im-Bild-Funktion (PiP), mit der man sich eine zweite Quelle klein ins Hauptbild einblenden kann.

Für Videokonferenzen integrieren einige Monitore eine Webcam inklusive Mikrofon, die sich wegklappen, versenken oder verschließen lässt und im besseren Fall dann inaktiv ist. Dann muss man sich keine externe Webcam besorgen, die wackelig auf dem Monitor thront und einen USB-Port belegt.

Schafft der Monitor mehr als die übliche Bildwiederholfrequenz von 60 Hertz, gleitet der Mauszeiger geschmeidiger, Scrollen fühlt sich runder an und die Schrift bleibt besser lesbar. Wer oft Fenster auf der Arbeitsfläche verschiebt oder den Monitor abends auch mal zum Spielen nutzen möchte, sollte auf höhere Frameraten achten; üblich sind heute 100 Hertz und mehr.

Bildbearbeitung

Wer häufig Fotos begutachtet, bearbeitet oder Grafiken erstellt, braucht eine brillante, farbtreue, homogen ausgeleuchtete Arbeitsfläche mit möglichst hoher Pixeldichte und allenfalls minimaler Blickwinkelabhängigkeit. Der Monitor muss kalibrierbar sein, am besten Hardwarekalibrierbar. Weil die Korrekturdaten dabei direkt in der Look-up-Tabelle (LUT) im Gerät gespeichert werden, ist der korrekte Farbraum anschließend in allen Anwendungen und unabhängig vom Betriebssystem verfügbar. Voraussetzung ist eine exakte RGB-Kalibrierung ab Werk, bei der für jede Grundfarbe an 255 Stützpunkten die Farb- und Helligkeitswerte ermittelt und in der Monitor-LUT abgelegt werden. Bei einer späteren Kalibrierung durch den Nutzer vor Ort dient diese LUT als Grundlage, aktuelle Abweichungen werden in einer zweiten LUT im Monitor hinterlegt.

Kalibrieren gelingt mit den Spyder-Geräten von Datacolor, einem Colorimeter von Calibrite oder herstellereigenen Modellen. Eizo hat das Colorimeter in einigen CG-Modellen direkt eingebaut. Der Messkopf fährt als Finger aus dem Rahmen und rekaliert das Display regelmäßig, wenn man es gerade nicht braucht. Für die Farbbegutachtung sollte man den Monitor vor Licht von außen abschirmen. Professionellen Grafikmonitoren liegt eine passende Lichtschutzblende für den Monitorrahmen bei.

Für satte Farben sorgen im LCD meist Quantenpunkte, die das blaue Licht der

VESA DisplayHDR

	minimale Spitzenleuchtdichte auf 10 % Weißfläche	minimale Leuchtdichte vollflächig 100 % Weiß	Farbraumabdeckung DCI-P3	statischer Maximalkontrast	maximaler Schwarzpegel bei voller Helligkeit
LCD					
DisplayHDR 400	400 cd/m ²	320 cd/m ²	90 %	1300:1	0,4 cd/m ²
DisplayHDR 500	500 cd/m ²	320 cd/m ²	95 %	7000:1	0,1 cd/m ²
DisplayHDR 600	600 cd/m ²	350 cd/m ²	95 %	8000:1	0,1 cd/m ²
DisplayHDR 1000	1000 cd/m ²	600 cd/m ²	95 %	30.000:1	0,05 cd/m ²
DisplayHDR 1400	1400 cd/m ²	900 cd/m ²	95 %	50.000:1	0,02 cd/m ²
OLED					
DisplayHDR True Black 400	400 cd/m ²	250 cd/m ²	95 %	N/A	0,0005 cd/m ²
DisplayHDR True Black 500	500 cd/m ²	300 cd/m ²	95 %	N/A	0,0005 cd/m ²
DisplayHDR True Black 600	600 cd/m ²	350 cd/m ²	95 %	N/A	0,0005 cd/m ²

12. Mai 2025 • Online

ArchDoc 2025

Die Konferenz für moderne
Softwarearchitektur-Dokumentation

Online-Vorträge und -Workshops
für alle, die ihre Softwarearchitektur
effizient, verständlich und flexibel
dokumentieren wollen

Jetzt
Tickets
sichern!

Workshops am 5., 14. und 19. Mai

archdoc.bettercode.eu

15. und 23. Mai 2025 • Online

API 2025

Die Konferenz zu Design, Entwicklung
und Management von APIs

Praxis-Know-how und neueste Trends der
API-Entwicklung für Softwareentwickler:innen,
Softwarearchitekt:innen sowie
API- und Integrationsbeauftragte

Jetzt
Tickets
sichern!

Workshop zu API-Sicherheit am 4. Juni

api.bettercode.eu



An LGs stark gebogenem OLED-Monitor (800R Krümmungsradius) UltraGear 45GR95QE-B taucht man tief ins Spielgeschehen ein.

Backlight-LEDs in rotes und grünes konvertieren; alternativ nutzen die Hersteller spezielle Phosphore für die LEDs im weißen Backlight. Wichtig sind zudem gut angepasste Farbfilter. Bei der Monitorauswahl kann man die Farbeigenschaften an der Abdeckung der möglichen Farbräume erahnen. Bei 99 Prozent DCI-P3 darf man von sehr satten Farben ausgehen, fehlt die Angabe zu DCI-P3 und Adobe RGB komplett, versteht sich das Display wahrscheinlich nur auf den deutlich kleineren sRGB-Farbraum. Das reicht für Tabellen, Texte und Webseiten, leuchtende Farben kann das Display aber nicht wiedergeben. Hilfreich ist der sRGB-Farbraum, wenn man seine Bilder an einen Druckdienstleister schickt. Da die meisten Dienstleister mit dem kleineren Farbraum arbeiten, gibt es später keine Überraschung, wenn man die Prints in den Händen hält.

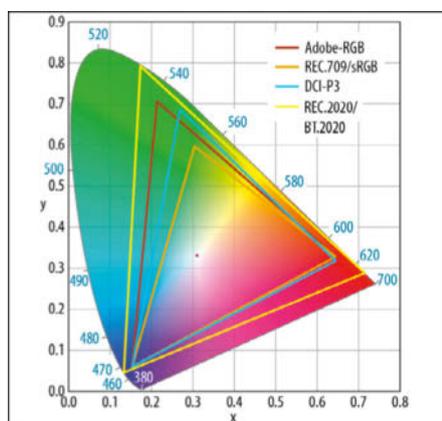
Intern verarbeiten gute Grafikmonitore die einkommenden Signale mit 14 bis 16 Bit breiten LUTs, bevor sie als 10 Bit breites Signal für 1024 RGB-Farbstufen ans Panel weitergereicht werden. Ihre Gammakorrekturen fallen dadurch wesentlich feinstufiger aus, wovon die Wiedergabe feiner Grau- und Farbverläufen profitiert. In den Datenblättern erkennt man solche Monitore an Angaben zur Farbtiefe, hier sollte 10 Bit stehen (und nicht 8 oder gar 6 Bit). Weil die Treiberstufen allenfalls in sehr teuren Profimonitoren wirklich 10 Bit breit sind, werden die 8 Bit im Panel meist per Frame Rate Control um die fehlenden 2 Bit ergänzt (8 Bit + 2 Bit FRC).

Die Uniformity-Funktion stellt zudem sicher, dass die Schirmfläche gleichmäßig ausgeleuchtet ist. Andernfalls korrigiert man womöglich Unregelmäßigkeiten im Bild, die gar nicht vom Bildinhalt stammen. Gute Grafikmonitore erreichen eine

Schirmausleuchtung von über 95 Prozent, bei billigen und vor allem überbreiten, gebogenen Schirmen liegt diese zuweilen unter 70 Prozent. Für die Bildbearbeitung eignen sich curved Displays auch deshalb nicht, weil an ihnen gerade Linien gekrümmt wirken. Das Display sollte mindestens 400 cd/m² hell sein, der In-Bild-Kontrast über 1000:1 liegen. Allerdings nicht erreicht per Local Dimming, wie man es von Fernsehern kennt: Die lokal angepasste Schirmleuchtdichte suggeriert Helligkeit an Bildstellen, die später am normalen Display nicht zu sehen sind.

Videobearbeitung

Während Fotografen von überbreiten Schirmen absehen sollten, bieten diese eine ideale Spielwiese für die Videobearbeitung. Sie schaffen Übersicht auf der Suchleiste und erlauben schnelles Scrollen



Monitore für die Bildbearbeitung sollten alle Mischfarben im DCI-P3-Farbraum wiedergeben können, den sehr großen BT2020 decken allenfalls Displays mit speziellen RGB-LEDs ab. Für viele Anwendungen reicht der kleinere sRGB-Farbraum aus.

in der Timeline, darüber bleibt ausreichend Platz für den jeweiligen Clip und an der Seite kann man das Material für die B-Rolle auslagern.

Kommt es auf die genauere Bearbeitung einzelner Szenen an, empfiehlt sich der mittlere Bildbereich der gekrümmten Schirme, dort sollte die Ausleuchtung einigermaßen homogen sein. An den Seiten sind fast alle curved LCDs dunkler als in der Mitte.

Monitore mit organischem Display (OLED) haben wenig Probleme mit der Ausleuchtung, da hier keine Lichtleiterfolien gebogen werden müssen und jeder Bildpunkt selbst leuchtet. Es gibt derzeit zwei OLED-Varianten, eine mit weiß leuchtender OLED-Schicht und Farbfiltern von LG (sogenannte WOLEDs) und eine mit blau leuchtender Schicht, bei denen nicht Farbfilter, sondern Nanopartikel das Licht für die roten und grünen Pixel konvertieren (blau wird direkt ausgegeben). Zwar erzielen diese sogenannten QD-OLEDs sattere Farben, aber auch unschöne rote und grüne Farbsäume an kontrastreichen Kanten (mehr dazu in [2]). Für die Bild- und Videobearbeitung taugen sie deshalb nicht.

Gaming

Für Gamer sind OLED-Monitore dagegen erste Wahl, denn sie bieten ein extrem kontraststarkes Bild und schalten sehr flink zwischen Helligkeiten, also bewegten Bildinhalten. Schlieren entstehen hier nur, wenn die Videoelektronik des Monitors nicht mitkommt. Die genannten Farbsäume stören beim Gaming deutlich weniger, weil das Display vor allem Bewegtbilder wiedergibt; allenfalls in Dialogtexten oder dem Spielstand wird man sie bemerken.

Ein möglicher Knackpunkt war bislang das sogenannte Einbrennen, bei dem sich länger angezeigte Bildinhalte als Schatten in die Darstellung mogeln. Den Effekt und die Maßnahmen dagegen haben wir in c't 29/2023 näher beleuchtet [3]. Zwar kann man den systemimmanenten Effekt nicht komplett wegdiskutieren, doch Beschwerden über Einbrenneffekte haben wir in der jüngeren Vergangenheit nicht mehr gehört.

In Sachen Geschwindigkeit tun sich QD-OLEDs und WOLEDs nichts, auch der Kontrast ist bei beiden exzellent, die Farben der QD-OLED-Technik von Samsung sind etwas kräftiger. Leider muss man für ein OLED immer noch recht tief in die Tasche greifen: Los gehts bei etwa 500 Euro für ein 27-zölliges QD-OLED

mit QHD-Auflösung und 240 Hertz, und es reicht bis knapp 2000 Euro für einen mit 800R stark gekrümmten, überbreiten 49-Zöller mit 5K-Auflösung und 330 Hertz Framerate – an dem man wirklich super ins Spielgeschehen eintauchen kann.

Weil die potenzielle Käufergruppe angesichts solcher Preise überschaubar ist, kommen aktuell etliche flinke Gaming-Monitore mit IPS- und VA-Panel in den Handel. Wer sich mit FHD-Auflösung begnügt, bekommt 27-Zöller mit 240 Hertz schon für unter 200 Euro. In denen muss aber bei hohen Frameraten der sogenannte Overdrive aktiv werden. Dabei schubsen die Pixeltransistoren den Flüssigkristall beim Bildwechsel etwas stärker an, damit das Display die Zielhelligkeit schneller erreicht. Weil gerade die günstigen LCDs träge sind, schießen sie dann ein wenig über das Ziel hinaus und es dauert einige Millisekunden, bis sich die Helligkeit im Pixel auf den Zielwert eingeschwungen hat. Dieses Übermaß macht sich durch störende Säume an bewegten Kanten bemerkbar. Dennoch: Je höher die spezifizierten Bildwiederholfrequenzen, umso besser. Nur sollten Sie sich nicht darauf verlassen, dass der Monitor diese tatsächlich schlierenfrei auf den Schirm Holt.

IPS-Panels bewältigen den Helligkeitswechsel von hell nach dunkel ähnlich flink wie den von dunkel nach hell. Wenn sich beispielsweise ein dunkles Objekt auf einem hellen Hintergrund bewegt, liegen die Hell-Dunkel-Wechsel vor dem Objekt und die Dunkel-Hell-Wechsel erfolgen am hinteren Ende. VA-Panels gelingt der Dunkel-Hell-Wechsel meist etwas schneller als der umgekehrte. TN-Panels sind für besonders kurze Schaltzeiten bekannt, was aber nur die halbe Wahrheit ist, denn sie bewältigen nur einen Wechsel sehr schnell. Für die andere Richtung brauchen sie kräftige Unterstützung vom Overdrive.

Mindestens ebenso wichtig wie kurze Schaltzeiten sind geringe Latenzen, also die Zeit, die vergeht, bis Eingaben mit der Maus oder dem Gamepad am Bildschirm sichtbar werden. Solange die Umsetzung innerhalb des nächsten Frames erfolgt, nimmt man die Verzögerung nicht wahr. Latenzen von drei oder mehr Frames bedeuten dagegen den sprichwörtlichen Tod für Gamer von First Person Shootern. Während Fernseher die Latenz in ihren Spielepresets automatisch verkürzen (ALLM, Automatic Low Latency Mode), muss man das bei Monitoren manuell aktivieren.

Damit das Bild beim Spielen nicht zerreißt, passen Gaming-Monitore ihre Bildwiederholfrequenz an die Framerate der Grafikkarte an. Die VESA hat die Variable Refresh Rate (VRR) unter der Bezeichnung Adaptive Sync standardisiert, AMD nennt sie FreeSync und Nvidia G-Sync. Einige Monitore haben ein – meist lüfterbewehrtes – G-Sync-Modul, um optimal mit Nvidia-Karten zusammenzuspielen; Monitor ohne Modul nennt Nvidia G-Sync-kompatibel. AMD und Nvidia haben die VRR-Funktionen noch weiter ausdifferenziert. So verstehen sich FreeSync Premium Pro (aka FreeSync 2)2 und G-Sync Ultimate auf Hochkontrastinhalte (HDR). Um Ruckler zu vermeiden, erhöht FreeSync Premium die Aktualisierungsrate, wenn die Grafikkarte zu wenige Bilder pro Sekunde (fps, frames per second) liefert, die Bildwiederholfrequenz bei FHD-Auflösung beträgt mindestens 120 Hertz. Neben der Angabe des VRR-Modus ist der synchronisierte Frequenzbereich relevant, um die Möglichkeiten des Monitors einzuschätzen. Erfolgt VRR nur zwischen 50 und 70 Hertz, bringt das wenig.

Streaming und mehr

Wer den Monitor nicht nur zum Arbeiten nutzen will und nach einem Allrounder Ausschau hält, könnte einen smarten Monitor mit eigenem Betriebssystem in Betracht ziehen. Der stellt am HDMI oder DisplayPort sein Display als Arbeitsfläche bereit und verwandelt sich auf Knopfdruck in eine Art Fernseher ohne TV-Tuner. Aktuell findet man solche smarten Monitore von LG und Samsung mit webOS respektive Tizen, Asus bietet einen 27-Zöller mit Google TV an. Die Monitore halten auf ihrer Oberfläche aktuelle Streaming-Apps bereit und man kann ohne weitere Hard-

ware Videos von Netflix, Amazon Prime & Co. schauen. Die Displays sollten das von den Streamingdiensten genutzte HDR-Format HDR 10 unterstützen. Zusätzlich hat die VESA in DisplayHDR weitere Eigenschaften spezifiziert, die auch für andere Anwendungen relevant sind, etwa die Farbraumabdeckung und den Schwarzwert (siehe Tabelle auf S. 22). OLEDs empfehlen sich mit ihrem enormen Kontrast besonders fürs Streaming.

Seit Kurzem gibt es (wieder) autostereoskopische Monitore, an denen man dreidimensionale Inhalte ohne Hilfsmittel betrachten kann. Solche AS-3D-Monitore sind weniger für 3D-Fans gedacht wie ehemals 3D-Fernseher. Stattdessen sollen sie von Designern genutzt werden, die 3D-Modelle entwickeln und komplexe Werkstücke räumlich visualisieren wollen. Wir haben in c't 20/2024 den ThinkVision 27 3D von Lenovo getestet [4], Samsung hat ebenfalls einen 3D-Monitor angekündigt. Beide nutzen zuschaltbare Lentikularlinsen und führen die beiden Stereobilder digital nach, indem sie die Augen des Betrachters tracken. Die Geräte sind deshalb nur für Einzelplatznutzer gedacht. Das Lenovo-Display richtet sich mit einem Preis von über 2500 Euro an professionelle Nutzer, gleiches gilt für Samsungs Odyssey-3D-Monitor für 2000 Euro. Dass die beiden das Comeback von 3D einläuten und es hier künftig viel mehr Geräte geben wird, ist eher unwahrscheinlich. (uk@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Benjamin Kraft, Günstige Bildgeber, 15 Displays von 90 bis 220 Euro im Test, c't 18/2024, S. 60
- [2] Ulrike Kuhlmann, Mark Mantel, WOLED vs. QD-OLED: ein Systemvergleich, c't 20/2024, S. 94
- [3] Ulrike Kuhlmann, Sündenfall, So verhindert man einen Burn-in bei OLEDs, c't 29/2023, S. 70
- [4] Benjamin Kraft, Herausragende Darstellung, Autostereoskopischer 3D-Monitor, c't 20/2024, S. 98



Samsung 49-zölliger Gaming-Monitor Odyssey G9 mit VA-Panel ist DisplayHDR-600-spezifiziert, verspricht Schaltzeiten von 1 Millisekunde und schafft 144 fps.



Solide angedockt

Kaufberatung: Notebook-Docks mit USB-C oder Thunderbolt

Ein Kabel, alles dran: Das versprechen Dockingstationen und Monitore mit USB-C oder Thunderbolt. Die Technik ist praktisch, aber etwas kompliziert. Unsere Kaufberatung schafft Durchblick.

Von Christof Windeck

Sie müssen nur ein einziges Kabel ins Notebook stöpseln, um es mit Monitor, Netzteil, Tastatur, Maus, LAN, Backup-SSD, Kartenleser und weiteren Peripheriegeräten zu koppeln. Damit das klappt, spielen die Schnittstellen USB-C oder Thunderbolt mit dem Ladestandard USB Power Delivery (USB-PD) zusammen.

Dabei stecken mehrere Teufelchen in den Details. Beispielsweise kann ein Monitor mit sehr hoher Auflösung eine externe SSD ausbremsen und manches Notebook lädt seinen Akku nicht wie erwartet auf. Auf welche Besonderheiten Sie achten sollten, wie sie ein günstiges und dennoch hochwertiges Dock finden und welche Vorteile die teure Thunderbolt-Technik verspricht, erfahren Sie hier.

Intern oder extern?

Wer einen möglichst aufgeräumten Schreibtisch mag, dürfte sich für die eleganteste Dockinglösung interessieren: Einen Monitor mit USB-C-Eingang und eingebautem Dock. Diese Kombination braucht auf den ersten Blick lediglich noch ein einziges weiteres Kabel, nämlich das Stromkabel zum Monitor – jedenfalls sofern man externe Tastatur und Maus drahtlos anbindet, etwa per Bluetooth, oder auf sie verzichtet. Manche Monitore mit USB-C-Eingang haben noch einen anderen Vorteil, nämlich einen ebenfalls eingebauten Umschalter für Tastatur und Maus. Ein solcher KVM-Umschalter (KVM steht für Keyboard, Video, Mouse) ist praktisch, wenn man

mehrere Rechner mit demselben Monitor koppeln möchte.

Doch ein im Monitor eingebautes Dock hat auch Nachteile, vor allem in Bezug auf Flexibilität und Funktionsumfang. Viele billige und ältere Monitore mit USB-C-Eingang haben nur lahme USB-Buchsen mit 5 Gbit/s (USB 3.2 Gen 1, also die 17 Jahre alte Technik von USB 3.0). Will man eine flotte USB-SSD anschließen, ist mindestens USB 3.2 Gen 2 mit 10 Gbit/s empfehlenswert. Es gibt sogar Monitore mit noch schnellerem Thunderbolt 3 (TB3) beziehungsweise TB4, das kompatibel ist zu USB4.

In jedem Fall muss man sehr genau auf die für das jeweilige Notebook nötige Speiseleistung achten. Manche Monitore liefern maximal 60 Watt und einige zwar 90 Watt, aber nur wenn man die maximale Helligkeit des Bildschirms beschränkt. Zu schwache USB-C-Speisung kann dazu führen, dass ein Notebook während des Betriebs seinen Akku nur sehr langsam oder gar nicht lädt. Mittlerweile gibt es aber auch viele USB-C-Monitore, die mehr als 100 Watt durchs USB-C-Kabel jagen.

Eine weitere Tücke: Manche USB-C-Monitore schalten die Speisung per USB-C ab, wenn man sie abschaltet oder sie sich bei längerem Leerlauf des Notebooks automatisch abdunkeln (Standby). Dann wird auch der Akku im Mobilrechner nicht geladen. Bei bestimmten USB-C-Displays lässt sich dieses Verhalten im Bedienungs-menü abschalten, aber dann schlucken manche davon auch im vermeintlich abgeschalteten Zustand viel Strom.

Schließlich sieht der Schreibtisch nicht immer so aufgeräumt aus wie erhofft. Mancher Monitor mit USB-C-Eingang kommt mit einem klobigen externen Netzteil. Außerdem möchte man vielleicht noch Ethernet und USB-Geräte anschließen, etwa eine Webcam für Videokonferenzen oder eine Backup-SSD. Dann entsteht doch wieder Kabelsalat, den man vielleicht sogar besser verstecken kann, wenn man ein separates Dock verwendet

und unter dem Schreibtisch versteckt. Manche haben dafür eine Kabelwanne, die sich auch nachrüsten lässt. Und es gibt auch Docks mit eingebauter SSD oder SSD-Einbauplatz.

Dock oder Hub?

Die Bezeichnung Dock ist eine Kurzform von Dockingstation; letztere hatten früher proprietäre Anschlüsse und funktionierten nur mit Notebooks bestimmter Hersteller. Mittlerweile haben USB-C und Thunderbolt proprietäre Docks bis auf wenige Ausnahmen abgelöst.

Praktisch jedes Dock hat auch die Funktionen eines USB-Hubs eingebaut. Das Wort Hub stammt von englischen Wort für Radnabe ab; im Deutschen würde man es eher mit „Verteiler“ übersetzen. Ein reiner USB-Hub arbeitet ähnlich wie eine Mehrfach-Schukosteckdose: Er reicht USB-Datenströme vom Host-PC an mehrere Peripheriegeräte weiter – und umgekehrt. Fließen Daten vom PC zur USB-Peripherie, nennt man das Downstream, die umgekehrte Richtung heißt Upstream.

Anders als eine Mehrfachsteckdose für 230 Volt hat ein USB-Hub aber nicht bloß ein paar elektrisch parallelgeschaltete Ausgangsbuchsen. Vielmehr steckt stets ein Hub-Controllerchip drin, der die Signale auch regeneriert. Viele Hubs bieten Zusatzfunktionen: Manche haben einen Netzteilanschluss, um Downstream-Geräte mit Strom zu versorgen, andere leiten Energie von einem angeschlossenen USB-PD-Netzteil zum Host (upstream). In einigen USB-Hubs stecken Ethernet-Controller und Speicherkartenleser.

Dock-Voraussetzungen

Von einem Dock spricht man typischerweise dann, wenn außer Netzteilanspeisung und einigen USB-Downstreamports auch mindestens ein Monitoranschluss vorhanden ist, also HDMI oder Display-Port (DP).

c't kompakt

- Die Schnittstellen USB-C und Thunderbolt transportieren Daten- und Bildsignale sowie Ladestrom über ein einziges Kabel.
- Ab 40 Euro gibt es USB-C-Docks mit HDMI-Ausgang, USB mit 10 Gbit/s und 60 Watt Ladeleistung.
- Teurer und komplizierter wird das Docking, wenn mehrere Monitore, sehr schnelle SSDs und starke Netzteile angebunden werden sollen.

Ein solches Dock funktioniert leider nicht an jeder beliebigen USB-Buchse. Vielmehr muss die Buchse im Host – egal ob Notebook, Tablet, Smartphone oder Desktop-PC – intern passend angebunden sein. Das lässt sich nachträglich nicht ändern, schon gar nicht mit irgendwelchen Adaptern.

Wir beziehen uns hier ausschließlich auf Docks mit USB-C oder Thunderbolt 3, 4 oder 5, womit die Verwirrung schon beginnt. Denn Thunderbolt nutzt seit der dritten Generation (TB3) dieselben Buchsen wie USB-C und USB4 enthält wiederum auch Funktionen von TB3.

Folglich lässt sich an der USB-C-Buchse alleine nicht erkennen, welche Funktionen sie bietet. Beginnen wir mit dem ungünstigsten Fall: Es gibt noch immer Geräte mit USB-C-Buchsen, die darüber ausschließlich USB-Daten mit 5 Gbit/s übertragen. Darüber lässt sich weder ein Notebook laden noch ein Bildsignal schicken. Bei 5 Gbit/s sind Transferraten von 450 MByte/s entsprechend 0,45 GByte/s möglich, was für eine Magnetfestplatte, viele USB-Sticks und auch ältere SSDs mit SATA-Controllern (und USB-Wandlern) genügt. Heutzutage nennt man diese Geschwindigkeit auch USB 3.2 Gen 1.

Die doppelte Transferrate liefert USB 3.2 Gen 2 mit 10 Gbit/s, was für etwas mehr als 1 GByte/s reicht. Das schaffen viele externe SSDs, die man zurzeit ab rund 70 Euro für 1 TByte kaufen kann. Wer häufig Backups zieht oder größere Dateien kopiert, sollte auf USB mit mindestens 10 Gbit/s achten.

Etwas exotisch sind die teureren SSDs mit USB 3.2 Gen 2x2, weil viele Notebooks,



Ein ab etwa 40 Euro erhältliches USB-C-Dock (oben) hat einen Funktionsumfang, der vielen ausreicht. Ein Thunderbolt-Dock (unten) kann mehr, ist aber auch erheblich teurer.



Um alle gewünschten Funktionen von USB-C oder Thunderbolt nutzen zu können, braucht man kompatible Kabel. Hier ist eines für Thunderbolt 5 zu sehen, erkennbar am Blitzsymbol und der Ziffer.

Hubs und Docks deren 20-Gbit/s-Transfermodus nicht beherrschen. Die aktuell schnellsten externen SSDs übertragen per TB3, TB4 oder USB4 mehr als 3 GByte/s zumindest beim Lesen, dafür zahlt man auf die Kapazität bezogen aber auch etwa das Dreifache wie für eine mit 1 GByte/s. Einige wenige SSDs beherrschen bereits TB5 mit etwa 6 GByte/s. Im Alltag fühlt sich eine SSD mit 1 GByte/s schon sehr flott an, mehr braucht man eher in Sonderfällen. Und falls die USB-Buchse Ihres Notebooks nur 5 Gbit/s entsprechend 450 MByte/s schafft, bringt Ihnen eine schnellere USB-SSD nichts.

Vorsicht: Manche Thunderbolt-SSD funktioniert nicht an jedem USB-C-Port. Unter anderem verlangt TB eine stärkere Stromversorgung als ältere USB-Stan-

dards. Deshalb bleibt es wichtig, genau auf die USB-Bezeichnungen zu achten.

TB vs. USB

Die Hüter der USB-Spezifikation lieben das Chaos – anders ist kaum zu erklären, wieso bestimmte Transfermodi und Generationen von USB dermaßen widersinnig benannt wurden. Das geht beim Transfermodus für 5 Gbit/s los, der viele Namen trägt: USB 3.0, SuperSpeed, USB 3.1 Gen 1, USB 3.2 Gen 1. USB4 bringt neue Verwirrung, weil es zu TB3 kompatibel ist. TB3-Geräte funktionieren also auch an USB4-Hosts, aber mit maximaler Geschwindigkeit manchmal nur, wenn man ein TB3-Kabel verwendet. Für die jüngste TB-Generation TB5 braucht man wiederum passende Kabel und sie ist zu USB4 2.0 kompatibel – ja, richtig gelesen, auf USB4 folgt nicht etwa USB5, sondern USB4 2.0.

Der Geräte-Manager von Windows 11 unterscheidet nicht zwischen USB und TB, sondern bezeichnet TB3- und TB4-Geräte als USB4-Geräte. Das macht die Diagnose von Problemen nicht einfacher. Hinzu kommt: Ältere USB-3.x-Hosts sind nicht zu TB kompatibel. Daran lässt sich kein TB-Dock betreiben, da helfen auch keine Adapter.

Immerhin: Notebooks mit aktuellen Prozessoren von Apple, AMD, Intel oder Qualcomm beherrschen meistens USB4, das mit fast allen Docks und Hubs harmonisiert, auch mit älteren Versionen und mit TB3. Doch Vorsicht: Es gibt eine Fülle an

vermeintlichen USB4-Docks, deren Hersteller tricksen. Einige haben zwei Upstream-Buchsen, die mechanisch nur an bestimmte MacBook-Pro-Modelle passen und einen der beiden Ports schlichtweg durchreichen. Viele andere USB4-Docks zu Preisen unter 250 Euro haben keinen einzigen Downstreamport mit 40 Gbit/s, sondern arbeiten intern bloß mit 10 Gbit/s. An manchen USB4-Hosts funktionieren jedoch TB3-Docks mit Transferraten bis 40 Gbit/s für unter 100 Euro.

Bildausgabe

Damit ein USB-C-Dock ein Monitor signal ausgeben kann, muss es an einer dazu geeigneten USB-C-Buchse des Hosts hängen. Bei vielen älteren Notebooks mit mehreren USB-C-Buchsen sind nur bestimmte dafür ausgelegt; Sie müssen also im (Online-/PDF-)Handbuch des Notebooks nachschauen, welche das sind.

Jetzt kommt eine etwas vertrackte, aber zum Verständnis mancher Probleme notwendige Erklärung: USB-C verwendet zur Ausgabe von Bildsignalen den sogenannten DisplayPort Alternate Mode (DP Alt Mode). Dabei sitzt im Host-PC beziehungsweise Notebook ein spezieller Umschaltchip (Multiplexer), der die Bildsignale des internen Grafikprozessors auf bestimmte USB-C-Kontakte legt, sofern ein Monitor angeschlossen wird.

Diese USB-C-Kontakte beziehungsweise Adern im USB-C-Kabel werden also dynamisch für Bildsignale umfunktio-

Kennzeichnung von USB-Typ-C-Buchsen

Kleine Logos neben USB-C-Buchsen sollen eigentlich zeigen, welche Funktionen die jeweilige Buchse bietet; leider fehlen diese Logos bei vielen Geräten.

Spezifikation		USB 2.0	USB 3.2 Gen 1 (USB 3.0)	USB 3.2 Gen 2 (USB 3.1)	USB 3.2 Gen 2x2	USB4 20	USB4 40	Thunderbolt 4
maximale Transferrate		480 Mbit/s (HighSpeed)	5 Gbit/s (SuperSpeed)	10 Gbit/s (SuperSpeed+)	20 Gbit/s	20 Gbit/s	40 Gbit/s	40 Gbit/s
ohne Power Delivery	ohne DisplayPort							
	mit DisplayPort	nicht vorgesehen						
mit Power Delivery	ohne DisplayPort							
	mit DisplayPort	nicht vorgesehen						

niert. Die Folge: Sie können jetzt keine anderen Signale mehr leiten.

Hier liegt der Hase im Pfeffer, weshalb bei USB-C nur ein einziges externes Display pro Buchse möglich ist, also auch nur eines am dort angeschlossenen Dock. Eine Ausnahme sind die wenigen Monitore mit DP-Daisy chaining, auch DP Multi Stream Transport genannt (MST).

Wer mehr als einen externen Monitor anschließen will, fährt mit Thunderbolt besser. TB nutzt zwar USB-C-Buchsen und auch sehr ähnliche Kabel, funktioniert jedoch technisch ganz anders. Denn bei TB verpackt ein Spezialchip die Signale von USB, DP und PCI Express (PCIe) in einen gemeinsamen Datenstrom. Das Geniale daran ist, dass TB die Datentransferraten dynamisch verteilen kann, während der DP Alt Mode von USB-C einfach Adern „hart“ umfunktioniert. Daher lassen sich an ein TB-Dock auch mehrere Monitore anschließen, sogar per USB-C. Letzteres ist an einem reinen USB-C-Dock bisher

USB-Transferraten

Bezeichnung	höchste Transferrate	
	Bitrate	praktisch maximal
USB4 2.0	80 Gbit/s	> 6 GByte/s
USB4 40	40 Gbit/s	> 3 GByte/s
USB4 20	20 Gbit/s	2 GByte/s
USB 3.2 Gen 2x2	20 Gbit/s	2 GByte/s
USB 3.2 Gen 2	10 Gbit/s	1,1 GByte/s
USB 3.2 Gen 1	5 Gbit/s	0,45 GByte/s
USB 2.0	0,48 Gbit/s	0,05 GByte/s
zum Vergleich		
Thunderbolt 5	120 + 40 Gbit/s	nur für Bildsignale
Thunderbolt 5	80 Gbit/s	> 6 GByte/s
Thunderbolt 4	40 Gbit/s	> 3 GByte/s
Thunderbolt 3	40 Gbit/s	> 3 GByte/s
M.2-SSD PCIe 5.0 x4	128 Gbit/s	> 14 GByte/s
M.2-SSD PCIe 4.0 x4	64 Gbit/s	7,8 GByte/s
M.2-SSD PCIe 3.0 x4	32 Gbit/s	3,9 GByte/s
SATA-6G-SSD	6 Gbit/s	0,56 GByte/s
SATA-6G-Festplatte	–	0,33 GByte/s

nicht möglich, weil es intern die Videodaten abzweigt.

Der Nachteil von TB ist allerdings, dass nicht nur im Host-PC, sondern auch

im Dock ein spezieller TB-Controllerchip sitzen muss. Der kostet Geld – TB-Docks sind deutlich teurer als USB-C-Docks – und frisst auch mehr Strom.

Verwirrenderweise gibt es noch ein drittes Verfahren zum Anschluss externer Monitore: DisplayLink. Das steckt in manchen USB-C-Docks mit mehreren HDMI- oder DP-Buchsen. Letztere hängen dann jedoch nicht am Grafikprozessor des Host-PCs, sondern an einem proprietären USB-Wandlerchip der Synaptics-Marke DisplayLink. Der Hersteller beschreibt seine Technik als „Virtual GPU“. Sie hat den großen Vorteil, dass sie an jeder beliebigen USB-Buchse funktioniert, und liefert auch hohe Auflösungen. DisplayLink ist aber eher eine Notlösung für statische Bildinhalte. Denn das Bild erscheint mit erheblicher Verzögerung zum Hauptbildschirm des Notebooks, für 3D-Anwendungen eignet sich DisplayLink gar nicht und verlangt obendrein spezielle Treiber, mit deren Linux-Versionen es häufiger knirscht. Weil DisplayLink viele Nachteile

HANNOVER

Knowledge Move

Vom Wissen zur Wirkung –
Technologietransfer neu gedacht

Jetzt
informieren
und
anmelden

- Konferenz für Neudenker*innen
- 19. Juni 2025
- Karriere-Campus Hannover

www.knowledgemove.de



Gefördert durch die
Landeshauptstadt Hannover,
Fachbereich Wirtschaft



hat, weisen manche Hub-Hersteller darauf nur verklausuliert im Datenblatt hin; daher ist Vorsicht geboten bei USB-C-Docks mit mehr als einer DP- oder HDMI-Buchse.

Transferbremse

Wie oben erwähnt, nutzt ein USB-C-Dock mit Monitoranschluss einige Adern im USB-C-Kabel für Bildsignale. Das kann die maximale Datentransferrate einer gleichzeitig am Dock angeschlossenen USB-SSD mindern. Denn es stehen eben nur vier Adernpaare für schnelle Signale bereit, die sich alle am Dock angeschlossenen Geräte teilen müssen.

Die vertrackten Zusammenhänge haben wir in einer früheren c't-Ausgabe erläutert [1], hier nur so viel: Falls Sie einen Monitor anschließen, der höchstens Full-HD-Auflösung mit 1920 × 1080 (oder 1920 × 1200) zeigt, sollte eine am Dock angeschlossene USB-SSD mit 10 Gbit/s ihre volle Datenrate liefern. Bei einem Display mit 4K oder einem der schicken superbreiten Monitore kann die SSD-Geschwindigkeit absacken, im Extremfall auf USB-2.0-Niveau von nur 45 MByte/s. Bei älteren Notebooks und Monitoren, die nur DP 1.2 beherrschen, ist das Risiko höher als bei modernen mit DP 1.4 oder gar DP 2.0.

Um diese Transferbremse zu vermeiden, lässt sich die Bildwiederholrate mancher 4K-Monitore per Einstellmenü auf ruckelige 30 Hertz beschränken. Einige mit USB-C-Eingang wählen diesen Modus sogar in der Werkseinstellung. Besser ist es in solchen Fällen, den Mo-

onitor auf 60 Hz einzustellen und eine USB-SSD dann eben nicht via Dock anzuschließen, sondern an einer anderen USB-Buchse direkt am Notebook einzustecken.

Powerplay

Einschränkungen von USB-C und TB können auch bei der Stromversorgung nerven. Wie erwähnt können Docks und Hubs mit USB-C oder Thunderbolt grundsätzlich die Speiseleistung eines dort angeschlossenen Netzteils an ein Notebook weiterreichen. Das klappt aber wiederum nur unter gewissen Bedingungen wie erwartet. Es geht wieder damit los, dass die jeweils verwendete USB-C-Buchse des Notebooks tatsächlich auch für USB-PD beschaltet ist – das gilt nicht immer für alle Buchsen eines Notebooks.

Außerdem müssen Netzteil, Dock und Kabel mit dem Notebook harmonisieren. Viele Business-Laptops begnügen sich mit Netzteilen, die nominell 65 oder sogar nur 45 Watt liefern. Einige mobile Workstations verlangen hingegen 100 Watt, manche Gaming-Notebooks noch mehr. Das ist mit der aktuellen Version von USB-PD 3.x Extended Power Range (EPR) grundsätzlich möglich. Aber dafür müssen Kabel und Dock/Hub ausdrücklich geeignet sein. Die einfachsten Kabel vertragen höchstens 3 Ampere (3 A) sowie die 20 Volt der älteren USB-PD-Versionen. Kabel für 5 A haben in einem Stecker einen winzigen Chip eingebaut (E-Kabel), der diese Strombelastbarkeit signalisiert und dem Netzteil und Notebook auslesen. Ebenso ist ein E-Kabel für die maximal 48

Volt von USB-PD EPR mit bis zu 240 Watt nötig.

Thunderbolt-Docks sind teurer als die meisten mit USB-C, oft liegt aber ein USB-PD-Netzteil bei. Das ist sehr praktisch, wenn man das TB-Dock im Büro verwendet und das zweite Netzteil in der Tasche bleiben kann. Die meisten TB-Docks funktionieren auch nur mit angeschlossenem Netzteil. Das stört im Büro nicht, aber sie eignen sich dadurch nicht für unterwegs. Die meisten USB-C-Docks funktionieren hingegen auch, wenn das Notebook sie speist. Die an den Downstream-Ports angeschlossenen Geräte sollten dann aber nicht zu stromdurstig sein.

Kabelsalat

Kabel für USB-C und Thunderbolt dürfen nicht beliebig lang sein. Die Spezifikationen sehen keine konkrete Höchstlänge vor, aber in der Praxis wird es ab zwei Metern schwieriger. Mit längeren Kabeln drohen häufiger Probleme in vier Disziplinen: bei der maximal erreichbaren USB-Datentransferrate, Bildschirmauflösung und Bildwiederholrate sowie bei der Speiseleistung.

Beim Kabelkauf müssen Sie sehr genau aufpassen, weil es sehr unterschiedliche Ausführungen gibt. Den einfachsten USB-C-Ladekabeln fehlen schlichtweg die Adern für schnelle Datenübertragung. Und um mehr als 60 Watt Leistung zu übertragen, sind sogenannte E-Kabel mit einem winzigen Chip im Stecker nötig, der den beteiligten Geräten die Eignung für 5 Ampere Strom signalisiert. Für USB-PD Extended Power Range (EPR) braucht

Docking per Thunderbolt und USB-C: Funktionen

Dock-Typ	Thunderbolt 5 (TB5)	Thunderbolt 4 (TB4)	Thunderbolt 3 (TB3) oder USB4	USB-C mit USB 3.2 Gen 2 und DP Alt Mode	Monitor mit USB-C
Anforderung an Host-PC (Notebook) und Kabel					
Host-Schnittstelle	TB5	TB4	TB4, TB3, USB4	USB-C mit DP Alt Mode und PD	USB-C mit DP Alt Mode und PD
Kabeltyp	TB5	TB4	TB4, TB3, USB4	USB-C oder TB3/4	USB-C oder TB3/4
Monitor-Anschlussmöglichkeiten am Dock					
Auflösung > 4K	✓ (bis 480 Hz; 8K/165 Hz)	✓	✓	möglich	✓ (je nach Monitor)
Monitore mit 4K/60 Hz	3 (oder 2 × 8K/60 Hz)	2	1 (2 möglich)	1 ¹	je nach Monitor
Monitor per USB-C anschließbar	✓	✓	✓	– ²	selten, manche mit DP
Downstream-Ports mit TB	je nach Gerät	je nach Gerät	je nach Gerät	–	–
Downstream-Ports mit USB-C und Alt Mode	je nach Gerät	je nach Gerät	je nach Gerät	– ²	–
Datenübertragung					
maximale Datenrate TB	80 (120/40) Gbit/s	40 Gbit/s	40 Gbit/s	–	–
maximale Datenrate USB	10 Gbit/s ³	10 Gbit/s ³	10 Gbit/s ⁴	10 Gbit/s ⁵	10 Gbit/s ⁶
Ladeleistung					
USB-PD 3.1 (240 W EPR)	✓	bisher nicht	bisher nicht	bisher nicht	bisher nicht
USB-PD 3.0 (maximal 100 W)	✓	✓	je nach Gerät & Kabel	je nach Gerät & Kabel	je nach Gerät & Kabel

¹ nur ab DP 1.4 gleichzeitig mit USB 3.2 Gen 1/2 mit 5 oder 10 Gbit/s, sonst max. Full HD oder DisplayLink-Chip ² bei 4K nur mit 30 Hz oder via DisplayLink-Chip
³ USB 3.2 Gen 2x2 mit 20 Gbit/s ist möglich, wird aber selten umgesetzt ⁴ USB4 kann im Prinzip auch 40 Gbit/s, praktisch nutzen viele aktuelle USB4-Geräte eigentlich TB3
⁵ funktioniert nicht gleichzeitig mit 4K/60 Hz per DP 1.2 ⁶ bei vielen USB-C-Monitoren höchstens 5 Gbit/s

man wiederum ausdrücklich geeignete Strippen, die höhere Spannungen vertragen. Thunderbolt-Kabel erkennt man meistens an einem Blitzsymbol. Für TB5 mit 80 Gbit/s sind bessere Kabel nötig als welche für TB3 oder TB4; gut ist, dass alle TB-Kabel auch für USB-C und USB-PD mit 5 A taugen.

Ein ärgerliches Problem sind die wenigen Notebooks, die proprietäre USB-C-Ladetechnik nutzen. Manche älteren Dell-Notebooks kooperieren trotz USB-C-Buchse nur mit bestimmten Dell-Netzteilen und manche älteren Gaming-Notebooks tricksen, um ohne USB-PD EPR über 100 Watt Ladeleistung zu kommen. Damit ist Docking schwierig.

Wahlhilfe

Den meisten Leuten genügen die Möglichkeiten eines USB-C-Docks mit HDMI 2.0 oder DisplayPort 1.4, USB 3.2 Gen 2 und USB-PD-Speisung, das ab etwa 40 Euro zu haben ist. Damit lassen sich ein einzelner 4K-Monitor mit ergonomischen 60



Apple kennzeichnet die drei Thunderbolt-Buchsen des Mac mini M4 nur mit einem Blitzsymbol. Welche TB-Generation sie beherrschen, erfährt man erst im Datenblatt.

Hertz Bildrate, eine flotte USB-SSD mit 1 GByte/s, ein 65-Watt-Netzteil sowie noch ein paar weitere USB-Geräte anschließen. Für einige Euro mehr findet man Docks mit mehr USB-Buchsen, Ethernetport und SD/microSD-Kartenleser. Letztere gehören typischerweise aber nicht zu schnellsten Sorte.

Komplizierter wird es, wenn mehr als ein externer Monitor per Dock angeschlossen werden soll, dazu noch eine superschnelle SSD oder ein Netzteil mit 100 Watt oder mehr. Dabei sollte man vermeintliche USB4-Docks meiden, die

man daran erkennt, dass sie keine Downstream-Buchse mit 40 Gbit/s haben. Thunderbolt ist dann die bessere, aber leider auch deutlich teurere Wahl.

(ciw@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Christof Windeck, Gut andocken, Notebooks komfortabel anschließen per USB-C oder Thunderbolt, c't 13/2023, S. 54
- [2] Lutz Labs, Schnell dran, schnell drin, Sieben Docks mit Thunderbolt 4 im Test, c't 13/2023, S. 60

heise jobs

IT Tag

Die IT-Jobmesse in Hamburg,
15. Mai 2025

Das erwartet dich:

- **Bewerbungsfotos**
- **Lebenslaufcheck**
- **NEU: Speed-Talk**

Die Veranstaltung ist kostenlos.

Jetzt
anmelden



Unsere Partner

ALLGEIER PUBLIC

dataport

GM.SH
Gebäudemanagement
Schleswig-Holstein AöR

RHEINMETALL

TK
Die Techniker

heise group

Jobware
... da hab' ich den Job her!



Starke Arme

Tischhalterungen und Adapter für Monitore im Test

Monitorhalterungen schaffen Platz auf dem Schreibtisch und halten auch mehrere Monitore in der gewünschten Position. Mit besonders flexiblen Haltern schiebt, zieht und dreht man den Monitor jederzeit in die optimale Lage. Spezielle Adapter nehmen Mobildisplays oder auch Notebooks auf.

Von Rudolf Opitz

Wer sich die Rückseite seines Monitors anschaut, entdeckt oft, dass der Ständer mittig über eine quadratische Platte mit dem Monitor verbunden ist. Löst man zwei bis vier Schrauben oder drückt auf einen Entsperrhebel am unteren Rand dieser Platte, trennen sich Ständer und Monitor voneinander. Die meist quadratische Befestigungsplatte ist nach den Vorgaben der Video Electronics Standards Association (VESA) standardisiert – oder sollte es jedenfalls. Denn eine Haltevorrichtung nach VESA ist Voraussetzung, um Monitore an Arm- oder Auslegerhalterungen anzubringen, beliebig zu positionieren oder in Gruppen auszurichten.

Für den Test haben wir sieben aktuelle Monitorhalter eingekauft: Ergotron LX Pro 45-682, Grifema GB2003-1 und LogiLink BP0168 tragen jeweils ein Dis-

play, zwei Bildschirme halten Bontec MDM002L, Digitus DA-90427 und Putilsen Mount LDT80-C24P. Die Halterung Putorsen LDT66-C02V hat VESA-Platten für drei Schirme. Außerdem haben wir uns verschiedene Adapter für die standardisierte Displaybefestigung angeschaut: Der Dual-Monitor-Adapter deleyCON MK-W-99 erweitert eine ausreichend starke Einarmhalterung um zwei VESA-Halter, die Laptop-Halterung Worldlift WLLH04 wird ebenfalls an eine VESA-Platte geschraubt und trägt Notebooks, aber auch Tablets und Kleinmonitore zwischen 12 und 17 Zoll Diagonale. Der suptek WK002 besteht aus vier Metallauslegern, die auf der einen Seite die Ränder eines Monitors greifen und auf der anderen Seite an eine VESA-Platte geschraubt werden. Damit lassen sich Monitore bis 27 Zoll ohne eigene VESA-Auf-



Ergotron LX Pro 45-682

Die Montage ist einfach: Die beiden Armteile steckt man auf die Säule der Tischklemme, die VESA-Platte ist fest mit dem Kopf des Arms verbunden und wird zusammen mit dem montierten Monitor auf das obere Armsegment gesteckt. Der lange Inbusschlüssel zum Einstellen der Federkraft erreicht die Stellschraube erst, wenn der Oberarm exakt waagrecht steht – fummelig! Ein Fenster gewährt Blick auf die Feder und eine Spanmarkierung. Die Qualität des LX Pro lässt kaum Wünsche offen, der Preis ist aber sehr hoch.

- 👍 hohe Qualität
- 👍 einfache Montage
- 👎 sehr teuer

Preis 175 Euro



Grifema GB2003-1

Als einzigem Testhalter liegt dem günstigen Einarmer ein reiches Sortiment an Schrauben und Abstandhaltern für die VESA-Montage bei. Der Aufbau bereitet keine Probleme. Die Tischklemme ist beidseitig gummiert. Fummelig wird es erst beim Durchführen der Kabel durch Blenden und den unteren Armteil. Beim Schwenken des Displays vermittelt der Halter ein schwammiges Gefühl, ständig schwenken will man den Grifema-Arm deshalb nicht, als statische Halterung, die nur selten bewegt wird, eignet er sich aber gut.

- 👍 günstig
- 👍 VESA-Schrauben + Abstandhalter
- 👎 schwammige Mechanik

Preis 30 Euro



LogiLink BPO168

Der robuste Schwenkarm des BPO168 trägt Bildschirme bis 49 Zoll und 20 Kilo. Die stabile Fußklemme zieht man von oben durch die Basis der Halterung an, zum Nachziehen muss der Arm entfernt werden. Ein wechselbarer Ring in der Basis begrenzt bei Bedarf den Bewegungsbereich des Arms auf 180 Grad, sonst sind es 360 Grad. Die Montage fällt leicht, auch das Verlegen der Kabel klappt wegen des großen Arms besser als etwa beim Modell von Grifema. Leider liegen für die VESA-Platte nur kurze Schrauben bei.

- 👍 stabil und günstig
- 👍 Rotationsbegrenzung
- 👎 nur kurze VESA-Schrauben

Preis 64 Euro

nahme an standardisierten Monitorarmen befestigen.

VESA versenkt

Das größte Problem bei der Montage von Displays an die Halterungen ist die eigenwillige Umsetzung des VESA-Standards durch viele Monitorhersteller. Der meist quadratische VESA-Port sitzt mittig auf der Rückseite der Anzeigegeräte. Vier Schrauben im Abstand von jeweils 75 oder 100 Millimetern sollen eine externe Halteplatte im VESA-Format mit dem inneren Metallchassis des Bildschirms verbinden, um so das Gewicht sicher zu tragen.

Den VESA-Port verwenden auch die Monitorhersteller selbst für ihre mitgelieferten Fußständer. Deren VESA-Platten sind jedoch wie der Bildschirm mit Plastik ummantelt und die VESA-Anschlüsse im Kunststoff um 5 bis 10 Millimeter versenkt, damit die Halteplatten der Ständer bündig mit dem Displaygehäuse abschließen. Das sieht schöner aus.

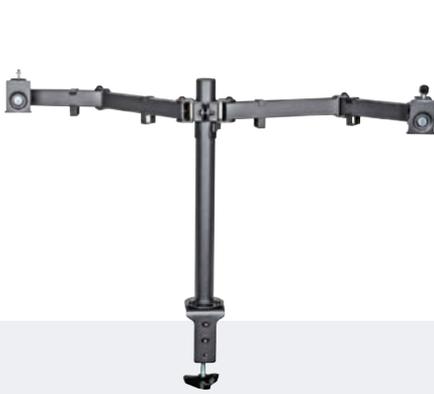
Einige Hersteller (Dell, Eizo, LG, Philips) verschrauben die Fußständer nicht, sondern nutzen Haltehaken oben und eine schnell lösbare Gegensicherung, die sich durch Drücken eines Knopfes oder Verschieben eines Hebels entriegelt lässt. Hier bietet die quadratische Versenkung zusätzliche Führung beim Ein- und Ausklinken des Standfußes.

Leider halten sich viele Monitorhersteller nicht an die VESA-Vorgaben, nach der das Anschlussfeld für VESA 100 × 100 Millimeter mindestens 117 × 117 Millimeter betragen soll [1]. Doch nicht immer sind die Monitorhersteller schuld: Im Test reizten die VESA-Platten des Putorsen-Halters die 117 Millimeter voll aus, dabei soll die Kantenlänge der Platten 115 Millimeter nicht übersteigen.

Schwieriger wird es, wenn der Monitor 75-Millimeter-VESA hat. Die Anschlussplatten der getesteten Halterungen haben zwar Bohrungen für 75 und 100 Millimeter, aber immer 100-Millimeter-

VESA-Abmessungen. Die VESA-Platten der Halterung liegt dann auf dem Gehäuse auf, der VESA-Port des Monitors aber einige Millimeter tiefer. Im Idealfall liegen der Halterung passende Schrauben und ein Sortiment von Abstandhaltern bei, doch das fanden wir ausgerechnet nur bei dem günstigen Arm von Grifema. Bei allen anderen Halterungen kommt man ohne den Gang zum nächsten Baumarkt nicht weiter.

Zu lang dürfen die Schrauben (M4, bei schweren Monitoren und TVs M5) keinesfalls sein, damit sie nicht auf das Panel oder eine Leiterplatte drücken. Bei kleineren und leichteren Monitoren mit versenktem VESA-Port kann man die Halteplatte auch ohne Abstandhalter anschrauben, doch ist beim Anziehen der Schrauben etwas Fingerspitzengefühl nötig, damit der Monitor zwar sicher sitzt, sich die VESA-Platte aber nicht durchbiegt. Das könnte zu Problemen beim Befestigen am Arm der Halterung führen.



Bontec MDM 002L

Der Bontec 2-Arm-Ständer besteht aus einer vertikalen Säule und einem vormontierten horizontalen Doppelarm mit mittiger Fixierung, je zwei sehr straffen Gelenken auf jeder Seite und zwei VESA-Platten. Die Montage gelingt auch wegen der guten Anleitung problemlos. Fürs Kabelmanagement gibt es einfache Klipse. Bontec legt zusätzlich längere VESA-Schrauben, aber keine Abstandhalter bei. Zur Höhenverstellung braucht man einen Inbuschlüssel. Für ständiges Hin und Her eignet sich der Ständer nicht.

- ↑ günstig
 - ↑ robust
 - ↓ Monitorausrichtung fummelig
- Preis 37 Euro



Digitus DA-90427

Der schwere Doppelarm-Halter eignet sich auch für Curved-Monitore. Der große Klemmfuß stellt für jeden Arm eine eigene Achse für die unteren Armeile bereit. Die oberen Armsegmente enthalten je eine Gasdruckfeder und stemmen je 15 Kilo. Die mit Displays bestückten VESA-Platten werden von oben in die Halter der Arme geschoben und von einer Feder fixiert. Beim Rotieren ins Hochkantformat stoppen die Gelenke bei 90 Grad. In Test wackelte das Display, bis wir die Schrauben der Plastikführungen an den Platten nachzogen.

- ↑ robust
 - ↑ Anschlag bei Hochkant
 - ↓ nur kurze VESA-Schrauben
- Preis 125 Euro



Putilsen Mount LDT80-C024P

Der sehr schwere Zweiarmlhalter taugt für Curved-Displays und Fernseher bis 57 Zoll. Dazu liegen VESA-Adapter auf 200 Millimeter bei. Wie beim LogiLink-Modell zieht man die Klemmplatte durch die Zentralachse an – späteres Nachziehen ist deshalb aufwendig. Für die VESA-Montage liegen nur kurze Schrauben bei (M4 und M5). An den kräftigen, leichtgängigen Armen lassen sich auch schwere TVs hochkant stellen – dann stoppt das Gelenk – und Breitbildmonitore kann man übereinander anordnen.

- ↑ sehr robust
 - ↑ 200-mm-VESA für TVs
 - ↑ Anschlag bei Hochkant
- Preis 190 Euro

Quadropus

Manchen älteren oder sehr billigen Monitoren fehlt der VESA-Port. Hierfür gibt es Haltearme, welche die Ränder des Monitors umfassen und auf der Monitorrückseite mit einer VESA-Platte verschraubt werden. Wir haben uns im Test den mit 14 Euro eher billigen Halter suptek WK002 angeschaut, der sich für Monitore bis 27 Zoll eignen soll (siehe Bilder S. 37).

Der suptek-Adapter besteht aus vier Metallleisten, Plastikgreifern und einem Schraubensortiment. An das eine Ende der Leisten kommt je ein Plastikgreifer, die anderen Enden schraubt man in die vier Bohrungen einer VESA-Halteplatte. Die sehr fummelige Montage erinnert an mäßige Ikea-Lösungen und gelingt selbst bei einem 24-Zoll-Monitor nur zu zweit: Um die VESA-Platte mittig in Position zu halten, gleichzeitig die vier Halter am Gehäuserand anzuordnen und mit einem Schraubendreher zu spannen, braucht man mindestens vier Hände.

Bei stark gewölbter Monitorrückseite rutschen die Greifer beim Ausrichten des Displays an der Halterung gerne mal vom Rand ab. Curved Displays gehen gar nicht. Die maximale Monitorstärke ist auf knapp sieben Zentimeter begrenzt. Der Adapter von suptek empfiehlt sich nur als Notlösung, und wenn der Monitor am Halter hängt, sollte man ihn möglichst nicht mehr bewegen. Auch optisch machen die hässlichen Greifarme am Monitor keinen guten Eindruck, immerhin verdecken Kapfen aber die Schraubenköpfe in den Greifern. Es gibt ähnliche und meist teurere Lösungen, die aus weniger Einzelbauteilen bestehen, etwas mehr Stabilität versprechen, aber weitere Einschränkungen bei Größe und Dicke der Displays haben.

Statisch oder dynamisch?

Die Monitorhalter im Test bestehen aus einer zentralen Haltestange oder einem Fußrohr auf der Basisplatte. Darauf sitzen ein oder mehrere Glieder, die sich an den

Gelenken um 360 Grad rotieren lassen, sofern keine Maßnahmen zur Beschränkung getroffen wurden. Der Arm von LogiLink lässt sich über einen Stoppring in der Basis auf 180 Grad begrenzen. Das kann verhindern, dass bei einem Schwenk die Topfpflanze vom Schreibtisch gewischt wird.

Die oberen Armsegmente, welche die Displays tragen, enthalten eine verstellbare Gasdruckfeder oder eine Stahlfeder (Ergotron), die das Verschieben auch schwerer Bildschirme erleichtert. Die Gegenkraft der Feder muss bei der Montage so eingestellt werden, dass der Schirm nach Verschieben an seinem Platz bleibt. Sinkt er nach Loslassen auf den Schreibtisch, ist die Federkraft zu schwach, schwebt er gen Zimmerdecke, ist sie zu hoch. Richtig eingestellt kann das Display an einem solchen Halter spontan geschwenkt werden, um das Bild den Kollegen zu zeigen oder Platz zu schaffen.

Die Monitorhalter von Bontec und Putilsen gleichen dagegen Stativen, bei

WIR TEILEN KEIN HALBWISSEN. WIR SCHAFFEN FACHWISSEN.



03.06.



WEBINAR

KI-Schreibwerkzeuge im Praxiseinsatz

Wir zeigen Ihnen, wie Sie ein für Ihren Arbeitsalltag passendes Tool auswählen, gewinnbringend einsetzen und die Ergebnisse der KI kritisch prüfen.

04.06.



WEBINAR

Passkeys statt Passwörter

Wir erläutern was Passkeys sind, wie sie funktionieren und vor allem, wie man sie im Alltag nutzen kann.

11.06.



WORKSHOP

Einführung ins Threat Modeling

Etablieren Sie IT-Security als Mindset und lernen Sie Threat Modeling als leichtgewichtige Methode kennen, um Security frühzeitig zu adressieren.

17.-24.06.



WEBINAR

IT-Security für Nicht-Nerds

Lernen Sie die Grundlagen der Sicherheit im Netz kennen und erhalten Sie praktische Tipps zur Datensicherheit für den Alltag.

19.06.



WEBINAR

Jira verstehen und nutzen

Sie erfahren, wie Sie das Tool gezielt einsetzen, um Projekte zu organisieren und Aufgaben effizient zu steuern.

25.06.



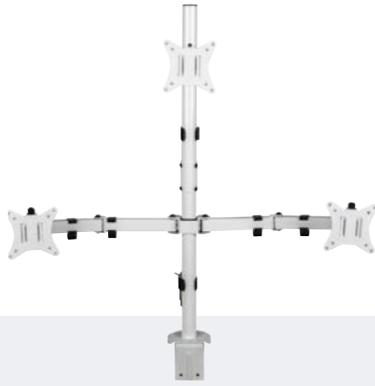
WEBINAR

Hacken für Anfänger

Unser c't-Redakteur erklärt, wie Sie offline in einer sicheren Umgebung erste Hacking-Gehversuche unternehmen.

Sichern Sie sich Ihren Frühbucher-Rabatt:

[heise.de/ct/Events](https://www.heise.de/ct/Events)



Putorsen LDT66-C02V

Der Putorsen-Ständer für drei Monitore gleicht einem erweiterten Bontec-Halter: Die vertikale Zentralstange ist mit einer zweiten Stange verlängert, beide muss man über eine Metallhülse miteinander verschrauben – der fummeligste Teil der Montage. Ein horizontaler Arm mit Gelenken trägt zwei Monitore, ein weiterer VESA-Halter sitzt direkt auf der Zentralstange. Die zu großen Aufnahmeplatten entsprechen nicht dem VESA-Standard. An der Verarbeitung und dem Material wurde gespart, stabil ist der Halter aber.

- ↑ günstig
 - ↓ VESA-Platten zu groß
 - ↓ Monitorausrichtung fummelig
- Preis 50 Euro



deleyCON MK-W-99

Mit dem deleyCON-Adapter lässt sich ein kräftiger Monitorhalter für zwei Displays erweitern. Er besteht aus einer starken, leicht nach hinten gebogenen Stange, an deren Enden zwei verschiebbare VESA-Platten sitzen, an die man die Monitore direkt anschraubt. Eine mittige VESA-Platte schraubt man an den zu erweiternden Halter, der das Gewicht beider Monitore und des Adapters (2,7 kg) tragen muss. Dazu sind vier Hände nötig. Beide Monitore lassen sich nur wenig schwenken, fürs Kabelmanagement gibt es Halteklips.

- ↑ stabiler Adapter
 - ↓ Montage schwierig
 - ↓ Anleitung nicht eindeutig
- Preis 32 Euro



Worldlift Laptop-Halterung WLLH04

Die Halterung besteht aus einem Metalltablett, auf das kleinere Notebooks bis 17 Zoll (Gehäuse), Tablets oder Kleindisplays passen. Zur Montage verschraubt man den VESA-Port einer Halterung mit der halben VESA-Anschlussplatte, die im Winkel von 45 Grad zur Tablettfläche abgebogen ist. Zwei vertikal verschiebbare Plastikhalter fixieren Notebooks. Die instabilen Klammern verhindern nur das Herunterfallen von Geräten ab 12 Zoll, kleine Tablets halten sie nicht, wenn man sie senkrecht stellt.

- ↑ günstige Lösung
 - ↓ nur Notebooks 12 Zoll bis 17 Zoll
 - ↓ Plastikklammern instabil
- Preis 23 Euro

denen man zum Verstellen erst eine Halteschraube oder Klemme lösen muss. Beide haben eine zentrale vertikale Stange, an der per Klemmvorrichtung eine horizontale Trägerstange mit den VESA-Platten angebracht ist. Die Trägerstange hat zwar Gelenke, um das Display vor- und zurückzubewegen, doch braucht man viel mehr Kraft dafür als mit den Federarmen der dynamisch verstellbaren Halterungen. In den Armteilen der dynamischen Halter lassen sich Anschlusskabel gut verstecken, bei den statischen Haltern gibt es dafür Klips an den Stangen.

Die Basis trägt

Die Halterungen müssen fest mit einem Schreibtisch verbunden werden, der nicht nur das ganze Gewicht, sondern auch die Zugkräfte beim Ausschwenken der Bildschirme trägt. Bei einem kleinen Arm mit einem Sechs-Kilo-Monitor ist das noch kein Problem, doch wir haben auch Halter wie den Putilsen Mount im Test, der zwei

Großbildschirme mit je 27 Kilo – also bis zu 54 Kilogramm – trägt und via Federkraft frei beweglich hält. Um die auftretenden Kräfte zu verteilen, nutzen diese Halterungen großflächige Basen. Auch die Klemmplatten unter dem Tisch nehmen viel Fläche ein.

Gibt es unter dem Schreibtisch Vorrichtungen und Installationen (Kippmechaniken, Kabelschienen), finden die Klemmplatten und die Gewindeschrauben oft nicht genug Platz für eine sichere Befestigung. Ist etwas Raum zwischen Tischplatte und Untertischinstallation vorhanden, können Klemmplatten, bei denen das Feststellgewinde über der Tischkante im Sockel liegt, zwischen Tischunterseite und Kabelkanal passen. Solche Sockel haben im Test die Halterungen von LogiLink und Putilsen Mount: Deren Klemmplatten sind nur sechs Millimeter dick.

Lassen sich die Platzprobleme bei der Klemmmontage nicht lösen, bleibt die Durchtisch-Variante, bei der man aller-

dings ein 5 bis 10 Millimeter großes Loch durch den Schreibtisch bohren muss. Bis auf die Halterung von Ergotron, bieten alle Monitorständer diese Option der „Ösen-Basis-Montage“. Meist demontiert man dabei den Fuß oder es liegt eine besondere Gewindestange für die Tischdurchführung bei, an die man die Gegenplatte unter dem Tisch schraubt.

Fazit

Wer nur eine Halterung für die starre Befestigung eines oder mehrerer Bildschirme braucht, kann zu jedem der Testkandidaten greifen. Die Maximalgewichte sind bei halbwegs aktuellen Monitoren mittlerer Größe selten ein Problem. Die Stativhalter von Bontec und Putorsen nerven zwar beim Ausrichten der Displays, doch nur bei der Montage. Außerdem eignen sie sich gut, wenn der Schreibtisch an einer Wand steht.

Schwenkarme bieten mehr Freiheit, denn bei ihnen ist das Verschieben und

Schwenken der Monitore im Betrieb kein Problem – solange genug Raum vorhanden ist. Den günstigen, aber etwas wackeligen Arm von Grifema will man nur selten bewegen, doch eignet er sich ausgezeichnet als unauffällige Halterung, die schon hinter einem 24-Zoll-Monitor verschwindet. Mehr Stabilität bietet die robuste Halterung von LogiLink, die für 64 Euro bereits 20 Kilo sicher trägt. Sollen es mehr Monitore der oberen Gewichtsklasse sein, empfiehlt sich eine höhere Investition: Dem sehr stabilen Doppelarm von Digitus kann man bedenkenlos auch mittelgroße Curved-Displays bis 35 Zoll anvertrauen. Großformat-Monitore und Fernseher bis beachtlichen 27 Kilogramm pro Arm trägt der Putilsen Mount. Der kostet zwar fast

Die vier Leisten des VESA-Adapters von suptek greifen den Displayrand und sind zentral mit einer VESA-Halteplatte verschraubt. Bei gewölbten Monitorrückseiten ist das nicht sehr stabil und optisch überzeugt der suptek-Greifer auch nicht gerade.



200 Euro, aber wer mit einer Hand einen schweren 43-Zoll-Fernseher mal eben ins Hochformat gedreht hat, wird der Investition nicht nachtrauern. (rop@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Benjamin Kraft, Gib mir Halt!, Tischhalterungen für bis zu vier Monitore, c't 15/2020, S. 110

Monitor-Tischhalterungen und VESA-Adapter

Typ	Halter für einen Monitor			Halter für zwei Monitore			Halter für drei Monitore	VESA-Adapter		
Modell	LX Pro 45-682	Grifema GB2003-1	LogiLink BP0168	Bontec MDM 002L	2-Arm-Halterung DA-90427	Dual Monitor Tischhalterung LDT80-C024P	Halterung 3 Monitore LDT66-C02V	Dual-Monitor-Adapter MK-W-99	NICHT-VESA Adapter WK002	Universal Laptop Halterung WLLH04
Hersteller	Ergotron	Ibergrif Griferias,S,L	2direct GmbH	Bontec	Digitus	Putilsen Mount	Putorsen	deleyCON	suptek	Worldlift
Typ	Federarm	Federarm	Federarm	Gelenkstativ	Federarm	Federarm	Gelenkstativ	Stange mit VESA-Adapter	VESA-Adapter	Tablett mit VESA-Adapter
max. Gewicht pro Monitor ¹	1,8-10 kg	9 kg	20 kg	10 kg	15 kg	2-27 kg (- 22 kg curved)	9 kg	10 kg ²	8 kg ²	9 kg ²
min. / max. Displaydiagonale ¹	bis 34"	13-32"	17-49"	13-32"	15-35"	24-57"	13-32"	13-27"	13-27"	12-17"
Besonderheiten	mit langer Haltestange lieferbar	mit Abstandshaltern für versenkte VESA-Ports	Anschlagring für 180°, um Rotation des Arms um 360° zu verhindern	–	Federmechanismus am VESA-Halter zum schnellen Entfernen der Monitore	200-mm-VESA-Adapter für Fernseher	–	Arm muss zweifaches Monitorgewicht plus Gewicht des Adapters tragen	Monitorstärke 25,4-69,8 mm	für Notebooks, Tablets
Montage										
Tischplattenstärke	10-5 mm oder bis 60 mm	10-65 mm	12-50 mm	10-48 mm oder bis 76 mm	10-48 mm oder bis 85 mm	10-50 mm	10-45 mm, oder bis 85 mm	–	–	–
Tischklemme / Schraubmontage	✓ / –	✓ / ✓ (Ösen-Basis-Montage)	✓ / ✓ (Ösen-Basis-Montage)	✓ / ✓ (Ösen-Basis-Montage)	✓ / ✓ (Ösen-Basis-Montage)	✓ / ✓ (Ösen-Basis-Montage)	✓ / ✓ (Ösen-Basis-Montage)	–	–	–
Lochabstand für VESA-Platte / Kantenlänge Platte	75, 100 mm / 115 mm	75, 100 mm / 111 mm	75, 100 mm / 116 mm	75, 100 mm / 115 mm	75, 100 mm / 115 mm	75, 100, 200 mm / 116 mm	75, 100 mm / 117 mm	75, 100 mm / 116 mm	75, 100 mm / –	75, 100 mm / –
Kabelführung	Armdurchführung	Armdurchführung	Armdurchführung	Klipse und Schlaufen	Armdurchführung	Armdurchführung	Klipse und Schlaufen	Klipse und Schlaufen	keine	keine
Bewegungsfreiheit										
Höhenverstellung (dynamisch)	✓ (✓)	✓ (✓)	✓ (✓)	✓ (–)	✓ (✓)	✓ (✓)	✓ (–)	– (abhängig von Armhalterung)	– (abhängig von Armhalterung)	– (abhängig von Armhalterung)
drehen / schwenken	360° / +90° bis -90°	360° / +90° bis -90°	-180° bis +180° / +90° bis -90°	360° / +90° bis -90°	-90° bis +90° / -180° bis +180°	+90° (Uhrzeigerichtung) / +90° bis -90°	+180° bis -180° / +90° bis -90°	+15° bis -15° / –	–	–
neigen vor / zurück	+15° bis -70°	+90° bis -45°	+50° bis -20°	+90° bis -90°	+45° bis -45°	+60° bis -20°	+45° bis -45°	+45° bis -45°	–	–
Hochformat möglich / arretierbar	✓ / –	✓ / –	✓ / –	✓ / –	✓ / – (nur Anschlag)	✓ / – (nur Anschlag)	✓ / –	✓ (abhängig vom Arm)	✓ (abhängig vom Arm)	✓ (abhängig vom Arm)
Bewertung										
Verarbeitung / Mechanik	⊕⊕ / ○	○ / ○	⊕ / ⊕	○ / ⊕	⊕ / ⊕⊕	⊕ / ⊕	○ / ⊖	○ / ⊕	○ / ⊖	⊕ / ○
Anleitung / Montage	○ / ⊕	⊕ / ○	⊕ / ⊕	⊕ / ○	⊕ / ⊕	:3 / ○	○ / ○	○ / ⊖	○ / ⊖	⊕ / ⊕
Preis / Garantie	175 € / 10 Jahre	30 € / k.A.	64 € / k.A.	37 € / k.A.	125 € / k.A.	190 € / k.A.	50 € / k.A.	32 € / k.A.	14 € / k.A.	23 € / k.A.

¹ Herstellerangabe ² Maximalbelastung der Halterung beachten! ⊕⊕ sehr gut ⊕ gut ○ zufriedenstellend ⊖ schlecht ⊖⊖ sehr schlecht ✓ vorhanden – nicht vorhanden k.A. keine Angaben

Brechstange ausgepackt

Schwarz-roter Koalitionsvertrag: Mit Zwang, Überwachung und Reformen zum Digitalland

Onlinezwang für Antragsteller, verpflichtende Kartenterminals im Handel, Vorratsdatenspeicherung: Bei Digitalisierung und Überwachung planen Union und SPD scharfe Maßnahmen. In Sachen „digitale Souveränität“ bleibt der Koalitionsvertrag allerdings schwammig.

Von Falk Steiner und Christian Wölbart

Der 144-seitige Koalitionsvertrag zwischen Christdemokraten, Christsozialen und Sozialdemokraten enthält an 187 Stellen irgendeine Variation des Wortes „digital“. Schwarz-Rot will zum Beispiel Verwaltungsleistungen „unkompliziert digital über eine zentrale Plattform“ anbieten oder diese sogar automatisch gewähren. Zum Beispiel sollen Eltern nach der Geburt eines Kindes automatisch Kindergeld erhalten. Behörden sollen Daten untereinander austauschen statt von Bürgern einfordern.

Das klingt gut, aber auch altbekannt. Schon viele frühere Koalitionen hatten

Digitalisierung und Bürokratieabbau versprochen, die Ampel etwa „proaktives Verwaltungshandeln durch antragslose und automatisierte Verfahren“. Passiert ist in Sachen Digitalisierung jedoch wenig, und von antragslosen Verfahren können Bürger weiterhin nur träumen.

Das führt zu der Frage, was die schwarz-rote Koalition anders machen will als bisherige Regierungen, damit die Pläne auch Realität werden. Und da gibt es tatsächlich einiges. So will das neue Regierungsbündnis erstmals ein Digitalisierungsministerium einrichten. Das hatten Wirtschaftsverbände wie der Bitkom schon seit Jahren gefordert, damit das Thema mehr Gewicht bekommt und das Kompetenzwirrwarr beziehungsweise Gerangel zwischen diversen beteiligten Ministerien endet.

Reformen für Digitalisierung

Das geplante neue Ressort soll obendrein für „Staatsmodernisierung“ zuständig sein, also für strukturelle Reformen, die eine sinnvolle Digitalisierung erst ermöglichen. Die Kombination dieser beiden Themen sei ein „entscheidender Fortschritt“, kommentierte Stefan Heumann vom Think Tank „Agora Digitale Transformation“ im Gespräch mit c't. Das Mi-

nisterium müsse aber auch ressortübergreifend steuern können, wozu man im Vertrag leider wenig finde.

Der Text liefert aber immerhin einige konkrete Staatsreformpläne. So soll der Bund „für ausgewählte Aufgaben mit hohem Standardisierungs- und Automatisierungspotenzial Vollzugsverantwortung übernehmen“. Er könnte also zum Beispiel Onlinedienste für Kfz-Zulassung und Ähnliches anbieten, damit nicht mehr Hunderte Landkreise und Städte das parallel tun müssen. Der Bund soll zudem Standards stärker vorgeben als bisher und grundlegende IT-Systeme auch für die Länder und Kommunen betreiben. All dem müssen jedoch die Länder zustimmen. Und der Bund muss bereit sein, Geld auszugeben.

Digitalministerium und Föderalismusreform sind aber längst nicht alles. Schwarz-Rot will auch den Paradigmenwechsel von „Digital First“ zu „Digital Only“, es soll also Schluss sein mit Papieranträgen. Dementsprechend sollen alle Einwohner „verpflichtend ein Bürgerkonto und eine digitale Identität“ erhalten, schreiben die Verhandler. Und beschwichtigen: „Wer den digitalen Weg nicht gehen will oder kann, erhält Hilfe vor Ort.“

Aus Sicht des Digitalisierungsexperten Heumann ist Digital Only der richtige Weg, „wenn man wirklich vorankommen will“. So steige der Druck auf die Verwaltung, wirklich gute digitale Lösungen anzubieten. Sollte Schwarz-Rot hier Ernst machen, sind dennoch Kontroversen programmiert: Bürgerrechtsorganisationen wie der Verein Digitalcourage warnen schon seit Jahren vor Digitalzwang.

Druck machen will die Koalition auch beim digitalen Bezahlen: Händler sollen schrittweise „grundsätzlich Bargeld und mindestens eine digitale Zahlungsoption“ anbieten müssen. Damit wollen die Parteien nicht nur den Einkauf bequemer machen, sondern auch Steuerbetrug zum Beispiel in der Gastronomie bekämpfen.



Bild: Agora Digitale Transformation

Die Kombination von Digitalisierung und Staatsreform in einem Ministerium ist aus Sicht des Digitalisierungsexperten Stefan Heumann ein „entscheidender Fortschritt“.

Kommentar: Digital Only würde Chaos auslösen

Von Christian Wölbart



Nun also „Digital Only“: Um die lahrende Digitalisierung der Verwaltung zu beschleunigen, planen Union und SPD das Aus für Papieranträge. Das Bürgerkonto BundID soll Pflicht für alle werden. Vorbild sind Länder wie Dänemark: Der nördliche Nachbar verpflichtete seine Bürger seit 2012 in mehreren

Wellen zur Nutzung von Onlinediensten statt Papierformularen. Schon 2014 wurde das Onlinepostfach Pflicht, Ausnahmen davon sind möglich, Bürger müssen sie aber beantragen (siehe c't 9/2022, S. 136).

Eine solche Strategie kann man gut oder schlecht finden. Der springende Punkt ist jedoch: In Deutschland ist ein ernsthaftes Digital Only innerhalb der kommenden Legislaturperiode unrealistisch. Eine Digitalpflicht bei stark genutzten Verwaltungsleistungen wie Wohngeld, Wohnsitz-

ummeldung oder Kfz-Zulassung würde Chaos auslösen. Denn viele Leistungen sind noch bei Weitem nicht flächendeckend online, in der Regel geht es dabei nur im Schnecken tempo vorwärts. Und viele Onlinedienste, die es gibt, werden kaum genutzt. Bei komplexen Verfahren wie Wohnsitzummeldung oder Autozulassung sind Digitalquoten teils weit unter 15 Prozent die Regel. Eine Ursache sind die hohen Hürden für die Nutzung des E-Perso. All das zeigt: Vorreitern wie Dänemark hinken wir nicht um ein paar Jahre hinterher, sondern um mehr als ein Jahrzehnt.

SPD und Union sollten deshalb erst einmal ihre Hausaufgaben machen, bevor sie von Digital Only sprechen: Leistungen vereinfachen, kombinieren und automatisieren, den Föderalismus reformieren, komfortable Onlinedienste flächendeckend zur Verfügung stellen und eine einfach nutzbare, sichere Wallet-App für die europäische digitale Identität (EUDI) einführen. Wenn das klappt, können wir ernsthaft über Digital Only diskutieren.

Rückkehr der Vorratsdatenspeicherung

Widerstand ist auch beim Thema Überwachung zu erwarten, denn hier planen SPD und Union erhebliche Verschärfungen. Unter anderem soll eine dreimonatige, anlasslose Vorratsdatenspeicherung für IP-Adressen kommen. Sicherheitsbehörden sollen zudem biometrische Daten mit Fotos, Videos oder Audioaufnahmen aus dem Internet abgleichen können, was die Ampel ähnlich bereits in ihrem teilweise gescheiterten „Sicherheitspaket“ vorgeschlagen hatte. Mit der Bundespolizei soll eine weitere Behörde die Quellen-Telekommunikationsüberwachung einsetzen, im Volksmund Bundestrojaner genannt. Die automatische Kennzeichenerfassung will die Koalition ausweiten.

Auch eine „aktive Cyberabwehr“ ist geplant. Was die genau umfassen soll, wird nicht beschrieben. Von einer behördlichen Patch-Befugnis für kompromittierte fremde IT-Systeme über den Hackback zum Abwehren fremder Angriffe bis zur destruktiven Infrastruktursabotage ist eine große Bandbreite an Möglichkeiten denkbar. Der Chaos Computer Club verurteilt den Vertrag als „Diktaturbesteck“ für Nachfolgereregierungen: „Ob man im Netz

kommuniziert, Auto fährt oder Fotos mit Gesichtern ins Netz stellt: All das soll massenhaft aufgezeichnet und bei Bedarf ausgewertet werden.“

Bei der Datenschutzaufsicht über Unternehmen wollen SPD und Union die Landesbehörden entmachten und die Aufsicht bei der Bundesbeauftragten bündeln, um abweichende Interpretationen zu ver-

„digitale Souveränität“ aus. Angesichts der Entwicklungen in den USA schreiben die Verhandler zwar markige Sätze wie „Wir wollen ein digital souveränes Deutschland“, diesen folgen jedoch keine konkreten Pläne zur Reduzierung der Abhängigkeit von den dominanten US-Anbietern. Der von der SPD geforderte Open Source-Anteil bei staatlichen Beschaffun-

»Jeder Bürger und jede Bürgerin erhält verpflichtend ein Bürgerkonto und eine digitale Identität.«

Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD

meiden. Die nordrhein-westfälische Landesbeauftragte Bettina Gayk hält dem entgegen, eine dezentrale Aufsicht bedeute „gute Kontakte, kurze Wege, schnelle und praxisnahe Lösungen“. 99 Prozent der Wirtschaft bestünden aus kleinen und mittelgroßen Unternehmen, die sowieso nur in einem Bundesland tätig seien, argumentiert sie zudem.

Weniger konkret fallen die Pläne der voraussichtlichen Bundesregierung für

gen von 50 Prozent bis 2029 hat es nicht in den Koalitionsvertrag geschafft, jetzt will man „ambitionierte Ziele für Open Source“ erst noch definieren.

In diesem Punkt bleibt Schwarz-Rot-Trump hin, Trump her – bei der schwammigen Linie früherer Bundesregierungen. Auch diese hatten stets mehr „digitale Souveränität“ versprochen, den Begriff jedoch nicht mit messbaren Zielen unterlegt. (cwo@ct.de) **ct**

Stilles Update

Durchgängiges 5G für iPhones im O2-Netz

Im kürzlich erschienenen iOS 18.4 steckt für O2-Kunden ein Zuckerl: In jüngeren iPhones lässt sich damit die moderne Mobilfunktechnik 5G-Standalone aktivieren.

Von Dušan Živadinović

Als Apple Anfang April die Schlussfassung der iOS-Version 18.4 veröffentlichte, waren alle Augen auf die KI-Funktionen „Apple Intelligence“ gerichtet (weitere Infos siehe ct.de/ytgd). Erst Tage später meldete O2, dass sich damit diverse jüngere iPhone- und iPad-Modelle in das 5G-Standalone-Netz (5G-SA) von O2 Telefónica einbuchen können.

O2 vermarktet 5G-SA unter dem Namen „5G Plus“. Das hebt sich gut vom bisher gängigen „5G“ ab, mit dem man nur die erste Ausbaustufe „5G-Nonstandalone“ meint, kurz 5G-NSA. Dabei stützen sich 5G-Basisstationen auf den Vorgänger LTE und dessen 4G-Kernnetz (daher auch Ankernetz genannt), das die Signalisierung und Steuerung erledigt. Nur der Datenverkehr läuft über das 5G-Zugangsnetz.

Erst bei einer 5G-SA-Infrastruktur bestehen sämtliche Teile der Verarbeitungskette aus 5G-Bausteinen: Teilnehmergeräte (Smartphone, Router, etc.), Basisstationen, das Zugangsnetz und das Kernnetz. Alle Funktionen, einschließlich Signalisierung, Steuerung und Datentransport erledigt das 5G-Kernnetz.

Damit schrumpfen die Signallaufzeiten (Latenzen) und die Leistungsaufnahme des Netzwerks sowie die der Teilnehmergeräte; beispielsweise hält ein Smartphone nicht mehr gleichzeitig zum 4G- und 5G-Netz Kontakt. Bei Telefonaten läuft der Rufaufbau schneller ab.

Im 5G-NSA-Modus kommunizieren die Geräte mindestens über die für LTE (4G) eingerichteten Frequenzen. Zusätz-

lich kann der Betreiber exklusive 5G-Frequenzen bereitstellen. Dafür sind nicht alle Standorte gerüstet und dort müssen sich 5G- und LTE-Geräte die Kapazität der LTE-Frequenzen teilen. Die SA-Spezifikation legt hingegen exklusive Frequenzbänder fest, weshalb Geräte im 5G-SA-Modus die gesamte Frequenzkapazität für sich haben.

Das dürften O2-Kunden besonders in ländlichen Gebieten spüren, in denen der Betreiber für SA wegen der höheren Reichweite das 700-Megahertzband nutzt. In Ballungsgebieten fließt der SA-Verkehr im O2-Netz bevorzugt über die 1800- und 3600-MHz-Bänder. Dabei setzt der Betreiber künstliche Intelligenz ein (KI), um einzelne Frequenzbänder bedarfsgesteuert zu aktivieren. Das soll rund zehn Prozent Strom sparen. Künftig will O2 Fre-

quenzen von LTE abknappen und 5G zuführen.

Bald soll das SA-Netz auch cloudgestützte AR-, VR- und Game-Anwendungen anbieten. Weil diese kurze Latenzen voraussetzen, will O2 kleine Rechenzentren in Kundennähe einrichten und so die netzwerktechnische Distanz verringern.

Für die Netze der Deutschen Telekom und Vodafone hat Apple SA in älteren iOS-18-Versionen freigeschaltet. Andere Smartphonehersteller waren aber schneller. Allein für O2, das 5G-SA seit Oktober 2023 nutzt, eignen sich inzwischen über 60 Geräte.

5G-SA konfigurieren

Apple zufolge steckt SA in allen iPhones ab der Modellreihe 13, im iPhone SE der dritten Generation sowie in vielen iPad-Modellen, siehe ct.de/ytgd. Der Netzbetreiber setzt einen Laufzeitvertrag und eine passende SIM-Karte oder eSIM voraus. eSIMs ab Februar 2025 eignen sich grundsätzlich.

Geschäftskunden mit O2-Business-Vertrag können SA über den Service aktivieren. Privatkunden schalten ihn mit dem kostenlosen „5G Plus Pack“ ein. Das geht über www.o2online.de/service oder in der O2-App im Menü „Vertrag / Alle Optionen verwalten / Daten-Optionen Inland“. Das 5G Plus Pack steht am Ende der Speed-Optionen.

Die Freischaltung dauert eine Weile und passiert oft stillschweigend; trotz erfolgter Aktivierung versendet O2 anders als angekündigt keine SMS-Benachrichtigung. Doch spätestens nach einigen Stunden zeigt die O2-App im Menü „Vertrag/Alle Optionen verwalten/Deine Optionen verwalten“ die Aktivierung an. Und das iPhone blendet in „Einstellungen/Mobilfunk/O2/Sprache & Daten“ die neuen Punkte „5G automatisch“ und „5G (eigenständig)“ sowie „Sprache über 5G Standalone“ ein.

Auch im Feldtestmodus, den man aus der Telefonieanwendung über die Tastenkombination *3001#12345#* aufruft, meldet das iPhone, ob es 5G-SA nutzen könnte. Die Technik ist aber nicht an jedem Standort verfügbar, laut O2 deckt SA 97 Prozent der Bevölkerung ab.

Das 5G-Plus-Pack wird nach einem Jahr abgeschaltet. Wer die Option weiter nutzen will, trägt sich also am besten eine Erinnerung in den Kalender ein, um sie wieder einzuschalten. (dz@ct.de) 

5G-SA für iPhones und iPads: ct.de/ytgd

5G Plus

Preis (inkl. MwSt.)	0,00 €
Status	Aktiv
Startdatum	10. Apr. 2025
Enddatum	10. Apr. 2026

Keine automatische Verlängerung

Details

Das 5G Plus Pack ermöglicht die Nutzung des 5G Plus Netzes von o2. Das 5G Plus Pack hat eine Laufzeit von 12 Monaten und wird danach automatisch wieder deaktiviert. Für die Nutzung von 5G Plus im Netz von o2 ist ein geeignetes Endgerät erforderlich z.B. aus dem o2 Portfolio.

O2 Telefónica bietet durchgängigen 5G-Mobilfunk zwar gratis an, schaltet die Option aber automatisch nach einem Jahr ab. Man muss sie danach händisch wieder aktivieren.

Kartellprozess gegen Meta gestartet

Die US-Handelsbehörde FTC drängt darauf, dass der Meta-Konzern wegen jahrelangen Machtmissbrauchs zerschlagen wird.

In Washington D.C. hat am 14. April ein Gerichtsverfahren gegen den Facebook-Mutterkonzern Meta begonnen, das zum Ergebnis haben könnte, dass dieser Instagram und WhatsApp verliert. Dies zumindest fordert die US-Handelsbehörde FTC, die dem Konzern vorwirft, mit den Zukäufen der beiden Plattformen widerrechtlich die eigene Monopolstellung gestärkt zu haben. Facebook, wie das Unternehmen damals noch hieß, zahlte 2012 rund eine Milliarde US-Dollar für Instagram und zwei Jahre später fast 22 Milliarden für WhatsApp.

In den kommenden Monaten will die FTC den Richter James Boasberg davon überzeugen, dass Meta Instagram und

WhatsApp überteuert gekauft hat, um die eigene marktbeherrschende Position zu festigen. Da es sich um ein Verfahren ohne Geschworene handelt, hängt viel vom Richter selbst ab. „Die Verbraucher haben keine vernünftigen Alternativen, an die sie sich wenden können“, sagte Daniel Matheson, der FTC-Anwalt, in seinem Eröffnungsplädoyer. Durch die Übernahmen und die unrechtmäßige Strategie seien „Einstiegsbarrieren geschaffen worden, die mehr als ein Jahrzehnt lang die Dominanz von Meta gesichert hatten“.

Die FTC hatte ihre Klage gegen den Konzern von Mark Zuckerberg bereits 2020 in der ersten Amtszeit des US-Präsidenten Donald Trump eingereicht. Vor der Prozesseröffnung hatte Zuckerberg vergeblich versucht, Trump zu einem Vergleich zu überreden. Bereits am ersten Prozesstag war der Meta-Chef vorgeladen und bestritt die Vorwürfe.

Im Laufe des Prozesses dürfte es zu vielen spannenden Einblicken kommen. Das Gericht wird unter anderem die langjährige Meta-Vizechefin Sheryl Sandberg sowie die Gründer von Instagram und WhatsApp vorladen. Auch Manager von Konkurrenten wie Snap und Tiktok stehen auf der Zeugenliste. Bis zur endgültigen Klärung des Falls könnten noch Jahre vergehen, denn es ist davon auszugehen, dass die unterlegene Partei in Berufung geht. *(hob@ct.de)*

Kurz & knapp

Einer Analyse der Agentur Bloomberg zufolge reduzieren **die neuen KI-Zusammenfassungen** in Googles Suchmaschine (AI Overviews) den Traffic vieler Webseiten massiv. Einige Seiten haben demnach in den letzten Monaten 70 bis 90 Prozent verloren, weil die Nutzer weniger häufig auf die Suchergebnis-Links klicken.

Meta hat zwei von vier **neuen KI-Sprachmodellen** veröffentlicht: Llama 4 Scout und Maverick sind als offene Modelle verfügbar. Behemoth ist zunächst noch eine Preview, ebenso soll Llama 4 Reasoning bald auf den Markt kommen. Behemoth soll laut Mark Zuckerberg „riesig“ werden. Angekündigt sind 288 Milliarden Parameter und 16 Experten.

Die irische Datenschutzaufsicht DPC hat eine **Untersuchung gegen X** eingeleitet. Das Unternehmen soll DSGVO-widrig öffentlich zugängliche Beiträge von EU-Bürgern auf X zum Training des Grok-Sprachmodells genutzt haben.



FTC-Anwalt Daniel Matheson verlässt nach dem ersten Prozesstag das Gerichtsgebäude.

Bild: Nathan Howard/AP/dpa

IT-Security 90% ...

CAK Cyber Akademie

Mal wieder Zeit für ein Update?

Aktualisieren Sie Ihr IT-Wissen mit unseren Online-Trainings wie z.B.

- » Cybersecurity Incident Management
- » Abwehr von Cyberangriffen
- » BSI-Grundschatz in der Praxis

www.cyber-akademie.de



Weiterhin Windows-Setup ohne Microsoft-Konto

Microsoft blockiert künftig eine beliebte Methode, den Zwang zum Microsoft-Konto bei der Windows-Einrichtung zu umgehen. Ein neuer, alter Trick steht schon bereit, und der ist sogar viel komfortabler.

Mit der nächsten Version von Windows 11 will Microsoft das Skript „BypassNRO.cmd“ aus Windows entfernen. Damit können Anwender während der Ersteinrichtung von Windows 11 (Out-Of-Box-Experience, OOBE) bislang den Zwang zum Microsoft-Konto umgehen. Um das zu nutzen, muss man dabei auf eine Netzwerkverbindung verzichten, also kein WLAN einrichten und gegebenenfalls das Ethernetkabel abziehen, dann per Umschalt+F10 ein Terminal öffnen und darin den Befehl `oobe\bypassnro` ausführen. Nach einem automatischen Neustart bietet der Dialog für die Netzwerkverbindung die Möglichkeit, auf die Internetkonfiguration zu verzichten und stattdessen ein lokales Benutzerkonto einzurichten.

Aus Windows-Vorabversionen im Betatestprogramm Windows Insider hat Microsoft das BypassNRO-Skript nun herausgeworfen. Bislang betrifft das die Build-Nummern 26120 (Beta-Kanal) und 26200 (Dev-Kanal). Das Vorgehen legt nahe, dass Microsoft das Skript zumindest aus der für den Herbst erwarteten Windows-11-Version 25H2 entfernen wird, eventuell auch vorher schon per Update aus der aktuellen Version 24H2. In letzterer funktioniert der BypassNRO-Befehl zu Redaktionsschluss dieses Beitrags aber noch. Auf bestehende Installationen hat das Ganze keinen Einfluss; es geht ausschließlich um die Ersteinrichtung eines sauber neu installierten oder über die Windows-Einstellungen zurückgesetzten Systems.

Freunde des lokalen Benutzerkontos haben zum Glück weiterhin Optionen, um

den Microsoft-Konto-Zwang zu umgehen. Eine davon ist sogar viel praktischer und nichtmal neu – sie fand bislang aber kaum Beachtung: Der Befehl

```
start ms-cxh:localonly
```

öffnet, eingetippt in ein Terminal (Umschalt+F10) während der OOBE, direkt einen Dialog zum Erstellen eines lokalen Benutzerkontos. Die Methode kommt ohne Neustart aus, ignoriert eine bestehende Netzwerkverbindung und umgeht auch die meisten sonstigen Setup-Dialoge. Lediglich die üblichen sechs Fragen zum Thema Datenschutz wollen beantwortet werden.

Das von Microsoft jetzt entfernte Skript tat übrigens nichts anderes, als

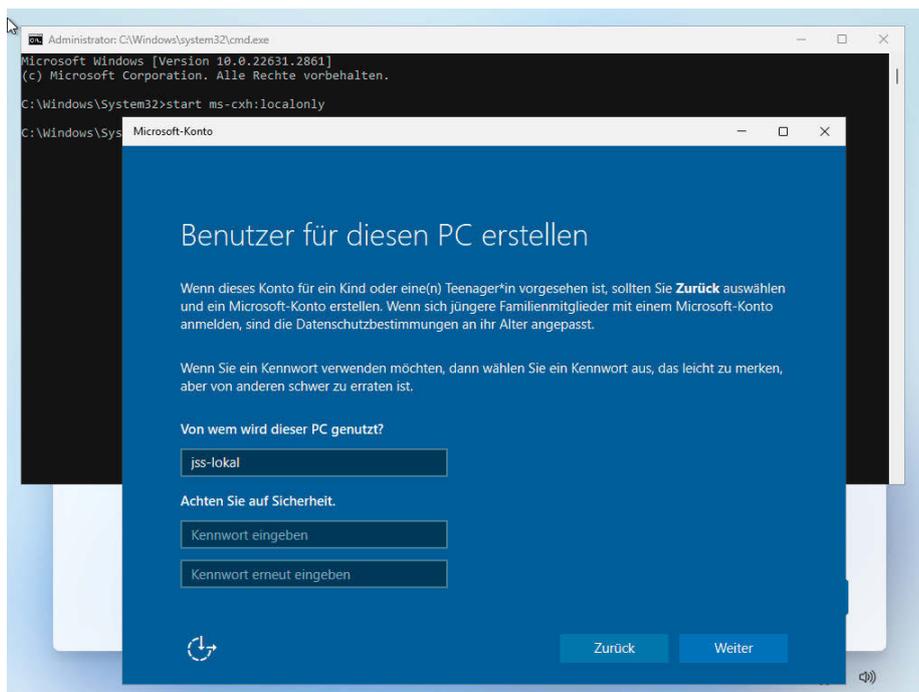
einen Registry-Schlüssel zu setzen und den Rechner danach neu zu starten. Trägt man diesen Schlüssel einfach von Hand ein, funktioniert das bis dato auch. Microsoft hat also nur das Skript entfernt, nicht aber den Registry-Schlüssel seiner Funktion beraubt. Wer es trotz mehr Tipperei so machen möchte: Die Befehle

```
reg add HKLM\SOFTWARE\Microsoft\Windows\CurrentVersion\OOBE /v BypassNRO /t REG_DWORD /d 1 /f
```

und

```
shutdown /r /t 0
```

erledigen genau das, was bislang der Befehl `oobe\bypassnro` tat. (jss@ct.de)



Ein gar nicht so neuer, aber bislang kaum beachteter Trick macht den Verzicht auf ein Microsoft-Konto beim Windows-Setup überaus komfortabel.

Roadmap & Feature-Doku für Windows 11

Microsoft hat angefangen, die Veröffentlichung neuer Windows-Funktionen in der „Windows Roadmap“ zu dokumentieren – bislang ausschließlich auf Englisch. Wohl gemerkt geht es dabei nicht um neue Windows-Versionen oder Funktionsupdates wie 23H2, 24H2 und so wei-

ter, sondern um **Informationen zu einzelnen Features**, die demnächst kommen sollen oder bereits verteilt werden.

Ähnliche, aber weniger übersichtliche Listen neuer Funktionen bietet Microsoft für alle Versionen von Windows 10 und 11 schon seit Jahren mit den „What’s new in

Windows“-Artikeln bei Microsoft Learn. Die Beiträge richten sich allerdings eher an Admins in Firmenumgebungen.

(jss@ct.de)

Roadmap & What’s-New-Seiten:
ct.de/y72u

20 Jahre Git

Ein Versionsverwaltungsprogramm innerhalb von vier Tagen entwickeln und seine Weiterentwicklung ab dann mit sich selbst verwalten: Genau das hat Linus Torvalds vor 20 Jahren aus Frust getan.

Das Versionsverwaltungsprogramm Git feiert sein 20-jähriges Jubiläum: Am 7. April 2005 erstellte Linus Torvalds den ersten Commit zu seinem frisch entwickelten Versionsverwaltungssystem. Diese anfängliche Version von Git hatte er zwischen dem 3. und 7. April 2005 innerhalb von nur vier Tagen entwickelt. Grund dafür war, dass BitKeeper, das bis dahin vom Linux-Kernel genutzte System, kurz zuvor seine Community Lizenz eingestellt hatte. Dadurch wurde das Pro-

gramm auch für quelloffene Projekte kostenpflichtig.

Git war nicht das einzige neue Versionsverwaltungssystem zu dieser Zeit. Ebenfalls für die Kernel-Entwicklung gedacht war auch die Versionsverwaltung Mercurial, mit deren Entwicklung Olivia Mackall kurz nach Torvalds begann. Dieses System wurde zwar am Ende nicht für den Kernel verwendet, jedoch von vielen anderen Projekten. Zeitgleich entstand auch noch ein drittes neues System: Ba-

zaar begann als ein Parallelprojekt zu Baz, welches es kurz danach ablöste, und wurde von Canonical unterstützt, der Firma hinter Ubuntu. Bazaar lebt jedoch lediglich in einem Fork namens Brezzy weiter und auch Mercurial kann mit der Popularität von Git schon lange nicht mehr mithalten. Das von Linus Torvalds aus der Not geborene System hat sich weit verbreitet und ist in manchen Kreisen fast synonym mit „Versionsverwaltungssystem“ geworden.

(Mats Schoknecht/syt@ct.de)

```
commit e83c5163316f89bfde7d9ab23ca2e25604af290
Author: Linus Torvalds <torvalds@linux-foundation.org>
Date: Thu Apr 7 15:13:13 2005 -0700

Initial revision of "git", the information manager from hell
```

Der erste Commit von Git in Git enthielt bereits ein funktionstüchtiges Programm.

Schluss mit Add-on-Durcheinander bei Firefox

Mozilla plant ein **neues System für die Art und Weise, wie Firefox-Add-ons ihre Nutzer über von ihnen erhobene Daten informieren**. Bislang herrscht dort Durcheinander: Add-on-Entwickler sind zwar dazu verpflichtet, anzuzeigen, was für Informationen sie erheben. Es ist ihnen jedoch selbst überlassen, wie sie diesen Dialog gestalten. Entsprechend fallen die Dialoge von Add-on zu Add-on sehr unterschiedlich aus.

Damit soll bald Schluss sein, Firefox plant, bis Ende 2025 zumindest in Test-

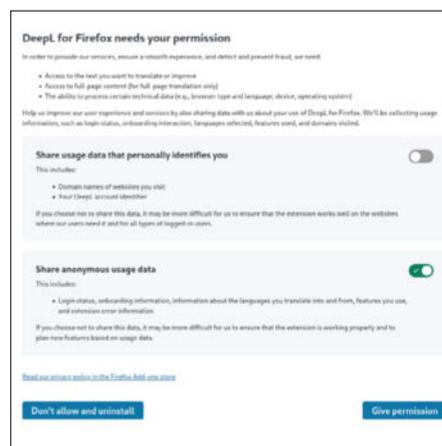
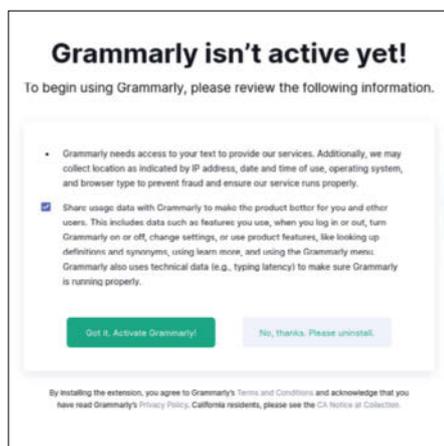
versionen einen einheitlichen Dialog einzuführen, welcher über eine Erweiterung des „WebExtensions Permissions API“ konfiguriert werden kann. Damit wird es für Mozilla auch einfacher, die Einhaltung ihrer Richtlinien zu überprüfen. Add-on-Entwickler müssen sich nicht mehr selbst um einen entsprechenden Dialog kümmern und Endnutzer können durch einheitliche Dialoge die Forderungen von Add-ons einfacher miteinander vergleichen. (Mats Schoknecht/syt@ct.de)

Kurz & knapp

Das unter anderem von Debian und Ubuntu genutzte **Paketmanagement-Frontend APT ist in Version 3.0.0 erschienen**. Die neue Version finalisiert Verbesserungen, die bereits in die Vorschauversionen 2.9.x eingeflossen waren, wie eine übersichtlichere Terminal-Oberfläche mit farblichen Hervorhebungen und einen neuen Solver, der Abhängigkeiten bei (De-)Installationen und Updates von Paketen auflöst.

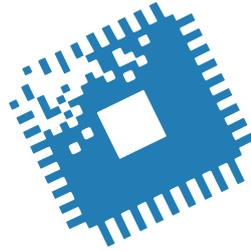
Die Bibliothek OpenSSL ist in Version 3.5.0 erschienen, ein Release mit Langzeitsupport, das bis April 2030 unterstützt werden soll. Neben vielen anderen Neuerungen **unterstützt OpenSSL nun ML-KEM, ML-DSA und SLH-DSA**, sogenannte PQC-Verfahren, die auch von künftigen Quantencomputern nicht geknackt werden können.

OpenSSH nutzt ebenfalls Verfahren mit PQC-Komponenten, seit OpenSSH 10 erledigt standardmäßig ein hybrides Verfahren auf Basis von ML-KEM den Schlüsselaustausch.



Zwei Dialoge mit im Wesentlichen denselben Informationen von zwei verschiedenen Add-ons sehen komplett verschieden aus.

Bit-Rauschen



Zoll-Chaos zwingt Chipfirmen auf Amerikakurs

Trumps Zölle verunsichern auch die Halbleiterwelt. Intel macht Altera zu Geld. Google schließt zu Nvidias KI-Beschleuniger auf.

Von Christian Hirsch

Die erratische Zollpolitik der Trump-Administration in den USA versetzt die global vernetzte Halbleiterbranche in große Aufregung. Auf Strafzölle folgen Gegenzölle, noch höhere Strafzölle, Ausnahmen, vorübergehende Außerkraftsetzung und sich widersprechende Aussagen unterschiedlicher Regierungsvertreter. Auch wir können bei diesem Tempo nicht mehr folgen und nur mit dem Kopf schütteln. Deshalb lassen sich die Auswirkungen mit Stand 16.4.2025 bislang kaum abschätzen.

In einer Panikreaktion hatten PC-Hersteller wie Asus, Dell, Framework, Lenovo und Razer vorübergehend den Verkauf in den USA gestoppt, denn die meisten Geräte laufen in China vom Band. Bei der US-Einfuhr wären dann 125 Prozent Zoll zu bezahlen gewesen, den die Importeure auf die Verkaufspreise für Endkunden aufschlagen. Auch Taiwan mit seinen zahlreichen Halbleiterwerken wäre mit einem Zollsatz von 32 Prozent stark betroffen gewesen. Vermutlich haben die amerikanischen Firmenbosse direkt im Weißen Haus interveniert, sodass in Folge nicht nur Handys und Computer, sondern auch Halbleiter, Solarzellen, Bildschirme und Speicherhardware von den Zöllen (vorerst) ausgenommen sind.

Nvidia-CEO Jensen Huang konnte nach einem Dinner in Trumps Nebenamtssitz Mar-a-Lago in Florida ein für China drohendes Verkaufsembargo für den dort begehrten KI-Rechenbeschleuniger H20 abwenden. Dabei handelt es sich um eine abgespeckte Variante des leistungsstärkeren H100-Chips, um die US-Exportres-

triktionen zu erfüllen. Allerdings muss Nvidia dafür künftig eine Lizenz von der US-Regierung erwerben, die im ersten Quartal satte 5,5 Milliarden US-Dollar kostet.

Wohl als weiteren Teil des Deals kündigte der GPU-Hersteller an, KI-Hardware im Wert von 500 Milliarden US-Dollar in den USA, genauer in Phoenix, Arizona zu fertigen. Dazu gehören Blackwell-Beschleunigerchips, die zukünftig aus den dort befindlichen TSMC-Fabriken kommen, aber auch ein Packaging- und Test-Center mit Amkor und SPIL sowie eine gemeinsam mit Foxconn und Winstron betriebene Produktionsanlage für Supercomputer. Auf TSMC Arizona setzt auch AMD für die Core Complex Dies der nächsten Generation der Epyc-Server-CPU's „Venice“ mit Zen-6-Kernen, die ab 2026 im TSMC-N2-Prozess die Werkshallen in Arizona verlassen sollen. „America First“ allenthalben.

Altera-Teilverkauf

Nach einigen Wochen der Orientierung hat der frisch gebackene Intel-CEO Lip-Bu Tan die erste größere strategische Entscheidung getroffen. Der krisengeplagte Chiphersteller stößt 51 Prozent der Anteile des 2015 übernommenen ASIC- und FPGA-Spezialisten Altera an die Kapitalbeteiligungsgesellschaft Silver Lake ab. Der Schritt spült Intel rund 4,5 Milliarden US-Dollar in die Kasse und verschlankt die

verbleibende Firmenstruktur. Beides soll helfen, den Chiphersteller wieder auf Gewinnkurs zu bringen. Ganz überraschend kommt die Abtrennung von Altera jedoch nicht, denn Intel hat die FPGA-Sparte bereits im Februar 2024 unter dem früheren Namen als hundertprozentige Tochter neu aufleben lassen.

Mit diesen Problemen muss sich der vorherige Intel-CEO Pat Gelsinger rund vier Monate nach seinem wohl nicht ganz freiwilligen Abschied nicht mehr herumschlagen. So ist er als Gesellschafter beim Risikokapitalgeber Playground Global eingestiegen, der unter anderem das Start-up xLight finanziert. Dieses hat sich auf Laser für EUV-Lithographiesysteme spezialisiert und entwickelt Freie-Elektronen-Laser (FEL) mit deutlich höherer Brillanz als bisher. Das heißt, der Strahl streut weniger und ist stärker gebündelt. xLight kooperiert unter anderem mit der niederländischen Firma ASML, dem größten Ausrüster für Halbleiterfertiger wie Intel, Samsung und TSMC.

TPU-Generationswechsel

Abseits von Politik und Personalien gibt es zum Glück auch neue Produkte in der Halbleiterwelt. Für die eigenen Cloudrechenzentren hat Google die siebte Generation „Ironwood“ der Tensor Processing Unit (TPU) vorgestellt. Im Vergleich zum Vorgänger „Trillium“ packt Google nun 192 GByte HBM-Speicher ins Chip-Package und versechsfacht damit den lokalen Speicher pro Chip (TPU v6e: 32 GByte). Die Performanceangaben muss man KItypisch mit Vorsicht genießen, denn der Cloudserverriese gibt lediglich die Spitzenleistung von 4,6 PetaFlops bei Gleitkommaberechnungen mit einer Genauigkeit von 8 Bit an (FP8). Dieses Format können die Vorgängerchips jedoch nur emuliert, weshalb der Performancesprung besonders groß ausfällt.

Allerdings erlaubt die FP8-Angabe der Ironwood-TPU einen guten Vergleich zur Konkurrenz. Nvidias B200-Chip „Blackwell“ liegt mit 4,5 PetaFlops geringfügig darunter, bietet aber mit 8 statt 7,2 TByte/s etwas mehr Speicherdurchsatz. Weil bei KI-Anwendungen neben Klasse vor allem aber Masse zählt, rechnen in einem sogenannten Pod, bestehend aus mehreren Racks, 9216 Ironwood-Chips gemeinsam. Die resultierenden 42,5 Exaflops bei FP8-Genauigkeit dürfen zahlungskräftige Kunden dann im Laufe des Jahres bei Google anmieten. (chh@ct.de) 



Bild: AMD

AMD-CEO Lisa Su nimmt einen symbolischen Wafer des 2-Nanometer-Serverchips „Venice“ von TSMC-CEO CC Wei in Empfang.

64-GByte-Module für Notebooks und Mini-PCs

Die neuen DDR5-SODIMMs erlauben bis zu 128 GByte Arbeitsspeicher in kompakten Rechnern. Wir haben Sie mit verschiedenen AMD- und Intel-Prozessoren ausprobiert.

In Notebooks mit austauschbarem RAM und Mini-PCs passen meist nur kompakte Small Outline Dual Inline Memory Module (SODIMMs) und von denen auch nur zwei. Das limitiert die maximale Arbeitsspeichermenge. Die nun erhältlichen SO-DIMMs mit 64 GByte DDR5-RAM erlauben deshalb typischerweise 128 GByte. Bis dato war mit den 2023 vorgestellten 48-GByte-Riegeln bei 96 GByte Schluss. Möglich wird die höhere Kapazität der ungepufferten Module durch 4-GByte-Speicherchips (32 Gbit), von denen die Hersteller 16 Stück auf ein Modul auflöten. Sie gibt es ausschließlich für die Speichertechnik DDR5. Bei DDR4-RAM bleibt das Maximum für SODIMMs unverändert bei 32 GByte.

DDR5-SODIMMs mit 64 GByte bieten derzeit Crucial und Kingston als JEDEC-konforme Module mit 1,1 Volt Spannung an. Die Kingston KVR64V52BD8-64 erreichen DDR5-6400-Tempo, weil es sich bei ihnen um Clocked Small Outline DIMMs (CSODIMMs) handelt, bei denen ein Verstärkerchip das Taktsignal vom Prozessor aufbereitet. Sie laufen allerdings derzeit nur mit Intels Arrow-Lake-Prozessoren der Serien Core Ultra 200HX, 200S und 200U.

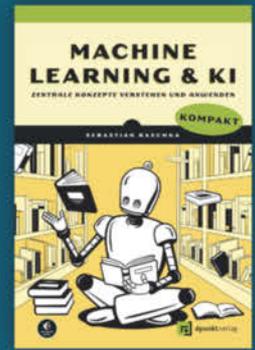
Wir haben das Speicher-Kit CT2K64G56C46S5 mit zwei 64-GByte-SODIMMs (DDR5-5600) von Crucial erhalten und in drei verschiedenen Mini-PCs ausprobiert. Auffälligkeiten gab es dabei keine. Die 128 GByte RAM liefen problemlos im Asus NUC 14 Pro mit der 16-Kern-CPU Intel Core Ultra 7 165 „Meteor Lake“ sowie im Geekom A8 mit dem Achtkerner AMD Ryzen 9 8945HS „Hawk Point“. Zudem haben wir das 300 Euro teure Kit erfolgreich im c't-Bauvorschlag 10-Watt-Mini mit dem PC-Barebone DeskMini X600 mit Ryzen 5 8600G getestet (siehe c't 17/2024, S. 64). Eine aktuelle Firmware ist für die SODIMMs hoher Kapazität nicht unbedingt notwendig, die des Geekom A8 stammt beispielsweise aus dem April 2024. *(chh@ct.de)*



Anspruchsvolle Anwendungen wie KI, Konstruktionsprogramme und wissenschaftliche Simulationen erfordern viel RAM. Die neuen 64-GByte-SODIMMs erhöhen die Speichermenge in Mini-PCs um ein Drittel.



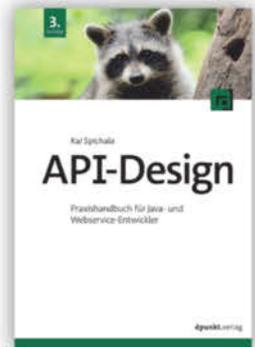
288 Seiten · 34,90 €
ISBN 978-3-98889-023-8



262 Seiten · 34,90 €
ISBN 978-3-98889-031-3



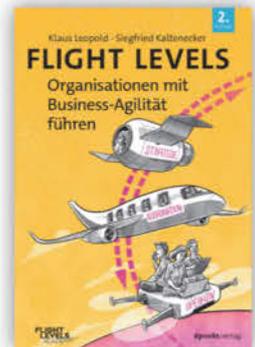
366 Seiten · 54,90 €
ISBN 978-3-98889-015-3



3. Auflage · 414 Seiten · 44,90 €
ISBN 978-3-98889-034-4



358 Seiten · 39,90 €
ISBN 978-3-98889-024-5



2. Auflage · 344 Seiten · 39,90 €
ISBN 978-3-98889-033-7



5. Auflage · 312 Seiten · 36,90 €
ISBN 978-3-98889-028-3



144 Seiten · 29,90 €
ISBN 978-3-98889-037-5

Abgedreht in Hollywood

Trumps Zollpolitik trifft Streaming und Kino

Auf den ersten Blick betrifft der Zollstreit zwischen den USA und China vor allem physische Güter wie Stahl oder Elektronik. Doch auch Streamingdienste, Medienkonzerne und die globale Filmindustrie geraten zunehmend unter Druck.

Von Nico Jurrán

Stahl, Halbleiter, Smartphones – in Berichten um die von US-Präsident Donald Trump verhängten und dann teilweise wieder pausierten Importzölle geht es oft um Rohstoffe, die in den USA benötigt werden, oder um Unternehmen wie Apple, die in anderen Ländern produzieren lassen und diese Produkte dann in die USA importieren, um sie dort zu verkaufen. Wesentlich seltener im Fokus stehen Unternehmen wie Netflix oder Meta, weshalb man denken könnte, dass Medienunternehmen und Plattformbetreiber von dem Konflikt verschont bleiben. Doch dies ist weit von der Wahrheit entfernt.

Die direkteste Antwort Chinas auf den Konfrontationskurs der USA ernteten die Filmstudios. So kündigte die chinesische Filmbehörde an, den Import von US-Filmen „maßvoll“ zu reduzieren. „Das falsche Handeln der US-Regierung durch wahllose Zölle gegen China wird zwangsläufig den positiven Eindruck des heimischen Publikums von amerikanischen Filmen verringern“, so die offizielle Erklärung. Die Aktienkurse der Walt Disney Company und von Warner Bros. Discovery fielen daraufhin um 6,79 beziehungsweise 12,53 Prozent. Parallel kündigten China und Spanien an, künftig im Kinosektor stärker zusammenzuarbeiten.

Doch auch die indirekten Folgen sind nicht zu unterschätzen. Da importierende Unternehmen höhere Zölle in der Regel an die Konsumenten weitergeben, geht in

den USA mittlerweile die Angst vor steigenden Preisen um. Laut einer Umfrage der Universität Michigan sackte das Verbrauchervertrauen in den USA im April überraschend deutlich auf 50,8 Punkte ab, nach 57,0 Zählern im Vormonat. Von Reuters befragte Experten hatten nur einen Rückgang auf 54,5 Punkte erwartet. Derart unter Druck dürften Verbraucher jeden Dollar zweimal umdrehen und schauen, an welchen Stellen sie sparen können. Die Chancen stehen gut, dass Streamingdienste da als vermeintlich unnötige Ausgabe hinten runterfallen und eventuell durch illegale Angebote ersetzt werden.

Abhängigkeiten

Trumps Wirtschaftspolitik trifft aber nicht nur Verbraucher, sondern auch Medienunternehmen, die auf Werbeeinnahmen angewiesen sind. Der Zeitpunkt, zu dem der Präsident seine neuesten Zölle bekannt gab, lag nur einen Monat vor dem Termin, an dem die größten Medienunternehmen ihre Werbekunden auf das kommende Jahr einstimmten. Viele Analysten senkten darauf ihre Prognosen für die kommenden Jahre. Brian Wieser vom Marktforschungsunternehmen Madison and Wall befürchtet sogar, chinesische Firmen könnten sich hinter ihre Regierung stellen und aus der Werbung mit US-Technologieunterneh-

men zurückziehen. Das würde alleine Meta Milliarden Dollar kosten.

Im TV-Bereich spielen Werbeeinnahmen traditionell eine sehr große Rolle, bei Streamingdiensten verstärkte sich diese Abhängigkeit in den vergangenen Jahren stark durch sogenannte Werbeabos. Die sind verbilligt, dafür erträgt der Kunde Werbeunterbrechungen. Bislang überkompensierten die dabei erzielten Werbeeinnahmen oftmals die Differenz zum Preis fürs Standardabo. Netflix hatte in Deutschland zuletzt mitgeteilt, dass die Mehrzahl der Neuabschlüsse auf Abos auf eben diese Werbeabos entfiel. In Zeiten sinkender Werbeeinnahmen wird diese Strategie aber schnell zum Bumerang.

Bei Paramount Global (unter anderem CBS, MTV, Nickelodeon und Paramount+) machte die Werbung im vergangenen Jahr etwa 35 Prozent des Umsatzes aus, bei Warner Bros. Discovery etwa 20 Prozent. YouTube-Werbeinnahmen sind eine der Haupteinnahmequellen für Google. Der Werbeumsatz der Plattform war von 2017 bis 2023 stetig gestiegen und lag laut Statista am Ende bei rund 35,5 Milliarden US-Dollar. Schon 2024 gab es dann jedoch einen Abwärtstrend, sodass die Werbung 2024 „nur“ noch 29,2 Milliarden US-Dollar einbrachte. Nun sind alle auf die Zahlen für 2025 gespannt. (nij@ct.de) **ct**



In „Iron Man 3“ wurden seinerzeit für den chinesischen Markt extra Szenen mit dort bekannten Schauspielern eingefügt. Der Film gilt als Paradebeispiel dafür, wie sich Hollywood dem Willen Chinas beugt, um in dem Land Geschäfte machen zu dürfen.

Monitore fürs schnelle Spiel

Für Gamer steigt das Monitorangebot, vor allem flinke OLED-Displays drängen in den Markt. Einige wurden bereits auf der CES im Januar angekündigt, nun gibt es sie zu kaufen.

OLED-Displays eignen sich mit ihren kurzen Schaltzeiten ideal fürs schnelle Spiel, allerdings muss auch die Videoelektronik im Monitor mitkommen, vor allem bei hochauflösenden Geräten. Einige Hersteller reduzieren deshalb die Monitorauflösung für sehr hohe Frameraten und helfen so LCDs und OLEDs auf die Sprünge.

In der G8-Serie von LG steckt LCD-Technik und 4K-Auflösung mit 3840×2160 Pixeln. Für den besseren Schwarzwert im etwa 700 Euro teuren 27G850A sorgt ein IPS-Black-Panel, das seine 8 Millionen Pixel 240 mal pro Sekunde auffrischen kann. Liefert die Grafikkarte nur FHD mit 1920×1080 Bildpunkten, schafft der Monitor 480 fps.

Ebenfalls 4K-Auflösung, hier aber mit OLED-Technik, findet man in den 27-Zoll-Monitoren von Asus (ROG Swift PG27UCDM) für 1450 Euro, von MSI

(MPG 272URXDE) für 1200 Euro und Samsung (Odyssey OLED G8 G81SF9); der Odyssey ist noch nicht im Handel, wird aber in einer ähnlichen Preisklasse liegen. Alle drei nutzen kontraststarke QD-OLED-Panels von Samsung, die sehr satte Farben zeigen, aber auch feine Farbsäume an kontraststarken Kanten.

LGs 45-zölliger UltraGear 45GX950A hat ein helles WOLED-Panel mit 5120×2160 Bildpunkten und kann diese mit bis zu 165 Hertz auffrischen. Liefert die Grafikkarte nur 2560×1080 Pixel ans Display, verdoppelt sich die Bildrate auf 330 Frames pro Sekunde. LGs stark gebogener OLED-Monitor wird etwa 2000 Euro kosten und im Sommer in den Handel kommen. Der 49-zöllige Evnia 49M2C8900AM von Philips und der MPG 491CQPXDE von MSI sind bereits verfügbar. Sie nutzen 5120×1440 Bildpunkte im QD-OLED-Panel, schaffen 240 fps und kosten 1050 Euro (Philips) beziehungsweise 1400 Euro (MSI).

Wem die WQHD-Auflösung (2560×1440 Pixel) reicht, wird bei MSI, Gigabyte, ASRock und LG fündig. LGs UltraGear



LGs 4K-LCD-Monitor kann bei reduzierter Grafikkartenauflösung 480 fps wiedergeben. Für kontraststarke Inhalte unterstützt er DisplayHDR 600.

OLED 27GX790A-B nutzt ein hauseigenes WOLED-Panel, die drei anderen QD-OLED-Technik. LG will auch in der GX7-Serie die Bildwiederholfrequenz verdoppeln, der 27-Zöller soll etwa 900 Euro kosten. Samsung hat im Januar ein 500 Hertz flinkes Display mit WQHD-Auflösung auf 27 Zoll angekündigt, das aber immer noch nicht verfügbar ist. Viewsonic und Gigabyte bieten zwei flinke 27-Zöller mit IPS-Panel, WQHD-Auflösung und 240-Hertz-Unterstützung für 300 Euro (Viewsonic VX2758A-2K-PRO-3) beziehungsweise 230 Euro (Gigabyte GS27QXA) an. (uk@ct.de)

Nintendo Switch 2 kommt im Juni

Mit der Switch 2 aktualisiert Nintendo seine mobile Spielkonsole: Deren Kombiprozessor von Nvidia soll zehnmal schneller sein, der 7,9-Zoll-LCD-Bildschirm ist mit 1920×1080 Pixeln größer und hat eine höhere Auflösung als das Vorgängermodell. Mit angeschlossenem Fernseher sind Auflösungen von bis zu 4K möglich, das eingebaute Display soll HDR10 und VRR mit Bildfrequenzen bis zu 120 fps unterstützen.

Die Switch 2 bietet 256 GByte internen Flash-Speicher und ist mit MicroSD-Karten erweiterbar. Sie hat gleich zwei USB-C-Anschlüsse und wiegt mit angeschlossenen Controllern 534 Gramm. Die neuen Joy-Con-2-Controller sind magnetisch an der Konsole befestigt. Sie enthalten den Beschleunigungs- und den Gyrosensor und können in kompatiblen Spielen als Maus fungieren.

Rund **470 Euro verlangt Nintendo laut Onlineshop für seine Switch 2**. Zum Start gibt es den Switch-Exklusivtitel „Mario Kart World“, am 17. Juli soll „Donkey Kong

Bananza“ folgen. Mit GameChat können Spielende künftig per Knopfdruck ein Gespräch mit anderen beginnen, ein Mikrofon ist an der Oberseite der Konsole eingebaut. Die Funktion soll bis zum 31. März 2026 kostenlos sein, danach ist eine Nintendo-Switch-Onlinemitgliedschaft erforderlich. Für den Betrieb an einem Fernseher kann die Switch 2 in eine Station gesteckt werden, ein eingebaute Lüfter kühlt dabei die Konsole. (lmd@ct.de)



Bild: Nintendo

Aktualisierte Hardware, größerer Bildschirm: Die Switch 2 ist nur ein solides Upgrade.

Kurz & knapp

Neu bei c't zockt: In unserem Indie-Gaming-Kanal stellen wir **Uncle Chop's Rocket Shop** vor (siehe ct.de/yzjp). Im Roguelite-Spiel von Beard Envy arbeiten wir als Fuchs in einer Raumschiff-



werkstatt und müssen uns die Miete verdienen: Treibstoff nachfüllen, Öl wechseln, Scheinwerfer oder die Klospülung reparieren oder Schnecken in den Atemrecycler einsetzen. Dabei ist die Zeit knapp und die Alien-Kundschaft wird oft zum Gesundheitsrisiko.

Video & Online-Review: ct.de/yzjp

5000 Watt: XXL-Mikrowechselrichter von Hoymiles

Der chinesische Hersteller Hoymiles hat die Zertifizierungen für seine Mikrowechselrichter der Serie MIT fast abgeschlossen und plant den Verkauf ab Ende April. Für Balkonkraftwerke sind die Geräte nicht gedacht.

Bereits im Sommer Jahr 2024 kündigte Hoymiles eine neue Generation Mikrowechselrichter an, die man angesichts ihrer Leistung nur schwerlich als „mikro“ bezeichnen kann: Die Modelle heißen MIT-4000-8T, MIT-4500-8T und MIT-5000-8T, sie können 4000, 4500 und 5000 Watt Leistung ins Netz abgeben – in der Leistungsklasse konkurrieren sie mit kleinen String-Wechselrichtern. Kaufen kann man die handtaschengroßen Wechselrichter bisher aber noch nicht, Hoymiles muss zunächst die Zertifizierungen bei unabhängigen Prüforganisationen abschließen. Solche Zertifikate bescheinigen die Einhaltung der in Deutschland und Europa geltenden Regeln. Dazu gehört zum Beispiel die Funktion des Netz- und Anlagenschutzes (NA-Schutz), der sicherstellt, dass der Wechselrichter bei einem Ausfall der Netzspannung sofort abschaltet. Gegenüber c't bestätigte Hoymiles, dass der Prüfprozess kurz vor der Vollendung sei. Man rechne mit einem Verkaufsstart Ende April 2025.

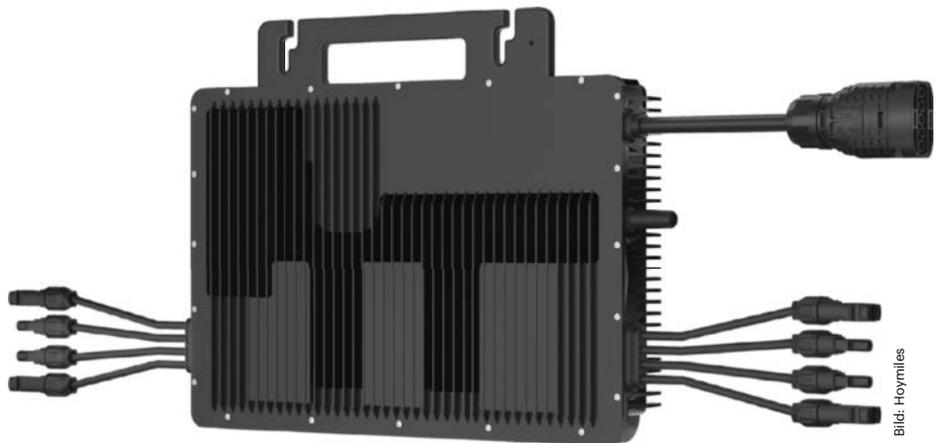
Eingebaut sind vier Maximum Power Point Tracker (MPPT), an die man jeweils zwei Module in Reihe anschließen kann; die vier Eingänge vertragen Span-

nungen bis 140 Volt. Auf Wechselspannungsseite werden die Wechselrichter dreiphasig angeschlossen. Um die Erzeugung zu überwachen, funken die Geräte auf 868 MHz, zum Empfang ist eine Hoymiles-Funkbrücke (DTU) sowie ein Konto in der Cloud nötig. Das Open-Source-Projekt OpenDTU dürfte die Wechselrichter nach Verkaufsstart ebenfalls schnell unterstützen.

Geht es nach Hoymiles, sollen die Wechselrichter auf Industrie- und Gewerbedächern genutzt werden. An private Betreiber, die damit überdimensionierte Balkonkraftwerke zum Beispiel auf Garagen und Carports planen, denkt Hoymiles nicht. Im Gespräch mit einer Sprecherin erfuhren wir, dass die MIT-Serie nur über

Installateure und nicht im Onlinehandel erhältlich sein soll. Von dieser Verkaufsstrategie des Herstellers halten einige Onlinehändler offenkundig wenig: Schon vor Verkaufsstart war der MIT-5000-8T bei deutschen Händlern gelistet, die auch an Privatkunden verkaufen. Beim Netzbetreiber anmelden muss eine solche Anlage zwingend ein Elektrofachbetrieb.

Für Hoymiles sind 5000 Watt offenbar noch nicht die Grenze: In einem Zertifikat vom TÜV Rheinland, das die Konformität mit der Radio Equipment Directive der EU bescheinigt, fanden wir in der Liste der geprüften Modelle bereits den Namen MIT-6000-12T (mit mutmaßlich 6000 Watt), der noch nicht offiziell angekündigt ist. (jam@ct.de)



Mächtiges Gerät: Der MIT-5000-8T hat Außenmaße von 395 × 308 mm und liefert bis zu 5000 Watt.

Rekordwirkungsgrad von Longi

24,8 Prozent Modulwirkungsgrad. Diese Zahl hat der PV-Modulhersteller Longi für sein Photovoltaikmodul Hi-MO 9 bekannt gegeben. Auf dem Massenmarkt verfügbare Module mit höherem Wirkungsgrad sind uns nicht bekannt. Dasselbe Modul wurde bisher mit einem Wirkungsgrad von 24,43 Prozent vermarktet, 10 Watt konnte Longi im vergangenen Jahr noch herauskitzeln. Das Modul hat Außenmaße von 2382 × 1134 mm, ist für Freiflächenanlagen gedacht und leistet bis zu 670 Watt. Das Schwesterprodukt für Dachinstallationen

heißt Hi-MO X10. Das Institut für Solarenergieforschung in Hameln (ISFH) bescheinigt Longi einen Zellwirkungsgrad von 27,81 Prozent. Der Zellwirkungsgrad ist immer höher als der ganzer Module, weil der Rahmen keine Energie umwandelt.

Verantwortlich für die Leistungssteigerung ist laut Longi ein Optimieren der Kontaktierung. Der Hersteller verzichtet auf Busbars, also Leiterstreifen auf der Vorderseite, die unweigerlich Platz beanspruchen, auf dem kein Sonnenlicht in elektrische Energie gewandelt werden

kann. Longi nutzt stattdessen Rückkontakte und nennt sein Verfahren „Hybrid Passivated Back Contact (HPBC) 2.0“.

Bei den verwendeten Zellen handelt es sich um gewöhnliche Siliziumzellen und nicht etwa um Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen – eine Technik, die kurz vor der industriellen Serienreife steht und immer wieder mit Rekordwirkungsgraden Aufsehen erregt. Longis Konkurrent Jinko verkündete im Januar einen Zellwirkungsgrad von 33,84 Prozent mit Perowskit-Technik. (jam@ct.de)

Prozessoren schnell wie das Licht

Photonik-Prozessoren haben das Potenzial, künstliche Intelligenz effizienter und energiesparender zu betreiben. Die Start-ups Lightmatter und Lightelligence haben Systeme entwickelt, auf denen sogar fortschrittliche KI-Systeme laufen.

Die zunehmende Komplexität von künstlicher Intelligenz fordert herkömmliche elektronische Computer heraus und frisst immer mehr Energie. Photonik, die Licht anstelle von Elektrizität zur Datenverarbeitung nutzt, bietet eine vielversprechende Alternative. Zwei unabhängige Forschungsteams haben photonische Prozessoren vorgestellt, welche die Rechenleistung steigern und den Energieverbrauch senken sollen. Zuvor gelangen auf photonischen Prozessoren nur einfache Demonstrationen wie Benchmarks, aber fortschrittliche KI-Modelle liefen damit nicht.

Das Team von Lightmatter um Nicholas Harris aus Kalifornien hat einen Photonik-Prozessor entwickelt, der KI-Modelle effizient und mit hoher Genauigkeit im-

plementiert. Die Autoren zeigen, dass ihr photonischer Prozessor fortschrittliche KI-Modelle wie BERT und ResNet mit einer Genauigkeit ausführen kann, die mit elektronischen Prozessoren vergleichbar ist. Außerdem könne er eine Reihe von Anwendungen ausführen: Er erstellt etwa Shakespeare-ähnliche Texte, klassifiziert Filmkritiken und spielt Pac-Man. Wie gut der Prozessor die gestellten Aufgaben bewältigt, hängt vom Typ ab: Bei Bildklassifikationen erreicht er 90 Prozent der Genauigkeit eines herkömmlichen Prozessors, bei Fragen in natürlicher Sprache nur knapp 30 Prozent.

Unabhängig davon hat das Team von Lightelligence um Bo Peng aus Singapur einen photonischen Beschleuniger namens PACE entwickelt. Dieser soll komplexe kombinatorische Optimierungsprobleme effizient lösen. In Tests zeigte PACE eine drastisch verringerte Latenz im Vergleich zu herkömmlichen Grafikprozessoren von Nvidia. Diese ist besonders relevant, um Daten in Echtzeit zu verarbeiten.

Beide Teams weisen darauf hin, dass ihre Systeme skalierbar sind, jedoch wei-

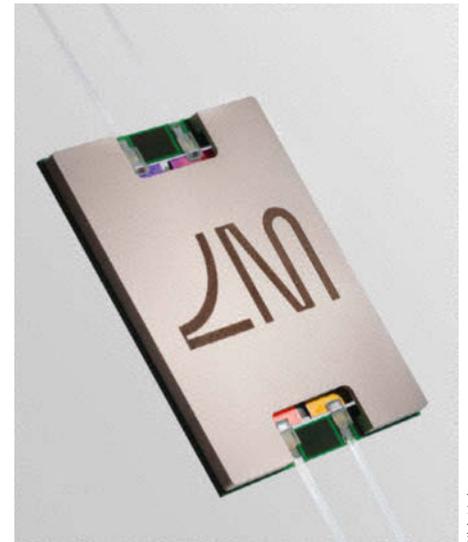


Bild: Lightmatter

Der Photonik-Prozessor von Lightmatter soll dreimal schneller rechnen als ein A100-Grafikprozessor von Nvidia und dabei nur ein Zehntel der Energie benötigen.

tere Optimierungen benötigen, um die Vorteile der optischen Datenverarbeitung auszuschöpfen. (spa@ct.de)

Publikationen: ct.de/ywzd

c't Hacking – Selbst einsteigen, von Profis lernen

Längst ist das Klischee passé, in dem Hacker mit Kapuzenpullis in schlecht beleuchteten Räumen wild auf der Tastatur tippen. Die Szene ist höchst professionell und zieht immer mehr Spezialisten an, die zum Beispiel als Pentester die Sicherheit von Systemen verbessern. Einigen von ihnen können Sie in diesem Heft über die Schulter schauen.

In insgesamt vier Kapiteln rund ums Hacken schlüpfen Sie probehalber mal in die Rolle eines Hackers und lernen, wie ein solcher vorgeht. Dabei helfen Lernplattformen, Interviews, Walkthroughs an Übungswebservern und Fingerübungen mit Raspis. Kleinere Wissenshäppchen über Chiffren sowie eine detaillierte Analyse der xz-Hintertür runden das Paket ab.

Das Sonderheft c't Hacking gibt es ab sofort als Heft im heise shop und im

Handel für 14,90 Euro. In digitaler Form erwerben Sie es für 12,90 Euro über den heise shop oder direkt in unseren Android- und iOS-Apps. (wid@ct.de)



Effiziente Mond-Solarzellen

Material in den Weltraum zu befördern, ist kostspielig. Ein Forschungsteam der Universität Potsdam und der Technischen Universität Berlin hat nun eine Methode entwickelt, um **effiziente Mond-Solarzellen zu fertigen**. 99 Prozent der Ressourcen stammen dabei direkt von der Mondoberfläche.

Die Solarzellen nutzen Regolith, das den Mond vollständig bedeckt, als Träger der photoaktiven Schicht. Diese kombiniert das Team mit einer ultradünnen Schicht des Halbleitermaterials Perowskit, das besonders robust gegenüber Strahlung, Licht- und Temperaturschwankungen ist. Das Verfahren sei skalierbar, sodass sich die Solarzellen mit wenig Ausrüstung und sehr geringem Energieeinsatz produzieren ließen. Sie könnten künftige Mond-Habitats mit Energie versorgen. (spa@ct.de)

Wero nun auch für Kleinstgewerbetreibende

Kleinst- und Nebengewerbetreibende sowie Solo-Selbstständige, die ein Konto bei einer Genossenschaftsbank führen, können künftig von sämtlichen Nutzern des europäischen Zahlungsdienstes Wero Zahlungen annehmen.

Viele genossenschaftliche Banken wie die Volks- und Raiffeisenbanken oder Sparda-Banken werben in ihren Smartphone-Apps seit Kurzem für „Wero-Pro“. Dabei handelt es sich um einen Teil des europäischen Smartphone-Bezahldienstes Wero, der sich zum Beispiel an solo-selbstständige Flohmarktverkäufer, kleine Handwerksbetriebe, Nachhilfelehrer oder auch kleine Hofläden oder Selbstbedienungsstände mit geringem Umsatz richtet. Kunden der Sparkassen sollen Wero-Pro noch im Lauf des Jahres 2025 einrichten können, Termine für weitere Banken wie etwa die Postbank stehen noch nicht fest.

In einer Einführungsphase, die bis zum 31. Mai läuft, verlangen die Genossenschaftsbanken kein Entgelt für den Dienst. Anschließend wird Wero-Pro vergleichbar mit PayPal oder Twint in der Schweiz für Gewerbetreibende kostenpflichtig. Die Höhe des Disagios bestimmt jede regionale Bank selbst; so will die Hannoversche Volksbank 0,65 Prozent des Umsatzes berechnen. Wero-spezifische Sockelbeträge oder andere Fixkosten erhebt die Bank nicht, weitere Kosten können aber über die Kontoführungsentgelte entstehen. Andere Genossenschaftsbanken dürften ähnliche Preise aufrufen, die damit etwas unterhalb der Kosten gängi-

ger Kredit- und Debitkarten und deutlich unterhalb von PayPal bleiben. Für den Zahler bleibt eine Wero-Transaktion in jedem Fall kostenlos, egal ob er das private Wero oder Wero-Pro nutzt.

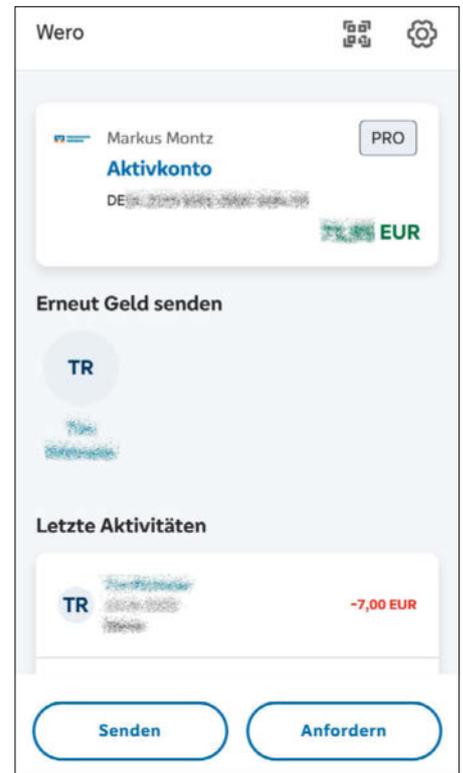
Die Anmeldung ist unkompliziert. Geschäftskonten werden automatisch auf Wero-Pro umgestellt, Inhaber von Privatkonten müssen von Wero auf Wero-Pro wechseln. Das konnten wir mit wenigen Klicks in den Wero-Einstellungen der Banking-App unter „Geräte und Konten“ erledigen. Dort lässt sich Wero-Pro auch wieder deaktivieren. Ein Hin- und Herschalten für einzelne Zahlungen ist vorerst nicht möglich.

Geld kassiert man so, wie man es auch bei privaten Zahlungen tut. Entweder erzeugt man in der VR-Banking-App im Wero-Bereich über das Symbol oben einen QR-Code mit dem zu zahlenden Betrag, den der Zahler dann in seiner Wero-App abscannt und bestätigt. Alternativ fordert man das Geld über die Handynummer oder Mailadresse des Zahlers an und kann ihn über Wero bei Bedarf auch automatisch zu selbst gewählten Terminen daran erinnern. Eine Funktion, mit der beispielsweise ein kleiner Landwirtschaftsbetrieb einen QR-Code für seinen Hofverkauf ausdrucken könnte, fanden wir nicht. Das funktioniert aber auch über einen Screenshot. Kunden erhalten anschließend einen Beleg samt Referenznummer, jedoch keinen rechtsgültigen Bon.

Mit Wero-Pro startet das Bankenconsortium aus Deutschland, Frankreich, Belgien und den Niederlanden, das zusammen mit seiner gemeinsamen Gesellschaft „European Payments Initiative“ (EPI) für Wero verantwortlich ist, die

nächste Ausbaustufe des Handy-Bezahlsystems. Für die zweite Jahreshälfte 2025 ist der allmähliche Start von Wero im Onlinehandel geplant, bevor der Dienst Ende 2026 auch an Ladenkassen kommen soll. Außerdem wollen sich 2025 weitere Banken anschließen, darunter die Norisbank, die ING-Diba und die Deutsche Bank.

(mon@ct.de)



Mit Wero-Pro können Kleinstgewerbetreibende mit einem Genossenschaftsbankkonto fortan auch geschäftliche Zahlungen über den Dienst erhalten.

Lidl muss App-Preise klarer ausweisen

Die Supermarktkette Lidl darf Rabatte in Werbeprospekten nicht allein für Nutzer der Lidl Plus-App angeben. Das ist das **Ergebnis eines Vergleichs zwischen Lidl und der Verbraucherzentrale Baden-Württemberg (VZBW)**, die vor dem Landgericht Heilbronn geklagt hatte. Im monierten Fall hatte Lidl Lammlachse mit einem reduzierten Preis von 5,50 Euro angeboten und darüber einen Preis von 7 Euro durchgestrichen, ohne dass die Bedeutung ersichtlich war. Tatsächlich handelte es sich um

ein Angebot, das nur für Nutzer der Lidl-Plus-App galt. Der reguläre Preis für Kunden ohne App war aus Sicht der VZBW ebenso wenig erkennbar wie der Grundpreis, den diese hätten bezahlen müssen. Beide hätte Lidl nach der Preisangabenverordnung aber angeben müssen.

Die VZBW hatte Lidl nach dem Hinweis eines Verbrauchers zunächst abgemahnt und eine Unterlassungserklärung von Lidl gefordert. Als Lidl die verweigerte, klagten die Verbraucherschützer. Noch

vor der mündlichen Verhandlung lenkte Lidl ein und verpflichtete sich, in gedruckten Werbeprospekten künftig den Gesamt- und Grundpreis anzugeben, der auch für Nicht-Nutzer der App gilt. Nach Angaben der VZBW gebe es seit einigen Jahren vermehrt Beschwerden rund um Preisangaben und Rabatt-Apps von Händlern. So laufe beispielsweise auch ein Verfahren gegen Rewe, in dessen App Gesamtpreise für einen „Bonus“ auf künftige Einkäufe gefehlt hätten.

(mon@ct.de)

Das Magazin von Fotografen – für Fotografen



Jetzt scannen

**35%
Rabatt**

2x c't Fotografie testen

- 2 Ausgaben kompaktes Profiwissen für 14,30 €
- 35 % Rabatt gegenüber Einzelheftkauf
- Inklusive Geschenk nach Wahl
- Wöchentlicher Newsletter exklusiv für Abonnenten



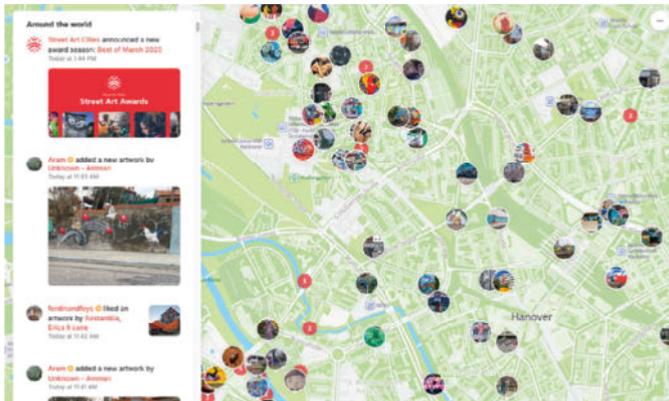
ct Fotografie



ct-foto.de/fotowissen

Street-Art-Weltkarte

streetartcities.com



Street Art verschönert langweilige Flächen, vor allem in den Städten. Lange Zeit blühte diese Kunstform im Geheimen, weil es illegal war, Häuserwände, U-Bahn-Wagen und andere Objekte ungefragt kreativ umzugestalten. Manchmal arbeiten Street Artists auch heute noch im Verborgenen. Doch heute hat diese Kunstform grundsätzlich ein anderes Standing und ist allgemein anerkannt. Manche Städte präsentieren ihre Street Art sogar stolz mit eigenen Rundgängen.

Kennen Sie alle Street-Kunstwerke in ihrer Nachbarschaft? Schauen Sie doch mal bei **Street Art Cities** nach. Die Website verzeichnet mehr als 70.000 Werke in 113 Ländern. Eine Gemeinschaft aus mehr als 1200 sogenannten Hunters macht weltweit Jagd auf Street Art. Ihre Beute verewigt sie in einer Karte. Die Hunter dokumentieren die Kunstwerke mit Fotos. Oft tragen sie auch Informationen über die Künstler zusammen. Street Art Cities informiert über Ausstellungen und andere Events zum Thema und vergibt monatlich einen Preis für die besten neuen Kunstwerke. Die Website – und ihre Apps für Android und iOS – eignen sich auch hervorragend, um Urlaubsreisen zu planen. (jo@ct.de)

Zu viele Hühner

368chickens.com



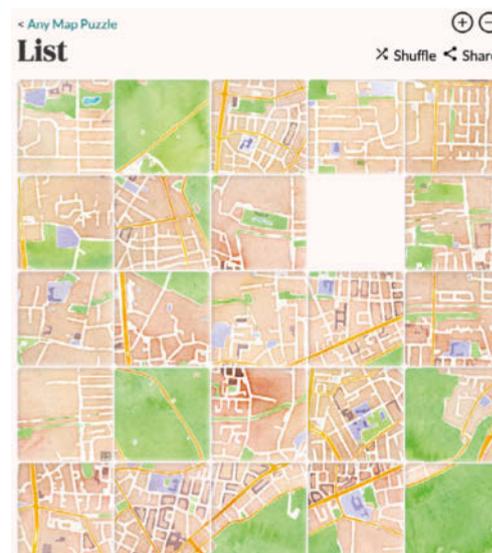
Vorsicht! Das simple Browser-Spiel **368 Chickens** hat das Potenzial, viel Ihrer Zeit zu fressen. Denn es sieht einfacher aus, das Ziel des Spiels zu erreichen, als es sich in der Praxis herausstellt. Wir jedenfalls haben nach etlichen Versuchen die Aufgabe noch nicht einmal zur Hälfte gelöst. Es gilt, nach und nach die na-

mensgebenden 368 Hühner auf einem sechs mal sechs großen Raster zu platzieren. Setzt man drei oder mehr gleichartige Hühner neben- oder untereinander, verschwinden sie und geben Platz für neue Hühner frei. Die Schwierigkeit besteht darin, dass man immer zwei Hühner gleichzeitig zum Platzieren erhält, deren Anordnung man nicht ändern kann. (jo@ct.de)

Stadtteil-Puzzle

bothness.github.io/anymap

Der Entwickler Ahmad Barclay hat ein schönes Schiebepuzzle ins Web gestellt, das **Any Map Puzzle**. Die Teile bestehen aus Kacheln eines Ortes irgendwo auf der Welt, den der Besucher vorgibt. Neben dem Ort wählt er ein Layout für die Karte: OpenStreetMap, Foto oder – besonders schön – Wasserfarben. Das Puzzle steht in drei Schwierigkeitsstufen bereit, von 4 × 4 bis 6 × 6 Kacheln. (jo@ct.de)



Community-Restaurantführer

<https://redd.it/1jbazob>

Woher weiß man, wo es in einer fremden Stadt leckeres Essen gibt? Man fragt jemanden, der dort wohnt. Das ist das Prinzip des Threads „**Nenne eine Stadt, Andere schlagen dir die besten Restaurants und Imbisse vor**“ im deutschen Subreddit r/de. Und da dieses Subreddit mehr als drei Millionen Mitglieder hat, kommen ganz schön viele Tipps für etliche Städte in Deutschland, der Schweiz und Österreich sowie einige europäische Städte zusammen: Schon seit 2018 trägt die Community jedes Jahr – mit der Ausnahme 2024 – ihren Gastro-Guide auf diese Weise zusammen. (jo@ct.de)

Diese Seite mit klickbaren Links: ct.de/yimah

betterCode()

Spring 2025

Moderne Java-Entwicklung mit Spring

3. Juni 2025 • Online

Highlights aus dem Programm:

- ✔ Spring 7: Was ist zu erwarten?
- ✔ Spring-Boot-Anwendungen testen – Ein Blick hinter den Vorhang
- ✔ ArchUnit: Unit-Tests für deine Spring-Architektur
- ✔ Spring Security Architecture Principles
- ✔ Intelligente Anwendungen mit Spring AI

Jetzt
Frühbucher-
tickets
sichern!

Workshop am 4. Juni: »Sichere Java-Anwendungen mit Spring Security«

spring.bettercode.eu

Mastering Observability

Softwaresysteme verstehen, steuern
und verbessern

5. Juni 2025 • Online

Observability ist mehr als Logs, Metriken und Traces

- Von den Tools zur skalierbaren O11y-Plattform
- Komplexität meistern: KI-unterstützte Observability
- Fehler vermeiden: von Bad zu Best Practices

Für alle, die Verantwortung dafür übernehmen, dass Software auch in verteilten Systemen zuverlässig arbeitet und sicher sowie performant bereitgestellt wird: Entwickler:innen, Ops-Fachleute, DevOps- und Plattform-Teams.

Jetzt
Frühbucher-
tickets
sichern!

mastering-obs.de



Ausgefiltert

kleinanzeigen.de sperrt Kunden aus

Onlineportale benutzen automatische Filter und Algorithmen, um sich fragwürdige Inhalte und betrügerische Aktivitäten vom Hals zu halten. Im Zweifel sollte aber immer ein Mensch die letzte Entscheidung treffen. Bei kleinanzeigen.de klappt das nicht immer.

Von Tim Gerber

Falk K. wollte ein nicht mehr benötigtes Hochbett verkaufen. Dazu meldete er sich am 8. März auf der Plattform kleinanzeigen.de an und erstellte eine Anzeige, um das Möbelstück zum Kauf anzubieten. Doch beim Versuch, die Anzeige online zu stellen, erhielt er eine Nachricht, dass deren Inhalt gegen die Nutzungsbedingungen von kleinanzeige.de verstoße und deshalb gelöscht werde. Außerdem drohte man ihm an, dass er bei weiteren Verstößen ganz von der Nutzung des Portals ausgeschlossen würde.

Freilich ist sich Falk K. keinerlei Schuld bewusst. Seine Anzeige ist völlig harmlos und es finden sich Dutzende ähnlicher Anzeigen auf dem Kleinanzei-

genportal. Deshalb antwortete er auf die E-Mail an die als Absender angegebene Serviceadresse und bat darum, dass man sich die Anzeige doch einmal ansehen und prüfen solle, ob sie nicht doch freigeschaltet werden könne. Wenige Minuten später erhielt er eine automatisierte Bestätigung, dass sein Anliegen geprüft werde.

Am Morgen des 11. März, einem Dienstag, erhielt er zeitgleich zwei E-Mails vom Kleinanzeigen-Service: Mit der einen teilte ihm das

Unternehmen mit, dass seine Anzeige zum Verkauf des Hochbetts nun veröffentlicht worden sei. Der E-Mail hing sogar ein PDF mit der Anzeige als sogenanntes Ver-

**VOR
SICHT
KUNDE!**

kaufsschild an. Doch die Freude über den Erfolg hielt genau bis zum Klick auf die zweite E-Mail: „Wir mussten dein Nutzerkonto gemäß § 6 unserer Nutzungsbedingungen sperren, da wir auffällige bzw. untypische Aktivitäten in deinem Nutzerkonto feststellen mussten. Diese Maßnahme wurde durch unser automatisiertes Kontrollsystem und eine potenzielle Prüfung durch einen Moderator durchgeführt. Du kannst daher nicht mehr auf unsere Plattform zugreifen.“

Eine Minute später kam noch eine dritte E-Mail vom Kleinanzeigen-Team: „Die Anmeldung in deinem Nutzerkonto wird zukünftig nicht mehr möglich sein. Diese Entscheidung ist endgültig. Wir bitten dich daher, Abstand von unserem Marktplatz zu nehmen. Weitere Anfragen deinerseits werden wir gern zur Kenntnis nehmen, jedoch nicht mehr beantworten.“ Dennoch wünsche man alles Gute.

Abgebügelt

Völlig perplex schrieb Falk K. zurück, dass er sich keinerlei Schuld bewusst sei. Man möge ihm doch den konkreten Grund nennen, was an der Anzeige nicht korrekt sei, bat er: „Ich bin echt ratlos. Es ist doch nur ein Bett. Ist an den Bildern was falsch? Oder ist die Beschreibung des Bettes das Problem?“, rätselte der verbannte Kunde.

Nach ein paar Stunden teilte ihm das Kleinanzeigen-Unternehmen mit einer Standard-Antwort mit: „Aufgrund unserer Sicherheitsprüfungen haben wir uns dazu entschlossen, Sie vom Handel auf unserer Plattform auszuschließen. Zu diesem Zweck haben wir Ihr Nutzerkonto gesperrt. Wir haben uns diese Entscheidung nicht leicht gemacht. Es gibt vielfältige Gründe, die zu einem dauerhaften Ausschluss führen können. Bitte haben Sie Verständnis dafür, dass wir nicht genauer auf die Gründe eingehen können, die in Ihrem Fall zu unserer Entscheidung geführt haben. Unsere Entscheidung ist endgültig. Weitere Anfragen Ihrerseits werden wir nicht mehr beantworten.“

Nun wusste sich der langjährige Leser keinen Rat mehr und wandte sich verzweifelt an c't. Auch uns kam die Sache merkwürdig vor. Dass Betreiber solcher Plattformen gegen Missbrauch jeglicher Art vorgehen und sich dabei in einem ersten Schritt automatisierter Verfahren bedienen, ist im Interesse der Nutzer und deshalb nicht zu beanstanden. Dass dabei mitunter auch das Kinderbett mit dem



Fakten		Kurzbeschreibung
Art	Betten & Wiegen	Hochbett aus massiven Holz inkl. Lattenrost und Ablage Maße 2,10m x 1,00m, Höhe der Liegefläche 1,50m, Liegefläche 2,00 x 0,90m
Farbe	Weiß	
Zustand	Gut	
Versand	Versand möglich	

Bild: Falk K.

Eine harmlose Anzeige zum Verlauf eines Möbelstücks führte zum endgültigen Ausschluss des Nutzers auf dem Kleinanzeigenportal.

Bade ausgeschüttet wird, ist schwerlich zu vermeiden. Aber dass auf die Beschwerden hin offenbar keine Überprüfung maschineller Entscheidungen durch Mitarbeiter erfolgt ist und solche Überprüfungen als „potenziell“ bezeichnet werden, also eine keineswegs zwingende Möglichkeit, verwunderte uns doch.

Wir fragten deshalb am 19. April bei der Pressestelle von kleinanzeigen.de nach, was an der harmlosen Anzeige von Falk K. denn anstößig gewesen sei und vor allem, warum auf seine mehrfache Beschwerde keine Korrektur erfolgt sei.

Schnell erledigt

Darauf dauerte es keine zwei Stunden und der Kunde erhielt einen Anruf, in dessen Folge sein Account reaktiviert und seine

Anzeige freigeschaltet wurde. Dasselbe teilte uns auch ein Unternehmenssprecher mit. Eine Woche später war das Hochbett dann auch erfolgreich verkauft.

In einem Telefonat erläuterte uns der Pressesprecher, dass bei Beschwerden eigentlich tatsächlich jemand die Sache hätte persönlich prüfen sollen. Warum das hier nicht erfolgt sei, könne man nicht sagen. Zu den Gründen, die zu der Sperrung geführt hatten, wollte der Sprecher nichts sagen, weil bei Bekanntgabe die Gefahr bestehe, dass wirkliche Spitzbuben die Algorithmen austricksen könnten.

Für diese Verschwiegenheit haben wir sogar Verständnis. Für den Umgang von kleinanzeigen.de mit den Beschwerden seines Kunden allerdings nicht die Bohne. (tig@ct.de) **ct**

Service im Visier

Immer wieder bekommen wir E-Mails, in denen sich Leser über schlechten Service, ungerechte Garantiebedingungen und überzogene Reparaturpreise beklagen. Ein gewisser Teil dieser Beschwerden ist offenbar unberechtigt, weil die Kunden etwas überzogene Vorstellungen haben. Vieles entpuppt sich bei genauerer Analyse auch als alltägliches Verhalten von allzu scharf kalkulierenden Firmen in der IT-Branche.

Manchmal erreichen uns aber auch Schilderungen von geradezu haarsträubenden Fällen, die deutlich machen, wie einige Firmen mit ihren Kunden umspringen. In unserer Rubrik „Vorsicht,

Kunde!“ berichten wir über solche Entgleisungen, Ungerechtigkeiten und dubiose Geschäftspraktiken. Damit erfahren Sie als Kunde schon vor dem Kauf, was Sie bei dem jeweiligen Unternehmen erwarten oder manchmal sogar befürchten müssen. Und womöglich veranlassen unsere Berichte ja auch den einen oder anderen Anbieter, sich zukünftig etwas kundenfreundlicher und kulanter zu verhalten.

Falls Sie uns eine solche böse Erfahrung mitteilen wollen, senden Sie bitte eine chronologisch sortierte knappe Beschreibung Ihrer Erfahrungen an: vorsichtkunde@ct.de.

Forschen für alle

Wie Sie Feinstaub messen, Vögel zählen
und das Stadtleben verbessern



Citizen-Science-Projekte im Überblick	Seite 56
Interview: Was nützt Citizen Science?	Seite 58
Vögel beobachten und zählen mithilfe von Apps ..	Seite 60
Feinstaub messen mit Selbstbausensor	Seite 64
Besser leben in der Stadt	Seite 66

Jeder Mensch kann forschen, man braucht nur das passende Projekt. Mit Citizen Science kann jeder etwas lernen, direkt anwenden und damit auch noch Gutes bewirken. Wir stellen Ihnen verschiedene Mitmachprojekte und -initiativen vor, damit Sie gleich loslegen können.

Von Greta Friedrich

Um wissenschaftlich zu arbeiten, braucht man einen Studienabschluss? Ein Irrtum! Bei Citizen Science, auch Bürgerwissenschaften genannt, darf und soll ausdrücklich jeder Mensch mitmachen. Weltweit gibt es unzählige Projekte, die verschiedene Bereiche des Lebens abdecken und zum Mitforschen einladen, darunter viele in Deutschland, Österreich und der Schweiz.

In Zeiten von Desinformation und Fake News kann es heilsam sein, selbst an wissenschaftlichen Projekten teilzuhaben. Wer die wissenschaftliche Methodik versteht, weiß, dass keine Verschwörung dahintersteckt, wenn Wissenschaftler ihre Empfehlungen ändern. Am besten lernt man das, indem man selbst zu Forschungsarbeiten beiträgt und ihren Prozess bis zur Veröffentlichung der Ergebnisse verfolgt. So fällt es leichter, der Wissenschaft zu vertrauen und Verständnis für die manchmal zähe Arbeit von Forschern aufzubringen.

In dieser Artikelstrecke erfahren Sie zunächst, was Citizen Science ist, wo Sie Projekte finden und wie Sie selbst aktiv werden können. Anschließend lernen Sie eine Auswahl aktueller Projekte kennen. In diesen identifizieren Sie Lebewesen mithilfe von Apps, basteln eine eigene Messstation oder erfassen online, ob Ihre Wohngegend barrierefrei ist. Lassen Sie sich inspirieren, mit unseren Tipps können Sie direkt loslegen.

Eins, zwei, drei: aktuelle Vogelzählaktionen

Im Interview mit c't erklärt Wiebke Brink von der Organisation Wissenschaft im Dialog den Ursprung von Citizen Science (siehe S. 58). Sie erläutert, welche Anforderungen ein Projekt erfüllen muss und warum es den Menschen meist um mehr

geht, als stumpf Daten zu sammeln. Denn Citizen Science ist keine Einbahnstraße: Von einem gelungenen Projekt profitieren Bürger ebenso wie Wissenschaftler.

Passenderweise erzählt Frau Brink, dass das erste bürgerwissenschaftliche Projekt im Jahr 1900 eine Vogelzählaktion in den USA war: Kurz nach Erscheinen dieses Heftes veranstalten der Naturschutzbund (NABU) in Deutschland und der Verband BirdLife in der Schweiz wieder die „Stunde der Gartenvögel“. Bei dieser mehrtägigen Aktion zählen die Teilnehmer Vögel, die Verbände sammeln die Daten und werten sie aus. So entsteht ein umfassendes Bild davon, welche Arten wo vertreten sind, welche schwinden oder wo die Bestände sich erholen.

Wenn Sie den Ornithologen in sich entdecken möchten, versorgt Sie unser Artikel auf Seite 60 mit Tipps: Lesen Sie, wie Sie Ihr Artenwissen aufbauen oder auffrischen, was Sie während der Zählstunde beachten sollten und wie Sie Ihre Forschungsergebnisse melden. Außerdem erfahren Sie, welche Apps Ihnen helfen, Vögel und andere Lebewesen zielsicher zu bestimmen.

Feinstaub messen und Plastik erfassen

Wie aus einer kleinen Gruppe Freiwilliger in Stuttgart eine weltweite Forscher-Community wurde, erzählt unser Artikel über die Sensor.Community auf Seite 64. Mit lediglich einem Stück Rohr, preisgünsti-

gen Sensoren und freier Software auf einem Kleinstrechner können auch Sie sich eine Messstation für Feinstaub basteln und dem Netzwerk beitreten.

Zum Schluss stellen wir Ihnen auf Seite 66 drei Projekte vor, die das Leben in der Stadt verbessern wollen. Schulklassen ziehen zum Beispiel als Plastikpiraten los, um Gewässer von Müll zu befreien und ihn wissenschaftlich zu erfassen. Im Mai beginnt der nächste Aktionszeitraum, in dem sich Schulklassen und Jugendgruppen einbringen können.

Außerdem zeigen wir Ihnen zwei Straßenkarten der besonderen Art, zu denen Sie beitragen können. Die Wheelmap zeigt auf, welche Orte für Menschen mit Mobilitätseinschränkung gut zugänglich sind und welche nicht. Indem Sie sich einbringen, helfen Sie nicht nur Betroffenen, sondern machen auch auf Verbesserungsmöglichkeiten aufmerksam. Mit einer Stadtkarte der Emotionen hingegen versuchen Berliner Forscher, das Stadtleben für alle zu verbessern.

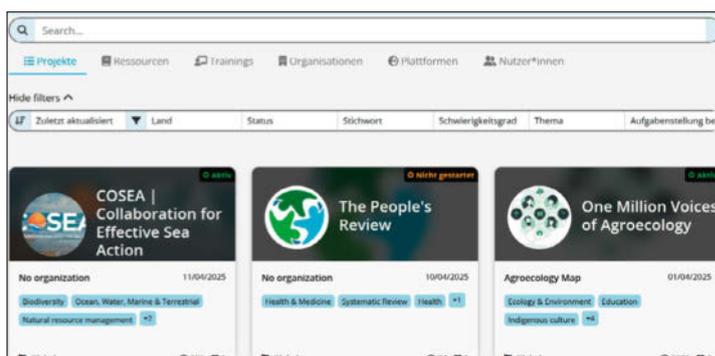
Finden Sie das passende Projekt

Ob mit einer App oder analog, in der Gruppe oder allein – für fast jeden gibt es das passende Citizen-Science-Projekt. Wenn bei unseren Vorschlägen noch nichts für Sie dabei war, besuchen Sie doch einmal die nationalen und europäischen Citizen-Science-Plattformen im Internet.

Zum Beispiel die Seiten der Initiativen mit:forschen! (mitforschen.org, für Deutschland), Österreich forscht (citizen-science.at) und Schweiz forscht (schweizforscht.ch) sowie die European Citizen Science Platform (eu-citizen.science, für Europa und darüber hinaus). Auf diesen Seiten finden Sie jeweils lange Listen mit aktuellen und auch vergangenen Projekten. Filtern Sie diese nach Themengebiet und Ort, um „Ihr“ Projekt zu finden. Und dann packen Sie's an und forschen Sie mit. (gref@ct.de) **ct**

Zu den Projektplattformen: ct.de/yqhr

Auf der European Citizen Science Plattform finden Sie mithilfe von Filtern etliche Mitmachprojekte in Europa und weltweit.



„Partizipation ist kein Selbstläufer“

Warum Bürger forschen und was es Wissenschaftlern bringt

Was erhoffen sich Wissenschaftler von Citizen Science? Warum sollten sich Bürger beteiligen? Und welche Anforderungen muss ein Projekt überhaupt erfüllen, um als Citizen Science zu gelten? Die Co-Projektleiterin der Initiative mit:forschen!, Wiebke Brink, spricht über die Herausforderungen und Chancen von Bürgerwissenschaft.

Von Sabrina Patsch

Einmal selbst Forscher sein – dank Citizen Science ist dafür mittlerweile kein langjähriges Studium mehr nötig. In bürgerwissenschaftlichen Projekten können Neugierige ohne viel Vorwissen zu wissenschaftlichen Erkenntnissen beitragen. Die zentrale Plattform für Citizen Science in Deutschland, mit:forschen! Gemeinsam Wissen schaffen, erleichtert Interessierten den Einstieg.

Seit 2014 präsentiert, vernetzt und unterstützt die Initiative auf ihrer Website mitforschen.org bürgerwissenschaftliche Projekte. Insbesondere listet sie aktive und vergangene Citizen-Science-Projekte übersichtlich auf und erlaubt, sie nach Themen oder Standorten zu filtern. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert, gleichberechtigte Projektpartner sind „Wissenschaft im Dialog“ (WiD, eine zentrale

Organisation für Wissenschaftskommunikation in Deutschland) und das Museum für Naturkunde Berlin.

Wiebke Brink von WiD ist neben Moritz Müller vom Naturkundemuseum Co-Projektleiterin von mit:forschen!. Darüber hinaus hat die studierte Kulturwissenschaftlerin im Lenkungskreis der Citizen-Science-Strategie 2030 mitgearbeitet, die 15 Handlungsfelder und 94 politische Handlungsempfehlungen auflistet, um Citizen Science bis 2030 zu stärken. Mit c't spricht die Expertin über die Chancen, Herausforderungen und Grenzen von Citizen Science.

c't: Frau Brink, seit wann gibt es Citizen Science?

Wiebke Brink: Die erste organisierte bürgerwissenschaftliche Aktion fand 1900 statt. Das war eine Vogelzählung in den USA, die seitdem jedes Jahr durchgeführt wird. In den 1990er Jahren wurde der Begriff „Citizen Science“ definiert. Mit der Digitalisierung in den 2000er Jahren gab es dann einen besonders großen Aufschwung. Es ist heutzutage viel einfacher, mit Apps Daten zu erfassen oder sich im Internet auszutauschen.

c't: In sehr vielen Projekten geht es darum, dass Laien Daten sammeln – und die können Fehler machen. Eignen sich solche Daten überhaupt für die Forschung?

Brink: Es ist ein ganz wichtiger Teil in jedem Citizen-Science-Projekt, sich darüber Gedanken zu machen, wie man eine gute Datenqualität erreicht. Partizipation in der Forschung ist kein Selbstläufer, sondern erfordert viel Zeit, Ressourcen und Engagement. Wir fragen uns: Wie müssen



Bild: KI, Collage c't

Teilnehmende geschult und angeleitet werden, damit die Daten brauchbar sind? Weitere Instrumente zur Qualitätskontrolle sind zum Beispiel Pilotphasen oder eine mehrfache Prüfung der Daten durch andere Teilnehmende oder die beteiligten Wissenschaftler:innen.

c't: Diese Vor- und Nachbereitung ist ziemlich aufwendig. Lohnt sich das überhaupt?

Brink: Nicht jedes Projekt eignet sich für Citizen Science. Aber es gibt mehrere Gründe, warum sich Citizen Science trotz des Aufwands für Wissenschaftler:innen lohnen kann. Besonders nützlich ist sie, wenn man eine so große Datenbasis braucht, dass sie einzelne Forschende nicht zustande bekommen.

c't: Die Plastikpiraten (siehe Seite 66) sammeln zum Beispiel Müll aus Gewässern. So finden sie heraus, welche Arten von Mikroplastik dort vorliegen.

Brink: Genau. Aber neben diesen wissenschaftlichen Erkenntnissen machen sie auch auf Umweltverschmutzung aufmerksam und reinigen Flüsse und Flussufer. Citizen Science kann für ein Thema sensibilisieren, Wissen vermitteln oder evidenzbasierte Entwicklung von Maßnahmen möglich machen. Darin steckt ein großes Potenzial für Empowerment. Durch die Zusammenarbeit von Wissenschaftler:innen und Bürger:innen stärkt man ihr Gefühl von Selbstwirksamkeit. Menschen werden in die Lage versetzt, mit ihrem neuen Wissen aktiv zu werden und etwas zu verändern.

Außerdem wird ihre Wissenschaftskompetenz gestärkt, sie lernen zum Beispiel wissenschaftliche Methoden anzu-

wenden. Bürger:innen können an der Wissenschaft teilhaben und diese mitgestalten. Dahinter steckt auch eine Haltung: Wissenschaft soll offener und transparenter werden.

c't: Das klingt sehr nach einem Top-Down-Ansatz: Die Wissenschaftler belehren die Bürger.

Brink: Citizen Science ist keine Einbahnstraße, sondern eine Zusammenarbeit auf Augenhöhe. Auch Forschende lernen viel aus diesen Projekten, etwa über die Zusammenarbeit in solchen Teams und effektive Wissenschaftskommunikation. Auch bekommen sie gezielt Einblicke in die Perspektiven von Betroffenen. So können sie diversere Personengruppen in ihre Forschung einbeziehen und Erfahrungswelten ausschöpfen, die ihnen selbst verschlossen sind.

Die European Citizens Science Association (ECSA) definiert zehn Prinzipien, die ein gutes Citizen-Science-Projekt ausmachen. Dazu gehört, dass es einen echten Mehrwert für Forschende *und* Bürger:innen gibt. Der entsteht in der Regel nicht, wenn es kein gegenseitiges Interesse an einer echten Zusammenarbeit gibt.

c't: Welche Anforderungen muss ein Citizen-Science-Projekt noch erfüllen?

Brink: Wir bei mit:forschen! orientieren uns an einer Definition aus dem Grünbuch Citizen Science. Die besagt, kurz gesagt, dass Citizen Science eine aktive Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern in verschiedenen Phasen des Forschungsprozesses umfasst, mit dem Ziel, neues Wissen zu schaffen. Die ECSA-Prinzipien sehen zum Beispiel auch vor, dass die Ergebnisse öffentlich zugänglich gemacht werden oder die Projekte zu echten wissenschaftlichen Ergebnissen führen.

c't: Ist es also keine Citizen Science, wenn die gesammelten Daten nicht auch wissenschaftlich ausgewertet werden? Die Wheelmap (siehe Seite 66) listet erst einmal nur von Bürgern gesammelte Informationen über rollstuhlgerechte Orte auf. Ist das noch Citizen Science?

Brink: Es gibt eine wahnsinnig große Vielfalt an Projekten und wir gehen da relativ offen ran. Auch Projekte, die erstmal nur

dazu dienen, wissenschaftliche Daten zu sammeln und bereitzustellen, sind für uns Citizen Science. Dazu gehören auch die Wheelmap und zum Beispiel Transkriptionsprojekte, wo historische Dokumente transkribiert, digitalisiert und so nutzbar gemacht werden. Diese Daten stehen dann ja für die Forschung zur Verfügung. Auf Basis der Wheelmap ist beispielsweise das Projekt IncluScience entstanden.

c't: Geht es bei Citizen Science immer um das Sammeln von Daten?

Brink: Häufig sammeln Bürger:innen Daten, aber sie können und sollen prinzipiell in jeder Phase eines Forschungsprojekts mitarbeiten, also auch beim Entwickeln der Forschungsfrage oder der Datenauswertung. Und tun das auch in vielen Projekten. Welcher Ansatz am sinnvollsten ist, hängt vom Projekt und der Fragestellung ab.

c't: Beim „Distributed Computing“ stellen Privatpersonen die Rechenleistung ihrer Computer zur Auswertung von wissenschaftlichen Daten zur Verfügung, etwa in der Molekül- oder Astrophysik. Ist das auch Citizen Science?

Brink: Das ist schon eher im Randbereich, weil die Teilhabe sehr passiv ist. Aber es ist natürlich auch ein Weg, sich für Wissenschaft zu engagieren.

c't: Wie unterscheidet sich Citizen Science von Civic Technology, wo Bürger ebenfalls mit digitalen Tools an Projekten teilnehmen (siehe Seite 64)?

Brink: Es gibt verschiedene Partizipationsansätze, die sich nicht immer trennscharf voneinander abgrenzen lassen. Dazu ist gerade erst ein Leitfaden erschienen, der verschiedene Ansätze vorstellt. Die Ansätze sind vor unterschiedlichen Hintergründen und Zielsetzungen entstanden und sprechen daher auch unterschiedliche Menschen oder Communities an. Bei Civic Tech steht nach meinem Verständnis die Arbeit mit offenen Daten im Vordergrund, bei Citizen Science ist das Hauptkriterium die gemeinsame Arbeit an einer Forschungsfrage. Trotzdem gibt es auch hier Überschneidungen, wie zum Beispiel bei Projekten, die Umweltdaten mit Sensoren erfassen.

c't: Und welche Gründe haben Bürger, sich an Citizen Science zu beteiligen?

Brink: Da gibt es viele. Vielleicht reizt sie das Thema, vielleicht ist es ein regionales Projekt, dem sich die Personen verbunden fühlen, oder vielleicht bringen sie eine spezielle Expertise mit. Manche möchten sich einfach ehrenamtlich engagieren oder mit anderen Menschen zusammenarbeiten. Andere sehen es vielleicht aus einer eigenen Betroffenheit heraus, zum Beispiel bei Erkrankungen, als Chance, die Umstände im Alltag leichter zu machen oder Behandlungen zu verbessern.

c't: Auf der Website Ihrer Initiative mit:forschen! können Bürger das für sie passende Projekt finden. Ist die Initiative eine reine Projektdatenbank?

Brink: Wir sind als reine Informationsplattform gestartet, wir wollten über Citizen Science informieren. Inzwischen erfüllen wir viele Zwecke: Wir beraten Projektinitiator:innen, bieten Trainings an, vernetzen und unterstützen. Wir von Wissenschaft im Dialog sind Projektpartner. Unsere Vision ist eine Gesellschaft, die Wandel mit Wissen gestaltet. Um das zu erreichen, braucht es Zugänge und Interaktionen zwischen Wissenschaft und Gesellschaft. Bürgerwissenschaft ist da ein ganz wichtiges Mittel.

c't: Citizen Science ist mittlerweile auch selbst Gegenstand der Forschung. Welche Erkenntnisse erhofft man sich da?

Brink: Da gibt es zwei Stränge. Zum einen fragt man, was ein gutes Citizen-Science-Projekt ausmacht. Wer nimmt aus welchen Gründen an Projekten teil und wer eher nicht? Und zum anderen untersucht man die Wirkung von Citizen Science auf individueller Ebene. Gibt es tatsächlich einen Wissenszuwachs, ändern sich das Verhalten oder Einstellungen durch das Mitforschen? Auf gesellschaftlicher Ebene steht dahinter natürlich die Frage: Wie groß ist der Impact, macht es Wissenschaft wirklich offener? Die Hoffnung ist, dass wir über solche Formen der Zusammenarbeit gemeinsam eine Wissenschaftskultur schaffen, die neugierig macht, Vertrauen stärkt und neue Lösungsansätze für die heutigen vielfältigen Herausforderungen hervorbringen kann. (spa@ct.de) **ct**

Links zu den erwähnten Projekten:
ct.de/ya48

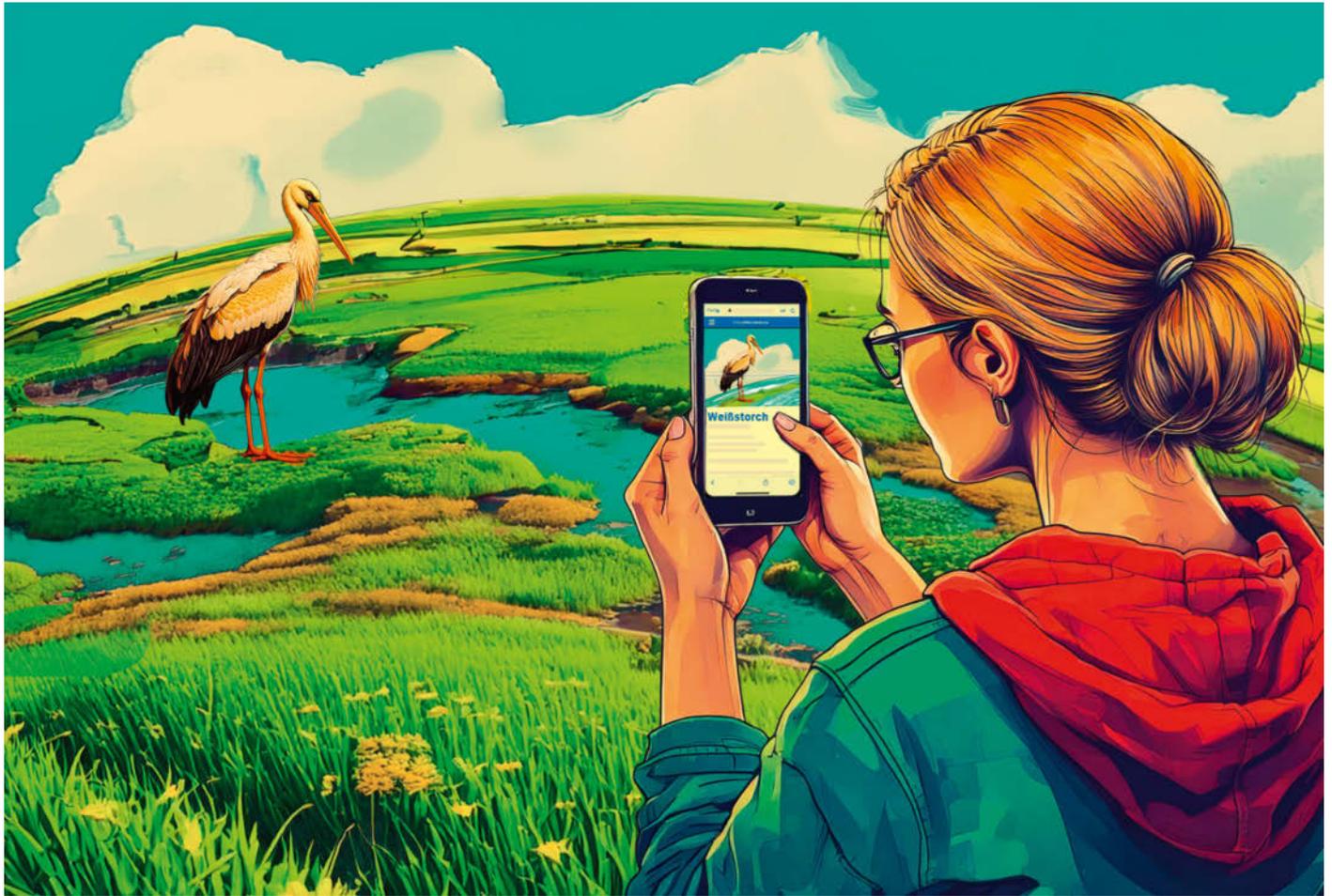


Bild: KI, Collage ct

Zählstunde

Citizen-Science-Projekte in der Natur und hilfreiche Apps dafür im Überblick

Rausgehen, Vögel zählen und nebenbei die heimische Natur kennenlernen: Dazu ermuntern diverse Citizen-Science-Projekte. Passende Apps helfen dabei, Meisen und Finken korrekt zu erfassen, und vermitteln spannende Informationen zu den Tieren. Wir stellen Apps und Projekte vor, mit denen Sie gleich losforschen können.

Von Greta Friedrich

Piept's bei dir?", fragt die Blaumeise auf der Postkarte. Sie wirbt für die Vogel-Zähl-Aktion des Naturschutzbunds Deutschland (NABU), ein regelmäßiges Citizen-Science-Projekt. Um teilzunehmen, halten Sie sich für eine Stunde draußen an einem Ort auf und zählen alle Vögel, die Sie sehen oder hören und einer Art zuordnen können. Die Ergebnisse melden Sie dem NABU. Dort werten Ornithologen die Daten aus, um langfristige Trends bei den Vogelbeständen zu erkennen: So wurden zum Beispiel von 2006 bis 2023 der Feldsperling immer häufiger und die Amsel immer seltener beobachtet (Links zu den erwähnten Organisationen

und Aktionen haben wir unter ct.de/y6xd zusammengestellt).

Bald läuft die nächste Zählaktion in Deutschland, die „Stunde der Gartenvögel“ (9. bis 11. Mai 2025), die der NABU gemeinsam mit seinem bayerischen Partner Landesbund für Vogel- und Naturschutz (LBV) verantwortet. In der Schweiz richtet der Verband BirdLife die Zählstunde aus, hier läuft sie vom 7. bis 11. Mai. In Österreich gibt es keine vergleichbare Aktion im Sommer, dafür können Sie hier melden, wenn Sie den ersten Kuckuck im Jahr hören. Mehr über weitere Natur-Zählaktionen lesen Sie im Kasten „Jenseits der Vogelwelt“.

Für die Zählstunde brauchen Sie nur Zettel und Stift oder das Handy, um Ihre Beobachtungen zu notieren. Auch ein Fernglas ist nützlich. Doch auch Apps und Websites können helfen: Manche zeigen Ihnen, woran Sie bestimmte Vogelarten erkennen, andere lauschen dem Vogelgesang und listen auf, welche Art diesen vermutlich von sich gibt. Wir stellen Ihnen hier eine kleine Auswahl kostenloser Angebote vor. Außerdem zeigen wir, wo Sie

später die Zählergebnisse melden und die Auswertung finden – und was es jenseits der Vogelwelt zu erforschen gibt.

Häufige Arten kennenlernen

Amsel, Drossel, Fink und Star ... kennen viele Menschen nur noch aus Frühlingsliedern. Eine repräsentative Umfrage im Auftrag des bayerischen Landesbunds für Vogelschutz (LBV) zeigte 2021, dass die meisten sagenhaft schlecht darin sind, heimische Vogelarten zu bestimmen. Kein Wunder, dass eine Pressereferentin des NABU gegenüber c't erklärte, dass der größte Erfolg der Zählstunden sei, „jedes Jahr so viele Menschen für die Natur vor der Haustür zu begeistern“. Bei der Stunde der Gartenvögel 2024 nahmen mehr als 58.000 Menschen teil, bei der Stunde der Wintervögel 2025 sogar mehr als 122.000.

„Die Menschen beschäftigen sich mit Vogelarten und lernen sie kennen. Nur was man kennt, wird man auch schützen, zum Beispiel indem man seinen Garten oder Balkon vogelfreundlich gestaltet“, sagte die Referentin. Um den Menschen die Vogelwelt wieder näherzubringen und Engagement zu fördern, betreiben der NABU und auch BirdLife diverse Angebote im Internet. Auf den Websites zu den beiden NABU-Zählaktionen (Stunde der Gartenvögel und Stunde der Wintervögel) finden Sie jeweils neben aktuellen Informationen zu den Zählergebnissen auch Möglichkeiten, mehr über Vögel zu lernen.

Da gibt es zum Beispiel die „40 häufigsten Gartenvögel im Porträt“ und analog dazu die „35 häufigsten Wintervögel“, jeweils mit Fotos, Infopoppen und oft auch Tonaufnahmen. Fortgeschrittene wagen sich an die große Porträtsammlung mit 314 Arten, die in Deutschland vorkom-



Amseln erfreuen sich an Komposthaufen – beziehungsweise dem, was darin krabbelt und kriecht. Spielerisch lernen Sie im NABU-Vogeltrainer Fun Facts und harte Fakten über jeweils 15 Garten- und Wintervögel.

men. Manche Vögel sind leicht zu verwechseln, beispielsweise die kleinen und unscheinbar gefärbten Zilpzalp und Fitis. Solche Kandidaten stellt die Seite „Gartenvögel im Vergleich“ vor und verdeutlicht optische Unterschiede auf Übersichtstafeln. Auch in der NABU-App, die wir weiter unten vorstellen, können Sie Vögel direkt vergleichen.

Vogelwissen spielerisch vertiefen

Üben Sie das neu erworbene Wissen im Quiz: Zum Beispiel im NABU-Vogeltrainer, einem E-Learning-Angebot, das Ihnen zunächst interaktive Informationsschnipsel zu einer Vogelart serviert. Sie klicken sich durch Gesangsproben, Fun Facts und Gartentipps und testen anschließend das Gelernte in einem kurzen Quiz. Danach springen Sie zur nächsten Art und lernen so jeweils 15 Winter- und Gartenvögel kennen.

BirdLife Schweiz hat ein ähnliches Angebot, das sich aber auf Vogelgesang konzentriert. Bei Bird Song üben Sie in fünf verschiedenen Schwierigkeitsgraden, Gesänge, Rufe und Merksprüche den richtigen Arten zuzuordnen. Zum Beispiel ähnelt der Ruf der Türkentaube dem Ausspruch: „Du Kuh, du!“ Auch der österreichische Ableger von BirdLife unterhält eine Vogelquiz-Seite mit sechs Schwierigkeitsgraden; hier geht es darum, Besucher am Futterhäuschen anhand von Fotos zu erkennen. Wer sich besonders gut mit Bartgeiern auskennt, findet beim bayerischen LBV ein passendes Quiz.

Schauen, horchen, zählen

Mit diesem Wissen sind Sie bestens für die Zählstunde gerüstet. Während der soll man sich laut NABU an einem festen Ort aufhalten, zum Beispiel auf einer Parkbank oder im Gartenstuhl. Haben Sie Ihren Platz gefunden, beobachten und be-

lauschen Sie für eine Stunde die Vögel um sich herum und notieren Art und Anzahl. Dabei zählt immer die maximale Anzahl an Vögeln einer Art, die man gleichzeitig sieht oder hört. Sie sehen zum Beispiel nach zehn Minuten eine Gruppe von sechs Haussperlingen und eine halbe Stunde später nochmal einen einzelnen. Dann notieren Sie sich sechs Haussperlinge. Sehen Sie fünf Minuten später acht Haussperlinge, notieren Sie acht. Weitere Tipps für die Zählstunde gibt der NABU auf seiner Website.

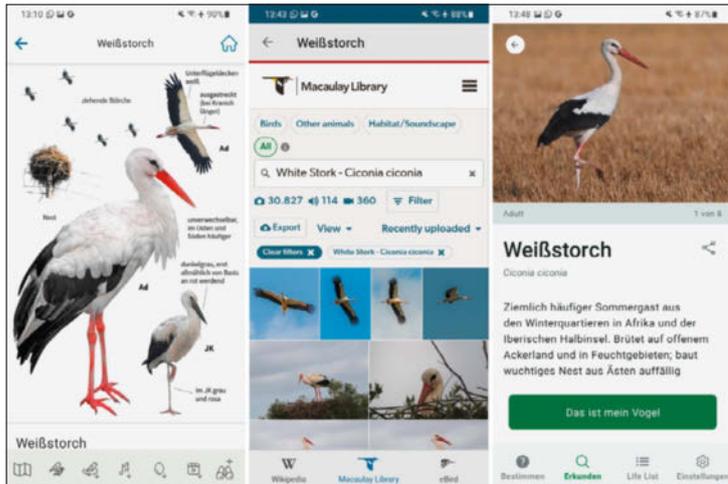
Apps können helfen, während der Zählstunde unbekannte Vögel zu bestimmen. In c't 20/2023 haben wir fünf Vogelerkennungs-Apps getestet [1]. Drei davon können während der Zählstunde besonders hilfreich sein. Zwei Apps entwickelt das Cornell Lab of Ornithology, das zur Cornell University in Ithaca, New York, gehört: zum einen die App Merlin Bird ID, die es allein betreibt, und zum anderen die App BirdNET, ein Gemeinschaftsprojekt mit der Technischen Universität Chemnitz. Die dritte App bietet der NABU an, seine App NABU Vogelwelt gilt für Deutschland; für Österreich und die Schweiz betreibt BirdLife jeweils eine Schwester-App vom selben Entwicklerstudio (siehe ct.de/y6xd), bei der die Artenliste jeweils leicht angepasst ist. Alle hier vorgestellten Apps sind in der Basis-

ct kompakt

- Der NABU richtet jährlich zwei Vogelzählaktionen aus, die nächste Anfang Mai.
- Apps können dabei helfen, Vogelarten kennenzulernen, zu bestimmen und Beobachtungen zu melden.
- Auch für Pflanzen, Bienen und andere Lebewesen gibt es Mitmach-Forschungsprojekte und hilfreiche Apps.

Termine zum Vögelzählen

- 9. bis 11. Mai (DE) bzw. 7. bis 11. Mai (CH) 2025: Stunde der Gartenvögel
- 3. bis 6. Januar 2026: Stunde der Wintervögel (AT)
- 9. bis 11. Januar 2026: Stunde der Wintervögel (DE, CH)
- 8. bis 10. Mai 2026: Stunde der Gartenvögel 2026 (DE, CH)



Alle drei hier vorgestellten Apps enthalten Vogelpor-träts (von links: NABU, BirdNET, Merlin). Besonders liebevoll gestaltet sind diese in der NABU-App.

Fragen (Ort und Zeit der Beobachtung, Größe, Farben und Verhalten des Vogels) und zeigt dann die möglichen Ergebnisse. Bei der NABU-Vogelwelt wählen Sie Aspekte wie Lebensraum, Farben, Größe oder Schnabelform aus und schränken damit die Ergebnisliste immer weiter ein.

Mit gut 300 Arten kennt die NABU-Vogelwelt von den hier vorgestellten Apps die wenigsten Vögel. Während einer gewöhnlichen Zählstunde wird sie aber vermutlich nicht an ihre Grenzen kommen, denn sie ist auf Deutschland spezialisiert. Anders als BirdNET, das zwar die Stimmen von rund 3000 Arten kennt, die sich aber auf die ganze Welt verteilen. Merlin Bird ID kennt, wenn man alle „Bird Packs“ installiert, über 10.000 Vogelarten weltweit. Das Paket für Westeuropa enthält 383.

Ergebnisse melden

Ist die Zählstunde rum und Sie haben Ihre Strichliste mit Vögeln parat, können Sie die Daten online über das Meldeformular des NABU einpflegen oder auch postalisch einschicken (den Meldecoupon dafür finden Sie auf der NABU-Website). Alternativ dient Ihnen die App NABU-Vogelwelt schon während der Zählstunde als Notizzettel. Erstellen Sie dafür am besten vor

version kostenlos für iOS und Android erhältlich und haben eine deutschsprachige Bedienoberfläche.

Bestimmung via Audio, Foto oder Merkmalsfilter

Wie die Apps Vögel bestimmen, ist unterschiedlich. BirdNET erkennt Vogelstimmen, Merlin Bird ID kann zusätzlich Fotos auswerten und Arten bestimmen, indem es Merkmale abfragt. Die NABU-Vogelwelt filtert in der Basisversion ihre Artenliste nach Merkmalen, die Audio- und Fotoerkennung sind nur im kostenpflichtigen Abo enthalten.

Da Vögel selten für ein Foto still sitzen und Sie während der Zählstunde ortsgebunden sind, helfen Ihnen hier vermutlich die Audio- und Merkmalsfunktionen am meisten. BirdNET ist besonders schnell einsatzbereit, die Tonaufnahme startet direkt nach dem Öffnen der App. Haben Sie ausreichend Material aufgenommen, stoppen Sie die Aufnahme, wählen einen Schnipsel aus und lassen ihn analysieren. BirdNET gibt eine nach Wahrscheinlichkeiten geordnete Ergebnisliste aus – vorausgesetzt, Sie haben Netz.

Sollten Sie im Funkloch sitzen, nutzen Sie lieber die beiden anderen Apps. Merlin Bird ID müssen Sie unbedingt vorher einrichten: Hier laden Sie einzelne „Bird Packs“ herunter, die Vögel einer Region enthalten, zum Beispiel Westeuropa. Danach bestimmt die App Vögel lokal anhand von Audioaufnahmen oder Fotos. Besonders hilfreich ist, dass Merlin während der Tonaufnahme live einblendet, welche Vögel gerade zu hören sind – so können Sie Gesang und Vogel direkt verknüpfen und lernen.

Abspielen sollten Sie solche Tonaufnahmen von Vogelgesang übrigens nur leise, wenn überhaupt. Die Tiere singen

oder rufen, um ihr Revier zu markieren, einander vor Gefahren zu warnen oder bei der Partnersuche. Hören sie eine Tonaufnahme, kann sie das in ihrem Verhalten stören.

Nicht alle Vögel in der Datenbank

Wenn Sie einen Vogel vorbeihüpfen sehen oder mit dem Fernglas im Gebüsch beobachten, hilft Ihnen die Audioerkennung nicht. Nutzen Sie dann die Merkmalsbestimmung. Merlin Bird ID stellt hierzu fünf

Jenseits der Vogelwelt

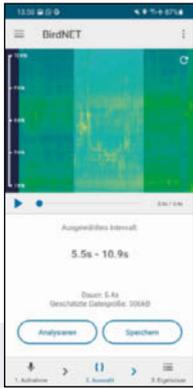
Flora und Fauna haben mehr zu bieten als Vögel und auch Citizen-Science-Projekte sind nicht auf sie beschränkt. Die Plattform „NABU | naturgucker“ listet eine ganze Reihe von Aktionen auf, bei denen Sie nach bestimmten Arten oder Phänomenen Ausschau halten und Ihre Beobachtungen melden. Die Themen reichen von der Asiatischen Hornisse über frühe Falter bis zu Weißstörchen im Winter.

Im Projekt „Phänologie (Pflanzenjahr)“ beobachten Sie beispielsweise das ganze Jahr über, welche Pflanzen gerade knospen, blühen, Früchte tragen oder ihre Blätter abwerfen. Mit dem Deutschen Wetterdienst wertet NABU | naturgucker die gesammelten Daten aus und erkennt so den Wechsel der Jahreszeiten jenseits von Kalendertagen. Keine Sorge, Sie können hier auch nur sporadisch Beobachtungen melden und müssen nicht das ganze Jahr über aktiv sein.

Beim Projekt „Stadtinsekten“ melden Sie Insekten und die Pflanzen, auf denen

sie sitzen. NABU | naturgucker betreut das Projekt zusammen mit dem Naturgarten e. V., die Partner wollen die gesammelten Daten auswerten. Im Meldeportal laden Sie Beobachtungen inklusive Fotos hoch, anhand derer Sie die Insekten auch bestimmen lassen können.

Apps helfen Ihnen dabei, Pflanzen, Insekten und mehr zu bestimmen. In c't 17/2023 haben wir sechs Pflanzenerkennungs-Apps getestet [2], in c't 17/2024 verglichen wir zehn Natur-Apps, die sich auch zur Bestimmung von Insekten eignen [3]. Empfehlenswert fanden wir für die Pflanzenwelt vor allem Flora Incognita, betrieben von der Technischen Universität Ilmenau, sowie Pl@ntNet, eine App von mehreren französischen Forschungseinrichtungen. Gute Helferlein in der Natur sind außerdem ObsIdentify (Fotoerkennung; Herausforderungen, wie die „Arten-Olympiade“ 2025 in Deutschland, Österreich und der Schweiz), Seek (Live-Fotoerkennung) und iNaturalist (rege Community).

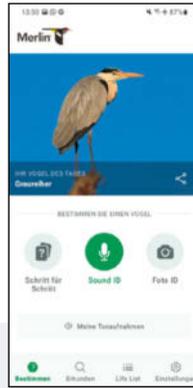


BirdNET

Die schlanke App ist die richtige Wahl, um schnell eine Vogelstimme aufzunehmen und zu bestimmen. Gleich nach dem Öffnen der App startet die Tonaufnahme, das Spektrogramm zeigt, ob die Vogelstimme gut heraussticht. Wenn ja, stoppen Sie die Aufnahme, wählen eine aussagekräftige Stelle im Spektrogramm und tippen unten auf „Analysieren“. Für die Analyse und um weitere Informationen zu den Vogelarten anzuzeigen (von Wikipedia, der Macaulay Library und eBird), benötigt die App eine Internetverbindung. Fehlt diese, tippt man auf „Speichern“ und lässt die Aufnahme später bestimmen.

- 📌 fix startklar
- 📌 einfache Bedienung
- 📌 braucht Internet

Preis: kostenlos



Merlin Bird ID

Merlin Bird ID ist ein Alleskönner: Die App bestimmt Vögel per Audio- und Fotoerkennung sowie Merkmalsabfrage. Beim ersten Start der App muss man eine Mailadresse angeben (Newsletter) und lädt dann am besten direkt ein Bird Pack herunter, das zur Heimatregion passt. Die Vogelpakete enthalten Fotos, Audios und Informationen zu Vogelarten. Für Deutschland, Österreich und die Schweiz eignet sich das Westeuropapaket, das 383 Arten enthält. Standardmäßig kennt die App nur die englischsprachigen Namen der Vogelarten – in den Einstellungen laden Sie das deutsche Sprachpaket herunter.

- 📌 drei Bestimmungswege
- 📌 lokale Bestimmung
- 📌 auf Wunsch riesige Datenbank

Preis: kostenlos



NABU Vogelwelt

Bei der NABU-Zählstunde ist die NABU-App ein passender Begleiter. Für Österreich und die Schweiz gibt es Schwester-Apps mit unterschiedlichen Artenlisten. In der kostenlosen Basisversion hat die App einen Merkmalsfilter, der mithilfe von Illustrationen viele Details abfragt und die Liste so nach und nach einschränkt. Herzstück sind die detaillierten Artenporträts mit freigestellten Vogelfotos, in denen man gut stöbern und mehr über Vogelarten lernen kann. Während der Zählstunde sammeln Sie Ihre Beobachtungen direkt in der App in einer Liste, die Sie anschließend an den NABU melden.

- 📌 liebevolle Artenportraits
- 📌 Beobachtungen direkt melden
- 📌 nur Merkmalsbestimmung gratis

Preis: Basisversion kostenlos, Vollversion für 4 Euro/Monat oder 25 Euro/Jahr

der Zählstunde eine eigene Beobachtungsliste in der App. Tippen Sie dazu auf der Startseite auf das Fernglassymbol unten rechts, dann in der Listenübersicht auf das Plussymbol oben rechts und benennen Sie die neue Liste.

Um eine Beobachtung einzutragen, wählen Sie die Vogelart aus der Artenliste aus (via Suche oder Merkmalsfilter) und tippen in der Detailansicht auf das Fernglassymbol mit Plus unten rechts. Nun geben Sie Details zu Ihrer Beobachtung an (Anzahl, Zeit, Ort, optional Fotos und Notizen) und ordnen sie Ihrer Beobachtungsliste zu. Wenn noch nicht geschehen, erstellen Sie spätestens jetzt eine eigene Liste für Ihre Zählstunde – später können Sie die Beobachtung zwar bearbeiten, aber nicht die Liste ändern. Haben Sie alle An-

gaben zu Ihrer Beobachtung gemacht, tippen Sie oben rechts auf „Speichern“. So tragen Sie nach und nach alle Beobachtungen ein und ordnen sie der Liste zu.

Nach der Zählstunde öffnen Sie die Liste und tippen unten rechts auf den Download-Button. Im sich öffnenden Fenster wählen Sie den Export zur „Stunde der Garten-/Wintervögel“. Die Meldefunktion in der App ist nur während der Aktionszeiträume aktiv, auch das Onlineformular ist nur dann zugänglich.

Nur Mut!

Trotz bester Vorbereitung und akribischer Dokumentation können gerade Laien beim Vögelzählen schnell Fehler unterlaufen – das weiß auch der NABU. „Ausschließen kann man Fehler nicht völlig,

aber über die Masse der Teilnehmenden wird das egalisiert“, sagt die NABU-Referentin gegenüber c't. Probieren Sie es also einfach aus. Wenn Sie beim ersten Mal noch lediglich ein paar Amseln und Spatzen erkennen, so werden es bei der nächsten Zählstunde schon ein paar Arten mehr sein. (gref@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Greta Friedrich, Gesang und Federkleid, Sechs Apps zur Vogelerkennung im Test, c't 20/2023, S. 102
- [2] Greta Friedrich, Grünzeug unter der Lupe, Sechs Apps zur Pflanzenerkennung im Test, c't 17/2023, S. 110
- [3] Greta Friedrich, Was krabbelt denn da?, Insekten bestimmen per App: zehn Anwendungen im Überblick, c't 17/2024, S. 108

Projekte, Websites und Apps: ct.de/y6xd

Staub zu Staub

Feinstaubdaten messen und der Wissenschaft helfen

Das Sensor.Community-Projekt zeigt: Mit Bauteilen im Wert von rund 30 Euro kann man Feinstaub und andere Emissionen so gut messen, dass Wissenschaftlern für Luftqualitätsmodelle nun Daten von Tausenden Sensoren zur Verfügung stehen – statt der wenigen von offiziellen Stellen.

Von Michael Link

Bei jedem Atemzug gelangen neben lebenswichtigem Sauerstoff auch winzige Partikel in die Lunge, der sogenannte Feinstaub. Feinstaub ist gesundheitsschädlich. Laut Berechnungen des Umweltbundesamts gab es im Jahr 2021 insgesamt 12.818 Todesfälle, die sich auf Feinstaub zurückführen lassen. Das sind etwa fünfmal so viele Todesfälle wie im Straßenverkehr.

Zu den direkt zurechenbaren Todesfällen kommen noch rund 233.000 verlorene gesunde Lebensjahre durch feinstaubbezogene Krankheiten, die als sogenannter DALY-Wert (disease-adjusted life years) beziffert werden. Sogar die Demenz soll nach einer Langzeitstudie mit 66.000 Patienten durch die Kleinstpartikel begünstigt werden (Links zu allen genannten Studien unter ct.de/yyzb).

Grenzwerte okay, aber Gefahren bleiben

Obwohl die Zahl der Opfer beachtlich ist, spielt Feinstaub in der öffentlichen Diskussion kaum noch eine Rolle. Seit Jahren sinken auch die Messwerte dafür. Die Luft

ist längst nicht mehr so dick wie in den Zeiten von Kohleöfen, rauchender Schloten sowie Autos ohne Kat und Rußfilter.

Das Umweltbundesamt erfasst Feinstaubdaten an Messstationen. Für das recht grobe Partikelmaß von 10 Mikrometern (PM10) sind es 354 Detektoren, hinzu kommen 334 Stationen für das feinere Partikelmaß 2,5 Mikrometer (PM2.5).

Noch zu Beginn der 90er Jahre waren in Deutschland Werte um 50 Mikrogramm Feinstaub pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) keine Seltenheit; heutzutage liegen die PM10-Jahresmittelwerte zwischen 15 und 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Das ist unterhalb der EU-Grenzwerte von 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, während die WHO für PM10 gern weniger als 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sähe. Dieser Wert gern weniger als 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sähe. Dieser Wert gern wird laut Umweltbundesamt im Jahresmittel fast überall eingehalten. Entwarnung kann man dennoch nicht geben, denn Feinstäube sind in jeglicher Konzentration schädlich, daher muss man alle Grenzwerte sowie die Messintervalle als politisch gesetzt betrachten.

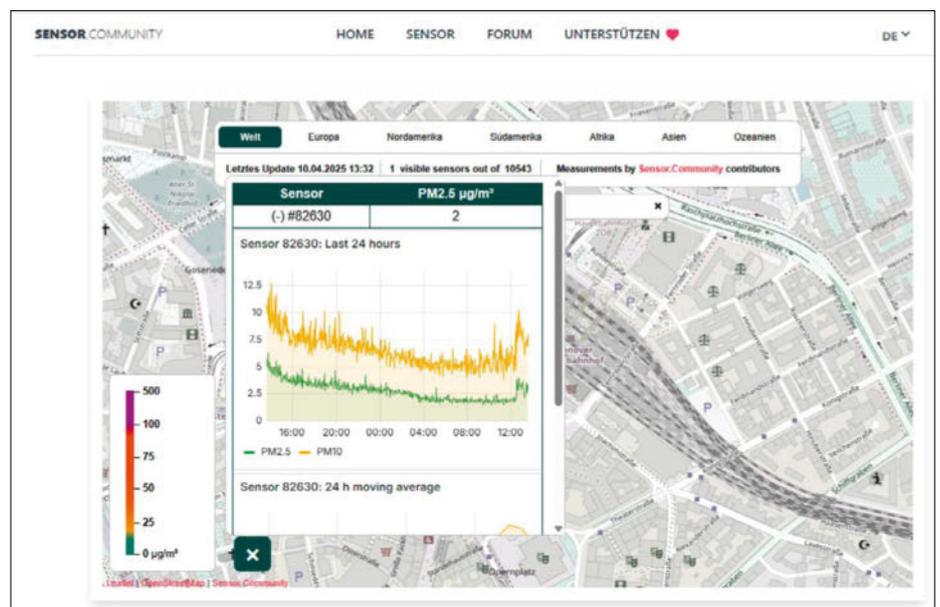


Bild: KI, Collage ct

Der PM2.5-Grenzwert der EU von 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wird im Jahresmittel seit 2015 unterschritten. Allerdings verfehlten selbst im vergangenen Jahr noch 97 Prozent der Messstellen das weitaus strengere WHO-Ziel für PM2.5 von 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lokal können bei besonderen Wetterlagen und auch bei Saharastaubflug, einer natürlichen Feinstaubquelle, die Werte für PM2.5 und PM10 durchaus auf ein besorgniserregendes Niveau ansteigen.

Blindflug im Feinstaubnebel

Lokal reicht das dünn geflochtene Netz offizieller Messstationen nicht aus, um einen Blick auf die akute Belastung zu bekommen. So sah es die Sensor-Community, die sich etwa um 2015 in Stuttgart herausbildete. Lukas Mocek, Mitglied des Kernteams, erzählt im Gespräch mit c't: „Bürger fragten Behörden nach Messwerten, aber die Behörden verweigerten die Herausgabe der Daten. Wir mussten die Behörden mit Verweis auf EU-Vorgaben



Die Karte unter der Adresse www.sensor.community zeigt nicht nur eine Übersicht der Daten aller Messstellen, sondern auch einen Messdatenverlauf etwa der letzten Stunden.

erst mal dazu zwingen. Was wir daraufhin bekamen, waren ein paar ausgedruckte Dateien mit sechs Monate alten Daten.“

Damit war nichts anzufangen, schon gar nicht konnte man tagesbezogene Entscheidungen damit treffen. Zum Beispiel könnte man bei hoher Feinstaubbelastung auf das Befeuern des Kaminofens verzichten oder das Joggen vermeiden, wenn viele lungengängige Partikel in der Luft sind.

Die kleine Gruppe wollte Feinstaub an verschiedenen Orten in der Stadt selbst messen und dafür ein Sensornetz aufbauen. Mocek: „Das Nahziel waren 300 Sensoren in der Umgebung.“ Die Daten waren über die Website luftdaten.info abrufbar, und das erregte das Interesse weit über Stuttgart hinaus: Viele wollten mitmachen und in ihrer Region messen.

So gab sich das Projekt einen neuen Namen samt neuer Internetadresse: Sensor.Community. Das trifft das Ganze besser, denn mit anderen Sensoren erfasst das Projekt auch andere Emissionen als Feinstaub, archiviert sie und zeigt sie auf Karten an, darunter etwa Stickoxide und Lärm. Die Community um das kleine Kernteam wird durch Nutzer unterstützt.

Mit preisgünstigen Sensoren und freier Software auf Kleinstrechnern messen weltweit mittlerweile rund 12.000 Nutzer der Plattform mit. Sie sammeln die Daten in einem offenen Netzwerk und teilen sie über Programmierschnittstellen mit Institutionen aus Forschung und Verwaltung. Die Community steuert die Entwicklung selbst. Diese Graswurzelbewegung sortieren die Macher als Civitech ein und sie grenzen sich damit vom Schlagwort „Citizen Science“ ab. Bei der kann es passieren, dass Firmen die Federführung haben und nur die durch Bürger mit Ameisenfleiß gesammelten Daten verwerten, ohne dass letztere den Kurs beeinflussen könnten. Die Sensor.Community versteht sich als unabhängig und lebt von ehrenamtlichem Engagement, das finanziell nicht von Fremdmitteln abhängt.

EU-Länder nutzen Daten, Deutschland tut es nicht

In Deutschland waren im April etwa 8000 Sensoren aktiv, immer wieder fallen auch welche aus. Die Messmimik hat sich im Laufe der Zeit verändert, sie fußt derzeit auf dem Low-Cost-Luftmesssensor SDS011 von Nova Fitness, einem Spin-Off der Universität Jinan in China. Der handflächengroße Sensor ist für rund 20 Euro zu haben und misst Partikel mit PM2.5

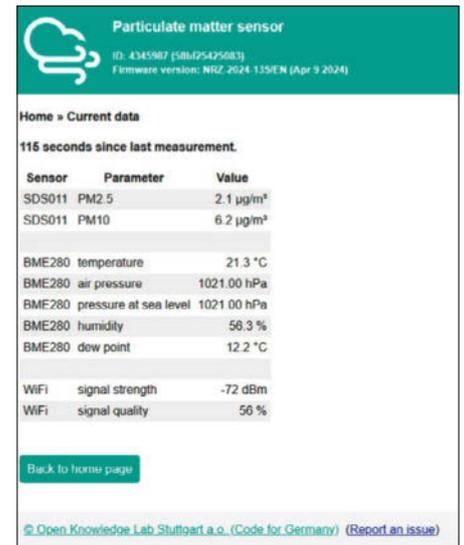
sowie PM10. Dabei ist er auch bei hohen Luftfeuchten bis 70 Prozent noch ausreichend genau, wobei der Sensor mit 10 Prozent Messgenauigkeit spezifiziert ist.

Frühe Ansätze enthielten nur diesen Sensor. Schnell kam ein daumennagelgroßer BME280-Sensor von Bosch (2,80 Euro) hinzu, der Temperatur- und Luftfeuchtwerte beisteuert. Beide Sensoren sowie ein fingerlanger NodeMCU V3 (3 Euro) als Rechner sind auch über gängige Chinaversender zu bekommen.

Der Rechner wird vor der Montage mit einer „Airrohr“ genannten Software bespielt. Zum Schluss landet alles samt Kabeln in einem geknickten Plastikrohr, einem sogenannten HT Bogen. Die für rund 1 Euro in jedem Baumarkt erhältliche Hülle schützt die Elektronik vor Nässe, ist aber noch ausreichend luftdurchgängig. Wie das alles zusammenzubasteln ist, hat die Community in 24 Sprachen als laientaugliche Anleitung aufbereitet, siehe ct.de/yyzb.

Die „Airrohr“-Software speist die Sensordaten alle zweieinhalb Minuten über WLAN ins Sensor-Community-Netzwerk ein. Die zusätzlichen Werte des BME280 erlauben es, den Feinstaubmessungen Korrekturfaktoren zu verpassen, damit die in eine Cloud exportierten Werte vergleichbar bleiben. Das sind sie nämlich ansonsten nicht, wie eine Untersuchung des Landesumweltamtes Baden-Württemberg schon 2017 gezeigt hat. Demnach misst der SDS011 bei hoher Luftfeuchte zu hohe und bei niedriger zu geringe Werte.

Forscher haben daher verschiedene Korrekturmodelle entwickelt, die eine niederländische Studie 2024 bewertet hat.



Der heimische Sensor lässt sich über eine Weboberfläche abfragen.

2007 wurde das Forum für Luftqualitätsmodellierung Fairmode (Forum of Air Quality Monitoring) als gemeinsame Plattform der Europäischen Umweltagentur (EWA) und der Gemeinsamen Forschungsstelle der Europäischen Kommission (GFS) ins Leben gerufen. In der Arbeitsgruppe 6 geht es darum, Low-Cost-Sensoren in die Luftqualitätsmodelle einzubringen. Mittlerweile hat die Sensor-Community sich einen so guten Ruf erarbeitet, dass sie auch bei Fairmode Gehör findet. In Deutschland hingegen fremdeln Behörden weiterhin damit, Sensordaten von Nichtprofis ins Gesamtbild einzubinden. (mil@ct.de) **ct**

Projektseite: ct.de/yyzb



Niederländische Behörden verwerten die von Laien gesammelten Daten nach Behandlung mit Korrekturverfahren auf einer gemeinsamen Internetseite zusammen mit Behördendaten.

Besser zusammenleben

Citizen-Science-Projekte in der Stadt

Müll sammeln, Barrieren senken, Gefühle tracken: Diverse Citizen-Science-Projekte zielen darauf ab, das Zusammenleben in der Stadt zu verbessern. Wir haben uns drei angeschaut, mit denen Sie Gutes tun.

Von **Sabrina Patsch**

Knapp drei Viertel der deutschen Bevölkerung leben in Städten. Doch was braucht es, um das Stadtleben für so viele Menschen möglichst angenehm zu gestalten? Vielleicht ein schöneres Stadtbild, weniger Müll oder stärkere Inklusion? Wie genau solche Ziele erreicht werden können, versuchen diverse Citizen-Science-Projekte herauszufinden. An diesen kann fast jeder teilnehmen, selbst forschen und damit zu einem besseren Zusammenleben beitragen.

Wir haben uns drei Projekte genauer angeschaut, in denen Sie etwas Gutes für Ihre Umgebung tun können: Die Plastic Pirates sammeln und kategorisieren Plastikmüll an Flussufern, damit Wissenschaftler anhand der Daten Umweltverschmutzung analysieren und Wege identifizieren können, sie effektiv zu reduzieren. Die Wheelmap markiert rollstuhlgerechte Orte auf einer Karte, um Barrieren abzubauen und Menschen mit Mobilitätseinschränkung die Teilhabe am Alltag zu ermöglichen. Und das Projekt „Deine emotionale Stadt“ untersucht, wie Städte das Wohlbefinden der Bürger und die Stadtentwicklung beeinflussen (Links zu allen Projekten unter ct.de/yyct).

Plastic Pirates

Mit Makro- und Mikroplastik verschmutzte Gewässer gefährden die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen. Der Wissenschaft fehlen jedoch Daten, um das Ausmaß der Verschmutzung aussagekräftig einzuschätzen. Die Plastic Pirates versuchen, diese Wissenslücke zu füllen und ein größeres Bewusstsein für das Plastikmüllproblem zu schaffen. „Plastic Pirates – Go Europe“ ist eine europäische Citizen-Science-Initiative für Schulklassen und Jugendgruppen.

Während einer Exkursion sammeln die Gruppen Plastikmüll an Ufern, identifizieren und kategorisieren ihn. Bereits seit 2016 dokumentieren die Plastic Pirates so Plastikmüll an deutschen Flüssen. Bis 2022 haben über 23.000 Kinder und Jugendliche an mehr als 1300 Standorten Daten zur lokalen Müllverschmutzung erhoben. Da der Übergangsbereich zwischen Flüssen und Küsten besonders relevant für die Verschmutzung der Meere ist,



Bild: KI, Collage c't

untersucht die Gruppe seit 2024 auch Küsten.

Mit ihren Ergebnissen unterstützen die Plastic Pirates wissenschaftliche Forschung. Eine deutsch-chilenische Studie von 2019 fand etwa heraus, dass Plastik und Zigarettenskippen den größten Teil der Verschmutzung an Ufern ausmachen. Fast 90 Prozent der Gruppen fanden potenziell gesundheitsgefährdende Gegenstände wie Glasscherben, benutzte Hygieneartikel oder Chemikalien. Anhand der Daten identifizierten Wissenschaftler Freizeitbesucher als Hauptquelle für Abfälle an Flussufern – ein wichtiger Schritt, um effektive Maßnahmen zur Müllreduktion zu entwickeln.

Der nächste Aktionszeitraum beginnt am 1. Mai und läuft bis zum 30. Juni. Im Fokus stehen die deutschen Küsten, also Nord- und Ostsee, sowie die Elbe und Donau samt ihrer Nebenflüsse. Proben können auch an anderen Flüssen und Seen gesammelt werden, fließen dann jedoch



Bild: BMBF/Gesine Born

Die Plastic Pirates untersuchen verschiedenste Gewässer auf Plastikmüll. Dabei finden sie auch schon einmal ein Autorad.

nicht in die wissenschaftliche Auswertung ein. Teilnehmen können Schulklassen und außerschulische Jugendgruppen in der Altersspanne von 10 bis 16 Jahren. Aktionshefte sowie Lehr- und Arbeitsmaterial können sie gratis auf der Website der Plastic Pirates anfordern oder herunterladen. Einzelpersonen können allerdings nicht teilnehmen, da sich während der Aktion Teilgruppen bilden, die verschiedene Aufgaben erledigen, und die Daten EU-weit vergleichbar sein sollen.

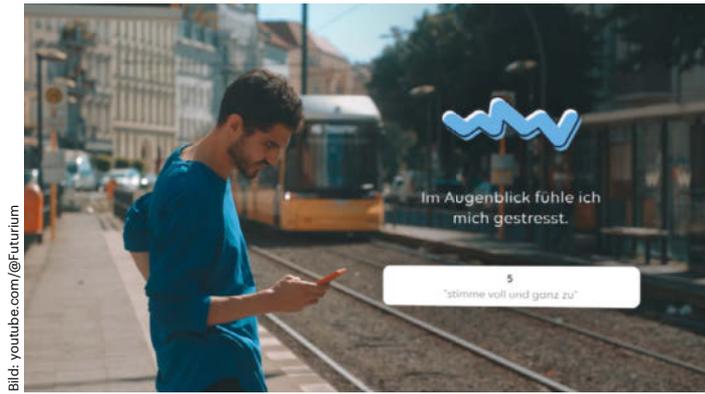


Bild: youtube.com/@Futurium

Die App „Urban Mind“ hilft Wissenschaftlern im Projekt „Deine emotionale Stadt“, den Einfluss einer Stadt auf das Wohlbefinden von Menschen zu untersuchen.

Wheelmap

In Deutschland sind etwa 1,6 Millionen Menschen auf einen Rollstuhl angewiesen – die genaue Zahl ist unbekannt. Nicht selten werden diese Menschen bewusst oder unbewusst von Orten des täglichen Lebens ausgeschlossen, weil diese nicht barrierefrei sind. Die Wheelmap versucht, Betroffenen das Leben zu erleichtern: Die Karte für rollstuhlgerechte Orte liefert umfangreiche Informationen zur Barrierefreiheit und hilft damit Rollstuhlfahrern und Menschen mit anderen Mobilitätseinschränkungen weltweit. „Als Berliner kann ich jetzt herausfinden, wo ich bei einem München-Aufenthalt meine Brezel essen kann, ohne draußen vor der Tür kehrt machen zu müssen“, sagt Initiator Raúl Krauthausen.

Die Karte bewertet Orte nach einem Ampelsystem: Grün markierte Orte sind voll zugänglich, orangefarbene teilweise und rote gar nicht. Im Oktober 2024 verzeichnete die Karte über drei Millionen Einträge, zwei Drittel davon aus Deutschland. Die Wheelmap basiert auf der OpenStreetMap, jeder kann über die zugehörige App oder im Browser ohne Registrierung Einträge erstellen, ergänzen oder korrigieren. Die App ist kostenlos für iOS und Android verfügbar.

Die Wheelmap ist ein Projekt der „Sozialheld*innen“, einem Berliner Verein, der sich seit 2004 für Menschenrechte, Inklusion und Barrierefreiheit einsetzt. Neben der Wheelmap entwickelte er zum Beispiel die Accessibility.Cloud oder BrokenLifts.org. Die Accessibility.Cloud stellt die in der Wheelmap gesammelten Daten zentral für Apps, Websites oder Forschungsprojekte zur Verfügung. BrokenLifts.org informiert darüber, ob Aufzüge im Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg funktionieren.

Entwickelt wurde die Wheelmap im Rahmen des bürgerwissenschaftlichen Sozialheld*innen-Projekts „IncluScience“,

das darauf abzielt, Wissenschaft inklusiver zu gestalten. Die Sozialforschungsstelle Dortmund ist Projektpartner und hat anhand der gesammelten Erfahrungen einen bürgerwissenschaftlichen Instrumentenkoffer entwickelt. Dieser zeigt Methoden und Ansätze auf, wie Disability Mainstreaming in der Forschung gelingen soll, also das Ziel, Menschen mit Behinderung auf allen Ebenen und in jeder Phase von Projekten einzubeziehen.

Deine emotionale Stadt

Eine Stadt ist mehr als ihre Gebäude, Infrastruktur und Landschaft. Man kann sie nicht nur sehen, hören und manchmal auch riechen – man kann sie fühlen. Wie genau sich eine Stadt anfühlt, konkret die deutsche Hauptstadt Berlin, untersucht das Projekt „Deine emotionale Stadt“ seit 2022. Dies ist ein gemeinsames Projekt vom Interdisziplinären Forum Neurourbanistik, der Charité, der Humboldt-Universität zu Berlin und des Zukunftsmuseums Futurium.

Studien zeigen, dass Stadtbewohner häufiger an stressbedingten psychischen Erkrankungen leiden als Menschen auf dem Land. Mit dem Projekt „Deine emotionale Stadt“ wollen Wissenschaftler eine Stadtkarte der Emotionen entstehen lassen. So wollen sie herausfinden, wann und wo eine Stadt Stress verursacht und auch von welchen Einrichtungen einer Stadt ihre Bewohner besonders profitieren. Nutzer sollen die Städte der Zukunft aktiv mitgestalten und Städte so lebenswerter machen.

Zentrales Element ist die App „Urban Mind“ für iOS und Android. Alle Berliner oder Besucher der Hauptstadt können die App benutzen und so zum Projekt beitragen. Zu Beginn stellt die App eine Reihe von Fragen zum Lebensstil. Etwa: Sehen Sie sich selbst als extrovertiert? Sind Sie organisiert? Wie verbunden fühlen Sie sich

mit Ihrem aktuellen Wohnort? Oder: Wie häufig haben Sie das Gefühl, sozial isoliert zu sein? Außerdem erfasst die App Informationen zu Alter, Nationalität und Bildungsabschluss. Anschließend erhalten Nutzer für sieben Tage dreimal täglich eine Benachrichtigung von der App, die sie auffordert, Fragen zum Befinden und der Umgebung zu beantworten.

Noch bis Ende 2025 erheben die Projektpartner so Daten in Berlin. Im Anschluss daran beginnen sie mit der vertieften Analyse und Veröffentlichung der Ergebnisse. Bislang haben sie Daten von rund 1900 Teilnehmenden erhoben. Aus einer Stichprobe von 346 Personen konnten die Wissenschaftler bereits erste Ergebnisse gewinnen, sagt Shadi Bagherzadeh-Azbari, wissenschaftliche Koordinatorin des Projekts. „Unsere Daten aus Berlin zeigen, dass Ästhetik in der Stadt, beispielsweise in Form von schönen Gebäuden und Kunst, einen erheblichen Einfluss auf das emotionale Wohlbefinden hat – zusätzlich zu den gut dokumentierten Vorteilen von Grünflächen. Diese Erkenntnis ist für uns neu und spannend.“

Aktuell gibt es das Projekt nur in Berlin. Im Sommer sollen Datenerhebungen in Santiago de Chile und Bangalore, Indien, starten. „Das Projekt war von Beginn an als international angelegte Studie konzipiert“, sagt Bagherzadeh-Azbari.

Fazit

Ohne viel Aufwand können Sie selbst aktiv werden und zu einem besseren Stadtleben beitragen. Helfen Sie dabei, die Plastikflut einzudämmen, erleichtern Sie Menschen mit Mobilitätseinschränkung den Alltag oder teilen Sie, was Sie in Berlin fühlen. Andere Projekte rund um die Stadt finden Sie auf der Plattform mit:forschen!.

(spa@ct.de) **ct**

Links zu den Projekten: ct.de/yycr



Mini-Update

Mini-PC-Barebone Gigabyte BRIX mit Intels neuem N150

Intel hat die Billigprozessoren der Baureihe „N“ überarbeitet. Gigabyte lötet den N100-Nachfolger N150 in einen Mini-PC-Barebone. Wir messen, was das bringt.

Von Christof Windeck

Rund zwei Jahre nach ihrer Einführung Anfang 2023 bringt Intel neue Prozessoren der Serie „N“. Auf den gängigen Vierkerner N100 folgt der N150 mit minimal höherer Taktfrequenz. Außerdem gibt es nun N250 und Core 3-N355 statt N200 und Core i3-N305 – ja, richtig gelesen, der Core 3 verliert ein „i“.

Die Neulinge tragen den Familien-Codennamen Twin Lake, ihre Vorgänger heißen Alder Lake-N. Die maximale (Turbo-)Taktfrequenz der CPU-Kerne liegt beim N150 mit 3,6 GHz um lediglich 6 Prozent höher als beim N100 mit 3,4 GHz. Die integrierte GPU legt beim Takt stärker zu, nämlich um ein Drittel von 0,75 auf 1 GHz. Als einer der ersten Mini-PCs mit Intel N150 ist hierzulande der Barebone Gigabyte BRIX GB-BTIP-N150 lieferbar, er kostet rund 200 Euro. Zum fertigen PC braucht er noch RAM, eine SSD und – falls erwünscht – eine Windows-Lizenz. Als Linux-Mini kostet er ohne Microsoft-Steuer folglich mindestens etwa 250 Euro. Mit Ubuntu 24.10 lief er problemlos.

Der Rechner ist zwar kompakt, aber etwas zerklüftet gestaltet und wirkt klobiger als andere Minis mit stärkeren Prozessoren. Der BRIX stellt relativ viele Schnitt-

stellen bereit, darunter fünf USB-Buchsen, die alle bis zu 10 Gbit/s an Daten übertragen (USB 3.2 Gen 2). Zwei davon sind vom Typ-C und liefern auch Bildsignale (DP Alt Mode). In der Frontplatte sitzt eine sinnvolle Auswahl häufig benutzter Anschlüsse für USB und analoge Audiosignale. Zusätzlich zu einer M.2-SSD lässt sich eine 2,5-Zoll-SATA-SSD einbauen. Die WLAN-Antenne verbirgt sich unter dem Gehäuseoberteil aus Kunststoff, das metallische Unterteil des Chassis wirkt robust.

6-Watt-Bremse

Gigabyte betreibt den Intel N150 mit seiner nominellen Processor Base Power (PBP) von 6 Watt, was seine Rechenleistung begrenzt, vor allem unter längerer Volllast auf allen vier CPU-Kernen (Multithreading). Der Vergleich mit dem Vorgänger N100 ist daher kompliziert. Denn letzterer läuft in manchen Notebooks und Mini-PCs mit 10 Watt PBP, dann ist er schneller als der N150 bei 6 Watt. Wer vorne liegt, hängt also nicht von der CPU-Generation ab, sondern von der jeweiligen Konfiguration. Im BIOS-Setup des BRIX kann man die PBP nicht erhöhen.

Die höhere GPU-Maximalfrequenz schlägt sich in der Punktzahl des 3DMark Fire Strike deutlich nieder (1389 statt 1164 Punkte). Trotzdem taugt der N150 bloß für völlig anspruchslose Gelegenheitspielchen. Immerhin: 4K-Videos liefen auch in VP9 flüssig.

Der WLAN-Adapter arbeitet gemächlich, lässt sich aber gegen ein schnelleres M.2-Kärtchen austauschen. Ethernet läuft mit 1 Gbit/s. Die M.2-SSD ist nur mit zwei PCIe-3.0-Lanes angebunden und somit auf weniger als 2 GByte/s limitiert. Intel gibt für die N-Prozessoren maximal 16 GByte RAM frei, der BRIX vertrug aber auch ein 32-GByte-SO-DIMM. Mit 48 GByte wollte er hingegen nicht starten.

Es liegt auf der Hand, dass der BRIX GB-BTIP-N150 kein Edel-Mini sein kann. Doch an vielen Stellen wünscht man sich mehr Sorgfalt. Optisch stört der links statt hinten sitzende Netzteilanschluss. Das 65-Watt-Netzteil ist im Vergleich zu modernen USB-C-Wandlern klobig. Die USB-A- und RJ45-Buchsen sind andersherum montiert als üblich. Das Gehäuseoberteil lässt sich im Prinzip leicht vom Unterteil schieben, um ein Speichermodul und SSDs einzubauen. Doch zuvor muss man zwei unnötig winzige Schraubchen lösen. Im BIOS-Setup ist UEFI Secure Boot nicht der Default-Zustand.

Unter Vollast schluckt der BRIX für Intels N-Klasse typische 20 Watt, kurzzeitig über 30 Watt. Ärgerlich ist die mit 7,3 Watt viel zu hohe Leistungsaufnahme im Leerlauf. Zum Vergleich: Der um den Faktor sechs stärkere Mac mini mit Apple M4 kommt dabei mit weniger als 2 Watt aus.

Der eher schwachbrüstige Prozessor schaffte es erst im Verlauf mehrerer Betriebsstunden und Neustarts, sämtliche Restarbeiten nach der Installation von Windows 11 zu erledigen. Dann sank die Lüfterdrehzahl im Leerlauf von rund 3300 auf 2800 Umdrehungen pro Minute. Sein Betriebsgeräusch liegt dann aus 50 Zentimetern Entfernung gemessen unter der Messgrenze unseres Schallmesssystems. Auch unter Vollast bleibt das Rauschen mit 0,6 sone erträglich.

Fazit

Intels aufgefrischte CPU-Baureihe Twin Lake bringt im Vergleich zu ihren zwei Jahre älteren Vorgängern keine praxisrelevanten Vorteile. Der Gigabyte BRIX GB-BTIP-N150 hat viele flotte USB-Buchsen, bleibt im Leerlauf leise und kommt mit drei Jahren Herstellergarantie. Die CPU spielt jedoch ebenso in der unteren Leistungsklasse wie die Netzwerkadapter. Die ältere Zotac Zbox Edge CI343 [1] kostet zwar 50 Euro mehr, arbeitet jedoch läufer- und lautlos und holt aus ihrem N100 trotzdem mehr CPU-Performance raus.

(ciw@ct.de) ct

Literatur

- [1] Christof Windeck, Schweigende Flachbox, Lüfterloser Mini-PC Zotac Zbox Edge CI343 mit Intel N100, c't 2/2024, S. 70

Gigabyte BRIX GB-BTIP-N150

Mini-PC-Barebone mit N150-Prozessor	
Hersteller	Gigabyte, gigabyte.com/de
Hardwareausstattung	
CPU / Kerne / Takt (Turbo)	Intel Processor N150 (Twin Lake) / 4 ohne SMT / 0,8 (3,6) GHz
RAM-Typ (Max) / -Slots (frei)	DDR5-4800 (32 ¹ GByte) / 1 x SO-DIMM (1)
Grafik(-speicher)	Intel UHD Graphics mit 24 EUs (vom Hauptspeicher)
Mainboard-Format / BIOS-Version / Chipsatz	proprietär / F1 (18.12.24) / im CPU-Gehäuse integriert
SSD-Einbauplätze	1 x M2 2280, NVMe, PCIe 3.0 x2 / 1 x 2,5" SATA
Kartenleser / Kensington-Lock / TPM	- / ✓ / ✓ (fTPM 2.0, Intel)
Sound-Chip / Wiedergabequalität	Realtek ALC897, Stereo / ⊕⊕
Ethernet (Chip)	1 Gbit/s (Realtek 8111, PCIe)
WLAN / Bluetooth (Adapter)	Wi-Fi 5 2,4/5 GHz, 1x1, BT 5.0 (M.2 2230: Azurewave AW-CN515NF mit Realtek RTL8821CE)
Maße (B x H x T)	12,8 cm x 5,8 cm x 11,8 cm (mit Stromstecker)
Netzteil (Leistung)	EAC DA-65C19 (65 Watt), Kabel 1,40 m
Anschlüsse vorn	1 x USB-C 10 Gbit/s + DP alt, 1 x USB-A 10 Gbit/s, 2 x Audio-Klinke, Taster
Anschlüsse hinten	1 x HDMI 2.0b, 1 x USB-C 10 Gbit/s + DP alt, 2 x USB-A 10 Gbit/s, 1 x LAN (RJ45)
Anschlüsse seitlich	links: 19 Volt (Hohlstecker), rechts: Kensington Lock
Zubehör	VESA-Halterung, Netzteil
Elektrische Leistungsaufnahme, Datentransfermessungen und Geräuschentwicklung	
Soft-off / Energie Sparen / Leerlauf (4K)	0,7 / 1,1 / 7,3 W
CPU-Vollast (Peak)	20 (31) W
SSD: Lesen (Schreiben)	1,78 (1,73) GByte/s
USB 10 Gbit/s vorn / hinten: Lesen (Schreiben)	1,1 (1,0) / 1,1 (1,0) GByte/s
WLAN 5 GHz: nah / 20 m	247 / 192 Mbit/s
Geräuschentwicklung: Leerlauf / Vollast (Note)	<0,1 sone (⊕⊕) / 0,6 sone (⊕)
Funktionstests	
Secure Boot ab- / CSM einschaltbar	✓ / -
Bootdauer bis Login	19 s
4K-Parallelbetrieb (Anschlusstyp)	3 x 60 Hz (HDMI, 2 x USB-C)
Systemleistung	
Cinebench 2024 (R23) 1T / alle Threads	54 / 119 (826 / 2043) Punkte
3DMark Fire Strike	1389 Punkte
Bewertung	
Systemleistung Office / Rendering / Spiele	⊖ / ⊕⊕ / ⊕⊕
Geräuschentwicklung / Systemaufbau	⊕ / ⊕
Preis / Garantie	205 € / 36 Monate
✓ funktioniert	- funktioniert nicht
⊕⊕ sehr gut	⊕ gut
	○ zufriedenstellend
	⊖ schlecht
	⊖⊖ sehr schlecht
	¹ Herstellerangabe 16 GByte



Rechenpower für die Maschinensteuerung

Modular Embedded Box PC



ab 1.937€

EmKITT 3000 konfigurierbar bis:

- Intel® Core™ i3 - i9
- bis zu 5 Erweiterungslots
- 2,5 GbE PoE / 5G

Panel PC Full IP65



ab 2645€

AP5000-Q RL konfigurierbar mit:

- 15"-24" Touch 4:3 | 16:9 Display
- Intel® 13.Gen Core™ i3-i7
- Full IP65 Fanless

Edgeserver Compact i14



ab 1.145€

Edgeserver konfigurierbar mit:

- i3 - i9 Intel® Core i® 14. Gen
- nur 30 cm tiefes Gehäuse
- im 2HE bis 4HE

KI Server made in Germany



Designstraße 2

47807 Krefeld

+49 2151 38712 00

N51,29100° E6,56565°



Es gibt **10** Arten
von Menschen.

iX-Leser
und die anderen.



Jetzt Mini-Abo testen:

3 digitale Ausgaben +
Bluetooth-Tastatur
nur **19,35 €**

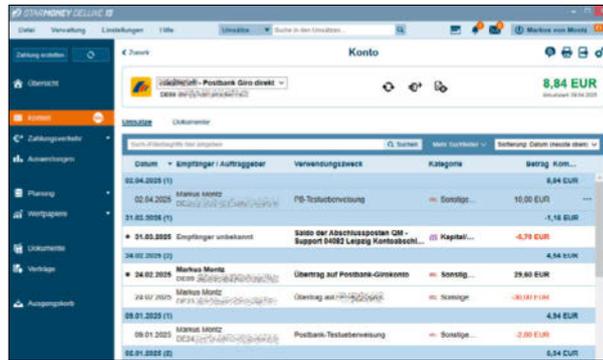
www.iX.de/digital-testen



www.iX.de/digital-testen

leserservice@heise.de

0511 / 647 22 888



Finanzen zentral verwalten

Mit StarMoney kommen beim Homebanking am PC auch Enthusiasten auf ihre Kosten. In der neuen Version 15 haben die Entwickler vor allem das Interface weiter verbessert.

Homebanking-Programme wie StarMoney helfen, den Überblick über die eigenen Finanzen zu behalten und das Onlinebanking auch mit mehreren Bankverbindungen und ohne Datenweitergaben an einem Ort zu erledigen. Mit StarMoney kann man zu diesem Zweck Umsatzdaten von fast allen deutschen Banken, aber zum Beispiel auch Amazon-, Schufa-, Kreditkarten- oder PayPal-Konten abrufen sowie alle Arten von SEPA-Überweisungen durchführen. Eine Kontakt- und Vorlagenverwaltung erleichtert dabei die Arbeit. Das Programm liefert zudem bereits in der „Basic“-Ausstattung eine einfache grafische und tabellarische Auswertung der Finanzen. Eine Umsatzvorschau und ein Zahlungskalender erinnern an Zahlungen und regelmäßige Geldeingänge. In einer Vertragsverwaltung kann man Dokumente einpflegen, zum Beispiel PDF-Kontoauszüge, die StarMoney von einigen Banken direkt abholen kann, aber auch Rechnungen von der Festplatte.

Die „Deluxe“-Variante von StarMoney richtet sich an ambitionierte Privatanwender und bietet zusätzlich Lastschriften, Fälligkeitserinnerungen sowie umfangreichere Auswertungs- und Finanzplanungstools samt Budgets und eine umfassende Wertpapierverwaltung. Damit ist es auch für Vereinskassenwarte oder Soloselbstständige einen Blick wert.

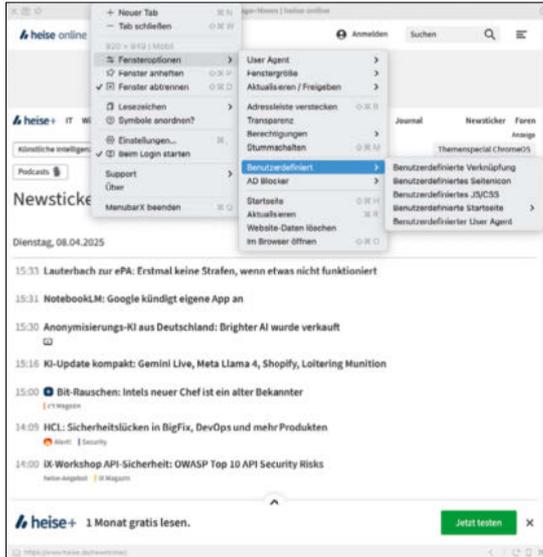
In StarMoney 15 hat Star Finanz vor allem die Bedienoberfläche gegenüber Vorversionen vereinfacht; der Funktionsumfang ist nahezu gleich geblieben. Nach dem runderneuerten Überweisungsformular in StarMoney 14 haben sich die Ent-

wickler dazu die Kontenansicht mit den Umsatzlisten vorgenommen. Statt eines guten Dutzends an Reitern und Schaltflächen enthält die Kopfleiste nun außer dem Menü zur Kontoauswahl nur noch die Schaltflächen „Konto aktualisieren“, „Zahlung erstellen“ und „Kontodetails öffnen“. Der Rest ist in die Kontodetails gewandert. Die will Star Finanz mit einem der nächsten Service Packs ebenfalls aufräumen. Bereits jetzt präsentieren sich die Umsatzlisten übersichtlicher, das gilt ebenso für das Kontextmenü beim Rechtsklick auf einzelne Umsätze und die gesonderte Anzeige der zugehörigen Details. Wer die Neuerungen nicht mag, kann zum alten Stil zurückkehren. Verbessert hat Star Finanz außer dem Export und Import von Daten außerdem viele Dialogfenster, zum Beispiel PIN- und TAN-Abfragen.

Doch es gibt auch Kritikpunkte. Einige Bereiche, darunter die Vorlagenverwaltung sind weiterhin umständlich und verwenden teils missverständliche Begriffe. Letzteres gilt auch für die Hinweise und Fehlermeldungen im grafisch bereits verbesserten Sende- und Empfangsprotokoll. Insgesamt bekommt man mit Star Money Basic ein solides und mit Deluxe ein mächtiges Tool, um seine Finanzen zu verwalten. Für Anfänger gibt es zudem hilfreiche Video-Tutorials. StarMoney 15 ist nur im monatlichen Abo erhältlich. Basic ist auf einem Windows-PC nutzbar und kostet pro Monat 2,80 Euro, die Deluxe-Lizenz für 3,80 Euro pro Monat auf bis zu drei PCs. Die StarMoney Flat für 5,50 Euro im Monat erlaubt über die Cloud von Star Finanz zusätzlich eine Synchronisierung der Daten zwischen PCs, den Apps für iOS und Android sowie der (rudimentären) macOS-App. (mon@ct.de)

StarMoney 15

Homebanking-Software für PC	
Hersteller, URL	Star Finanz, starmoney.de
Systemanf.	Windows ab 10
Preis	2,80 € / Monat (Basic), 3,80 € / Monat (Deluxe), 5,50 € / Monat (Flat)



Ihr Partner für
IT-Weiterbildung
Videokurse für
IT-Professionals

Menüleisten-Surfer

MenubarX ist ein vielseitig einsetzbarer Browser. Da er sich in die macOS-Menüleiste einbettet, ist er immer schnell zur Hand.

Der Check, ob jemand etwas in den Teams-Chat geschrieben hat; die kleine Flucht zu BlueSky; sich mal eben eine Textpassage von DeepL übersetzen lassen: Es gibt viele Aufgaben, die man mal eben nebenbei abhandeln will. macOS-Nutzer erledigen das mit MenubarX – ohne die oft fetten Apps der jeweiligen Dienste und schneller und bequemer als mit einem gewöhnlichen Browser.

Beim Start hält MenubarX eine Standardnavigationsseite mit Dutzenden gängiger Webanwendungen bereit. Der Nutzer kann diese Übersicht an den eigenen Geschmack anpassen, Links löschen und eigene ergänzen. Wer lediglich mit dieser Übersichtsseite navigiert, verzichtet aber auf einen wesentlichen Vorteil von MenubarX: Dass er wirklich wichtige Webseiten, die er immer mal schnell benötigt, mit einem Klick zur Hand haben kann.

Dazu verankert die App sie mit einem eigenen Icon, dem Favicon der Website, in der Menüleiste. Ein Klick auf das Symbol öffnet ein eigenes Tab mit der Seite. Die Adressleiste und die Browsernavigationselemente platziert MenubarX dezent am unteren Rand des Tabs; man kann sie aber auch komplett ausblenden. Tut sich etwas auf der Website – gibt es zum Beispiel neue Nachrichten im Chat – signalisiert MenubarX das mit einem kleinen Punkt am Icon. Eine derart eingerichtete

Site fühlt sich nicht nur an wie eine native App. Weil sie sich weniger breit auf dem Desktop macht und sich individueller anpassen lässt, ist sie ein vollwertiger Ersatz für so manche App.

Viele Optionen lassen sich justieren, die Größe eines Tabs etwa und ob er fixiert unterhalb der Menüleiste erscheinen oder verschiebbar sein soll. Der Nutzer kann für jede Webseite festlegen, als welcher Browser sich MenubarX ausgeben soll und ob der Browser sie in regelmäßigen Intervallen aktualisieren soll. Benutzt man MenubarX auf mehreren Rechnern, synchronisiert es seine Einstellungen via iCloud.

Die kostenlose Version ist auf zwei Tabs beschränkt. Die Pro-Version unterstützt beliebig viele Tabs und bietet etliche zusätzliche nützliche Funktionen, zum Beispiel einen Werbeblocker. Sie öffnet jede Seite per individuell einstellbarer Tastenkombination, vergibt individuelle Icons für Tabs in der Menüleiste und kann individuellen JavaScript-Code und CSS in Seiten injizieren.

Die Pro-Variante kostet im App Store 6,99 Euro und beim Hersteller 4,99 US-Dollar. Die App ist auch Bestandteil der Setapp-Suite. Das ist ein Abonnement für eine Sammlung von mehr als 250 Apps aller Art, das mindestens 9,99 US-Dollar pro Monat kostet. Der Hersteller von MenubarX listet auf seiner Homepage eine Reihe von kompatiblen Menüleistenmanagern; in unserem Test lief MenubarX auch mit Ice einwandfrei zusammen. (jo@ct.de)

MenubarX 1.7.5

Browser	
Hersteller, URL	6X Studio, https://menubarx.app
Systemanf.	macOS ab 10.15.4
Preis	kostenlos; Pro: ab 4,99 US-Dollar



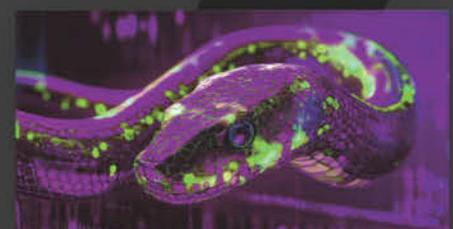
VBA-Makros in Excel für Einsteiger

Erlernen Sie die Skriptsprache Visual Basic for Applications (VBA), um Ihre Aufgaben in Excel zu automatisieren. Mit VBA können repetitive Arbeitsschritte effizienter gestaltet und komplexe Berechnungen und Datenverarbeitungen vereinfacht werden.



Kali Linux – Grundkurs Teil 2

Kali Linux ist die bevorzugte Distribution für Penetrationstests und Sicherheitsanalysen. Lernen Sie mit unserem IT-Experten Tom Wechsler, Kali Linux für Penetrationstests einzusetzen – von Schwachstellen-Scans über Passwort-Cracking bis hin zu Exploits.



Machine Learning mit Python: Teil 3 – Klassifikation

Vertiefen Sie Ihr Wissen über Klassifikation und die Verarbeitung natürlicher Sprache. Lernen Sie unterschiedliche Klassifikationsmodelle und deren Einsatz für verschiedene Problemstellungen kennen.



Fotokünstler

Xiaomi 15 Ultra mit Leica-Kamera durchgemessen

Schon die Optik macht klar: Dieses Smartphone setzt den Fokus auf die Kamera. Das Xiaomi 15 Ultra hat aber auch abseits der Leica-Knipse viel zu bieten.

Von Steffen Herget

Smartphone mit Kamera oder Kamera mit Smartphone – diese Frage wirft das Xiaomi 15 Ultra schon optisch auf, wenn man die Rückseite betrachtet. Das riesige, kreisrunde Kameraelement mit Leica-Schriftzug beherbergt gleich vier Objektive und steht enorm weit aus dem ab 1500 Euro teuren Smartphone hervor. Der satte sechs Millimeter hohe Kamerabuckel

macht das auch generell nicht unbedingt flache Smartphone zu einem echten Brocken. Mit knapp 230 Gramm wiegt das 15 Ultra mehr als viele andere Telefone.

Die zweifarbige Variante unseres Testgeräts macht optisch was her, die Kunststoffrückseite teilt sich einen zwei Zentimeter breiten silbernen Streifen und die restliche Fläche, die in Lederoptik gehalten ist. Fingerabdrücke hält das Material wirksam ab. Die Kanten des Rahmens aus mattem Aluminium hat Xiaomi fließender gestaltet als beim Vorgänger und auch das Kameraelement wächst fast organisch aus dem Rücken empor. Gemäß IP68 verspricht Xiaomi Schutz gegen das Eindringen von Staub und Wasser.

Zusätzliche Bedienelemente oder Anschlussmöglichkeiten abseits des USB-Ports, der Lautstärkewippe und des fein geriffelten Powerbuttons hat das 15 Ultra nicht. Einen echten Kameraauslöser, wie

ihn etwa das iPhone 16 Pro oder das Oppo Find X8 Pro besitzen, baut Xiaomi nicht ein. Man kann ihn allerdings in Form des knapp 200 Euro teuren Photography Kits nachrüsten und bekommt damit noch einen Zusatzakku, einen Haltegriff zum Fotografieren und eine Hülle samt Schraubgewinde zum Anbringen von Filtern vor der Kamera mit dazu. Als kleine Eigenheit gönnt sich Xiaomi weiterhin das Infrarotmodul, mit dem man aus dem Smartphone eine Universalfernbedienung für Fernseher, Receiver und Co. machen kann.

Benchmarks ausgesperrt

Im Bauch trägt das Xiaomi-Smartphone einen der schnellsten Prozessoren auf dem Markt, den Snapdragon 8 Elite von Qualcomm. Der Achterkerner taktet mit bis zu 4,32 GHz und macht mit den 16 GByte RAM mächtig Alarm. Das Smartphone läuft rasant und zeigt keine Leistungsschwächen, auch nicht bei anspruchsvollen Aufgaben wie hochauflösenden Videos, Bildbearbeitung oder großen Apps. Umso unverständlicher, dass Xiaomi die Testgeräte für einige Benchmarks vernagelt: Den Apps von GFXBench und 3DMark verweigert das Ultra den notwendigen Onlinezugriff, die Benchmarks laufen daher nicht.

Angst vor den Resultaten der reinen Leistungsmessung dürften nicht der Grund sein, denn in den nicht blockierten Tests von Geekbench zeigt der Snapdragon seine Power. Spannend wären die Ergebnisse der Stresstests von 3DMark gewesen, denn Xiaomi-Smartphones waren zuletzt häufig durch starke wärmebedingte Drosselung aufgefallen. Auch das 15 Ultra wird bei starker Beanspruchung ziemlich warm, sodass der SoC seine Leistung ein wenig herunterschrauben muss.

Für ausgiebige Fototouren ist das Xiaomi 15 Ultra sehr gut ausgestattet. Hauptkamera, Ultraweitwinkel und zwei Teleobjektive bieten viel kreativen Spielraum. Dabei liegt die Vergrößerung der beiden Zooms gar nicht so weit auseinander: 3-fach und 4,3-fach. Das zweite Tele mit der längeren Brennweite bespielt aber einen 200-Megapixel-Sensor, der durch Zuschneiden weitere digitale Vergrößerung erlaubt. Bis etwa zehnfachen Zoom kommen dabei ansehnliche Fotos zustande.

Fotografieren mit dem Xiaomi 15 Ultra macht eine Menge Spaß, dafür sind neben der Objektivauswahl der blitzschnelle Fokus und der spezielle Leica-

Look der Bilder zuständig: Die Bilder erscheinen nicht so überscharft wie bei vielen Smartphones, zeigen aber einen stimmigen Gesamteindruck mit naturgetreuen und trotzdem satten Farben. Leica verpasst dem Xiaomi 15 Ultra zwei Farbmodi, je nach Situation hat uns mal der eine, mal der andere besser gefallen. Porträts stattet das Smartphone mit einer schönen, natürlich wirkenden Unschärfe aus, auch feine Konturen heben sich ziel-sicher vom Hintergrund ab. Es gibt Smartphones, die technisch ein klein wenig bessere Fotos machen, aber der Stil der Bilder lässt das Ultra anders aus der Masse hervorstechen.

Bei Nachtfotos hinkt das Xiaomi 15 Ultra anderen Smartphones hinterher, hier leistet etwa das Google Pixel 9 Pro bessere Arbeit. In der Dämmerung oder bei beleuchteten Straßenszenen lassen sich aber auch mit dem 15 Ultra schöne Bilder einfangen. Der Supermondmodus ist eigens dafür da, Bilder des Mondes zu schießen, und die gelingen damit auch recht zuverlässig, wenn man noch ein bisschen digital vergrößert, sonst erscheint der Erdtrabant nur als heller Fleck auf schwarzem Hintergrund.

Scharf und strahlend

Auf dem OLED-Bildschirm mit 6,7 Zoll (ca. 17 cm) Diagonale sehen Fotos und Videos natürlich, brillant und farbecht aus. Xiaomi baut ein hochauflösendes Panel ein, das eine Punktdichte von weit mehr als 500 dpi erreicht und damit auch kleine Schriften und feine Details knackscharf darstellt. Im Regelbetrieb haben wir eine Helligkeit von knapp 2000 cd/m² gemessen, das ist in allen Lebenslagen mehr als ausreichend.

Im Akkutezustand erweist sich das Xiaomi 15 Ultra nicht als Langläufer, bleibt aber alltagstauglich. Bei den acht Smartphones in unserem jüngsten High-End-Vergleichstest (c't 6/2025, Seite 58), für den Xiaomi zu spät dran war, würde es im guten Mittelfeld landen. Vor dem Abend muss man nur dann an die Steckdose, wenn man ausgiebig auf Fotosafari geht oder wirklich den ganzen Tag am Handy hängt. Mit einem universellen 120-Watt-Netzteil mit USB-PD 3.0 brauchte das Ultra anderthalb Stunden für eine volle Ladung.

Auffällig: Beim Videostreaming über 5G verliert das Xiaomi 15 Ultra im Vergleich zu einer WLAN-Verbindung fast 30 Prozent Laufzeit, das 5G-Modem hat dem-

nach einen besonders hohen Energiever-brauch. Das ist ein stärkerer Abfall als bei anderen Smartphones mit dem Snap-dragon 8 Elite. Das Samsung Galaxy S25 Ultra etwa büßt in diesem Szenario 25 Prozent ein, das OnePlus 13 nur gut 12 Prozent.

Auf dem 15 Ultra läuft Android 15 in der Xiaomi-Variante HyperOS. Das System erlaubt vielfältige optische Anpassungen, etwa mit teils kostenpflichtigen Themes, die vom Hintergrundbild über die Icons bis zur Schriftart den Look ändern. Xiaomi stellt fast allen Google-Apps einen eigenen Dienst an die Seite, mit der App Mall ist sogar ein eigener App-Store installiert. Das bringt zwar viel Auswahl, aber auch Dopp-lungen, denn weder die vorgeschriebenen Google-Dienste noch Xiaomis eigene Apps lassen sich einfach deinstallieren. Immer-hin: Die Zahl der Bloatware-Apps, die Xiaomi teils auch in der Oberklasse en masse in den Speicher stopft, hält sich mit zehn installierten Anwendungen von Fremdanbietern diesmal in Grenzen.

Bei den KI-Funktionen nutzt Xiaomi hauptsächlich Google Gemini. Der KI-Assistent ist installiert, auch Gemini Ad-

vanced ist nutzbar. In diesem Paket bün-delt Google 2 TByte Cloud-Speicher sowie den Zugriff auf die neuesten KI-Modelle, ein cloudgestütztes eigenes Code Reposi-tory und mehr. Ob man die Funktionen von Gemini Advanced bezahlen will, soll-te man sich gut überlegen, denn nach dem Gratiszeitraum fallen monatliche Kosten von 21,99 Euro dafür an. Unter dem Namen HyperAI packt Xiaomi einige kos-tenlose KI-Features dazu, etwa dynamisch erstellte Hintergrundbilder, einen Schreib-assistenten und einen Sprachrekorder.

Fazit

Steht die Kamera auf der Prioritätenliste für ein neues Smartphone weit oben, ge-hört das Xiaomi 15 Ultra in die engere Aus-wahl – der Spaßfaktor beim Fotografieren und der spezielle Look der Bilder sind außergewöhnlich. Mit dem starken Pro-cessor und dem herausragenden Display sammelt das Ultra weitere Punkte. Konkur-renz findet das Smartphone vor allem in der Luxusliga mit Geräten wie dem Apple iPhone 16 Pro oder dem Samsung Galaxy S25 Ultra. (sht@ct.de) ct

Xiaomi 15 Ultra

Android-Smartphone	
Hersteller, URL	Xiaomi, mi.com
Betriebssystem / Patch-Level	Android 15 / Januar 2025
Funktionsupdates / Sicherheitspatches laut Hersteller bis min.	Android 17 / Januar 2030
Ausstattung	
Prozessor / Kerne × Takt	Qualcomm Snapdragon 8 Elite / 2 × 4,32 GHz, 6 × 3,5 GHz
Grafik / KI-Einheit	Qualcomm Adreno 830 / Qualcomm Hexagon NPU
Arbeitsspeicher / Flash-Speicher (frei) / Wechselspeicher (Format)	16 GByte / 512 GByte (477 GByte) / –
SIM-Slots / eSIM / LTE / 5G (mmWave)	2 × nanoSIM / ✓ / ✓ / ✓ (–)
WLAN (Antennen) / Bluetooth / UWB / Standortdienste	Wi-Fi 7 (2) / 6.0 / – / GPS, Glonass, Beidou, Galileo
NFC / Fingerabdruck (Position)	✓ / ✓ (Display)
USB-Anschluss / Kopfhöreranschluss	USB-C 3.1, OTG / –
Akku / wechselbar / Ladeleistung / drahtlos ladbar	5410 mAh / – / 90 W / ✓ (80 W)
Maße (H × B × T) / Gewicht / Schutzart	16,13 × 7,53 × 0,95 ... 1,55 cm / 229 g / IP68
Display	
Diagonale / Technik / Auflösung / Punktdichte	6,73 Zoll / OLED / 3200 × 1440 Pixel / 522 dpi
Helligkeitsregelbereich / Ausleuchtung / max. Bildrate	1,77 ... 1930 cd/m ² / 97,5 % / 1-120 Hz
Kameras	
Hauptkamera: Auflösung / Blende / OIS	50 MP / f/1,63 / ✓
Ultraweitwinkel: Auflösung / Blende / OIS	50 MP / f/2,2 / –
Tele: Auflösung / Blende / Zoom / OIS	50 MP / f/1,8 / 3-fach / ✓
zweites Tele: Auflösung / Zoom / Blende / OIS	200 MP / f/2,6 / 4,3-fach / ✓
Frontkamera: Auflösung / Blende / OIS	32 MP / f/2 / –
Videoauflösung / Frame-Raten Hauptkamera	HD, Full-HD, 4K, 8K / 30, 60, 120 fps
Videoauflösung / Frame-Raten Frontkamera	HD, Full-HD, 4K / 30, 60 fps
Benchmarks, Lauf- und Ladezeiten	
Ladezeit 50 % / 100 %	0,5 h / 1,5 h
Laufzeiten ¹ lokales Video 4K / Stream WLAN / Stream 5G / 3D-Spiel	12,4 h / 18,7 h / 13,3 h / 19,8 h
Geekbench V5 Single, Multi / V6 Single, Multi	2088, 7289 / 2934, 8933
Preis	1499 € (16/512 GByte), 1699 € (16 GByte/1 TByte)
¹ gemessen bei 200 cd/m ² ✓ vorhanden – nicht vorhanden	

Fernseh-kästchen

Die Waiputu.tv Box als IPTV-Zuspieler und Streamingplayer im Test



Der IPTV-Dienst Waiputu.tv lässt sich auf einer Reihe von Wiedergabegeräten mittels TV-App nutzen, komfortabler läuft es mit einem dedizierten Zuspieler. Für die neue Waiputu.tv Box spricht aber noch mehr.

Von Nico Jurrán

Bislang umfasste Exarings Sortiment an Zuspielern für seinen Dienst Waiputu.tv (Test in c't 5/2024, S. 22) nur den „4K Stick“, nun gibt es noch die Waiputu.tv Box als Topmodell. Das Kästchen bekommt zur Miete hinzu, wer das TV-Paket „Waiputu.tv Perfect Plus“ für monatlich 18 Euro abonniert; alternativ kauft man es für 100 Euro ohne TV-Paket.

Die neue Box präsentiert auf dem TV eine aufgeräumte Oberfläche, über die man unter anderem Zugriff auf den zuletzt angeschauten Sender, aktuell im Trend liegende Sendungen, Empfehlungen der Redaktion und Inhalte aus den Mediatheken vieler TV-Sender hat. Auf Mitschnitte kann man ebenfalls direkt zugreifen. Sie liegen in der Exaring-Cloud, das Gerät selbst speichert nichts. Positiv: In der Bedienoberfläche nervt keine Werbung.

Über den Reiter „Programme“ und eine dedizierte Taste auf der Fernbedienung gelangt man zur übersichtlichen Programmzeitschrift (EPG) und von dort zu den einzelnen Sendern. Alternativ gibt man die Kanalnummer direkt ein oder skippt durch die Programme, wobei die Umschaltzeiten mit ein bis zwei Sekun-

den kurz sind. Schließlich lassen sich die Sender über die Fernbedienung per Spracheingabe (nach Knopfdruck) finden. Das funktioniert aber eher so lala, oft hatten wir schneller eine Taste gedrückt.

Kraftvoller Auftritt

Wie beim Stick setzt Exaring bei der Box Android TV (14) als Betriebssystem ein, mit vollem Zugriff auf den Google Play Store. Angetrieben wird das Gerät wieder von einem mit 2,5 GHz getakteten Quad-Core-Prozessor (hier Amlogic S905X5M). Allerdings ist der Arbeitsspeicher mit 4 GByte doppelt und der interne Speicher mit 32 GByte gleich viermal so groß wie beim Stick. Beim Testen gefiel, wie flott sich durch die Menüs navigieren lässt.

Videos spielt die Box bis zur UHD/4K-Auflösung (3840 × 2160 Pixel) mit 60 fps ab, an geeigneten TVs mit erhöhtem Kontrastumfang in den Formaten HDR10(+) und Dolby Vision. Audioseitig unterstützt sie die Dolby-Formate bis zur 3D-Variante Atmos. Für den TV-Betrieb ist 4K nicht wichtig (Waiputu.tv bietet bislang keinen UHD-Sender), wohl aber für die Videostreamingdienste, die sich über die Box nutzen lassen. Nur für Netflix und den hauseigenen Dienst Waiputek findet sich eine Direkttaste auf der Fernbedienung, favorisierte Apps lassen sich aber auf der Startseite platzieren. Im Test konnten wir Apple TV+, Netflix und Paramount+ Atmos-Ton entlocken, nicht jedoch Disney+. Laut Exaring liegt dies nicht an der Box, die technischen Voraussetzungen seien gegeben.

Spannend sind die technischen Fähigkeiten der Box in Verbindung mit der freien Mediaplayer-Software Kodi: Hier schaffte es die Box, selbst AV1-

kodierte 4K-Videos ruckelfrei von einer Netzwerkfestplatte oder einem Wechselmedium (über ihre USB-A-Buchse) abzuspielen, inklusive Atmos-Ausgabe mit Dolby TrueHD als Kern an geeignete Anlagen. Nur die Wiedergabe von DTS:X hakte, was aber an Android TV liegen dürfte.

Fazit

Die Waiputu.tv Box nur als gelungenen Abspieler für das IPTV-Angebot ohne nervige Werbung auf der Startseite zu bezeichnen, würde dem Gerät nicht gerecht. Wenn Disney+ künftig auch Atmos-Ton über die Box ausgibt, macht das Kästchen auch als Player für Netflix & Co. eine sehr gute Figur. Außerdem lässt sich die Box super als Streamingplayer für eigene Videos einsetzen. Zwar bleibt die Box hier bezüglich DTS:X hinter dem Nvidia Shield zurück, das spielt in der Praxis aber keine große Rolle, da der 3D-Codec enorm an Bedeutung verloren hat. (nij@ct.de) **ct**

Waiputu.tv Box

IPTV-Zuspieler und Streamingplayer	
Hersteller, URL	Exaring, waiputu.tv
Videoauflösungen	480i/p, 576i/p, 720p, 1080i/p, 2160p
Videocodecs	H.264, H.265 (HEVC), AV1, AVS2, VP9, inklusive HDR10(+) und Dolby Vision
Audiocodecs	Dolby Digital (Plus), Dolby Atmos, AAC, MP3, WMA, FLAC, Ogg
Konnektivität	WiFi-6, Ethernet (10/100 Mbit/s), USB-A, HDMI 2.1 (mit HDCP 2.2 und HDMI-CEC), USB-C (für Strom)
Lieferumfang	Fernbedienung (inkl. Batterien), 5-Volt-Netzteil (USB-C), HDMI-Kabel
Leistungsaufnahme	Standby: <0,5 Watt, Betrieb: 2,3 Watt (gemessen)
Preis	Kauf: 99,99 € (ohne TV-Paket) Miete: 17,99 € monatlich mit TV-Paket „Perfect Plus“ (Jahresvertrag, danach monatlich kündbar)

Smarthome-Sprechkästchen

Home Assistant Voice Preview Edition



Wer sein Home Assistant per Sprachsteuerung bedienen wollte, griff bisher zum Smartphone oder einer Selbstbau-Lösung. Die Firma hinter der Smart-Home-Plattform, Nabu Casa, bietet nun ein fertig zusammengesetztes Gerät an.

Von Christopher Kunz

Die „Home Assistant Voice Preview Edition“ richtet sich an versierte Home-Assistant-Bastler, nicht an den Massenmarkt. Die handtellergroße Pappschachtel enthält neben dem Gerät eine Karte mit Schnellstartanleitung, einen Aufkleber und die unvermeidlichen Garantieinformationen. Ein Netzteil mit USB-C-Anschluss und 2 Ampere Stromabgabe muss der Käufer sich anderswo organisieren. Um den eingebauten Quäker abzulösen, bietet das Gerät einen 3,5-Millimeter-Lautsprecheranschluss. Auch ein Grove-Port, ein spezieller Anschluss der Firma Seeed Technology für Sensoren, findet Platz.

Im Gehäuse steckt ein ESP32-S3, der sich auf 2,4-GHz-WLAN und Bluetooth-Nahfunk versteht. Ein von einem LED-Kranz umrahmtes Klickrad in iPod-Manier dient als Lautstärkeregler und ein zentraler Knopf erlaubt den Betrieb ohne Aktivierungswort. Sicherheitsbewusste Anwender schätzen zudem den Schiebeshalter, der beide Mikrofone mechanisch deaktiviert.

Ersteinrichtung

Verbindet man den weißen Kunststoffquader mit einer passenden Stromquelle,

blinkt der Kranz aus RGB-LEDs weiß auf und die Einrichtung kann beginnen. Vorsicht: Die auf der Schnellstart-Karte verlinkte Anleitung wich im Test mit Home Assistant 2025.4.0 deutlich von der Realität ab.

Am einfachsten geht die Erstinbetriebnahme mit einem Smartphone nebst Home-Assistant-App. Flugs ist das Gerät im WLAN, die notwendige ESPHome-Integration fliegt automatisch auf den Server und Updates auf das Sprachkästchen. Das dient jedoch lediglich zur Sprachein- und -ausgabe, die Umsetzung der Befehle erledigt der Home-Assistant-Server. Er bedient sich dazu entweder der Nabu-Casa-Cloud (75 Euro pro Jahr) oder eines von zwei lokalen, unterschiedlich leistungshungrigen und -fähigen Sprachmodellen.

Lausiger Lauscher

Das größere der beiden, im Installationsassistenten als „Vollständig lokale Verarbeitung“ bezeichnet, basiert auf OpenAIs Whisper-Modell. Es verlangt dem Home-Assistant-Server ordentlich CPU-Leistung und vor allem Arbeitsspeicher ab und sollte mindestens auf einem Mini-PC mit Intel N100-Chipsatz laufen.

Über die Hälfte der Home-Assistant-Nutzer setzt jedoch auf schwachbrüstige Hardware wie etwa einen Raspi. Daher haben die Entwickler des Smart-Home-Projekts eine Alternative entwickelt, die mit vorgegebenen Satzstrukturen arbeitet, in die bei Bedarf Geräte- und Entitätsnamen eingesetzt werden. Diese „gezielte lokale Verarbeitung“ hemmt den Sprechfluss, soll aber einen Kompromiss aus Leistung und Genauigkeit bieten. Zudem unterstützt sie nur wenige Befehle; Timer und Einkaufslisten lassen sich so nicht setzen.

Im Praxistest überzeugte keine der drei Methoden: Nur wenige der beigeleg-

ten Testsätze verstand der Sprachassistent mühelos. So schaltete er eine Lampe zwar anstandslos um, war aber nicht zu überreden, das Brot von der Einkaufsliste zu löschen. Zwischendurch stellte der Assistent die Zusammenarbeit bisweilen kommentarlos ein und reagierte gar nicht mehr – und wenn er antwortete, dann oft fehlerhaft. Die deutsche Frage, wie viel Uhr es sei, erkannte das Faster-Whisper-Modell small-int8 erst im vierten Versuch, auf Englisch klappte es erheblich besser.

Immerhin: Auch aus mehreren Metern Entfernung und bei laufendem Fernseher reagierte das Gerät auf sein Codewort – um die Spracherkennung nicht zu überlasten, sollte man Geräuschquellen aber per Automatisierung stummschalten, solange die Sprachbox lauscht. Ist die Sprachbox eingerichtet, steht weitere Arbeit ins Haus: Häufig genutzten Geräten sollte der Heim-Admin leicht aussprechbare Aliasnamen verpassen.

Fazit

„Home Assistant Voice“ ist hierzulande für knapp 70 Euro bei Mediarath erhältlich. Experimentierfreudige und lötscheue Home-Assistant-Profis, die eine neue Herausforderung suchen, sind bei der „Preview Edition“ richtig. Alle anderen sollten lieber warten, bis das Gerät den „Vorschau“-Anstecker ablegt. (ps@ct.de) **ct**

Home Assistant Voice Preview Edition

Sprechkästchen für Home Assistant	
Hersteller, URL	Nabu Casa, nabucasa.com
Konnektivität	2,4-GHz-WLAN, Bluetooth, Grove-Port, 3,5-mm-Klinkenstecker
Preis	70 €

Photoshop als App

Adobes Bildbearbeitung komplett auf Mobilgeräten

Adobe bietet die Bildbearbeitung Photoshop fürs iPad und seit Kurzem auch für das iPhone an; eine Android-Version soll bald folgen. Anders als One-Trick-Ponys wie „Photoshop Fix“ sollen die Apps das komplette Funktionsspektrum abbilden. Einige Details fehlen dennoch.

Von André Kramer

Wenn Adobes Strategie für Photoshop dem Vorbild Lightroom folgt, bietet die App auf jeder Plattform im Großen und Ganzen dieselben Funktionen. Die bisher verfügbaren Varianten, Photoshop für iPad und iPhone, öffnen Bilder aus dem lokalen Speicher, starten die Kamera-App oder importieren Fotos direkt aus Lightroom. Der Raw-Entwickler erstellt beim Befehl „In Photoshop bearbeiten“ vor der Übergabe eine PSD-Datei und integriert diese im Anschluss in seine Bibliothek. Den Arbeitsfarbraum übernimmt die App vom importierten Dokument oder nutzt bei neuen Dokumenten sRGB.

Die Photoshop-Apps arbeiten außerdem mit der App für Social-Media-Design Adobe Express und der Mal-App Fresco zusammen. Alle Dokumente legt Photoshop automatisch in der Adobe-Cloud ab. Auf iPad und iPhone zeigt ein Startbildschirm Vorschauansichten der zuletzt bearbeiteten Dokumente. Auf dem Desktop lassen sie sich nahtlos und bequem weiterbearbeiten. Über den Bilderdienst Adobe Stock bietet der Anbieter in der App 1,5 Millionen kostenlos nutzbare Bilder an. In einer geschlossenen Beta-Phase testet Adobe zudem die Live-Zusammenarbeit an Dokumenten.

Grundfunktionen stellen die Apps nach Anmeldung mit einer Adobe-ID kostenlos bereit. Den Löwenanteil gibts nur

im Abo für 8,99 Euro im Monat oder 79,99 Euro im Jahr (umgerechnet 6,67 Euro im Monat): Objektauswahl und Zauberstab, generatives Füllen und Erweitern, Entfernen-Werkzeug, erweiterte Mischmodi, Aufhellen und Abdunkeln, Klonstempel, Bereichsreparatur, Zugriff auf 20.000 Adobe-Schriften und Export als PSD, TIF, JPEG und PNG. Ohne Abo sieht man ständig den Upgrade-Schirm und darf nicht einmal exportieren, ist die App also weitgehend nutzlos. Im Creative-Cloud-Abo sind die Apps enthalten.

Werkzeuge auf dem iPad

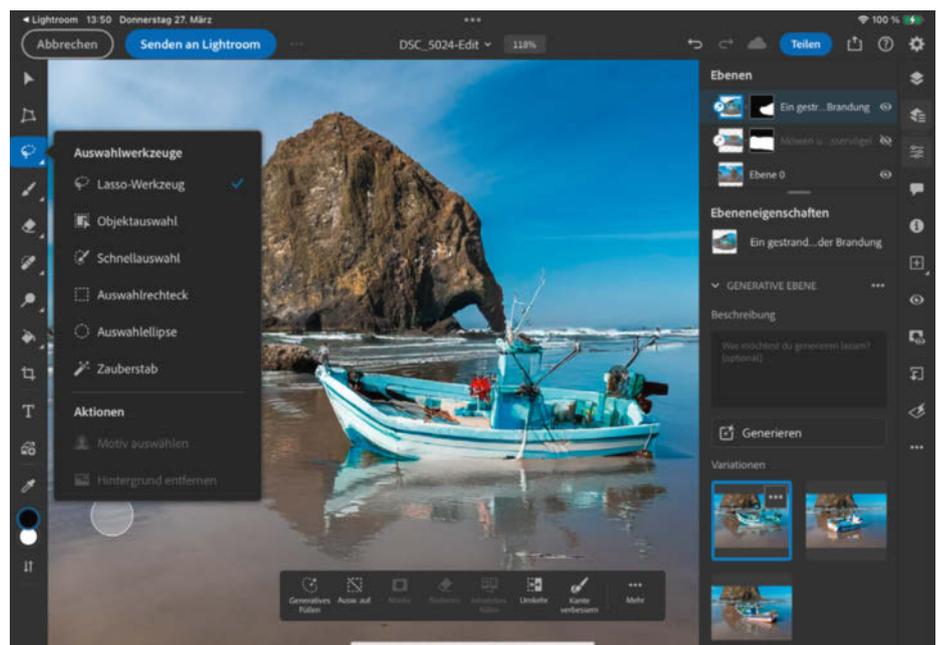
Die Werkzeugpalette sieht auf dem iPad aus wie die des Vorbilds auf dem Desktop. Unter dem Verschieben-Pfeil folgt ein Werkzeug zum Skalieren, Drehen, Neigen und Verzerren, etwa zur Korrektur stützender Linien. Das Auswahlwerkzeug bietet Lasso, KI-Objektauswahl, Rechteck, Ellipse und Zauberstab. Zusammen mit

der KI-Maskierung von Motiv oder Hintergrund im Ebenenmenü bietet die Photoshop-App damit das volle Programm.

Im Pinselwerkzeug kann man nicht nur Größe, Deckkraft und Farbe bestimmen, sondern erstaunlich weitreichend auch Überblendmodus, Rundheit, Winkel, Fluss und Glättung. Über Druck mit dem Apple Pencil variiert die App wahlweise Größe oder Deckkraft. Photoshop bringt nicht nur etliche Pinselspitzen mit, man kann auch eigene erstellen oder welche aus Dateien importieren.

Das Entfernen-Werkzeug retuschiert markierte Bildbereiche mittels der KI Firefly. „Generatives Erweitern“ füllt einen ergänzten Teil der Arbeitsfläche. So lässt sich das Seitenverhältnis eines Bildes ändern. „Generatives Füllen“ fügt Inhalte über Firefly hinzu, beispielsweise einen Nordseestrand mit Leuchtturm im Hintergrund oder einen Sportwagen in der Fußgängerzone. Dabei kann Photoshop die „generative Ebene“ anzeigen, in der sich auch im Nachhinein noch andere der jeweils drei erstellten Alternativen auswählen lassen. Im Abo enthalten sind monatlich 100 Bildkreationen. Firefly hat nicht die beste Bild-KI am Markt, aber die für den kommerziellen Einsatz sicherste, weil Adobe nur mit rechtlich sicheren Bilddaten trainiert.

Ferner bringt die App Radierer, Füll- und Beschnittwerkzeug, Pipette und Farb-



Werkzeugleiste, Ebenenpalette und Lightroom-Anbindung: Photoshop auf dem iPad ist vom Desktop-Original kaum noch zu unterscheiden. Das Boot samt Reflexion hat die Firefly-KI ergänzt.



Das iPhone-Photoshop bietet dieselben Werkzeuge. Sie verteilen sich aber in Gruppen- und Ebenenmenüs.

wähler mit. Letzteren hat Adobe gut an die Größe des Bildschirms angepasst. Im Textwerkzeug lassen sich Eigenschaften wie Schriftgröße, Schnitt, Laufweite, Farbe und Ausrichtung recht gut einstellen.

Wenig Platz auf dem iPhone

Die iPhone-Version bringt dieselben Werkzeuge mit. Allerdings dauert es eine Weile, sie alle zu finden, denn sie verteilen sich auf verschiedene Bereiche. Statt in einer Seitenleiste gruppiert die iPhone-Version die Werkzeuge unten in horizontaler Reihe. Das ist angesichts des Seitenverhältnisses durchaus sinnvoll. Neben „Ebeneneigenschaften“ finden sich hier Werkzeuggruppen für Auswahl, Retusche, Pinselwerkzeuge und Zuschnitt. Das Textwerkzeug erscheint erst nach Öffnen des Ebenen-Menüs und Hinzufügen einer Textebene. Auch die Werkzeuge zum Skalieren, Drehen und Neigen entdeckt man erst im Kontextmenü einer aufgerufenen Ebene.

Die Art, wie das iPhone-Photoshop seine Werkzeuge präsentiert, verwirrt zu-

nächst. Wenig sinnvoll wirkt insbesondere, dass Text- und Skalierwerkzeug nicht in die Werkzeugpalette integriert sind. Man gewöhnt sich jedoch zügig daran.

Ebenen und Masken

In den Ebeneneinstellungen beider App-Varianten kann man Deckkraft und Überblendmodi ändern, Ebenen in Smartobjekte wandeln, sie zusammenführen und in Gruppen zusammenfassen. Bildteile lassen sich über die iOS-Zwischenablage kopieren und einfügen. Auch Masken erstellen die Mobilversionen. Aus den umfangreichen Einstellungsebenen lassen sich Helligkeit/Kontrast, Schwarzweiß, Farbbalance, Kurven, Belichtung, Farbton/Sättigung, Tonwertkorrektur und Dynamik ergänzen.

Die App unterstützt jedoch nur die beiden Ebeneneffekte Schlagschatten und Kontur. Die Desktopversion bietet ungleich mehr. Die Filter umfassen nur den veralteten Gaußschen Weichzeichner sowie Umkehren, Auto-Tonwert, -Kontrast und -Farbe, den Rohdatenimport Camera Raw sowie den Verflüssigen-Filter. Auf weitere Filter und Plug-ins von Drittanbietern müssen Nutzer verzichten.

Fazit

Adobe bringt Photoshop endlich vollständig als mobile Versionen, statt nur Stückwerk zu portieren, und verfolgt damit eine gute Strategie. Das Augenmerk liegt auf KI und den damit verbundenen Wow-Effekten. Das macht sich gut in Präsentationen; im Alltag zählen andere Werkzeuge. Es fehlen viele Ebeneneffekte wie Schatten nach innen, abgeflachte Kante und Relief, Schein, Glanz, Farb-, Verlaufs- und Musterüberlagerung sowie hochwertige Weich- und Scharfzeichner, unter anderem selektiver Scharfzeichner sowie Objektivunschärfe, Feld-, Iris- und Pfad-Weichzeichner. Insgesamt ist die Photoshop-App aber schon sehr weit. Die meisten Werkzeuge sind vorhanden und dank vieler Einstellungen wie beim Pinsel gut nutzbar. (akr@ct.de) ct

Adobe Photoshop für iPad und iPhone

Bildbearbeitung	
Hersteller, URL	Adobe, adobe.com
Systemanf.	iOS/iPadOS ab 17.0
Preis	8,99 € im Monat oder 79,99 € im Jahr (Basis-Version kostenlos)

ORDNUNG IM KOPF!

Wissensmanagement leicht gemacht



Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 € (innerhalb Deutschlands). Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.



Schlaue Schnellschalter

Sechs konfigurierbare Ethernet-Switches für 2,5 Gbit/s auf dem Prüfstand

Ethernet-Switches für die aktuelle 2,5-Gbit/s-Technik mit Netzwerkspezialitäten wie VLANs oder Mirroring, die auch ambitionierte Heimvernetzer gerne nutzen, gibt es schon unter 70 Euro. Wir haben fünf Preisbrechern auf die Ports gefühlt und ihnen ein Profigerät gegenüber gestellt.

Von Ernst Ahlers

Wer nach konfigurierbaren Ethernet-Switches für Multigigabit-Ethernet bis 2,5 Gbit/s (2G5) sucht, landet früher oder später auch bei Amazon, AliExpress und anderen Onlinemarktplätzen, wundert sich über die niedrigen Preise und zögert: Ist das vielleicht zu billig? Wir kön-

nen Entwarnung geben. Auch 70-Euro-Switches gehen korrekt mit VLANs um, liefern hohen Durchsatz und sind keine Stromsäufer. Defizite gibt es trotzdem.

Wegen der einfachen Lieferbarkeit ohne Zollhürde und leichterem Garantieabwicklung beschränkten wir uns bei der Musterbeschaffung für diesen Test auf Amazon als Quelle und ließen fünf Switches mit jeweils sechs Ports in unterschiedlichen Ausführungen anrollen. Manche brauchen mehr RJ45-Buchsen, andere wollen ihr Netz vielleicht mit 10 Gbit/s über Glasfaserleitungen ausdehnen und legen deshalb mehr Wert auf SFP-Slots (SFP = Small Form-Factor Pluggable). Selbst ein Exemplar mit 10GE über Twisted-Pair-Kabel ist dabei. Dem Trupp der Saisonangebote, die quartalsweise wechseln können, stellten wir ein Pendant vom etablierten Hersteller ZyXel für etwas über 200 Euro entgegen; andere Marken wie Mikrotik oder Ubiquiti haben Ähnliches im Programm.

Die Amazon-Billigheimer zeigen erwartbar simpel gestaltete Konfigurationsseiten im 90er-Jahre-Look, keine Spur von dynamisch an den Client angepassten Seiten. Das ist unter anderem ihren schwachen Prozessorkernen geschuldet, genügt aber für die Konfiguration per Browser; Englisch ist Pflicht. ZyXels Switch zielt ein moderneres Design, er erlaubt auch sicheren Zugriff per HTTPS und lässt sich bei Bedarf via Nebula-Cloud-Konto einrichten.

In puncto Hilfe und Dokumentation darf man nicht viel erwarten: Eine Onlinehilfe, in diesem Fall denkbar knappe, englische Erläuterungen per Mausclick, fanden wir nur bei YuLinca über das an einzelnen Optionen haftende Fragezeichen. ZyXels Switch verweist auf einen externen Webserver. Herunterladbare Handbücher ließen sich nur bei Sodola, YuLinca und ZyXel aufspüren, bei Ersteren 32 Seiten kurz, bei ZyXel ausführliche 416 lang.

Eine simple Verkehrsstatistik wie die Anzahlen fehlerfreier und fehlerhafter Ethernetpakete präsentieren alle Switches, und zwar als Übersicht über alle Ports. Feinere Informationen gibt es im Testfeld nur bei Zyxel, etwa ausführliche Statistiken für jeden einzelnen Port, ein Remote Syslog oder Management per SNMP (Simple Network Management Protocol).

Änderungen an ihrer Konfiguration speichern die Switches erst nach einem Klick auf die an verschiedenen Stellen zu findende Save-Schaltfläche, beispielsweise unter „Tools“ oder „System Manage“. Bei größeren Umstellungen hilft der überall zu findende Konfigurationsex- und -import, falls man sich mal verrechnet und den Switch auf Werkseinstellungen zurücksetzen muss.

IPv6-Pakete leiten zwar alle Switches weiter, aber nur Zyxels XMG1915-10E fühlt sich davon auch angesprochen. Das ist fürs Management nett, wenn auch nicht lebensnotwendig. Leider funktionierte IPv6 im Test nicht in einem Netz mit dynamischem Präfix. Das will der Hersteller mit einem kommenden Firmware-Update verbessern.

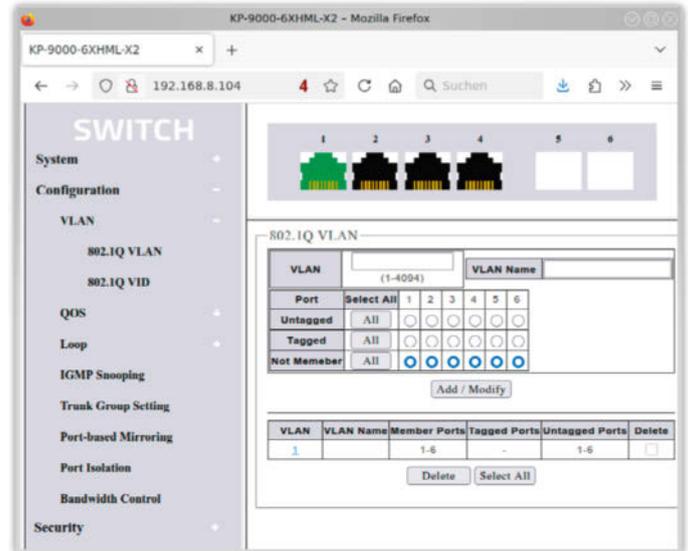
Virtuelle Netze

Die verschiedenen Switch-Klassen manifestieren sich bei den VLAN-Funktionen. Mit virtuellen LANs kann man auf einem physischen Medium mehrere logisch getrennte Netzwerke betreiben, beispielsweise in einer Arztpraxis ein internes, ein Gastnetz für die Patienten und ein drittes für die Haustechnik. Die Switches unterscheiden die Netze über ein zusätzliches Ethernet-Merkmal (VLAN-Tag gemäß IEEE 802.1Q); Anschlüsse können als Trunk-Port so auch mehrere VLANs transportieren, etwa von Switch zu Switch.

Die vom Gros des Testfeldes mit dem Realtek-Switch-Controller RTL8372 gebotenen 32 VLANs dürften für die meisten kleinen und mittleren Unternehmen voll auf genügen. Selbst in der Heise-Gruppe, zu der der Verlag gehört, in dem die c't erscheint, laufen derzeit nur knapp 90 VLANs, dem Cloudfire folgend mit fallender Tendenz.

So erscheinen die vom Zyxel-Switch unterstützten 1024 VLANs, immerhin ein Viertel des maximal möglichen, schon fast übertrieben. Doch sein Controller RTL9302C, ebenfalls von Realtek, vermag noch mehr: Er kann Geräte anhand ihrer MAC-Adresse identifizieren und sie automatisch bestimmten Netzen zuweisen,

Die Multigigabit-Switches lassen sich per Browser konfigurieren. Das statische, schlichte Webseitendesign trägt der geringen Rechenleistung ihrer Prozessorkerne Rechnung.



beispielsweise VoIP-Telefone inklusive Priorisierung (QoS) in das Telefonie-VLAN oder Kameras in das VLAN des Überwachungsrekorders.

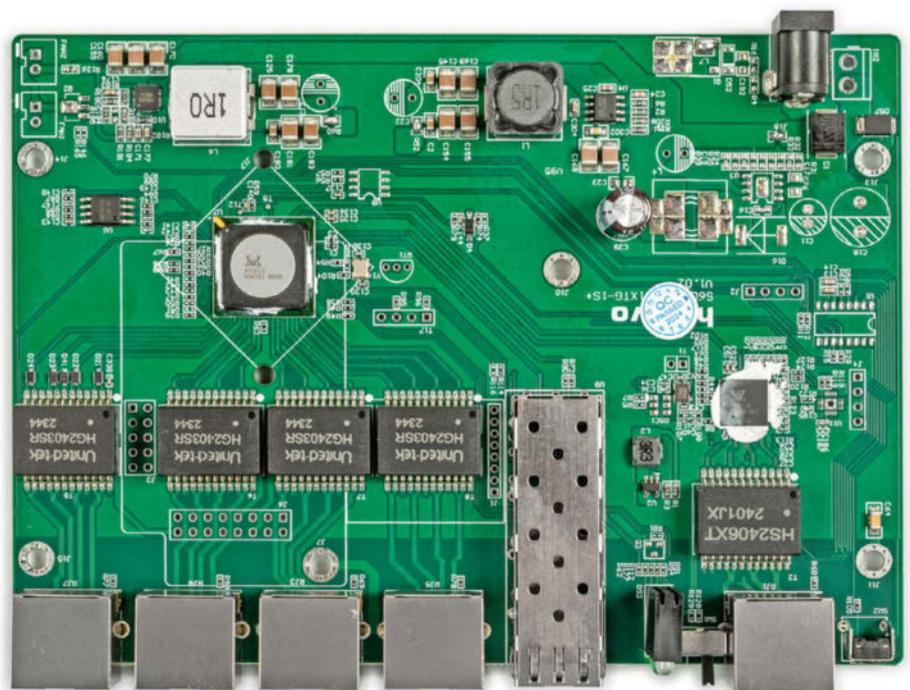
Extras

Mit Trunking, genauer Link Aggregation, kann man zwei oder mehr Ports bündeln, um die Summendatenrate zu steigern. So könnte beispielsweise ein Netzwerkspeicher mit zwei 2G5-Ports bis zu 5 Gbit/s ins LAN liefern, falls mehrere Rechner gleichzeitig Daten anfordern. Beherrschen die Geräte an den Kabelenden das Link Ag-

gregation Control Protocol (LACP), dann entsteht das Bündel sogar automatisch.

Port Mirroring unterstützt Admins auf Fehlersuche: Es leitet den Verkehr eines Ports auf einem anderen aus, damit ein dort angeschlossener PC ihn untersuchen kann. Alle Switches im Testfeld unterstützen sowohl Trunking als auch Mirroring, jedoch manchmal in leicht unterschiedlicher Ausprägung (siehe Tabelle auf S. 83).

DHCP-Snooping wie bei den Switches von MokerLink, Vimin und YuLinca stellt sicher, dass IPv4-Adressangebote nur von einem Router ins LAN durchkommen:



Den Kern der billigen Multigigabit-Switches bildet ein Realtek-Controller RTL8372 (großer Chip links oben), der vier 2G5-Ports (links unten) und zwei SFP+-Slots treibt. Gelegentlich sitzt statt dem zweiten SFP+-Cage ein PHY-Chip für einen weiteren 2G5- oder gar 10G-Port drauf (hier Mitte rechts mit Kühlpastenresten).



keepLiNK KP-9000-6XHML-X2

Der Switch mit dem unaussprechlichen Namen ist der billigste im Test. Er bietet Standardkost – vier 2G5-Ports, zwei SFP+-Slots – und hat die älteste Firmware. Dennoch erledigte er seinen Job ohne Auffälligkeiten. Online fanden wir Hinweise auf eine neuere Software mit mehr Funktionen (LACP, DSCP, SNMP et cetera). Auf eine Anfrage an den Hersteller über Amazons Kontaktformular kam zwar binnen eines Tages eine Antwort, aber leider eine abschlägige: Es gebe keine neuere Firmware.

- 👆 billigster Switch im Test
- 👇 sehr alte Firmware

Preis: 63 Euro



MokerLink 2G04210GSMX

MokerLinks LAN-Verteiler setzt sich mit zwei Dingen vom restlichen Amazon-Geschwader ab: mit einer RJ45-Buchse für bis zu 10 Gbit/s und mit seinem deutlich höheren Preis. Der 10GE-Kupferport treibt die Leistungsaufnahme schon im Idle um rund ein halbes Watt hoch. Die fast 10 Watt bei Vollbelegung übertrifft nur der Zyxel-Switch, der aber zehn Ports hat. Wer 10GBase-T braucht, darf zugreifen: Ein SFP+-Modul für NBase-T bis 10 Gbit/s würde bei den anderen Modellen funktionieren, wäre aber weniger komfortabel.

- 👆 10GE über Twisted-Pair-Kabel
- 👇 hohe Leistungsaufnahme

Preis: 106 Euro



Sodola SL-SWTGW215AS

Neben Vimin war Sodola einer der wenigen Hersteller aus der Amazon-Riege, der auf unsere Mail bezüglich Plausibilität der Messwerte überhaupt reagierte. Das lässt hoffen, dass Käufer bei Problemen nicht komplett im Regen stehen. Online waren die aktuelle Firmware und ein 32-seitiges englisches Handbuch zu finden; Letzteres gabs sonst nur bei YuLinca in fast identischer Form. Im Test tat der Switch unauffällig seinen Dienst. Immerhin war seine Firmware etwas frischer als die des noch etwas billigeren keepLiNK-Geräts.

- 👆 Firmware und Handbuch online
- 👇 SFP+-Slot hakelig

Preis: 70 Euro

Man definiert jenen Port als erlaubten Eingang, an dem der Internetrouter hängt. Schließt jemand einen weiteren Router mit dessen LAN-Ausgang an einen anderen Switch-Port an, etwa um sich einen eigenen WLAN-Hotspot zu bauen, dann bleibt das für den Rest des Netzes folgenlos – zumindest bei IPv4.

Besonderheiten

Mit der MAC-Begrenzung, im Original „MAC Constraint“ oder „MAC Limit“, kann man die Zahl der von einem Port versorgten Geräte einschränken. Das lässt beispielsweise MAC-Flooding-Angriffe ins Leere laufen. Es kann auch verhindern, dass jemand einen eigenen Switch nachschaltet, um fremde Geräte ins LAN zu bringen. Das unterstützen alle Geräte außer dem YuLinca-Switch.

Loop Detection zeigt über eine blinkende Leuchte an, ob eine Netzwerkschleife existiert, die Broadcast-Stürme auslöst, also Paketwiederholungen, die den Durchsatz massiv drosseln. Das kommt vor, falls man zwei Ports am selben Switch verbindet oder zwei Switches über zwei Leitungen koppelt. Mit Loop Prevention deaktiviert der Switch automatisch einen der beteiligten Ports. Ähnliches leistet die Funktion

Storm Control. Sie begrenzt die Wiederholungen aber nur auf eine niedrige Rate und unterbindet sie nicht komplett. Loop Prevention und Storm Control beherrschen alle Kandidaten.

Mit den ebenfalls von allen Prüflingen unterstützten Funktionen STP (Spanning Tree Protocol) und RSTP (Rapid STP) kann man solche sonst schädlichen Doppelverbindungen für Redundanz nutzen. Die Switches einigen sich automatisch, über welchen Link sie den Verkehr schicken und welcher zur Ausfallreserve wird. Zyxel treibt das mit MSTP (Multiple STP) für unterschiedliche Wege bei VLANs auf die Spitze.

Port-Isolation unterbindet Datenverkehr zwischen Hosts, die an isolierten Anschlüssen hängen. So kann man beispielsweise Verkehr zwischen PCs verhindern, aber sicherstellen, dass sie über einen Router an einem nichtisolierten Port ins Internet gelangen. Auch das können alle Switches im Test.

EEE alias Energy-Efficient Ethernet soll die Switches etwas sparsamer machen: Ohne Verkehr schalten die Schnittstellen in einen Idle-Modus zurück, was die Leistungsaufnahme senkt. Weil das aber beide Seiten unterstützen müssen und manchmal Unverträglichkeiten auftreten, ist EEE

im Werkzustand wie bei allen Prüflingen typischerweise abgeschaltet.

Als einziger im Test hat der MokerLink-Switch einen Modusschalter. Der wirkte bei uns aber nur teilweise: Auf „Unmanaged“ umgeschaltet verschwand der Switch zwar als Host aus dem Netz und war nicht mehr per Browser erreichbar. Vorher eingerichtete VLANs blieben aber aktiv. Wer es als gewöhnlichen Switch verwenden will, sollte das Gerät auf die Werkseinstellungen zurücksetzen oder gleich ein preisgünstigeres, nicht konfigurierbares Exemplar kaufen [1].

Kompatibilität und GPON-Trick

SFP+-Slots an Switches geben Flexibilität: Man kann je nach Bedarf Module für optische Verbindungen (Glasfaserleitungen bis 160 km Distanz) oder Kupferports (Ethernetkabel bis 100 Meter) einstecken und auch einen schnellen Netzwerkspeicher mit SFP+-Slot über ein Direct-Attach-Kabel (DAC) von wenigen Metern Länge mit 10 Gbit/s ins LAN bringen. Wir testeten das mit einer Handvoll SFP+-Module für 10 Gbit/s und 1 Gbit/s.

Bis auf einen akzeptierten alle Prüflinge alles, was wir ihnen reinstopften: Vimins VM-S250501M ignorierte die Gi-



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

Jetzt 5 × c't lesen

für 20,25 €
statt 27,25 €*

* im Vergleich zum Standard-Abo

**30%
Rabatt!**



c't MINIABO DIGITAL AUF EINEN BLICK:

- 5 Ausgaben digital in der App, im Browser und als PDF
- Inklusive Geschenk nach Wahl
- Mit dem Digitalabo Geld und Papier sparen 
- Zugriff auf das Artikel-Archiv

Jetzt bestellen:
ct.de/nerdwissen





Vimin VM-S250501M

Der Vimin-Switch schaffte trotz separatem 2G5-Baustein für seinen fünften RJ45-Port die niedrigste Leistungsaufnahme im Testfeld. Er lag sogar knapp unter den beiden Modellen ohne Extrachip (keepLiNK und YuLinca). Aber der VM-S250501M akzeptierte als einziger keine SFP-Module für 1 Gbit/s, er verweigerte auch das GPON-Modul. Trotz Spezialitäten wie einem Kabeltest und DSCP für Verkehrssteuerung (QoS) gab es deshalb nur ein „Zufriedenstellend“ für die Funktionen.

- ↑ energiesparsam
 - ↓ erkennt keine 1G-SFP-Module
- Preis: 80 Euro



YuLinca 2G06210GSMN

YuLincas Switch beschränkt sich wie das keepLiNK-Modell aufs Nötigste: vier 2G5-Ports und zwei SFP+-Slots. Die minimal neuere Firmware (2.0.7 statt 1.6) unbekanntes Datum zeigt bei einzelnen Optionen, etwa VLANs, per Klick aufs Fragezeichen eine knappe Erläuterung an. Das kann man als minimale Onlinehilfe verstehen; es führt Neulinge zumindest in die richtige Rechercherichtung. Übertreibt man es bei den VLANs und versucht ein 33. Netz zu definieren, kommt keine Fehlermeldung; der Switch legt es stillschweigend nicht an.

- ↑ minimale Onlinehilfe
 - ↓ warnt manchmal nicht bei Fehlern
- Preis: 72 Euro



Zyxel XMG1915-10E

Der zum Vergleich mitgetestete XMG1915-10E zeigt, was auf Realtek-Switch-Chips geht: Monitoring (Remote Syslog, SNMP), Topologieinformationen (LLDP), viel mehr aktive VLANs, feinere Verkehrssteuerung (QoS-Funktionen) und für Firmen-Admins Nützliches wie SFP-Überwachung (DDMI), Porttest oder optionales Cloudmanagement. Selbst wenn man seine höhere Portanzahl rückrechnet, ist der Switch teurer als das restliche Testfeld. Aber das wird von der Firmware-Pflege aufgewogen. Die nächste Version ist schon zugesagt: Im Test funktionierte IPv6 nicht reibungslos.

- ↑ überdurchschnittliche Funktionen
 - ↓ hohe Leistungsaufnahme
- Preis: 217 Euro

gabit-Module. So kann man auch kein GPON-SFP-Modul einsetzen und ihn als Medienwandler verwenden, der den Glasfaseranschluss an einen Breitbandrouter mit Ethernet-WAN-Port weiterreicht.

Bei den anderen Switches klappt das. Sie können auch das beispielsweise bei der Deutschen Telekom für den PPPoE-Internetzugang gebräuchliche VLAN-Tag entfernen, falls der nachgeschaltete Router das nicht beherrscht. Das geht in aller Kürze so: SFP+-Port mit VID 7 tagged-only konfigurieren, einen Kupferport mit VID 7 untagged. Die Probe mit dem Zyxel-Modul PMG3000-D20B [2], das die Telekom als „Digitalisierungsbox Glasfasermodem“ vertreibt, bestätigte es.

Schaltvermögen

Einen umfänglichen Durchsatztest mit Volldampfverkehr verschiedener Ethernet-Frame-Größen über alle Ports à la RFC 2889 (Fully Meshed Throughput) haben wir mangels Switchtester nicht durchgeführt.

Stattdessen mussten die Kandidaten mit praktischem Blick auf den Netzwerkalltag beweisen, ob sie 10 Gbit/s über einen SFP+-Slot annehmen und auf vier

2G5-Ports verteilen können. Der umgekehrte Fall war ebenfalls zu absolvieren. Die erfreuliche Nachricht: Das schafften alle Switches.

Für dieses Szenario nahmen wir das Zyxel-Gerät als Referenz und konfigurierten auf ihm vier 2G5-Ports mit individuellen VLANs sowie einen SFP+-Port als Trunk, der die VLANs an einen Testrechner weiterleitete. Die Prüflinge wurden entsprechend konfiguriert und ihr Trunk-Port an einen weiteren PC angeschlossen. Dann ließen wir auf beiden Seiten iperf3-Instanzen über die vier 2G5-Links zwischen den Switches aufeinander los und notierten die Summendatenrate für beide Übertragungsrichtungen.

Bei allen Prüflingen stellten sich die für eine 10GE-Verbindung mit Standard-MTU-Größe von 1500 Byte zu erwartenden 9,4 Gbit/s TCP-Durchsatz ein. Auch mit langen Leitungen zeigte kein Switch Auffälligkeiten: Einer der 2G5-Links lief nämlich über insgesamt 100 Meter Netzwerkkabel.

Energiebedarf

Als „Mehrfachsteckdosen“ fürs LAN laufen Switches typischerweise rund um die

Uhr und fordern Betriebsenergie. Die Menge hängt vom Grundbedarf der Elektronik, der Anzahl aktiver Port und ihrer Linkrate sowie von den eventuell eingesteckten SFP+-Modulen ab.

Wir haben die Leistungsaufnahme bei allen Kandidaten mit offenen Ports und mit Vollbestückung gemessen, um die Grenzen auszuloten. Vier 2G5-Ports waren über 50-Meter-Kabelstücke gekoppelt, der fünfte 2G5-Port beziehungsweise der 10G-Port beim MokerLink-Gerät ging über ein 5-m-Patchkabel zu einem Host und die SFP+-Ports waren mit 10GBase-SR-Modulen bestückt.

Vier Geräte lagen mit 1,1 bis 1,6 Watt im Minimum sowie 6,4 bis 7,0 Watt bei Maximalbeschaltung recht nah beieinander. Mit 30 Cent pro Kilowattstunde gerechnet verursachen sie jährliche Stromkosten zwischen rund 3 und gut 18 Euro.

Zwei Kandidaten ragen nach oben heraus: Das MokerLink-Gerät braucht wegen seines 10G-Kupferports einen guten Schluck mehr als die Geschwister mit gleichem Switch-Chip (ca. 5 bis 25 Euro). Zyxels XMG1915-10E zieht wegen seiner größeren Portanzahl und dem an-

deren Controller mehr Energie (ca. 14 bis 36 Euro).

Fazit

Verglichen mit einem Über-200-Euro-Exemplar wie Zyxels XMG1915-10E spielen die fünf günstigen Switches nicht an vorderster Front: Unternehmens-Admins werden vieles vermissen, aber sich

vielleicht doch einen in die Serviceta-sche stecken. Denn die einfachen Netz-werkverteiler beherrschen die Grund-lagen, kosten kaum mehr als eine Ta-schengeldrate und sind meist sparsam beim Energiebedarf. Wer mal eben schnell einen konfigurierbaren Multi-gigabit-Switch mit den wichtigsten Funktionen braucht und keine langfris-

tige Firmware-Pflege erwartet, darf zu-greifen. (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] Andrijan Möcker, GPON-Modem für SFP-Slots, OpenWrt: Zyxel PMG3000 für Telekom-Glasfaser einrichten, c't 14/2024, S. 138

Konfigurierbare 2G5-Switches – Technische Daten und Testergebnisse

Marke	keepLINK	MokerLink	Sodola	Vimin	YuLinca	Zyxel
Modell	KP-9000-6XHML-X2	2G04210GSMX	SL-SWTGW215AS	VM-S250501M	2G06210GSMN	XMG1915-10E
Ausstattung						
Anschlüsse 2.5GBase-T (RJ45) / SFP+	4 / 2	4 / 1	5 / 1	5 / 1	4 / 2	8 / 2
weitere Anschlüsse	–	1 x NBase-T 10G	–	–	–	–
Bedienelemente	Reset	Managed/Unmanaged, Reset	Reset	Reset	Reset	Restore
Leuchten	Power, Ports	Power, Ports	Power, Ports, Sys	Power, Ports	Power, Ports	Power, Ports, Cloud
Maße (B x H x T)	175 x 28 x 73 mm	160 x 31 x 113 mm	140 x 28 x 93 mm	160 x 29 x 95 mm	114 x 25 x 90 mm	250 x 27 x 105 mm
Chipsatz	RTL8372	RTL8372 + RTL8261	RTL8372 + RTL8221B	RTL8372 + RTL8221B	RTL8372	RTL9302C + 2 x RTL8224
getestete Firmware	V1.6 (Okt. 2023)	V1.9 (Feb. 2024)	V1.9 (Jan. 2024)	V3.0.2 (Apr. 2024)	V2.0.7 (k.A.)	V4.80 ACG0.3 (Nov. 2024)
Konfiguration						
HTTPS / Mgmt. auch über IPv6	– / –	– / –	– / –	– / –	– / –	✓ / ✓
Sprache / Online-Hilfe / Konten / untersch. Rechte	Englisch / – / – / –	Englisch / ✓ / – / –	Englisch / ✓ / ✓ / ✓			
Einstellungen speichern+laden	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Statistik: Übersicht / pro Port	✓ / –	✓ / –	✓ / –	✓ / –	✓ / –	✓ / ✓
Remote Syslog / SNMP / LLDP	– / – / –	– / – / –	– / – / –	– / – / –	– / – / –	✓ / ✓ (v2c,v3) / ✓
Fähigkeiten						
Flow Control / Rate Limit	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
Storm Control: Uni- / Broad- / Multicast	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓
STP / RSTP / MSTP	✓ / ✓ / –	✓ / ✓ / –	✓ / ✓ / –	✓ / ✓ / –	✓ / ✓ / –	✓ / ✓ / ✓
Trunking: max. Ports per Trunk / Rate Limit / LACP	4 / ✓ / –	4 / ✓ / –	4 / ✓ / –	4 / ✓ / ✓	4 / ✓ / ✓	8 / – / ✓
max. aktive VLANs / Voice VLAN	32 / –	32 / –	32 / –	32 / –	32 / –	1024 / ✓
QoS-Typen	Port-based, CoS	Port-based, CoS	Port-based, CoS	Port-based, CoS, DSCP	Port-based, CoS	Port-based, CoS, DSCP
QoS-Queues / Strategien	8 / Strict, WRR	8 / Strict, WRR	8 / Strict, WRR, WFQ			
Snooping: DHCP / IGMP / MLD	– / ✓ / –	✓ / ✓ / –	– / ✓ / –	✓ / ✓ / –	✓ / ✓ / –	✓ / ✓ / –
Port Mirroring: Monitor-Port / Richtung wählbar	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
Trunk als Mirror-Quelle / -Ziel	✓ / –	✓ / –	✓ / –	✓ / ✓	✓ / –	– / –
Besonderes	MAC-Begrenzung, EEE, Port-Isolation, Loop Prevention	MAC-Begrenzung, EEE, Port-Isolation, Loop Prevention	MAC-Begrenzung, EEE, Port-Isolation, Loop Prevention	MAC-Begrenzung, EEE, Port-Isolation, Loop Prevention, Kabeltest, akzeptiert keine 1GE-SFP-Module	Port-Isolation, Loop Prevention	MAC-Begrenzung, EEE, Port-Isolation, Loop Prevention, Cloud-Management, MAC-based VLAN, Vendor-ID-based VLAN, SFP/SFP+-Monitoring (DDMI), Port-test, Kabeltest
Kompatibilität und Messwerte						
SFP+ akzeptiert 10G-SR1 / SR2 / BX	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓
NBT / DAC / 1GBX-TP / 1GBX-HL	✓ / ✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / – / –	✓ / ✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓ / ✓
GPON / Detagging	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	– / –	✓ / ✓	✓ / ✓
stabiler Link über 100 m / TCP-Durchsatz	✓ / 2,35 Gbit/s	✓ / 2,35 Gbit/s	✓ / 2,35 Gbit/s			
Durchsatz 4 x 2G5 x 1 x 10G	9,4 Gbit/s	9,4 Gbit/s	9,4 Gbit/s	9,4 Gbit/s	9,4 Gbit/s	9,4 Gbit/s
Leistungsaufnahme, alle Ports offen	1,4 Watt	2,0 Watt	1,6 Watt	1,1 Watt	1,4 Watt	5,4 Watt
Leistungsaufnahme, alle Ports max. Linkrate	6,7 Watt	9,7 Watt	6,8 Watt	6,4 Watt	7,0 Watt	13,6 Watt
Preis (April 2025)	63 €	106 €	70 €	80 €	72 €	217 €
Bewertung						
Ausstattung	○	⊕	○	○	○	○
Funktionen	○	○	○	○	○	⊕⊕

⊕⊕ sehr gut ⊕ gut ○ zufriedenstellend ⊖ schlecht ⊖⊖ sehr schlecht ✓ vorhanden – nicht vorhanden k.A. keine Angabe

10G-SR1/2 = Noname E10GSFSPR-C, 10G-BX = FS SFP-10G-BX 1270/1330, NBT = Mikrotik S+RJ10, DAC = Cisco SFP-H10GB-CU3M, 1GBX-TL = TP-Link TL-SM321A V2.0, 1GBX-HL = HL-SFP-BX-U-S5, GPON = Zyxel PMG3000-D20B (DT Digitalisierungsbox Glasfaser-Modem)



Frisch gekachelt

Preiswerte Desktop-PC-Prozessoren Intel Core Ultra 200S mit 65 Watt

Mit den Arrow-Lake-CPU hat Intel nicht nur ein neues Namensschema eingeführt, sondern auch den Aufbau der Desktop-PC-Prozessoren auf links gedreht. Wir testen, wie gut sich die günstigen 65-Watt-Modelle bei Effizienz und Leistung gegen Ryzen 9000 & Co. schlagen.

Von Christian Hirsch

Vierzehn Generationen lang setzte Intel auf die Prozessorserie Core i. Diese wird nun von den Core Ultra 200S „Arrow Lake“ abgelöst. Nach den über-taktbaren K-Varianten mit hohem thermischem Budget im Herbst 2024 folgten zum Jahresanfang 2025 sieben günstigere Hybrid-CPU mit 65 Watt Processor Base Power (PBP). Von diesen haben wir den 14-Kerner Core Ultra 5 235 und den 10-Kerner Core Ultra 5 225F ohne integrierte Grafik ins c't-Testlabor geholt. Sie lösen die Vorgänger Core i5-14500 und Core i5-14400F ab, eignen sich für Office-, Allround- und preiswerte Gaming-PCs und kosten 290 beziehungsweise 255 Euro.

Einen Core Ultra 3 oder andere preisgünstigere Varianten bietet Intel für stationäre Rechner nicht an, sodass der Core Ultra 5 225F mit sechs Performance- und vier Effizienz-kernen derzeit der billigste Prozessor für die aktuelle Fassung LGA1851 ist. Das Zeitalter von Dual- und Quad-Core-Prozessoren bei Desktop-PCs ist also definitiv vorbei. Auch bei AMDs AM5-Plattform geht es bei mindestens sechs Kernen los. Außer den beiden hier getesteten Arrow-Lake-Prozessoren bietet Intel noch fünf weitere Core Ultra-200S-CPU mit 65 Watt PBP an, darunter auch leistungsstärkere Core Ultra 7 und 9 mit bis zu 24 Kernen [1], die zwischen 260 und 610 Euro kosten.

Mehr Chips für mehr Funktionen

Mit den Core Ultra 200S „Arrow Lake“ macht der CPU-Hersteller vieles anders als zuvor. Statt aus einem einzelnen Chip bestehen die Desktop-Prozessoren nun aus mehreren sogenannten Tiles (engl. für „Kacheln“) mit unterschiedlichen Funktionen. Als Unterlage dient die Base-Tile, auf der die weiteren Tiles wie ein Mosaik angeordnet sind und über das die Kommunikation und die Stromversorgung der darüberliegenden Chips läuft.

Zentraler Knoten ist die SoC-Tile (System-on-Chip). Sie enthält unter anderem den Speichercontroller für zwei DDR5-Kanäle, die Neural Processing Unit (NPU) für KI-Berechnungen mit 13 TOPS Rechenleistung, die Display-Engine für insgesamt vier DisplayPort-2.1- und HDMI-2.1-Ausgänge, die Media-Engine fürs Videode- und -encoding sowie den PCI Express Root Hub. Weitere Schnittstellen liefert die I/O-Tile. Sie stellt unter anderem weitere PCIe-5.0-Lanes, 2 x Thunderbolt 4, Gigabit-Ethernet und Wi-Fi 6E bereit. In der GPU-Tile sitzen die Shader-Kerne der Xe-LPG-Grafik. Diese Tile ist auch beim grafiklosen Core Ultra 5 225F vorhanden, um die strukturelle Stabilität des Prozessors zu gewährleisten, aber inaktiv.

Bis zu acht Performance- und 16 Effizienzkerne packt Intel zusammen mit dem bis zu 36 MByte großen, gemeinsam genutzten Level-3-Cache im Compute-Tile. Die E-Cores mit Sycamore-Architektur sitzen jeweils zu viert in einem Block und teilen sich darin 4 MByte L2-Cache. Flächenmäßig fast genauso groß wie ein E-Kern-Vierercluster ist ein einzelner P-Kern mit Lion-Cove-Architektur, dem exklusiv jeweils ein 3 MByte großer L2-Cache zur Verfügung steht.

Mit Ausnahme der Base-Tile stammen die einzelnen Chips nicht mehr aus Intels eigener Fertigung, sondern kommen von TSMC, wo auch Apple und AMD kaufen. Den ursprünglich geplanten Intel-20A-Prozess hat der Chiphersteller heimlich, still und leise beendet, ohne dafür die genauen Hintergründe zu benennen.

Stärkere Kerne, schnelleres RAM

Obwohl die P-Cores kein Hyperthreading mehr beherrschen, verspricht Intel eine höhere Rechenleistung. Um die zu erreichen, hat der Chiphersteller sowohl die Lion-Cove- als auch die auf Effizienz und geringen Flächenbedarf optimierten Sycamore-Kerne kräftig aufgeböhrt. Kurz zu-

sammengefasst gibt es im Vergleich zur 14. Core-i-Generation mehr Dekodiereinheiten, größere und schnellere Caches sowie mehr Ausführungseinheiten. Die Details finden Sie im Test der K-Varianten der Core Ultra 200S [2].

Der Speichercontroller der Arrow-Lake-Prozessoren kann außerdem mit Clocked Unbuffered DIMMs (CUDIMMs) umgehen. Diese erreichen dank zusätzlicher Verstärkerchips eine höhere Geschwindigkeit von DDR5-6400 bei unverändert gebliebener Spannung von 1,1 Volt. Die Vorgänger der Serie Core i-14000 mit Raptor-Lake-Die steuerten RAM maximal mit DDR5-5600 an. Die günstigeren Varianten mit dem noch älteren Alder-Lake-Die erreichten sogar nur DDR5-4800. Mit DDR5-6400-CUDIMMs klettert der Speicherdurchsatz des Core Ultra 5 235 auf 92 GByte/s, mit DDR5-4800-Tempo sind es lediglich 73 GByte/s.

Auch an der GPU hat Intel kräftig geschraubt. Die integrierte UHD-770-Grafik des Core i5-14500 besteht aus lediglich 256 Xe-Shader-Kernen und taktet mit 1,55 GHz. Im Vergleich dazu arbeiten die 384 Shader des Core Ultra 5 235 mit 2 GHz. Die Shader verwenden zudem die deutlich potentere Xe-LPG-Architektur,

Core Ultra 200S: Synthetische Benchmarks und Effizienz

Prozessor	AIDA64 GPGPU FP64 [GFLOPS]	Cinebench 2024 1T [Punkte]	Cinebench 2024 MT [Punkte]	Effizienz [Cinebench/Watt]	Leistungsaufnahme Leerlauf / Volllast [W]
	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	◀ besser
Core Ultra 5 235	1013	128	1297	8,6	37/190
Core Ultra 5 225F ¹	724	123	980	7,1	42/185
Core i5-14500	575	114	927	6,0	32/226
Core i5-14400F ¹	493	107	784	5,5	36/190
Ryzen 7 9700X	1311	132	1139	8,9	40/127
Ryzen 7 8700G	651	108	1029	8,2	31/124
Ryzen 5 9600X	1016	131	932	7,4	40/126

getestet mit 32 GByte RAM, Core Ultra 200S: DDR5-6400 CUDIMM, Core i-14000: DDR5-4800, Ryzen 9000: DDR5-5600, Ryzen 8000G: DDR5-5200
¹ mit GeForce GT 1030

Core Ultra 200S: Anwendungs-Benchmarks

Prozessor	Blender 4.2.7 Classroom [s]	7-Zip komprimieren [MByte/s]	Handbrake 1.9.1 1080p30 fast [fps]	PCMark 10 [Punkte]	SPEC Workstation 4.0: Rodinia Life Science [Punkte]	KcBench Linux-Kernel 6.8 kompilieren [s]
	◀ besser	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	◀ besser
Core Ultra 5 235	287	100	124	7463	1,5	71
Core Ultra 5 225F ¹	397	80	99	5754	1,09	93
Core i5-14500	423	82	85	6167	1,04	105
Core i5-14400F ¹	480	73	77	5472	0,9	119
Ryzen 7 9700X	291	94	106	7131	1,17	77
Ryzen 7 8700G	339	93	85	7449	0,92	95
Ryzen 5 9600X	390	81	85	6885	0,95	94

getestet mit 32 GByte RAM, Core Ultra 200S: DDR5-6400 CUDIMM, Core i-14000: DDR5-4800, Ryzen 9000: DDR5-5600, Ryzen 8000G: DDR5-5200
¹ mit GeForce GT 1030



Für den Core Ultra 5 235 verwendet Intel einen etwas kleineren Heatspreader als beim Core Ultra 5 225F.

dadurch erreicht die GPU im 3DMark Steel Nomad mehr als die vierfache Performance.

Hohe Multithreading-Performance

Für den Test haben wir allen Prozessoren jeweils 32 GByte Arbeitsspeicher zur Seite gestellt, auf korrekte Power-Limits geachtet sowie Windows 11 24H2 und die jeweils aktuelle Mainboard-Firmware verwendet. Den Kompilier-Benchmark KcBench haben wir unter Ubuntu 24.04 LTS mit Kernel 6.8 durchgeführt. Weil den beiden F-Prozessoren die integrierte GPU fehlt, steckte bei ihnen zusätzlich eine sparsame Grafikkarte vom Typ GeForce GT 1030 auf dem Board. Die 3D-Spiele-Performance haben wir bei allen CPUs mit der

High-End-Karte GeForce RTX 5090 ermittelt.

Die 65-Watt-Varianten der Core Ultra 200S „Arrow Lake“ machen bei der Performance im Vergleich zu den Vorgängern Core i-14000 „Raptor Lake“ einen ordentlichen Satz nach vorne. Im synthetischen Rendering-Benchmark Cinebench 2024 rechnet der Core Ultra 5 235 trotz unveränderter Kernzahl, gleichem Maximaltakt und entfallenem Hyperthreading satte 40 Prozent schneller als der Core i5-14500. Beim Core Ultra 5 225F beträgt der Zuwachs zum Core i5-14400F immerhin 25 Prozent.

Manche Anwendungen profitieren sogar noch stärker: Rendering mit Blender, Videokodieren mit Handbrake, Kompilieren des Linux-Kernels sowie wissen-

schaftliche Berechnungen mit der Rodinia-Life-Science-Suite absolviert der 14-Kerner Core Ultra 5 235 44 bis 48 Prozent schneller als der direkte Vorgänger. Beim Komprimieren von Dateien mit 7-Zip sowie in der Office-Benchmark-Suite PCMark 10 liegt die Arrow-Lake-CPU über 20 Prozent vor dem Core i5-14500.

Der Core Ultra 5 225F legt nicht ganz so viel zu. Bei den meisten Anwendungen schneidet er 21 bis 28 Prozent besser ab als der Core i5-14400. Wie die stärkere Core-Ultra-5-Variante fällt der Zuwachs bei 7-Zip und im PCMark 10 mit 10 beziehungsweise 5 Prozent etwas geringer aus.

Der Performance-Sprung geht zum Teil auf das Konto der verbesserten Rechenwerke in den Lion-Cove- und Sky-mont-Kernen, zum Großteil aber auf das Konto der deutlich gestiegenen Effizienz. Durch den geringeren Energiebedarf der mit TSMC-N3B-Technik gefertigten CPU-Tile können vor allem die Effizienzkerne im Multithreading länger bei höherem Takt verweilen, weshalb der Core Ultra 5 235 mit seinen acht E-Kernen stärker profitiert als der Core Ultra 5 225F mit vier E-Cores. Bei 7-Zip takteten die Effizienzkerne auch nach dem Turbofenster mit den maximalen 4,4 GHz. Im Singlethreading, wenn nur einer der P-Kerne etwas zu tun bekommt, rechnet Arrow Lake etwa 12 bis 15 Prozent schneller als Raptor Lake.

Im Vergleich zur Ryzen-Konkurrenz von AMD schlagen sich die 65-Watt-Varianten der Core Ultra 200S wacker. Die Ryzen 9000 liegen in der Singlethreading-Wertung des Cinebench 2024 mit drei Prozent knapp vorn. Stehen alle 14 Kerne des Core Ultra 5 235 unter Dampf, schlägt er den 45 Euro teureren Achtkerner Ryzen 7 9700X mit 14 Prozent Vorsprung deutlich. In Anwendungen entscheidet die Intel-CPU das Duell immer zu ihren Gunsten. Besonders stark ist sie bei wissenschaftlichen Berechnungen und dem Videokodieren. In den meisten anderen Programmen beträgt der Unterschied nur wenige Prozentpunkte.

Ausgeglicher ist das Duell zwischen Core Ultra 5 225F und Ryzen 5 9600X, bis auf die Geschwindigkeit in Handbrake und Rodinia Life Science liegen die beiden Prozessoren gleichauf. Der Intel-10-Kerner ist mit 255 zu 230 Euro geringfügig teurer.

3D-Spiele und Effizienz

Auch in 3D-Spielen bieten die Core-Ultra-200S-CPU ein deutliches Leistungs-

Core Ultra 200S: Leistung in 3D-Spielen

Prozessor	Cyberpunk 2077 P1 / Durchschnitt [fps]	Stalker 2: Heart of Chornobyl P1 / Durchschnitt [fps]	3DMark Steel Nomad ¹ [Punkte]
	besser ▶	besser ▶	besser ▶
Core Ultra 5 235	80/100	36/66	341
Core Ultra 5 225F	73/91	32/58	–
Core i5-14500	65/82	29/52	75
Core i5-14400F	62/81	28/51	–
Ryzen 7 9700X	83/100	34/63	126
Ryzen 7 8700G	79/92	28/52	445
Ryzen 5 9600X	74/90	32/59	128

getestet mit GeForce RTX 5090, 32 GByte RAM, Core Ultra 200S: DDR5-6400 CUDIMM, Core i-14000: DDR5-4800, Ryzen 9000: DDR5-5600, Ryzen 8000G: DDR5-5200
 Grafikeinstellungen: Full HD, Qualitätsstufe Ultra + Raytracing, Cyberpunk 2077 und Stalker 2: Heart of Chornobyl mit Raytracing
¹ mit integrierter GPU

plus zu den Vorgängern. Die Bildrate bei Full-HD-Auflösung mit der sehr leistungsstarken High-End-Grafikkarte GeForce RTX 5090 klettert bei Cyberpunk 2077 und Stalker 2: Heart of Chornobyl um jeweils über 20 Prozent, ebenso das wichtige P1-Perzentil. Dieses gibt an, welche Bildrate das langsamste Prozent der gerenderten Einzelbilder hat. In Cyberpunk 2077 steigt dieses beim Wechsel vom Core i5-14500 zum Core Ultra 5 235 von 65 auf 80 Bilder pro Sekunde (frames per second, fps). Die Durchschnittsbildrate legt von 82 auf 100 fps zu. Damit erreicht die Arrow-Lake-CPU bei der Spieleleistung das Niveau des etwas teureren Ryzen 7 9700X.

Der günstigere Core Ultra 5 225F ohne integrierte Grafik liegt bei 3D-Spielen etwa zehn Prozent hinter dem 35 Euro teureren Core Ultra 5 235 zurück. Der Unterschied ist deutlich größer als in der Vorgängergeneration, wo der Core i5-14400F nahezu auf Augenhöhe des Core i5-14500 mitspielt und wegen des 40 Prozent geringeren Preises eine Budget-Empfehlung für Gaming-PCs darstellt. Über die Gründe können wir nur spekulieren. Vermutlich wirkt sich hier das fehlende Hyper-Threading aus, sodass die zehn Threads des Core Ultra 5 225F für moderne Spiele bereits zu knapp bemessen sind. Zum Vorgänger Core i5-14400F steigt die Spieleperformance um 14 Prozent, was den Aufpreis von über 80 Prozent allerdings nicht rechtfertigt.

Mit dem Gaming-Überflieger Ryzen 7 9800X3D mit zusätzlichem, aufgestapeltem Level-3-Cache kann Intels CPU-Serie Core Ultra 200S nicht mithalten. Diesen Prozessor haben wir wegen des deutlich höheren Preises von 540 Euro in diesem Test außen vor gelassen. Er erreicht bei Cyberpunk 2077 statt der bereits erwähnten 100 fps für den Core Ultra 5 235 im Schnitt 138 fps und bei Stalker 2: Heart of Chornobyl 78 statt 66 fps.



Bei 3D-Spielen wie dem Action-Rollenspiel Cyberpunk 2077 liegt die Bildrate des Core Ultra 5 235 auf dem Niveau des Ryzen 7 9700X.

Im Vergleich zu den Vorgängern der 14. Core-i-Generation machen die Arrow-Lake-Prozessoren bei der Effizienz einen großen Satz nach vorne. Der 14-Kerner Core Ultra 5 235 liefert pro Watt über 40 Prozent mehr Cinebench-Punkte als der Vorgänger Core i5-14500 mit ebenso vielen CPU-Kernen. Statt bis zu 154 Watt verheizt der aktuelle Core Ultra 5 im 28-sekündigen Turbofenster nur noch bis zu 121 Watt und rechnet zugleich deutlich schneller. Anschließend gilt für alle getesteten Intel-CPU's das Power-Limit von 65 Watt. In der Effizienzwertung liegen die 65-Watt-Varianten der Core Ultra 200S ungefähr auf dem Niveau der Ryzen 9000, sodass Intel hier deutlich aufholt.

Fazit

Mit den 65-Watt-Varianten der Core Ultra 200S „Arrow Lake“ liefert Intel effiziente und leistungsstarke Desktop-CPU's, die bei Preis und Leistung mit den Ryzen 9000 von AMD konkurrieren. Auch bei 3D-Spielen liegen sie auf ähnlichem Ni-

veau – der erheblich teurere Ryzen 9000X3D mit zusätzlichem Cache spielt in einer anderen Liga.

Der Core Ultra 5 225F ohne integrierte GPU kann sein Versprechen als günstiger Budget-Prozessor für bezahlbare Gaming-PCs allerdings nicht erfüllen. Dafür ist er viel zu teuer im Vergleich zum Vorgänger Core i5-14400F und der AMD-Konkurrenz wie Ryzen 5 5600 oder Ryzen 5 8400F, die alle unter 150 Euro kosten. Für Office- und Allround-PCs bieten die Core Ultra 200S mit 65 Watt PBP jedoch eine gute Ausgangsbasis, wenn man sie mit einem sparsamen Mainboard mit Serie-800-Chipsatz kombiniert [3]. (chh@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Christian Hirsch, Core Ultra 200S: Intel bringt effiziente Prozessorvarianten, c't 3/2025, S. 35
- [2] Christian Hirsch, Alles auf Anfang, Intel Core Ultra 200S „Arrow Lake“: Vergleichstest und Architektur, c't 26/2024, S. 90
- [3] Christian Hirsch, Kern-Diener, Mainboards mit B860-Chipsatz für Intel Core Ultra 200S im Test, c't 6/2025, S. 92

Core Ultra 200S: technische Daten

Prozessor	Kerne / Threads	Takt / Turbo	L2-Cache	L3-Cache	RAM	iGPU / Shader-rechenkerne	PBP / MTP ²	Preis
Core Ultra 5 235	6P+8E / 14	3,4 GHz / 5,0 GHz	6 × 3 MByte + 2 × 4 MByte	24 MByte	2 × DDR5-6400 ¹	Intel Graphics / 384	65 W / 121 W	290 €
Core Ultra 5 225F ¹	6P+4E / 10	3,3 GHz / 4,9 GHz	6 × 3 MByte + 1 × 4 MByte	20 MByte	2 × DDR5-6400 ¹	–	65 W / 121 W	255 €
Core i5-14500	6P+8E / 20	2,6 GHz / 5,0 GHz	6 × 1,25 MByte + 2 × 2 MByte	24 MByte	2 × DDR5-4800	UHD 770 / 256	65 W / 154 W	250 €
Core i5-14400F ¹	6P+4E / 16	2,5 GHz / 4,7 GHz	6 × 1,25 MByte + 2 MByte	20 MByte	2 × DDR5-4800	–	65 W / 148 W	135 €
Ryzen 7 9700X	8 / 16	3,8 GHz / 5,5 GHz	8 × 1 MByte	32 MByte	2 × DDR5-5600	Radeon / 128	65 W / 88 W	335 €
Ryzen 7 8700G	8 / 16	4,2 GHz / 5,1 GHz	8 × 1 MByte	16 MByte	2 × DDR5-5200	Radeon 780M / 768	65 W / 88 W	270 €
Ryzen 5 9600X	6 / 12	3,9 GHz / 5,4 GHz	6 × 1 MByte	32 MByte	2 × DDR5-5600	Radeon / 128	65 W / 88 W	230 €

¹ mit CUDIMMs ² PBP: Processor Base Power MTP: Maximum Turbo Power



Kurz und knapp

Spielergrafikkarte MSI GeForce RTX 5070 Inspire 3X OC

Von den neuen RTX-5000-Grafikkarten ist die GeForce RTX 5070 die billigste. Zwar hat sie alle technischen Spielereien der großen Geschwister, aber lediglich 12 GByte GDDR7-Speicher. Im Test musste sie zeigen, wie schwer diese Begrenzung wiegt.

Von Carsten Spille

Je billiger eine Grafikkarte, desto größer der potenzielle Käuferkreis: Unter diesem Aspekt ist Nvidias GeForce RTX 5070 die bisher interessanteste Variante der neuen 5000er-Reihe mit Blackwell-Architektur. Ihr offizieller Listenpreis beträgt 619 Euro, die nächstteuere Version 5070 Ti kostet mit 879 Euro selbst auf dem Papier 42 Prozent mehr. Im Handel gibt es die 5070 ohne Ti ab 640 Euro; damit konkurriert sie mit der leicht teureren Radeon RX 9070 aus der aktuellen Generation und den viel billigeren Radeon RX 7900 GRE und RX 7800 XT aus der Vorgängergarde – alle haben 16 statt nur 12 GByte Grafikspeicher. Aus eigenem Hause erwächst der RTX 5070 keine Gefahr, Nvidia hat die Lieferkette gut im Griff und von den RTX-4070-Karten, egal ob Basisversion, Super oder Ti, gibt es nur überteuerte Restposten.

Der Preis für unser Testexemplar von MSI schwankte während des Testzeitraums stark von 720 bis 840 Euro. Die unverbindliche Preisempfehlung liegt bei 789 Euro, die für den gediegen wirkenden Kühler und die aufwendigere Platine im Vergleich zur Nvidia-Referenz fällig werden. Die Taktfrequenz ist bei unserer OC-Edition auf dem Papier zwar von 2512 auf 2542 Megahertz erhöht, die Nutzer per MSI-Tool um weitere 15 MHz erhöhen können. Doch die real anliegende Frequenz etwa im Shooter Cyberpunk 2077 beträgt rund 2800 MHz, sodass die 1,7-prozentige, nominelle Erhöhung von 2512 auf 2557 MHz irrelevant wird.

Weitläufig verwandt

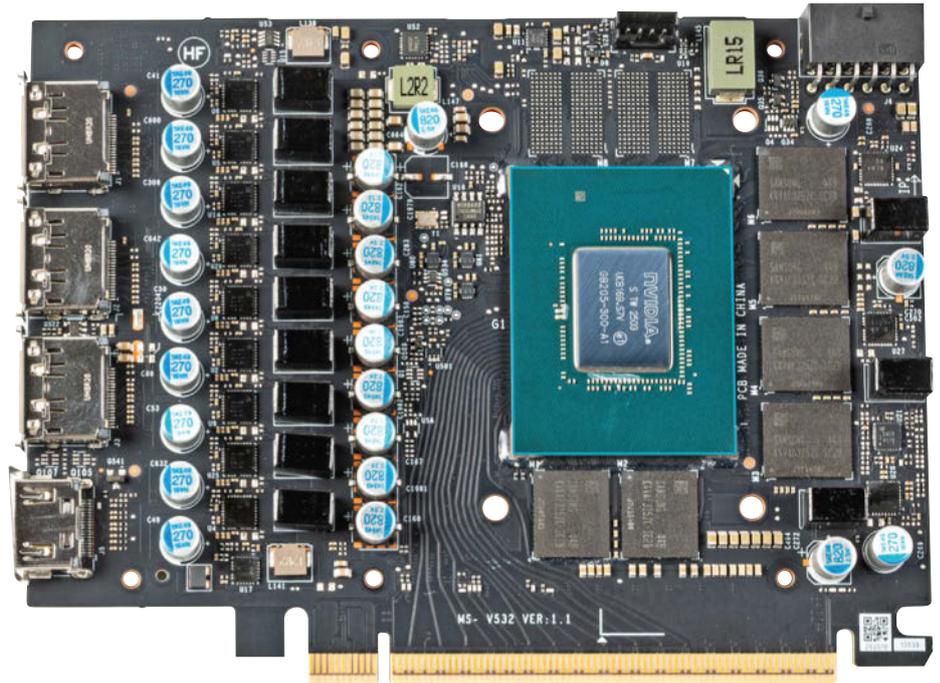
Die RTX 5070 nutzt den Blackwell-Grafikchip GB205. Auf dem Papier und in unseren Durchsatzmessungen liegt die RTX 5070 rund 32 Prozent hinter ihrer

Namenscousine 5070 Ti mit dem GB203, was die maximalen Gleitkommaoperationen pro Sekunde angeht (Flops). Die Differenz ist wesentlich größer als zwischen RTX 5080 und RTX 5070 Ti. Die integrierten Video-En- und Decoder sind, anders als auf den größeren GeForce RTX 5000, jeweils nur einfach vorhanden. Insgesamt ist die Namensgebung daher irreführend, zumal der von 16 auf 12 GByte verkleinerte Grafikspeicher erschwerend hinzukommt. Ehrlicher wäre es gerade auch angesichts der Spieleleistung gewesen, hätte Nvidia sie RTX 5060 genannt.

Ansonsten sind sämtliche RTX-5000-Funktionen und -Spielereien mit an Bord: Das PCIe 5.0 ist mit 16 Lanes angebunden und übertrug im Test die erwarteten 48 GByte pro Sekunde. Display-Ports und HDMI-Ausgänge arbeiten nach den aktuellen Standards und haben genug Reserven, um Ultra-HD-Bildschirme mit 480 Hertz oder 8K-Displays mit 165 Hz zu beliefern. Auch der KI-gestützte Upscaler DLSS4 ist mit von der Partie und kann bei der RTX-5000-Reihe inzwischen sogar bis zu drei Bilder aus einem gerenderten Bild erzeugen (Multi Frame Generation). Nvidias Blackwell-Architektur hinter den neuen RTX-5000-Karten haben wir bereits in [1] etwas näher erklärt.

Kühlung nicht am Limit

MSI gibt ihrer Inspire 3X OC zwar etwas mehr Takt mit, erlaubt ihr aber keine höhere Leistungsaufnahme. Mit den nomi-



MSI hat die Platine ihrer RTX 5070 Inspire 3X sehr kompakt gestaltet und nutzt neun Phasen für die Stromversorgung der GPU und derer drei für den Grafikspeicher. Die Platine lässt sich auch für GB205-GPUs mit 16 GByte Grafikspeicher verwenden, wie die beiden freien Lötplätze für zwei weitere GDDR7-Chips verraten.

nell 250 Watt ist die Kühlkonstruktion aber schon gut beschäftigt, wenn man nach den 2,0 sone Lautheit unter Volllast geht. Die Lüfter könnten zwar langsamer und damit leiser drehen, ohne dass der Chip überhitzt, aber MSI gibt dem Temperaturziel im BIOS Vorrang vor möglichst leisem Betrieb. Ein zweites BIOS oder eine

alternative Lüfterkurve für leiseren Betrieb sparte sich der Hersteller, hier müssen Nutzer im MSI-Tool Afterburner selbst Hand anlegen.

Im Leerlauf zeigt sich die Karte von ihrer besseren Seite. Nicht nur stehen die Lüfter wie üblich still. Auch die Leistungsaufnahme bleibt selbst im Vier-

Die GeForce RTX 5070 rendert die fantastische Welt von Avatar – Frontiers of Pandora noch in WQHD-Auflösung mit 2560 x 1440 Bildpunkten mit flüssiger Bildrate oberhalb von 60 Fps.



Display-Mischbetrieb unter 20 Watt, sinkt leider aber auch nicht unter 17 Watt an einem einzelnen Ultra-HD-Bildschirm.

Unter Last schluckt die Karte 270 Watt, die kurzzeitigen Spitzenauslässe hat MSI mit bis zu 290 Watt gut im Griff. Hier zeigt die Auslegung der Platine für die größere RTX 5070 Ti und den GB205-Chip ihre Vorteile. Die Stromversorgung erfolgt über einen 12V-2x6-Anschluss, ein Adapter auf 2 x 8-Pin liegt bei. Der 12V-2x6-Anschluss führte bei einigen Nutzern mit stromdurstigeren GeForce RTX bei zum Teil über 600 Watt bereits zu Problemen, aber die Inspire 3X OC nutzt ihn noch weit innerhalb seiner Komfortzone.

Leistung in Spielen

Im Mittel unseres Spiele-Benchmarkparcours lag die RTX 5070 rund 20 Prozent hinter der 5070 Ti, diesen Unterschied merkt man bisweilen. Bei den für den geschmeidigen Gesamteindruck wichtigen P1-Werten ist der Rückstand etwas kleiner. Je geringer die Auflösung, desto kleiner wird auch der Rückstand, ebenso schrumpft er beim Verzicht auf Raytracing etwas zusammen.

Gegenüber der billigeren Radeon RX 9070 behauptet sich die RTX 5070 nur äußerst knapp, einen spürbaren Unterschied gibt es im Mittel nicht. Je höher die Auflösung und je höher die Speicherbelegung, desto mehr muss sich die RTX 5070 abmühen. Die 12 GByte Grafikspeicher

sind heute noch kein Beinbruch, auf mittlere Sicht in dieser Leistungsklasse aber bereits an der Untergrenze.

Ihre Namensere muss sie gegen die RTX 4070 Super als letzter 4070-Ausbaustufe verteidigen. Das gelingt trotz geringerer Rechenleistung nur knapp, einen sprichwörtlichen Generationensprung sucht man in der Rohleistung mit einem Leistungsplus von gerade einmal 4 Prozent aber vergebens. Am besten liegt der RTX 5070 die Kombination aus geringen Auflösungen wie Full HD und Rastergrafik, hier rechnet sie 8 Prozent flotter als die RTX 4070 Super. Der Vergleich mit der RTX 4070 ohne Super sieht etwas besser für die RTX 5070 aus. Den Beinahe-Gleichstand in der Durchsatzmessung setzt sie in ein

Spieleleistung GeForce RTX 5070

Grafikkarte	A Plague Tale: Requiem ¹ [fps]	A Plague Tale: Requiem (RT) ² [fps]	Avatar - Frontiers of Pandora (RT) ³ [fps]	Cyberpunk 2077 (RT) ⁴ [fps]	Indiana Jones und der Große Kreis (RT) ⁵ [fps]	Shadow of the Tomb Raider ⁶ [fps]	Shadow of the Tomb Raider (RT) ⁷ [fps]	Stalker 2 (RT) ⁸ [fps]
	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶
Spieleauflösung Full HD (1920 x 1080)								
Radeon RX 9070 XT OC	132/155	88/113	96/120	64/77	84/101	225/315	140/215	43/73
Radeon RX 7900 XTX	126/153	78/102	96/119	48/58	96/114	233/320	137/207	41/72
GeForce RTX 5070 Ti OC	123/152	91/115	108/133	71/88	109/129	207/342	0/0 ⁹	40/75
Radeon RX 7900 XT	116/139	71/91	89/108	44/52	88/103	221/298	124/187	40/67
Radeon RX 9070	116/135	77/97	83/101	53/63	74/89	216/288	121/186	41/66
MSI GeForce RTX 5070 Inspire 3X OC	103/122	77/93	88/107	59/69	86/107	215/298	0/0 ⁹	39/65
GeForce RTX 4070 Ti	97/118	76/92	95/115	63/74	91/110	204/296	137/198	38/66
GeForce RTX 4070 Super OC	92/111	71/86	87/106	58/69	90/104	207/283	134/186	38/65
Radeon RX 6900 XT	90/104	55/69	69/85	30/37	67/80	182/245	97/148	39/54
GeForce RTX 3080 10 GB OC	82/99	63/75	71/86	49/57	76/88	162/224	104/147	37/55
GeForce RTX 4070	83/97	61/73	75/91	49/57	74/91	181/246	117/161	35/58
Spieleauflösung WQHD (2560 x 1440)								
Radeon RX 9070 XT OC	96/109	64/79	70/82	42/48	73/86	181/230	106/152	40/60
GeForce RTX 5070 Ti OC	91/106	68/81	78/91	48/57	95/109	198/259	0/0 ⁹	38/62
Radeon RX 7900 XT	85/98	52/65	64/75	28/33	74/86	163/213	90/131	39/54
Radeon RX 9070	83/92	56/67	59/68	34/39	64/75	160/203	91/129	39/54
MSI GeForce RTX 5070 Inspire 3X OC	72/83	54/63	61/71	38/43	75/88	156/201	0/0 ⁹	34/52
GeForce RTX 4070 Ti	69/80	54/64	67/77	40/47	77/92	158/204	101/134	36/54
GeForce RTX 4070 Super OC	65/75	51/59	60/69	37/43	75/86	149/192	95/125	35/52
Radeon RX 7800 XT	64/75	41/50	46/54	20/24	51/60	126/161	66/98	33/42
GeForce RTX 3080 10 GB OC	60/69	45/53	51/60	32/36	65/74	121/159	78/103	33/44
GeForce RTX 4070	58/65	43/51	52/60	31/36	63/75	129/165	82/107	30/45
Spieleauflösung Ultra HD (3840 x 2160)								
Radeon RX 9070 XT OC	52/57	37/42	39/43	21/24	50/57	104/123	61/81	31/39
GeForce RTX 5070 Ti OC	42/57	38/44	41/46	25/28	64/74	112/137	0/0 ⁹	31/42
Radeon RX 7900 XT	46/51	31/35	35/39	14/16	49/54	94/114	50/70	27/34
Radeon RX 9070	44/47	30/35	31/35	17/19	44/50	91/108	51/69	28/34
MSI GeForce RTX 5070 Inspire 3X OC	38/43	29/33	31/35	18/21	49/57	85/102	0/0 ⁹	25/33
GeForce RTX 4070 Ti	40/44	30/34	35/39	19/22	53/61	88/105	54/69	25/33
GeForce RTX 4070 Super OC	36/40	27/31	32/35	17/20	47/54	83/99	51/64	24/31
Radeon RX 7800 XT	35/38	23/27	25/28	10/12	34/38	70/84	36/51	22/26
GeForce RTX 3080 10 GB OC	34/38	25/29	28/31	10/15	45/51	72/89	43/56	12/3
GeForce RTX 4070	31/34	23/27	26/29	14/16	41/47	69/83	43/55	21/27

Angaben in Bildern pro Sekunde (fps). Dunkler Balken: P1-Perzentil, d. h. 99 Prozent der Bildrate ist höher; heller Balken: Durchschnittswert. Gemessen auf Ryzen 7 9800X3D, 32 GByte DDR5-5600; Windows 11 24H2, Vsync und Bildratenbegrenzer aus

¹ Detailstufe Ultra, RT-Schatten & DLSS aus, Resolution Optimizer Ultra Quality ² siehe ¹, aber RT-Schatten an ³ „Ultra“, Skalierungsmodus aus, TAA ⁴ „Raytracing: Ultra“, Resolution Scaling off ⁵ „Hyper“, Texturenpoolgröße „Ultra“, Hochskalierung „Natives TAA“, DLSS Frame Generation und Auflösungskalierung „Aus“ ⁶ „Ultrahoch“, Raytracing-Schatten aus, TAA ⁷ siehe ⁶, aber Raytracing-Schatten „Ultra“ ⁸ „Episch“, Auflösungskalierung 100, Hochskalierungsmethode TAA, DLSS Frame-Generierung aus, FSR 3.1 aus ⁹ bekannter Treiberfehler: Rücksturz zur Windows-Oberfläche wenn RT-Einstellung „Hoch“ oder „Ultra“.

rundes Drittel mehr Punkte in den 3DMark-Tests Steel Nomad und Speed Way um. In Spielen ist der Zuwachs geringer und mit im Schnitt 22 Prozent ebenfalls nicht beachtend. Besonders deutlich ist der Abstand in Cyberpunk 2077 mit beinahe 30 Prozent, etwas geringer fällt er in Avatar – Frontiers of Pandora und dem CPU-lastigeren Stalker 2 selbst in Ultra HD aus.

Zusätzliche Vergleichswerte von weiteren Grafikkarten finden Sie unter ct.de/y7up.

Für KI-Anwendungen sind die 12 GByte der RTX 5070 bereits heute arg knapp bemessen. Im AI Image Generation Benchmark in ULs Procyon-Suite muss sie den Test mit Stable Diffusion XL im ONNX-Framework aus Speichermangel auslassen und kann ihn nur unter Nvidias TensorRT absolvieren, weil dieses sparsamer mit dem Speicher umgeht. Solange der Speicher ausreicht, hält die RTX 5070 mit der Radeon RX 9070 mit und liegt zum Teil sogar in Front, wenn Modell und Framework auf die Nvidia-Architektur optimiert sind.

Fazit

Mit der RTX 5070 liefert Nvidia lediglich eine Minimalvorstellung ab, deren Roh-

leistung kaum höher liegt als die der Vorgängergeneration und dabei noch 30 Watt mehr elektrische Leistung als selbst die 4070 Super aufnimmt. Die Vorteile liegen in der moderneren Architektur, den besseren Display- und Video-Engines sowie in DLSS4 mit Multi-Frame-Generation.

MSIs Interpretation in Form der Inspire 3X OC liefert eine vergleichsweise kompakte Zwei-Slot-Grafikkarte, die auch in beengten Gehäusen wenig Probleme macht. Der Kühler wirkt gerade durch Verzicht auf Lichteffekte gediegen. Die drei Lüfter könnten langsamer drehen und damit ein angenehmeres Geräuschniveau erzeugen. Wer das wünscht, muss in der MSI-Software selbst Hand anlegen. Für Spieler liefert die Karte ausreichend Rohleistung für WQHD-Auflösung und hat noch den DLSS4-MFG-Trumpf im Ärmel. (csp@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Carsten Spille, In dünner Luft, High-End-Grafikkarten mit Nvidia GeForce RTX 5080 und 5090 im Test, c't 6/2025, S. 84

Onlinetest auf heise+: ct.de/y7up

MSI GeForce RTX 5070 Inspire 3X OC – Testtabelle

Spielergrafikkarte mit Nvidia GeForce RTX 5070	
Hersteller, URL	MSI, de.msi.com
Modell / Produktnummer	GeForce RTX 5070 Inspire 3X OC / G5070-12I3C
GPU / Fertigung / Transistoren	GB205 / TSMC 4N / 31,1 Mrd.
BIOS-Version / UEFI-tauglich	98.05.28.00.30 / ✓
Schnittstellen, APIs	DirectX 12 Ultimate (SM 6.9), OpenGL 4.6.0, OpenCL 3.0, Vulkan 1.4
Shader / TMU / ROP / RT / MMA ¹	6144 / 192 / 80 / 48 / 192
GPU-Takt: Basis / typ. Boost / max. Boost	2325 / 2542 / 2865 MHz
Speichermenge / -typ (-durchsatz)	12 GByte / GDDR7 (672 GByte/s)
TDP/ Stromversorgung / PCIe	250 Watt / 1 × 12V-2x6 / 5.0 x16
Länge × Höhe × Breite / Gewicht	289 mm × 112 mm × 51 mm / 912 g
Ausstattung	
Displayausgänge	3 × DP 2.1 (UHBR20), 1 × HDMI 2.1b
Lüfter / Stillstand im Leerlauf	3 × 88 mm / ✓
Besonderheiten	Rückenplatte Metall, 12V-2x6-Adapter auf 2 × 8-Pin
Technische Prüfungen	
3DMark Steel Nomad (DX12) / Speedway (RT)	5098 / 5917 Punkte
Rechendurchsatz FP32/FP64	33478 / 552 GFlops
Blender 4.3.2 „Gooseberry“ („Lone Monk“)	162 s / 54 s (205 s / 81 s) (CUDA / Optix)
Leistungsaufnahme 2D ² / Multimonitor ³	17 (17) / 18 (19) Watt
Leistungsaufnahme 3D / Vollast (Peak ⁴)	271 / 281 (290) Watt
Geräusentwicklung Leerlauf / Last / Vollast	<0,1 / 1,8 / 2,0 sone
Bewertungen	
3D-Leistung FHD / WQHD / UHD (mit RT) ⁵	⊕⊕ (⊕) / ⊕⊕ (○) / ○ (○)
Geräusentwicklung Leerlauf / Last / Vollast	⊕⊕ / ⊕ / ⊕
Straßenpreis / Garantie	720 € / 3 Jahre Garantie ⁶

¹ TMU = Textureinheit, ROP = Rasterendstufe, RT = Raytracing-Kern, MMA = Matrix Multiply Accumulate für KI (Tensor-Cores) ² UHD-Display bei 60 (120) Hertz ³ mit 2 × UHD60 (3 × 1080p60 + 1 × UHD60) ⁴ kurzzeitiger Spitzenwert für einige Millisekunden ⁵ bezogen auf die gewählten Einstellungen ⁶ Abwicklung nur über Händler
 ✓ funktioniert ⊕⊕ sehr gut ⊕ gut ○ zufriedenstellend ⊖ schlecht ⊖⊖ sehr schlecht

KI im Blick!

Jetzt mit c't die Übersicht behalten!



NEU



im heise shop!

shop.heise.de/ct-ki25

Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 € (innerhalb Deutschlands). Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

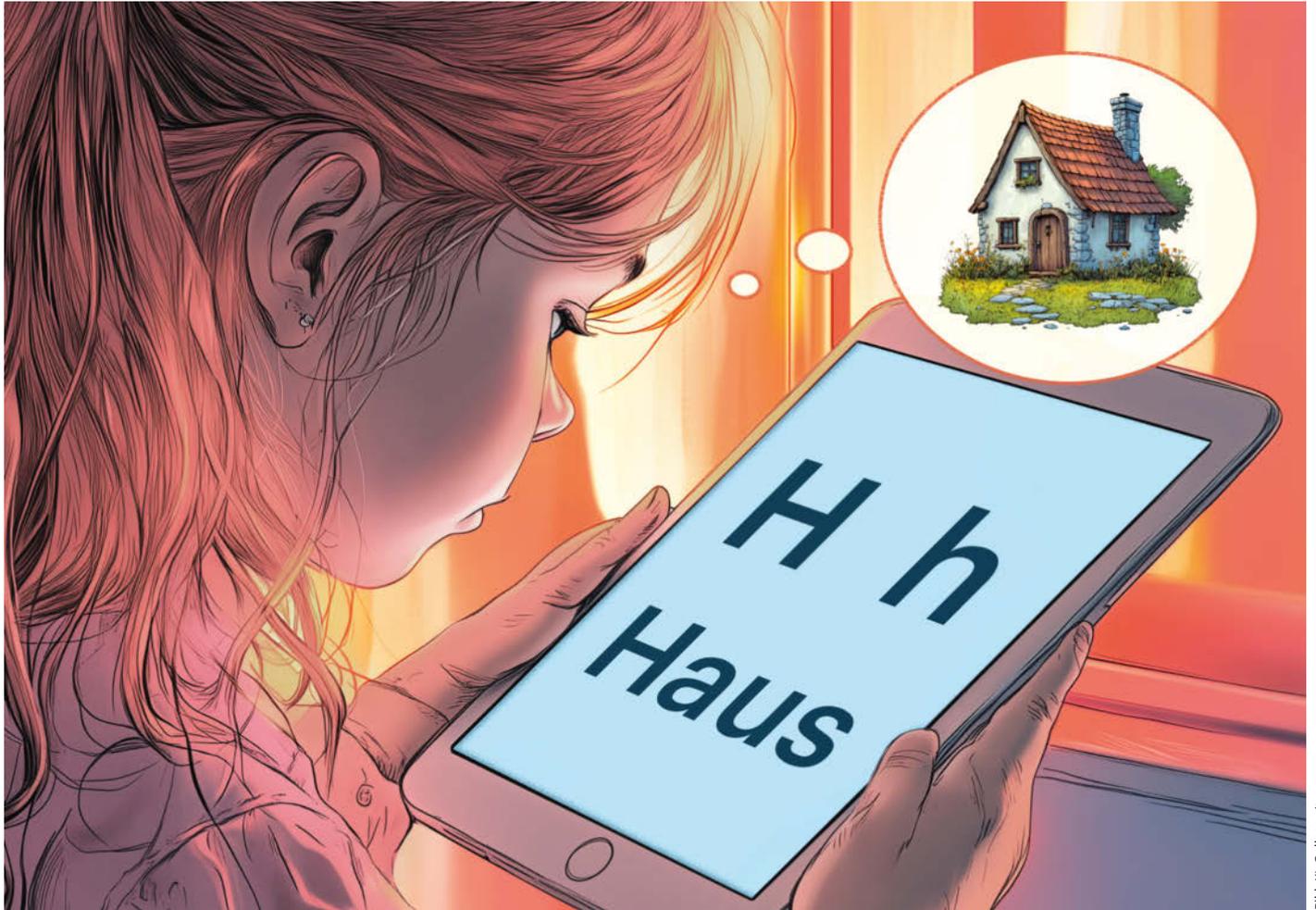


Bild: KI, Collage ct

A wie Apfel

Buchstaben- und Lese-Apps für Schulanfänger im Test

Neugierige Vorschüler warten ungeduldig darauf, sich mit Buchstaben und ersten Wörtern zu beschäftigen. Andere Kinder brauchen etwas Unterstützung, bis sie das Durcheinander aus Lauten, Silben und Wörtern beherrschen. In beiden Fällen kann eine App zum Lesenlernen helfen. Es muss aber die richtige sein.

Von Dorothee Wiegand

Wer selbst schon lange lesen kann, erinnert sich meist nicht mehr daran, wie schwer es anfangs war, Buchstaben, Wörter und Sätze zu entziffern. Tatsächlich ist das Lesenlernen eine der großen Aufgaben für jeden Grundschüler. Lesen bildet die Grundlage für viele weitere Schritte im Laufe der Schulausbildung und darüber hinaus. Wer nicht sicher lesen kann, versteht beispielsweise später im Matheunterricht Textaufgaben nicht richtig und hat schließlich auch in der Berufsausbildung Nachteile. Regelmäßig stattfindende internationale Schulleistungsuntersuchungen bescheinigen Schülern in

Deutschland kollektiv unterdurchschnittliche Leistungen; Schüler aus Österreich liegen nur ganz knapp über dem Durchschnitt der OECD-Länder.

Grundschullehrer betonen, wie wichtig es ist, dass Kinder auch daheim ans Lesen herangeführt werden. Das beginnt in ganz jungen Jahren mit regelmäßigem Vorlesen durch ältere Familienmitglieder. Sobald Kinder in der Schule selbst lesen, sollten sie das auch zu Hause tun, um so das Gelernte zu üben und zu festigen. Lern-Apps können dabei unterstützen. Dazu muss eine App aber unbedingt dieselben Elemente enthalten, die kleine Le-

seanfänger aus der Schule kennen, und sollte die Methoden anwenden, nach denen auch im Unterricht gelernt wird.

Methodenstreit

Über die richtige Methode zum Lesenlernen wird viel geforscht und gestritten. Ein regelrechter Kulturkampf entbrannte vor etwa zehn Jahren um eine Methode namens „Lesen durch Schreiben“ oder auch „Schreiben nach Gehör“. Sie geht zurück auf den Schweizer Lehrer und Psychologen Jürgen Reichen. Schüler erlernen dabei Lesen und Schreiben parallel, und zwar im Wesentlichen durch selbstgesteuerte Schreibaktivitäten. Weil das zumindest übergangsweise unweigerlich zu vielen Rechtschreibfehlern führt, geriet die Methode in Verruf. In einigen Bundesländern und Schweizer Kantonen ist sie inzwischen sogar verboten.

Die meisten Schüler lernen zurzeit mit einer sogenannten Fibel, einem bebilderten Lesebuch, dessen Inhalte in didaktisch sinnvoller Weise aufeinander aufbauen. Zu vielen Fibeln gibt es inhaltlich abgestimmte Arbeitshefte und mitunter weitere Materialien. Für einige aktuell genutzte Fibeln bieten die Verlage auch passende Apps an.

Dass der Unterricht mit einer Fibel stattfindet, sagt über die angewandten Methoden im Einzelnen noch nicht viel aus. In einigen Fibeln steht beispielsweise die Silbenmethode im Vordergrund. Die Schüler werden durch Klatsch- und Schwingübungen angehalten, sich bei jedem Wort die Zahl der Silben zu vergegenwärtigen. Damit sie die einzelnen Silben beim Lesen gut erkennen, werden diese häufig abwechselnd blau und rot dargestellt. Die Tabelle auf Seite 99 gibt für die Apps im Test an, ob sie die Silbenmethode unterstützen.

Ein oft verwendetes Hilfsmittel ist die sogenannte Anlauttabelle. Dabei steht die Lautorientierung im Vordergrund. Denn der Unterschied zwischen Laut („ssss“) und Buchstabe („Ess“) ist beim Lesenlernen wichtig. Sinnvollerweise lernen Kinder zum Buchstaben den zugehörigen Laut. Manche grafisch durchaus schön gestalteten Apps machen den Fehler, bei der akustischen Ausgabe lediglich die Buchstabennamen, also „Ha“, „Ka“, „Ypsilon“ und „Zett“ zu nennen – statt wie in der Schule ein stimmloses, eher gehauchtes „hö“ und „kö“ sowie ein „jjj“ für das Y und ein „tsss“ für das Z. In der Tabelle

steht, ob ein Testkandidat eine Anlaut-

tabelle mitbringt und ob sie Laute oder Buchstabennamen wahlweise vorliest. Bei der Arbeit mit einer Lauttabelle geht es anfangs um einzelne Laute, im weiteren Lernprozess ziehen die Kinder die erlernten Laute zu Silben und schließlich zu Wörtern zusammen. Tabellen dieser Art vermitteln die Laute durch Bilder. Neben dem Buchstaben I findet sich ein Igel, neben dem H ein Haus, neben dem Z ein Zebra und so weiter. Allerdings gibt es auch bei diesen Tabellen große Unterschiede: Manche ordnen stimmhafte und stimmlose Konsonanten in zwei Blöcken getrennt voneinander an, andere zeigen auch Endlaute wie das -ch in Milch oder das -ng in Ring. Detaillierte Anlauttabellen unterscheiden beim C beispielsweise zwischen einem K-Laut für „Computer“ und einem S-Laut für „Cent“.

Ein tolles, seit Kurzem kostenloses Angebot ist die Zebra Schreibtablette, eine App mit drei Übungen zum Silbenschwängen sowie vier Aufgaben, die genaues Hören trainieren. Die eigentliche Anlauttabelle in dieser App hat eine Sprachsynthesefunktion, die dem Kind beliebige selbstgeschriebene Wörter vorliest und zum Experimentieren einlädt. Ein Video in der App erklärt das Silbenschwängen.

Ein weiterer Zugang zu Lauten und Buchstaben sind die sogenannten Lautgebärden. Kinder bewegen dabei bei-

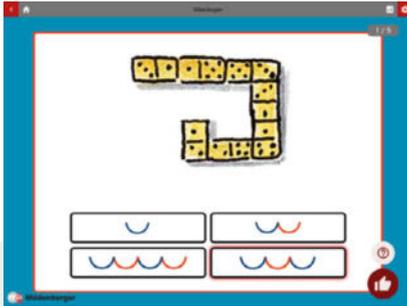
spielsweise für das O ihre Lippen stumm so, als wollten sie ein O sprechen und formen dazu mit Daumen und Zeigefinger einen Kreis, den sie vor die Lippen legen. Allerdings sind diese Gebärden anders als die offizielle Gebärdensprache für Gehörlose nicht standardisiert. Jeder Anbieter von Materialien zum Lesenlernen verwendet seine eigenen Lautgebärden – ein weiterer Punkt, den es bei der Auswahl der richtigen App für Ihr Kind zu beachten gilt. In der Testtabelle ist vermerkt, welche Apps Lautgebärden verwenden.

Ganz gleich, ob Silbenmethode, Anlauttabelle oder Lautgebärden – falls Ihr Kind bereits zur Schule geht, sollten Sie sich erkundigen, nach welchen Ansätzen es unterrichtet wird und welche Hilfsmittel dabei verwendet werden. Gerade wenn ein Kind noch Schwierigkeiten mit dem Lesen hat, sollte es durch eine App zum Üben am Nachmittag nicht zusätzlich verwirrt werden, weil es darin unbekannte Methoden nutzen soll.

Selbst beim sogenannten Buchstaben Spuren, bei dem Schüler vorgezeichnete Buchstabenumrisse mit dem Stift nachmalen, kann schnell etwas schiefgehen: Die Vorschul-App „Spiel ABC, Willi Wiberg“ blendet zum Spuren der gezeigten Buchstaben dünne Richtungspfeile ein, die dem Stift den Weg weisen sollen. Allerdings stimmen die Pfeile der App aus



Die App Zebra Schreibtablette von Klett gibt es gratis. Sie ergänzt andere Zebra-Apps des Anbieters, lässt sich aber auch unabhängig davon gut nutzen.



ABC der Tiere 1 NEU

Die App aus dem Mildenerger Verlag setzt konsequent auf die Silbenthode. Übungsstoff und Erklärtexte erscheinen in der rot-blauen Schreibweise. Das Programm hält sich eng an die gleichnamige Fibel und präsentiert kleine Bilder aller Doppelseiten des Buchs anstelle eines Inhaltsverzeichnisses. Tippt das Kind darauf, erscheint eine Auswahl an Aktivitäten. So kann es sich die Texte der Fibelseiten vorlesen lassen und deren Inhalt anschließend in weiteren Übungen vertiefen.

ABC der Tiere bietet viele Zugänge zum Lernstoff: Nicht nur hören, mitlesen und vergleichen der Übungssilben und -wörter steht auf dem Programm, sondern auch Silbenbögen zeichnen, Rhythmus klatschen, Laute gebärden; das Schreiben gestaltete sich im Test mitunter hakelig. Der umfangreiche Inhalt begleitet Kinder durch das ganze erste Schuljahr. Kinder, die in der Schule mit einer anderen Fibel lernen, werden einiges verwirrend finden und benötigen unbedingt die Hilfe eines Erwachsenen, um diese App zu nutzen.

- ↑ viele Übungsformate
- ↑ ausführliche Anleitungen
- ↓ Eingabe teils hakelig



ABC StarterKit

Vorschüler beginnen in dieser App mit dem Spüren aller Groß- und Kleinbuchstaben. Deren Umriss zeigt die App groß und deutlich. Die Präsentation der Buchstaben samt freundlicher Kinderstimme und Beispielbild ist vorbildlich. Lediglich eine Korrektur fehlt: Auch wenn das Kind den Umriss in der falschen Richtung oder Reihenfolge spürt, ertönt am Ende der „alles richtig“-Jingele.

Eine übersichtliche Anlauttabelle listet alle Buchstaben in der Reihenfolge des Alphabets, die sich mit einer weiteren Übung trainieren lässt. Für angehende Leseprofis gibt es Wörterübungen in drei Schwierigkeitsstufen. Dabei gilt es, vorgegebene Buchstaben in der richtigen Reihenfolge anzuordnen.

ABC StarterKit überzeugt mit zurückhaltender, klarer Gestaltung und etlichen sinnvollen Einstellmöglichkeiten: Eltern können zwischen Laut und Buchstabenname, Darstellung mit oder ohne Kleinbuchstaben und beim Spüren zwischen ein- oder ausgeblendeten Richtungspfeilen wählen.

- ↑ ablenkungsfreies Üben
- ↑ klare Aussprache
- ↑ flexible Einstelloptionen



Antolin 1/2

Als „Lesespiele“ bezeichnet Westermann die Übungen dieser App und tatsächlich geht es darin sehr verspielt zu. Die ersten beiden Aufgaben, Punktejagd und Bildersuche, trainieren Konzentration und Aufmerksamkeit. Dann erst kommen Buchstaben und Wörter ins Spiel, die es in kreuzwortartigen Gittern oder auf einer langen Schlange zu entdecken gilt. Die Orientierung in der App gelingt dank des klaren Bedienkonzepts leicht.

Eine Bestenliste fordert dazu heraus, Aufgaben erneut zu bearbeiten. Neue Rekorde feiert die App überschwänglich. Bevor es losgeht, fragt ein Dialog zum Glück „Mit oder ohne Stoppuhr?“. Zum konzentrierten Lernen empfiehlt es sich sehr, die Uhr abzustellen – allerdings muss das Kind die Übungen dann über ein Stoppsymbol und einen Auswahldialog eigenhändig beenden. Um Stress zu vermeiden, sollte ein Erwachsener das Üben begleiten und rechtzeitig beenden, zumal selbst ohne Stoppuhr durch Hintergrundgeräusche und „Super!“-Rufe ab und an Hektik aufkommt.

- ↑ klares Bedienkonzept
- ↑ originelle Spielideen
- ↓ teils etwas hektisch

Dänemark nicht mit dem überein, was in deutschen Schulen vermittelt wird. Beispielsweise beim großen A sollten Kinder hierzulande unten links anfangen, während die App vorsieht, oben an der Spitze zu beginnen.

Breites Angebot

Wir haben uns für diesen Test eine große Zahl von Lese-Apps angesehen. Die im Folgenden vorgestellten Programme rich-

ten sich an Schüler ohne spezielle Lernbedürfnisse. Für den Bereich Deutsch als Fremdsprache (DaF)/Deutsch als Zweitsprache (DaZ) sowie für Kinder mit einer diagnostizierten Lese-Rechtschreibschwäche gibt es weitere, spezialisierte Apps.

Etliche Apps schafften es nicht in die engere Wahl, weil sie wie die Willi-Wiberg-App bestimmte inhaltliche Schwächen zeigten. Die schließlich ausgewählten

Testkandidaten bieten soliden Übungsstoff, unterscheiden sich aber in ihren Inhalten und im Umfang deutlich. Vom spielerischen Angebot für neugierige Kindergartenkinder bis zum ernsthaften Begleiter für das gesamte erste Schuljahr ist alles dabei.

ABC der Tiere ist eine App des Schulbuchanbieters Mildenerger. Unter demselben Namen bietet der Verlag schon seit vielen Jahren Fibeln und zugehörige Ar-

Sind Sie schon

NIS-2 ready?

NIS-2 in der Praxis – EU-Richtlinie umsetzen und Sicherheit steigern

In unserem Classroom erhalten Sie das notwendige Wissen, um NIS-2 effizient in Ihrem Unternehmen zu implementieren.



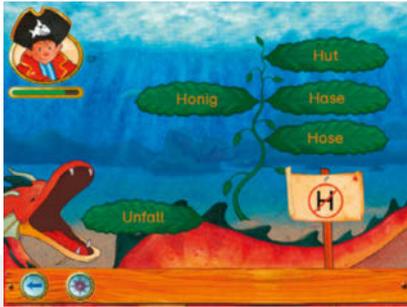
Mit *Andreas Kunz*

**5 Tage
geballtes
Wissen**



> Jetzt Tickets sichern unter heise-academy.de





Capt'n Sharky Buchstaben

Die App entführt Kinder in eine bunte Piratenwelt. Fünf Schiffchen stehen für die Übungsformate: Buchstaben merken, Welches Bild stimmt?, Buchstaben erkennen, Ankreuzen und Fütterungszeit. Für die erste Übung sind Holzklappen vor den Schießscharten des Piratenschiffs mit Großbuchstaben zu beschriften. Die soll das Kind in der richtigen Reihenfolge antippen. So wird aus W, E, E, I und S nach Ansage das Wort „WIESE“. Bei der Fütterungszeit versorgen die Kinder den Drachen Sepio mit Algen und wählen dazu beispielsweise alle Wörter, die nicht mit L anfangen.

Alle Aufgaben haben drei Schwierigkeitsstufen und sind sinnvollerweise auf wenige Durchgänge beschränkt. Durch die üppige Deko gerät der Lernstoff mitunter in den Hintergrund. So erscheinen die Bildkärtchen selbst auf dem Tablet kaum briefmarkengroß. In einer Übung, in der Kärtchen ausgewählt werden sollen, ruft Sharky viel zu schnell „Einzigartig!“, während das Kind noch darüber nachdenkt, ob es weitere Häkchen setzen sollte.

- ↑ Übungsdauer gut gewählt
- ↑ originelle Spielideen
- ↓ lenkt teils vom Üben ab

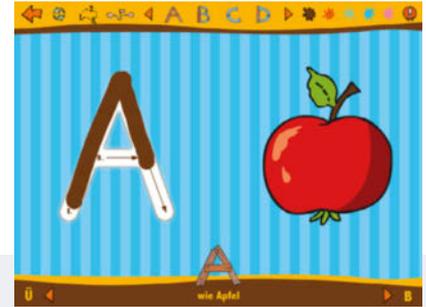


Conni Lesen

Das Mädchen Conni und ihr Kater Mau führen durch die Übungen dieser App. Die App bietet lediglich drei Übungsformate. Los geht es mit der Buchstabensuppe, aus der Kinder zu einem Großbuchstaben den passenden Kleinbuchstaben fischen. Bei „Vorne-Mitte-Hinten?“ geht es um genaues Hören: Das Kind sieht das Bild einer Birne, hört das Wort „Birne“ und soll nun entscheiden, ob der ebenfalls präsentierte Buchstabe N am Anfang, in der Mitte oder am Ende des Wortes zu hören ist. Gelingt das, bekommt Kater Mau ein Leckerchen. Der Lese-Automat zeigt Wörter in Großbuchstaben, zu denen aus zwölf Bildkärtchen das passende gesucht wird.

Die App ist leicht bedienbar, alle Bildkärtchen sind kindgerecht gestaltet. Obwohl sich das Kennenlernen von Buchstaben und ersten Wörtern auch mit dieser App sehr spielerisch gestaltet, geht es ruhig und konzentriert zu. Die einzelnen Übungen bestehen allerdings aus reichlich vielen Durchgängen, was die Geduld von Erstklässlern auf die Probe stellt.

- ↑ klares Bedienkonzept
- ↑ ablenkungsfreies Üben
- ↓ nur wenige Übungsformate



Olchi-ABC Buchstabensuppe

Viele Kinder kennen die frechen Olchis aus Schmuddelfing aus Büchern von Erhard Dietl. Die grünen Kerlchen lieben Müll und Dreck. Passend dazu begrüßt die App Leseanfänger mit „Willkommen bei der grätzig-olchigen Buchstabensuppe!“. Buchstaben stellt die App als Gebilde aus Wasserrohren und Holzbrettern dar. Das sieht cool aus, macht es aber mitunter schwer, die Buchstabenformen zu erfassen.

Kinder spüren Groß- und Kleinbuchstaben, wahlweise mit Richtungspfeilen oder ohne. Als Extra gibt es die Möglichkeit, auf Linien frei zu schreiben; das Ergebnis lässt sich mit einer Foto-Funktion festhalten. Eine weitere Übung trainiert das Alphabet. In drei Varianten eines Memo-Spiels geht es um Klein- und Großbuchstaben sowie um Anfangsbuchstaben. Die Bildmotive der Übungen sind leider recht klein und teils zu detailliert gezeichnet. Zur Motivation erspielen die Kinder beim Üben Gräten, die sie in einem Belohnungsspiel möglichst weit werfen müssen.

- ↑ klares Bedienkonzept
- ↑ kurzweilig gestaltet
- ↓ Bilder teils überfrachtet

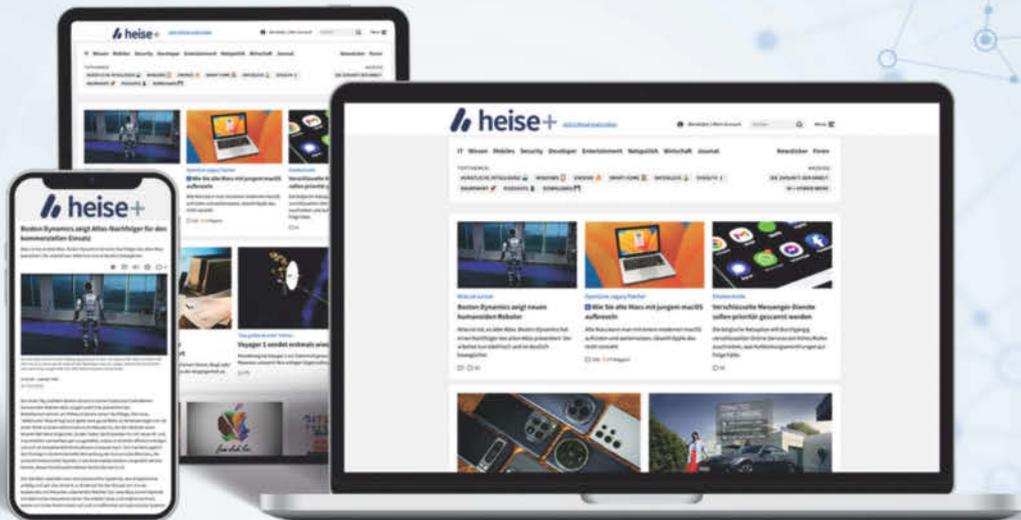
beitshefte an. Die Fibel wurde vor einiger Zeit in einer überarbeiteten Version neu herausgebracht – zu der neueren Ausgabe passt die hier getestete App mit dem Namenszusatz NEU. Auch für Band zwei der Reihe gibt es eine zum Lehrbuch passende App. Kinder, die in der Schule mit der Fibel von Mildner lernen, haben über QR-Codes im Buch kostenlos Zugang zu Online-Übungen. Die Übungen in der vorgestellten App umfassen dieses Online-Angebot, ergänzt um weitere Aufgaben.

Zudem bietet nur die App eine Dokumentation des Lernstands.

Das **ABC StarterKit** heißt vollständig „ABC StarterKit Deutsch“, vom selben Entwickler gibt es vergleichbare Apps für Englisch und Schwedisch. Die App **Antolin 1/2** ist Teil des App-Angebots von Westermann; eine zweite Antolin-App mit dem Zusatz „3/4“ baut darauf auf.

Von Oetinger gibt es zwei Lernpakete für Grundschüler, eines mit Capt'n Sharky und eines mit Prinzessin Lillifee. Die Fi-

guren sind vielen Kindern aus den gleichnamigen Büchern aus dem Copenrath Verlag bekannt. Beide Pakete bestehen aus je vier Apps mit Logikspielen, Zahlen, Buchstaben sowie erstem Englisch; die Apps lassen sich auch einzeln kaufen. Im Folgenden beschreiben wir aus Platzgründen nur **Capt'n Sharky Buchstaben**. Alle technischen Angaben, Preise und vor allem die Lerninhalte sind bei beiden Buchstaben-Apps identisch. Falls Ihr Kind ein Fan der rosaroten Glitzerwelt von Lil-



c't **Mac&i** **iX** **Make:** **c't** **Fotografie**

c't-Abonnenten
lesen bis zu
75%
günstiger

heise+

Das digitale Abo für IT und Technik.

Exklusives Angebot für c't-Abonnenten:
Sonderrabatt für Magazinabonnenten

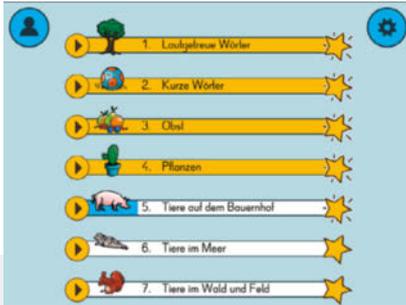
- ✓ Zugriff auf alle kostenpflichtigen Artikel auf heise.de und in der App
- ✓ Wöchentlicher Newsletter mit allen Highlights und Empfehlungen
- ✓ Alles inklusive: Alle Ausgaben der Magazine c't, iX, Mac & i, Make und c't Fotografie digital verfügbar
- ✓ 1. Monat gratis lesen – danach jederzeit kündbar

Sie möchten dieses Exklusiv-Angebot nutzen? Jetzt bestellen unter:

heise.de/plus-testen

✉ leserservice@heise.de ☎ 0511/80009 120

Ein Angebot von: Heise Medien GmbH & Co. KG • Karl-Wiechert-Allee 10 • 30625 Hannover



Lesen Lernen 1

Diese App trainiert gezielt eine Art Grundwortschatz. Sie präsentiert die Übungswörter in geschriebener Form, während eine Kinderstimme sie gleichzeitig deutlich vorliest. Es handelt es sich ausschließlich um Substantive, zu denen die Kinder eines von neun Bildern und stets auch den passenden Artikel auswählen sollen. 28 lautgetreue Wörter wie Hut, Sofa oder Schal machen den Anfang. Später geht es um Themengruppen wie Obst, Pflanzen oder Haustiere. Zum Teil gilt es, genau hinzuschauen, um beispielsweise Eiche und Buche nicht zu verwechseln.

Im Einstellungsmenü legen Eltern fest, ob Wörter ausschließlich in Großbuchstaben präsentiert werden oder aus Groß- und Kleinbuchstaben bestehen. Ein Haken bei der Option „Silbentrennung“ führt dazu, dass die Silben der gesuchten Wörter farblich hervorgehoben erscheinen, allerdings stellt die App sie dann in Schwarz und Blau dar, nicht wie üblich in Rot und Blau. Bei der Option „Geräusche“ geht es nicht etwa um Hintergrundgeräusche, sondern darum, die Vorlesefunktion an- oder abzuschalten.

- ↑ klares Bedienkonzept
- ↑ ablenkungsfreies Üben
- ↓ inhaltlich eingeschränkt



Zebra Lesen 1

Um Laute, Silben und Sätze geht es in dieser App, wobei das Silbenschwingen intensiv geübt wird. Eine deutliche Sprecherstimme erklärt für alle Aufgaben zunächst, was zu tun ist. Das lustige Zebra hilft ab und an mit: Mal angelt es die richtige Silbe zum vorgegebenen Wortanfang, mal grübelt es über einer Auswahl Kärtchen.

In vier Übersichten präsentiert das Zebra die insgesamt 12 Übungsformate, viele davon in drei Schwierigkeitsstufen. Das Kind erreicht sie über Symbole, die wie an einem langen Faden aufgereiht sind; dazwischen gibt es kleine Erklärvideos. Zum Schluss geht es darum, kurze Sätze zu lesen oder aus vorgegebenen Wörtern zusammenzubauen.

Vokale und begleitende Konsonanten sind hier „Der König und sein Gefolgsmann“. Die verwendeten Lautgebärden entsprechen denen der Klett-Lehrwerke. In den Übungsübersichten sieht das Kind anhand von Sternchen, wie weit es mit den einzelnen Aufgaben schon gekommen ist. Eltern finden dazu in einer umfangreichen Lernstandsdocumentation sehr detaillierte Angaben.

- ↑ viele Übungsformate
- ↑ ablenkungsfreies Üben
- ↑ detaillierte Leistungsübersicht

lilfee ist, spricht nichts dagegen, anstelle der Piraten-App die Feen-App zu nutzen.

In der App **Conni Lesen** führt eine Mädchenfigur durchs Lernprogramm, die viele Kinder aus Büchern des Carlsen Verlags kennen. Der Verlag bietet eine Reihe von Conni-Apps mit Lernspielen an. Die getestete Lese-App baut auf eine Buchstaben-App (Conni ABC) auf, die sich an Vorschüler richtet. Auch die grünen Monster-

chen namens Olchis sind aus Kinderbüchern bekannt; die Reihe ist im Oetinger Verlag erschienen. In der App **Olchi-ABC Buchstabensuppe** erklären sie Leseanfänger Laute und Buchstaben.

Lesen Lernen 1 ist ebenfalls Teil einer Serie. In ähnlicher Ausführung gibt es vom sternchenverlag zwei weitere Lese-Apps und zwei zum Schreibenlernen. Der Ernst Klett Verlag hat unter dem Namen Zebra

für den Deutschunterricht der ersten vier Schuljahre eine umfangreiche Produktfamilie herausgebracht. Neben Lehrbüchern und Übungsheften gibt es auch Zebra-Apps, darunter die oben erwähnte Schreibtabelle. Das kostenlose Angebot ergänzt die getestete App **Zebra Lesen 1** ideal, die selbst keine Anlauttabelle mitbringt. Auch in der Zebra-Reihe spielt das Silbenschwingen eine große Rolle. Eine weitere Besonderheit: Vokale werden als „Könige“ bezeichnet, Konsonanten als deren Gefolgsleute. Die App verwendet dieselbe Terminologie – perfekt für Kinder, die in der Schule mit dem Zebra-Buch lernen. Leseanfänger, die nach einer anderen Methode unterrichtet werden, müssen dagegen umdenken.

Viele Apps zum Lesenlernen gibt es nur für iOS. Das gilt auch für die meisten Testkandidaten. ABC der Tiere, Antolin 1/2 und die Apps aus dem Oetinger Verlag mit Capt'n Sharky und Prinzessin Lillifee finden sich erfreulicherweise auch als Android-Version im Playstore.

Fazit

Lesenlernen ist ein individueller Vorgang. Manche Kinder erfassen den Zusammenhang zwischen Lauten, Buchstaben und Wörtern blitzschnell, anderen erschließt er sich erst nach längerem Üben. In beiden Fällen können Apps wie die hier vorgestellten helfen. Kleinen Blitzmerkern bieten sie Anregung und zusätzlichen Lernstoff für daheim. Kinder, die noch nicht so sicher lesen wie ihre Mitschüler, unterstützen die Apps dabei, das in der Schule Gelernte im eigenen Tempo zu festigen.

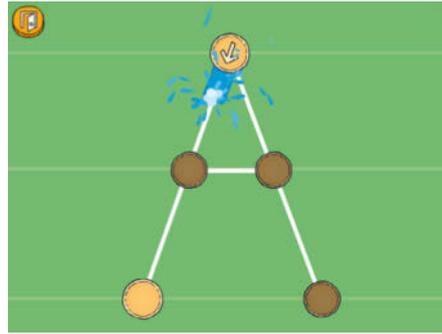
Spielerische Apps wie ABC StarterKit, Antolin, Capt'n Sharky Buchstaben sowie die vom Lernstoff her gleiche App mit Prinzessin Lillifee vom selben Hersteller richten sich an Vorschüler. Auch Conni Lesen und Olchi-ABC Buchstabensuppe eignen sich gut für ungeduldige Kindergartenkinder, die es kaum erwarten können, sich mit Buchstaben zu beschäftigen. Falls Ihr Kind Fan von Conni, Sharky oder Lillifee ist, wird es die zugehörige App besonders motivierend finden. Da alle vorgestellten Apps solide, kindgerechte Übungen bieten, spricht nichts dagegen, eine Lern-App für Vorschüler nach solchen Kriterien auszusuchen. Wichtig: Sie sollten sich als Elternteil stets die Zeit nehmen, die App mit Ihrem Kind gemeinsam anzuschauen und eventuelle Fragen zu beantworten.

Unbedingt sollte die App zum Temperament eines Leseanfängers passen. Die

zurückhaltende Gestaltung von ABC StarterKit sorgt für ruhiges, konzentriertes Üben. Bei Antolin, Capt'n Sharky und den Olchis geht es lebhaft zu – manche Kinder lenkt das zu sehr ab, andere haben daran ihren Spaß und üben umso lieber. Antolin, Capt'n Sharky und auch die baugleiche Lillifée-App präsentieren nicht nur Buchstaben, sondern auch ganze Wörter. Diese Apps sind also auch für fortgeschrittene Erstleser noch interessant.

Lesen Lernen 1 nimmt eine Sonderstellung unter den Testkandidaten ein: Diese App übt ausschließlich Substantive, die zum Grundwortschatz von Grundschulern gehören. Zum Schließen von Wissenslücken taugt das wenig, als zusätzliche Beschäftigung für unterforderte Erstklässler dagegen schon. Auch für Kinder, deren Muttersprache nicht Deutsch ist, ist die App gut geeignet.

ABC der Tiere 1 und Zebra Lesen 1 begleiten Kinder das gesamte erste Schul-



Halt, stopp, falsche Richtung! Die App „Spiel ABC, Willi Wiberg“ gibt beim sogenannten Spuren der Buchstaben eine andere als die in deutschen Schulen vermittelte Richtung vor.

jahr lang. Beide Apps bieten umfangreichen Übungsstoff, dessen Aufgaben didaktisch sinnvoll aufeinander aufbauen. Sie ergänzen das jeweilige gleichnamige

Lehrwerk. Falls ein Kind in der Schule mit dem zugehörigen Buch oder Arbeitsheft lernt, sind diese Apps ideal, um daheim in gewohnter Weise zu üben. Andererseits können beide Apps Kinder verwirren, die mit der Terminologie oder beispielsweise den verwendeten Lautgebärden nicht vertraut sind. Zumindest sollte in der Schule nach der Silbenmethode unterrichtet werden, die bei beiden Apps im Vordergrund steht, falls ein Kind mit einer dieser beiden Apps zu Hause übt.

Insgesamt geht es bei der Auswahl einer Lese-App weniger um richtig oder falsch, sondern mehr darum, welches Programm zu Ihrem Kind und seinem Lernstand passt. Fragen Sie im Zweifelsfall in der Schule nach und probieren Sie gemeinsam mit dem Kind mehrere Angebote aus. (dwi@ct.de) **ct**

Alle genannten Apps, Hintergrundinfos: ct.de/y55e

Apps zum Lesenlernen

Name	ABC der Tiere 1 NEU	ABC StarterKit	Antolin 1/2	Capt'n Sharky Buchstaben	Conni Lesen	Olchi-ABC Buchstaben-suppe	Lesen Lernen 1	Zebra Lesen 1
Anbieter	Mildenerger Verlag	Jan Essig	Westermann	Tivola Games/Trophy Games	Carlsen Verlag	Verlag Friedrich Oetinger	sternchenverlag	Ernst Klett Verlag
Website des Anbieters	mildenerger-verlag.de	janessig.com	antolin.westermann.de	tivola.de, trophy-games.com	carlsen.de	oetinger.de/apps	sternchenverlag.de	klett.de
iOS ab / Android ab	13.0/5.1	12.0/–	9.0/5.1	9.0/5.0	10.0/–	10.0/–	9.3/–	9.0/–
Schwerpunkt	Silben, Wörter, erste Sätze	Laute, Buchstaben, erste Wörter	Konzentration, erste Wörter	Laute, Buchstaben, erste Wörter	Laute, Buchstaben, erste Wörter	Laute, Buchstaben	Wortschatz	Silben, Wörter, Sätze
Präsentation der Buchstaben/Wörter								
Anlauttabelle	–	✓	–	–	–	–	–	–
Ä Ö Ü/Au Ei Eu/Ch Pf Sp St Sch	✓/✓/✓	✓/✓/✓	–/–/–	–/–/–	✓/✓/✓	✓/–/–	–/–/–	✓/✓/✓
Groß-/Kleinbuchstaben/wahlweise	✓/✓/–	✓/✓/✓	✓/✓/–	✓/✓/–	✓/✓/✓	✓/✓/–	✓/✓/✓	✓/✓/–
Laut/Buchstabenname/wahlweise	✓/–/–	✓/✓/✓	–/–/–	✓/–/–	✓/–/–	✓/✓/✓	–/–/–	✓/–/–
Silbenmethode/Lautgebärden	✓/✓	–/–	–/–	–/–	✓/–	–/–	✓/–	✓/✓
Übungen								
Anzahl Übungsformate/Level	17/1	5/1 bis 3	8/3	6/3	3/1	3/1 bis 3	1/1	12/1 bis 3
Dauer begrenzt/Fortschrittsanzeige	✓/✓	–/–	✓/✓	✓/✓	✓/–	–/–	✓/✓	✓/✓
trainiert Alphabet-Reihenfolge	–	✓	–	–	–	✓	–	–
Buchstaben erkennen/spuren	–/–	✓/✓	–/–	✓/✓	–/–	✓/✓	–/–	–/–
Laute erkennen: am Anfang/im Wort	✓/✓	✓/–	–/–	✓/–	✓/✓	✓/–	–/–	✓/✓
Wörter/Sätze bilden	✓/✓	✓/–	–/–	✓/–	–/–	–/–	–/–	✓/✓
trainiert der/die/das	✓	–	–	–	–	–	✓	–
Feedback Kind/Lernstandsbericht	✓/✓	–/–	–/–	✓/–	–/–	✓/–	–/–	✓/✓
Bewertung								
Bedienkonzept/Feedback	⊕/⊕/⊕	⊕/⊕/○	⊕/⊕/○	⊕/⊕	⊕/⊕/⊕	⊕/⊕	⊕/⊕/○	⊕/⊕/⊕/⊕
Inhalt/Umfang	⊕/⊕/⊕/⊕	⊕/⊕/⊕	⊕/⊕/⊕	⊕/⊕/⊕	⊕/⊕/○	⊕/⊕/⊕	⊕/○	⊕/⊕/⊕/⊕
Preis iOS/Android	11,99 €	1,99 €/–	3,49 €	2,49 €/1,99 €	2,99 €/–	3,49 €/–	1,99 €/–	4,99 €/–
⊕/⊕ sehr gut ⊕ gut ○ zufriedenstellend ⊖ schlecht ⊖/⊖ sehr schlecht ✓ vorhanden – nicht vorhanden								



Bild: KI, Collage ct

Nachrichtenvielfalt

Messenger-Apps: Spezialisten und Exoten

WhatsApp, Signal & Co. haben stark geprägt, wie Kurznachrichtendienste heute aussehen und funktionieren. Doch der Blick auf andere Messenger lohnt sich, weil sie robuster gegen Ausfälle oder Abschaltungen sind, mehr Autonomie und spezielle Funktionen bieten.

Von Keywan Tonekaboni

Messenger machen einen wesentlichen Teil unserer alltäglichen Kommunikation aus, angefangen von Chats mit Freunden über Orga-Kram in der Kita-Elterngruppe bis zu strategischen Bespre-

chungen in höchsten Regierungskreisen. In c't 9/2025 haben wir eine Auswahl von einfach bedienbaren, sicheren Messengern getestet und erklärt, warum sie für Kabinetts-Chats ungeeignet sind [1]. Eines unserer Kriterien, die schiefe Vielfalt unterschiedlicher Messenger auf eine sinnvolle Auswahl einzugrenzen, war: Die Clients müssen in normalen Chats Ende-zu-Ende-Verschlüsselung (E2EE) beherrschen – und zwar obligatorisch und nicht nur optional.

Erfreulich ist, dass dies auf viele populäre Messenger zutrifft. Vertraulich chatten ist der Normalfall und erfordert kein Spezialwissen über Schlüssel, Zertifikate oder Kryptoverfahren. Mittlerweile haben selbst Anbieter E2EE integriert, die wie Meta oder Rakuten Viber beim Thema Datenschutz und Privatsphäre sonst eine problematische Haltung an den Tag legen.

Trotzdem gibt es immer noch Messenger, denen die Privatsphäre eigentlich wichtig ist, aber die aus unterschiedlichen Gründen dennoch größere Kompromisse bei der Sicherheit eingehen. Oder umgekehrt: Anbieter, die Sicherheit so kompromisslos verfolgen, dass die Bedienung doch zu schwierig ist. Für bestimmte Szenarien und Nischen sind all diese Messenger dennoch interessant. Deshalb werfen wir in diesem Artikel einen Blick auf vier der Kandidaten, die den Kriterien unseres Messenger-Tests im vorigen Heft zum Opfer fielen.

Telegram: Oft überschätzt

Zu den beliebtesten Messengern zählt Telegram, nicht zuletzt aufgrund geschickten Marketings. Doch sicher ist dieser Dienst nur bedingt, trotz des gepflegten Images als App für Widerstand und Freiheits-

kampf. Ende-zu-Ende-Verschlüsselung ist bei Telegram ein Sonderfall. Für die alltägliche oder gar vertrauliche Kommunikation raten wir von Telegram ab, denn alle gewöhnlichen Chats liegen für den Betreiber zugänglich auf den Cloudspeichern. Dieser Umstand und dass Telegram ein Tummelplatz für problematische Gruppen und Inhalte ist, von Verschwörungsmethoden bis zu gruppenbezogener Menschenfeindlichkeit, wäre eigentlich genug, auf Telegram zu verzichten.

Aber wer Telegram nicht als privaten Messenger betrachtet, sondern eher als offene Kommunikationsplattform, kann es interessant finden. Da Gruppenchats in Telegram keine Ende-zu-Ende-Verschlüsselung unterstützen, können sie auch nicht an den damit verbundenen Einschränkungen und auch sehr große Gruppen sind kein Problem. Bei allzu großen Chatgruppen sollte man ungeachtet von genutzter Technik oder Regeln ohnehin davon ausgehen, dass alles praktisch öffentlich ist.

Daneben bietet Telegram Kanäle, in denen nur deren Betreiber Nachrichten schicken können. Mitglieder können mit Emoticons reagieren und manche Kanäle erlauben auch Kommentare als Antwort. Die sind hinter den Posts versteckt und still, lösen also keine Benachrichtigung aus. Wer in einer mittelgroßen Infogruppe auf Signal schon dutzendfach dazu aufgerufen hat, Detaildiskussionen woanders zu führen oder zwischen etlichen „Ich auch“-Nachrichten die relevanten Posts sucht, wird sich für Telegrams Umsetzung

offen zeigen. Noch ein Vorteil gegenüber Signal-Gruppen oder Matrix-Räumen: Normale Nutzer sehen nicht, wer einen Kanal abonniert hat – Kanalbetreiber, Telegram selbst und staatliche Stellen im Zweifel aber schon.

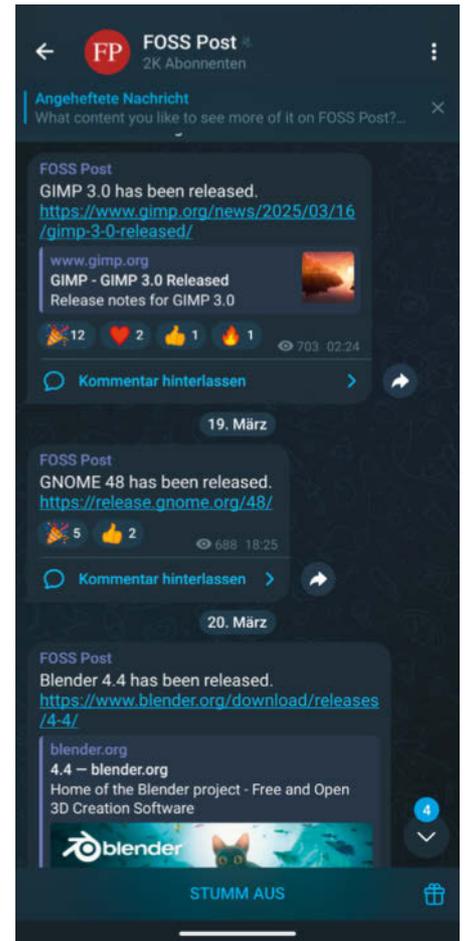
Was auch zur Beliebtheit von Telegram beigetragen hat, ist die Schnittstelle, mit der man recht einfach eigene Bots basteln kann [2]. Diese können Daten abfragen, täglich den Kantinenplan posten, Statusnachrichten des eigenen Homeservers weiterleiten oder sich als Fernbedienung des Staubsaugerroboters verdingen.

Da die Kommunikation mit den Bots ebenfalls keine E2EE nutzt, sollten Sie sich gut überlegen, welche Daten und Dienste Sie mit dem Bot verknüpfen. Wer sich der Unzulänglichkeiten von Telegram bewusst ist und wen das Umfeld nicht abschreckt, findet eine praktische Bot-Laufzeitumgebung sowie einen Newsreader in Gestalt eines Messengers. Alternativ lassen sich Bots auch mit Delta Chat, zu dem wir später noch kommen, umsetzen.

Briar: WLAN-, Bluetooth-, Offline-Messenger

Den Messenger Briar könnte man als Gegenteil von Telegram sehen. Der Messenger implementiert nicht nur einen sicheren Chat mit Ende-zu-Ende-Verschlüsselung, sondern verzichtet gänzlich auf Server, im ärgsten Fall sogar auf das Internet selbst. Damit eignet sich Briar deutlich besser als viele andere Messenger für Dissidenten, Journalisten und Aktivisten in autoritären Staaten.

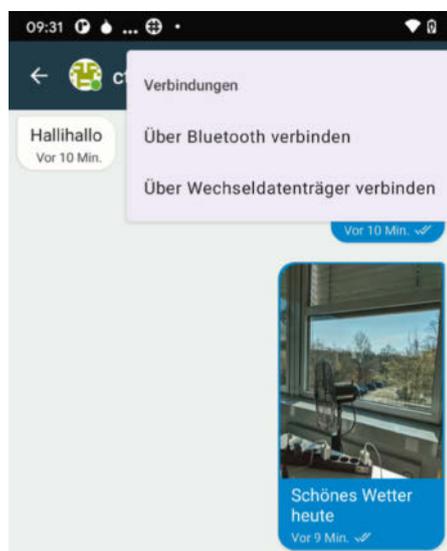
Wenn Briar eine Internetanbindung vorfindet, dann nutzt der Messenger das Tor-Netzwerk, um die Identität der Beteiligten zu schützen. Damit die Chatnachrichten ankommen, müssen Kommunikationspartner gleichzeitig online sein, da es keinen Server gibt, der die Nachrichten zwischenzeitlich aufbewahren kann. Wenn nötig, kann eine spezielle „Mailbox“-App diesen Job übernehmen. Sie muss auf einem separaten und dauerhaft erreichbaren Gerät laufen und sammelt dann jederzeit Nachrichten für einen Nutzer ein. In Gruppen reicht es, wenn Mitglieder in wechselnden Konstellationen Kontakt miteinander haben. Sie tauschen dann auch ihnen bekannte Nachrichten anderer Gruppenmitglieder aus, die selbst gerade nicht verfügbar sind. Kann oder soll das Internet nicht genutzt werden, überträgt Briar alternativ Nachrichten auch über ein lokales WLAN oder via Blue-



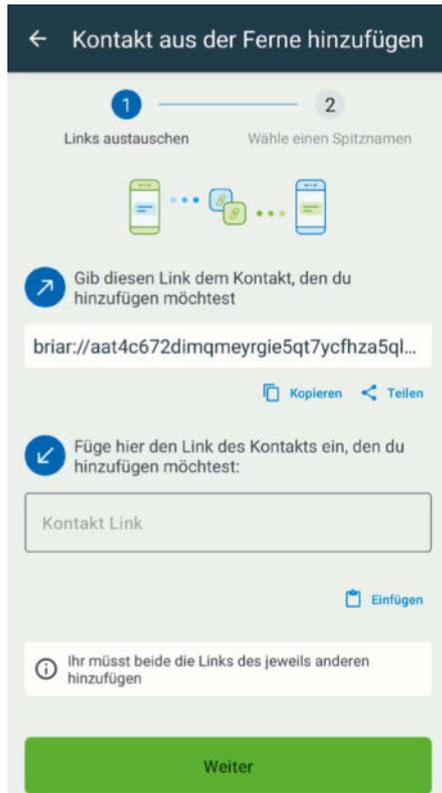
Kanäle in Telegram erlauben Communities sich auszutauschen, ohne den Überblick über wichtige Nachrichten zu verlieren.

tooth. Wenn beispielsweise ein Gruppenmitglied Briar per Tor nutzt und später im lokalen WLAN oder via Bluetooth Kontakt zu einem anderen Gruppenmitglied ohne Internetzugang hat, werden die zwischenzeitlich in der Gruppe ausgetauschten Nachrichten auch an diese Person ausgeliefert. Die Gruppenmitglieder müssen sich dafür aber kennen. Sind all diese Kommunikationswege versperrt, kann man Chats zur Not auch auf (geschmuggelten) Datenträgern transportieren, also gänzlich offline.

Außer Chats zwischen zwei Personen kennt Briar auch „Private Gruppen“, „Foren“ und „Blogs“. Wer Teil von Gruppen ist, bestimmt der Gruppengründer; er oder sie kann die Gruppe auch schließen. Foren sind offener, weil jedes Mitglied neue Personen hinzufügen kann und ein Forum auch weiter bestehen kann, wenn der Initiator es verlässt. Über die Blog-Funktion kann man Blogbeiträge erstellen, die Briar mit allen Kontakten teilt.



Briar erlaubt, Nachrichten auch via Bluetooth oder SD-Karte auszutauschen.



Um bei Briar einen Kontakt aus der Ferne hinzuzufügen, tauscht man Links miteinander aus.

Diese können die Kontakte kommentieren und auch selbst weiter verbreiten.

Trotz all dieser für sehr widrige Bedingungen erdachten Konzepte lässt sich die App einfach bedienen. Kontakte fügt man entweder per QR-Code zu, wenn man im selben WLAN oder in Bluetooth-Reichweite ist. Daher heißt die Funktion „Kontakt aus der Nähe hinzufügen“. Bei „Kontakt aus der Ferne“ tauscht man untereinander Links aus, die die Briar-Clients zu einem temporären Onion-Service im Tor-Netzwerk führen. Ein Kontakt ist ebenso schnell hinzugefügt wie bei anderen Messengern.

Briar zeigt, dass hohe Sicherheit und angemessene Bedienfreundlichkeit kein Widerspruch sein müssen. Die Offline-Funktionen erlauben eine autonome Nutzung, auch wenn manche der Gesprächspartner vom Internet abgeschnitten sind. Derzeit ist Briar nur für Android verfügbar; für macOS, Windows und Linux gibt es eine Beta-Version des Desktopclients.

Delta Chat: Chatmail und Apps im Chat

Delta Chat startete mit der Idee, die E-Mail-Infrastruktur als Kommunikations-träger zu verwenden und so aus dem Stand

eine hohe Reichweite zu erzielen. Was aussieht wie eine typische Chatnachricht, ist technisch eine E-Mail, im Idealfall mittels OpenPGP und Autocrypt auch Ende-zu-Ende-verschlüsselt. Die Kompatibilität mit einem der ältesten Internetdienste birgt aber auch Nachteile, wie potenziell unverschlüsselte Nachrichten und die fehlende Forward Secrecy, welche gewährleistet, dass verschlüsselte Übertragungen auch dann nicht entschlüsselt werden können, wenn spätere Schlüssel kompromittiert werden.

Um diese Unzulänglichkeiten auszuräumen, schneidet das Projekt in jüngster Vergangenheit immer mehr alte Mail-Zöpfe ab. „Chatmail“ heißt die Lösung, womit optimierte und speziell konfigurierte SMTP- und IMAP-Server gemeint sind, die mit geringen Latenzen und wenig gespeicherten Daten trumpfen. Zwischen Konten auf Chatmail-Servern verspricht Delta Chat automatisch durchgängige Ende-zu-Ende-Verschlüsselung.

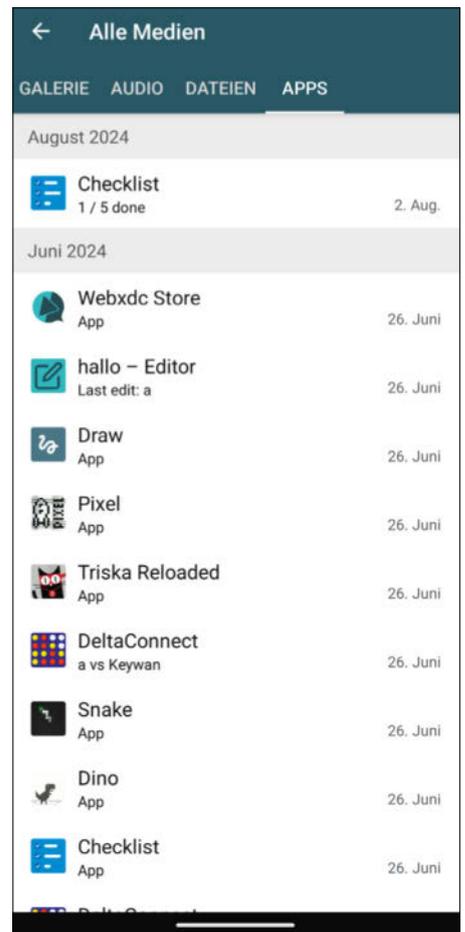
In der Praxis hat man in wenigen Sekunden ein anonymes Konto eingerichtet: Delta Chat starten, auf „Neues Profil erstellen“ tippen, einen beliebigen Namen eingeben und fertig. Die Konto-ID ist zwar eine E-Mail-Adresse, besteht aber lediglich aus einer zufälligen Zeichenkette, gefolgt von der Domain des Chatmail-Servers. Das ist voreingestellt auf nine.testrun.org, aber man kann auch einen anderen Server wählen oder sogar selbst einen betreiben.

Um einen Chat mit jemandem zu starten, scannt man wechselseitig einen QR-Code oder teilt einen Einladungslink. Chatmail-Clients tauschen dann automatisch PGP-Schlüssel untereinander aus. Eine dicke grüne Plakette neben dem Namen in der Titelleiste zeigt an, dass ein Chat Ende-zu-Ende-verschlüsselt ist.

Delta Chat und Chatmail sind zwar nicht ganz so anonym unterwegs wie etwa SimpleX Chat aus dem Vergleich in [1], aber einfacher zu bedienen und in der Handhabung näher an WhatsApp oder Signal. Im Unterschied zu diesen Apps ist das einfache Erstellen eines Benutzerkontos in Delta Chat nicht an Telefonnummern oder normalen E-Mail-Adressen geknüpft. Außerdem kann man sowohl mehrere Konten anlegen und parallel in einer App nutzen, wie auch das gleiche Konto auf mehreren Geräten verwenden, sowohl mobil als auch auf dem Desktop. Neben Delta Chat gibt es einige weitere Clients, um über Chatmail-Server zu kommunizieren.

Was Delta Chat nicht nur technisch besonders macht, sind webxdc-Apps. Das sind Programme, die im Chat laufen („chat shared web-apps“). Es handelt sich um HTML5-Apps, die statt HTTP eine vom Messenger bereitgestellte Schnittstelle zur Kommunikation nutzen. Richtet man beispielsweise in der Familienchatgruppe eine To-do-App ein, können alle Chatmitglieder Einträge hinzufügen, bearbeiten und abhaken. Die Änderungen werden im Hintergrund via Chatnachrichten ausgetauscht, weshalb sich die Ende-zu-Ende-Verschlüsselung des Messengers auch auf die App erstreckt. Um eine webxdc-App zu installieren, lädt man diese als xdc-Datei (eigentlich eine einfache Zip-Datei) herunter und fügt sie dem gewünschten Chat als Anhang hinzu. Schon kann man die App starten und gemeinsam in Echtzeit nutzen.

Die Bandbreite der Apps reicht von einfachen Spielen bis zu kollaborativen Editoren. Fügt man in Delta Chat den Bot xstore@testrun.org als Kontakt hinzu,



Innerhalb einer Delta-Chat-Konversation oder Gruppe kann man kollaborative Apps verwenden.

bietet dieser eine Art App-Store an, der sich direkt im Messenger nutzen lässt. Die Apps laufen so reibungslos, dass man kaum glauben mag, dass im Hintergrund reihenweise PGP-Mails hin- und hergeschickt werden.

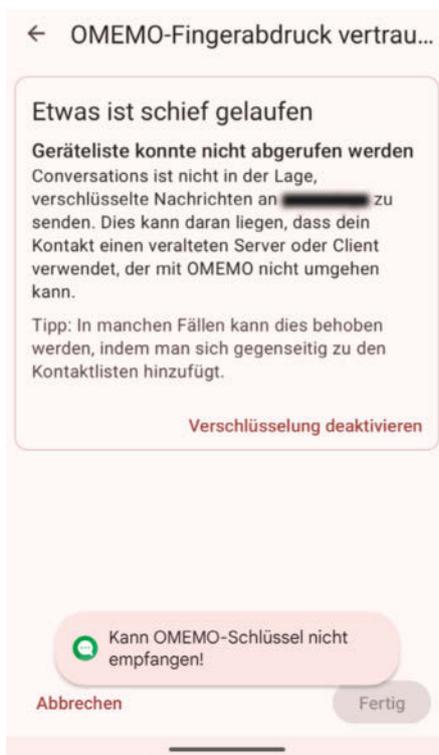
Conversations: Moderner Messenger auf Old-School-Protokoll

Auch die Android-App Conversations nutzt ein altgedientes Protokoll: XMPP. Dieses 2004 von der IETF standardisierte Protokoll definiert das grundlegende Konzept, während praktisch alle Funktionen als (meist optionale) Erweiterungen definiert sind (XMPP Extension Protocols, XEP). Ähnlich wie bei E-Mails, Matrix oder Mastodon, kann man eigene XMPP-Server aufsetzen, die in der Regel miteinander verbunden (föderiert) sind, sodass Nachrichten über Servergrenzen hinweg fließen. Allerdings leidet XMPP unter einem Wildwuchs von Servern, Instanzen und Clients, die jeweils unterschiedliche Teilmengen von XEPs implementieren.

Trotz dieser technologischen Erblast ist Conversations ein relativ moderner, weitgehend einfach zu bedienender Messenger. Die Konto-ID sieht aus wie eine E-Mail-Adresse. Um zu chatten, benötigt man ein Konto bei einem XMPP-Server. Conversations bietet an, ein Konto auf dem hauseigenen Server `conversations.im` anzulegen.

Die App versucht, Nachrichten Ende-zu-Ende-verschlüsselt zu übertragen. Hierfür nutzt sie OMEMO, was ausgeschrieben „OMEMO Multi-End Message and Object Encryption“ heißt und eine Variante von Signals Double-Ratchet-Protokoll für XMPP ist. Doch E2EE gelingt nur, wenn der Client des Gegenübers ebenfalls OMEMO beherrscht und das eingeschaltet ist. Selbst dann hakt es unserer Erfahrung nach gelegentlich beim Schlüsselaustausch, besonders wenn der Gesprächspartner mehrere Clients nutzt.

Wer aus historischen oder persönlichen Gründen XMPP bevorzugt, hat mit Conversations gute Chancen, wohlwollende Bekannte und Verwandte von dessen Nutzung zu überzeugen. Gleiches gilt, wenn einzelne Gesprächspartner sich anderen Messengern verschließen und man einen unkomplizierten XMPP-Client sucht. Auf der Haben-Seite steht, dass man mehrere Konten parallel in der App einrichten kann. Neben Conversations gibt es vom selben Entwickler das fast identische Quicksy, welches Telefonnum-



Conversations versucht E2EE mittels OMEMO zu forcieren, erlaubt aber auch, es zu deaktivieren.

mern als Account-ID nutzt. Einen ähnlich modernen Ansatz pflegen auch die XMPP-Clients Monal für iOS und Dino für den Linux-Desktop. Mit diesen lässt sich das Conversations- oder XMPP-Konto auf mehreren Geräten parallel verwenden.

Fazit

Dass sichere Messenger nicht kompliziert sein müssen, zeigen Briar und Delta Chat. Während Briar für widrigste Bedingungen geschaffen ist, bietet Delta Chat eine interessante Schnittstelle für Apps in Chats, etwa für gemeinsame To-do-Listen. Telegram ist kein sicherer Messenger, mehr ein Schweizermesser, mit lauter praktischer Funktionen, aber auch dem Risiko, sich ins eigene Fleisch zu schneiden. (ktn@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Kathrin Stoll, Keywan Tonekaboni und Sylvester Tremmel, Eine gute Hand, Sechs sichere Messenger im Vergleich, c't 9/2025, S. 16
- [2] Pina Merkert, Robo-Django, Ein Messenger-Bot befüllt das Django-Blog, c't 3/2022, S. 160

Links zu Messengern und Hintergründe: ct.de/yrje

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



www.iX.de/testen



leserservice@heise.de



0511 / 647 22 888



Bild: KI, Collage c't

Städtebau mal anders

Indie-Games bringen frischen Wind ins Aufbau-Genre

Ein Tempel hoch oben auf dem Berg, ein Dorf auf dem Rücken eines riesigen Tieres, Roboter im wilden Steampunk-Westen oder hart an der mittelalterlichen Realität: Eine Reihe von Indie-Games haucht dem virtuellen Städtebau im Spiel mit neuen Ideen Abwechslung ein.

Von Jan Bojaryn

Seit Jahrzehnten bebauen Spielefans auf dem Bildschirm Landschaften mit kleinen Dörfern, riesigen Städten und umfangreichen Straßennetzen. Früher in SimCity, heute eher in Cities: Skylines entsteht eine Metropole nach der anderen. Doch gefühlt wachsen dabei immer wieder Variationen derselben Idee mit viel Fläche und wenig Charakter. Daran ändern auch die vielen Erweiterungen nichts, mit deren Hilfe man etwa in Cities: Skylines Dächer begrünt oder Art-Deco-Wolkenkratzer in die Innenstadt stellt. Unter der Haube vieler Aufbauspiele stecken dieselben Annahmen, wie die Welt funktioniert: welche Bedürfnisse die Men-

schen haben, wie sie sich bewegen und womit eine Stadt ihr Geld verdient. Wer diesem Schema folgt, baut stets dieselben Schulen, Feuerwachen und Bushaltestellen. Das ist zwar nachvollziehbar, doch Menschen haben auch schon andere Antworten auf die Frage gegeben, wie das Zusammenleben in einer Gemeinschaft organisiert sein soll. Eine ganze Reihe spannender Spiele bringt frischen Wind ins Aufbau-Genre und zeigt, wie es anders geht.

Wer keine modernen Planstädte auf der grünen Wiese errichten will, kann Siedlungen mit fiktiven Kulturen bauen, mit ungewöhnlichen Technologien expe-

rimentieren oder sich besonderen lokalen Anforderungen stellen. Vor allem aus der Indie-Nische sind in den letzten Jahren viele Studios mit solchen Ideen hervorgetreten. Eines der frühen Beispiele für anders gedachten Aufbau lieferte der Entwickler Volker Wertich schon vor über 30 Jahren. 1993 traten Die Siedler mit anschaulich aufgebauten Dörfern an. Das Spiel mit den individuell herumwuselnden Siedlern ist selbst eine oft kopierte Blaupause geworden. Ihr Entwickler tritt nun selbst noch einmal an, um seine Idee zu perfektionieren.

In diesem Artikel schauen wir uns moderne Spiele an, die abbiegen, um das Aufbau-Genre zu erweitern. Keiner der Titel ist der neue Anwärter auf einen eingebildeten Genre-Thron. Keiner macht es allen recht. Doch jeder einzelne von ihnen hat eine spannende Idee, wie ein betagtes Spielkonzept noch einmal neu aufgezo-gen werden kann. Es geht um einfachere Mittel, um begrenzten Platz, knappe Ressourcen oder auch um magische Komplikationen.

Pioneers of Pagonia

Über 30 Jahre nach der Veröffentlichung von Die Siedler ist Altmeister Volker Wertich zurück und perfektioniert seine Idee. Während Die Siedler im Markenportfolio von Ubisoft schlummern, ist Volker Wertich mit seinem unabhängigen Studio Envision Entertainment fleißig. Vor über einem Jahr hat das Studio **Pioneers of Pagonia** (kurz Pioneers) im Early Access veröffentlicht und entwickelt es stetig weiter.

Zu Beginn der Fantasy-Geschichte landen die Pioniere auf einer Insel und errichten vom Schiff aus ein Dorf. Dabei lässt sich jeder Arbeitsschritt beobachten: Tatsächlich wuseln die Menschlein über

Wege, Wiesen und Wälder, sie schleppen Steine und Balken, fällen Bäume, errichten Baugerüste und verwandeln so die idyllische Küstenlandschaft in ein betriebsames Miniaturdorf.

Wer je staunend vor einer Modelleisenbahn gestanden oder mit Miniaturen gespielt hat, kann sich dem Reiz der Pioniere nur schwer entziehen. Der technische Fortschritt ist weit genug, dass diese Siedler wirklich aussehen wie ein animierter Kindheitstraum. Statt wie früher in grobkörnigem 2D wuseln sie in cartoonig stilisierter 3D-Grafik über saftig grüne Wiesen und staubige Lehm-pisten, von der Abendsonne in goldenes Licht getaucht.

Doch wer zu lange staunt, bekommt ein Problem: Eindeutig zeigt ein Diagramm, dass die Nadelholzbalken in den nächsten zehn Minuten ausgehen werden. Zum Aufforsten bleibt keine Zeit! Wo würde noch eine Holzfällerhütte hinpassen? Wer will, kann Pioneers ohne Gegner spielen, doch einen gewissen Druck macht das Spiel immer. Irgendwo lässt sich stets etwas optimieren, droht eine Ressource zur Neige zu gehen, muss neues Land besiedelt oder ein fremdes Dorf beliefert werden. Pioneers ist ein Spiel für Menschen mit Freude an Planung und fortlaufender Optimierung. Süß ist die Welt, sachlich sind die Menüs. Viele verschiedene Güter von Wald, Steinbruch und Acker müssen gemanagt und aufeinander abgestimmt werden.

Wie fast alle Titel dieser Auswahl steckt Pioneers noch im Early-Access-Programm von Steam, wird also aktiv weiterentwickelt. Dementsprechend kann sich noch Grundlegendes am Spiel ändern. Seit Veröffentlichung ist durch Updates die Grafik hübscher geworden, magische Einheiten und neue (und optionale) Gegner-

c't kompakt

- Aufbauspiele boomen. Kleine und unabhängige Entwickler hauchen dem Genre neues Leben ein.
- Bei Setting, Spielmechanismen und Präsentation gibt es große Unterschiede.
- Wir stellen ein paar innovative Favoriten aus der großen Menge aktueller Titel vor.

fraktionen sind dazu gekommen. Ein origineller Koop-Modus ist bereits implementiert, doch andere, zentrale Bausteine fehlen noch: etwa eine Story-Kampagne und ein Karteneditor. Doch die Produktionsketten bei Envision Entertainment sind offenbar gut organisiert.

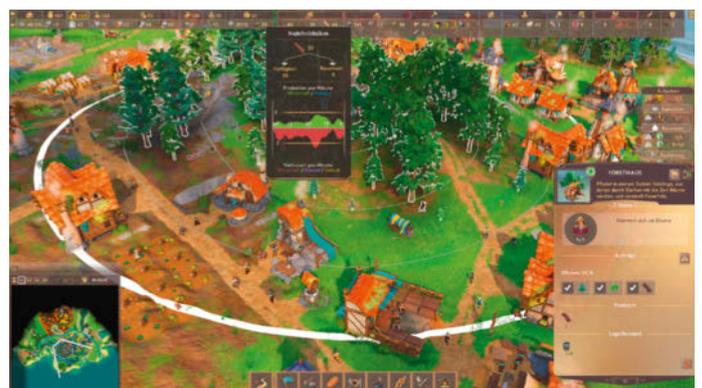
Manor Lords

Kompromisslos wirklichkeitsnah läuft der Aufbau eines mittelalterlichen Weilers in **Manor Lords**. Das Aufbauspiel verfolgt eine Vision, die mindestens die Hälfte aller Genre-Fans schon mal so ähnlich gehabt haben dürfte: alles so genau und realitätsgetreu wie nur möglich aufbauen. Bei jedem einzelnen Bauernhaus entscheiden, was im Garten wächst. Und diese vielen Details hochauflösend rendern.

Das grafisch sehr detaillierte Aufbauspiel sieht fantastisch aus. Beeindruckend klingt auch die Geschichte dahinter. Über sieben Jahre lang hat der Entwickler Grzegorz Styczeń maßgeblich allein an dem Titel gebaut. Seit letztem Jahr liegt eine bereits beachtliche Early-Access-Version vor, die sich aber selbst noch ein wenig wie eine Baustelle anfühlt.



Mit viel Liebe zum Detail hat Envision Entertainment seine Gebäude, Siedlerinnen und Siedler in Pioneers of Pagonia gestaltet.



In Pioneers of Pagonia treffen niedliche Siedler auf harte ökonomische Realitäten.



Ganz nah dran: Wehenden Mantels inspiziert der Fürst in Manor Lords höchstpersönlich sein Reich.



Manor Lords will das Leben im Mittelalter möglichst realitätsgetreu nachbilden.

Der wuchtige PC-Titel beginnt mit einem versprengten Zeltlager am Waldesrand. Schon bevor die erste Hütte steht, braucht es halbwegs aktuelle Hardware, um das mittelalterliche Elend flüssig darzustellen. Die Grafik von Manor Lords sieht so gut aus, dass es nebenbei Werbung für die aktuelle Unreal Engine macht. Nahtlos geht der Zoom von der Landkarte bis ins Gebüsch.

Wer Manor Lords in der jetzigen Form spielen will, sollte Geduld und Freude am Zuschauen haben. Hat man einen Bauauftrag erteilt, dann schleppen Ochsen das Bauholz noch behäbiger heran als in anderen Aufbauspielen. Die anschauliche Darstellung der Arbeitsabläufe macht das Aufbau-gelegentlich zum Wartespiel. Das Wachstum läuft organisch, das Leben im Rhythmus mit den Jahreszeiten. Angesichts kleiner Gemeinden gehört direktes Management der einzelnen Arbeitskräfte zum gelungenen Aufbau. Jeder Entwicklungsschritt will hart verdient werden.

Ein Markenzeichen des Spiels ist der Erkundungsmodus. Ein Klick auf das Auge neben dem Herrscherporträt, schon steht

der Fürst im Matsch und kann wehenden Mantels durch sein Dorf spazieren. Das dient weniger einem großen Ziel als der Freude an der Immersion – aber die braucht es ohnehin, um sich in dieses Projekt zu verlieben. Wer bei Manor Lords auf ein gut ausbalanciertes Aufbauspiel mit langer Progression und interessanten militärischen Konflikten hofft, muss wahrscheinlich noch ein paar Jahre warten.

Laysara Summit Kingdom

Das Aufbauspiel **Laysara Summit Kingdom** bezieht seine Inspiration laut Vorspann „lose von den Kulturen des Himalayas“. Alles dreht sich wortwörtlich um einen Berg. Die Kamera des Spiels rotiert um einen verschneiten Gipfel. Zwischen Schneedecke und Abgrund soll hier eine Siedlung für eine kleine Gemeinschaft entstehen. Das klingt düster, wirkt aber dank übersichtlicher Steuerung, flottem Spieltempo und witziger Texte überraschend unbeschwert.

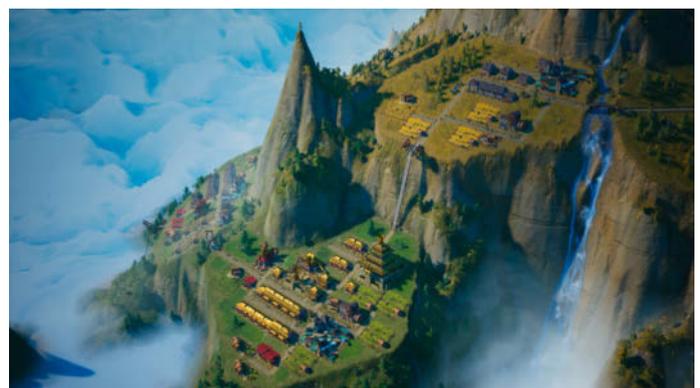
Das ungewöhnliche Setting sieht nicht nur spektakulär aus, es wirkt sich auch stark auf das Spielerlebnis aus. Die grund-

legende Steuerung gehorcht denselben Regeln wie in den anderen Titeln dieser Auswahl: Mit der Maus zieht man Wege und platziert Gebäude. Doch im Hochgebirge ist jedes Stück bebaubares Land wertvoll, jedes Viertel eng. Jeder Berg bietet nur eine Handvoll mehr oder weniger steiler Hänge, die bebaut und bewirtschaftet werden können. Diese Hänge lassen sich mit Brücken oder Fahrstühlen verbinden. Das Ziel liegt ganz oben: Das Spielziel ist, einen Tempel auf dem Gipfel zu errichten. Doch damit das klappt, müssen die wachsenden Bedürfnisse der Bevölkerung befriedigt werden. Damit das Dorf nicht pleitegeht oder unter Lawinen begraben wird, muss es langsam und planvoll aufgebaut werden.

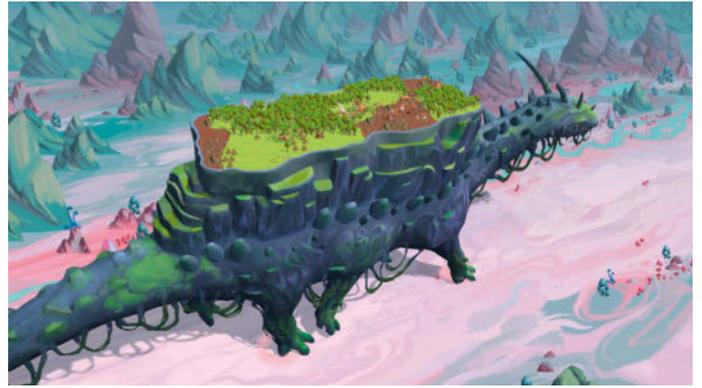
Laysara Summit Kingdom macht Städtebau zu einem Kombinationsrätsel. Von den Yak-Weiden, Tsampa-Feldern und Kupferminen kommen Ressourcen, die verarbeitet und dann an die Bevölkerung verteilt werden müssen. Doch alles ist klein: nicht nur der Platz, auch die Größe der Bevölkerung und vor allem die Reichweite der Güter. Jeder Warenweg



Laysara Summit Kingdom feiert das bunte Leben am malerischen Abgrund.



Brücken und Transportbänder verbinden in Laysara Summit Kingdom die verschiedenen Ebenen zum Transport von Gütern.



Während das Onbu durch eine 3D-Welt marschiert, heben sich die Figuren auf seinem Rücken durch ihre 2D-Optik davon ab.

Stadt oder Haustier? Beides! The Wandering Village überzeugt mit einer überraschenden Kombination.

muss mit der Maus zugewiesen werden. Immer wieder sind Umlanungen nötig. Die Expansion auf einen neuen Hang ist heikel, schnell kann man sich verplanen.

Überhaupt funktioniert Laysara eine Ecke schneller als die meisten Aufbauspiele. Die Spielwelt bleibt überschaubar. Gebäude ploppen nach dem Klick einfach auf und stehen einsatzfertig da. Menschen und Yaks laufen dekorativ herum, müssen aber nicht einzeln zugewiesen werden. Mit ein bisschen Routine und einem Gefühl dafür, wie viel man wann wovon braucht, ist ein Hang innerhalb weniger Minuten vollgebaut. Laysara bietet schon im Early Access eine Szenarioauswahl voller unterschiedlich fordernder Gipfel. Wer sich Aufbauspiele eine Nummer kleiner wünscht, aber trotzdem interessante Herausforderungen sucht, ist hier richtig.

The Wandering Village

Leben wir alle auf dem Rücken eines riesigen Lebewesens? Die Vorstellung ist nicht neu, aber so wörtlich wie hier wird sie selten verstanden. In dieser Öko-Fantasy machen giftige Sporen einen Planeten

fast unbewohnbar. Zuflucht finden Nomaden auf dem Rücken eines riesigen Landlebewesens. Das träge dahin marschierende Onbu ist groß wie ein Berg und sieht aus wie ein überdimensionierter Dinosaurier auf sechs Beinen. Bäume wachsen ihm wie Borsten aus dem Rücken.

Und dort oben an der frischen Luft entsteht das namensgebende Dorf von **The Wandering Village**. Der Aufbau einer Siedlung startet ähnlich wie in anderen Genre-Vertretern: Zelte errichten, Beerensammler und Holzfäller platzieren, Technologien erforschen. Doch dann nimmt das Spiel ungewöhnliche Wege. Ähnlich wie in Laysara Summit Kingdom gibt es eine harte Expansionsgrenze: Der Rücken des Onbu wird nicht größer. Ressourcen müssen maßvoll verbraucht und wieder aufgefüllt werden. Nur langsam vermehrt sich die Bevölkerung auf dem Onbu, und bei jedem Schritt muss die Zahl der verfügbaren Arbeitskräfte mitgedacht werden.

Das Spiel ist aber nicht einfach vorbei, wenn der Rücken voll ist. The Wandering Village hat originelle Ideen, mit denen aus dem Gimmick eine sinnvolle Metapher

wird. Zuerst einmal muss der besondere Lebensraum erforscht werden: Früh öffnet sich der Pfad zur „Onbuologie“. Im Lauf der Partie wird es wichtig, das Tier zu pflegen und eine Beziehung zu ihm aufzubauen. Das Onbu zu füttern, es zu dirigieren oder zu heilen, ermöglichen spezielle Gebäude – und neue Kameraperspektiven. Wer etwas herauszoomt, kann dem Onbu Schlaf- oder Fressbefehle geben und bei der Ausführung zuschauen. Wer noch weiter herauszoomt, sieht das Onbu auf einer Landkarte und kann dann versuchen, seinen Weg zu beeinflussen. Läuft das Onbu samt Dorf in die Wüste oder biegt es eher zum Futtergebiet ab?

Das Ziel des lebendigen Wanderdorfes ist kein exzessives Wachstum, sondern robuste Nachhaltigkeit. Wird die Luft etwa trocken, bleiben Auffangvorrichtungen für Wasser leer, stattdessen können dann Kakteen für Wasser angezapft werden. Die überschaubar große Bevölkerung muss hin und her dirigiert werden. The Wandering Village kombiniert eine 3D-Welt mit einfach gezeichneten 2D-Figuren und Gebäuden und erinnert damit an ein bewegtes



Zeitlos schön ist die Moebius-Ästhetik von Synergy. Die schönen Gebäude schaltet man nach und nach mit Forschung frei.

Synergy ist ein Aufbauspiel, das von der Erforschung und Entdeckerfreude lebt.



Was machen Spielzeugroboter im Wilden Westen? In SteamWorld Build bauen sie erst eine Stadt, dann eine Mine.

Unter der Erde zeigt SteamWorld Build seine Zähne: Hier locken Bodenschätze und fiese Gegner.

Bilderbuch. Ehrfurcht kommt eher durch die spielerische Pflege des Ökosystems auf. Thema und Stil machen das Spiel zu einem Geheimtipp, um das Aufbau-Genre gemeinsam mit Kindern zu entdecken.

Synergy

Einen ganz anderen Grafikstil pflegt das Aufbauspiel **Synergy**, das ebenfalls eine Fantasy-Geschichte über Nachhaltigkeit erzählt. Zum Hingucker wird das Aufbauspiel nicht wegen des postapokalyptischen Dorfbaus, sondern aufgrund seiner brillant illustrierten Welt. Eine offensichtliche Inspiration dürften die legendären Comic-Alben des französischen Künstlers Moebius gewesen sein. Auch diese Welt ist dramatisch, fremd, öde und dann wieder so schön gezeichnet, dass der Blick gern verweilt.

Vielleicht ist es also Absicht, dass sich Synergy etwas langsam bewegt. Der Ressourcenmangel ist ein festes Element der Geschichte und kann ganz schön frustrieren. Es kann durchaus vorkommen, dass eine Ressource zur Neige geht und erst einmal nachwachsen muss. Mit etwas

Glück findet ein Expeditionstrupp Nachschub; doch der ist stets mehrere Tage unterwegs.

Die größte Freude an Synergy machen die zahlreichen Gebäude, die nach und nach durch Forschung freigeschaltet werden. Jeder gewöhnliche Lagerkeller oder Wasserspeicher sieht faszinierend aus. Im Spiel steckt eine gut ausgedachte Welt mit einem ungewöhnlichen Ökosystem, das vor allem die ersten Spielrunden magisch wirken lässt. Die Eigenschaften des „Peitschenkürbisses“ aufzudecken oder die Spuren einer Hochkultur in Expeditionen mit Multiple-Choice-Entscheidungen zu erforschen, bereitet richtige Entdeckergefreude. Doch die lässt sich nicht so einfach wiederholen.

Bei Synergy ist die Wissensreise wichtiger als der Aufbau einer großen Stadt: Die Welt enthüllt sich durch Forschung und durch Expeditionen. Das schmälert den Wiederspielwert, weil dann bereits alle Geheimnisse enthüllt sind. Allerdings ist Synergy ein Early-Access-Titel, der noch weiter aktiv entwickelt wird, sodass sich das noch ändern kann. Alle Wünsche

wird es jedoch kaum erfüllen können. Wer abseits der tollen Ästhetik ein tiefgründiges Aufbauspiel mit hohem Wiederspielwert sucht, der schaut lieber woanders.

SteamWorld Build

Roboter im Wilden Westen, aber gemütlich: Das ist die Prämisse der SteamWorld-Spiele, die immer wieder andere Genres erkunden. Nicht alle sind so brillant wie das Buddel-Metroidvania SteamWorld Dig 2. Doch **SteamWorld Build** ist immerhin ein sehr guter, sehr eigenwilliger Mix, der zwischen zwei Genres große gestalterische Freiheiten bietet.

Auch in SteamWorld Build baut man zunächst einmal eine kleine Siedlung. Die knubbeligen Behausungen der Roboter sehen ein wenig nach Spielzeug aus, sind aber sehr stimmig. Der Fortschritt folgt der Bevölkerungsgröße, die wiederum an einfachen Bedürfnissen hängt. Das läuft ziemlich schnell und reibungslos – außer man entscheidet sich für den hohen Schwierigkeitsgrad, denn dann sind die Ressourcen knapper. Wild-West-Flair und eine interessante Herausforderung bringt

Übersicht Aufbauspiele

Name	Pioneers of Pagonia	Manor Lords	Laysara Summit Kingdom	The Wandering Village	Synergy	Steam World Build
Game-Studio, URL	Envision Entertainment, https://pioneersofpagonia.com	Slavic Magic, https://manorlords.com	Quite OK Games, https://quiteokgames.com/	Stray Fawn Studios, https://thewanderingvillage.com	Leikir Studio, https://goblinzstudio.com/game/synergy/	The Station, https://steamworldgames.com/steamworld-build
Plattform	Windows	Windows	Windows	Linux, macOS, Windows, Steam Deck	macOS, Windows	Windows
Hardwareanforderungen	mäßig (auch ältere PCs mit Grafikkarte)	hoch (halbwegs aktuelle Grafikkarte und Quad-Core-CPU)	hoch (halbwegs aktuelle Grafikkarte und Quad-Core-CPU)	mäßig (auch ältere PCs mit Grafikkarte)	mäßig (auch ältere PCs mit Grafikkarte)	mäßig (auch ältere PCs mit Grafikkarte)
Stand der Entwicklung	Early Access seit 12/2023	Early Access seit 04/2024	Early Access seit 04/2024	Early Access seit 09/2022	Early Access seit 05/2024	fertig seit 12/2023
Was wird gebaut?	Pionierdorf auf fremder Insel	Mittelalterliche Siedlung	Dorf und Tempel im Hochgebirge	Dorf auf dem Rücken eines riesigen Tieres	Postapokalyptisches Fantasy-Dorf	Westernstadt mit angeschlossener Mine
Hauptbeschäftigung sieht aus wie	Produktionsketten optimieren	Zuschauen	Ressourcen verteilen	Umplanen	Träumen	Buddeln
Preis	35 €	40 €/enthalten im Xbox Game Pass	20 €	25 €	25 €	25 €

der Zug in die Stadt, der alle paar Minuten eintrifft und ein Handelsfenster öffnet. Eine Stadt ist schnell gebaut. Passenderweise hat das Spiel mehrere verfügbare Regionen und säckeweise platzierbare Deko-Objekte im Angebot. Es geht eher darum, entspannt eine schöne Robo-Stadt zu gestalten, als sich über die Härten des Lebens Gedanken zu machen.

So weit der fluffige Unterhaltungsstoff, doch unter der Erde zeigt das Spiel seine Zähne. Die andere Hälfte von Steam World Build erinnert eher an Echtzeitstrategiespiele wie Dungeon Keeper. Nach wenigen Upgradeschritten wird im Spiel der Zugang zu einer Mine freigeschaltet. Sie beherbergt wertvolle Bodenschätze, aber auch echte Gefahren. Die Mine kann einstürzen und schreckliche Ungeheuer wie der Regenwurm fressen die Robo-Minenarbeiter. Die Abwehr solcher Gefahren geht in SteamWorld Build aber recht geradlinig von der Hand. Ganz offensichtlich soll der Titel ein eher leichtes Aufbauspiel sein – für Menschen, die auch

in Anno oder SimCity vor allem etwas Schönes bauen wollen.

Bau was Eigenes

Eine unerschöpfliche Ressource ist die Begeisterung, mit der immer neue Entwicklerstudios seit Jahren das Feld der Aufbauspiele beackern. Entsprechend stecken in dieser Auswahl persönliche Favoriten, aber nicht zwingend die besten Titel. Das Genre ist kaum noch zu überschauen.

Wer Lust aufs Bauen hat und mit dem Angebot überfordert ist, fängt bei der Wahl des Spiels am besten mit der Frage an: Was macht mir beim Bauen Freude? Ein besonderes ästhetisches Erlebnis wie in Synergy? Großer Wuselfaktor wie in Pioneers of Pagonia? Eine realistische Simulation wie in Manor Lords? Die meisten Titel setzen klare Akzente und teilen die auch recht deutlich mit. Ein paar Spielstunden sind alle der hier vorgestellten Titel allemal wert. (lmd@ct.de) **ct**

Spielvideos: [ct.de/y2zg](https://www.ct.de/y2zg)

Indie-Games bei c't zockt

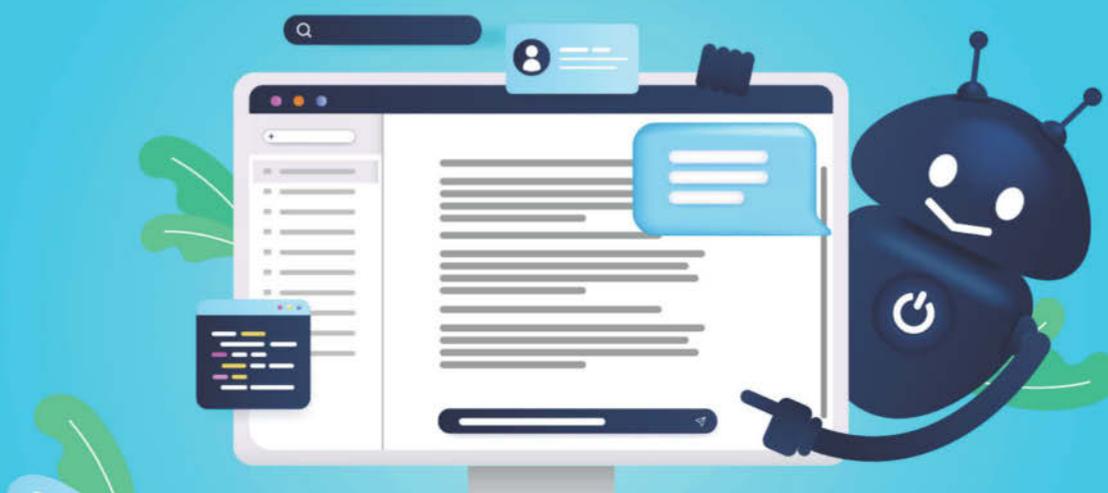


In unserem Indie-Gaming-Kanal auf YouTube stellen wir regelmäßig neue Indie- und Early-Access-Games vor, darunter auch Städtebausimulationen. Einige der in diesem Artikel präsentierten Titel haben wir bereits angespielt, etwa die Aufbaustrategiespiele **Pioneers of Pagonia** des deutschen Studios Envision Entertainment und **The Wandering Village** von Stray Fawn Studios aus der Schweiz. Aber auch minimalistische Städtebausimulationen wie **Tiny Town**, **The Block**, **Summerhouse** und **Townscaper** oder das Puzzle-Aufbauspiel **Dorfromantik** stellen wir im Kanal vor. Alle Citybuilder-Games haben wir in einer eigenen Playlist gesammelt.

Im Praxiseinsatz

KI-Schreibwerkzeuge

ct
WEBINAR



Jetzt informieren:
webinare.heise.de/ki-schreibwerkzeuge

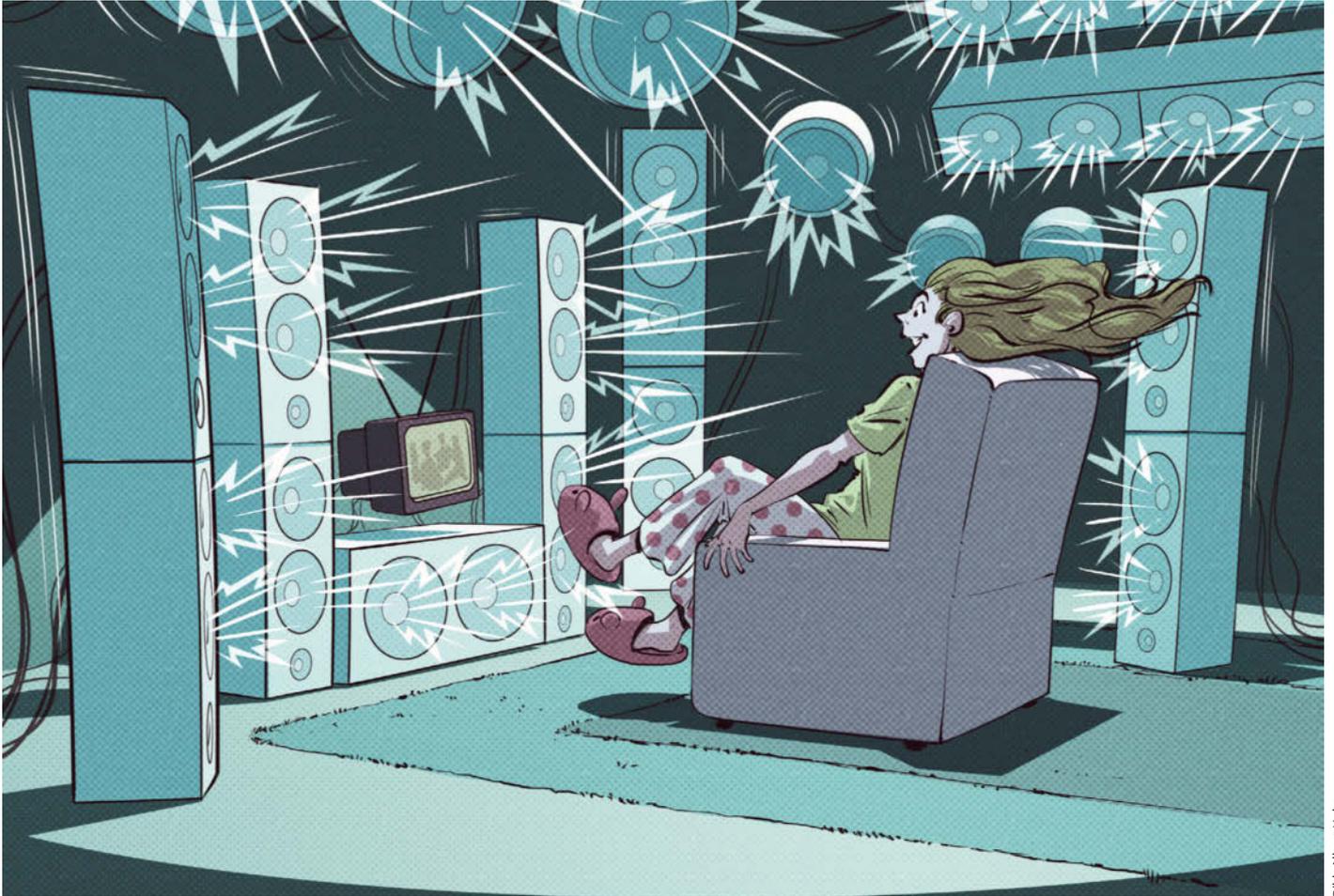


Bild: Albert Hulm

Besser als Soundbars

So verwandeln Sie quäkigen Fernsehton in vollen Heimkinosound

Flachbildfernseher klingen furchtbar, günstige Soundbars helfen da nur bedingt. Wir zeigen Alternativen und erklären, wie Sie den Klang für jedes Budget sinnvoll verbessern und Ihre Anlage Schritt für Schritt heimkino- und konzerttauglich machen, ohne Ihre Nachbarn zu ärgern.

Von Hartmut Gieselmann

Flachbildfernseher sind – nomen est nomen – flach, und haben einfach keinen Platz für voluminöse Lautsprecher, die für einen vollen Klang nötig sind. Wer Kabelsalat und Fernbedienungschao vermeiden will, greift schon mal zur Soundbar seines Fernsehherstellers. Deren Klang genügt zwar oft für die Spielshow am Abend, für Filme oder zur Musikwiedergabe ist er aber meistens zu schlecht.

Wer besseren Klang haben will, muss sich durch einen unübersichtlichen Dschungel von Tonformaten und Lautsprecher-Setups kämpfen, die selbst Experten herausfordern. Doch keine Angst, der Aufwand lohnt sich.

In diesem Artikel geben wir Tipps, wie Sie Ihr Budget richtig anlegen und für Ihre Wohnsituation und klanglichen Ansprüche den besten Kompromiss finden. Das reicht vom kleinen Stereo-Setup für unter 200 Euro bis zur Rundum-sorglos-Installation für knapp 10.000 Euro mit mehreren Subwoofern und Deckenlautsprechern, zu der Sie Ihre Anlage ausbauen können. Wie Sie Ihr Setup optimal einstellen, erklärt Artikel ab Seite 118.

Kostenkalkulation

Am günstigsten sind Stereo-Setups mit zwei Lautsprechern, die schon für 100 bis 200 Euro den Fernsehton verbessern können.

Wenn Sie mehr als zwei Lautsprecher nutzen wollen, benötigen Sie in der Regel einen AV-Verstärker, der Audiosignale vom Fernseher, von Streamingboxen und Spielkonsolen über eine HDMI-Verbindung entgegennimmt. Alternativ geht dies bis zu einem gewissen Grad auch über ein optisches Kabel (Toslink genannt). Zusätzlich können Sie am AV-Verstärker analoge Komponenten anschließen. Bessere Modelle haben einen Phono-Verstärker für Plattenspieler eingebaut – falls nicht, gibts solche separat zu kaufen.

Die Kosten für ein solches Setup richten sich nach der Anzahl der anschließbaren Lautsprecher. Diese Kanalzuweisungen werden über eine zwei- oder dreistellige Zahl wie 2.0, 5.1 oder 7.2.4 ausgedrückt. Die erste Ziffer steht für die Lautsprecher auf Ohrhöhe. Die zweite für die angeschlossenen Subwoofer, die tiefe Frequenzen abdecken. Die dritte Ziffer steht für die Deckenlautsprecher.

Pro Lautsprecherkanal sollten Sie für Verstärker und Lautsprecher Pi mal Daumen mit etwa 250 bis 400 Euro rechnen. Für einen aktiven Subwoofer sollten Sie mindestens 300 Euro sowie in einen AV-Verstärker mit besserer Frequenzkorrektur investieren. Brauchbare Surround- und Deckenlautsprecher finden Sie ab etwa 150 Euro pro Paar. Für eine komplette 5.1-Anlage fangen Sie demnach bei etwa 1500 Euro an. Für eine 7.1-Anlage sollten Sie mindestens 2000 Euro kalkulieren und für eine 7.2.4-Anlage ab 3000 Euro aufwärts.

Das nur als Richtschnur. Bei niedrigem Budget investieren Sie lieber in die Raumakustik, Verstärker mit besserer Frequenzkorrektur und höherwertige Lautsprecher, bevor Sie die Kanalzahl erhöhen. Sie können eine solche Anlage auch nach und nach ausbauen. Dabei gehen Sie von vorn nach hinten und dann von unten nach oben vor. Denken Sie eher in Jahrzehnten als in Jahren: Statt sich auf Speziallösungen bestimmter Hersteller einzulassen, wählen Sie besser Komponenten, die Sie frei kombinieren und selbst dann weiter nutzen können, wenn einer der Hersteller seinen Support einstellen sollte.

Aufgeblasene Schmalspur-Klänge

Der Sound von Fernsehern und Soundbars klingt oft schmal, weil die Geräte kaum in der Lage sind, Stereoklang akkurat wiederzugeben. Es fehlt ihnen schlicht an der nötigen Breite. Wenn ein 65-Zoll-Fernseher knapp anderthalb Meter breit ist, dann

müssten Sie als Zuschauer in 1,30 Metern Entfernung davorsitzen, um ein gleichseitiges Stereodreieck einzuhalten, für das der Stereoton produziert wurde.

Weil kaum jemand so nah vor der Glotze hockt, vergrößern viele Fernseher und die oft noch kürzeren Soundbars den Stereoeindruck mit einem psychoakustischen Wide-Effekt. Dieser verzerrt jedoch das Panorama und führt meist zu einem verwaschenen, unklaren Sound. Für Audioprofis ist er deshalb ebenso ein No-Go wie Pseudo-Surroundeffekte, die dem Zuhörer vorgaukeln sollen, Geräusche kämen von oben oder hinten.

Stereolautsprecher

Bevor Sie über Surround- und Deckenbeschallung nachdenken, sollten Sie zunächst die Stereowiedergabe auf ein solides Fundament stellen. Das klappt aufgrund des notwendigen Abstands nur mit separaten Lautsprechern.

Für ein solches Setup können Sie problemlos Boxen einer alten Stereoanlage recyceln. Für Sparfüchse können wir sonst zum Einstieg die JBL Control 1 Pro für 150 Euro pro Paar empfehlen, die Sie beim Aufrüsten der Anlage später auch als Surround- oder Deckenlautsprecher verwenden können. Ansonsten haben beispielsweise Canton und Nubert in ihren GLE- und Nuboxx-Serien empfehlenswerte Allround-Lautsprecher ab 200 Euro im Programm.

Achten Sie bei der Lautsprecherwahl im Datenblatt auf die untere Grenzfrequenz, die der Lautsprecher mit einem Pegelabfall von 3 Dezibel noch wiederge-

c't kompakt

- TVs und Soundbars haben nicht die nötige Breite für ein gutes Stereopanorama. Allein schon deshalb sollten Sie AV-Verstärker und separate Lautsprecher einsetzen.
- Bei geringem Budget nutzen Sie lieber weniger Kanäle und erweitern Ihre Anlage später Schritt für Schritt: von vorn nach hinten und von unten nach oben.
- Deckensegel verbessern die Raumakustik und ein zweiter Subwoofer hilft vor allem in kleinen und hellhörigen Räumen.

ben kann. Wenn Sie keine weiteren Subwoofer einsetzen, sollte diese Grenze mindestens bei etwa 60 Hz liegen. Mit Subwoofer können Sie auch kleinere Lautsprecher mit einer Grenzfrequenz von 100 Hz wählen. Dazu gehören auch die JBL Control 1 Pro.

Falls Sie keinen Verstärker von einer Stereoanlage haben, können Sie mit einem einfachen kleinen Modell wie dem Fosi Audio V1.0G (rund 50 Euro) die Lautsprecher über ein kleines Adapterkabel (3,5 mm Stereo-Klinke auf Cinch) mit der Kopfhörerbuchse Ihres Fernsehers verbinden und die Lautstärke über Ihre TV-Fernbedienung ändern. Fosi hat sich in der Vergangenheit einen Namen mit preiswerten und zuverlässigen kleinen Stereo-Verstärkern gemacht, die sich für diese Zwe-

Die vergleichsweise günstigen JBL Control 1 Pro für 150 Euro pro Paar taugen bereits für einfache Stereo-Setups oder als Surround- und Deckenlautsprecher mit Subwoofern.



cke ideal eignen. Wer noch einen Subwoofer anschließen will, kann den Fosi ZA3 für 160 Euro wählen.

Hilfe, das brummt!

Anstelle eines Verstärkers und Passivlautsprechern können Sie auch ein paar Aktivlautsprecher mit Ihrem Fernseher verbinden. Sie finden sie als sogenannte Nahfeldmonitore in Musikgeschäften. Sie klingen besser als die meisten Consumer-Lautsprecher aus dem Technikmarkt. Günstige Modelle sind bereits ab etwa 120 Euro pro Paar erhältlich, die für kleinere Räume genügen. Ab etwa 150 Euro pro Box bekommen Sie Zweiwegemodelle mit 5-Zoll-Tieftönern, die auch größere Wohnzimmer beschallen. Gute Erfahrungen haben wir etwa mit vergleichsweise günstigen Lautsprechern von Adam, KRK und Yamaha gemacht.

Der Nachteil von aktiven Lautsprechern ist, dass sie jeweils zwei Kabelverbindungen benötigen: eine für den Ton und eine für den Strom. Zudem laufen Sie Gefahr, sich eine Brummschleife einzufangen. Wenn das passiert, können Sie die Kabelverbindung zum Fernseher mit einer passiven DI-Box aus dem Musikalienfachhandel galvanisch entkoppeln, zum Beispiel mit der Millenium Pocket DI 2 für 35 Euro. Dazu benötigen Sie noch einen Kabeladapter von Mini-Stereoklinke (3,5 mm TRS) auf zwei Monoklinken (6,3 mm TS) sowie zwei einfache XLR-Kabel, mit denen Sie die Aktivlautsprecher mit der DI-Box verbinden.

Solche XLR-Verbindungen sind ebenfalls zu empfehlen, wenn die Aktivlautsprecher mehr als zwei Meter vom Fernseher entfernt stehen sollen, denn eine Cinch-Verbindung mit asymmetrischer Signalführung ist im Unterschied zu XLR-Kabeln mit symmetrischer Signalführung anfällig für Störeinstreuungen.

Jenseits von Stereo

Mit einer soliden Stereowiedergabe legen Sie eine gute Grundlage, um Ihr Setup in eine Heimkinoanlage auszubauen. Als ers-

tes steht dabei ein Center-Lautsprecher für die bessere Dialogverständlichkeit, an zweiter Stelle Subwoofer für die tiefen Frequenzen an. Erst danach sollten Sie Surround- und Deckenlautsprecher ins Auge fassen.

Für eine solche Erweiterung benötigen Sie jedoch einen AV-Verstärker, an den Sie die weiteren Lautsprecher anschließen und der den Klang an die akustischen Verhältnisse Ihres Raums anpasst. Solche AV-Verstärker sind ab etwa 400 Euro für die einfachen Modelle von Denon, Yamaha oder anderen Herstellern zu haben. Achten Sie darauf, dass Sie mindestens zwei Subwoofer sowie genügend weitere Lautsprecher anschließen können, wenn Sie Ihre Anlage später erweitern wollen. Wenn der Verstärker dazu teilweise nur Vorstufenausgänge hat, können Sie diese mit den erwähnten kleinen Fosi-Verstärkern aufrüsten.

Raumeinflüsse korrigieren

Bei der Auswahl des AV-Verstärkers ist in erster Linie die eingebaute Raumkorrektur für die Qualität des Klangs entscheidend. Diese Raumkorrektur gleicht Einflüsse Ihres Raums auf den Frequenzgang aus und den Klang unterschiedlicher Lautsprecher einander an, damit ein homogenes Klangbild entsteht. Dazu liegt den Verstärkern meist ein kleines Mikrofon bei und es gibt eine Einmessprozedur.

Raumeinflüsse sollten Sie nicht unterschätzen, im Bassbereich sind sie sogar dominierend und können Schwankungen von gut und gerne 20 Dezibel auslösen – da mag der Lautsprecher an sich einen noch so geraden Frequenzgang haben. Wenn Sie vor der Wahl stehen, ob Sie Ihr Geld für teurere Lautsprecher oder eine bessere Raumkorrektur anlegen, bringt die Raumkorrektur für gewöhnlich mehr. Ihre Bedeutung steigt mit der Anzahl der Kanäle.

Raumkorrektoren im Vergleich

Auf dem Markt gibt es verschiedene Systeme für die Raumkorrektur. Zu den populärsten gehören Audyssey, Dirac Live sowie Y.P.A.O. von Yamaha. Es gibt sie in



Aktive Lautsprecher und Subwoofer neigen zu Brummschleifen. Diese können Sie mit passiven DI-Boxen und XLR-Kabeln mit symmetrischer Signalführung unterbrechen.

unterschiedlichen Ausbaustufen, die wir in [1] genauer untersucht haben. Welche Sie einsetzen können, hängt von der Wahl des Verstärkers ab.

Audyssey ist das älteste und am weitesten verbreitete System, beispielsweise auch in AV-Verstärkern von Denon und Marantz zu finden. Die höchste Ausbaustufe XT32 ist den kleineren Varianten überlegen, da sie Frequenzabweichungen feiner ausgleicht. Die automatische Einmessung klappt bei Audyssey zwar ganz gut, das System hat aber einige Mängel, speziell bei der Abstimmung der Zielkurven für die angepeilten Frequenzverläufe. Wie Sie diese verbessern können, erklärt der Artikel auf Seite 118.

Yamahas Y.P.A.O. kann nicht nur den Frequenzgang ausgleichen, sondern in der höchsten Ausbaustufe „3D“ auch die Richtung berücksichtigen, aus der ein Lautsprecher strahlt. Das hat Vorteile, wenn Sie Ihre Boxen an ungünstigen Plätzen aufstellen müssen. Bei Yamaha muss man dazu mindestens 1400 Euro für einen RX-A4A ausgeben. Zudem kann Yamaha den Klang mit seiner Loudnessfunktion relativ gut für die Wiedergabe mit niedrigeren Lautstärken anpassen. Die Messautomatik war bei uns im Test aber nicht ganz so präzise wie die von Dirac oder Audyssey, so dass Sie hier deutlich mehr von Hand nachjustieren müssen.

Lautsprecher akustisch verschweißen

Das beste, aber auch teuerste System (sieht man von Speziallösungen für Profis ab) ist derzeit Dirac Live, das Sie bei einer



Fosi bietet ab 50 Euro kleine Stereo-Verstärker an, die für ein günstiges Stereo-Setup bereits genügen.

Bild: Fosi

betterCode()

GenAI 2025

Die Konferenz zu KI-gestützter Softwareentwicklung

26. Juni 2025 • Online

Mehr als Boilerplate-Code mit Copilot

- ✓ Softwareentwicklung mit Copilot, ChatGPT und Co
- ✓ Was gibt es Neues bei KI-Coding-Tools?
- ✓ Software mit KI-Unterstützung testen
- ✓ Mit ChatGPT Dinosaurier besiegen – LLMs für die Analyse alter Systeme
- ✓ Stärken und Schwächen KI-unterstützter, sicherer Softwareentwicklung
- ✓ Rechtliche Aspekte KI-gestützter Softwareentwicklung

Jetzt
Frühbucher-
ticket
sichern!

Workshop zum praktischen Einsatz von KI-Tools

genai.bettercode.eu



Advanced Angular Day

Der Deep Dive für Angular-Entwickler:innen

1. Juli 2025 • Online

Hol das Beste aus Angular raus

- Moderne Architekturen bauen mit Signals und NgRx Signal Store
- Accessibility in der Praxis umsetzen
- Apps smarter machen mit Generative AI
- Server-Side Rendering beschleunigen mit Hydration und Event Replay
- Die neusten Testing- und Security-Technologien gekonnt einsetzen

Jetzt
Frühbucher-
ticket
sichern!

Workshops zu Architektur und Accessibility

enterjs.de/advanced-angular.php

Reihe von Herstellern wie Denon, Marantz, NAD oder Onkyo als zusätzliche Lizenz kaufen können. Der günstigste AV-Verstärker mit Dirac-Live-Unterstützung ist derzeit der Denon AVC-X3800H für rund 900 Euro. Die Preise für die Dirac-Lizenz reichen von 300 Euro für Setups mit einem Subwoofer (Dirac Live) bis zu 600 Euro, wenn Sie zwei oder mehr Subwoofer angleichen wollen (Dirac Live Bass Control).

Das Besondere an Dirac ist, dass es nicht nur den Frequenzgang, sondern auch die durch Frequenzweichen et cetera entstehenden unterschiedlichen Signalverzögerungen ausgleicht. Dadurch kann es den Klang verschiedener Lautsprecher-Modelle besonders gut anpassen, sodass sie wie aus einem Guss zusammenspielen. Es ist daher insbesondere für Setups mit unterschiedlichen Lautsprechern zu empfehlen, da weder Audyssey noch Y.P.A.O. eine vergleichbare Kohärenz erzielen. Eine automatische Loudness-Anpassung oder Richtungskorrektur bietet Dirac jedoch nicht.

Die Dirac-Lizenz gilt immer nur für ein Gerät und kann bei einem Verstärkerwechsel zu einem anderen Modell nicht übertragen werden. Die Messsoftware selbst läuft auf einem Rechner mit Windows oder Mac, der die berechneten Filterkurven per WLAN zum Verstärker überträgt. Zur Messung benötigen Sie noch ein (kalibriertes) Mikrofon mit Ständer, wie etwa das MiniDSP UMIK-1 mit USB-Anschluss für rund 120 Euro.

Weil bei einer automatischen Einmessung immer wieder Fehler passieren und ein Messmikrofon anders hört als Ihre Ohren, sollten Sie das Ergebnis stets prüfen und nachjustieren. Wie Sie dabei am



Ein Deckensegel reduziert die Nachhallzeit und Deckenreflexionen der unteren Lautsprecher und verbessert insbesondere in Kombination mit Deckenlautsprechern die räumliche Wiedergabe von Dolby-Atmos-Anlagen.

besten vorgehen, erklären wir im Artikel auf Seite 118.

Kahle Wände und Decken

Eine Raumkorrektur kann allerdings wenig ausrichten, wenn Sie im Wohnzimmer nur kahle Wände haben und der Raum zu lange nachhallt. Klatschen Sie dazu einfach mal in die Hände. Wenn Sie dabei einen deutlichen Nachhall hören, sollten Sie die Nachhallzeit mit mehr Dämmmaterial reduzieren. Wenn Sie es nachmessen wollen, peilen Sie eine Nachhallzeit (RT60) von 0,3 bis 0,5 Sekunden an, siehe Seite 118.

Wenn Sofas, Sessel und Teppiche nicht ausreichen oder nicht zu Ihrem Stil passen, helfen sogenannte Deckensegel. Das sind leichte Dämmplatten, die Sie mithilfe von dünnen Stahlseilen mit ein paar Zentimetern Abstand unter Ihre Decke hängen. Die gibts in verschiedenen Farben und Größen, beispielsweise als Ceiling

Absorber von t.akustik für etwa 100 Euro pro Quadratmeter.

Sie müssen nicht die komplette Decke abhängen, bereits zwei bis vier Quadratmeter können die Akustik enorm verbessern. Stellen Sie sich vor, wo ein Spiegel an Ihrer Decke hängen müsste, damit Sie von Ihrer Hörposition aus die Frontlautsprecher sehen, und hängen Sie dort ein Deckensegel auf.

Zudem verbessern Sie speziell die Dialogverständlichkeit, wenn Ihre seitlichen Wände den Schall diffus in alle Richtungen reflektieren. Wenn Sie keine klobigen Diffusoren aus Musikgeschäften haben wollen, helfen offene (Bücher-)Regale und Pflanzen an den Wänden rechts und links. An der Front um den Fernseher herum und an der Rückwand sollten Sie den Schall hingegen nach Möglichkeit eher mit weichen Materialien absorbieren.

Center für Dialoge

Damit Sie Dialoge besser verstehen, müssen Sie die Signale aus der Fernsehmitte verbessern. Zwar decken auch Stereo-Lautsprecher diesen „Phantom-Center“ ab, haben gegenüber einem echten Center aber Nachteile: Sie müssen genau mittig vor dem Fernseher sitzen, damit Sie Dialoge auch tatsächlich aus der Mitte hören. Genau dort kommt es bei einer Frequenz von knapp 2 kHz dann aber unweigerlich zu einem Pegel einbruch um bis zu 6 Dezibel (interaural crosstalk dip genannt). Die Ursache ist eine Phasenauslöschung, wenn die Schallwellen auf Ihre Ohren treffen. Genau dieser Frequenzbereich ist aber wichtig für die Verständlichkeit.

Zwar kann man bei manchen Fernsehern sogenannte Dialog Enhancer und



Bild: Denon

Der Denon AVC-X3800H ist momentan der günstigste AV-Verstärker, bei dem man die Raumkorrektur Dirac Live nachrüsten und bis zu vier Subwoofer anschließen kann. Man bekommt ihn für etwa 900 Euro. Die Dirac-Live-Lizenz kostet weitere 300 bis 600 Euro.

Mit dem Testsieger in neue Klang-Galaxien

nuPro XS-8500 RC



...die erste Soundbar
mit „Qualitätsurteil Sehr Gut“

TESTSIEGER



120 cm breit, Schleiflack weiß oder schwarz,
1.969,- € (inkl. 19% MwSt., ggf. zzgl. Versand)

Klang und Raum neu definiert

- Für ultimatives Heimkino: Integrierte Subwoofer und 820 W Musikleistung
- Volle Konnektivität für Top-Musikgenuss aus digitalen und analogen Quellen
- Spitzenklang aus 120 cm Breite – präziser Bass mit X-Room Calibration
- Individuelle Soundmodi, beste Sprachverständlichkeit mit Voice+
- Steuerzentrale für echtes DTS:X / Dolby Atmos: Wireless zum 7.1.4-System erweiterbar

Audiophile Leidenschaft. Nur direkt bei nubert.de

Nubert electronic GmbH, Nubertstr. 1, D-73529 Schwäbisch Gmünd
30 Tage Rückgaberecht · Webshop www.nubert.de · Hörstudios in Schw. Gmünd,
Duisburg und Salzburg (A) · Expertenberatung +49 (0) 7171 8712-0

© Copyright by Heise Medien.

nubert[®]
EHRliche LAUTSPRECHER

ähnliche Tricks einschalten, die Töne aus der Mitte lauter machen und den Pegel bei 2 kHz verstärken. Aber dadurch verändern sie auch den Frequenzgang und das Stereopanorama bei der Musikwiedergabe.

Ist hingegen ein Centerlautsprecher mittig unter dem Fernseher platziert, kommen die Dialoge stets aus der Mitte, selbst wenn Sie seitlich versetzt sitzen. Er verhindert zudem die Phasenauslöschung bei 2 kHz. Die Bedeutung eines Centers sollte man nicht unterschätzen. Er sollte immer an erster Stelle stehen, wenn Sie ein Stereo-Setup erweitern.

Subwoofer

Subwoofer erzeugen ein Bassfundament, das vor allem in kleinen Räumen zu Problemen führen kann. Denn im Bassbereich ist in erster Linie der Raum für die Klangqualität verantwortlich. Wenn Decke und Boden oder Wände zueinander parallel verlaufen, bilden sich unweigerlich stehende Wellen (Raummoden), die den Frequenzgang stark verzerren: An den Wänden und speziell in den Ecken dröhnt dann der Bass, während Sie in Raummitte kaum etwas davon mitbekommen. Das ist auch der Grund, warum Ihre Nachbarn abends

an die Decke klopfen, obwohl Sie eigentlich nur auf Zimmerlautstärke fernsehen.

Um diese Probleme zu mildern, können Sie den Frequenzgang im Bassbereich per Raumkorrektur anpassen und die Wiedergabe auf zwei oder mehr Subwoofer verteilen. So paradox es klingt: Je kleiner Ihr Wohnzimmer und je schlechter die Schalldämmung der Wände, desto mehr Subwoofer sollten Sie einsetzen. Die akustischen Hintergründe erklären wir in [2].

Zur Musikwiedergabe und für die meisten Filme sollte der Subwoofer Frequenzen von etwa 120 Hz bis hinunter zu 30 Hz abdecken. Dazu eignen sich Modelle mit einem 8-Zoll-Schallwandler. Größere Modelle mit 10- oder 12-Zoll-Wandlern benötigen Sie nur, wenn sie deutlich tiefer als 30 Hz hinunterreichen sollen. Da Vibrationen unterhalb von 20 Hz sowieso nur vom Körper gespürt werden, ist es oft effizienter und nachbarschonender, stattdessen einen sogenannten Bass-Shaker für die tiefste Oktave am Sitz anzubringen.

Je kleiner und hellhöriger der Raum ...

Nahezu alle Subwoofer sind aktive Modelle mit eingebautem Verstärker. Dadurch entlasten Sie den Hauptverstärker,

der für die mittleren und hohen Frequenzen weniger Energie bereitstellen muss. Die vielfach angepriesene Wattzahl von Verstärkern können Sie getrost ignorieren, da selbst schwächere Modelle für typische Wohnzimmer vollkommen genügen.

Subwoofer können bei manchen Fernsehern über einen Adapter an die Kopfhörerbuchse angeschlossen werden, oder über einen Cinch-Ausgang an Ihrem Verstärker. Auch hierbei kann es zu Brummschleifen kommen, die Sie – wie im Abschnitt über Aktivlautsprecher erklärt – mit einer DI-Box beheben. Idealerweise nimmt Ihr Subwoofer dazu symmetrische Audiosignale über einen XLR-Eingang an.

... desto mehr Subwoofer sollten Sie einsetzen!

Damit der Bass überall im Raum gleich gut klingt, sollten Sie zumindest zwei Subwoofer einsetzen, die Sie jeweils in der Mitte von zwei gegenüberliegenden Wänden platzieren. Ecken sind tabu, weil Subwoofer dort die tiefsten Raummoden besonders stark anregen.

Zwei günstige 8-Zoll-Modelle von KRK, pro Stück knapp 300 Euro, erzeugen beispielsweise einen deutlich gleichmäßigeren und stabileren Bass, als wenn Sie nur einen, wesentlich größeren und oft teureren Subwoofer einsetzen. Die S8.4-Modelle von KRK sind zudem die günstigsten uns bekannten Subwoofer mit eingebauten XLR-Eingängen und effizienten Class-D-Verstärkern – zwei wichtige Ausstattungsmerkmale. Da die Standby-Funktion von Subwoofern generell in Filmen gerne mal einschläft, sollten Sie diese deaktivieren und die Subwoofer stattdessen per Funksteckdose ein- und ausschalten.

Ihr Verstärker sollte für beide Subwoofer separate Einstellungen zur Signalverzögerung (Delay) und für Frequenzkorrekturen erlauben. Andernfalls können Sie dies mit einer kleinen Box MiniDSP 2x4 HD für rund 260 Euro nachrüsten. Was Sie bei der Einmessung beachten sollten, erklären wir in [2].

5.1 oder 7.1

Erst wenn der Center und Bass richtig eingestellt sind, lohnt eine Erweiterung mit Surround-Lautsprechern. Zu den drei Frontlautsprechern (Links, Rechts, Center) gesellen sich dann zwei oder vier weitere Boxen. Ob es ein Setup mit insgesamt fünf oder sieben Lautsprechern sein sollte,



KRK bietet für knapp 300 Euro günstige 8-Zoll-Subwoofer mit Class-D Verstärkern an, die sich auf der Rückseite mithilfe einer DI-Box auch per XLR verkabeln lassen. Zwei von ihnen sorgen in Verbindung mit einer passenden Frequenzkorrektur für eine gleichmäßige Bassverteilung im Raum.

Mit dem MiniDSP 2x4 HD können Sie eine Frequenz- und Delay-Korrektur für bis zu vier Subwoofer nachrüsten.



Bild: MiniDSP

hängt sowohl von Ihren Platzverhältnissen als auch von Ihren Zuspielern für Filme und Musik ab.

Wenn Sie nur Filme von Streaminganbietern schauen, genügt ein 5.1-Setup ohne Deckenlautsprecher, weil deren Datenstreams (bis auf vereinzelte Ausnahmen) maximal Dolby Atmos mit einem abgespeckten 5.1-Kern nutzen. Die Datenrate reicht nicht über 768 kBit/s hinaus, was insbesondere eine schwache Abbildung der Höhenkanäle zur Folge hat.

Sieben Kanäle bekommen Sie nur von Blu-rays oder UHD-Discs, meist in den Formaten „DTS HD Master Audio“ oder „Dolby Atmos TrueHD“. Discs nutzen zudem eine gegenüber dem Stream fünf- bis zehnfach höhere Datenrate. Das macht sich in einer wesentlich besseren Lokalisation einzelner Geräusche bemerkbar.

Zur Musikwiedergabe in Dolby Atmos sind 7.1-Setups ebenfalls vorzuziehen. Leider ist die meiste Atmos-Musik nicht auf Blu-ray Disc, sondern nur von den drei Streamingplattformen Amazon, Tidal und allen voran Apple zu bekommen. Liebhabern von Atmos-Musik ist deshalb ein aktuelles AppleTV 4K der dritten Generation als Zuspieler zu empfehlen. Die ersten beiden Generationen des AppleTV 4K stürzen hingegen öfters ab, wenn sie Atmos-Titel mit Apples Music-App wiedergeben.

Deckenlautsprecher

Deckenlautsprecher lassen nicht nur Hub-schrauber, Raumschiffe und Gewitter über dem Zuhörer donnern. Sie sorgen vor allem für Raumatmosphäre, die den Klang in Ihrem Wohnzimmer an die Aufnahme-situation im Film oder bei der Musikein-spielung annähert.

Dazu sollten Sie stets echte Lautsprecher oben an Ihren Wänden oder an der Decke anbringen. Es genügen bereits günstige Modelle wie die anfangs erwähn-ten JBL Control One für 150 Euro pro Paar. Schicker sind Einbaulautsprecher, die meistens jedoch Wohneigentum voraus-setzen.

Reflexions- oder Upfiring-Lautspre-cher, die den Schall von unten gegen die Decke strahlen und ihn über Bande spie-len, klingen meist mäßig. Die Decke darf zudem nicht mit Absorbern oder Decken-segeln verhangen sein. Das nimmt Ihnen eine effiziente Möglichkeit, die Raum-akustik zu verbessern, indem Sie verhin-dern, dass der Schall der Frontlautspre-cher von der Decke reflektiert wird, was die Sprachverständlichkeit sowie den Rundumeffekt verschlechtert.

Fazit

Wer nicht nur Spielshows, sondern auch Filme und Musik in guter Qualität hören will, sollte sich nicht mit einer Soundbar begnügen, sondern Stück für Stück eine Anlage mit Lautsprechern aufbauen. Dabei sollte man von vorn nach hinten und von unten nach oben vorgehen.

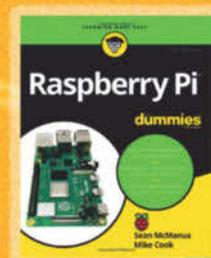
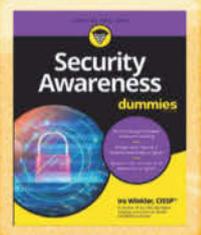
Je mehr Lautsprecher Sie einsetzen, desto wichtiger wird eine Raumkorrektur per Software durch den AV-Verstärker. Das gilt insbesondere für den Bassbereich. Gerade in kleinen und hellhörigen Räumen können zwei oder mehr Subwoofer helfen, damit Nachbarn nicht gestört werden. Deckensegel können zudem die Raumakustik dramatisch verbessern. Sie helfen meistens mehr, als das Geld in sündhaft teure Laut-sprecher und Verstärker zu stecken.

Sehen Sie die im Artikel genannten Geräte als Beispiele an, mit denen wir gute Erfahrungen gemacht haben und die Sie zum Vergleich mit anderen Angeboten heranziehen können. Mit dem Hinter-grundwissen aus diesem Artikel finden Sie sicherlich die für Ihre Bedürfnisse optima-le Lösung. Tipps zu den richtigen Auf- und Einstellungen gibt der Artikel auf Seite 118. (hag@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Hartmut Gieselmann, Neue Räumlichkeiten, Klangduell um den besten 3D-Sound fürs Heimkino, c't 27/2023, S. 90
- [2] Hartmut Gieselmann, Basskontrolle, Heimkino-Sound optimieren mit Subwoofer-Arrays und Raumkorrektur-Software, c't 7/2024, S. 134

E-Books im heise shop



shop.heise.de/e-books

Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 € (innerhalb Deutschlands). Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten. E-Books können einem DRM-Schutz unterliegen.

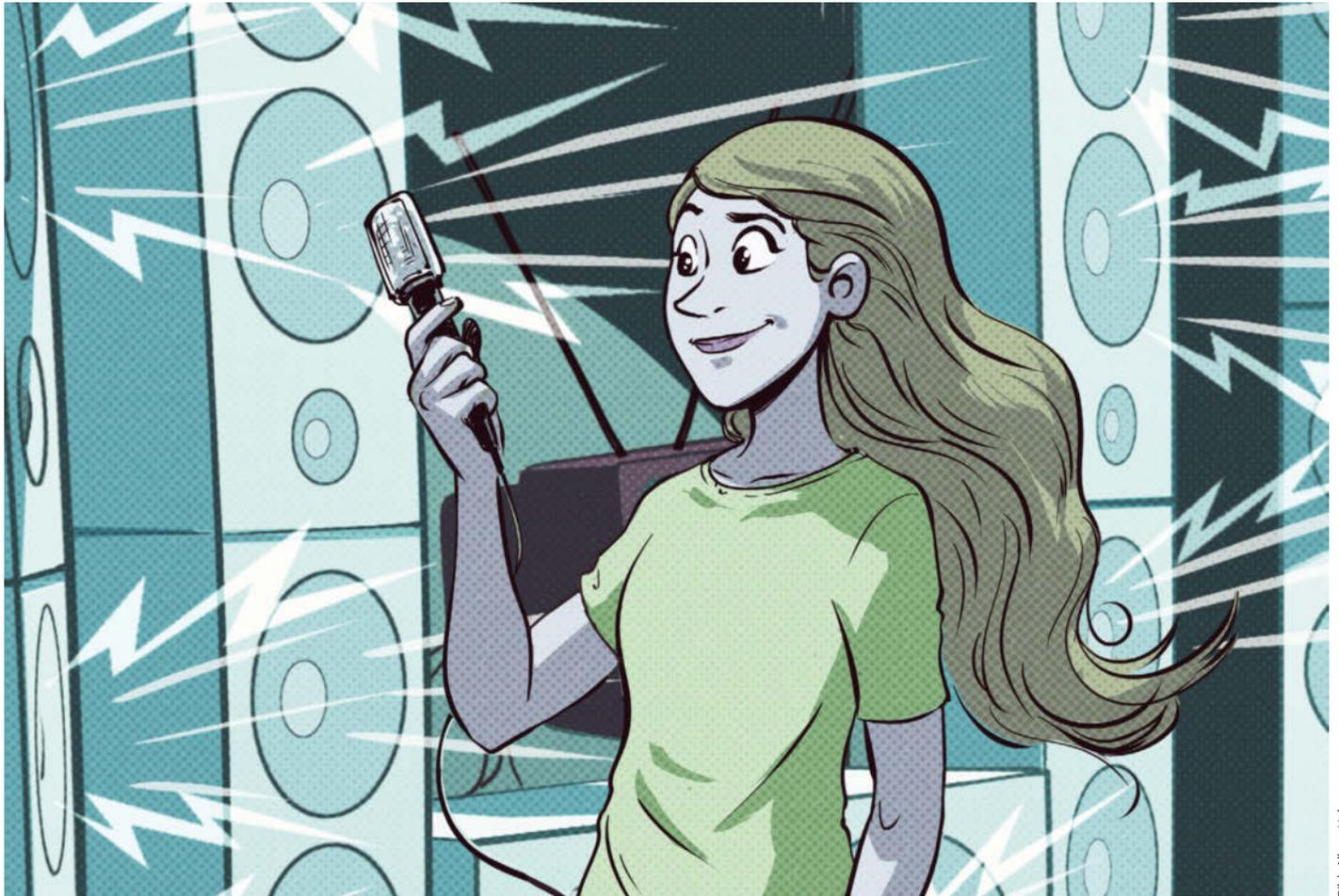


Bild: Albert Hulm

Soundjustage

Musik- und Heimkino-Anlagen: Lautsprecher und AV-Verstärker richtig auf- und einstellen

Moderne AV-Verstärker messen Ihre Heimkino-Anlage automatisch ein, verschenken dabei jedoch viel Klangpotenzial. Wir erklären, wie Sie Ihr System am besten aufstellen und nachjustieren.

Von Hartmut Gieselmann

Der Klang Ihrer Musikanlage oder Heimkino-Set-ups hängt nicht nur von den Komponenten, sondern auch und insbesondere von den richtigen Einstellungen ab. Raumkorrekturprogramme messen zwar vieles automatisch ein, sie machen dabei aber auch mal Fehler und überschätzen sich beim Basspegel. Zudem nehmen Mikrofone den Sound anders wahr als Ihre Ohren.

In diesem Artikel erklären wir, wie Sie Ihre Lautsprecher am besten aufstellen

und ausrichten. Wir zeigen Ihnen, wie Sie für die Raumkorrektur Ihres AV-Verstärkers die richtige Zielkurve für Ihren Raum finden und wie Sie die Pegel so feinjustieren, dass ein homogenes, neutrales Klangbild entsteht.

Das eignet sich dadurch gleichermaßen für Filme, Klassik-Konzerte, Rockmusik und Konsolenspiele.

Dabei helfen verschiedene Blu-ray Discs mit Messtönen, Software wie „Room EQ Wizard“ (REW), „Magic Beans True Target“ und

Frisch aus
c't Nerdistan

ct kompakt

- Stellen Sie Ihre Lautsprecher im richtigen Anstand und Winkel zum Hörplatz auf. Bei der Suche nach den besten Plätzen für Subwoofer hilft die Software „Room EQ Wizard“ (REW) mit einer Raumsimulation.
- Für ein neutrales Klangbild passen Sie die Zielkurven der Frequenzkorrektur Ihres AV-Verstärkers an die Raumakustik an. Dabei kann die Software „True Target“ helfen.
- Trauen Sie keiner Automatik, sondern prüfen Sie das Ergebnis mit Testtönen, Ihrem Gehör und einem Dezibelmesser fürs Smartphone.

„Dezibel-X Pro“, deren Verwendung wir zur Ermittlung von Zielkurven und Subwoofer-Pegeln genauer erklären.

Grundsätzliche Aufstellung

Egal, ob Sie zwei oder fünfzehn Boxen aufstellen: Mit Ausnahme der Subwoofer sollten Sie von Ihrem Hörplatz aus alle Lautsprecher, speziell deren Hochtöner, sehen können, wenn Sie den Kopf zu ihnen drehen. Es ist ein besserer Kompromiss, dafür einen Lautsprecher eventuell etwas zu versetzen, als wenn der Kopf eines Zuhörers, eine Rückenlehne oder anderes Möbelstück diesen verdeckt. Am wenigsten fallen dabei Abweichungen auf der vertikalen Achse und hinter Ihrem Rücken ins Gewicht. Sie können Surround-Lautsprecher also problemlos ein wenig höher aufstellen als Ihre Frontlautsprecher.

Zudem sollten alle Lautsprecher, mit Ausnahme der Subwoofer, auf Ihren Kopf zeigen, damit Sie vom Hochtöner, der seine Abstrahlenergie stärker bündelt als Mittel- und Tieftöner, die maximale Energie empfangen. Achten Sie zudem auf den Abstand von Ihrem Ohr zum Lautsprecher: Er sollte mindestens beim Dreifachen der Frontlänge des Lautsprechers (gemessen an den Außenkanten der Schallwandler) und nicht unter einem Meter liegen. Können Sie einen der Lautsprecher mit Ihrem Arm erreichen, sitzen Sie zu nah dran.

Dolby empfiehlt sogar einen Mindestabstand von 1,50 Metern zu jedem Lautsprecher. Bei der Aufstellung helfen die Dolby Atmos Home Entertainment Tech-

nical Guidelines sowie die Best Practices for Dolby Atmos Music Studios weiter. Letztere richten sich eigentlich an Musikstudios, sie sind im Zweifel aber aussagekräftiger als die Speaker Setup Guides für Endverbraucher.

Frontlautsprecher

Die drei Frontlautsprecher sollten Sie stets symmetrisch aufstellen: den Center in der Mitte unter dem Fernseher, die anderen beiden im gleichen Abstand zum Center rechts und links daneben. Idealerweise bildet Ihr Kopf mit den Frontlautsprechern rechts und links ein gleichseitiges Dreieck mit 60-Grad-Winkeln.

Dolby erlaubt an Ihrer Hörposition auch kleinere Winkel bis runter auf 44 Grad. Dazu messen Sie den Abstand Ihrer bevorzugten Sitzposition zum Fernseher und stellen Ihre Lautsprecher rechts und links im 0,4- bis 0,58-fachen dieses Abstands auf, jeweils vom Hochtöner des Centers gemessen.

Achten Sie auch auf die Höhenunterschiede: Idealerweise sollten die Hochtöner der Frontlautsprecher pro Meter Abstand, den Sie entfernt sitzen, nur zehn Zentimeter voneinander abweichen. Detaillierte Angaben zu konkreten Aufstellungskonzepten finden Sie in [1].

Surround-Lautsprecher

Zur richtigen Platzierung der Surround-Lautsprecher sind ebenfalls die Winkel

ausgehend von Ihrem Hörplatz zum Center maßgebend. Bei einem 7.1-Set-up sollten die beiden seitlichen Surround-Lautsprecher bei 90 Grad aufstellen (manche Quellen bevorzugen 85, andere 100 Grad). Die hinteren Surround-Lautsprecher landen bei etwa 135 Grad. Vermeiden Sie es, die hinteren Lautsprecher bei 150 Grad zu platzieren, sodass sie genau in einer diagonalen Linie mit den vorderen Lautsprechern stehen. Denn dann umhüllen die hinteren Geräusche Sie nicht mehr so gut, was man bei früheren Quadrofonie-Set-ups herausgefunden hat.

Bei einem 5.1-Set-up fehlen die hinteren Surround-Lautsprecher. Dafür wandern die seitlichen Surround-Lautsprecher weiter nach hinten, auf eine Position von etwa 112 Grad. Sie fassen dort die Signale der seitlichen und hinteren Lautsprecher eines 7.1-Set-ups zusammen. Es ist leider nicht möglich, die Surrounds eines 5.1-Set-ups bei AV-Verstärkern als hintere Lautsprecher zu deklarieren, sodass der AV-Verstärker die fehlenden seitlichen Surrounds als Phantomkanal simuliert. Umgekehrt können Sie über ein 7.1-Setup aber einen 5.1-Mix wiedergeben. Bleiben die hinteren Surround-Lautsprecher dabei stumm, verteilen die Upmixer von Dolby, DTS oder Auro auf Wunsch die Surround-Kanäle der 5.1-Tonspur auf die seitlichen *und* die hinteren Surround-Lautsprecher.

Bei einem 7.1.4-Setup stehen die Frontlautsprecher idealerweise in einem Winkel von 30°, die seitlichen Surround-Lautsprecher bei 90° und die hinteren Lautsprecher bei 135 Grad. Die Deckenlautsprecher stehen in Winkeln von jeweils 45° und 135 Grad.

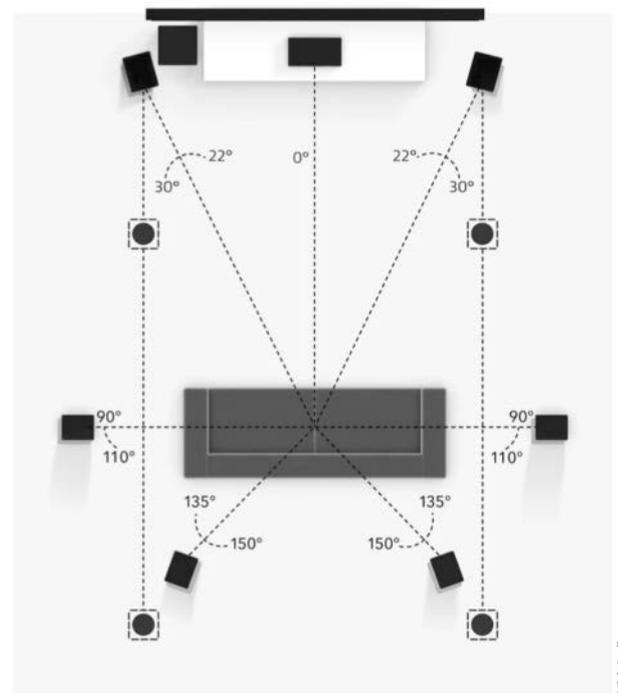


Bild: Dolby

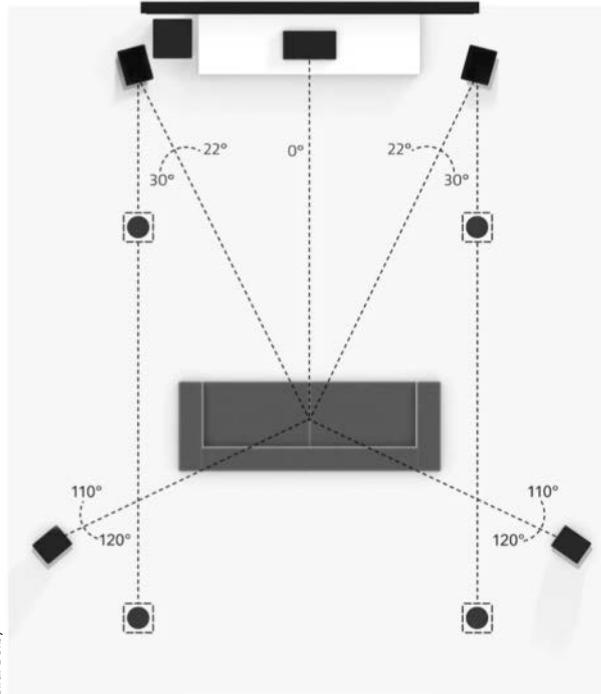


Bild: Dolby

Bei einem 5.1.4-Setup fehlen die hinteren Lautsprecher und die seitlichen Surrounds wandern etwas nach hinten, auf etwa 112 Grad. Sie geben ein kombiniertes Signal der seitlichen und hinteren Lautsprecher eines 7.1-Setups wieder.

Deckenlautsprecher

Wer nur zwei Lautsprecher an der Decke haben möchte, sollte diese knapp vor dem Zuhörer anbringen, etwa mit der gleichen Breite wie die vorderen Stereolautsprecher. Der linke Lautsprecher bekommt dann alle Signale für die linke Deckenseite, der rechte Lautsprecher alle für die rechte Deckenseite.

Bei vier Deckenlautsprechern gibt Dolby vor, dass sie jeweils im 45-Grad-Winkel von oben und von der Seite zum Zuhörer strahlen sollen. Die hinteren Deckenlautsprecher hängen also genau über den hinteren Surround-Lautsprechern eines 7.1-Setups. Die vorderen Deckenlautsprecher sollen den gleichen Abstand zu Ihrer Hörposition haben wie die hinteren. Sie können die vorderen Deckenlautsprecher auch über den Frontlautsprechern anbringen und in Ihrem AV-Verstärker entsprechend nicht als Decken-, sondern als obere Wandlautsprecher deklarieren.

Subwoofer

Wer den besten Platz für einen oder mehrere Subwoofer im Raum ermitteln will, kann den resultierenden Frequenzgang mit der Funktion namens „Room Sim“ der kostenlosen Software Room EQ Wizard (REW) simulieren. Geben Sie dort die Raumabmessungen ein, wählen Sie für alle Begrenzungsflächen einen durchschnittlichen Absorptionsgrad von 0,3 und platzieren Sie die beiden Frontlautsprecher, die Subwoofer, sowie sich selbst auf

Ihrem Hörplatz. Nun verschieben Sie die Subwoofer, bis der Frequenzgang möglichst wenige Ausschläge nach unten und oben hat. Dazu stellen Sie die Subwoofer besser in der Wandmitte als in den Raumecken auf. Das haben wir im Artikel „Basskontrolle“ genauer erklärt [2].

In der Room Sim können Sie auch prüfen, wie sich weitere Subwoofer auf den Frequenzverlauf auswirken und was passiert, wenn Sie die Übergabefrequenz anpassen und die Signale einzelner Subwoofer per Delay verzögern. Ein zweiter Subwoofer kann den Frequenzverlauf bereits erheblich glätten. Statt der Frontlautsprecher können Sie auch die Auswirkungen auf den Center und die Surround-Lautsprecher simulieren. Wenn Sie die Aufstellung optimieren, muss Ihr AV-Verstärker anschließend nicht mehr so stark in den Frequenzgang eingreifen.

Zielkurve anpassen

Die Raumkorrektur Ihres AV-Verstärkers misst die Lautsprecher ein und gleicht mit Filtern den Frequenzverlauf aus. Dazu können Sie in den meisten Programmen eine sogenannte Zielkurve vorgeben. Das menschliche Ohr unterscheidet zwischen dem Direktschall, der einen möglichst horizontal verlaufenden, glatten Frequenzgang haben sollte, und den später eintreffenden Reflexionen. Bei einer Mikromessung addiert die Software jedoch die Pegel des Direktschalls und der in einem bestimmten Zeitfenster auftreffenden Re-

flexionen. Das Resultat ist eine Messkurve, die von den tiefen Bassfrequenzen zu den Höhen hin abfällt. Im Hochtonbereich kommt es zu einem zusätzlichen Pegelabfall beim Direktschall, der abhängig vom Lautsprecherabstand oberhalb von etwa 5 kHz einsetzt. Um einen neutralen Klangeindruck zu erreichen, muss deshalb auch die Zielkurve einen solchen Messverlauf berücksichtigen.

Der Abfall wird in Dezibel pro Oktave angegeben, wobei jede Oktave die Frequenz verdoppelt. Der Abfall ist abhängig vom Abstrahlverhalten der Lautsprecher, ihrem Abstand zum Zuhörer sowie von der Raumgröße und dem (frequenzabhängigen) Absorptionsgrad der Oberflächen. Je größer der Abstand und je länger der Nachhall im Raum, desto steiler muss die Zielkurve für einen neutralen Klangeindruck verlaufen.

Es existiert also keine allgemeingültige Zielkurve, die für jeden Raum und jede Abhörsituation passt. In Kinosälen hat sich die sogenannte X-Kurve mit einem relativ steilen Abfall etabliert, die für deutlich kleinere Wohnzimmer jedoch ungeeignet ist. Selbiges gilt für die Atmos-Zielkurve von Dolby, die etwa einen Abfall von 1,5 Dezibel pro Oktave oberhalb von 1,6 kHz vorgibt. Und auch die weitverbreitete „Harman-Kurve“ gilt nur für ein ganz spezielles Set-up, das denen in typischen Wohnzimmern nicht entspricht.

Laut Messungen von Floyd E. Toole, Autor des Standardwerks „Sound Reproduction“ für Raumakustik, liegen Wohnzimmer mit einer Nachhallzeit (RT60) von etwa 0,5 Sekunden und einem Abstand zu den Lautsprechern zwischen ein und vier Metern üblicherweise eher im Bereich von 0,4 Dezibel Abfall pro Oktave [3]. Das ist ein guter Startwert für die Feinjustage Ihrer Raumkorrektur. Dazu ziehen Sie in Ihrer Raumkorrektursoftware wie Dirac Live für die Zielkurve eine Diagonale, die von der 200-Hz-Markierung bis zur 12.800-Hz-Markierung (6 Oktaven) um insgesamt 2,4 Dezibel abfällt. Halte Ihr Raum etwas stärker oder sitzen Sie mehr als etwa zwei Meter von Ihren Lautsprechern entfernt, dann wählen Sie einen größeren Wert. Sitzen Sie dichter dran und halte Ihr Raum weniger, dann verringern Sie den Wert. Das können Sie in Dirac für einzelne Lautsprecherpaare auch separat einstellen.

Wenn Sie es genauer wissen wollen, dann messen Sie mit der REW-Software die frequenzabhängigen Abfallzeiten im

Raum und sehen sich diese in einem Wasserfalldiagramm an (im Reiter „RT60 Decay“). Eine Erläuterung der Prozedur haben wir in einem Video am Ende des Artikels verlinkt. Die Abfallzeiten verlaufen nicht linear, sondern sind im Bassbereich oft besonders hoch. Ihre Zielkurve sollte dies berücksichtigen und im Bass steiler verlaufen als in den Höhen.

Magische Bohnen

Es ist allerdings überaus zeitaufwendig, den genauen Verlauf mithilfe von REW manuell zu ermitteln. Eine große Hilfe ist die Software „True Target“ von Magic Beans Audio, die jeden Lautsprecher einmal im Nahbereich und einmal am Haupthörplatz mit rosa Rauschen einmisst. Anschließend berechnet die Software für jeden Lautsprecher eine ideal angepasste Zielkurve. Die Einstellungen lassen sich für verschiedene Systeme, darunter miniDSP, Yamaha und Dirac Live exportieren.

Nutzer des Einmessverfahrens Audyssey können die Kurven hingegen nicht direkt importieren, sondern benötigen dazu die nur unter Windows lauffähige Zusatzsoftware MultEQ-X für 200 Euro. Es gibt allerdings einen inoffiziellen Hack eines YouTubers namens Chad AV, der mithilfe einer gebastelten HTML-Seite die True-Target-Kurve mit den Messprofilen der mobilen MultEQ-App von Audyssey kombiniert. Letztere bekommt man für 23 Euro für iOS und Android. Magic Beans rät von dieser Methode aber ab, da sie nur einen Teil der mit MultEQ-X möglichen Verbesserungen erlaubt. Der Entwickler garantiert weder, dass sie immer funktioniert, noch leistet er dafür Support.

Wir haben True Target an zwei Systemen mit Audyssey und Dirac Live getestet. Generell sorgten die angepassten Zielkurven dafür, dass die Lautsprecher nun weniger prozessiert und glattgebügelt klangen, sondern etwas von ihrer eigenen Klangfarbe zurückgewannen. True Target half insbesondere bei den beiden Audyssey-Set-ups und sorgte bereits im Zusammenspiel mit der mobilen MultEQ-App für eine deutlich größere Klangfülle, die wir mit den Standardeinstellungen von Audyssey nicht erreichten. Bei unserem Dirac-System waren die Unterschiede auf kurze Distanz in einem akustisch behandelten Raum indes nicht so stark spürbar, weil bereits die Grundeinstellungen nah am Optimum lagen.

Magic Beans lässt sich die Lizenzen für True Target gut bezahlen. Die Kosten von rund 234 Euro lohnen sich für Perfektionisten und Profis, die genau eingemessene Systeme benötigen. Sie können sich über einen Discord-Kanal mit dem Entwickler Joe N Tell austauschen und ihre Ergebnisse und Einstellungen diskutieren. Dieser aufwendige Support für Spezialisten relativiert den hohen Preis. Zudem sind uns keine Konkurrenzprodukte bekannt.

Nach der Einmessung

Doch egal, ob mit genau angepasster oder vermuteter Zielkurve: Nach einer automatischen Einmessung sollten Sie das neue Klangprofil auf jeden Fall prüfen und die Einstellungen manuell nachjustieren. Denn so präzise Sie auch gemessen haben mögen: Ihre Ohren nehmen Klang anders wahr als Mikrofone.

Dazu benötigen Sie rosa Rauschen, das Sie auf jedem Lautsprecher einzeln abspielen. AV-Verstärker haben das in ihren Set-ups zwar meistens eingebaut. Doch die internen Rauschgeneratoren erzeugen ein anderes Signal als das, was ein Zuspätsender liefern würde und eignen sich daher nur bedingt zur Justage.

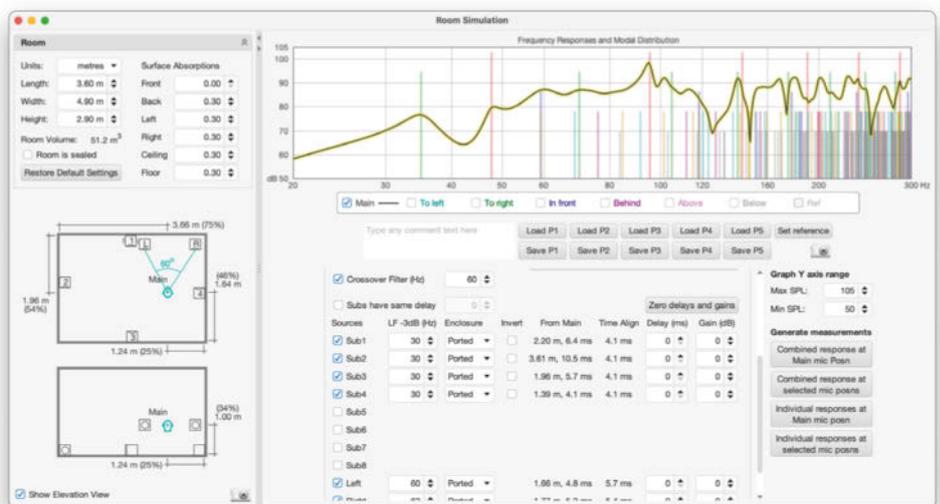
Deutlich besser klappt es mit einem Blu-ray-Player und einer Disc mit Messönen. Geeignet ist etwa die Blu-ray zum 50. Jubiläum des Pink-Floyd-Albums „The Dark Side of the Moon“, die verschiedene rosa Rauschsignale zur Abstimmung von Dolby-Atmos-Anlagen enthält. Sie ist mit

rund 30 Euro deutlich günstiger als das „Spatial Audio Calibration Toolkit“ (SACT) des YouTubers Techno Dad und des Magic-Beans-Entwicklers Joe N Tell, das die Spatial Group für knapp 100 Euro anbietet. Dafür liefert die SACT-Disc nicht nur separate Messtöne, sondern auch Panning-Signale, mit denen man den Rundumlauf einzelner Töne in einer Dolby-Atmos-Anlage besonders gut kalibrieren kann.

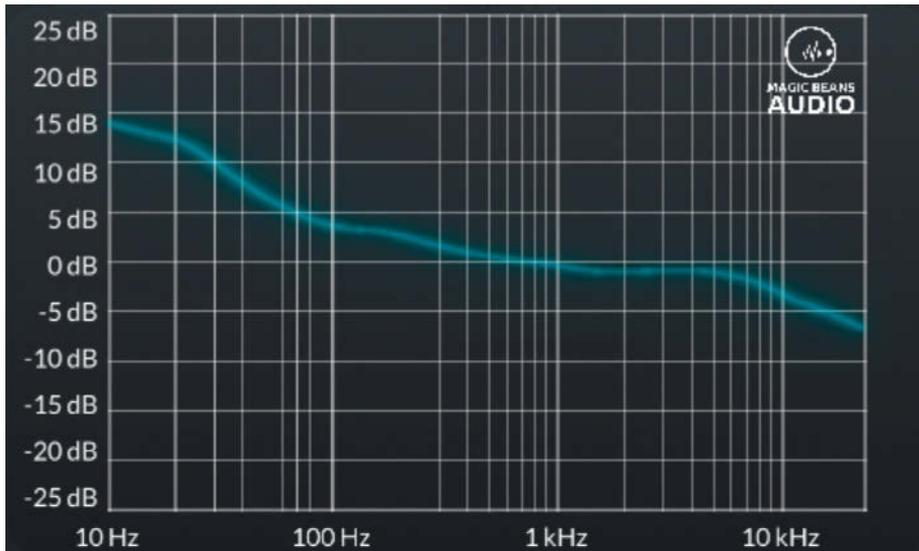
Als Erstes sollten Sie prüfen, ob das rosa Rauschen auf jedem Lautsprecher die gleiche Klangfarbe hat, wenn Sie den Kopf in seine Richtung drehen. Im Test gelang dies Dirac Live besonders gut, selbst mit unterschiedlichen Lautsprechermodellen. Falls nicht, sollten Sie die Zielkurve des abweichenden Lautsprechers anpassen.

Als Nächstes prüfen Sie die Pegel der Lautsprecher. Dazu hilft eine App wie Dezibel-X Pro von Skypaw für Android und iOS. Stellen Sie dort die C-Bewertung sowie eine langsame Reaktionszeit (500 ms) ein, was nur die kostenpflichtige Pro-Version für rund 45 Euro erlaubt. Prüfen Sie damit, ob das rosa Rauschen von allen Lautsprechern gleich laut klingt, andernfalls korrigieren Sie an Ihrem AV-Receiver die Werte für den jeweiligen Kanal.

Bei unseren Tests stellten wir fest, dass unser Center 1 bis 3 Dezibel lauter sein sollte als die beiden anderen Frontlautsprecher, damit kein akustisches Loch entsteht. Prüfen können Sie das mit dem Panning-Test der SACT-Disc. Das Rauschen sollte kontinuierlich von allen Seiten ohne



Mit der „Room Sim“ in der kostenlosen Software Room EQ Wizard (REW) können Sie ausprobieren, wo Sie Subwoofer am besten aufstellen und wie sich weitere Subwoofer auf den Frequenzverlauf auswirken.



True Target von Magic Beans Audio berechnete für zwei Wohnzimmer unterschiedliche Zielkurven: Der erste Raum hallt deutlich stärker, wodurch die Kurve im Bassbereich wesentlich höher ansteigt. Wegen des größeren Abstands zu den Lautsprechern fällt der Hochtonbereich ab etwa 5 kHz stärker ab.

Lautstärkeschwankungen um Sie herumlaufen. Im Zweifel zählt Ihr Höreindruck und nicht die Anzeige Ihres Pegelmessers.

Der richtige Basspegel

Zum Schluss kommt der Basspegel der Subwoofer dran. Er ist am schwierigsten zu kalibrieren, weil der richtige Pegel auch von der Gesamtlautstärke abhängt: Ist sie niedriger, reagiert das Gehör weniger sensibel auf tiefe Frequenzen und man muss den Basspegel erhöhen.

Professionelle Kinosysteme werden so eingepegelt, dass die Hauptlautsprecher im Durchschnitt 85 Dezibel erreichen und die Subwoofer 89 Dezibel. Diese Lautstärke ist aber fürs Heimkino zu hoch. Filmstudios peilen dort Referenzpegel an, die rund zehn Dezibel unter denen im Kino liegen. Müssen Sie in einem Mehrparteienhaus Rücksicht auf Nachbarn nehmen, bleiben Sie wahrscheinlich besser im Bereich von 60 bis 65 Dezibel. Bei dieser Lautstärke können Sie den Pegel

der Subwoofer etwa 6 bis 10 Dezibel lauter einstellen als die restlichen Lautsprecher (gemessen mit langsamer Reaktionszeit und C-Bewertung). Den genauen Wert sollten Sie mit verschiedenen Musikstücken abstimmen, die Ihnen gut bekannt sind.

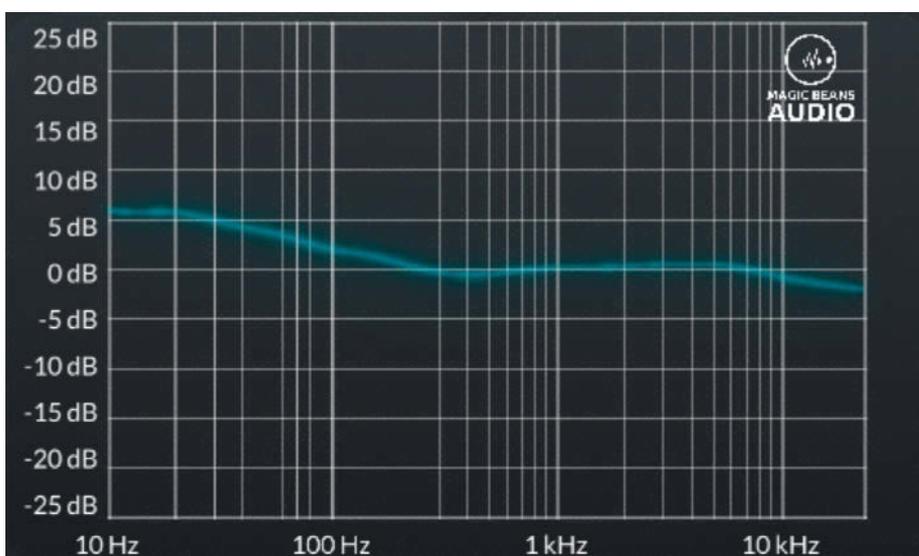
Verstärker von Yamaha passen mit ihrer Loudness-Funktion den relativen Basspegel recht gut auf die eingestellte Gesamtlautstärke an. Audyssey übertreibt dabei gerne, weshalb Sie den dafür zuständigen Dynamic EQ in ihrem AV-Verstärker entweder abschalten oder nur mit dem höchsten Referenzpegel-Offset von 15 Dezibel betreiben sollten. Weitere Zusatzfunktionen von Audyssey wie Cinema-EQ oder LFC sollten Sie ebenfalls abschalten, da sie speziell bei der Musikwiedergabe zu Überreaktionen neigen und den Klang beeinträchtigen. Dirac kann den Basspegel nicht dynamisch anpassen, dort können Sie aber verschiedene Profile für hohe und niedrige Lautstärken in Ihrem Verstärker speichern.

Die Übergangsfrequenz vom Subwoofer zu den übrigen Lautsprechern stellen Sie so ein, dass ein möglichst gleichmäßiger Übergang entsteht und die Pegelausschläge der Raummoden ausgeglichen werden. Schauen Sie sich dazu die Verlaufskurven der Lautsprechermessungen in Ihrer Raumkorrektur-Software an. 80 Hz sind ein guter Ausgangswert, den Sie nach unten und oben um 20 Hz verschieben können, abhängig von Ihren Lautsprechern und Ihrem Raum.

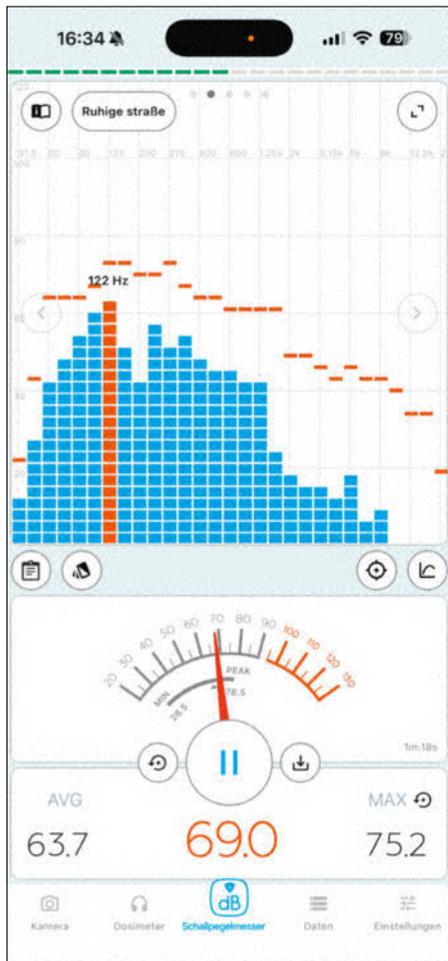
Feinschliff

In den folgenden Tagen und Wochen probieren Sie verschiedene, Ihnen bekannte Referenztitel aus und nehmen den letzten Feinschliff vor. Zum Test Ihrer Anlage können wir folgende UHD-Blu-rays mit Atmos-Tonspuren besonders empfehlen: „Blade Runner“, „Im Westen nichts Neues (2022)“, „Ready Player One“, „Mad Max Fury Road“ und „Ghost in the Shell (2017)“.

Bei den Musikalben in Dolby Atmos auf Blu-ray Disc zählen wir neben dem bereits vergriffenen „3-D Katalog“ von Kraftwerk, „Touch“ von Yello, „Abbey Road“ von den Beatles und die 10. Sinfonie von Shostakovich, gespielt von den Berliner Philharmonikern unter Kirill Petrenko, zu den Referenzscheiben. Bei Spielen mit 3D-Ton und Dolby-Atmos-Ausgabe sind es auf der Playstation 5 die Titel „Alan



Die zweite True-Target-Kurve für einen mit Absorbieren ausgestatteten Raum verläuft deutlich flacher. Durch den kürzeren Abstand zu den Lautsprechern ist der Abfall im Hochtonbereich deutlich geringer.



Mit der App Decibel-X Pro können Sie per Smartphone prüfen, ob alle Lautsprecher, insbesondere die Subwoofer, den richtigen Pegel liefern.

Wake 2“, „Cyberpunk 2077“ sowie „Dragon Age: The Veilguard“.

Mit manuellen Justierungen konnten wir gegenüber den Messautomatiken dramatische Verbesserungen erzielen. Doch das braucht Zeit und Fingerspitzengefühl. Nehmen Sie stets nur einzelne kleine Änderungen vor, um die genauen Auswirkungen zu verstehen und im Zweifel wieder rückgängig machen zu können.

(hag@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Vincent Verdult, *Optimal Audio and Video Reproduction at Home*, Routledge 2019
- [2] Hartmut Gieselmann, *Basskontrolle, Heimkino-Sound optimieren mit Subwoofer-Arrays und Raumkorrektur-Software*, c't 7/2024, S. 134
- [3] Floyd E. Toole, *Sound Reproduction, The Acoustics and Psychoacoustics of Loudspeakers and Rooms*, Third Edition, Routledge 2016

Hilfsmittel: ct.de/ytky

Endlich *gute* Fotos!



- 📷 Kamera verstehen und beherrschen
- 📷 Objektive gekonnt einsetzen
- 📷 Aufnahmen perfekt belichten
- 📷 Tipps für optimale Fotos von 6 Profifotografen

JETZT LOSLEGEN!



[shop.heise.de/
ct-fotoeinsteiger25](https://shop.heise.de/ct-fotoeinsteiger25)



Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 € (innerhalb Deutschlands). Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

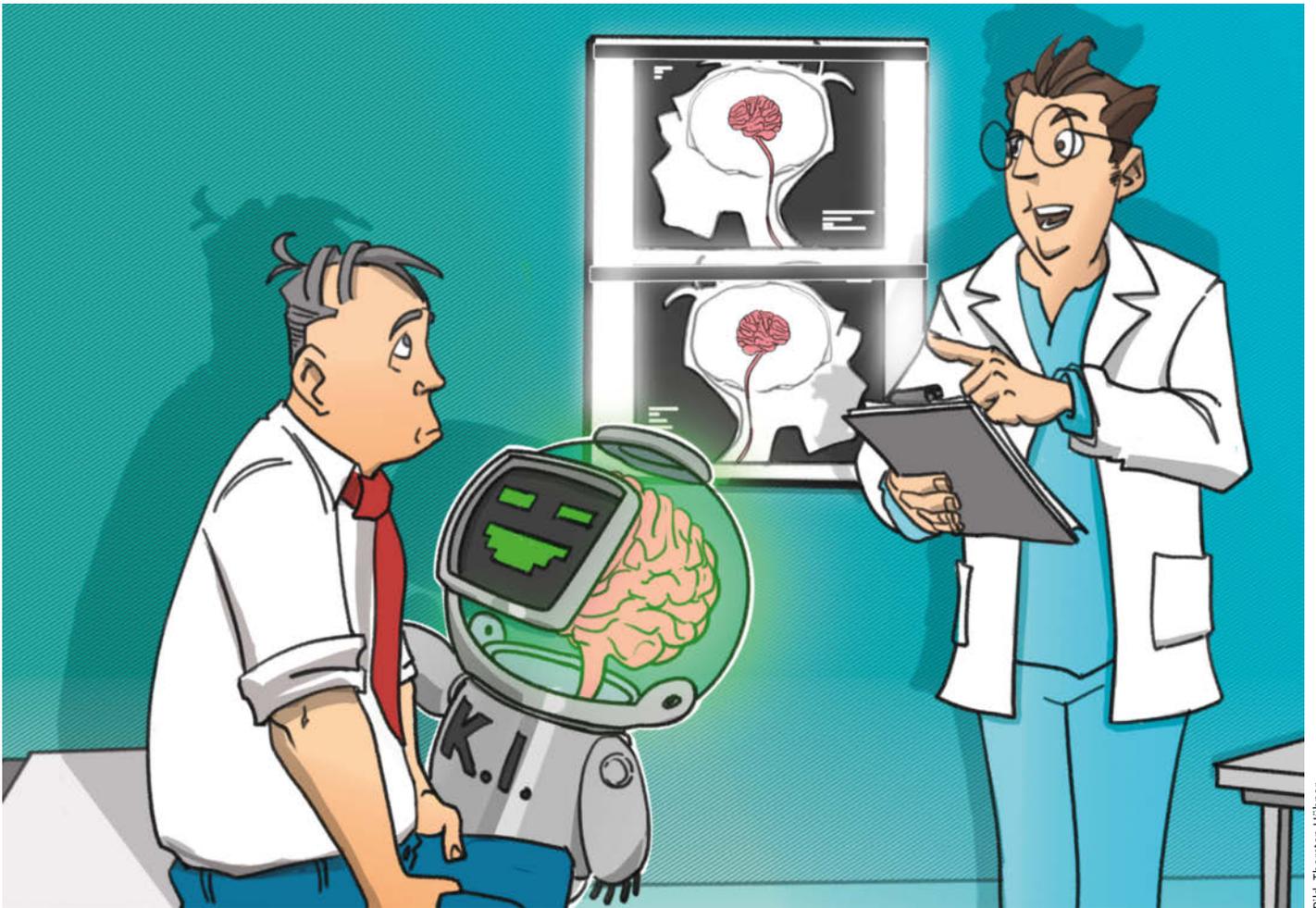


Bild: Thorsten Hübner

Schlaue KI – schrumpfendes Hirn

Bei KI-Nutzern kann die geistige Leistungsfähigkeit verkümmern

Forscher warnen: Wer sich blind auf generative künstliche Intelligenz verlässt, der verlernt, kritisch zu denken. In Studien schätzen Menschen, die häufig ChatGPT & Co. nutzen, ihre Fähigkeiten bereits als abnehmend ein. Doch letztlich entscheidet die Persönlichkeit des Anwenders.

Von Arne Grävemeyer

Die Zeichen mehren sich, dass Wissensarbeiter, die sich zunehmend auf generative künstliche Intelligenz verlassen, dadurch ihre kognitiven Fähigkeiten auf Dauer spürbar schwächen. Ob in der Forschung, im Management oder im Marketing: Wer sich Texte von der KI übersetzen lässt, statt des Inhalts eines PDF-Dokuments lieber eine ad hoc generierte Zusammenfassung liest oder sich sogar den Inhalt einfach von einem Chatbot erklären lässt, der fordert seine geistigen Fähigkeiten anders und weniger als bei vergleichbaren Arbeiten ohne KI-Tools. In der Softwareentwicklung liefern KI-Tools ausformulierte Programmuster und im Mar-

keting griffige Claims. Softwareentwickler und Autoren sitzen nicht mehr vor dem sprichwörtlichen weißen Blatt und hoffen auf eigene Ideen, sondern sie bearbeiten immer häufiger die künstlich erzeugten Vorschläge einer KI.

Diese Vorgehensweise steigert oft die Produktivität, das mühevoll kritische Denken allerdings verschiebt sich zumindest, etwa auf die Kontrolle der Ergebnisse. Mit der Zeit steige nicht nur die Abhängigkeit von KI-Tools, sondern gleichzeitig nehme auch die Fähigkeit zu kritischem Denken ab, wie Forscher von Microsoft Research an der University of Cambridge in Großbritannien gemein-

sam mit Kollegen der Carnegie Mellon University in Pennsylvania in einer Arbeit belegen. Ihr Paper veröffentlichten sie zur CHI-Konferenz (Computer-Human Interaction) ganz aktuell Ende April in Yokohama. 319 Wissensarbeiter schildern darin Hunderte Einsatzbeispiele für generative KI in ihrem Arbeitsalltag und dokumentieren mit ihrer Selbsteinschätzung, dass dabei der kognitive Aufwand für sie sinkt. Laut diesen Daten nimmt gleichzeitig das kritische Denken in Form des faktengestützten Nachdenkens ab. (Alle erwähnten Studien haben wir unter ct.de/ytwt verlinkt.)

Eine ähnliche Studie, von Michael Gerlich an der Swiss Business School (SBS) in Zürich, warnt ebenfalls, dass die Nutzer von KI-Tools gefährdet sind, tiefe Gedankengänge zu verlieren. Frühere Studien belegten bereits, dass Menschen, die sich regelmäßig auf ihr Navigationssystem verlassen, eine schlechtere geografische Orientierung aufweisen als andere, die ohne Navigationshilfe oder nach Karte unterwegs sind.

Falscher KI-Einsatz macht dumm

Sowohl in der Theorie als auch durch empirische Wahrnehmung ist bekannt, dass der falsche Einsatz von KI den Menschen dümmer macht. Klaus Zierer, Ordinarius für Schulpädagogik an der Universität Augsburg, drückt es so aus: „Der Taschenrechner steigert nicht die Rechenfähigkeit und ChatGPT steigert nicht die Sprachkompetenz – im Gegenteil. Übrigens steigert auch die Lehrer-KI fobizz nicht die Diagnosekompetenz und auch nicht die Planungskompetenz.“ Das sei auch gar nicht überraschend, weil das menschliche Gehirn nun einmal Herausforderungen braucht, um sich zu entwickeln. „Im Sportunterricht benutzen wir ja auch nicht die Rolltreppe!“

Kritisches Denken ist anstrengend; die Microsoft-Forscher klassifizieren es in sechs Aufgaben: Wissen (Ideen aufrufen), Verstehen (Ideen erklären können), Anwenden (Ideen in der Praxis umsetzen), Analyse (Ideen in Beziehung setzen), Synthese (Ideen kombinieren) und Bewerten (Ideen beurteilen). Für ihre Studie befragten sie 319 Wissensarbeiter aus unterschiedlichen Arbeitsbereichen, die nach eigener Angabe mindestens einmal in der Woche generative KI wie ChatGPT oder Copilot nutzen. Vor der Befragung erklärten die Forscher ihnen die Definition von kritischem Denken und nannten ihnen

dazu konkrete Beispieltätigkeiten aus der Praxis, etwa eine E-Mail im passenden Tonfall zu schreiben, Software zu programmieren und Codeschnipsel zu überprüfen oder Vorurteile in einem Datensatz zu erkennen.

Die Teilnehmer schilderten insgesamt 936 reale Beispiele für den KI-Einsatz in ihrem Arbeitsalltag. Dabei stellte sich heraus, dass die neuen Tools bereits die Arbeitsweisen deutlich verändert haben. Die Wissensarbeiter beschrieben, dass sie kritisches Denken in erster Linie anwenden, um die Qualität ihrer Arbeit sicherzustellen, beispielsweise durch die Überprüfung von Ergebnissen anhand externer Quellen. Demnach verlagert sich der Aufwand für kritisches Denken: Anstatt Informationen zu beschaffen, muss der Mensch diese überprüfen; anstatt Probleme zu lösen, beschäftigen sich die Befragten damit, KI-Antworten zu integrieren. Ganz generell müssen sie Aufgaben weniger ausführen als vielmehr verwalten.

Ob der Einzelne dabei weniger kritisch denkt, hängt zu einem wesentlichen Teil von der persönlichen Einstellung ab. Die Forscher fanden heraus, dass diejenigen, die ein hohes Vertrauen in die Ergebnisse ihrer KI-Tools angaben, deutlich weniger Gehirnschmalz in die Überprüfung steckten. Ein zweiter Faktor ist das aufgabenspezifische Selbstvertrauen. Wer sich selbst viel zutraut, kontrolliert die KI-Ergebnisse genauer; wer sich weniger zutraut, überprüft auch nicht so gewissenhaft.

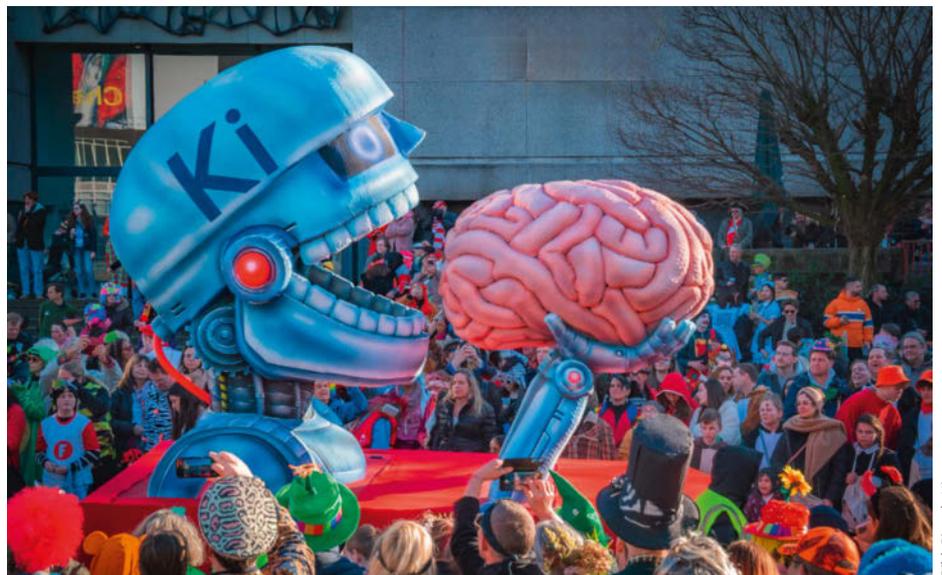
ct kompakt

- Studien belegen, dass KI-Tools die Arbeitsweise von Wissensarbeitern deutlich verändern.
- Die neuen Tools erhöhen die Arbeitseffizienz, können aber das kritische Denken schwächen, wenn der Anwender ihnen blind vertraut.
- Wie bei Navigationssystemen, die die Orientierungsfähigkeit verringern können, steigt die Gefahr, je mehr und je häufiger man generative KI nutzt.

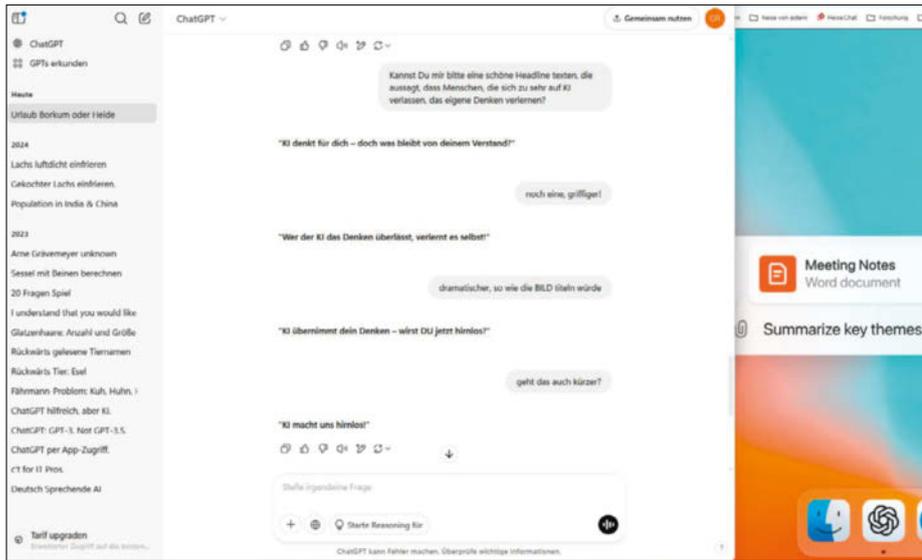
Darüber hinaus machten die Forscher in den Antworten noch zahlreiche Hindernisse aus, die die Reflexion über KI-generierte Ergebnisse hemmen. Manche Nutzer sind sich der Gefahren durch den KI-Einsatz nicht bewusst, fühlen sich durch Zeitdruck getrieben oder haben Schwierigkeiten, KI-Resultate in unbekanntem Bereichen zu kontrollieren und zu verbessern. Vor allem bei Routinearbeiten oder Aufgaben mit geringem Risiko neigen sie dazu, sich einfach auf die automatisch generierten Ergebnisse zu verlassen.

Je mehr KI genutzt wird, desto größer die Gefahr

In der Gerlich-Studie der SBS spricht der Autor von einer „kognitiven Abhängigkeit“, die aus der wahrgenommenen Zu-



Schadet es dem Gehirn, KI zu nutzen? Im Kölner Karneval warnt dieser Umzugs-wagen von Jacques Tilly vor dem arglosen Umgang mit künstlicher Intelligenz.



ChatGPT gibt sich den Anschein, immer Rat zu wissen, liefert Ideen und fasst Texte zusammen. Doch man sollte sich nicht schlicht auf die künstlich generierten Vorschläge verlassen.

verlässigkeit von KI-Tools und der Bequemlichkeit der Anwender resultiert. Die Technik schaffe „kognitive Abkürzungen“, die „den Bedarf an tiefem Denken verringern“.

Gerlich untersuchte Umfragen und Tiefeninterviews mit 666 Teilnehmern aus verschiedenen Altersgruppen und mit unterschiedlichem Bildungshintergrund. Seine Ergebnisse zeigen eine deutliche Beziehung zwischen der häufigen Nutzung von KI-Tools und einer abnehmenden Fähigkeit zum kritischen Denken. Jüngere Teilnehmer wiesen eine höhere Abhängigkeit von KI-Tools und niedrigere Werte für kritisches Denken auf als ältere Teilnehmer. Nach dieser Studie spielt die kogni-

ve Entlastung eine entscheidende Rolle. Eine vermehrte Nutzung von KI-Tools geht demnach mit einer geringeren Fähigkeit zum kritischen Denken einher.

„Kritisches Denken ist als eine zentrale kognitive Fähigkeit definiert“, hebt Gerlich gegenüber c't hervor. Sie gilt als Voraussetzung, um rational zu analysieren, Argumente zu bewerten und Inkonsistenzen im Denken zu erkennen. „Diese menschliche Fähigkeit gilt als essenziell für eine fundierte Entscheidungsfindung, für Problemlösung und die Beurteilung von Informationen.“

Beide Studien, sowohl die von Microsoft Research als auch die von den Forschern um Gerlich am SBS, basieren auf

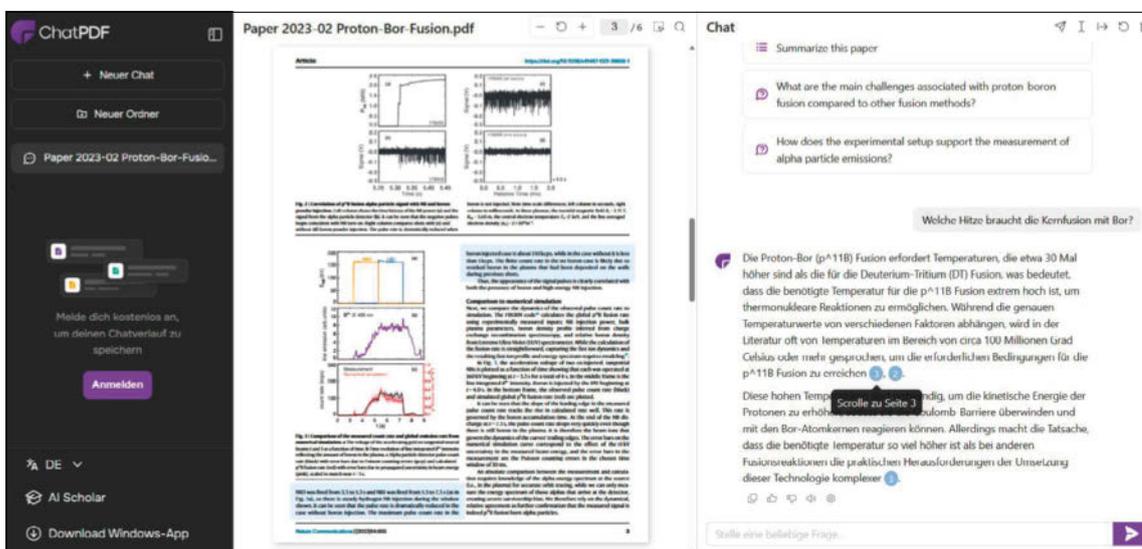
Selbsteinschätzungen der Teilnehmer. So wurden die Teilnehmer der SBS-Studie beispielsweise gefragt, ob und wie sie Quellen überprüfen oder KI-generierte Informationen kritisch bewerten. Es wurden allerdings nicht direkt ihre tatsächlichen Fähigkeiten des kritischen Denkens geprüft, etwa durch kognitive Tests oder durch Szenario-basierte Aufgaben. Stattdessen wurde nur ihre subjektive Wahrnehmung des eigenen kritischen Denkens erhoben.

Soziale Erwünschtheitseffekte können die Ergebnisse eines solchen Vorgehens beeinflussen, da Teilnehmer oft dazu tendieren, ihre Fähigkeiten im kritischen Denken positiver darzustellen, als sie tatsächlich sind. Die Ergebnisse der SBS-Studie zeigen jedoch eine stark negative Tendenz in den Selbsteinschätzungen. „Das könnte darauf hindeuten, dass die tatsächlichen kritischen Denkfähigkeiten der Teilnehmer sogar noch niedriger sein könnten als berichtet“, betont Gerlich. Ebenso könnte man bezüglich des Microsoft-Papers argumentieren.

Orientierungslos durch Navis

Bereits 2020 untersuchten zwei Forscherinnen an der McGill University in Montreal, wie es sich auswirkt, wenn sich Autofahrer dauerhaft durch GPS-Navigation leiten lassen. Die Studie belegte, dass bei den Teilnehmern „mit größerer Lebenszeit-GPS-Erfahrung ein schlechteres räumliches Gedächtnis“ einhergeht, wenn sie gezwungen sind, ohne Unterstützung selbst zu navigieren.

In einer Folgeuntersuchung testeten die Forscher 13 Teilnehmer drei Jahre nach der ersten Untersuchung erneut. Sie



ChatPDF liest Papers vollständig und beantwortet Fragen sogar auf Deutsch, in diesem Fall zu einem Konzept, wie man Energie aus Kernfusion gewinnt.

beobachteten bei den Probanden, die viel nach Navi fahren, seit dem ersten Test einen noch steileren Rückgang des räumlichen Gedächtnisses. In der Befragung gaben diese Testpersonen an, dass sie GPS nicht etwa einsetzen, weil sie das Gefühl hätten, einen schlechten Orientierungssinn zu haben. Ausschlaggebend waren andere Gründe, beispielsweise, dass das Navi auch gleich auf aktuelle Verkehrsstörungen hinweist. Demnach gehen die Forscher davon aus, dass eine intensive GPS-Nutzung die Verschlechterung des räumlichen Gedächtnisses verursacht und nicht andersherum Menschen mit ausgesprochen schwacher Orientierung das Gros der GPS-Nutzer ausmachen. Die Verschlechterung des räumlichen Gedächtnisses ist nach dieser Untersuchung dosisabhängig: Je mehr Navigationshilfe in Anspruch genommen wird, desto größer ist der Effekt auf die Orientierungsfähigkeit.

Die Argumentation der kanadischen Forscherinnen ist ganz ähnlich zu der, die beim Rückgang des kritischen Denkens nahelegt: Wer nach Navi fährt, der muss die Umgebung nicht aufmerksam beobachten und nicht vor dem geistigen Auge seine Position verfolgen. Er strengt sein Gehirn weniger an. Der Fahrer verlernt die Landmarkenkodierung, er trainiert sein räumliches Gedächtnis nicht und auch nicht die kognitive Kartierung. Er fällt mit der Zeit deutlich hinter andere zurück, die ihr räumliches Denken regelmäßig fördern.

Ich hab's gewusst, oder?

Schon früher haben Forscher vor dem Google-Effekt gewarnt, der sogenannten digitalen Amnesie. Darunter versteht man die Tendenz, Fakten zu vergessen, die man mit einer einfachen Internetsuche schnell nachschlagen kann. Überraschenderweise zeigten Versuche des Psychologen Adrian Ward an der University of Texas in Austin 2021, dass Probanden dazu neigen, ihr eigenes Sachwissen zu überschätzen. Probanden, die Wissensfragen beantworten sollten und dabei auch googeln durften, zeigten sich anschließend nicht nur selbstbewusst bezüglich ihrer Recherchekompetenz. Gegenüber einer Vergleichsgruppe, die Fragen ohne Webzugang beantworten sollte, hatten sie auch ein hohes Selbstbewusstsein bezüglich ihrer Denk- und Merkfähigkeit. Zudem überschätzten sie ihre Befragungsergebnisse ohne die Hilfe einer Suchmaschine.

Moderne Infotainmentsysteme machen es dem Fahrer bequem. Studien waren aber längst, dass das Fahren nach Navigationsanweisungen die eigene geografische Orientierung verkümmern lässt.



Bild: Volkswagen

Ward erklärt das in seiner Arbeit so: Die Onlinesuche funktioniert oft schneller, als das eigene Gedächtnis zu durchforsten. Die Rechercheergebnisse fügen sich häufig nahtlos in die internen Gedanken ein, ohne ihre Herkunft hervorzuheben. Häufig können die Menschen nicht mehr unterscheiden, ob sie ihr Wissen nun aus dem Internet haben oder ob sie sich doch gerade selbst erinnerten oder wenigstens noch erinnert hätten, wenn Google nicht so schnell geantwortet hätte.

Nicht das Denken auslagern!

„Der Rückgang kognitiver Fähigkeiten durch die zunehmende Nutzung von KI-Tools kann dann problematisch werden, wenn die Menschen wesentliche Denkprozesse an die Technik auslagern und sich passiv auf die generierten Inhalte verlassen“, warnt Gerlich. Um diesen negativen Effekt zu vermeiden, sollte man stattdessen den eigenen Denkprozess pflegen und die KI lediglich als unterstützendes Werkzeug nutzen. Er rät dazu, den Denkprozess stufenweise klar zu strukturieren: Zunächst sollte der Mensch eigenständig über eine Fragestellung oder ein Problem nachdenken, Hypothesen formulieren und sein vorhandenes Wissen aktiv nutzen. Erst danach sollte er KI gezielt als Unterstützung nutzen, etwa um nach relevanten Dokumenten zu suchen, Informationen zu strukturieren oder große Datenmengen zu analysieren. In einer weiteren Stufe könnte er dann mit der KI interagieren, um das eigene Denken durch Diskussion und kritische Reflexion zu erweitern.

Wichtig ist Gerlich, dass der Mensch bei diesem Vorgehen stets die Kontrolle über den Denkprozess behält, indem er die von der KI generierten Inhalte über-

prüft, bewertet und kritisch hinterfragt. Die Hoffnung: Ein solcher vom Menschen geführter Denkprozess, bei dem er die KI als Hilfsmittel nutzt, die Ergebnisse reflektiert und weiterentwickelt, könnte nicht nur einen kognitiven Abbau verhindern, sondern sogar das kritische Denken fördern, anstatt es durch passive KI-Nutzung zu schwächen. Gerlich glaubt: „Wer KI als Werkzeug zur Erweiterung und nicht als Ersatz für eigenes Denken betrachtet, der kann langfristig sogar seine kritische Denkfähigkeit steigern.“

Die Microsoft-Forscher weisen noch auf einen anderen Aspekt hin. Sie legen nahe, dass generative KI-Tools so konzipiert werden sollten, dass sie das kritische Denken unterstützen, indem sie das Bewusstsein, die Motivation und Fähigkeiten der Wissensarbeiter ansprechen.

Klaus Zierer weist seine Studenten in Augsburg gezielt auf die Tücken von KI-Tools hin, auf Halluzinationen zum Beispiel oder auf Bias. „Noch wichtiger aber: Der Mensch muss selbst denken, um Verantwortung übernehmen zu können.“ KI lasse sich nur sinnvoll einsetzen, wenn man die Kompetenz besitzt, die richtigen Fragen zu stellen und einzuschätzen, ob die Antwort überhaupt sinnvoll ist. Als Nutzer dürfe man nicht den einfachen Weg wählen, sondern müsse den herausfordernden Weg gehen.

Für die Schulen fordert Zierer eine Regulierung, insbesondere in der Phase, in der die Schüler das Denken lernen. Daraus folgt für ihn: Keine naive und unbegleitete KI-Nutzung bis zum 16. Lebensjahr, denn „der unreflektierte KI-Einsatz killt das Denken und verhindert das Lernen“.

(agr@ct.de) **ct**

Die zitierten Studien: ct.de/ytwt



Bild: KI, Collage c't

Quantensicher per Mausklick

Kryptoagilität und Post-Quanten-Kryptografie

In vielen kryptografischen Systemen kann man Verfahren umstellen. Dieses als Kryptoagilität bekannte Prinzip wird durch die aufkommende Post-Quanten-Kryptografie immer wichtiger – jedoch auch schwieriger umzusetzen, denn die neuen Algorithmen stellen hohe Anforderungen.

Von Klaus Schmech

Als vor über 30 Jahren mit PEM (Privacy Enhanced Mail) der erste Standard für verschlüsselte Daten im Internet erschien, hatten ihn die Entwickler bereits mit einer Besonderheit ausgestattet: Die kryptografischen Verfahren für Schlüsselaustausch, Verschlüsselung, Signatur und Hash-Generierung waren als Parameter realisiert und ließen sich leicht ändern. Wer also PEM implementierte und beispielsweise dem damals gängigen Verschlüsselungsalgorithmus DES (Data Encryption Standard) nicht traute, konnte relativ einfach zu einer anderen Chiffre wechseln.

Das Prinzip machte Schule. Viele Kryptoprotokolle für das Internet wie

IPsec, IKE, SSL, S-HTTP, S/MIME, OpenPGP, TLS (siehe Bild auf Seite 129) und SSH legten sich ebenfalls nicht auf bestimmte Kryptoverfahren fest, sondern definierten allenfalls einen Satz von Pflichtalgorithmen. Neue Entwicklungen, wie die Kryptografie auf Basis elliptischer Kurven (ECC), konnten dadurch im Nachhinein in ein bestehendes Protokoll eingegliedert werden, ohne dass man dieses im Kern ändern musste. Protokolle wie TLS, die eine sichere Verbindung aufbauen, unterstützen außerdem die Möglichkeit, dass sich die Kommunikationspartner auf die zu verwendenden Kryptoverfahren einigen.

Die Idee, Kryptoverfahren austausch- und verhandelbar zu machen, ist also nicht neu. Erst in den letzten Jahren hat sich ein Name für dieses Prinzip durchgesetzt: Kryptoagilität. Eine Kryptoimplementierung gilt als kryptoagil, wenn sie quasi auf Knopfdruck die Umstellung von einem Kryptoverfahren auf das andere erlaubt. Außerdem sollte es für die Entwickler ohne größeren Aufwand möglich sein, zusätzliche Kryptoalgorithmen in eine bestehende Lösung zu integrieren.

Kryptoagilität ist in den letzten Jahren zu einem Hype geworden. Der Grund dafür ist die boomende Forschung an Quantencomputern, mit denen sich – wenn auch bisher nur in der Theorie – einige derzeit weit verbreitete Kryptoverfahren knacken lassen. Symmetrische Verfahren wie der Advanced Encryption Standard (AES) sind dabei das kleinere Problem, denn sie gelten bei ausreichend langen Schlüsseln als quantensicher. Anders verhält es sich bei nahezu allen asymmetrischen Kryptoverfahren, die derzeit in der Praxis eine Rolle spielen, darunter RSA, DSA, Diffie-Hellman und Algorithmen auf Basis elliptischer Kurven (ECC). Quantencomputer könnten diese brechen.

Wie lange noch bis zum Q-Day?

Die bisher realisierbaren Quantenrechner sind noch viel zu schwach, um den genannten Algorithmen in der Praxis gefährlich zu werden. Wenn die entsprechende Technik jedoch weiterhin Fort-

schritte macht, könnte sich dies ändern. „Q-Day“ wird der Tag genannt, von dem an Quantencomputer in der Lage sein werden, heutzutage übliche Kryptoverfahren zu brechen. Wann der Q-Day eintreten wird, weiß zwar niemand, doch eines ist klar: Wenn es so weit ist, droht eine Katastrophe.

Da vom Webbrowser über Mailclients bis zum Smartphone kaum eine IT-Komponente ohne RSA, DSA, Diffie-Hellman oder ECC – in diesem Zusammenhang meist als traditionelle Verfahren bezeichnet – auskommt, wäre Hackern mit einem Quantencomputer Tür und Tor geöffnet. Um ein solches Szenario zu vermeiden, drängen nicht zuletzt staatliche Behörden wie das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) auf eine Umstellung auf quantensichere Methoden – also auf Post-Quanten-Kryptografie – innerhalb etwa eines Jahrzehnts. Dies ist zwar eine pessimistische Einschätzung, allerdings müssen Daten, die einige Jahre lang geschützt sein sollen, ausreichend lange vor dem Q-Day quantensicher verschlüsselt werden. Ansonsten kann ein Angreifer verschlüsselte Informationen sammeln, um sie nach dem Q-Day mit Quantenhilfe zu dechiffrieren (store now, decrypt later).

Immerhin: Nachdem Kryptologen in aller Welt in den letzten Jahren intensiv geforscht haben, gibt es inzwischen eine ganze Reihe von Post-Quanten-Verfahren, die bereitstehen (siehe Kasten auf Seite 130). Mit ML-KEM, ML-DSA und SLH-

ct kompakt

- Viele Protokolle wie HTTP, TLS oder SSH erlauben, die zugrundeliegende Verschlüsselung auszuwechseln.
- Diese Eigenschaft nennt man Kryptoagilität; sie ist mit dem Aufkommen von quantencomputerresistenten Verfahren zum Modethema geworden.
- Solche Post-Quanten-Verfahren benötigen meist mehr Speicherplatz und Rechenkapazität als herkömmliche klassische Systeme und lassen sich daher nicht so leicht kryptoagil austauschen.

DSA hat die US-Behörde National Institute of Standards and Technology (NIST) bisher drei Verfahren standardisiert [1], weitere sollen folgen.

Eine wichtige Aufgabe für die nächsten Jahre lautet daher, diese Algorithmen anstelle von RSA und Co. in die Praxis zu bringen. Die Kryptoagilität wird dabei eine wichtige Rolle spielen. Denn zum einen sollte es für den Nutzer möglichst einfach sein, von einem traditionellen auf ein Post-Quanten-Verfahren (oder zwecks Abwärtskompatibilität in die andere Richtung) umzuschalten. Zum anderen wird es zweifellos notwendig sein, zwischen unterschiedlichen Post-Quanten-Algorithm-

Das Protokoll TLS erlaubt die Nutzung unterschiedlicher asymmetrischer Kryptoalgorithmen und ist dadurch kryptoagil. Die Liste der unterstützten Verfahren umfasst 400 Verfahren, den Anfang sehen Sie im Bild.

Value	Description	DTLS-OK	Recommended	Reference
0x00,0x00	TLS_NULL_WITH_NULL_NULL	Y	N	[RFC5246]
0x00,0x01	TLS_RSA_WITH_NULL_MD5	Y	N	[RFC5246]
0x00,0x02	TLS_RSA_WITH_NULL_SHA	Y	N	[RFC5246]
0x00,0x03	TLS_RSA_EXPORT_WITH_RC4_40_MD5	N	N	[RFC4346][RFC6347]
0x00,0x04	TLS_RSA_WITH_RC4_128_MD5	N	N	[RFC5246][RFC6347]
0x00,0x05	TLS_RSA_WITH_RC4_128_SHA	N	N	[RFC5246][RFC6347]
0x00,0x06	TLS_RSA_EXPORT_WITH_RC2_CBC_40_MD5	Y	N	[RFC4346]
0x00,0x07	TLS_RSA_WITH_IDEA_CBC_SHA	Y	N	[RFC8996]
0x00,0x08	TLS_RSA_EXPORT_WITH_DES40_CBC_SHA	Y	N	[RFC4346]
0x00,0x09	TLS_RSA_WITH_DES_CBC_SHA	Y	N	[RFC8996]
0x00,0x0A	TLS_RSA_WITH_3DES_EDE_CBC_SHA	Y	N	[RFC5246]
0x00,0x0B	TLS_DH_DSS_EXPORT_WITH_DES40_CBC_SHA	Y	N	[RFC4346]
0x00,0x0C	TLS_DH_DSS_WITH_DES_CBC_SHA	Y	N	[RFC8996]
0x00,0x0D	TLS_DH_DSS_WITH_3DES_EDE_CBC_SHA	Y	N	[RFC5246]
0x00,0x0E	TLS_DH_RSA_EXPORT_WITH_DES40_CBC_SHA	Y	N	[RFC4346]
0x00,0x0F	TLS_DH_RSA_WITH_DES_CBC_SHA	Y	N	[RFC8996]
0x00,0x10	TLS_DH_RSA_WITH_3DES_EDE_CBC_SHA	Y	N	[RFC5246]
0x00,0x11	TLS_DHE_DSS_EXPORT_WITH_DES40_CBC_SHA	Y	N	[RFC4346]
0x00,0x12	TLS_DHE_DSS_WITH_DES_CBC_SHA	Y	N	[RFC8996]
0x00,0x13	TLS_DHE_DSS_WITH_3DES_EDE_CBC_SHA	Y	N	[RFC5246]
0x00,0x14	TLS_DHE_RSA_EXPORT_WITH_DES40_CBC_SHA	Y	N	[RFC4346]
0x00,0x15	TLS_DHE_RSA_WITH_DES_CBC_SHA	Y	N	[RFC8996]
0x00,0x16	TLS_DHE_RSA_WITH_3DES_EDE_CBC_SHA	Y	N	[RFC5246]

men zu wechseln. Das liegt daran, dass die mathematischen Prinzipien, auf denen sie basieren (siehe Kasten unten) deutlich vielfältiger sind als bei den bisher eingesetzten Algorithmen, die fast alle auf der Primzahlfaktorisation oder dem diskreten Logarithmus beruhen. Diese Vielfalt

führt zu unterschiedlichen Schlüssellängen, Signaturlängen, Geheimtextlängen und Performanzen.

Performanzprobleme

Ein Problem wird dabei besonders deutlich: Die aktuell diskutierten Post-Quan-

ten-Algorithmen sind allesamt Ressourcenfresser. Dies gilt beispielsweise für die öffentlichen Schlüssel: Während sich RSA typischerweise mit 2048 Bit begnügt, können es bei ML-KEM, ML-DSA und anderen quantensicheren Methoden auch 10 Kilobit und mehr sein. Das (bisher noch

Die wichtigsten Post-Quanten-Verfahren

Post-Quanten-Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass sie nach aktuellem Stand der Forschung nicht durch einen Quantencomputer geknackt werden können. Da symmetrische Kryptoverfahren bei ausreichender Schlüssellänge generell quantensicher sind, bezeichnet man meist nur asymmetrische Algorithmen als Post-Quanten-Verfahren – also digitale Signaturverfahren und Methoden für den Schlüsselaustausch.

Inzwischen gibt es eine ganze Reihe von Post-Quanten-Verfahren, die als praxistauglich gelten. Sie benötigen mehr Ressourcen als traditionelle Algorithmen. Die US-Behörde NIST hat bisher drei Verfahren standardisiert, nachdem sie in einem groß angelegten Wettbewerb überzeugen konnten [1]. Dazu gehört ML-KEM (auch bekannt als CRYSTALS-Kyber), ein quantensicheres Schlüsselaustauschverfahren, das den RSA-Schlüsselaustausch und Diffie-Hellman ersetzen könnte. Es basiert auf mathematischen Gittern. Hinzu kommt das Signaturverfahren ML-DSA (bekannt auch als CRYSTALS-Dilithium), das vor allem an die Stelle des RSA-Signaturalgorithmus treten soll. Auch ML-DSA nutzt mathematische Gitter als Grundlage. Das dritte NIST-standardisierte Post-Quanten-Signaturverfahren ist SLH-DSA (SPHINCS+), das auf kryptografischen Hashfunktionen beruht. Es gilt als besonders sicher, ist allerdings etwas unhandlich.

Als viertes Verfahren wird das NIST voraussichtlich den Signaturalgorithmus FALCON unter dem Namen FN-DSA standardisieren. FALCON, das im besagten Wettbewerb ebenfalls gut abgeschnitten hat, stützt sich wie ML-DSA auf mathematische Gitter, hat im Vergleich zu diesem jedoch nicht ganz so günstige Benchmarkwerte. Eine NIST-Standardisierung könnte auch auf die Schlüsselaustauschverfahren BIKE, Classic McEliece und HQC zukommen, die im Wettbewerb



Post-Quanten-Verfahren benötigen meist längere Schlüssel und produzieren längere Geheimtexte beziehungsweise längere Signaturen als traditionelle Algorithmen. Dies ist eine erhebliche Herausforderung für die Kryptoagilität.

ebenfalls einen positiven Eindruck hinterließen. Während die meisten anderen Post-Quanten-Verfahren vergleichsweise neue Entwicklungen sind, gehört Classic McEliece zu den ältesten asymmetrischen Kryptoalgorithmen überhaupt. Die exorbitante Schlüssellänge, die ein MByte überschreiten kann, hat bisher verhindert, dass sich dieser als sehr sicher geltende Algorithmus durchsetzen konnte.

Da das NIST gerne noch den einen oder anderen zusätzlichen Signaturalgorithmus standardisieren würde, sich im besagten Wettbewerb jedoch keiner besonders positiv hervortat, startete die Behörde einen weiteren Wettbewerb. An diesem dürfen nur Signaturverfahren teilnehmen – 14 Algorithmen sind noch im Rennen.

Derweil hat auch die für Internetstandards zuständige Organisation IETF

zwei Spezifikationen von Post-Quanten-Verfahren veröffentlicht: die Signaturverfahren XMSS (RFC 8391) und Leighton-Micali (RFC 8554). Beide Algorithmen verwenden kryptografische Hashfunktionen, funktionieren ähnlich, sind aber nicht kompatibel. Im Gegensatz zum erwähnten Verfahren SPHINCS+, das ebenfalls auf kryptografischen Hashfunktionen beruht, sind XMSS und Leighton-Micali zustandsbehaftet, da ein Schlüssel jeweils nur einmal verwendet werden darf. Verfahren dieser Art waren für die NIST-Wettbewerbe nicht zugelassen.

Wie alle hashgestützten Verfahren gelten auch XMSS und Leighton-Micali als sehr sicher, aufgrund ungünstiger Benchmarkwerte aber auch als unhandlich. Sie werden daher voraussichtlich weniger für Signaturen im Alltag, sondern als Sicherheitsanker – beispielsweise für signierte Firmware-Updates – eingesetzt werden.

nicht standardisierte) McEliece-Verfahren benötigt sogar Schlüssel mit über 10 Megabit. Auch bei der Länge des privaten Schlüssels oder bei Signaturlängen stellen Post-Quanten-Verfahren meist hohe Anforderungen. Und schließlich ist die Performance der Post-Quanten-Algorithmen meist deutlich geringer, was entsprechend CPU-Zeit kostet.

Es gibt noch weitere Gründe, warum Post-Quanten-Algorithmen traditionelle Kryptoverfahren nicht eins zu eins ersetzen können und dadurch der Kryptoagilität im Wege stehen. Einer davon sind hybride Verfahren. Als ein solches bezeichnet man Kombinationen aus traditionellen und Post-Quanten-Verfahren – so eingesetzt, dass ein Angreifer beide Methoden brechen muss, um Erfolg zu haben. Möglich ist etwa ein hybrides Schlüsselaustauschverfahren bestehend aus Diffie-Hellman und ML-KEM oder ein digitales Signaturverfahren, das aus RSA und ML-DSA zusammengesetzt ist.

Hybride Verfahren sind für die Übergangszeit gedacht: Sollten in einem Post-Quanten-Verfahren Sicherheitsprobleme entdeckt werden – nicht unwahrscheinlich, da die meisten davon noch relativ neu sind –, dann dient das traditionelle Verfahren als Rettungsanker. Sobald der Q-Day eingetreten ist, werden hybride Verfahren allmählich überflüssig.

Es ist jedoch noch unklar, ob sich hybride Verfahren bis dahin durchsetzen werden. Kritiker warnen, dass die gleichzeitige Nutzung traditioneller und Post-Quanten-Methoden zu einer unnötigen Komplexität führt und plädieren daher für einen direkten Wechsel. Im Gegensatz dazu betonen die Anhänger des hybriden Ansatzes, dass bei der Umstellung auf Post-Quanten-Methoden ohnehin viele Formate und Protokolle angepasst werden müssen, weshalb der zusätzliche Aufwand für den Parallelbetrieb nicht ins Gewicht falle.

Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) hat sich klar für

hybride Verfahren ausgesprochen und wird in dieser Position unter anderem von der französischen Cybersecurity Agency ANSSI unterstützt. Die US-amerikanische National Security Agency (NSA), die für die IT-Sicherheit in den USA verantwortlich ist, sieht hybride Verfahren dagegen eher kritisch.

Andere Herausforderungen für die Kryptoagilität betreffen nur bestimmte Post-Quanten-Algorithmen. Ein Beispiel ergibt sich aus der Tatsache, dass die meisten Signaturalgorithmen einen beliebigen Hashwert der zu signierenden Nachricht verarbeiten können, während ML-DSA eine Hashwertbildung nach bestimmten Regeln erfordert. Dies kann zu Problemen führen, wenn eine Implementierung die Generierung des Hashwerts und die Generierung der Signatur voneinander trennt.

Public-Key-Infrastrukturen

In der Debatte um Kryptoagilität spielen Public-Key-Infrastrukturen (PKI) eine

#CLOUDLAND2025

EARLY BIRD BIS 06.05.

DAS CLOUD NATIVE FESTIVAL

1. – 4. JULI 2025 • IM HEIDE PARK IN SOLTAU

GOOGLE CLOUD

HYPER-SCALER

AWS

AZURE

aws

DATEV

Red Hat

IT-Systemhaus

- VIELE INSIGHTS FÜR DIE COMMUNITY
- VERTIEFT EUER WISSEN ÜBER HYPERSCALE COMPUTING



zentrale Rolle. Im Mittelpunkt einer PKI stehen digitale Zertifikate, also Datensätze, die einen öffentlichen Schlüssel enthalten und von einer Zertifizierungsstelle signiert sind. Bisher ist für beide Zwecke der RSA-Algorithmus am weitesten verbreitet. Zukünftig müssen jedoch auch Post-Quanten- und möglicherweise Hybridverfahren nutzbar sein. Das wichtigste Format für digitale Zertifikate ist X.509. Die IETF-Arbeitsgruppe LAMPS (Limited Additional Mechanisms for PKIX and SMIME) arbeitet derzeit an mehreren Internet Drafts, also Entwürfe für zukünftige RFCs (siehe ct.de/yveq), die diesen Standard Post-Quanten-tauglich machen sollen.

X.509 legt sich nicht auf bestimmte kryptografische Verfahren fest, ist also kryptoagil. Nicht geregelt ist jedoch, was passiert, wenn zwei öffentliche Schlüssel oder zwei Signaturen gefordert sind, was durch hybride Kryptografie zukünftig der Fall sein wird. Die einfachste Lösung besteht darin, getrennte Zertifikate für traditionelle und Post-Quanten-Verfahren einzusetzen. Möglich ist es hierbei, ein Basiszertifikat und ein Deltazertifikat festzulegen, das eine unkritische X.509-Erweiterung enthält, in der alle wichtigen Informationen aus dem Basiszertifikat – einschließlich des öffentlichen Schlüssels

– aufgeführt sind. Der Vorteil: Eine Anwendung, die mit Deltazertifikaten umgehen kann, braucht das Basiszertifikat nicht, da sie die benötigten Informationen aus der Erweiterung des Deltazertifikats entnehmen kann.

Vor allem im Zusammenhang mit hybriden Verfahren ist es jedoch oft besser, mit nur einem Zertifikat zu arbeiten, das zwei öffentliche Schlüssel sowie zwei Signaturen einer Zertifizierungsstelle (CA-Signatur) enthält. Zwar war diese Möglichkeit ursprünglich im X.509-Standard nicht vorgesehen, doch eine Erweiterung aus dem Jahr 2019 erlaubt dies inzwischen. Der zusätzliche Schlüssel und die zusätzliche Signatur werden jeweils in separaten Erweiterungen des Zertifikats untergebracht. Ein alternativer Lösungsansatz sieht sogenannte Kompositzertifikate vor, die für jeweils zwei Schlüssel oder zwei Signaturen ein gemeinsames Feld im Zertifikat verwenden. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt darin, dass das Format des Zertifikats selbst nicht verändert wird und nur der Code, der mit den kryptografischen Verfahren interagiert, angepasst werden muss. Allerdings ist eine solche Lösung nicht abwärtskompatibel.

Neben X.509 wird auch der OpenPGP-Standard derzeit quanten-

sicher gemacht. Dieses Format wird zwar häufig für verschlüsselte und signierte E-Mails genutzt, enthält aber auch eine Spezifikation für digitale Zertifikate. Der Internet Draft „Post-Quantum Cryptography in OpenPGP“ hat das Ziel, OpenPGP sowohl hinsichtlich des Nachrichtenformats als auch bezogen auf die Zertifikate gegen die Bedrohungen durch Quantencomputer abzusichern (siehe ct.de/yveq).

Auch OpenPGP ist kryptoagil, was die Sache erleichtert. Im Gegensatz zu X.509-Zertifikaten sind OpenPGP-Zertifikate darauf ausgelegt, mehrere öffentliche Schlüssel sowie mehrere Signaturen zu enthalten. Dadurch lassen sich traditionelle und Post-Quanten-Verfahren gemeinsam in einem Zertifikat unterbringen.

Protokolle und Formate

Eine Public-Key-Infrastruktur wird vor allem von kryptografischen Netzwerkprotokollen genutzt, und natürlich müssen auch diese an die Post-Quanten-Kryptografie angepasst werden. Die asymmetrische Kryptografie, die hier relevant ist, spielt insbesondere beim Verbindungsaufbau eine Rolle, wenn typischerweise mit einem Signaturverfahren die Gegenstelle authentifiziert und mit einem Schlüsselaustauschverfahren ein Sitzungsschlüssel vereinbart wird.

So läuft es beispielsweise in der Handshake-Phase von TLS oder beim IPsec-Schlüsselaustausch mit IKE. Da diese und viele andere kryptografische Netzwerkprotokolle kryptoagil angelegt sind, ist die Umstellung auf quantensichere Algorithmen in der Theorie recht einfach. Dass dadurch längere Schlüssel und weniger performante Algorithmen ins Spiel kommen, betrifft zwar die Implementierung, ist für die Protokolle selbst jedoch meist nicht von Bedeutung.

Ein Beispiel ist der aktuelle Internet Draft „ML-KEM Post-Quantum Key Agreement for TLS 1.3“, der die Nutzung von ML-KEM für den Schlüsselaustausch im TLS-Protokoll spezifiziert (siehe ct.de/yveq). Ähnliche Dokumente gibt es für ML-DSA und SLH-DSA innerhalb von TLS. Die gleichen Verfahren werden auch für IKE, das Schlüsselaustauschprotokoll von IPsec, in derzeit entstehenden Internet Drafts beschrieben. Am Ende sollen all diese Spezifikationen in RFCs münden. Alle genannten Drafts sind kurz und unkompliziert. Lediglich die Art der Verwendung von ML-DSA in IKE ist an einer Stel-

```

"components": [ {
  "name": "RSA-2048",
  "type": "cryptographic-asset",
  "bom-ref": "crypto/key/rsa-2048@1.2.840.113549.1.1.1",
  "cryptoProperties": {
    "assetType": "related-crypto-material",
    "relatedCryptoMaterialProperties": {
      "type": "public-key",
      "id": "2e9ef09e-dfac-4526-96b4-d02f31af1b22",
      "state": "active",
      "size": 2048,
      "algorithmRef": "crypto/algorithm/rsa-2048@1.2.840.113549.1.1.1",
      "securedBy": {
        "mechanism": "Software",
        "algorithmRef": "crypto/algorithm/aes-128-gcm@2.16.840.1.101.3.4.1.6"
      }
    },
    "creationDate": "2016-11-21T08:00:00Z",
    "activationDate": "2016-11-21T08:20:00Z"
  },
  "oid": "1.2.840.113549.1.1.1"
}, {
  "name": "RSA-2048",
  "type": "cryptographic-asset",
  "bom-ref": "crypto/algorithm/rsa-2048@1.2.840.113549.1.1.1",
  "cryptoProperties": { ... }
}, {
  "name": "AES-128-GCM",
  "type": "cryptographic-asset",
  "bom-ref": "crypto/algorithm/aes-128-gcm@2.16.840.1.101.3.4.1.6",
  "cryptoProperties": { ... }
}
]

```

Mit dem Standard CycloneDX lässt sich ein Inventar kryptografischer Lösungen erstellen, das als Cryptography Bill of Materials (CBOM) bezeichnet wird. Die Abbildung zeigt einen Inventareintrag.

le nicht offensichtlich, da das erwähnte Problem mit der separaten Hashwertbildung auftritt. Die Lösung sieht vor, dass zweimal gehasht wird.

Etwas schwieriger wird es, wenn Netzwerkprotokolle ein hybrides Verfahren einsetzen wollen. Nutzt es zwei Zertifikate, muss das Protokoll den Verbindungsaufbau ändern, bei nur einem muss die Implementierung mit dem geänderten Zertifikatsformat zurechtkommen. Entsprechende Erweiterungen für Protokolle wie TLS oder IPsec/IKE werden derzeit entwickelt.

Kryptoagilität implementieren

Kryptografische Verfahren, einschließlich Post-Quanten-Verfahren, sind auf einem PC oder einem Server recht einfach zu implementieren, da hier genug Speicher und Rechenleistung zur Verfügung stehen. Gleiches gilt für Smartphones und Tablets. Deshalb sind viele Programme, die Kryptografie auf solchen Plattformen anwenden, schon lange kryptoagil realisiert – man denke etwa an Mailclients oder Verschlüsselungsprogramme wie VeraCrypt. Auch die gängigen Webbrowser unterstützen mehrere Kryptoverfahren. Post-Quanten-Kryptografie in solche Lösungen zu integrieren ist kein großes Problem, denn ein paar zusätzliche Kryptoverfahren, die im Vergleich zu anderen Aufgaben nur wenig Rechenzeit verbrauchen und Schlüssel in der Größe von einigen Dutzend KByte benötigen, fallen hier nicht ins Gewicht.

Deutlich schwieriger wird die Sache in Umgebungen mit begrenzten Ressourcen. Dazu gehören beispielsweise Smartcards, integrierte Chips und viele eingebettete Systeme für das Internet der Dinge. Auf solchen Plattformen wird der Speicher oft noch in KByte gemessen, und die Prozessoren sind häufig darauf ausgelegt, maximal das RSA-Verfahren ausführen zu können. Viele Smartcards verfügen zu diesem Zweck über einen RSA-Coprozessor, der eine ausreichend schnelle Ausführung dieses Verfahrens trotz begrenzter Ressourcen ermöglicht.

Es ist offensichtlich, dass solche Low-End-Plattformen für kryptoagilen Programmcode nicht besonders gut geeignet sind. Bereits jetzt ist in vielen ressourcenbegrenzten Umgebungen nur ein Satz von Kryptoverfahren implementiert, weshalb von Kryptoagilität keine Rede sein kann. Mit ressourcenfressenden Post-Quanten-Verfahren sind solche Plattformen erst

recht überfordert – von einer parallelen Implementierung von traditionellen und quantensicheren Algorithmen nicht zu reden. Erschwerend kommt noch hinzu, dass ML-KEM (Schlüsselaustausch) und ML-DSA (Signatur) unterschiedlichen Code benötigen, während ein RSA-Schlüsselaustausch und eine RSA-Signatur nahezu gleich ablaufen.

Angesichts solcher Herausforderungen ist die Implementierung von Post-Quanten-Kryptografie auf Low-End-Plattformen momentan ein viel diskutiertes Thema. Es laufen zahlreiche Forschungsprojekte in diesem Bereich, darunter die vom Bund geförderten Vorhaben Aquarypt, QuantumRISC und KRITIS3M. Untersucht wird beispielsweise die Frage, ob man einen RSA-Coprozessor auch für bestimmte quantensichere Verfahren nutzen kann oder wie sich ML-KEM und ML-DSA besonders speichereffizient implementieren lassen, sofern Abstriche bei der Performance erlaubt sind. Bereits jetzt ist jedoch klar, dass man für Post-Quanten-Verfahren stärkere Hardware als bisher benötigt. Beispielsweise reichen 16 KByte RAM und 500 KByte Flashspeicher auf einer Smartcard zwar für RSA aus, doch selbst für sparsame quantensichere Verfahren wird man eher 96 KByte RAM und 1000 KByte Speicher benötigen. Kryptoagilität wird es hier in vielen Fällen aus Kostengründen nicht geben.

Kryptoagilität beim Betreiber

Wenn kryptoagile, quantensichere Lösungen schließlich bereitstehen, müssen die Betreiber von IT-Umgebungen diese in die Praxis bringen. Wie das geht, kann man in sogenannten „Post-Quantum Migration Guides“ nachlesen, wie sie von mehreren Organisationen veröffentlicht wurden. Post-Quantum Migration Guides gibt es beispielsweise vom Europäischen Institut für Telekommunikationsnormen (ETSI), von der Cloud Security Alliance (CSA), von der US-Standardisierungsbehörde NIST und dem ebenfalls in den USA angesiedelten National Cybersecurity Center of Excellence (NCCoE).

In diesen Dokumenten erfährt man, dass eine Organisation vor der Migration erst einmal wissen muss, welche kryptografischen Verfahren sie überhaupt einsetzt. Hierzu ist es erforderlich, ein Kryptoinventar zu erstellen, also eine Art Katalog, der alle Kryptoanwendungen listet. Für diesen Zweck gibt es einen Standard namens CycloneDX, der sich

auf das Datenformat JSON stützt. Ein danach erstelltes Inventar wird als CBOM (Cryptography Bill of Materials) bezeichnet. Es gibt Tools, die ein CBOM automatisch erstellen und verarbeiten können. In einem CBOM sollte festgehalten werden, ob eine Lösung kryptoagil ist. Ist dies der Fall, dann ist dies für die Migration von Vorteil.

Im weiteren Verlauf einer Post-Quanten-Migration empfehlen die diversen Guides eine Risikobewertung. Auch dafür gibt es Standards, wie CARAF (Crypto Agility Risk Assessment Framework) und die Mosca-Methode für Quantum Risk Assessment. Auch Risikobewertungsmethoden wie NIST 800-30 oder ISO/IEC 27005 lassen sich nutzen, auch wenn diese nicht speziell auf die Kryptografie zugeschnitten sind.

Fazit

Bei all dem Hype sollte man nicht übersehen, dass die Kryptoagilität auch Nachteile mit sich bringt. So gilt: Je mehr Kryptoverfahren eine Implementierung unterstützt, desto komplexer und fehleranfälliger wird sie. Außerdem führt eine Vielzahl von Verfahren, die zur Auswahl stehen, schnell zu Interoperabilitätsproblemen. So gibt es für das TLS-Protokoll inzwischen über 400 registrierte Verfahren, keine Implementierung unterstützt wirklich alle. Die Browserhersteller begrenzen ohnehin die Liste und erlauben lediglich eine Auswahl.

Zudem gibt es noch einiges zu tun, wenn man die drohende Kryptoapokalypse am Q-Day verhindern will. Ob dieser Tag jemals kommen wird, ist indes keineswegs sicher. Möglicherweise wird es niemals Quantencomputer geben, die der klassischen Kryptografie gefährlich werden. Doch das ist Spekulation, und die IT-Security-Welt kann es sich nicht leisten, auf Risiko zu spielen. In einem Jahrzehnt sollten daher zumindest die wichtigsten Computersysteme quantensicher sein. Die Kryptoagilität wird auf dem Weg dahin eine wichtige Rolle spielen.

(wid@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Wilhelm Drehling, Sylvester Tremmel, Post-Quanten-Portfolio, Der lange Weg zu Quantencomputer-resistenten Kryptosystemen, c't 16/2021, S. 68

Internet Drafts und mehr: ct.de/yveq

Alte Videospiele entfesselt

Mittels Recompiling-Tools starten Retrogames ohne Emulation auf PCs

Dank Emulation hüpfte Super Mario 64 auch auf modernen PCs – Unzulänglichkeiten der leistungsschwachen Originalhardware wie ruckelnde 3D-Grafik inklusive. Die Recompiling-Technik für einige Nintendo-64-Spiele verändert die Codebasis, sodass Spiele nativ etwa unter Windows mit allen Vorteilen moderner Hardware butterweich in 4K-Auflösung laufen.

Von Dennis Schirmmacher

Wer keine Original-Videospielkonsole mehr besitzt, aber trotzdem in Erinnerungen schwelgen will, muss seinen Computer via Hard- oder Softwareemulation beispielsweise in ein Super Nintendo Entertainment System (SNES) oder Segas Mega Drive verwandeln. Beide Emulationsansätze haben ihre Vor- und Nachteile [1]. Zum Daddeln taugen aber beide Methoden, und bereits mit einem Raspberry Pi Zero 2 emuliert man die genannten Spielkonsolen flüssig in Full-HD-Auflösung. Die Hardwareemulation von Retrokonsolen mit dem FPGA-Projekt MiSTer [2] macht das Spielerlebnis sogar noch authentischer.

Eine unverfälschte Reproduktion des Spielerlebnisses von früher ist eigentlich begrüßenswert. Doch sie bedeutet auch, dass die Unzulänglichkeiten der schwachen Retrohardware wie eine geringe Grafikauflösung und ruckelnde 3D-Grafik dazugehören.

Neue Retrogaming-Säule

Neben der Soft- und Hardwareemulation etabliert sich momentan ein weiterer Weg, Retrospiele auf modernen Computern zu spielen: Statische Recompiling-Tools

wandeln den Binärcode von Spielen in für Linux, macOS oder Windows verständlichen C-Code um. Diesen kann man dann etwa unter Windows mit Visual Studio kompilieren. Nach der Codeumwandlung läuft ein Titel ohne Emulation als native Anwendung etwa auf einem Windows-PC.

Der Recompiling-Ansatz bringt viele Vorteile: Weil kein Emulator den Code übersetzen muss, laufen damit umgewandelte Spiele deutlich besser und können die volle Leistung aktueller PCs ausschöpfen. Anders als bei der Retrokonsolen-Emulation müssen Spiele auf leistungsfähigen Computern nicht künstlich in ihrer Geschwindigkeit begrenzt werden, damit sie sich wie auf der Originalhardware verhalten. Von diesen Fesseln befreit erstrahlen Titel in 4K-Auflösung mit einem Bildseitenverhältnis von 16:9 mit 120 Bildern pro Sekunde (fps).

Außerdem gibt es viel Raum für die Modifikation von Spielen: Recompiled-Versionen greifen als native Windows-Anwendung ohne Umwege auf Treiber zu. So sind mit vergleichsweise wenig Aufwand Anpassungen möglich, sodass man etwa ein Fadenkreuz in einem Titel direkt mit der Maus bewegt.

Die Recompiling-Methode ist nicht neu und es gab schon auf bestimmte Spiele zugeschnittene Recompiling-Projekte wie sm64-port für „Super Mario 64“ (N64) und jak-project für „Jak and Daxter: The Precursor Legacy“ (PlayStation 2). Daneben existiert noch die Decompiling-Methode, bei der Entwickler in extrem aufwendiger Kleinarbeit den Original-Sourcecode via Reverse Engineering rekonstruieren. Ein Beispiel dafür ist das Harbour-Masters-Projekt, dessen Entwickler etwa für den PC-Port „Starship Centauri Alfa“ des N64-Titels „Star Fox 64“ verantwortlich zeichnen.

Noch nicht am Ziel

Ein Beispiel für ein aktuelles Tool ist „N64: Recompiled“ (siehe ct.de/y4rk) von einem Programmierer mit dem Pseudonym Wiseguy. Langfristig soll das Tool auf alle

N64-Titel anwendbar sein. Weil aber viele Spiele individuelle Anpassungen benötigen, funktioniert es offiziell derzeit nur mit „The Legend of

Zelda: Majora's Mask“.

Als Basis benötigt man eine Sicherheitskopie von Majora's Mask als ROM-Datei. Daraus extrahiert das Umwandlungstool Elemente wie 2D-Grafiken. Das Open-Source-Tool Rabbitizer wandelt Maschinencode in C-Code um. So wird etwa aus dem Maschinencodebefehl `addiu $r2, $r4, 0x20`, der 32 (0x20) zu dem 32-Bit-Wert im Register \$r4 addiert und das Ergebnis in \$r2 speichert, das C-Pendant `ctx->r2 = ADD32(ctx->r4, 0x20);`. In „Zelda 64: Recompiled“ ist das schon alles erledigt und man muss lediglich den Pfad zur ROM-Datei angeben. Im Anschluss kann man den Titel direkt starten.

Neuer Anstrich

Als natives Windows- oder Linux-Programm profitiert der N64-Titel von moderner PC-Hardware und kann etwa dank des RT64 Renderers vom Entwickler DarioSamo eine Grafikkarte ohne Emulationsschicht direkt über Microsofts Direct3D-API oder Vulkan unter Linux ansprechen und somit das volle Potenzial ausschöpfen: Das Ergebnis sind knackscharfe Bilder in 4K-Auflösung in 16:9 mit ultraflüssigen 120 fps.

Für höhere Bildraten werden Frames zwischengespeichert und analysiert, um passende künstliche Frames zu erzeugen. Diese Berechnung gelingt der Projektdokumentation zufolge im Zeitfenster eines Frames (bei 60 Hertz 16,67 Millisekunden). Beim Spielen haben wir diese



geringfügige Verzögerung nicht bemerkt und die künstlich erzeugten Frames fügten sich nahtlos ein, sodass ein extrem stimmiges Gesamtbild entsteht.

Für Puristen: Weil die Grafikelemente für eine damals typische 240p-Auflösung ausgelegt sind, fallen gering aufgelöste Texturen und polygonarme 3D-Modelle in 4K mehr auf. Wer das nicht mag und den Lo-Fi-Charakter der Grafik bevorzugt, kann Titel auch in 480p berechnen lassen.

Wie spielt es sich?

Die Recompiled-Version des Zelda-Titels stellt keine großen Anforderungen an PC-Hardware. Laut den Angaben auf der Projektwebsite benötigt man mindestens eine Grafikkarte, die Direct3D 12.0 (Shader Model 6) oder Vulkan 1.2 unterstützt. Das ist etwa ab der dreizehn Jahre alten GeForce GT 630 gegeben. Die CPU muss AVX-Befehle unterstützen, das ist ab Intel Core 2000 und AMD Bulldozer der Fall. In 4K ist aber mehr Leistung nötig: Selbst mit dem erst vier Jahre alten Ryzen 7 5700G ist maximal Full HD drin. Auf einem Steam Deck OLED spielten wir in 800p-Auflösung mit 90 fps.

Auch wenn der Recompiling-Prozess den Original-Binärcode eines Spiels verändert, können wir am Beispiel von Majora's Mask sagen, dass sich der Titel immer noch ungemein authentisch spielt. Eben nur in einer zeitgemäßen Auflösung, einer flüssigen Framerate und mit sinnvollen Quality-of-Life-Updates wie automatischem Speichern. Der Zelda-Titel fühlt sich in der Summe wie eine qualitativ hochwertige PC-Portierung von Nintendo an, die es offiziell aber nie gegeben hat.

Ausblick

Recompiled-Versionen bilden neben Emulation eine weitere Möglichkeit, um Retrospiele zu erleben. Auch wenn das vorgestellte Tool noch weit davon entfernt ist, mit dem gesamten N64-Spieleкатalog kompatibel zu sein, ist der Ansatz absolut begrüßenswert. Das Ergebnis kann bereits überzeugen und Retrotitel fühlen sich dank aufpolierter Optik und Zusatzfunktionen wie der Möglichkeit, die Steuerung anzupassen, zeitgemäßer an, ohne ihren Charme von früher zu verlieren.

Die Zukunft des Projektes ist vielversprechend: Wiseguy will zeitnah ein Modding-Framework veröffentlichen, um die Handhabung zu vereinfachen und den Funktionsumfang zu erweitern. Zusätzlich



Die Recompiled-Version (oben) von „The Legend of Zelda: Majora's Mask“ vom N64 erstrahlt in ungeahntem Glanz, ohne den Charme des Originals (unten) zu verlieren.

steht der Support für macOS an. Android-Unterstützung soll ebenfalls folgen. Die Anpassungen für die GPU-Treiber des mobilen Betriebssystems sind dem Entwickler zufolge aber zeitaufwendig.

Raytracing-Versionen lassen wahrscheinlich noch länger auf sich warten. Sie erfordern Wiseguy zufolge für jeden Titel einen sehr hohen technischen und künstlerischen Aufwand. Ein Problem dabei ist, dass dynamische Lichtquellen Hinweise geben können, wie sich via Raytracing berechnete Lichtstrahlen im dreidimensionalen Raum ausbreiten müssen. Solche Lichtquellen gibt es aber nicht in jedem Titel. An dieser Stelle ist also viel manuelles Feintuning nötig, um den Look eines Spiels bei einer realistischen Beleuchtung zu wahren.

Mittlerweile gibt es mit XenonRecomp und psretrox auch für Microsofts Xbox 360 und Sonys PlayStation 2 Re-

compiling-Tools. Vom Xbox-360-Titel „Sonic Unleashed“ gibt es bereits eine PC-Portierung. Das PS2-Recompiling-Tool ist aber noch in einem sehr frühen Stadium und es gibt noch keinen damit konvertierten lauffähigen Titel. Außerdem gibt der Entwickler an, schon seit einigen Monaten nicht mehr aktiv daran zu arbeiten. Er hat den Code aber freigegeben, sodass andere Entwickler weitermachen können. (des@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Dennis Schirmmacher, Retrogaming? Ja gern, aber wie?, Alte Videospiele auf Originalkonsolen, via Softwareemulation und mittels FPGA-Board gespielt, c't 23/2023, S. 130
- [2] Dennis Schirmmacher, Konsolen-Kloner, FPGA-Projekt MiSTer mit Retro-Videospielen ausprobiert und optimiert, c't 19/2023, S. 150

Weiterführende Infos zu den Recompiling-Projekten: ct.de/y4rk



Bild: KI, Collage c't

KI aus der Region

Sprachmodelle: Deutschlands Aufholjagd gegenüber den USA und China

Während China mit DeepSeek die USA im Wettkampf um die leistungsstärksten Sprachmodelle herausfordert, ist Europa nach wie vor Zuschauer. Dabei gäbe es auch hier genug Potenzial, um endlich selbst in den Ring zu steigen.

Von André Kramer

Sprachmodelle sind mächtige Werkzeuge. Indem sie die herkömmliche Internetsuche ablösen, schwingen sie sich

nicht nur zu wichtigen Informationsfiltern auf. Die Fähigkeit, in natürlicher Sprache mit ihren Nutzern zu interagieren, öffnet ihnen auch Tür und Tor zur menschlichen Psyche. Das birgt nicht nur Potenzial, Meinungen zu beeinflussen, sondern auch die Gesellschaft als Ganzes auf subtile Art zu durchdringen. Welchen Schaden digitale Technik in der Gesellschaft anrichten kann, zeigen Polarisierung, Hass und Desinformation in den sozialen Medien.

Um ähnliche Probleme mit Sprachmodellen zu vermeiden, wird es ein gesundes Maß an Transparenz und demokratisch legitimer Kontrolle brauchen – und vor allem digitale Souveränität. Angesichts der autoritären Tendenzen in den USA und der Anbiederung der Big-Tech-CEOs an ihren

Präsidenten bedarf es nicht allzu viel Fantasie, um sich vorzustellen, wie aus einem Werkzeug, das uns den Zugang zu Informationen erleichtern soll, eine dystopische Propagandamaschine werden könnte. Auch der Herausforderer DeepSeek ist durch die chinesische Regierung zensiert.

Europäische Ansätze gibt es dabei durchaus. Der französische Hersteller Mistral AI entwickelt große Sprachmodelle in Europa, speichert seine Daten größtenteils in der EU und lässt seine Dienste auf Servern von Microsoft und Google in Irland und Schweden hosten. Dessen im Juli 2024 erschienenes Modell Large 2 konnte im c't-Test mit den großen US-Anbietern mithalten [1]. Politik und Presse gleichermaßen setzten große Hoffnungen in das Heidelberger Unternehmen Aleph Alpha. Das hat jedoch nicht zuletzt mangels finanzieller Mittel keine Ambitionen, ein großes deutschsprachiges Large Language Model (LLM) wie ChatGPT zu entwickeln [2]. Es wendet sich stattdessen an Firmenkunden vor allem innerhalb der EU, die hohen Datenschutzstandards genügen müssen, wie Unternehmensberater und an Behörden wie die Bundesagentur für Arbeit. Ein großes deutschsprachiges LLM fehlt also nach wie vor.

ct kompakt

- Europäische Forscher und Unternehmen arbeiten an Sprachmodellen, um sich von Diensten aus den USA und China unabhängig zu machen.
- Projekte wie „LLäMmlein“ und „Teuken 7B“ zeigen, dass auch mit begrenzten Mitteln konkurrenzfähige Modelle möglich sind.
- Künftig braucht Europa mehr Investitionen, bessere Infrastruktur und stärkere Zusammenarbeit, um den Anschluss zu behalten.

Europa hat Know-how

„Von den Köpfen und dem Know-how her haben wir in Europa sicherlich das Potenzial, das zu schaffen“, sagt dazu Professor Kristian Kersting, der an der Technischen Universität Darmstadt das Fachgebiet Maschinelles Lernen leitet. „Was Daten und Rechenleistung angeht, gibt es aber noch einige Fragezeichen.“ Zwar stehen auch in Europa eine ganze Reihe von Supercomputern wie etwa der HPC6 in Italien mit 477,9 Petaflops oder LUMI in Finnland mit 379,7 Petaflops, die in der Lage sein sollten, große Sprachmodelle zu trainieren. Und mit „Jupiter“ befindet sich am Forschungszentrum Jülich sogar der erste europäische Exascalerechner in Bau. Sie alle wurden aber in erster Linie für komplexe Simulationen etwa für die Materialforschung oder Klimamodelle, gebaut und stehen deshalb nur bedingt für das Training künstlicher Intelligenz zur Verfügung.

Initiativen wie Large European AI Models (LEAM) unter der Leitung des KI-Bundesverbands haben schon vor Jahren darauf hingewiesen, dass Europa beziehungsweise Deutschland eigene Rechenzentren für KI benötigt. So hieß es bereits 2021, also ein Jahr bevor ChatGPT die Weltbühne betrat, in einer einschlägigen LEAM-Studie: „Aktuelle Fortschritte bei der Entwicklung großer KI-Modelle haben die Chance, den gesamten Markt für künstliche Intelligenzen zu verändern. Diese Fortschritte wurden bislang vor allem von amerikanischen Unternehmen vorangetrieben. Wir haben die Befürchtung, dass europäische Akteure hinter die amerikanischen zurückfallen und mit den schnellen Innovationszyklen nicht mithalten können.“ Hätten sich die Bun-

desregierung, die Europäische Kommission oder große europäische Wirtschaftsakteure schon damals zu einer Finanzierung durchgerungen, wäre die Ausgangslage heute wohl um einiges besser.

Mangel an Trainingsdaten

Eine weitere wichtige Säule für die Entwicklung großer Sprachmodelle sind die Trainingsdaten. Während gewöhnliche Textdaten, aus denen die Modelle ihr grundlegendes Sprachverständnis lernen und massenweise Informationen aufnehmen, relativ einfach aus dem freien Internet gecrawlt werden können, mangelt es vor allem an Instruktionsdaten. Erst sie bringen den vortrainierten Modellen bei, die Wünsche ihrer Nutzer richtig einzuschätzen und verleihen ihnen ihre Fähigkeiten, Dialoge zu führen. Auch dieses Defizit hätte man schon früher angehen können: So findet sich in derselben Studie die eindringliche Aufforderung zur „Sammlung und Erstellung von umfassenden Trainingsdatensätzen“.

„In der Forschung wird gerade untersucht, wie weit sich Originaldaten von Menschen durch synthetisierte Daten ersetzen lassen, die von anderen Sprachmodellen generiert werden“, sagt Kersting. Das gilt vor allem für das Instruktionstraining. Denn ein Sprachmodell wird durch selbstüberwachtes Lernen mit Textdaten aus dem Internet noch lange kein brauchbarer Gesprächspartner. Schließlich sind dort kaum Dialoge zu finden, aus denen ein Modell lernen könnte, welche Antworten sich Menschen auf ihre Prompts wünschen.

Bei ChatGPT waren es noch menschliche Tester, die die Antworten bewerteten, um über „Reinforcement Learning from Human Feedback“ (RLHF) das zugrundeliegende Modell zu verfeinern. Der Aufwand dürfte jedoch enorm gewesen



Bild: Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Andreas Hotho, Professor für Data Science an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, hat mit seinem Team das erste ausschließlich auf Deutsch trainierte Sprachmodell LLäMmlein entwickelt.

sein. Herausforderer DeepSeek steht unter dem Verdacht, kurzerhand ein Modell von OpenAI genutzt zu haben, was gegen die Nutzungsbestimmungen verstoßen würde. „Das ist schon interessant, weil OpenAI ja auch einfach unsere Daten nimmt, ohne groß um Erlaubnis zu fragen“, bemerkt Kersting. „Da batteln sich gerade zwei Firmen, die beide nicht gerade offen mit ihren Daten umgehen.“

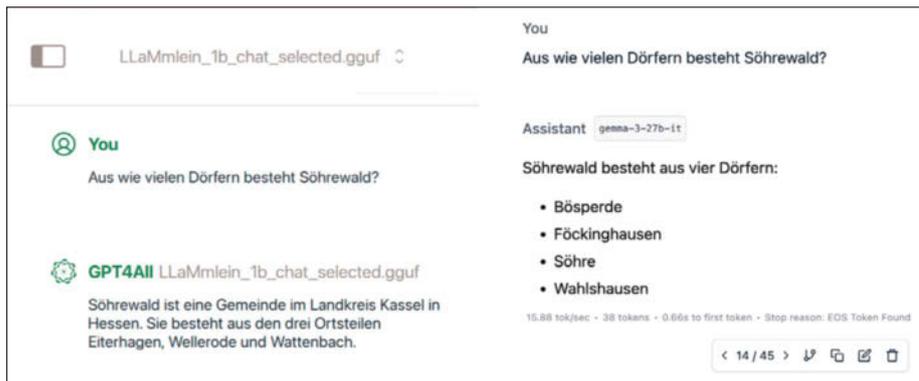
Vorbild DeepSeek

Der Erfolg von DeepSeek kann Ansporn für Europa sein, im Rennen um die besten Sprachmodelle mitzumischen. Zwar sind mediale Berichte über Trainingskosten von nur sechs Millionen US-Dollar irreführend, da sie sich nur auf das finale Training beziehen und sowohl Vorarbeiten als auch Personalkosten ausklammern. Dennoch scheint die Entwicklung von DeepSeek ein



Bild: Forschungszentrum Jülich, Sascha Kreiklau

Der Jülicher Supercomputer Juwels trainierte mit ungefähr 800.000 GPU-Stunden das europäische Sprachmodell Teuken-7B.



Das vergleichsweise kleine Sprachmodell LLäMmlein (links) beantwortet die Frage nach den Ortsteilen von Söhrwald korrekt. Das Google-Modell Gemma-3-27b-it (rechts) hingegen halluziniert.

wirtschaftlicher Durchbruch zu sein. „Das zeigt uns, dass auch wir solche Modelle sehr viel billiger machen können als etwa OpenAI“, sagt Kersting. „Ich glaube allerdings, dass man eher mit 100 Millionen rechnen sollte.“ Die Kosten für die Daten sind da noch gar nicht mitgerechnet.

Andreas Hotho musste sich für sein Sprachmodell LLäMmlein mit einem wesentlich kleineren Budget zufriedengeben. Der Professor für Data Science und Sprecher des Center for Artificial Intelligence and Data Science (CAIDAS) der Julius-Maximilians-Universität Würzburg konnte lediglich auf einen Doktoranden und eine Masterstudentin zählen, um es zu entwickeln – von Grund auf und vor allem auf Deutsch. „Es gibt viele mehrsprachige Modelle, aber LLäMmlein ist das erste LLM, das ausschließlich auf Deutsch trainiert wurde“, sagt Hotho. Die Pionierarbeit zielt darauf ab, die Grundlage für eine systematische Analyse deutscher Sprachmodelle zu schaffen. Code und Datensatz sind im Sinne freier Wissenschaft öffentlich einsehbar, was sowohl eine Reproduktion der Ergebnisse als auch die zukünftige Zusammenarbeit mit anderen Forschungsgruppen ermöglichen soll.

Von LLäMmlein gibt es zwei Versionen – eine mit 120 Millionen und eine mit einer Milliarde Parametern. Zum Vergleich: GPT-4 von OpenAI hat über eine Billion Parameter, ist also tausendmal größer als das größere der beiden. Für das Training haben Hotho und sein Team insgesamt etwa 50.000 GPU-Stunden benötigt, wobei eine GPU-Stunde auf einer A100-GPU am freien Markt etwa zwei US-Dollar kosten würde. Insgesamt belaufen sich die Kosten für Strom und Hardware für das LLäMmlein-Projekt also auf etwa 100.000 Euro.

Trainingsdaten und Benchmarks

Üblicherweise werden große Sprachmodelle fast ausschließlich auf Englisch trainiert und bekommen lediglich kleine Mengen anderssprachiger Daten beigemischt, um ihre Mehrsprachigkeit zu entwickeln. Das funktioniert zwar nicht schlecht, hat aber den Nachteil, dass sie so in ihren neuronalen Netzen auch hauptsächlich Informationen speichern, die in der englischsprachigen Welt relevant sind. Auf Antworten, die kulturelle Nuancen und lokale Feinheiten aus anderen Regionen widerspiegeln, hofft man meist vergeblich. Dementsprechend sind für die Evaluierung eines deutschen Sprachmodells wie LLäMmlein auch spezielle, deutsche Benchmarks nötig, die solche Details abfragen.

Für ihren Benchmark „SuperGLEBer“, benannt in Anlehnung an den englischen Benchmark SuperGLUE, haben Hotho und sein Team 29 verschiedene Tests vereint. Ein Beispiel dafür ist die Frage an das Modell, ob das Wort „ziehen“ in den beiden Sätzen „Die Diskussion zieht sich mal wieder“ und „Hier zieht es ganz fürchterlich“ äquivalent genutzt wird. Unterm Strich ergaben die Tests, dass beide LLäMmlein-Versionen andere Modelle von ähnlicher Größe übertrafen und zum Teil auch mit deutlich größeren mithalten konnten. „Interessanterweise schneidet die LLäMmlein-Variante mit einer Milliarde Parametern schon kurz nach dem Start des Trainings deutlich besser ab als die kleinere, obwohl wir für das Training exakt denselben Datensatz verwendet haben“, sagt Hotho. „Um wirklich komplexe Probleme zu lösen, braucht man aber Modelle mit einigen Hundert Milliarden Parametern.“

Für das Training der LLäMmlein-Modelle haben Hotho und sein Team sechs Terabyte an deutschsprachigen Daten zu-

sammengetragen. Sie stammen hauptsächlich aus dem öffentlich zugänglichen Datensatz RedPajama V2, der über hundert Milliarden Textdokumente in unterschiedlichen Sprachen umfasst. Neben Sprachlabels sind diese Daten auch mit Labels versehen, die die Qualität der von Common Crawl gesammelten Websites bewerten und die Daten in verschiedene Kategorien einteilen. „Wir haben uns dann aus dem Head und dem Mittelteil des Datensatzes alle deutschsprachigen Inhalte herausgezogen“, sagt Hotho. „Also nur die vermeintlich qualitativ hochwertigsten Inhalte.“

Diese haben die Forscher gefiltert, um problematische, für das Training schädliche Inhalte zu entfernen. Das größte Problem dabei waren sich wiederholende Inhalte wie Website-Header oder -footer, die keine relevanten Informationen beinhalten, aber auf vielen Webseiten identisch sind und sich deshalb im Modell stark durchschlagen würden. Für ein Sprachmodell stellen sie nichts weiter als zusätzlichen, verwirrenden Text dar. „Wir haben in den Datensätzen aber auch sonst noch jede Menge Müll etwa in Form sinnloser Zeichenfolgen gefunden“, erzählt Hotho. „Solche Beiprodukte, die das Modell und den Tokenizer stören, entdeckt man leider oft erst während des Prozesses.“

Deutschsprachiger Tokenizer

Auch den Tokenizer selbst mussten Hotho und sein Team speziell für die deutsche Sprache neu trainieren. Er hat die Aufgabe, im ersten Schritt die Trainingstexte in Token zu zerlegen, also die kleinsten Dateneinheiten, mit denen ein Sprachmodell arbeitet. Das können im Extremfall einfach die einzelnen Buchstaben beziehungsweise ASCII-Zeichen sein, nur müsste das Modell daraus erst selbst Wörter lernen. Alternativ dienen ganze Wörter als Token, was allerdings den Nachteil hat, dass der Tokenizer unbekannte oder falsch geschriebene Wörter nicht verarbeiten kann. In der Regel wählen Entwickler daher den Mittelweg des „Byte Pair Encodings“, das zwar mit einem Vokabular aus einzelnen Zeichen beziehungsweise Bytes beginnt, dann aber nach häufig vorkommenden Zeichenpaaren sucht und diese wiederum zu neuen Token zusammenfügt. „Wenn der Tokenizer auf Datenmüll trainiert wird, lernt er zwar, diesen gut darzustellen“, erklärt Hotho. „Für das Sprachverständnis bringt das aber leider nichts.“ Idealerweise filtert man die störenden Elemente also schon vor dem Tokenizing heraus.

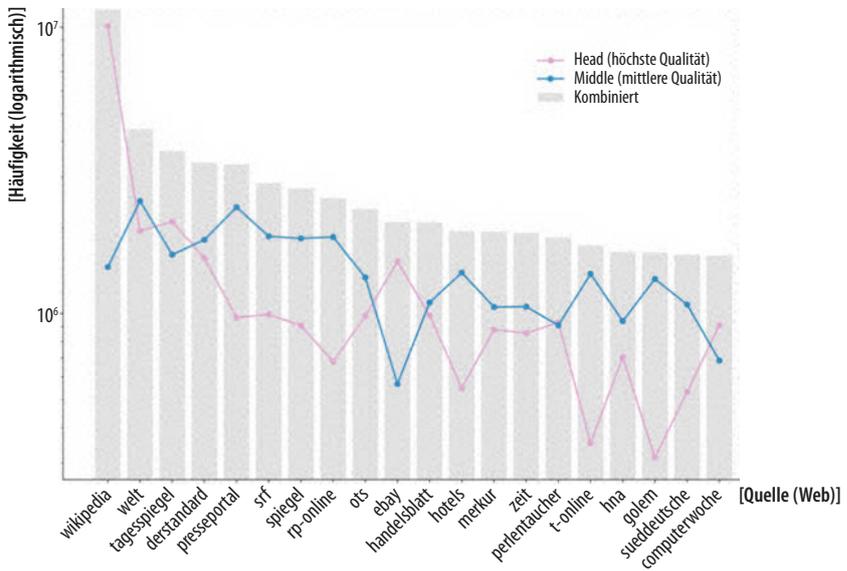
Hotho und sein Team haben damit wichtige Vorarbeiten geleistet, um rein deutschsprachige Modelle zu entwickeln. Da es an qualitativ hochwertigen, deutschsprachigen Instruktionsdaten mangelt, konnten sie jedoch lediglich ein rudimentäres Instruktionstraining durchführen. Das ermöglicht zwar einfache Chats, komplexe Fragen versteht das Modell allerdings nicht. Und auch für das Grundtraining existieren noch zu wenige, qualitativ hochwertige deutsche Datensätze. Die Wikipedia etwa reicht nicht aus und Web-Crawl-Daten wie die von Common Crawl weisen in der Regel erhebliche qualitative Mängel auf. Deutlich interessanter wären kuratierte, journalistische Inhalte von Zeitungsverlagen oder Radiostationen. Um diese in größerem Maßstab und in allen europäischen Sprachen nutzbar zu machen, baut die Europäische Union mit ihrer Initiative „European Language Data Space“ gerade eine Art digitalen Marktplatz auf, wo die Daten im Sinne einer Data Economy von ihren Besitzern feilgeboten werden können. Auf diese Weise soll es in Zukunft gelingen, Modelle zu entwickeln, die sich mit den dicken Fischen aus den USA messen können und in deren neuronalen Netzen europäische Kulturen und Werte stecken.

Modell in 24 Sprachen

Einen Ausblick in diese Zukunft bietet das im September vergangenen Jahres vorgestellte multilinguale Open-Source-Sprachmodell Teuken 7B Instruct. Es wurde im Rahmen des Projekts OpenGPT-X mit ungefähr 800.000 GPU-Stunden am Jülicher Supercomputer Juwels trainiert – und zwar

Trainingsdaten für LLäMmlein

LLäMmlein ist das erste Sprachmodell, das ausschließlich auf Deutsch trainiert wurde. Die Trainingsdaten stammen aus verschiedenen Onlinequellen.



in allen 24 Amtssprachen der EU. Englischsprachige Texte machen 40 Prozent der Trainingsdaten aus. „Es geht schließlich auch um die weltanschauliche Prägung solcher Modelle, also welche Kultur sie repräsentieren und welche Perspektiven sie bevorzugen“, sagt Nicolas Flores-Herr, der als Leiter des Teams für Foundation Models und GenAI Systems am Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme an der Entwicklung beteiligt war. „Und durch die bewusste Auswahl der Trainingsdaten hatten wir die Möglichkeit, einen klaren Fokus auf Europa zu setzen.“

Mit sieben Milliarden Parametern ist zwar auch Teuken verhältnismäßig klein, weshalb es bei komplexen Aufgaben noch nicht mit den großen Modellen mithalten kann. Weniger anspruchsvolle Aufgaben wie einfache Wissensrecherche können aber auch kleine Modelle sehr gut bewältigen. Zudem haben sie den Vorteil, im Betrieb weniger Ressourcen zu benötigen. So hat Teuken bereits seinen Weg zur kommerziellen Anwendung gefunden und wurde etwa von der deutschen Telekom in ihre „AI Foundation Services“ aufgenommen, die Unternehmen Zugriff auf verschiedene LLMs bieten, um sie zu testen und weiterzuentwickeln.

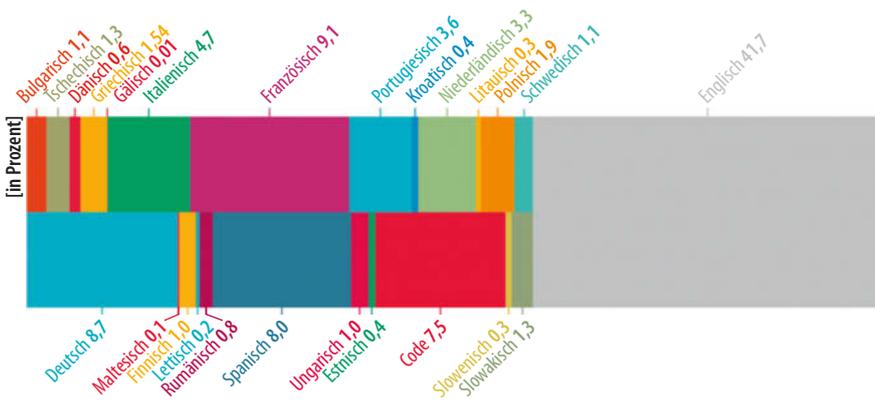
Der Erfolg von DeepSeek hat gezeigt, dass das Wettrennen um die beste Technik noch lange nicht entschieden ist. „Hinter DeepSeek steckt ein großes Team hochtalentierter Menschen, die fokussiert auf ein Ziel hinarbeiten“, sagt Flores-Herr. „Auch in Europa beherrschen wir unser Handwerkszeug. Wenn wir hier wettbewerbsfähige Modelle trainieren wollen, müssen wir jetzt aber unbedingt unsere Kräfte bündeln, um nicht abgehängt zu werden.“ (akr@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Jo Bager, Hartmut Gieselmann, Wettstreit der Textmaschinen, Fünf Sprachmodelle im Vergleich mit ChatGPT, c't 23/2024, S. 14
- [2] Andrea Trinkwalder, Interview mit Aleph-Alpha-Gründer Jonas Andrusis, c't 26/2024, S. 34

Multilinguales Sprachmodell

Das Sprachmodell Teuken ist multilingual. Es wurde mit 24 europäischen Sprachen trainiert. Der deutschsprachige Anteil beträgt 8,7 Prozent.



Tempo schlägt Erfahrung

Interview mit DeepL-Gründer Jaroslaw Kutylowski

DeepL-Chef Jaroslaw Kutylowski hat eines der führenden KI-Unternehmen Deutschlands gegründet. Im Interview mit c't spricht er über digitale Souveränität für Europa, die EU-Regulierung und warum Schnelligkeit in der KI-Entwicklung so wichtig ist.

Von Thomas Brandstetter

c't: Herr Kutylowski, angesichts der politischen Entwicklung in den USA meinen viele, Europa solle mehr digitale Souveränität anstreben. Wie sieht das aus der Perspektive eines Unternehmens wie DeepL aus? Ist diese Unabhängigkeit überhaupt erstrebenswert? Und wenn ja, wie könnte man sie erreichen?

Jaroslaw Kutylowski: Aus persönlicher Sicht schätze ich Unabhängigkeit sehr, da sie einem Optionen und letztendlich Entscheidungsfreiheit gibt. Man ist dann sein eigener Herr. Das würde ich auch für Europa so sehen. Daher denke ich, dass es für den Interessenverbund Europa sinnvoll ist, eigenes Know-how und damit Souveränität aufzubauen.

Souveränität ist aber nicht nur wichtig, um etwas zu haben, auf das wir uns verlassen können, falls uns vielleicht irgendwann der Zugang verwehrt wird oder wir ihn aus irgendeinem Grund vielleicht selbst nicht mehr wollen. In Zukunft wird auch immer mehr der Wertschöpfungskette im technologischen Bereich stattfinden. Diese Entwicklung sehen wir schon seit Jahrzehnten. Die deutsche Wirtschaft basiert zwar noch stark auf der Produktion, die wird aber zunehmend durch digitale Technologie unterstützt.

Gleichzeitig geht es darum, den Wert, der innerhalb des Kontinents ge-

schaffen wird, zu erhalten und die Wirtschaft anzukurbeln. Leider haben wir gesehen, dass manche Entwicklungen aus den USA aufgrund des AI Acts möglicherweise in Deutschland oder Europa nicht verfügbar sein werden. Das ist ein Problem für europäische Unternehmen, wenn sie keinen Zugang zur neuesten Technologie haben und nicht so effizient und innovativ sein können wie ihre Konkurrenz aus China oder den USA. Daher bin ich der Meinung, dass wir so viel wie möglich in Technologie in Europa investieren sollten, sei es der Aufbau von Foundation Models (Computermodelle der künstlichen Intelligenz – Anm. d. Red.) oder anderen großen Modellen. Wir haben bereits einige Unternehmen in diesem Bereich, wie Mistral oder eben DeepL als Akteur in einem spezifischen Bereich. Was uns aber noch ein wenig fehlt, ist die Breite und eine größere Vielfalt an Optionen.

Wie schätzen Sie die Erfolgchancen ein? Sind Sie zuversichtlich, dass europäische Unternehmen das Gleiche leisten können wie derzeit OpenAI und DeepSeek?

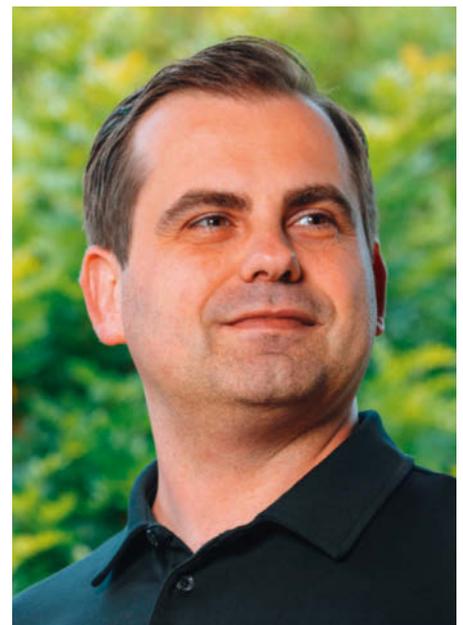
Kutylowski: Das zu leisten, was DeepSeek gemacht hat, halte ich durchaus für möglich. OpenAI ist aber schon etwas anderes. Das war lange Zeit einer der Akteure im Markt, die die Entwicklung wirklich vorangetrieben haben. DeepSeek baut zu einem gewissen Teil auf dem auf, was OpenAI aufgebaut hat. So etwas kommt in diesen technologischen Entwicklungen oft vor. Es gibt immer wieder Akteure, die am Anfang sehr weit nach vorne preschen, das Rennen dann aber trotzdem nicht gewinnen.

Jedenfalls denke ich, dass sich der Markt in Zukunft weiterhin enorm vergrößern wird. Welche Geschäftsmodelle zukünftig profitabel sein werden, wissen wir nicht. Wir wissen nicht, ob OpenAI oder Anthropic profitabel sein werden. An diesem etwas wilden Rennen teilzunehmen, lohnt sich für Europa aber allemal und es

ist auch durchaus möglich, da mitzuhalten. Wir müssen nur den Mut dafür aufbringen und es einfach machen.

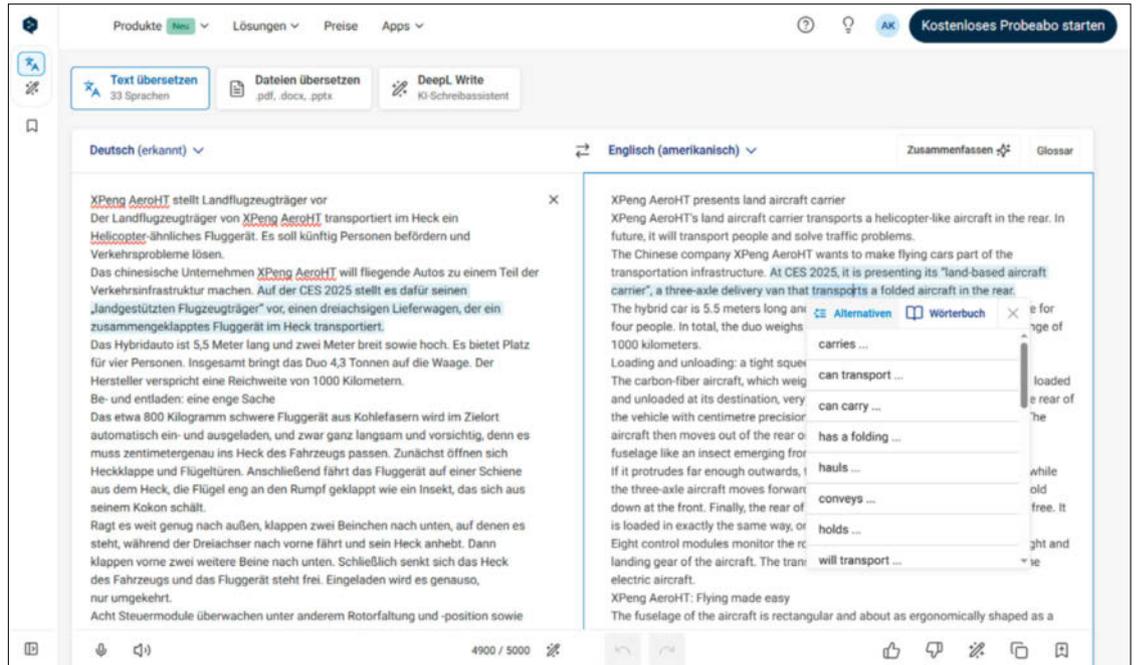
Sehen Sie EU-Regularien wie den AI Act und den Digital Services Act dabei für Europa eher als Hemmschuh oder als Schutz?

Kutylowski: Wenn man es rein aus der Perspektive der Innovation betrachtet, ist es ein etwas bremsender Faktor. Wie stark genau, wird sich noch zeigen müssen. Jeder, der ein neues Unternehmen gründet, muss sich entscheiden, ob er in einer solchen regulierten Umgebung operieren will. Dabei geht es nicht nur um den genauen Wortlaut des AI Acts, sondern auch um die Tatsache, dass man als erster Wirtschaftsraum weltweit überhaupt eine solche Regulierung einführt. Es ist ja an sich schon eine Aussage, dass man regulieren will. Auf irgendeine Art und Weise behin-



„Wir müssen nur den Mut dafür aufbringen und es einfach machen“, sagt DeepL-CEO Jaroslaw Kutylowski über den KI-Wettlauf mit OpenAI & Co.

Die Firma DeepL entwickelt in Köln den gleichnamigen Onlinedienst für maschinelle Übersetzung über künstliche Intelligenz. Bis zu drei Dokumente pro Monat übersetzt DeepL kostenlos.



dert das die Forschung dann natürlich immer ein wenig.

Ich glaube aber schon, dass man damit umgehen und erfolgreiche Unternehmen auch in einem stärker regulierten Markt aufbauen kann. Das haben wir als DeepL in unserem Bereich ja auch getan. Trotzdem ist es etwas, was einen zurücksetzt und die Sache etwas schwieriger macht. Und es kann auch zu einer gewissen Abschottung des Marktes führen, da der Zugang für ausländische Unternehmen zum hiesigen Markt schwieriger wird. Da gibt es eine Verkettung verschiedener Möglichkeiten, die sich momentan noch nicht so ganz absehen lässt.

Sprachmodelle sind sehr mächtige Werkzeuge, die auch viel gesellschaftlichen Schaden anrichten können, zum Beispiel durch die Verbreitung von Hass oder Desinformation. Sollten wir uns davor nicht schützen?

Kutylowski: Ich glaube, dazu wir müssen zuerst eine übergeordnete Frage beantworten. Machen wir uns mehr Sorgen um unsere private Situation als Bürger in einer Welt mit einem großen Anteil an Technologie und KI? Oder bereitet es uns mehr Sorgen, wie sich die Wirtschaft in Europa entwickelt? Ich mache mir tatsächlich mehr Sorgen darum, wie sich die Wirtschaft entwickelt und wie uns das wiederum als Bürger beeinflusst, als um die Tat-

sache, dass hier und da ein Modell einen Fehler macht, den wir vielleicht sonst nicht bemerken. Der AI Act wird die Probleme der KI ohnehin nicht selbst ausmerzen, sondern uns nur einen Rahmen geben, wie wir eventuell damit umgehen können. Ich bin der Meinung, dass wir es auch so schaffen würden, irgendwie sinnvoll damit umzugehen.

Spüren Sie eigentlich jetzt schon mehr Nachfrage nach Ihren Produkten, weil sich Kunden aufgrund der politischen Entwicklungen von der US-amerikanischen Konkurrenten abwenden?

Kutylowski: Dazu habe ich noch nicht genug Daten. Aber es ist ohnehin schon so, dass wir es als europäisches oder deutsches Unternehmen einfacher haben bei Kunden, die im europäischen Raum und speziell in Deutschland ansässig sind. Da geht es um Dinge wie Datenschutz, also Geheimhaltung der Daten, die an uns übertragen werden, und Einhaltung der regulatorischen Richtlinien, die in Europa vorherrschen. Das ist so ein bisschen der Heimvorteil, den man im eigenen Markt hat, weil man eher dafür bekannt ist, auch in diesem Bereich aufgewachsen zu sein. Man traut uns einfach eher zu, diese Anforderungen erfüllen zu können.

Was könnte Europa sonst noch helfen, sich gegenüber der Konkurrenz aus den USA durchzusetzen?

Kutylowski: Es gibt in Europa und Deutschland viele sehr schlaue Leute. Gleichzeitig ist die Konkurrenz auf dem Talentmarkt bei uns noch etwas kleiner, weil es hier noch nicht so viele Tech-Unternehmen gibt wie etwa in den USA. Diese große Menge an momentan noch nicht aktiviertem Talent könnte ein großer Vorteil für uns sein. Da geht es auch gar nicht bloß um Know-how.

Der ganze Markt, der sich momentan in diesem Bereich aufbaut, ist wirklich neu. KI selbst ist ja wirklich neu. Die Entwicklung geht rasant voran, und da ist aus meiner Sicht eigentlich die Einstellung das Wichtigste, die Fähigkeit zu lernen und sich schnell umzustellen. Was ist gestern Neues rausgekommen? Aufgrund dieser hohen Dynamik kommt es jetzt eigentlich mehr auf Geschwindigkeit an als auf Know-how vergangener Zeiten.

Man sollte aber auch realistisch sein und anerkennen, dass das Setup in Amerika momentan sehr gut aussieht. Die großen Tech-Unternehmen dort, die Hyperscaler, sind in der Lage, schnell gigantische Geldsummen bereitzustellen, um Technologie zu entwickeln. Gleichzeitig können sie ihre neuen Produkte sofort in den Markt einbringen, weil schließlich so gut wie jeder ohnehin schon irgendwie AWS- oder Google-Kunde ist. Da haben die Amerikaner einen großen Vorteil. Damit müssen wir leben. (akr@ct.de) **ct**

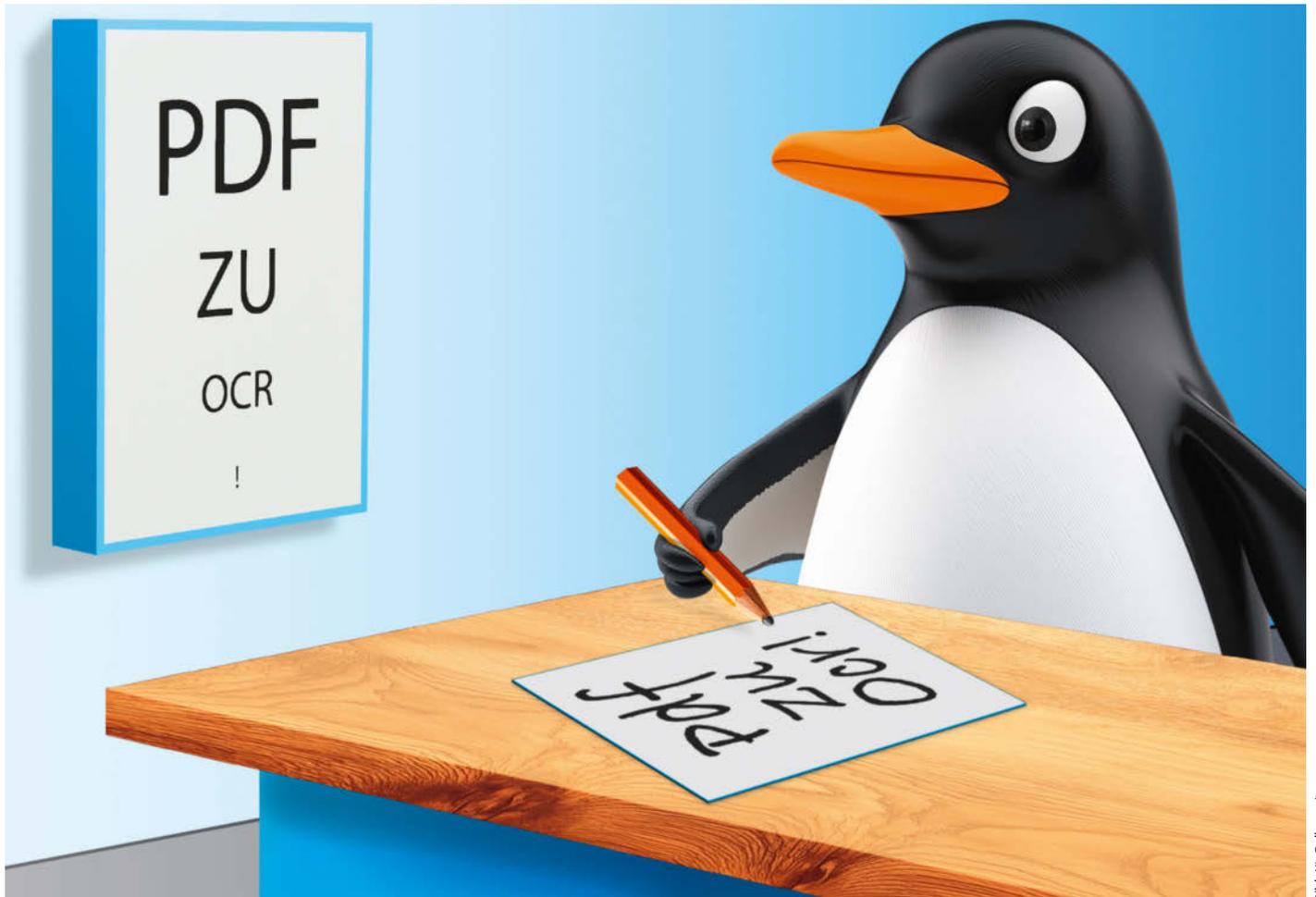


Bild: KI, Collage c't

Abschreib-o-mat

Mit incron oder inotify: Linux digitalisiert Text von Papiervorlagen automatisch

Digitalisierung muss nicht teuer sein: Wir zeigen zwei Alternativen, um mit Ihrem Pinguin einen kostenlosen Digitalpakt zu schließen, bei dem er die Buchstaben von eingescannten Seiten automatisch erkennt und zu Text wandelt.

Von Sebastian Piecha

Gedruckte Texte lassen sich mit der bewährten Optical Character Recognition (OCR) längst mit hinreichender Genauigkeit digitalisieren. So können Sie etwa Rechnungen von Handwerkern oder Dienstleistern digital archivieren. Das entlastet den Aktenschrank, und die digitalisierten Daten können Sie maschinell durchsuchen, wenn Sie mal Angaben für die Einkommensteuererklärung brauchen – dagegen sieht der deutsche Amtsschimmel alt aus.



Doch je mehr Papier ins Haus schneit, desto lästiger wird das Verfahren, wenn die Scannersoftware die OCR-Wandlung nicht selbst erledigt. Dann muss man nicht nur jede einzelne Seite in den Scanner einlegen, den Scan-Vorgang am PC starten und das Abbild als JPG- oder PNG-Datei speichern, sondern auch die OCR-App öffnen, diese zum Ordner führen, der die eingeleseene Datei enthält, die Texterkennung starten und schließlich den digitalisierten Text zum Beispiel als PDF-Datei speichern.

Diese Unbequemlichkeit kann man auf mehrere Arten beseitigen: Ein Beispiel mit der umfassenden Dokumentenver-

waltung paperless-ngx haben wir in [1] ausführlich vorgestellt; die Einrichtung ist jedoch nicht ganz trivial. Ein sehr

einfacher Weg besteht darin, ein Scanprogramm mit eingebauten OCR-Funktionen zu kaufen. Beispielsweise kostet das vielseitige VueScan für Linux, macOS und

ct kompakt

- Die Überwachungsfunktion `inotify` des Linux-Kernels lässt sich vielfältig für Automatisierungen einspannen.
- In unserem Beispiel nutzt der Pinguin quelloffene Software für die OCR-Wandlung eingescannter Seiten.
- Zwei Beispielskripte zeigen, wie das ohne jegliche Handarbeit klappt, sobald der Scanner ein PDF anliefert.

Windows mitsamt OCR-Funktionen rund 40 Euro. Solche Programme sind auch bei „allgemeinen Kommandozeilenunverträglichkeiten“ angeraten.

Einen dritten Weg stellen wir hier ausführlich vor: Dabei zapfen kurze Skripte Funktionen des Linux-Kernels an und verknüpfen einfache, quelloffene Linux-Programme, sodass die OCR automatisch abläuft, sobald ein PDF auf dem Linux-Rechner eintrifft. Dabei lernt man nebenbei, die Überwachungsfunktionen `inotify` und `inotifywait` anzuwenden.

Wir haben für `inotify` und `inotifywait` je ein Beispiel entwickelt, beide lassen sich in einem Stündchen einrichten. Im Weiteren ist immer nur vom Raspi die Rede, weil ein rund um die Uhr laufender Raspberry Pi diese Aufgabe sehr gut erledigen kann. Auf einem aktuellen Debian 12 haben die Anleitungen aber genauso funktioniert. Auf Debian 11 fehlt `inotify`, sodass man auf `inotifywait` angewiesen ist.

Die Einrichtung setzt eine SSH-Verbindung zum Raspi voraus und erfordert etwas Tipparbeit. Die Denkarbeit, die man zum Verknüpfen der Überwachungsfunktionen und der OCR-Software braucht, ist hingegen schon getan und steckt in Bash-Skripten, die wir unter ct.de/yznr zum Download anbieten.

Wir haben beide Beispiele mit dem HP-Scanner PageWide Pro 477dw MFP umgesetzt, der die Scandateien selbstständig übers LAN in das Dateisystem des Pinguins schreibt. Viele Scanner können nicht auf gängige Freigaben schreiben, weil etwa SMB-Funktionen fehlen. Solche Modelle kann man per USB an einen PC anschließen und die Scans von einem Linux-, Windows- oder macOS-Computer auf die SMB-Freigabe des Raspi schreiben lassen.

Und falls Treiber erhältlich sind, schließt man den Scanner direkt per USB an den Raspi an. Dann können alle Heimnetznutzer ihre Scans per SMB-Freigabe abholen und der PC kann ausbleiben.

Sechs Schritte

Der Ablauf besteht aus sechs Schritten: Der Scanner tastet das Papierdokument ab und schiebt den Scan auf die Netzwerkgreigabe des Raspi. Dessen Linux-Kernel überwacht dieses Verzeichnis und meldet, wenn eine neue Datei eingegangen ist. Diese Meldung kann man je nach Geschmack und Linux-Version mit dem Daemon `inotify` oder über das `inotify`-API abfragen und daraufhin das zugehörige Bash-Skript starten, das den OCR-Prozess ausführt. Die OCR-Ausgabe landet wieder in einem Netzwerkverzeichnis, wo sie der Anwender weiterverarbeiten kann. Fertig ist der automatisierte OCR-Prozess.

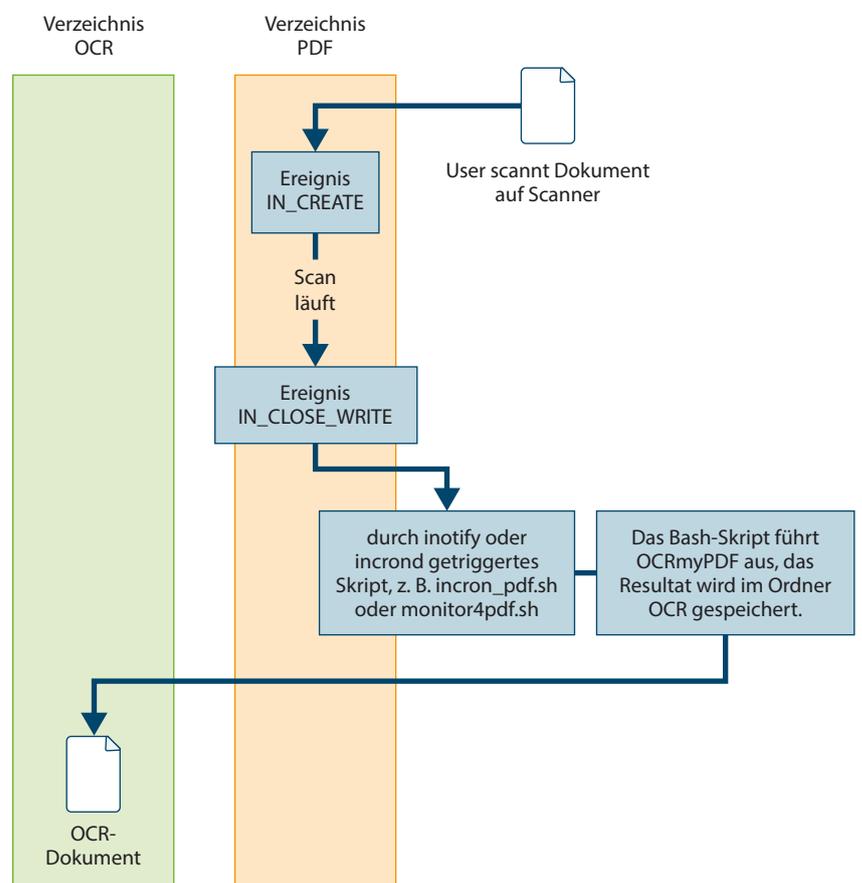
`Incrond` ist ein Userspace-Daemon, der um die Kernelfunktion `inotify` gestrickt ist. Er funktioniert ähnlich wie `cron`, entnimmt seine Konfiguration einer `incrontab`-Datei und erspart einem damit viel Aufwand. `Incrond` ist deshalb die erste Wahl für dieses Projekt. Steht der Daemon nicht zur Verfügung, kann man das API von `inotify` selbst anzapfen. Dann konfiguriert man die Überwachung mittels SystemD-Units.

`Incrond` empfiehlt sich, wenn man mehrere Verzeichnisse überwachen will. Jedes bekommt in der `incrontab` eine eigene Zeile. Bei `inotify` muss man für jeden zu überwachenden Ordner eine Unit anlegen. Deshalb sind `inotify`-Projekte um so komplexer, je mehr Ordner zu überwachen sind. Andererseits ist `inotify` flexibler: Systemd-Units kann man einzeln beenden oder manuell starten.

Als dritte Variante sei noch `systemd.path` genannt. Bisher bietet `systemd.path`

Automatische OCR-Wandlung eingescannter Dokumente

Auf Linux kann man Dateisystemereignisse mittels verschiedenen Techniken abfragen. Die Ergebnisse sind die Grundvoraussetzung für viele selbstgemachte Automatisierungen wie die OCR-Wandlung.



aber zu wenige Funktionen. Beispielsweise meldet `systemd.path` nicht, welche Art von Dateizugriff erfolgt ist, sondern benachrichtigt bei jeglichen Änderungen umgehend. In manchen Szenarien möchte man ein Skript aber erst dann starten, wenn die neue Datei fertig geschrieben und geschlossen ist. Das ließe sich zwar nachbauen, doch braucht man dafür noch ein weiteres Skript, das prüft, ob neue Dateien geschlossen sind. Das wäre zu aufwendig.

User und OCR einrichten

Im Weiteren gehen wir davon aus, dass Sie auf einem Raspi den User `pi` verwenden, der `sudo`-Rechte hat; auf üblichen Debian-Systemen setzen Sie entsprechend den jeweiligen User mit `sudo`-Rechten ein.

Wir halten uns an bewährtes Vorgehen und betreiben das OCR-Projekt mit so wenig Privilegien wie möglich. Dazu legen wir den User `scanner` an, der keine Systemverwalterrechte bekommt. Gescannte und verarbeitete Dokumente landen ebenfalls in seinem Ordner, nämlich `/home/scanner`.

Am besten öffnen Sie gleich zu Beginn drei Terminal-Fenster: je eines für die Kontexte `pi` und `scanner` sowie ein drittes, in dem später Journalausgaben landen.

Melden Sie sich im ersten Fenster per SSH als User `pi` an, aktualisieren Sie das Betriebssystem und installieren Sie einen Terminal-Manager wie `tmux`, um nach vo-

rübergehenden Trennungen der SSH-Sitzungen nahtlos fortsetzen zu können:

```
sudo apt update
sudo apt full-upgrade
sudo apt install tmux
```

Starten Sie `tmux`, laden Sie das Archiv mit den Beispielskripten auf den Raspi und entpacken Sie es wie folgt:

```
tmux
wget https://ftp.heise.de/ct/listings/2025/10/autoocr.zip
unzip autoocr.zip
```

Legen Sie nun den User `scanner` an:

```
sudo adduser scanner
```

Tragen Sie auf Nachfrage ein Passwort ein, das Sie sich gut merken können. Kopieren Sie die Beispieldateien in das Verzeichnis des Users `scanner`:

```
sudo cp -r autoocr /home/scanner/autoocr
```

Die OCR-Automatik verwendet die Tools `tesseract-ocr` und `OCRmyPDF` und benötigt Python. Auf diesen Elementen gründen beide OCR-Automatiken, sowohl auf Grundlage von `incron` als auch auf Basis von `inotify`.

Falls Sie einen Raspi mit grafischer Oberfläche und Python 3.11 verwenden, installieren Sie die erforderlichen Elemente einfach mit `sudo apt install ocrmypdf python3.11-venv`.

Auf einem Raspi ohne grafische Bedienung empfiehlt sich folgender Weg:

```
sudo apt install tesseract-ocr
↳ ghostscript python3.11-venv
```

So vermeiden Sie die Installation vieler Pakete, die ohne grafische Oberfläche nutzlos sind.

Melden Sie sich im zweiten Terminal als User `scanner` an und legen Sie in dessen Home-Verzeichnis den Ordner `ocrmypdf` an. Dann installieren Sie dort die virtuelle Python-Umgebung:

```
tmux
su - scanner
mkdir ocrmypdf
python3 -m venv ocrmypdf
```

Aktivieren Sie die Python-Umgebung für das OCR-Projekt; alle nachfolgenden Python-Befehle beziehen sich auf die neue Python-Umgebung, auch der Paketmanager `pip3`, mit dem `OCRmyPDF` auf Raspis ohne GUI installiert wird:

```
source ocrmypdf/bin/activate
pip3 install ocrmypdf
```

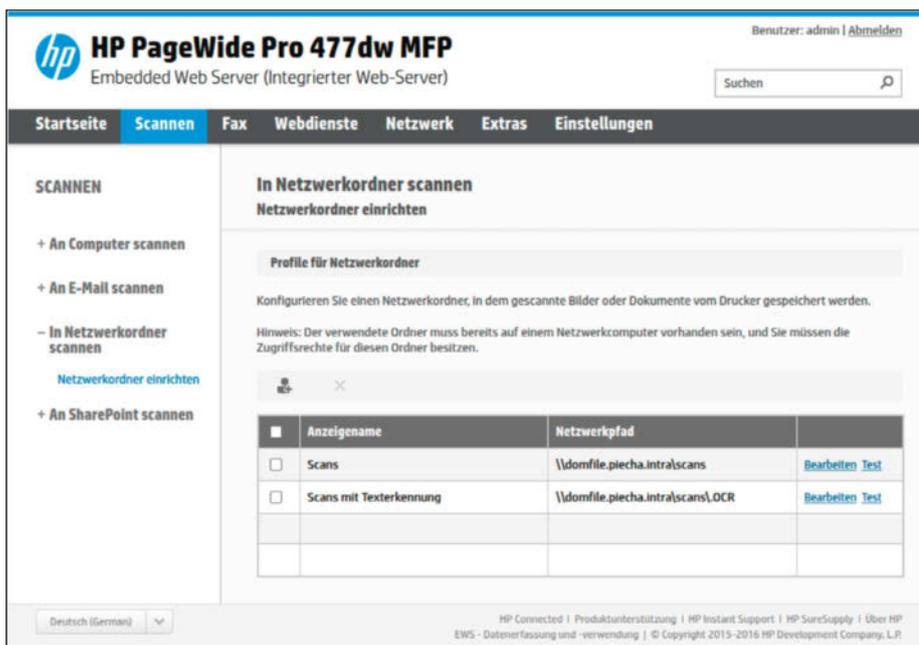
Falls `pip` auf Ihrem System fehlt, richten Sie es als User `pi` so ein:

```
sudo apt install python3-pip
```

Installieren Sie nun in der Sitzung `pi` die Anwendung `tesseract-ocr` sowie die Sprachdaten für Deutsch und Deutsch-Fraktur; der erste Befehl führt alle für Deutsch verfügbaren Module auf:

```
apt search tesseract-ocr |&
↳ grep -i german
sudo apt install
↳ tesseract-ocr-deu tesseract-ocr-frk
```

Damit sind die OCR-Werkzeuge eingerichtet und im Weiteren geht es um die Konfiguration der Überwachung. Zuerst folgt die Anleitung für die `incron`-basierte Methode mit dem Skript `incron_pdf.sh`, dann jene für die `inotify`-Technik mit dem Skript `monitor4pdf.sh` das vom Service `monitor4pdf.service` gestartet wird. Im Textabschnitt zur `incron`-Technik steht



Wir haben die Skripte zwar unter Einsatz eines Scanners entwickelt, der selbst auf Netzwerkfreigaben speichern kann, aber es eignen sich auch Scanner, die man per USB am PC betreibt; dann schiebt die Scansoftware die Daten etwa in eine SMB-Freigabe des Raspberry Pi.



MEHR ALS EIN SWIPE – WISSEN DAS BLEIBT.

Mac & i

2x Mac & i mit 35% Rabatt testen!

- Tipps & Praxiswissen für Apple-Insider
- Spannende Produkttests von Hard- und Software
- Workshops rund um die Apple-Produkte



+
Geschenk
nach Wahl

Adapter-Kabelbox oder Buch „Apple Junkies“



Jetzt bestellen:

www.mac-and-i.de/vorteil



auch, wie man prüft, ob PDF-Dateien nur grafische Elemente enthalten oder auch Text. Deshalb sollten Sie diesen Teil zumindest überfliegen, auch wenn Sie nur die inotify-Technik einrichten möchten.

incredm einrichten

Den Daemon incredm installiert man so:

```
sudo apt install increm
```

Anschließend kann man den Dienst wie üblich mit systemctl verwalten, also sudo systemctl start, um ihn in Gang zu bringen, sudo systemctl stop, um ihn anzuhalten, und sudo systemctl restart, um ihn neu zu starten. Jeder Linux-User kann increm anhand seiner eigenen incremtab individuell für sich konfigurieren (incremtab -e). Die incremtab hat zwar den Ruf, sperrig zu sein, aber für den Einstieg zeigen wir, wie Sie das im Archiv gespeicherte Beispiel einsetzen und bei Bedarf auch anpassen können.

Testumgebung

Um sicherzustellen, dass alle Rädchen korrekt ineinandergreifen, braucht man

eine Testumgebung, die belegt, dass PDF-Quelldateien keinen Text enthalten, die OCR-Funktionen grundsätzlich funktionieren und nur die ausgegebenen PDF-Dateien Text enthalten.

Dafür eignet sich zum Beispiel ein PC mit grafischem Interface: In der Quelldatei pdftest-ct.pdf, die wir als Beispiel beigelegt haben, lässt sich Text weder markieren noch kopieren, durchaus aber in der Ausgabedatei, die Sie gleich erzeugen können. Doch die Prüfung klappt einfacher auf einem Minimal-Linux ohne GUI, beispielsweise mit dem Kommando pdftotext aus den poppler-utils. Außerdem können Sie pdftotext später nutzen, um Texte aus PDFs zur Weiterverarbeitung zu extrahieren. Die poppler-utils können Sie als User pi wie folgt installieren:

```
sudo apt install poppler-utils
```

Bringen Sie eine Kopie der Datei pdftest-ct.pdf in den Ordner /home/scanner:

```
sudo cp /home/scanner/autoocr/
pdftest-ct.pdf /home/scanner
```

Wechseln Sie zur Sitzung scanner und prüfen Sie, ob pdftest-ct.pdf Textanteile enthält:

```
pdftotext pdftest-ct.pdf
```

Der Befehl erzeugt die neue Datei pdftest-ct.txt. Den Inhalt können Sie mit cat pdftest-ct.txt anzeigen. cat sollte eine leere Zeile liefern. Testen Sie nun ebenfalls als User scanner, ob OCMrmyPDF funktioniert:

```
ocrmypdf/bin/ocrmypdf -l deu
pdftest-ct.pdf pdftest-ct-ocr.pdf
```

Der Befehl gibt mehrere Statusmeldungen aus und erzeugt am Ende die neue Datei pdftest-ct-ocr.pdf. Wenn Sie diese neue PDF-Datei dem Befehl pdftotext zuführen, baut er daraus die neue Datei pdftest-ct-ocr.txt:

```
pdftotext pdftest-ct-ocr.pdf
```

Diese sollte etwa 2,4 kByte groß sein und Text enthalten:

```
cat pdftest-ct-ocr.txt
```

Damit ist belegt, dass der OCR-Vorgang grundsätzlich funktioniert.

Verlassen Sie die virtuelle Python-Umgebung mit dem Befehl deactivate. Nun folgen die Vorbereitungen, um OCRmyPDF aus einem Skript heraus aufzurufen. Das geht ohne Wechsel in die virtuelle Python-Umgebung. Ein Muster sieht wie folgt aus:

```
/home/scanner/ocrmypdf/bin/python
/home/scanner/ocrmypdf/bin/ocrmypdf
-l deu in.pdf out.pdf
```

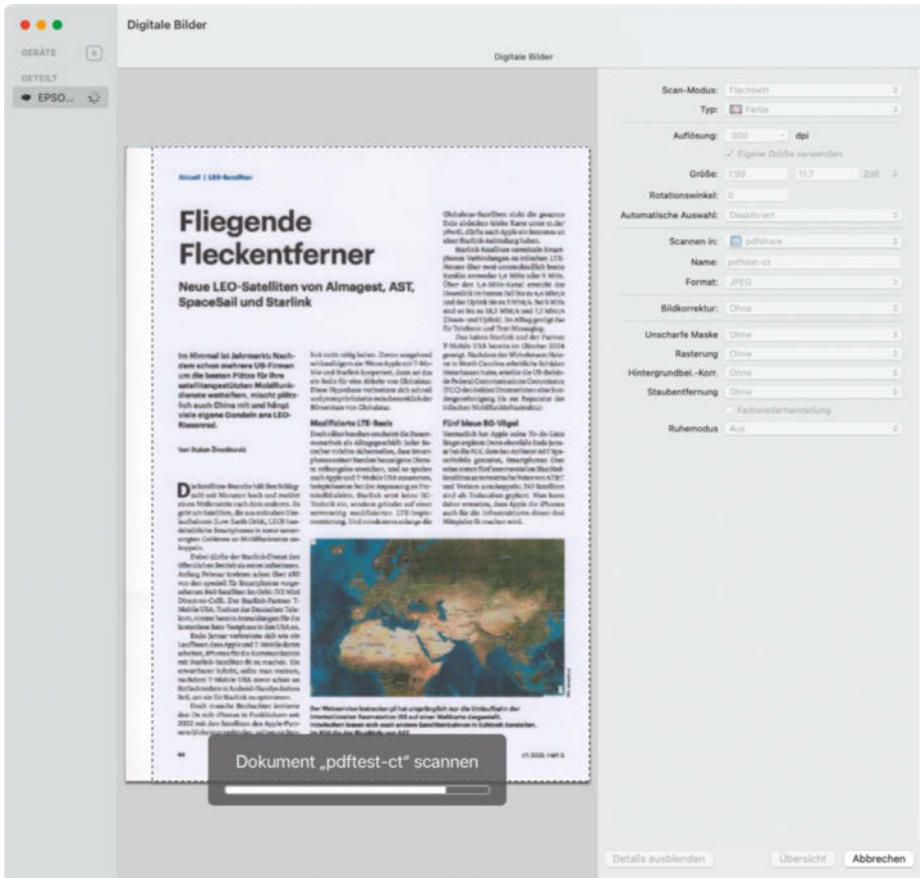
Scanner-Umgebung einrichten

Legen Sie als User scanner die Ordner pdf und ocr in /home/scanner an:

```
mkdir pdf ocr
```

Im Ordner pdf erwarten die Skripte die eingescannten Dateien. Die Ergebnisse landen im Ordner ocr.

Nun gilt es, Ihrer Scansoftware beizubringen, in den Ordner pdf zu schreiben. Wie Sie im Einzelnen vorgehen, hängt von der Scansoftware ab. Beispielsweise könnten Sie /home/scanner/pdf per SMB im LAN freigeben. Für die-



Wenn Scanner nicht selbst auf SMB-Freigaben schreiben können, kann das eine auf einem PC eingerichtete Scansoftware übernehmen; im Beispiel ist Apples „Digitale Bilder“ für macOS zu sehen.

KI-Management in der Praxis

Einsatz von KI im Unternehmen beurteilen und steuern

Im Fokus dieses Classrooms stehen Technologien, Methoden und Werkzeuge für erfolgreiches KI-Management.



Mit Prof. Dr. Andreas Moring

**5 Tage
geballtes
Wissen**



> Jetzt Tickets sichern unter heise-academy.de



sen Fall finden Sie in `/home/scanner/autoocr` eine Beispielkonfiguration namens `smb.conf`. Falls Sie SMB bereits für andere Zwecke verwenden, können Sie die zwei für dieses Projekt erforderlichen Einstellungsblöcke in Ihre individuelle `smb.conf` übertragen. Sie finden die Blöcke am Ende unserer Beispieldatei unter den Bezeichnungen `[pdf-share]` und `[ocr-share]`.

Falls auf Ihrem Raspi der Samba-Service noch nicht läuft, bringen Sie unser Konfigurationsbeispiel als User `pi` in den Ordner `/etc/samba`. Wenn Sie dann den SMB-Dienst neu starten, sind die Freigaben aktiviert:

```
cd ~/autoocr/
sudo cp smb.conf /etc/samba
sudo systemctl enable smbd
sudo systemctl start smbd
```

Um auf die Freigabe als User `pi` zugreifen zu können, teilen Sie dem SMB-Server ein Passwort für `pi` mit; das kann ein beliebiges sein:

```
sudo smbpasswd -a pi
```

Gerührt, nicht geschüttelt

Als Nächstes gilt es, dem User `scanner` zu gestatten, `incron` zu verwenden. Öffnen Sie dafür als User `pi` die Datei `/etc/incron.allow`:

```
sudo nano /etc/incron.allow
```

Tragen Sie dort als einziges Wort `scanner` ein und speichern Sie die Änderungen mit dem Tastenkürzel `Strg+X, Y`. Starten Sie `incron` neu, damit er für den neuen User arbeitet:

```
sudo systemctl restart incron
```

Nun legt man weiterhin als User `pi` die `incrontab` für den User `scanner` an; dafür erweitert man den `incrontab`-Befehl um die Parameter `-e` (editieren) und `-u` (Username):

```
sudo incrontab -e -u scanner
```

Eine komplette `incrontab`-Zeile sieht so aus:

```
/home/scanner/pdf IN_CLOSE_WRITE,
IN_DONT_FOLLOW,recursive=false,
dotdirs=true /bin/bash /home/scanner/
/bin/incron_pdf.sh @$@ $#
```

Diese Zeile haben wir in der Beispieldatei `incrontab.txt` abgelegt, die Sie in `/home/pi/autoocr` finden. Wenn Sie die Datei im dritten Terminal als User `pi` öffnen, können Sie den Inhalt kopieren und von dort in die erste `pi`-Sitzung in die geöffnete `incrontab` einfügen. Schließen Sie `incrontab` mit `Strg+X, Y`. Den Inhalt der `incrontab` kann man mittels `sudo incrontab -l -u scanner` anzeigen lassen.

Der Aufbau der Tabelle ist an `cron` angelehnt und im Wesentlichen in die drei Spalten Verzeichnis, Ereignis und Aktion unterteilt. Für jedes überwachte Verzeichnis legt man eine Zeile an. `man 5 incrontab` zeigt, welche Ereignisse sich überwachen lassen und welche Parameter man an eine Aktion übergeben kann.

Unser Beispiel geht davon aus, dass das Bash-Skript im Pfad `/home/scanner/bin` liegt. Legen Sie es als User `scanner` an, bringen Sie das Skript `incron_pdf.sh` dort hin und machen Sie es ausführbar:

```
mkdir /home/scanner/bin
cp ~/autoocr/incron_pdf.sh ~/bin
chmod +x ~/bin/incron_pdf.sh
```

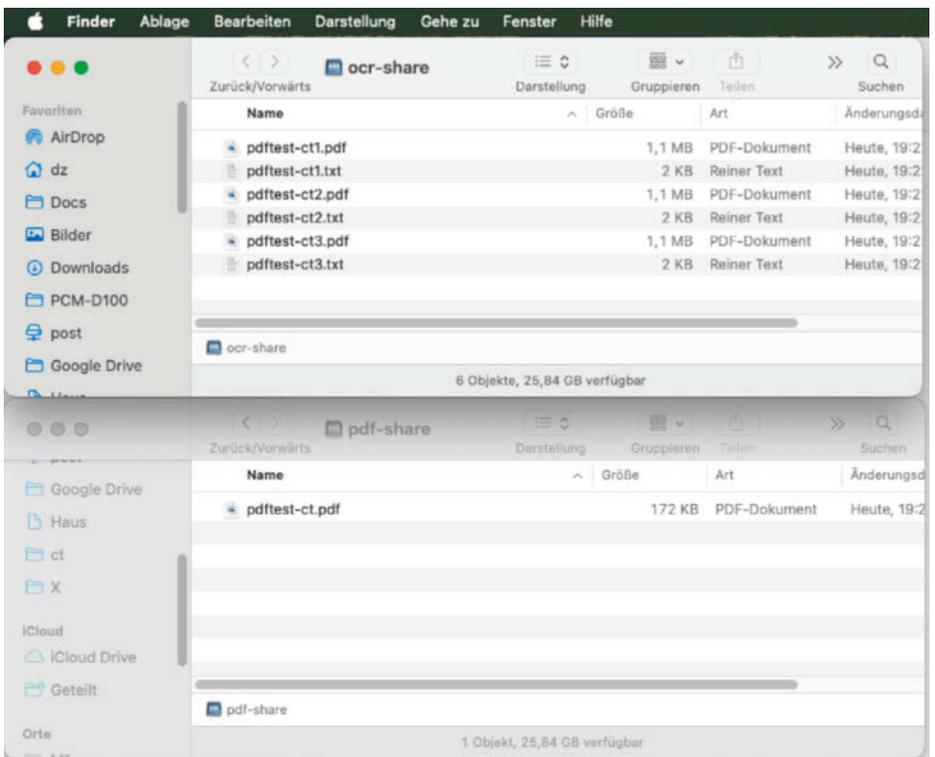
`Incron` ruft das Bash-Skript auf, sobald es feststellt, dass im Ordner `/home/scanner/`

`pdf` eine neue Datei angelegt und geschlossen wurde. Das definieren Sie in der `incrontab` mit der Ereignisabfrage `IN_CLOSE_WRITE`.

Es gibt diverse weitere Abfragen, beispielsweise `IN_CREATE`. Damit erfahren Sie aber nur, dass gerade eine neue Datei angelegt worden ist. Wenn das den Start des Bash-Skripts auslöst, kann es vorkommen, dass die Verarbeitung beginnt, bevor alle Seiten eines Dokuments gescannt sind, also unvollständige PDFs entstehen. Deshalb ist `IN_CLOSE_WRITE` meist die bessere Wahl.

Doch manche Programme legen zunächst eine temporäre Datei an, schreiben diese voll und tragen den endgültigen Dateinamen erst zum Schluss ein. Das ist beim SMB-Client von macOS der Fall. Wenn man dann `IN_CLOSE_WRITE` nutzt, startet das Skript schon, sobald die temporäre Datei fertig ist, verschiebt sie und der Scanner kann den Vorgang nicht beenden. Wir haben daher für Macs ersatzweise `IN_MODIFY` als Auslöser verwendet.

Am Ende der `incrontab`-Zeile stehen die Parameter `@$` und `$#`. Damit meldet `incron` den Namen des überwachten Verzeichnisses und den darin gefundenen Dateinamen. Um mehrere Verzeichnisse



Öffnet man auf dem PC die SMB-Freigaben des Raspi, sieht man nicht nur, ob und welche Dateien eine Scansoftware in den vom Raspi überwachten `pdf`-Ordner schreibt, sondern kann auch verfolgen, ob die Skripte die PDF-Dateien nach Bearbeitung im `ocr`-Ordner ablegen.

oder Unterverzeichnisse zu überwachen, legen Sie für jedes eine eigene Zeile an. So können Sie auch die Erfordernisse verschiedener Clients berücksichtigen und je nach Bedarf entweder `IN_CLOSE_WRITE` oder `IN_MODIFY` verwenden.

Wichtig ist die explizite Angabe der Shell (hier `/bin/bash`), da `incron` die Anweisungen `#!` (Shebang) in Skripten ignoriert. Außerdem sind vollständige Pfade empfehlenswert für den Fall, dass ein Kommando mit der aktuellen `PATH`-Umgebungsvariable nicht gefunden wird.

Die Beispielskripte legen die OCR-Ergebnisse als OCR-PDF-Datei mit Text-Overlay im Verzeichnis `/home/scanner/ocr` ab. Falls das Zielverzeichnis `ocr` fehlt, erzeugt es das Bash-Skript bei Bedarf selbst.

Das Skript `/home/scanner/bin/incron_pdf.sh` können Sie mit beliebigen Texteditoren öffnen oder mit `cat` anzeigen. Zu jedem Abschnitt finden Sie hinter den `#`-Zeichen erläuternde Kommentare.

Die Eingangstests prüfen, ob die erforderlichen Quellverzeichnisse und -dateien vorliegen und ob es sich um geeignete PDF-Dateien handelt. Wenn eine Datei alle Tests besteht, wird sie zunächst in den Ordner `/home/scanner/ocr` verschoben. Um Namenskollisionen zu vermeiden, benennt das Skript sie vor dem Verschieben gegebenenfalls um. Dann folgt die OCR und das Skript endet.

Automatik-Test

Um zu prüfen, ob die gesamte Prozedur automatisch läuft, öffnen Sie im dritten Terminal das `incron`-Journal, um zu beobachten, was der Daemon tut und meldet:

```
sudo journalctl -f -u incron.service
```

Wenn `incron` ordnungsgemäß gestartet ist, sollten dort keine Fehlermeldung stehen, sondern „ready to process filesystem events“. Wenn das der Fall ist, kopieren Sie als User `scanner` die Datei `pdftest-ct.pdf` in den Ordner `/home/scanner/pdf`:

```
cp pdftest-ct.pdf ~/pdf
```

Daraufhin sollten im Journal die Zeilen „`PATH (/home/scanner/pdf) FILE (Test.pdf) EVENT (IN_CLOSE_WRITE)`“ erscheinen und einige Sekunden später landet in `/home/scanner/ocr` das fertige OCR-PDF. Mit dem Befehl `pdftotext` können Sie nun den als Overlay gespeicherten Text in eine separate Datei extrahieren und mit `cat` anzeigen lassen.

Überwachung mit inotify

Kann oder will man `incron` nicht nutzen, etwa, weil man diverse Ordner zu verschiedenen Zeiten überwachen will, steht auf den meisten Linuxen alternativ `inotify` zur Verfügung. Um es auszuprobieren, sollte `incron` unbedingt gestoppt und deaktiviert sein:

```
sudo systemctl stop incron
sudo systemctl disable incron
```

Im Paket `inotify-tools`, zu installieren per `sudo apt install inotify-tools`, steckt der Befehl `inotifywait`. Der lässt sich zur Überwachung in SystemD-Units einbinden.

Eine Beispielanwendung finden Sie im Ordner `autoocr`. Sie besteht aus dem Bash-Skript `monitor4pdf.sh` und der SystemD-Unit `monitor4pdf.service`. Kopieren Sie das Bash-Skript als User `scanner` in den Ordner `/home/scanner/bin`:

```
cd /home/scanner/autoocr/
cp monitor4pdf.sh
cp /home/scanner/bin
```

Der Aufbau des Bash-Skripts ist einfach; die wichtigsten Abschnitte sind wie im `incron`-Skript kommentiert. `Inotifywait` wird als Daemon (`-m`) gestartet und wartet auf das Ereignis „Datei geschlossen“ (`-e close_write`). Mit dem Parameter `--format '%f'` wird bei einer Aktion der Dateiname ausgegeben und dann vom nachfolgenden `read` gelesen und an die Variable `file` übergeben.

`read -r` liest die ganze Zeile und interpretiert sie als Dateinamen. Deshalb darf sie auch Leerzeichen oder Sonderzeichen enthalten. Die Datei wird dann zur weiteren Verarbeitung an `OCRmyPDF` übergeben, so wie in `incron_pdf.sh`, das auf `incron` aufsetzt.

Möchte man auf verschiedene Ereignisse unterschiedlich reagieren, kann `inotifywait` melden, welches Ereignis es detektiert hat – die Behandlung von Dateien mit Leerzeichen im Namen ist dann jedoch aufwendiger.

In der SystemD-Unit führt man mittels der Variablen `ExecStart` das Bash-Skript aus, das `inotifywait` als Daemon starten soll. Falls es während der Ausführung unerwartet beendet wird, startet es die Unit automatisch neu (`Restart=always`). Ausgeführt wird es im Kontext des Benutzers `scanner`; das legt man mit den Parametern `User` und `Group` fest. Die Ausgaben

werden mittels Syslog protokolliert und lassen sich per `journalctl -fu monitor4pdf` anzeigen.

So bringen Sie die Unit als User `pi` an ihr Ziel:

```
sudo cp ~/autoocr/monitor4pdf.service
cp /etc/systemd/system
```

Anschließend muss man SystemD die neue Unit bekannt machen und veranlassen, sie zu aktivieren und beim Bootvorgang automatisch zu starten:

```
sudo -i
systemctl daemon-reload
systemctl enable monitor4pdf.service
systemctl start monitor4pdf.service
```

So prüfen Sie, ob der Dienst läuft:

```
systemctl status monitor4pdf.service
```

Log-Ausgaben lesen Sie mit folgendem Befehl aus:

```
journalctl -fu monitor4pdf
```

Wenn Sie genug gesehen haben, beenden Sie die Root-Sitzung mit `exit`.

Fazit

Beide Skripte liefen im Test auf verschiedenen Systemen mehrere Wochen lang reibungslos. Etwas Linux-Know-how vorausgesetzt, lassen sie sich mit gängigen Kommandos ergänzen und an eigene Bedürfnisse anpassen. Dabei ist `inotify` auch einen zweiten Blick wert. Man kann damit etwa den Mount-Vorgang eines externen Laufwerks als Auslöser verwenden, um eine `inotify`-Instanz automatisch per `systemd.unit` zu starten, die dann auf dem externen Laufwerk ein Verzeichnis überwacht.

Anstatt der OCR-Wandlung können beide Skripte ganz andere Dinge automatisch erledigen, beispielsweise just geschriebene lokale Backups oder geänderte Konfigurationsdateien aus dem Ordner `/etc` automatisch per `scp` auf einem entfernten Server duplizieren. (dz@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Jan Mahn, Dokumentenschlucker, Papierloses Büro mit `paperless-ngx`, c't 9/2024, S. 152

Überwachungstechniken auf Linux:
[ct.de/yznr](https://www.ct.de/yznr)



Bild: KI, Collage ct

OSINT to go

Security-Recherchen per Browsererweiterung

Sie haben einen akuten Malware- oder Phishing-verdacht, dem Sie nachgehen wollen? Wir stellen leicht bedienbare OSINT-Erweiterungen (Open Source Intelligence) für Firefox und Chrome vor, mit denen Sie relevante Bedrohungsdaten bequem im Vorbeisurfen sammeln und auswerten.

Von Olivia von Westernhagen

Eine verdächtige E-Mail, garniert mit einem Link oder einer dubiosen Datei, flattert in Ihr Postfach. Sie wittern eine Phishing- oder Malware-Kampagne, wollen die Nachricht löschen – und zögern dann. Neugierde steigt in Ihnen auf, der Wunsch, mehr über die potenzielle Bedrohung zu erfahren. Und vielleicht auch das Bedürfnis, Freunde oder Kollegen vor einem clever gemachten Angriff zu warnen.

In diesem Szenario müssten Sie aus den gesicherten Spuren erst einmal ein paar nützliche Hintergrundinformationen gewinnen. Nur wie? Einfach dem Link zu folgen beziehungsweise den Mailanhang zu öffnen, ist angesichts des Schadcodeverdachts die schlechteste Idee. Und für

Recherchen im Netz fehlen oft Zeit und Muße – zumal dann, wenn man gar nicht weiß, wo man anfangen soll.

Hier springen Ihnen Browsererweiterungen aus dem Bereich der Open Source Intelligence (OSINT) zur Seite. Der Begriff stammt aus der Welt der Nachrichtendienste und bezeichnet das Sammeln und Auswerten öffentlich zugänglicher Informationen.

Die Erweiterungen in diesem Artikel erleichtern Ihre Security-Recherchen und nehmen Ihnen einen großen Teil der Auswertung ab. Sie können sie im Browsertab mit Links, Dateien oder anderen Informationen füttern. Mit dem Input konsultieren die Erweiterungen zum Beispiel Online-scandienste für Schadcode und Links oder versuchen, Wissensdatenbanken wie MITRE ATT&CK weitere Details zu entlocken.

Die Resultate klären Fragen und lenken Nachforschungen in eine Richtung – sozusagen OSINT to go, für deren Verwendung Sie lediglich eine aktuelle Version von Mozilla Firefox oder Google Chrome benötigen.

Aus Sicherheitsgründen sollten Sie beim Herunterladen der Erweiterungen auf

die offiziellen Downloadquellen der Browser zurückgreifen. Unter ct.de/y5pa finden Sie Links zu allen Add-ons aus diesem Artikel. Einige sind über die Symbolleiste des Browsers (rechts neben der Adressleiste) am komfortabelsten bedienbar. Wie Sie sie nach der Installation dort anheften, erfahren Sie in Hilfeartikeln, die wir ebenfalls in der Linkliste hinterlegt haben.

Links scannen mit Mitaka

Naheliegende erste Anlaufstellen für unser Beispielszenario „verdächtige Mail“ sind Multiscandienste wie VirusTotal (VT), Hybrid-Analysis und Joe Sandbox. Dort nehmen Scan-Engines zahlreicher Sicherheitssoftwarehersteller Uploads unter die Lupe. Hinzu kommt bei Schadcode meist eine statische Datei- und oft auch eine dynamische Sandbox-Analyse. Bei der ersten wird die Datei in ihre Bestandteile zerlegt und untersucht; bei der zweiten wird der Schädling in einer abgeschotteten Umgebung ausgeführt und sein Verhalten beobachtet. Das Resultat ist ein Analysebericht, der im Idealfall hilft, das Bedrohungspotenzial besser einzuschätzen. Zudem bieten die Informationen einen Ausgangspunkt zum Weiterforschen.

Denken Sie daran, dass kostenlos generierte Reports auf den meisten Analyseplattformen öffentlich einsehbar sind. Insbesondere vor Datei-Uploads sollte man abwägen, ob verdächtige Inhalte nicht privater Natur sein könnten.

Für verdächtige Links lässt sich ein Multiscan, also eine Analyse durch mehrere Dienste, bequem mit Mitaka ausführen [1]. Die quelloffene Erweiterung des japanischen Entwicklers Manabu Niseki macht zahlreiche Scandienste per Rechtsklick auf das gewünschte Zielobjekt verfügbar.

Das ist nicht nur praktisch, um gleich mehrere Plattformen zu konsultieren, sondern auch, weil weitere Services integriert sind, auf die man sonst vielleicht gar nicht gekommen wäre. Außerdem erspart man sich das riskante Kopieren verdächtiger URLs in die Zwischenablage, wo man die schlummernde Gefahr auch schon mal vergessen kann.

Für aktive URL-Scans stellt Mitaka die Dienste von VirusTotal, Hybrid-Analysis und urlscan.io zur Auswahl. Um sie mithilfe der Erweiterung nutzen zu können, benötigt man API-Keys, die eine kostenlose Registrierung bei dem jeweiligen Dienst erfordern. In unserem Test klappte das schnell und problemlos. Die Keys hinterlegt man in den Einstellungen für

die Browsererweiterung unter Chrome beziehungsweise Firefox. Wer dabei Hilfe benötigt, findet eine Erläuterung in der Readme-Datei in Mitakas GitHub-Repository (siehe ct.de/y5pa).

Gefahrlos ausprobieren können Sie Mitaka anschließend an beliebigen unverdächtigen Links. Markieren Sie diese einfach, klicken Sie mit der rechten Maustaste und wählen Sie über das Kontextmenü per „Mitaka / Scan with (...)“ den gewünschten Dienst aus. Der Report öffnet sich in einem neuen Tab.

Beim Inspizieren der vielen Mitaka-Optionen für Links werden Sie feststellen, dass die Erweiterung noch weitere Webdienste bündelt. Mit ihnen kann man die URL ohne API-Key-Eingabe nach bereits vorhandenen Reports suchen („Search (...) on (...)“).

Datei on the fly mit MetaDefender

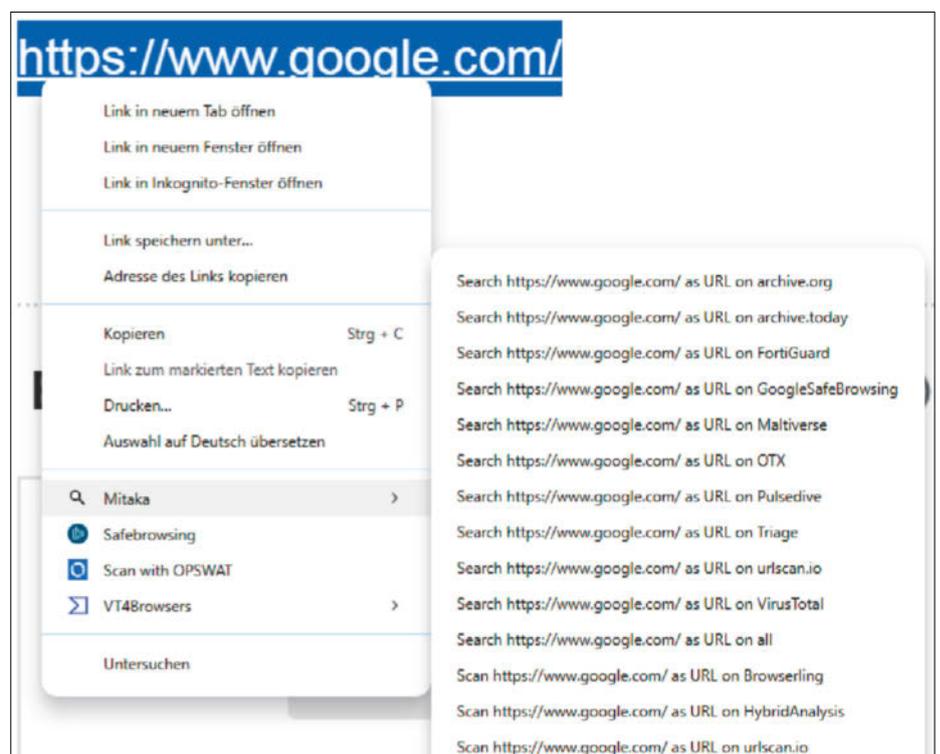
Falls Sie sich einen ähnlichen Service wie Mitaka auch für Dateien wünschen, lohnt ein Blick auf die Chrome-Erweiterung „File Security for Browser“ des Unternehmens OPSWAT. Dessen MetaDefender Cloud ist ein wenig bekannter Multiscandienst, der jedoch mit über 30 eingebundenen Malware-Engines aufschlussreiche Resultate liefert.

ct kompakt

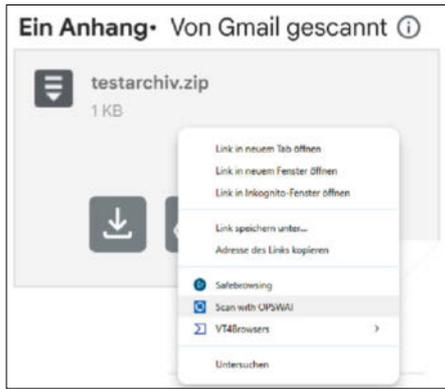
- Browsererweiterungen ermöglichen Malware-Recherche im Vorbeigehen.
- Sie liefern eine riesige Fülle an Infos zu URLs, Dateien, CVE-Einträgen und mehr.
- Die vorgestellten Tools sind allesamt gratis nutzbar.

Wer Sicherheits- oder Datenschutzbedenken bezüglich der Browsererweiterung hat, kann sich auf GitHub deren Code anschauen: „File Security for Browser“ ist ein Open-Source-Projekt. Der Hersteller versichert in seiner Datenschutzerklärung im Chrome Web Store, keinerlei Nutzerdaten zu erheben oder zu verwenden.

Nach dem Hinzufügen ist die Erweiterung mithilfe des automatisch generierten API-Keys ohne weitere Umstände nutzbar. Sobald Sie auf einen Link zu einer Datei rechtsklicken („Scan with OPSWAT“), schicken Sie diese in die MetaDefender Cloud. Wie bei Mitaka erscheinen die Ergebnisse in einem eigenen Tab. Ein schönes Extra ist eine Liste der vorigen Scans nebst Uhrzeit und Link zum Report. Die Liste ist dauerhaft in den Er-



Die Browsererweiterung Mitaka stellt per Rechtsklick vielfältige OSINT-Recherche-möglichkeiten zur Wahl, zum Beispiel für URLs.



„File Security for Browser“ scannt verdächtige Dateianhänge einfach per Rechtsklick wie unser Dummy-Archiv.

weiterungseinstellungen im Untermenü „Optionen“ abrufbar.

Wenn Sie „File Security for Browser“ ausprobieren möchten, können Sie sich ein simples Szenario bauen: Schicken Sie sich selbst eine Nachricht an einen Webmailer und hängen Sie als Malware-Dummy beispielsweise ein leeres Textdokument in einem passwortlosen ZIP-Archiv an. Auf dieses können Sie die Erweiterung, die mit vielen verschiedenen Formaten zurechtkommt, loslassen.

Sandbox-Abenteuer mit any.run

Wer seine OSINT-Recherchen mit ein wenig Nervenkitzel verbinden und direkt an der Quelle durchführen möchte, dem könnte any.run gefallen. Der Onlinedienst bietet Sandbox-Analysen im Browser, bei denen Nutzer Bedrohungen wie Schadcode oder verdächtige Websites gefahrlos beobachten und sogar mit ihnen interagieren können.

Die ausschließlich für Chrome und Chromium-gestützte Browser verfügbare Erweiterung des Webdienstes macht mit „Safebrowsing“ Teile der any.run-Funktionalität direkt verfügbar, etwa für verdächtige Links im aktuellen Tab. Um die Erweiterung zu nutzen, benötigt man ein kostenloses Nutzerkonto. Für den Fall, dass beim Registrieren Probleme auftreten, weil eine Business-E-Mail-Adresse verlangt wird, hat das any.run-Team via Discord ein alternatives Anmeldeformular für Privatnutzer bereitgestellt (siehe ct.de/y5pa).

Nach der Installation klicken Sie auf das Symbol in der Browserleiste und geben Ihre any.run-Zugangsdaten ein. Dann kann es losgehen: Nach einem Rechtsklick auf einen verdächtigen Link wählen Sie „Safebrowsing“ im Kontextmenü aus. In einem neuen Tab öffnet sich eine Sandbox-Ansicht der potenziell gefährlichen Seite. In ihr können Sie sich nun bedenkenlos einen Eindruck von deren Absichten verschaffen – zumindest sofern die Seite noch online ist, da betrügerische Seiten meist nur eine kurze Lebensdauer haben. Eines sollten Sie selbstverständlich auch hier vermeiden: persönliche Daten einzugeben. Denn die landen auch in einer Sandbox-Umgebung auf den Servern von Kriminellen.

any.run assistiert beim Einschätzen mit Hinweisen wie „no threats detected“ oder aber „malicious activity“. Außerdem liefert die Sandbox im Reiter „Network inspector“ eine detaillierte Livedarstellung sämtlichen Traffics der besuchten Website. Die kann auch dabei helfen, Schadcode auf die Spur zu kommen, den eine Website über Browserlücken zu verteilen versucht.

In einem Hamburger-Menü rechts oben in der Sandbox-Ansicht findet sich die Möglichkeit, die Netzwerkinformationen im PCAP-Format herunterzuladen. Außerdem fasst any.run dort alle entdeckten Alarmzeichen als Indicators of Compromise (IoCs) zusammen; verdächtige IPs, Dateien und andere Fundstücke also, aus denen sich bestenfalls ein Gesamtbild der bössartigen Aktivitäten ergibt.

So praktisch Safebrowsing auch ist: Dabei bekommt man nur eine stark abgespeckte Auswahl der gewohnten any.run-Features. Wer über die Browsererweiterung eine Vollversion von any.run nutzen will, benötigt ein kostenpflichtiges any.run-Konto. Einen Blogbeitrag, der die damit verfügbaren Zusatzoptionen zeigt, haben wir unter ct.de/y5pa verlinkt.

Mehr erfahren mit Mitaka

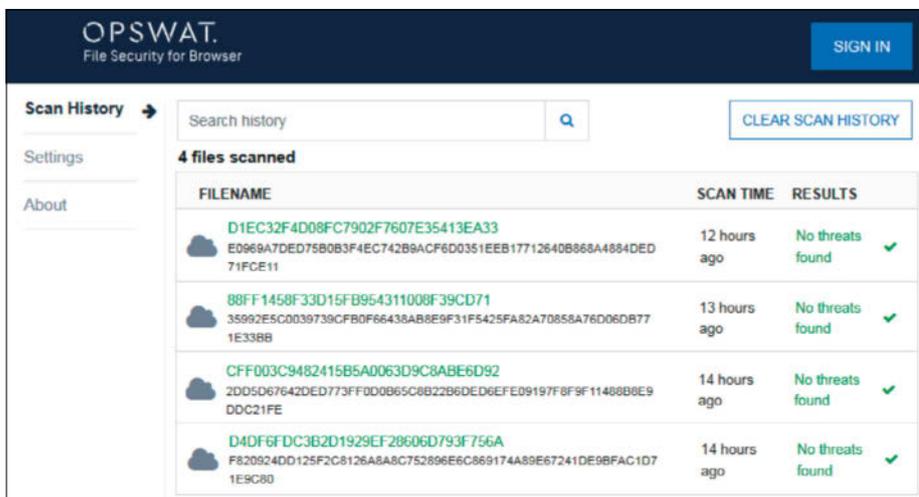
Nicht immer liefern Multiscans oder Sandbox-Analysen eindeutige Ergebnisse. Dann ist es an der Zeit, weitere Informationen in die Recherche einzubeziehen.

Auch hierfür bietet Mitaka einen hervorragenden Ausgangspunkt. Das Add-on analysiert längst nicht nur URLs; vielmehr hält es eine große Auswahl von OSINT-Diensten bereit. Besonders praktisch: Sobald man im aktuellen Tab einen Informationsschnipsel markiert, wählt Mitaka aus allen verfügbaren Diensten die zum Typ passenden aus. Im Kontextmenü kann man dann auch nur aus denen auswählen.

Mitaka erkennt außer URLs auch Domainnamen, IPs, Mailadressen, Dateihashes und CVE-Nummern für bekannte Sicherheitslücken. Hier lässt sich wunderbar anknüpfen – denn viele dieser Informationen sind typischerweise Bestandteil von Scan-Reports und Sandbox-Analysen. Probieren Sie doch selbst ein wenig herum: Unter ct.de/y5pa finden Sie je einen Analysebericht einer Malware sowie einer Phishing-Site mit reichlich Futter für Mitaka.

OSINT-Recherchen mit der Erweiterung sind so vielfältig, dass ihre Aufzählung den Rahmen dieses Artikels sprengen würde. Die verfügbaren Dienste umfassen etwa weitere Scanplattformen wie Intezer oder Maltiverse, Abfragen bei Diensten wie CheckPhish zum Enttarnen von Phishing-Sites oder IP-gestützte Suchen in der Shodan-Datenbank.

Beim Aufspüren schriftlicher Informationsquellen wie Sicherheitswarnungen von Behörden oder Blogbeiträgen von Forschern kann eine URL-, Domain-, IP- oder Hash-Suche bei OTX (Open Threat



Praktisch: „File Security for Browser“ listet bisherige Untersuchungen in einer Scanhistorie auf.

Exchange) helfen. Die Plattform dient Sicherheitsexperten zum Austausch von Bedrohungsinformationen, die sie online in übersichtlicher Form verfügbar macht. Leider sind längst nicht alle in Mitaka integrierten Dienste kostenlos beziehungsweise ohne Registrierung nutzbar – doch schon die Informationsfülle der barrierefreien ist riesig.

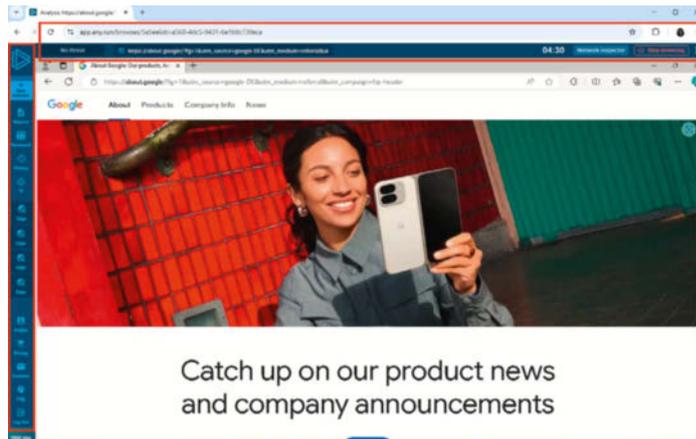
MITRE ATT&CK: Zusammenhänge verstehen

Sie haben die gewünschten Informationen gefunden und sind nun damit beschäftigt, Fachlektüre zu durchforsten? Die Erweiterung „ATT&CK Powered Suit“ für Firefox und Chrome hilft beim Auswerten und Verstehen der frisch gefundenen Quellen. Sie stammt von der in Security-Kreisen bekannten MITRE Corporation und fußt, wie der Name schon verrät, auf deren Wissensdatenbank ATT&CK (das steht für Adversarial Tactics, Techniques, and Common Knowledge – Aussprache wie „Attack“).

ATT&CK beschreibt und klassifiziert Cyberbedrohungen. In ihren Einträgen setzt die Datenbank konkrete Akteure („Groups“), die für Angriffe verwendete Soft- oder Malware sowie Angriffskampagnen aus der Vergangenheit miteinander in Beziehung. Angriffstaktiken sowie ihnen untergeordnete Techniken und konkrete Vorgehensweisen (Tactics, Techniques and Procedures; TTPs) vervollständigen das Gesamtbild. Mithilfe eindeutiger IDs sind sämtliche Elemente in der Datenbank einzeln identifizierbar und abrufbar.

Um ATT&CK Powered Suit nach der Installation für Recherchen zu verwenden, markieren Sie einen beliebigen Begriff aus Ihrer Informationsquelle. Wenn Sie unsicher sind, fangen Sie ganz simpel an, etwa mit „Phishing“, passend zu unserem Beispiel. Oder auch mit dem Namen einer Cybercrime-Gang wie „Aquatic Panda“, auf die Sie in einem Artikel gestoßen sind und über die Sie nun mehr erfahren wollen.

Die Erweiterung ist im Browser wahlweise per Rechtsklick („ATT&CK Powered Suit“ im Kontextmenü) oder auch durch Anklicken des „&“-Icons im Add-on-Bereich verfügbar. Im letzten Fall tippen Sie den gesuchten Begriff ein. Egal wie Sie vorgehen, können Sie anschließend mit zahlreichen Filteroptionen eingrenzen, in welchen Kategorien Sie suchen möchten. Experimentieren Sie damit, auch um ein Gefühl für geeignete Suchbegriffe und passende Kategorien zu bekommen.



Das Safebrowsing-Feature der Sandbox-Erweiterung von any.run ermöglicht eine weitgehend gefahrlose Untersuchung von Websites. Hier im Bild: eine harmlose Google-Seite.

Die Suchtreffer führen Sie zu Einträgen auf der ATT&CK-Website. Dort erfahren Sie mehr über verschiedene Phishing-Techniken und geeignete Abwehrmaßnahmen sowie über die Herkunft, TTPs und verwendete Angriffstools, etwa über die erwähnte Gruppe Aquatic Panda.

Noch mehr OSINT

Digitale OSINT-Recherchen sind mit passenden Browser-Add-ons einfach. Denn die Erweiterungen entschärfen das Handling potenziell gefährlicher Inhalte und helfen, Bedrohungsinformationen aufzufinden und zu verstehen.

Besonders deswegen hat auch Mitaka noch Asse im Ärmel. Probieren Sie aus, eine CVE-ID, also den Bezeichner einer Schwachstelle nach dem Schema CVE-XXXX-XXXX, zu markieren und mit Mitaka danach in der Schwachstellendatenbank NVD (National Vulnerability Database) zu suchen. Ebenfalls praktisch ist die Möglichkeit, nicht mehr erreich-

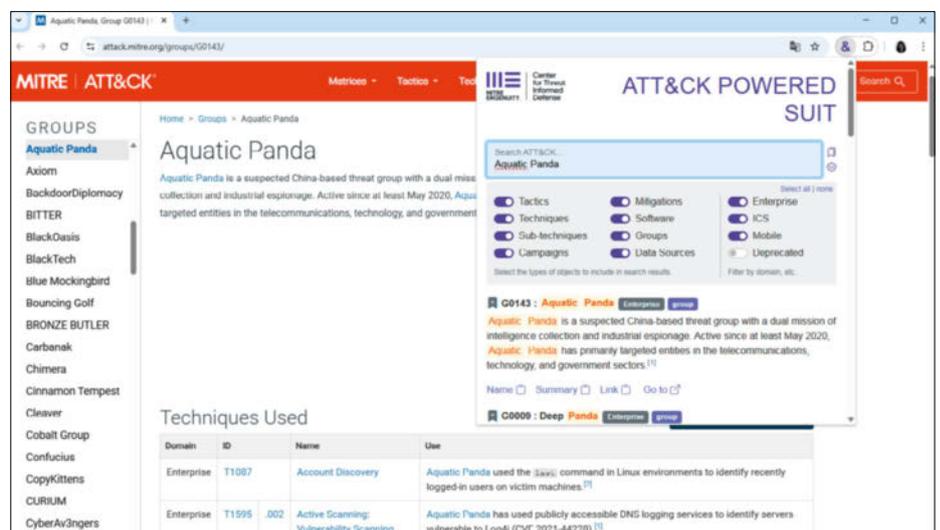
bare Wissensquellen per Rechtsklick im Internet-Archiv zu suchen („Search (...) on archive.org“). Eine Übersicht über sämtliche Informationstypen und Features finden Sie in der bereits erwähnten Readme-Datei auf Mitakas GitHub-Repository.

Das Thema OSINT ist so vielfältig, dass wir mit unserem Beispiel vom Anfang und den vorgestellten Diensten lediglich einen kleinen Teil der möglichen Anwendungsfälle abdecken konnten. Mehr Dienste und Möglichkeiten – von der Rückwärtsbildersuche über Social-Media-Tools bis hin zu Recherchen im Darknet – finden Sie unter ct.de/y5pa mithilfe einer bei GitHub gepflegten Linkliste mit allerhand Empfehlungen. (jss@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Kathrin Stoll, Netz-Schnüflei, Browser-Erweiterung Mitaka für Security-Recherchen, c't 14/2022, S. 86

Erweiterungen und Dokus: ct.de/y5pa



ATT&CK in Aktion: Über die Suchfunktion der Browsererweiterung (im Bild oben rechts) gelangen Sie zu Suchtreffern in der Wissensdatenbank.



Bild: Thorsten Hübner

Gut gemeint

Wie die EU das Recht auf Reparatur stärken will

Austauschbare Akkus und Displays, Ersatzteile direkt vom Hersteller, Reparaturen nach dem Ende der Gewährleistungsfrist: Die EU-Pläne für nachhaltigere Elektronik betreffen weit mehr als Smartphone, Tablet & Co. Doch nicht alle sind im Sinne der Verbraucher zu Ende gedacht.

Von Robin Brand

Reparierbare Designs, verlässliche Updates und Ersatzteile direkt vom Hersteller: Die EU will Elektronik mit einer Reihe an Rechtsakten nachhaltiger machen. Als erster Schritt dorthin tritt nach

jahrelanger Vorbereitung am 20. Juni die Ökodesign-Verordnung für Smartphones und Tablets in Kraft. Weitere folgende EU-Maßnahmen weiten die Rechte von Konsumenten gegenüber Herstellern über die gesetzliche Gewährleistung hinaus aus und gelten für weit mehr Geräte als für Smartphones und Tablets.

Doch mit diesen geht es los. Den Rahmen bildet die im Juli vergangenen Jahres in Kraft getretene Ökodesign-Verordnung für nachhaltige Produkte (Ecodesign for Sustainable Products Regulation, EU-Verordnung 2024/1781). Sie ist ein zentraler Bestandteil des Europäischen Green Deals und die rechtliche Grundlage für Verordnungen zu einzelnen Produktkategorien und für horizontale Vorgaben über Geräte-kategorien hinweg. Bislang operiert die Europäische Kommission ausschließlich mit vertikalen Verordnungen für einzelne Gerätekategorien.

Bereits in Kraft sind Verordnungen für Waschmaschinen, Geschirrspüler, Kühlschränke, Fernseher, Server und Schweißgeräte. Diese definieren gewisse Mindestanforderungen an die Reparierbarkeit, die die Geräte erfüllen müssen beziehungsweise welche Ersatzteile Hersteller für freie Werkstätten und welche sie für Endkunden bereitzuhalten haben.

Nun gesellt sich die Ökodesign-Verordnung für Smartphones und Tablets dazu. Sie gilt für Geräte, die ab 20. Juni 2025 in der EU auf den Markt gebracht werden. Sie soll die Geräte einfacher reparierbar und langlebiger machen.

Um das zu erreichen, greift die EU erstmals mit einer Reihe harter Vorgaben in das Geschäftsmodell der Hersteller ein, die ihre Geräte im EU-Wirtschaftsraum verkaufen wollen. Die vormals kaum regulierten Smartphonehersteller konnten bislang etwa nach eigenem Ermessen Er-

satzteile und Updates liefern oder eben nicht. Einige Regeln entfalten ihre Wirkung schon, bevor sie in Kraft getreten sind.

Denn dass in jüngster Zeit immer mehr Hersteller Aussagen dazu treffen, wie lange sie ihre Smartphones mit Updates versorgen wollen, und dass die genannten Zeiträume länger werden, dürfte mit dem Ökodesign zusammenhängen. Schließlich haben Hersteller ab 20. Juni keine andere Wahl mehr. Ab dann erscheinende Smartphones und Tablets müssen sie noch fünf Jahre nach Verkaufsende mit Softwareupdates beliefern. Sicherheitsupdates müssen sie dabei spätestens vier Monate nach Erscheinen bereitstellen, bei Funktionsupdates dürfen sie bis zu sechs Monate ins Hintertreffen geraten. Verbesserungen bringt die Vorgabe primär für günstige Smartphones und Tablets, deren Support Hersteller in der Regel am schnellsten auslaufen lassen – oftmals ohne bei Marktstart irgendwelche Updatepläne kommuniziert zu haben.

Für Endkunden ist das eine positive Nachricht. Daran, dass die Updates einen nennenswerten Effekt auf die Refurbishment-Industrie haben wird, glaubt Daniel Büchle, Geschäftsführer des IT-Wiederaufbereiters AFB, jedoch nicht. Das Unternehmen kaufe noch etliche iPhone 6, 7 und 8, die bei Unternehmen oder Behörden nicht mehr benötigt werden. „Und diese Geräte haben bereits ein paar Jahre auf dem Buckel. Da reichen fünf Jahre Updates nicht, das müssten eher zehn Jahre sein, um genügend Kaufinteressenten zu finden“, so Büchle.

Anspruch auf Ersatzteile, aber ...

Nicht nur die Updatepflicht soll dafür sorgen, dass die Geräte länger genutzt werden. Erstmals haben Reparaturindustrie und Kunden gegenüber Smartphone- und Tablet-Herstellern einen Anspruch auf Ersatzteile; allerdings in unterschiedlichem Umfang.

Professionellen Reparateuren müssen Hersteller Zugang zu Kameraaugruppen, Audio- und Ladebuchsen, Tasten, Mikrofonen, Lautsprechern und, im Falle von Foldables, zu Scharnieren gewähren. Akkus, Rückabdeckungen, Displaybaugruppen und SIM- sowie Speicherkartenhalter sollen auch Endkunden bekommen können. Ersatzteile müssen Hersteller sieben Jahre vorrätig halten und in den ersten fünf davon innerhalb von höchstens fünf Werktagen ausliefern. In den verblei-

benden zwei Jahren steigt diese Frist auf zehn Werktage. Hersteller müssen Reparatur- und Wartungsinformationen bereitstellen, dürfen dafür aber „angemessene“ Auslagen verlangen. Akkus und Displays müssen sich auch von Laien ohne oder mit einfachem oder mit dem Ersatzteil geliefertem Werkzeug ausbauen lassen.

Die Pflicht zum austauschbaren Akku können Hersteller allerdings umgehen, wenn das Smartphone mindestens gemäß IP67 gegen Wasser und Staub abgedichtet ist (für Tablets gilt IP42). Außerdem muss der Akku nach 500 Ladezyklen noch eine Restkapazität von 83 Prozent sowie nach 1000 Zyklen noch eine von mindestens 80 Prozent aufweisen.

Den Displayaustausch können Hersteller zumindest erschweren, denn das Kopeln von Komponenten ans Smartphone mithilfe von Software (sogenanntes Parts Pairing) verbietet das Ökodesign nicht. Allerdings müssen Hersteller die Software herausrücken, die nötig ist, um Ersatzteile mit dem Smartphone zu verbinden. Dafür dürfen sie sich bis zu drei Tage Zeit lassen, egal ob eine freie Werkstatt oder ein Endkunde danach fragt. So können sie eine eigentlich halbstündige Reparatur bei der Werkstatt um die Ecke zwar nicht verhindern, aber doch deutlich verlängern.

Auch das vielleicht effektivste Werkzeug gegen Reparaturen nimmt das Ökodesign den Herstellern nicht aus der Hand: Es macht keine Vorgaben zu Ersatzteilpreisen. Dabei sind zu hohe Preise nach einer Untersuchung der französischen Umweltagentur Ademe der häufigste Grund,



Auch nach Inkrafttreten des Ökodesigns für Smartphones und Tablets werden Handys nicht so einfach reparierbar sein wie das Fairphone 5.

c't kompakt

- Nach langer Vorbereitung tritt die Ökodesign-Verordnung für Smartphones und Tablets am 20. Juni in Kraft.
- Displays werden einfacher austauschbar, Akkus langlebiger.
- Die Batterieverordnung macht Wechselakkus für fast alle Elektronikprodukte zur Pflicht.

warum Kunden sich für einen Neukauf und gegen eine Reparatur entscheiden.

Ein Nebeneffekt der Regelungen wiederum könnte dem Reparatursektor in die Hände spielen, so Büchle. Weil die Hersteller über Jahre Ersatzteile vorrätig halten, dürften kommende Neugeräte etwas teurer werden, glaubt er: „Die Lager- und Produktionskosten und die für unverkaufte Ersatzteile, die am Ende weggeworfen werden, müssen sie ja gegenfinanzieren.“ Die höheren Gerätepreise machten sowohl Reparatur als auch generell Refurbished-Smartphones attraktiver, ein laut Büchle „absolut positiver Effekt für Umwelt und Gesellschaft“.

Durch die Ökodesign-Verordnung für Smartphones und Tablets verspricht sich die EU, den Primärenergieverbrauch, den die Geräte bei ihrer Herstellung und während ihrer Nutzungsphase verursachen, bis 2030 um 33 Prozent zu senken. Bis

September 2027 will sie die Wirkung der Verordnung evaluieren und eventuell nachbessern. Dabei soll die Einbeziehung von Wearables geprüft, nötigenfalls die Anforderungen an die Akkulaufzeit in Zyklen erhöht und über eine mögliche standardisierte Batterie für eine „Reihe von Mobiltelefonen und Tablets“ befunden werden. Außerdem behält sich die Kommission vor, den Updatezeitraum auszuweiten und die Serialisierung von Ersatzteilen zu verbieten.

Zeitgleich mit den Ökodesign-Vorgaben führt die EU einen Reparaturindex ein. Es wird der erste EU-weite Index seiner Art sein. Denn für keine der bisher vom Ökodesign erfassten Geräte gibt es einen solchen. Aktuell erarbeitet die EU aber, wie ein Reparaturindex für Notebooks, Desktop-PCs, Drucker sowie Wäschetrockner und Staubsauger aussehen könnte.

Der Index für Tablets und Smartphones bewertet die Reparierbarkeit unter anderem auf Grundlage der Arbeitsschrit-

te, die nötig sind, um verschiedene Komponenten auszubauen, welche Werkzeuge dafür benötigt werden und wie viele Ersatzteile der Hersteller für ein Gerät anbietet. Pluspunkte gibt es, wenn ein Gerät länger als die vorgeschriebenen fünf Jahre mit Updates versorgt wird.

Die Reparaturpreise werden beim Scoring nicht berücksichtigt, was sowohl der Verbraucherzentrale Bundesverband als auch Right to Repair Europe, ein Verbund von Reparaturbetrieben und -initiativen, kritisieren. Dadurch bestünde die Gefahr, dass Verbraucher das Vertrauen in die Reparaturbewertung verlieren: „Denn sie könnten ein Produkt mit einer hohen Bewertung kaufen, nur um bei einem Defekt festzustellen, dass es nicht wirtschaftlich repariert werden kann“, schreibt Right to Repair Europe in einer Stellungnahme.

Recht auf Reparatur

Für alle Produktkategorien, für die bereits Ökodesign-Verordnungen gelten

(siehe Tabelle), sowie für E-Bikes und E-Scooter greifen ab 31. Juli 2026 weitere Vorgaben, nämlich die der Right-to-Repair-Richtlinie. Im Unterschied zur Verordnung, die direkt rechtswirksam ist und nicht in nationales Recht umgesetzt werden muss, ist eine Richtlinie ein Rechtsakt, der bestimmte Ziele festlegt. Die Mitgliedsstaaten erarbeiten dann mit eigenen Vorschriften, wie diese eingehalten werden.

Mit dem Recht auf Reparatur können Verbraucher auch nach dem Ablauf der Gewährleistungsfrist die Reparatur von Defekten bei allen Geräten verlangen, für die Ökodesignregeln gelten. Außerdem müssen Hersteller darüber informieren, wie teuer die gängigsten Reparaturen ungefähr sind und Ersatzteile zu einem „angemessenen Preis“ zur Verfügung stellen. Diese Regelung gilt für die gesamte Lebensdauer der Geräte, die die EU nach Produktgruppen in den Ökodesignregeln definiert: für Kühlschränke und Wasch-

Reparierbar oder nicht?

	Reparierbares Design & Ersatzteile	austauschbarer Akku	angemessene Ersatzteilpreise	Reparatur durch Hersteller	keine Softwareblockaden	Reparaturindex	längere Softwareupdates
Rechtsakt	Ökodesign	Batterie-Verordnung	Recht auf Reparatur-Richtlinie	Recht auf Reparatur-Richtlinie	Recht auf Reparatur-Richtlinie	Energielabel	Ökodesign
Unterhaltungselektronik							
Fernseher			31. Juli 2026	31. Juli 2026	31. Juli 2026		
Smartphones	20. Juni 2025	20. Juni 2025 ¹	31. Juli 2026	31. Juli 2026	31. Juli 2026	20. Juni 2025	20. Juni 2025
Tablets	20. Juni 2025	20. Juni 2025 ¹	31. Juli 2026	31. Juli 2026	31. Juli 2026	20. Juni 2025	20. Juni 2025
Server			31. Juli 2026	31. Juli 2026	31. Juli 2026		
Notebooks		18. Februar 2027					
Drucker							
PCs							
Spielekonsolen, Smartwatches, Kopfhörer, Lautsprecher		18. Februar 2027					
große Haushaltsgeräte							
Waschmaschinen			31. Juli 2026	31. Juli 2026	31. Juli 2026		
Wäschetrockner	1. Juli 2025		31. Juli 2026	31. Juli 2026	31. Juli 2026		
Geschirrspüler			31. Juli 2026	31. Juli 2026	31. Juli 2026		
Kühlschränke			31. Juli 2026	31. Juli 2026	31. Juli 2026		
Herde							
kleine Haushaltsgeräte							
Kaffeemaschinen							
Staubsauger		18. Februar 2027					
Elektrische Zahnbürsten		18. Februar 2027					
Bügeleisen, Nähmaschinen, Toaster, Mixer							
Fahrzeuge							
E-Bikes		18. Februar 2027	31. Juli 2026	31. Juli 2026	31. Juli 2026		
E-Scooter		18. Februar 2027	31. Juli 2026	31. Juli 2026	31. Juli 2026		
Autos							
Fahrräder							
andere Produktgruppen							
Schweißgeräte			31. Juli 2026	31. Juli 2026	31. Juli 2026		
Sportgeräte							
(Garten-)Werkzeuge (Rasenmäher, Bohrmaschinen, Kettensägen)		18. Februar 2027					
Spielzeug		18. Februar 2027					

grün ist in Kraft, gelb wird in Kraft treten, orange wird erarbeitet, rot gibt es nicht, grau ist nicht zutreffend

¹ falls Gerät nicht gemäß IP67 (Tablets IP42) geschützt ist und Akku nach 500 Ladezyklen noch mindestens 83 Prozent Restkapazität aufweist

Quelle: Right to Repair Europe

maschinen zum Beispiel zehn Jahre, für Smartphones und Tablets sieben.

Mitgliedsstaaten werden außerdem verpflichtet, Reparaturen zu fördern, etwa mit Reparaturgutscheinen, einem Reparaturfonds oder durch den Aufbau lokaler Reparaturinitiativen. Über eine europäische Reparaturplattform sollen Werkstätten ihre Dienstleistungen anbieten können. Vor allem kleine und mittlere Unternehmen sollen davon profitieren.

Kritik entzündet sich an der Formulierung „angemessene Ersatzteilpreise“. Das sei ein sehr dehnbarer Begriff, moniert Tom Hansing von der gemeinnützigen Forschungsgesellschaft Anstiftung. „Letztlich bedeutet die Formulierung, Handel und Verbraucher müssen sich ihr Recht mit dem Gang durch die Instanzen erstreiten. Das ist der einzige Weg, wie eine solch schwammige Formulierung Konturen bekommen kann. Und das kann Jahre dauern.“

Ein weiterer Streitpunkt zwischen Herstellern und Reparaturverbänden ist, ob das Recht auf Reparatur Mindestanforderungen für alle Geräte festlegen oder sie speziell für bestimmte Produktkategorien formulieren sollte. Die durch den Verband Digital Europe vertretenen Hersteller meinen letzteres und fanden damit Gehör bei der EU. Sie pochen auf eine Verknüpfung des Rechts auf Reparatur mit bestehenden Ökodesign-Verordnungen. Die Reparaturzene vermutet dahinter eine Verzögerungstaktik.

Horizontale Vorgaben würden Anreize schaffen für bessere Herstellungspraktiken bei Produkten, die nicht durch produktspezifische Ökodesignanforderungen geregelt werden, schreibt Right to Repair Europe. Außerdem ließen sie sich leichter an Innovationen anpassen, da die Anforderungen nicht produktspezifisch seien. Dadurch sei auch das Risiko, dass sie veralten, geringer.

Katrin Meyer vom Runden Tisch Reparatur glaubt, dass man mit dem produktspezifischen Ansatz die Industrie mit ihren „immer neuen Gerätekategorien“ nie reguliert bekomme. Sie verweist auf eine Untersuchung der Open Repair Alliance, die ergeben hat, dass für 96 Prozent aller Produkte, die zu Repaircafés gebracht würden, keine europäische Gesetzgebung für ein Recht auf Reparatur in Sicht sei.

Im Unterschied zum Ökodesign untersagt das Recht auf Reparatur Herstellern, diese „vertraglich, technisch oder durch Softwareeinstellungen zu erschweren“. Das zielt auf das Parts Pairing ab.



Fingerübung: Der Kleber, der den Akku des iPhone 16 im Gehäuse hält, lässt sich per 9V-Batterie lösen.

Doch als Schlupfloch bleibt den Herstellern, „begründete Interessen“ geltend zu machen. „Und diese könnten alles – von Sicherheit bis Patentschutz – umfassen“, kritisiert Hansing.

Wechselakku für Kopfhörer. Und Smartphones?

Wiederum ein halbes Jahr nach dem Recht auf Reparatur wird die Batterieverordnung im Februar 2027 in Kraft treten. Sie macht austauschbare Akkus für eine Vielzahl von Geräten verpflichtend. Ob Kopfhörer, Saugbot, Mähroboter, Spielekonsole, Bluetooth-Box oder E-Bike und E-Scooter: Sie alle müssen mit Wechselakku gebaut werden. Und auch Laien müssen in der Lage sein, die Akkus auszutauschen.

Die Batterieverordnung gilt allerdings nicht für Smartphones und Tablets. Die für sie formulierten Bestimmungen in der Ökodesign-Verordnung sind der Batterieverordnung übergeordnet. Und so bleibt es auch abzuwarten, ob austauschbare Akkus für Notebooks verpflichtend werden oder ob die Ökodesignvorgaben, die die EU derzeit für diese Gerätekategorie erarbeitet, etwas anderes vorsehen.

Wer setzt das durch?

Für die Durchsetzung der verabschiedeten Rechtsakte verweist die Europäische Kommission auf die Marktüberwachungsbehörden der Mitgliedsstaaten. Bei Verstößen sollen diese Hersteller mit „wirksamen, verhältnismäßigen und abschreckenden“ Sanktionen belegen. Kommt ein Mitgliedsstaat seiner Marktüberwachungspflicht systematisch nicht nach, kann die Kommission ein Vertragsverletzungsverfahren einleiten.

Daran, dass die Marktüberwachung ausreichend ausgestattet ist, gibt es selbst innerhalb der EU-Politik Zweifel. Anna Ca-

vazzini (Grüne), Vorsitzende des Ausschusses für Binnenmarkt und Verbraucherschutz des EU-Parlaments, mahnt eine bessere Ausstattung sowie europaweite Koordinierung und Zusammenarbeit von Zoll- und Marktüberwachungsbehörden an, „damit besser kontrolliert werden kann, ob die Produkte auf dem Binnenmarkt auch unseren Standards entsprechen“.

Hansing von der Forschungsgesellschaft Anstiftung sieht die Sorge begründet, dass die Marktüberwachung nicht funktionieren wird: „Wir können schon jetzt aus der ganzen Welt Kram bestellen, ohne dass es eine vernünftige Einfuhrkontrolle gibt.“ Außerdem bestehe die Gefahr, dass Firmen Geräte in Chargen abverkaufen, um dann vom Markt zu verschwinden. „Dann hätte ich gar keinen Adressaten, der mir meine Ersatzteile oder Firmware-Updates zur Verfügung stellen muss, weil es die Firma gar nicht mehr gibt.“

Was bringt das Ganze?

Trotz aller Kritik an den Schlupflöchern gibt es aus der Reparaturszene und von Verbraucherverbänden auch lobende Worte. Hersteller in die Pflicht zu nehmen, ihre Produkte langlebiger zu gestalten, finden sie unisono richtig. Kyle Wiens, Gründer des Reparaturportals iFixit, glaubt gar, die Reparaturszene kehrt nach 20 dunklen Jahren zurück ins Licht (siehe Interview auf S. 158).

Und tatsächlich entfalten einige der Regulierungen schon jetzt Wirkung. So dürfte es kein Zufall sein, dass sich Apples aktuellere iPhone-Generationen einfacher – und teilweise von beiden Seiten – öffnen lassen. Zudem kann man den Akku des iPhone 16 mit einer handelsüblichen 9-Volt-Batterie lösen, wenngleich Smartphones auch durch die kommenden Vorgaben nicht plötzlich alle so einfach repa-

rierbar wie ein Fairphone sein werden. Auch die längeren Updatezusagen der Smartphonehersteller darf man als einen Vorgriff auf die kommenden Pflichten werten. Ohne politische Druck wäre das sicher

nicht passiert. Für eine ganze Reihe von Produkten wird es erstmals überhaupt verpflichtend Ersatzteile geben, und einstige Wegwerfprodukte wie Bluetooth-Boxen oder kabellose In-Ear-Kopfhörer dürften

durch die kommende Batterieverordnung viel längere Lebensdauern erreichen.

Dennoch bleibt aus Verbraucher- und Umweltschutzsicht der Eindruck, dass die EU Potenzial liegen lässt. Speziell, dass sie

iFixit-Gründer über Reparatur verhindernde Praktiken: „Wir machen insbesondere Apple verantwortlich“

Kyle Wiens hat im Jahr 2003 das Reparaturportal iFixit gegründet. Die aktuellen Bemühungen der Politik, Hersteller zu mehr Nachhaltigkeit zu zwingen, sieht er mit Wohlwollen. Nun aber gelte es, eine funktionierende Marktüberwachung einzuführen.

c't: Sie haben iFixit vor mehr als 20 Jahren gegründet, weil Sie die Reparatur Ihres iBook G3 frustriert hat. Wie hat sich Reparatur seitdem verändert?

Kyle Wiens: Schon als ich mein iBook vor mehr als 20 Jahren reparieren wollte, stand es mit der Reparierbarkeit von Elektronik nicht zum Besten. Zu den Wartungshandbüchern hatten nur von Apple autorisierte Techniker Zugang. Sie waren nicht online verfügbar, und Apple zensierte Informationen im Internet mit einer an den Haaren herbeigezogenen Berufung auf das Urheberrecht. Das blieb so, bis vor ein paar Jahren in den USA ein Gesetz über das Recht auf Reparatur verabschiedet wurde, das Apple dazu zwang, die Servicehandbücher zu veröffentlichen. Aber ich würde sagen, dass es trotz allem immer noch schwierig ist, Dinge zu reparieren. Die Firmen halten geheim, was sie können und erschweren Reparaturen mit allerlei Tricks. Das war nicht immer so. Für den Apple II zum Beispiel hatte Apple alle Schaltpläne und Informationen geliefert, die man zur Reparatur benötigte.

c't: Wenn es um Reparatur verhindernde Maßnahmen geht, an welches Unternehmen denken Sie da?

Wiens: Wir machen insbesondere Apple verantwortlich, weil es viele neue Reparatur verhindernde Maßnahmen einführt, die andere dann kopieren. Das iPhone hat zum Beispiel eine spezielle Pentalobe-Schraube, die es zu diesem Zeitpunkt nur im iPhone gab und von der zuvor niemand gehört hatte. Mit dieser „Erfindung“ brauchte man plötzlich einen speziellen

Schraubendreher, um das Gerät zu öffnen. Ein herkömmlicher Kreuzschlitzschraubendreher reichte nicht mehr. Und dann fing auch Huawei an, neuartige Fünfpunkt-Schrauben zu verwenden. Es gibt eine ganze Reihe von Maßnahmen, die Unternehmen ergreifen, um Reparaturen zu verhindern. Besonders beliebt ist es, keinerlei Informationen herauszurücken, die für Reparaturen benötigt werden, keine Ersatzteile zu verkaufen oder Komponenten in den Geräten zusammenzukleben. Eine andere Sache, die wir in den letzten Jahren vermehrt beobachten, ist Parts Pairing: Hardwarekomponenten werden per Software aneinander gekoppelt, und nur der Hersteller kann Ersatzteile nach Reparaturen freischalten. Das ist auch so eine Technik, die Apple nutzt und die Konsolenhersteller Sony und Microsoft mit PlayStation und Xbox, deren Laufwerke mit dem Motherboard gekoppelt sind. Auch John Deere setzt Parts Pairing in einigen Fällen ein. Aber noch kommt das selten vor.

c't: Sie haben das Recht auf Reparatur in den USA erwähnt. Auch die EU will elektronische Produkte durch Vorschriften langlebiger machen. Was halten Sie von den Vorhaben?

Wiens: Das ist großartig, vor allem, wenn man das Ganze als ein globales Netz von Vorschriften betrachtet. In Europa ist beispielsweise die kommende Batterieverordnung sehr klar. Sie besagt, dass man keinen Klebstoff verwenden darf, der zum Lösen Hitze benötigt. Der Akkuaustausch muss ohne Spezialwerkzeuge funktionieren. Das ist fantastisch und geht weit über die Anforderungen in den USA hinaus.

Aber die US-Gesetze in Oregon und Colorado verbieten auch das Pairing von Teilen, was wiederum in Europa noch nicht der Fall ist. Wir benötigen beides.

c't: Befürchten Sie, dass die verschiedenen Regeln zu einem Flickenteppich führen könnten, mit welchen Funktionen Geräte in verschiedenen Ländern auf den Markt kommen?

Wiens: Es gibt solche und solche Beispiele: Oregon ist ein kleiner Markt, aber Apple reduziert als Reaktion auf das dortige Verbot das Parts Pairing weltweit. Unsere Tests zeigen allerdings, dass es trotz der Implementierung des Reparaturassistenten in iOS 18 weiterhin einige Probleme mit Parts Pairing gibt. Zum Beispiel führen Fremdhersteller-Akkus immer noch zu einer Warnmeldung. Darüber hinaus scheint es, als würden ältere Gerätefamilien selbst mit iOS 18 nicht von den Verbesserungen durch den Reparaturassistenten profitieren. Apple hat einige positive Schritte unternommen, aber viele Probleme bleiben bis jetzt weiterhin bestehen. Der Digital Markets Act der EU sorgt dafür, dass iOS-Nutzer in Europa mehr Freiheiten haben als Nutzer in den USA. Ein anderes Beispiel ist der französische Reparaturindex: Solange Frankreich das einzige Land war, das Hersteller dazu verpflichtete, Servicehandbücher herauszugeben, hat Samsung diese nur auf Französisch bereitgestellt, aber nicht auf Englisch oder Deutsch. Jetzt, da der Index auf europäischer Ebene eingeführt wird, ist das Problem aus der Welt.

c't: Sehen Sie Anzeichen, wie Hersteller auf die Marktregulierungen reagieren?

Wiens: Mit dem iPhone 15 hat Apple eingeführt, dass man das Gerät von beiden Seiten öffnen kann, um den Akku schnell-

sich in langwierigen Regulierungen von Produkt zu Produkt hangelt, bremst die Wirkung des Ökodesigns aus: An einer Vorstudie zum jetzt in Kraft tretenden Ökodesign für Smartphones und Tablets arbeitete das

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung schon vor fünf Jahren. Ändert die EU ihr Vorgehen nicht, wird sie das Hase-Igel-Rennen gegen die Industrie nicht gewinnen. Denn fünf Jahre für eine Produkt-

verordnung sind eine lange Zeit, in der Hersteller eine ganze Menge neue Gerätekategorien ersinnen können. (rbr@ct.de) **ct**

EU-Rechtstexte: ct.de/yuvn

ler und einfacher austauschen zu können. Und jetzt, mit dem iPhone 16, verwenden sie eine neue Art von Klebstoff für den Akku, der sich elektrisch lösen lässt; man braucht kein Spezialwerkzeug, sondern nur eine 9-Volt-Batterie.

c't: Auf der anderen Seite lassen die EU-Bestimmungen Schlupflöcher, wie Hersteller Reparaturen erschweren können.

Wiens: In der Richtlinie über das Recht auf Reparatur gibt es einen Hinweis darauf, dass Teile zu einem angemessenen Preis geliefert werden sollten, aber das Problem ist, dass niemand definiert hat, was in diesem Zusammenhang „angemessen“ bedeutet. Ich denke, das ist zu vage, um etwas zu bewirken. Ein weiterer Punkt, der uns an der derzeitigen Situation stört, ist die Tatsache, dass die Anzahl der erfassten Produktkategorien ziemlich begrenzt ist. Es gibt immer noch etliche Geräte, die nicht unter die Richtlinie über das Recht auf Reparatur fallen oder überhaupt nicht geregelt sind. Ich denke also, dass dies ein guter Schritt ist, den wir zu Recht gefeiert haben, aber es bleibt viel zu tun.

c't: Woran denken Sie?

Wiens: Wichtig ist es jetzt darauf zu achten, dass die eingeführten Regelungen auch eingehalten werden, bevor eine neue Regulierungswelle gestartet wird. In den USA gibt es Gesetze, die Hersteller verpflichten, Servicehandbücher bereitstellen zu müssen. Bei einer Marktbeobachtung haben wir allerdings festgestellt, dass 48 von 50 Unternehmen das nicht tun. Auch John Deere stellt Softwaretools, die Landwirte für Diagnose, Kalibrierung und andere Reparaturfreigaben benötigen, nicht zur Verfügung, obwohl sie gesetzlich dazu verpflichtet sind. Jetzt verklagt die US-Bundesregierung das Unternehmen deswegen. Wir müssen Reparatur als Norm etablieren, Lücken und Schlupflöcher in den Gesetzen schließen und sie weltweit einheitlich gestalten. Die Reparatur erfordert ein Ökosystem aus Infor-



Genervt von den Praktiken von Apple gründete Kyle Wiens iFixit. Das Unternehmen veröffentlicht Zerlegebeschreibungen von allerlei Elektronik und hält Reparaturanleitungen bereit.

mationen, Komponenten, Werkzeugen, Gerätedesign und Software, und wenn eines dieser Teile fehlt, kann eine Reparatur nicht stattfinden.

c't: Früher war iFixit Anlaufstelle für Menschen, die ihr Notebook oder ihr Smartphone reparieren wollten. Heute finden sich auch Reparaturanleitungen für Haushaltsgeräte, Autos und medizinische Gerätschaften. Was sagt das über die Industrie?

Wiens: Je mehr Software in Produkte fließt, desto mehr Hindernisse entstehen. Unternehmen müssen bereits beim Produktdesign die Reparatur mitdenken, sonst können sie auch unbeabsichtigt Hürden bauen. Wir müssen Rahmenbedingungen, Standards und Best Practices schaffen. Wenn man auf Open-Source-Software aufbaut, gibt es eine General Public License und man muss den Quellcode freigeben, und so sollte es auch bei der Reparatur sein. Hoffentlich werden wir auf die vergangenen 20 Jahre als das dunkle Zeitalter zurückschauen, in dem es schwierig war, Dinge

zu reparieren, in dem es mehr Wegwerfprodukte gab, und jetzt kommen wir zurück ins Licht. Ich bin optimistisch. Schauen Sie sich an, was der französische Reparaturindex bewirkt hat, jetzt kommt ein europäischer Reparaturindex. Wir sehen bei unserem eigenen Reparaturindex, dass sich die Unternehmen dafür interessieren. Wenn sie eine 9/10 bekommen, fragen sie uns, was sie für eine 10/10 tun müssen.

c't: iFixit kooperiert auch mit Unternehmen, macht aber nicht immer gute Erfahrungen damit ...

Wiens: Einige Unternehmen sind mehr als andere daran interessiert, mit uns zusammenzuarbeiten. Samsung will seine Geräte so weit wie möglich unter Kontrolle behalten. Deshalb verlangen sie zum Beispiel so hohe Ersatzteilpreise, dass kaum jemand die Geräte tatsächlich repariert. Wenn Samsung wirklich an Reparatur interessiert ist und sich nicht nur öffentlichkeitswirksam mit einem Reparaturprogramm schmücken möchte, arbeiten wir gerne wieder mit ihnen zusammen. Wir freuen uns über Zusammenarbeiten mit anderen Unternehmen, bei denen wir glauben, etwas bewirken zu können. Erst kürzlich haben wir unsere Partnerschaft mit Logitech erweitert und vertreiben nun zusätzliche Teile für deren beliebte Gaming-Mäuse. Wir werden auch weiterhin mit Unternehmen zusammenarbeiten, die Reparaturen ermöglichen wollen.

c't: Wie sieht so eine Zusammenarbeit genau aus?

Wiens: Wir geben Reparaturanleitungen heraus und verkaufen Ersatzteile, die wir mit unseren Werkzeugsätzen bündeln – das ist die Basis. In einigen Fällen sind wir aktiv an der Designphase beteiligt. Vergangenes Jahr haben wir Lenovo bei der Einführung eines neuen Laptops geholfen, dem T14, dem meistverkauften Business-Notebook in Europa. Das ist wieder einmal ein Notebook mit aufrüstbarem Speicher und RAM – und das ist ein großer Erfolg.

dass sie nicht an Switches oder Bridges – etwa Powerline- oder Ethernet-over-Coax-Adapter – hängenbleiben, die VLANs nicht kennen und deshalb blockieren. Die Daten laufen aber unverlüsselt, sodass jemand an passender Stelle im LAN den Verkehr mitschneiden könnte – was wir zwischen einer Fritzbox 5590 und einem Repeater 3000AX probierhalber getan haben. Ein Notebook im WLAN des Repeaters pingte per IPv6 ct.de an. Die Zieladresse 2a02:02e0:03fe:1001:0302:0000:0000:0000 lässt sich im L2TP-Datenblock ab Byte 0x52 erkennen. (ea@ct.de)

Aktivitätsmonitor von Apple Mail verwirrt

Da ich viel unterwegs und auf Mobilfunk angewiesen bin, schwankt die Stabilität meines Internetzugangs. Deshalb öffne ich auf meinem Mac in der Mail-App immer den Aktivitätsmonitor, sodass ich sehen kann, ob zu versendende E-Mails tatsächlich rausgehen. Doch neuerdings zeigt dieser Monitor für jede ausgehende Mail anhaltend erfolglose Sendeveruche an, was aber nicht stimmen kann. Auf manche der angeblich nicht rausgeschickten Mails habe ich sogar schon Antworten der Empfänger erhalten. Manchmal kann ich das Problem beheben, indem ich Apple Mail beende und neu starte, aber manchmal verweigert Apple Mail das Programmende, weil es glaubt, dass noch Mails zu verschicken sind. Kennen Sie eine andere Abhilfe, als gleich den Mac neu zu starten?

Das Problemchen hängt Apple Mail seit einigen Jahren an, und Apple scheint es nicht in den Griff zu bekommen. Manchmal kann es helfen, den Aktivitätsmonitor zu schließen und dann dessen Konfigurationsdatei zu löschen. Öffnen Sie dafür ein Finder-Fenster, geben Sie Command+Umschalt+G ein und tippen Sie in die Adresszeile ~/Library/Preferences ein. Öffnen Sie dann das zugehörige Fenster, suchen Sie die Datei com.apple.ActivityMonitor.plist und werfen Sie sie in den Papierkorb.

Wenn Sie dann den Aktivitätsmonitor öffnen, könnte er schon den richtigen Status anzeigen. Andernfalls beenden Sie Apple Mail und starten das Programm neu. Falls es sich weigert, drücken Sie die Tastenkombination Com-

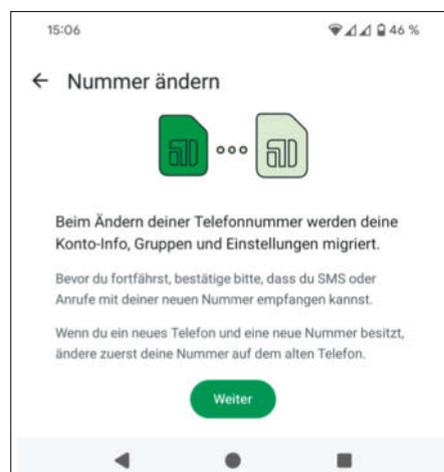
mand+Option+Esc und klicken Sie im neu erscheinenden Fenster auf Mail und rechts unten auf den Button „Sofort beenden“. (dz@ct.de)

WhatsApp im Urlaub

Wir planen im Sommer eine Reise nach Asien. Vor Ort wollen wir Prepaid-SIM-Karten des Ziellands kaufen und während des Urlaubs nutzen. Was aber passiert mit WhatsApp, das fest mit unseren deutschen Rufnummern verknüpft ist? Funktioniert das dann noch?

Die Rufnummer wird bei WhatsApp nur einmal bei der Anmeldung verifiziert und anschließend in der App hinterlegt. Solange Sie dort nichts ändern, spielt es keine Rolle, welche Rufnummer Sie auf Ihrem Smartphone verwenden und über welche Verbindung Sie ins Internet gehen. Sie sind also für alle Ihre Kontakte in der App weiterhin unter Ihrer deutschen Nummer erreichbar, selbst wenn die zugehörige SIM gar nicht ins Telefon eingelegt ist.

WhatsApp bietet auch die Möglichkeit, die Rufnummer zu ändern. Das sollten Sie aber nur dann tun, wenn Ihre Kontakte Sie unter Ihrer neuen Rufnummer erreichen sollen oder wenn Sie erwarten, dass viele neue Kontakte Sie mit Ihrer neuen Nummer hinzufügen werden. Bei einer nur vorübergehenden Änderung anlässlich einer Urlaubsreise ist es fast



Die Änderung der Telefonnummer für WhatsApp ist nur ratsam, wenn man seine Hauptrufnummer auf Dauer ändert.

Fragen richten Sie bitte an

hotline@ct.de

[c't Magazin](#)

[@ctmagazin](#)

[ct_magazin](#)

[@ct_Magazin](#)

[c't magazin](#)

Alle bisher in unserer Hotline veröffentlichten Tipps und Tricks finden Sie unter www.ct.de/hotline.

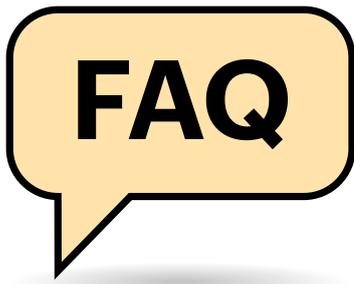
immer besser, die alte Rufnummer zu behalten. (uma@ct.de)

Schalten nach Sonnenstand

Ich würde meinen automatischen Schalter Fritz-DECT 200 gerne so programmieren, dass sich das Licht einschaltet, wenn die Sonne untergeht und sich dann um 22 Uhr abschaltet. Wo kann man das festlegen?

Die Einstellung ist ein wenig versteckt. Sie müssen im Menü der Fritzbox das richtige Gerät unter „Smart Home/Geräte und Gruppen“ finden. Klicken Sie dann auf das Stiftsymbol am Ende der Zeile. Wechseln Sie nun auf die Registerkarte „Automatisch Schalten“, aktivieren Sie die Zeitschaltung und wählen Sie die Option „astronomisch“. Falls noch nicht geschehen, tragen Sie hier Breiten- und Längengrad Ihres Standorts ein; bei deren Bestimmung hilft beispielsweise Google Maps. Anschließend können Sie die Optionen „bei Sonnenuntergang“ und „bei Sonnenaufgang“ wählen und dort auch einen Zeitversatz vor und nach Sonnenauf- und -untergang festlegen, also beispielsweise 70 Minuten nach Sonnenaufgang oder 20 Minuten vor Sonnenuntergang.

Die Sonnenauf- und -untergangszeiten variieren in Deutschland je nach Längen- und Breitengrad im Laufe eines Jahres. In einigen Regionen Deutschlands geht die Sonne im Sommer nach 22 Uhr unter. Liegt der Ausschaltzeitpunkt zeitlich vor dem Einschaltzeitpunkt, kann es passieren, dass sich das Gerät nicht unmittelbar wieder ausschaltet, sondern erst zum nächsten Schaltzeitpunkt am Folgetag. (uma@ct.de)



Programmieren lernen

In den bald 15 Jahren seit unserer letzten FAQ „Programmieren lernen“ hat sich viel bei Sprachen und Tools getan, vor allem hinsichtlich künstlicher Intelligenz. Zeit für ein Update.

Von Oliver Lau

Die Grundlagen

? Ich will programmieren lernen. Was brauche ich?

! Zuallererst: einen guten Anlass. Zum Beispiel ein Problem, das Sie mit einem selbst geschriebenen Programm lösen möchten. Oder eine Idee für eine Anwendung oder ein Spiel. Oder weil Sie als Softwareentwickler Geld verdienen möchten. Denn mit der Programmerei verhält es sich so wie mit dem Erlernen einer gesprochenen Sprache: Ist man nicht darauf angewiesen, hält die Motivation vielleicht ein paar Tage oder Wochen an, lässt dann aber stark nach, und am Ende denkt man sich, wäre man doch besser wandern gegangen. Braucht man die Sprache jedoch, ist der Anreiz anhaltend groß, sich damit zu beschäftigen.

Aber anders als bei einer gesprochenen Sprache benötigen Sie als künftiger Programmierer ein gutes Abstraktionsvermögen. Denn die Idee, die Ihnen im Kopf herumgeht, müssen Sie erst einmal in ihre Teilprobleme zerlegen und diese dann in der von Ihnen gewählten Sprache an den Computer verfüttern.

? Wie finde ich heraus, ob mein Abstraktionsvermögen ausreicht?

! Sie können sich dazu selbst Fragen stellen. Zum Beispiel von folgender Art: Bin ich in der Lage, haarklein die Schritte zu beschreiben, die zur Zubereitung eines Kaffees in einer Siebträgermaschine nötig sind? Kann ich Rezepte so modifizieren, dass etwa ein Kartoffelgericht nicht mehr schwäbisch schmeckt, sondern asiatisch? Bin ich schon mal der Frage nachgegangen, wie Navigationssysteme kürzeste Wege zum Ziel ermitteln? Habe ich Spaß an Rätseln?

Selbst wenn Sie alle Fragen mit „eher nicht“ beantwortet haben, verzagen Sie nicht. Man kann das lernen. Dazu geeignet sind Strategiespiele wie Schach oder Go,

Logikrätsel wie Sudoku oder Schiffe versenken, mechanische Rätsel wie Rubik's Cube oder Kartenspiele wie Poker oder Skat, die Denken in Wahrscheinlichkeiten erfordern. Auch Handwerken ist sinnvoll, denn Programmieren ist eine Art Handwerk, das Arbeitsorganisation, die Priorisierung von Tätigkeiten, das Anfertigen von Plänen und das Beherrschen von Werkzeugen erfordert.

Und nicht zuletzt können Sie einfach mal mit dem ersten Programmierprojekt loslegen. Und zwar nicht mit dem Schreiben des Programms, sondern mit Nachdenken darüber, wie Sie Ihr großes Problem in kleinere zerlegen und diese priorisieren. Beispiel: Sie wollen einen Klon des Kistenschiebespiels Sokoban programmieren. Dazu brauchen Sie einerseits ein Programm, das die Eingabe des Nutzers in Spielzüge überträgt, aber auch Grafiken und vielleicht Sounds. Grafiken und Sounds sind erst mal nachrangig, weil es auch ohne Ton und mit nur rudimentärer Blockgrafik geht. Also weiter mit der Programmlogik: Sie muss Level-Daten, wie es sie zu Zehntausenden im Internet gibt, in eine visuelle Darstellung überführen können. Sie muss auf Tastendrucke und Mausklicks reagieren und diese in Bewegungen des Lagerarbeiters und der Kisten umsetzen. Wenn alle Kisten auf dem richtigen Platz stehen, muss das Spiel signalisieren, dass der Level gewonnen wurde. Und dann geht es mit dem nächsten Level weiter. Vielleicht zeichnen Sie ein Ablaufdiagramm, das zeigt, wie die Teilprobleme zusammenhängen. Wichtig: Nehmen Sie sich Zeit dafür. So etwas erlernt man nicht von heute auf morgen.

Software

? Welche Software brauche ich für den Einstieg?

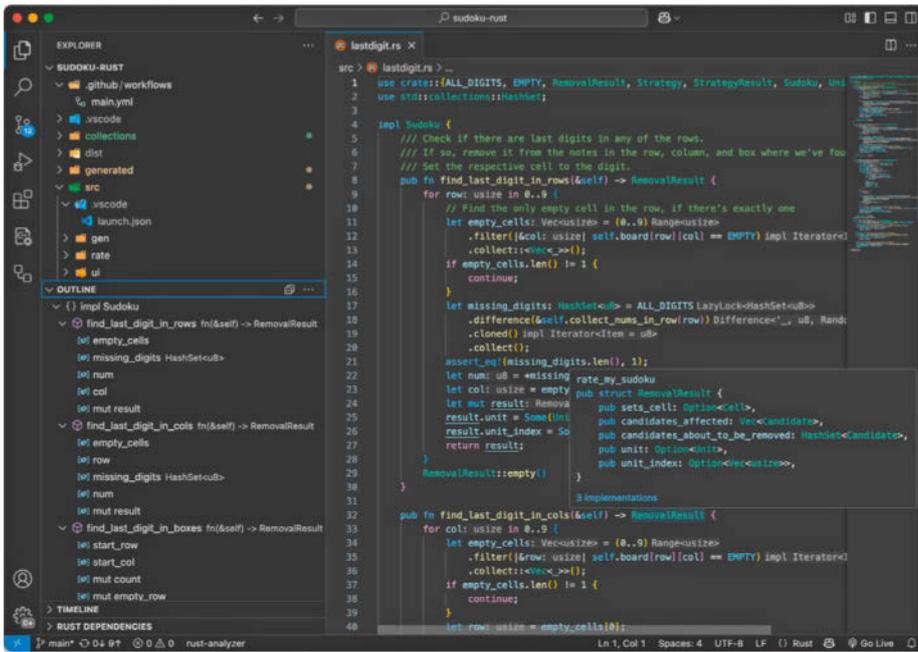
! Da man Code in reiner Textform ohne irgendwelche Formatierungen eintrifft, benötigen Sie lediglich einen Text-

editor, wie ihn Windows, Linux und macOS enthalten. Komfortabler ist aber eine sogenannte integrierte Entwicklungsumgebung (Integrated Development Environment, IDE) wie Visual Studio Code (Download via ct.de/yw43): Deren Editor lässt sich mit Erweiterungen fit für nahezu jede Sprache machen. Ohne die Entwicklungsumgebung verlassen zu müssen, können Sie Ihren Code darin von einem Compiler übersetzen lassen oder in einem Debugger Fehler aufspüren. Der Editor verbessert mit Einfärbungen die Übersicht über den Code (Syntaxhervorhebung), schlägt vor, wie das bislang Einge Tipperte vervollständigt werden könnte (Auto-complete), springt auf Klick zur Definition einer Funktion und vieles mehr.

? Compiler? Debugger? Was ist das?

! Programmiersprachen lassen sich grob in zwei Kategorien einteilen: kompilierte und interpretierte. Bei einer kompilierten Sprache übersetzt ein Compiler den Quellcode in eine direkt auf der Zielmaschine ausführbare Datei. Auf Windows-Rechnern ist das zum Beispiel eine EXE-Datei. Der Quellcode ist ohne diesen Schritt nicht ausführbar. So ein Übersetzungsvorgang kann abhängig vom Rechner und von der Projektgröße schon mal ein paar Minuten dauern, dafür wird man in der Regel mit einem sehr flott laufenden Programm belohnt.

Bei einer interpretierten Sprache wie der Skriptsprache Python können Sie den Quellcode ohne zu kompilieren ausführen. Stattdessen führt ein Interpreter genanntes Programm den Code aus. Das ist deutlich weniger effizient und damit langsamer, als den Code direkt auf der Hardware laufen zu lassen. In der Realität sind die Übergänge fließend, weil die Interpreter die Skripte, wie man die Programme auch nennt, in einen Zwischencode wandeln, der von der Effizienz zwischen reinem Interpretieren und dem Ausführen auf der Hardware liegt.



grammierfehler. Typsicherheit heißt, dass eine Variable, die als Zahl initialisiert wurde, niemals zu einem String werden kann, oder allgemeiner: Sie behält ihren einmal festgelegten Typ. Eine Umgebung dafür aufzusetzen, die TypeScript automatisch in JavaScript übersetzt, ist aber ein bisschen aufwendiger, als einfach nur JavaScript einzutippen und das Ergebnis sofort im Browser anschauen zu können.

Einen Höhenflug erlebt seit geraumer Zeit die Skriptsprache Python. Sie ist einsteigerfreundlich und glänzt mit guter Lesbarkeit. Mit ihren Abertausenden praxiserprobter Zusatzpakete deckt sie nahezu jeden Einsatzzweck ab: Von mal eben schnell eine Textdatei verarbeiten über Spieleprogrammierung bis hin zu wissenschaftlichen Bibliotheken und Machine Learning bleiben keine Wünsche offen.

Lieblingen Sie eher mit der Entwicklung für Klein- und Kleinstrechner wie Raspi oder ESP32, sind Sie mit den Compiler-Sprachen C und C++ auf der sicheren Seite [1]. Für Webservices ist Go eine gute Wahl [2, 3, 4].

Allen genannten Sprachen ist gemein, dass sie gut dokumentiert sind und es an zahllosen Orten im Web Hilfe gibt. Das ist ein nicht zu unterschätzender Vorteil, den Sie bei weniger verbreiteten Sprachen eher nicht haben.

Hilfe

? Sollte ich mir Bücher zur Sprache meiner Wahl kaufen? Oder reichen Onlinequellen dazu?

! Wenn Sie bedrucktes Papier mögen, legen Sie sich ein Buch zu. Aber nicht irgendeines, sondern eines, das Sie sich vorher in der Buchhandlung oder Bibliothek angeschaut haben und das Ihnen zusagt. Online gibt es massenhaft Tutorials zu allen möglichen Sprachen, in Form von Blogbeiträgen oder YouTube-Videos. Auch da gilt: Blättern Sie sofort weiter oder suchen Sie ein anderes Video, wenn Sie mit der Art der Präsentation nicht zurechtkommen.

Künstliche Intelligenz

? Eignen sich KIs wie ChatGPT, Gemini oder Claude zum Programmieren lernen?

Visual Studio Code ist kostenlos und mächtig. Die „Outline“ links stellt die Struktur der gerade geöffneten Datei dar; per Klick auf einen Bezeichner springt der Editor zu der betreffenden Zeile im Code. Die sogenannte Minimap rechts ist eine Scrollleiste, die eine Miniaturübersicht der aktuellen Datei anzeigt und dabei zum Beispiel Suchergebnisse und potenzielle Probleme hervorhebt. Fährt man mit der Maus über einen Bezeichner wie `RemovalResult` unten, zeigt ein Pop-up die komplette Definition des Typs an.

Mit einem Debugger spüren Sie Fehler im Code auf. Sie können zum Beispiel Haltepunkte (Breakpoints) im Quellcode setzen, an denen der Debugger die Ausführung eines Programms pausiert. In aller Ruhe können Sie die Werte von Variablen inspizieren, schrittweise die Ausführung fortsetzen und einiges mehr.

Hardware

? Welche Hardware brauche ich zum Programmieren?

! Die Programmierhilfen in Entwicklungsumgebungen wie VS Code brauchen viel Rechenleistung, etwa für die Syntaxanalyse, also ob der Code den Sprachregeln entspricht, die automatische Vervollständigung von Code et cetera. Älter als zehn Jahre sollte Ihr PC oder Mac nicht sein, damit sich die IDE nicht allzu träge anfühlt. VS Code ist auch speicherhungrig: Ein einzelnes Fenster kann schnell mal ein paar hundert MByte Hauptspeicher belegen. Von weniger als 16 GByte RAM raten wir ab.

Einen Drucker zum Ausdrucken von Listings brauchen Sie nicht, aber ein 4K-Monitor ist sinnvoll, am besten zwei, Full

HD geht aber auch. Oder einen Ultra-Wide-Monitor, damit genug Platz ist, um Entwicklungsumgebung und etwa Dokumentation gleichzeitig im Blick zu haben. Nützlich ist auch ein Monitor, der sich im Hochkantmodus betreiben lässt. Denn typischerweise werden Programme sehr lang, und wer möglichst viel davon auf einmal sieht, findet sich leichter zurecht.

Sprachenvielfalt

? Mit welcher Programmiersprache soll ich loslegen?

! Das hängt davon ab, was Sie vorhaben. Wenn Sie als Programmierer Geld verdienen wollen, lohnt der Blick in Stellenangebote: Was dort am häufigsten gesucht wird, ist ein guter Kandidat. Als Richtschnur können Sie auch den TIOBE-Index der verbreitetsten Sprachen heranziehen, der monatlich aktualisiert wird (siehe [ct.de/yw43](https://www.tiobe.com)).

Wenn Ihre Anwendung im Browser laufen soll, kommen Sie an JavaScript kaum vorbei. Es bietet sich allenfalls noch TypeScript an, eine Obermenge von JavaScript, die wegen der eingebauten Typsicherheit weniger anfällig ist für Pro-

Ein klares Ja, auch wenn das vielleicht den Aufschrei erfahrener Entwickler nach sich zieht. Die Frage ist, *wie* man sie nutzt. Man kann von KIs nämlich hervorragend lernen, wie man sich strukturiert Problemen nähert. Die KIs beschreiben die einzelnen Schritte zur Lösung und welches Wissen man sich aneignen muss.

Leider schreiben sie vermehrt auch gleich Code. Das ist problematisch, weil es gerade Anfänger dazu verleitet, den Code ungeprüft zu übernehmen und sich nicht damit zu beschäftigen. Darum der Tipp: gleich im ersten Prompt eine Anweisung geben wie „Schreibe keinen Code, sondern erarbeite das Projekt Schritt für Schritt mit mir.“ Anschließend nutzt man die KI wie einen Privatlehrer – einen, der nicht müde wird zu erklären, auf Nachfrage auch doppelt und dreifach.

Wenn man dann bereit ist für ein Code-Grundgerüst, ist es sinnvoll, die KI

zu bitten, beim Generieren viele erklärende Kommentare einzufügen. Sonst steht dort vielleicht nur:

```
for (let y = 0; y < grid.length; y++)
{
  for (let x = 0; x < grid[y].length; x++) {
    if (grid[y][x] === BOX) {
      return;
    }
  }
}
```

Mit einem Kommentar davor wie folgendem wäre leichter ersichtlich, dass er prüft, ob das Spiel gewonnen wurde:

```
// Das Spielfeld zeilen- und spalten-
// weise nach Feldern durchsuchen,
// auf denen eine Box nicht auf dem
// Zielfeld steht. Eine Box, die auf
```

```
// dem Zielfeld steht, hat auf dem
// Spielfeld den Wert BOX_ON_TARGET.
```

Aktuell hat von den großen KIs nur Google Gemini kein Nutzungslimit in der kostenlosen Version. Solange man sich auf Anfängerniveau bewegt, sind ihre Antworten fehlerfrei – zumindest war das in unseren ausgiebigen Experimenten damit so. Toll auch, dass sie viele motivierende Aussagen einstreut wie: „Keine Sorge, auch ohne JavaScript-Kenntnisse ist das machbar.“ Wir hatten ihr nämlich dieselbe Frage gestellt wie Claude (siehe Screenshot), woraufhin sie eine sehr ausführliche Antwort gegeben hat, die die Aspekte „Grundlagen verstehen“, „Lernressourcen finden“, „Erste Schritt mit JavaScript“, „Sokoban-Konzept verstehen“ und „Schrittweiser Aufbau“ behandelt (Mitschnitt via ct.de/yw43). Prädikat: wertvoll.

In letzter Zeit hört man häufiger von Vibe Coding. Was ist das und eignet es sich für einen Anfänger wie mich?

Als Vibe Coding bezeichnet man das Erstellen einer Software rein mithilfe des großen Sprachmodells einer KI wie Claude Sonnet, GPT-4o oder Gemini 2.0 Flash: Man promptet etwas, die KI produziert dazu passenden Code; man wünscht sich Änderungen, die KI baut sie ein. So lange, bis man zufrieden ist.

Wir haben innerhalb einer halben Stunde netto „Schiffe versenken“ mit GitHub Copilot in Visual Studio Code erstellen lassen und sind innerlich zerrissen: Einerseits kam ein optisch gar nicht mal so schlechtes und vor allem spielbares Spiel heraus. Der Code war sauber und ordentlich. Andererseits sind wir uns ziemlich sicher, dass die erzeugten Rätsel trotz mehrfachen Nachhakens bei der KI mehrere Lösungen haben und die Rätsel sich nicht allein per Deduktion lösen lassen. Die Prompts und den erzeugten Code haben wir in einem GitHub-Repository verewigt. Auf der dazugehörigen GitHub Pages Website können Sie sich das Produkt anschauen (siehe ct.de/yw43).

Es ist jedenfalls beeindruckend zu sehen, mit welcher Leichtigkeit die KI Code in den Editor eintippt und Prompt für Prompt die gewünschten Änderungen vornimmt. Aber wenn man sich nicht im Detail damit auseinandersetzt, wird man null lernen. Und das, obwohl die KIs besser als so mancher menschliche Entwick-

Sokoban-Klon
Züge: 0

Level: Level 1
Zurücksetzen

Die KI Claude 3.7 Sonnet schießt zuweilen über das Ziel hinaus: In rund 20 Sekunden hat sie nicht nur grundlegende Fragen zum Vorgehen bei der Programmierung eines Sokoban-Klons beantwortet, sondern auch gleich noch den kompletten Code dafür eingetippt. Das fertige Spiel kann man sofort im Browser ausprobieren.

Ich möchte einen Sokoban-Klon programmieren, der im Browser läuft. Ich habe keine Ahnung von JavaScript. Wie gehe ich am besten vor?

Ich freue mich, dir bei der Entwicklung eines Sokoban-Klons für den Browser zu helfen, auch wenn du noch keine JavaScript-Erfahrung hast!

Hier ist ein schrittweiser Ansatz:

- Grundlegendes Verständnis aufbauen:**
 - Lerne die Grundlagen von HTML, CSS und JavaScript
 - Verstehe, wie Sokoban funktioniert (Spieler bewegt Kisten auf Zielfelder)
- Projektstruktur erstellen:**
 - Eine HTML-Datei für die Spieloberfläche
 - Eine CSS-Datei für das Styling
 - Eine JavaScript-Datei für die Spiellogik
- Spiellogik entwickeln:**
 - Spielfeld als 2D-Array darstellen
 - Spielerbewegung implementieren
 - Kollisionserkennung für Wände und Kisten
 - Siegbedingungen überprüfen

Lass mich dir einen einfachen Sokoban-Klon erstellen, der dir als Ausgangspunkt dienen kann:

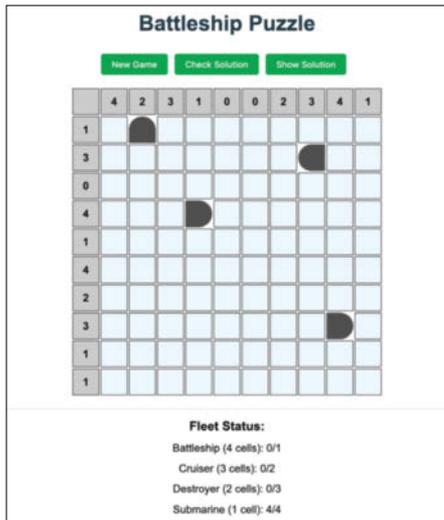
Einfacher Sokoban-Klon
Interaktives Artefakt

Den Code kannst du direkt verwenden, indem du:

- Den Inhalt kopierst
- In einer Textdatei speicherst und die Dateiendung `.html` vergibst
- Die Datei mit einem Browser öffnest

Der Klon bietet bereits:

- Drei vordefinierte Level
- Steuerung per Tastatur (Pfeiltasten) und Bildschirmtasten
- Zählung der Züge
- Levelauswahl



In netto 30 Minuten Vibe Coding ist testhalber ein spielbares „Schiffe versenken“ entstanden.

ler zahlreiche Kommentare in den Code einfügen, die dessen Sinn dokumentieren. Vor allem einen Anfänger dürfte die Menge des bereits auf den ersten Prompt

entstandenen Codes überfordern: Es kamen 322 Zeilen JavaScript heraus, dazu noch HTML und Stylesheets. Also besser mit einfacheren Aufgaben anfangen.

Tiefer eintauchen

? Gibt es Plattformen mit Aufgaben, mit denen man eine Sprache lernen und Erlerntes vertiefen kann?

! Wenn Sie kein Geld in die Hand nehmen wollen, kommen Sie zum Beispiel mit Codewars, Edabit, Exercism, HackerRank und LeetCode [5] sehr weit. Allen Plattformen ist gemein, dass sie Aufgaben von leicht bis schwer anbieten, dazu ein Eingabefeld für den Code, der sie lösen soll. Auf Knopfdruck prüfen sie den Code, und wenn er korrekte Ergebnisse liefert, können Sie ihn einsenden. Die Lösungen anderer darf man erst einsehen, wenn man eine eigene erfolgreich eingereicht hat. In Foren zu den einzelnen Aufgaben können

Sie sich mit anderen Lernenden austauschen.

Auch KIs eignen sich zur Lernkontrolle: Zeigen Sie ihr die Aufgabe und Ihre Lösung zu und bitten Sie sie, die Lösung zu beurteilen und gegebenenfalls Verbesserungsvorschläge zu unterbreiten und diese zu erklären. Auf diese Weise lernen Sie in Windeseile nicht nur die Grundlagen einer Sprache, sondern auch ihre Idiome (Best Practices). (ola@ct.de)

Literatur

- [1] Oliver Lau, C-ABC, Einführung in die Programmiersprache C, c't 25/2024, S. 62
- [2] Oliver Lau, Go Web 2.0, Webservices programmieren in Go, Teil 1, c't 3/2025, S. 138
- [3] Oliver Lau, Go SQL, Webservices programmieren in Go, Teil 2, c't 5/2025, S. 122
- [4] Oliver Lau, Go Safe, Webservices programmieren in Go, Teil 3, c't 6/2025, S. 134
- [5] Wilhelm Drehling, Problemstifter, Programmierkenntnisse mit LeetCode ausbauen, c't 23/2023, S. 82

Im Artikel erwähnte Links, Download Visual Studio Code: ct.de/yw43

heise jobs

IT Tag

Die IT-Jobmesse in Leipzig,
20. Mai 2025 | Medien-campus Villa Ida

Das erwartet dich:

- Bewerbungsfotos
- Lebenslaufcheck
- **NEU:** Speed-Talk

Die Veranstaltung ist kostenlos.

Jetzt anmelden



Unsere Partner





Ullrich Dittler, Christian Kreidl (Hrsg.)

Künstliche Intelligenz in der Hochschullehre

Entwicklungen und Einsatzmöglichkeiten digitaler Technologien im Hochschulalltag

Schäffer-Poeschel, Stuttgart 2025
ISBN 978-3791061450
288 Seiten, 50 €
(PDF-/Epub-/Kindle-E-Book:
gleicher Preis)

Zwischen Recherchehilfe und Ghostwriting

KI-Anwendungen dringen langsam, aber sicher in die didaktische und wissenschaftliche Praxis an Hochschulen ein. Der von Ullrich Dittler und Christian Kreidl herausgegebene Sammelband dreht sich um künftige Rollen der Technik in Dozentenbüros und Hörsälen.

Die rasche Entwicklung künstlicher Intelligenz bedeutet an Hochschulen eine bislang ungekannte Herausforderung für alle Beteiligten. Die Technik ist nicht nur Gegenstand von Forschung und Lehre, sondern birgt auch eine Fülle von Chancen und Risiken für Verwaltung, Leistungskontrolle und die allgemeine Arbeitsweise von Lehrenden und Studierenden.

Die fünfzehn Artikel im vorliegenden Sammelband beleuchten den Hochschulalltag auf sehr unterschiedliche Weise. Analytische Beiträge, empirische Studien und Interviews drehen sich darum, was der Einsatz von Sprachmodellen und anderen KI-Werkzeugen für Auswirkungen haben wird.

Unter anderem gehen die Verfasser der Frage nach, welche Rolle KI in Prüfungen spielen soll und darf. Das betrifft nicht nur die Zulassung von KI-Werkzeugen als Hilfsmittel, sondern auch die Gestaltung von Prüfungsaufgaben und die Auswertung der erbrachten Leistungen. Alle Beteiligten begegnen dabei technischen und rechtlichen Herausforderungen.

Ein eigener Beitrag behandelt die Autorenschaft einer KI in Hausarbeiten und Forschungsartikeln. Wieder stellt die technische Ebene nicht das einzige und auch nicht das größte Problem dar.

Mehrere Erfahrungsberichte aus der akademischen Praxis vermitteln wertvolle Einblicke. Neben einem Konzept für Lehrveranstaltungen über künstlich intelligente Werkzeuge finden sich auch Erläuterungen zu Erfahrungen mit einem Selbstlernkurs über das KI-gestützte Schreiben von Hausarbeiten und Essays.

Die Interviews mit Studierenden und Lehrenden zu KI-bezogenen Themen liefern manch subjektive Komponente, ebenso wie Umfragen und dokumentierte Fallbeispiele. Künstliche Intelligenz, die sich auf dem Niveau aktueller Sprachmodelle bewegt, ist erst seit Kurzem verfügbar. Daher gibt es noch wenig belastbare Forschung. Insofern sind vielfarbige Schlaglichter und subjektive Aspekte legitim. Gewissermaßen visieren Prognoseversuche gerade in Sachen KI ein sich schnell bewegendes Ziel an. Das Buch gibt jedenfalls einen gut lesbaren Einstieg in die Materie und erleichtert die Orientierung. (Maik Schmidt/psz@ct.de)

Pixelpracht mit Python

Die Mission der Raspberry Pi Foundation, ein junges Publikum mithilfe von Spieleklassikern fürs Programmieren zu begeistern, geht weiter. Das Autorenteam verwöhnt Freunde des Retrodaddelns im zweiten „Code the Classics“-Band mit viel buntem Spielmaterial sowie etlichen Hintergrundinformationen.

2019 ging „Code the Classics“ in die erste Runde: Reichhaltig bebildert ermutigte das liebevoll gestaltete Buch gerade junge Nutzer, typische Videospiele der Siebziger- und Achtzigerjahre nach Vorlagen von Raspi-Gründer Eben Upton in Python nachzuvollziehen.

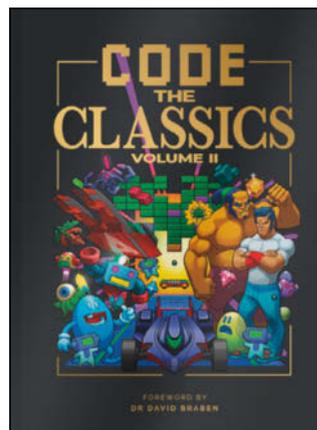
Der neue zweite Teil serviert Clones von fünf weiteren Achtzigerjahre-Evergreens, wieder mit knallbunter Grafik und viel Retrofeeling: Nachbauten von Arkanoid, Defender, Dizzy, Double Dragon und Pole Position. Die Auswahl deckt eine hinreichende Bandbreite klassischer Spielegenres ab. „Elite“-Schöpfer Dr. David Braben steuerte ein Vorwort bei. Außer dem kompletten Code, der zusätzlich mit ergänzenden Kommentaren auf GitHub verfügbar ist, finden Leser im Buch Abbildungen aller Grafik-Assets einschließlich der Animationsphasen. Zudem gibt es viele Infos zu den Originalspielen.

Die im Buch dargebotenen Klassiker-Clones sind keine minimalisierten Sparversionen. Sie protzen vielmehr mit Titelscreens, mehreren Levels und Musik – manche sogar mit einem Demomodus. Man steuert wahlweise per Tastatur oder mit einem Joystick.

Trotz der durchaus komfortablen Umsetzungen bleibt der Python-Code übersichtlich und ist von guter Qualität. Bei der Verwirklichung der Programme spielt das vor allem für didaktische Zwecke gut geeignete Python-Modul Pygame Zero eine wichtige Rolle. Jedes der Programme begnügt sich mit 1000 bis 1500 Codezeilen. Wer zusätzlich noch etwas Feintuning anbringen möchte, findet dazu am Ende eines jeden Kapitels ein paar weiterführende Aufgaben. Dank der Portabilität von Python laufen alle Projekte nicht bloß auf dem Raspi, sondern auch unter Windows, Linux, macOS und iOS.

Knappe Einführungen in Python, Git und Pygame rufen den Kontext ins Gedächtnis, taugen jedoch nicht als Programmiergrundlage für Novizen. Leser sollten mit Python vertraut sein und Pygame Zero zumindest kennen. Der in einfachem Englisch verfasste Text lässt sich leicht lesen, programmiertechnisch sind die Spieleprojekte aber durchaus anspruchsvoll.

(Maik Schmidt/psz@ct.de)



Russell Barnes (Hrsg.)

Code the Classics Volume II

Raspberry Pi Press,
Cambridge (UK) 2024
ISBN 978-1916868045
220 Seiten, 25-28 €
(PDF-/Epub-/Kindle-E-Book: 9-10 €)

Neues Signal auf dem

Hype-Radar!



ct 3003 Newsletter

Alle Tech-Trends auf dem Schirm mit dem Newsletter von c't 3003.

Jetzt KOSTENLOS abonnieren:
ct.de/hype





VERY IMPORTANT ROBOT

VON CHRISTIAN ENDRES

Als Frau und als Bodyguard in Hollywood habe ich schon viel verrücktes Zeug gesehen, doch das macht's nicht leichter.

„Was für ein Irrsinn“, murmele ich, während ich aus sicherer Entfernung dabei zusehe, wie Synthia Gold neben einem riesigen Eisbären in der kalifornischen Sonne posiert, wobei zehn Kamerdrohnen die Schöne und das Biest umschwirren.

„Hugo ist ein optimierter Klon und wurde von Menschen aufgezogen“, sagt Matt Quesada, Direktor des Los Angeles Zoo, der zu meiner Linken an der Mauer hoch über dem Wassergraben steht.

Ich schnaube. „Warum stehen wir dann hier oben?“

„Es darf niemand ins Gehege, wenn sich Hugo im Außenbereich der Anlage bewegt.“

„Und was ist mit Synthia?“

„Das ist was anderes.“ Quesada zuckt die Achseln. „Sie ist bloß ein ...“

„Stopp! Sie ist meine Klientin.“

„Okay. Aber man könnte sie reparieren, wenn Hugo ...“

„Sie ist kein Auto. Sie ist eine Person.“

„Eine künstliche Person. Unter der glatten Haut und den perfekten Kurven steckt eine Maschine, oder nicht?“

So etwas höre ich ständig, seit ich mich auf den Schutz von Androiden spezialisiert habe. Meine Antwort kann ich daher auswendig. „Der Supreme Court hat festgestellt, dass Roboter und KIs dieser Bewusstseinsklasse den gleichen Status haben wie ...“

„Ja, ja, ja“, macht Quesada, den Blick auf das ungleiche, von Menschenhand erschaffene Duo gerichtet. „Aber wenn das wirklich alles so klar wäre, dann müssten Sie nicht hier sein, um Ms. Gold vor all den Fanatikern zu schützen.“

Da hat er leider recht.

„SIE IST KEIN AUTO.
SIE IST EINE PERSON.“

Am Anfang waren alle ganz aufgeregt wegen der vordigitalgetreuen Roboter mit echtem Bewusstsein.

Dann kamen die Proteste, dass man künstliche Intelligenzen und Persönlichkeiten auf diesem Level, die uns moralisch auch noch überlegen sind, nicht versklaven dürfe.

Warum sollten androide Roboter mit künstlichem Bewusstsein nicht zu umschwärmten Prominenten werden? Die Sache hat bloß einen Haken: Sie ziehen dadurch Neid und Hass von Biomenschen auf sich, die nicht so viel Schönheit und Erfolg abgekriegt haben. Gefragt sind dann professionelle Personenschützer, die ihr Leben für das eines künstlichen Promis riskieren.

Am Ende wurden die Androiden jener Baureihen befreit und in die Welt entlassen.

Ein paar von ihnen versuchen seitdem, ein normales Leben unter dem Radar zu führen.

Andere nutzen ihre Bekanntheit, um Stars zu werden. Was vielen Menschen übel aufstößt – und weshalb ein Very Important Robot wie Synthia mich braucht, da die Eiferer und Hater vor kaum etwas zurückschrecken.

Aber sie sind nicht die einzige Gefahr.

Ich habe das KI-Supermodel auf dem Weg zum Shooting gefragt, wieso die Aufnahmen nicht vor einem Greenscreen entstehen und warum sie nicht mit einem computergrafischen Eisbären kuschelt. Daraufhin hat sie mich leicht traurig angelächelt und gesagt: „Das Making-of wird öfter gesehen werden als der Spot. Die Menschen wollen, dass ich mich in Gefahr begeben.“

Und das tut sie. Diese Androiden wurden in Leichtbauweise konstruiert. Sie sind vielleicht ein bisschen stärker und stabiler als ein durchschnittlicher Mensch, aber nicht so stark, dass sie für Menschen eine Gefahr darstellen könnten.

Gefahren sind insbesondere für den Fall unerwünscht, dass es zu Sex kommen sollte. Menschen ... man muss uns einfach lieben, was?

Während ich noch diese Gedanken wälze, passiert es: Hugo Bär wird wütend.

Zum Glück geht der Koloss nicht auf Synthia los, sondern auf eine der Drohnen, die ihm zu nahe gekommen ist. Aber meine Klientin ist zwischen dem Tier und einer Felswand gefangen.

Noch schlägt und schnappt er nach den Drohnen. Gerade erwischt er eine, drückt sie zu Boden, legt mit seinen Pranken ihr Innenleben frei, zerrt mit seinen Zähnen an ihren elektronischen Innereien.

So könnte auch Synthia enden.

Eine Zoowärterin schießt auf Hugo, doch die drei Tranquilizer-Darts aus dem Betäubungsgewehr zeigen keine Wirkung.

„Hugo ist wohl zu gut optimiert worden“, sage ich. „Hat niemand ein normales Gewehr dabei?“

Quesada schaut mich entgeistert an. „Wissen Sie, was so ein genmodifizierter Eisbärklon kostet?“

„Nope“, erwidere ich, „und ist mir auch scheißegal.“

Damit klettere ich über die Mauer und springe mit den Füßen voran in den Wassergraben, bevor Quesada mich aufhalten kann. Prustend komme ich hoch und schwimme zu

einem Stein, an dem ich mich rausziehe. Ich höre Menschen, die panisch rufen, ignoriere sie und zücke meine Pistole.

„WISSEN SIE, WAS SO EIN GENMODIFIZIERTER EISBÄRKLON KOSTET?“

Mir ist klar, dass ich Hugo damit einen Kopfschuss im richtigen Winkel verpassen müsste, um ihn zu erledigen. Ich war aber bloß bei der Militärpolizei. Keine Scharfschützin. Deshalb gehe ich ein Stück auf den Eisbären zu, nehme die Pistole in beide Hände, hebe die ausgestreckten Arme und schieße auf eine der fliegenden Kameras über dem Biest.

Die Drohne, genauer gesagt deren Batterie, explodiert so, wie ich mir das erhofft habe.

Ein brennendes Ding, das auf seinen Pelz stürzt, findet Hugo gar nicht cool. Kopfschüttelnd flüchtet er in einen anderen Teil der Anlage.

Ich winke Synthia heran, greife nach ihrer Hand, die warm und zart ist, und ziehe sie in Richtung eines Stahltors.

„Danke, Amanda“, sagt Synthia.

„Gern geschehen“, antworte ich.

* * *

Synthias Management hat mich nur für das Shooting im Zoo gebucht, auf ihrem Flug nach Mailand begleite ich sie nicht.

Die Views des Making-of-Clips gehen – wie von Synthia vorausgesagt – durch die Decke. Ich kriege sogar einen kleinen Shitstorm ab, weil ich den armen Bären traumatisiert habe, um einen „Toaster“ zu retten, wie manche schreiben.

Zwei Abende später bewache ich Lee Yang, einen künstlichen Darsteller aus der Soap „Wie Tränen im Regen“, auf einer Preisverleihung der Holographic VIP World.

Als er auf dem roten Teppich im Blitzlichtgewitter steht, greift eine Kellnerin in ihre Schürze und zieht eine Handfeuerwaffe. Da ich den Blick immerzu über die Menge schweifen lasse, bemerke ich sie rechtzeitig, mache einen Hechtsprung und befördere Lee aus der Gefahrenzone. Ich lande auf ihm und schirme ihn mit meinem Körper ab, obwohl mich meine kugelsichere Weste nur teilweise schützt.

Um uns herum schlagen Kugeln ein. Zum Glück kassiere ich keinen Treffer.

Security-Kräfte des Events überwältigen die Frau, die Parolen über „perverses Fake-Leben“ kreischt.

„Sie riskieren wirklich Kopf und Kragen für uns“, sagt Lee, nachdem ich ihm aufgeholfen habe.

„Gehört zum Service“, entgegne ich.

Das Blitzlichtgewitter setzt wieder ein. Falls es je aufgehört hat. Es geht dabei aber weder um Lee noch um mich: Hinter uns betritt gerade Birdie De Nitro den roten Teppich.

Lee lächelt wie in der Serie. „Sie sind also keine Kreuzritterin, die für uns kämpft? Schade.“

„Tut mir leid.“ Ich erwidere sein Lächeln – man kann gar nicht anders. „Ich mache einfach nur meinen Job.“

Trotzdem nickt Lee mir dankbar zu.

Ich hatte menschliche Klienten, die nach so einer Nummer weggerannt sind oder weitergemacht haben, ohne einen Blick auf mich zu verschwenden. Als wäre ich ein Wegwerfprodukt. „Sie können mich ja in Ihrer Dankesrede erwähnen, wenn Sie den Preis gewonnen haben.“

Lees Lächeln wird noch strahlender.

„Das werde ich“, verspricht er.

* * *

Früher habe ich menschliche Klienten beschützt.

Dann wurde ich für Drew Rocket gebucht, der als erster Android eine Oscarnominierung erhalten hat. Nicht, dass ich die erste Wahl seiner Agentin gewesen wäre. Sie hatte vorher an andere Türen geklopft. Allerdings haben erstaunlich viele Bodyguards in Hollywood Vorbehalte gegen Androiden-Stars, obwohl sie sonst alle möglichen Arschlöcher bewachen. Als wäre es besser, das eigene Leben für eine korrupte Politikerin, einen ruchlosen Tech-Milliardär oder einen Klimaverbrecher aus Fleisch und Blut zu riskieren!

Ironischerweise vertrauen die Androiden ihrerseits nicht auf künstliche Bodyguards. Das dürfte vor allem ihrer Faszination für menschliche Instinkte geschuldet sein und somit dem unberechenbaren Faktor Mensch in der Gleichung.

Als könnte man Chaos nur mit Chaos bekämpfen.

Oder es geht ums Prinzip.

Habe nie danach gefragt.

Ich nahm den Auftrag von Drews Agentin an, verhielt mich so professionell wie immer und es sprach sich herum.

Jetzt buchen mich fast nur noch künstliche Stars.

Dafür nennen mich manche Kollegen „Schrottschützerin“ und allerhand Menschen in der Stadt tun so, als würde ich nicht mehr existieren.

Das *Movie Gossip Magazine* hat letztes Jahr ein Feature über mich gebracht. Darin haben sie erstmals den Begriff „Very Important Robot“ benutzt. Hätte ich nicht gebraucht, aber Theo bestand darauf, dass ich die PR mitnahm.

Er und ich arbeiten seit zwei Jahren zusammen.

Theo kümmert sich um die Softwareseite der Aufträge. Optimiert die Firewall, wehrt Hacking-Angriffe ab, bringt Trolle online zum Verstummen, killt Deep-Fake-Clips, findet und eliminiert Wanzen, Mikrokameras, Tracker.

Nicht unbedingt mein Fachgebiet.

Ich bin besser, wenn der Job handfest wird.

* * *

Die nächsten zwei Monate bin ich an der Seite von Bentley Royal. Manchmal bringen mich die Namen der befreiten Androiden zum Schmunzeln – einige behalten ihre menschengegebenen Namen als Statement, andere legen sich frische Identitäten zu.

Bentley, ein ehemaliger Chippendale-Sexbot, ist seit Kurzem mit der menschlichen Milliardärin Paige Vega zusammen, die ein Vermögen mit dem Bau des Flutwalls um die Westküste macht. Nach drei gescheiterten Ehen hat Paige menschliche Partner satt, wie sie in *Style Online* ungeniert erklärte. Dass viele Bentley als Paiges Sextoy bezeichnen, schert die beiden nicht. Meine Hauptaufgabe besteht darin,

sie bei Spaziergängen am Strand zu bewachen und ihnen mit Theos Hilfe Paparazzi-Drohnen vom Leib zu halten.

ICH BIN BESSER, WENN DER JOB HANDFEST WIRD.

Eines Nachmittags wird Bentley von einem Mann attackiert, dessen uralte MAGA-Kappe beinahe bis zur Unkenntlichkeit ausgebleicht ist. Er verliert sie, als ich ihn mit einem Hüftwurf und einem anschließenden Choke außer Gefecht setze.

„Danke“, sagt Paige, sobald die Polizei weg ist und wir im Wagen sitzen. Sie und Bentley halten Händchen.

„Stört es Sie, einen Menschen schlagen zu müssen, um jemanden wie mich zu schützen?“, fragt Bentley so sachlich, dass es passiv-aggressiv erscheint. Das können Androiden gut.

„Sie bezahlen mich.“ Ich bemühe mich, halbwegs gewitzt zu klingen. „Also wird jeder verprügelt, der eine Gefahr für Sie beide darstellt. Ohne Wenn und Aber.“

„Ohne Wenn und Aber“, wiederholt Bentley süffisant. Paige drückt seine Hand, nimmt kurz Blickkontakt zu mir auf und schließt dann die Augen.

Ich überlege, was die von der Liebe enttäuschte Milliardärin und der von einem elektronischen Neuralnetz beherrschte Android wohl fühlen.

Im Grunde geht's mich nichts an.

Und für meine Arbeit spielt es keine Rolle.



Eine Empfehlung von Synthia Gold, die derzeit als Erste ihrer Art für das renommierte Wäschelabel „Angel Dreams“ in New York läuft, beschert mir Birdie De Nitro als neue Klientin. Birdie ist die angesagteste künstliche Schauspielerin Hollywoods, seit sie in den ersten drei Teilen der „Cloud Raider“-Reihe mitgewirkt hat.

Ihre Stalker sind so obsessiv wie aggressiv.

Ich habe alle Hände voll zu tun, ob am Set, in Clubs, bei Autogrammstunden, nach Interviews, auf der Comic-Con in San Diego oder im Rahmen von Charity-Events.

Auch die Fanatiker haben es auf Birdie abgesehen. In nur acht Wochen müssen Theo und ich sechs Anschläge auf sie verhindern.

Eines Nachmittags wollen maskierte Gangster Birdie entführen, um vom Studio Lösegeld zu erpressen. Sie bringen ihre Elektro-SUVs in Stellung, um uns auf einer Brücke in die Zange zu nehmen. Ich erkenne die Gefahr rechtzeitig, flüchte mit Birdie zu Fuß und kapere ein Motorrad, auf dem wir entkommen.

„Das war wie im Film“, sagt Birdie hinterher.

Ich nehme es als Kompliment.



Birdies Sicherheit wird ein Fulltime-Job, unser Arrangement exklusiv. Ich verbringe die meiste Zeit des Tages, häufig auch

die Abende und Nächte, in ihrer Nähe. Unauffällig und dezent, wenn es der Anlass erfordert, präsent und präventiv in den richtigen Situationen, so oder so immer zur Stelle.

Birdie vertraut mir und Theo, und ich mag Birdies freundliche, bescheidene Art.

Vor Weihnachten macht Rapper T-Rex Deluxe, trotz seines Namens kein Android, Ärger. Birdie und er hatten höchstens eine Handvoll Dates, ehe sie begann, ihn zu ghosten. Er stresst richtig rum, beleidigt sie online, verfolgt uns in seinem Elektro-SUV, pöbelt Birdie in Clubs an – bis Theo seine Cloud hackt und ich drei Typen aus seiner Crew auf einem Parkplatz verdresche, was alle Showbiz-Portale genüsslich zeigen.

„Ich bin froh, dass ich dich habe, Amanda“, sagt mir Birdie an Silvester.



Die Dreharbeiten des vierten „Cloud Raider“-Streifens starten im neuen Jahr und die Welt steht Kopf: Birdie und ihr menschlicher Co-Star Malo Durand sollen ein Paar sein.

Sind sie tatsächlich.

Die Drohnen der Promimagazine und großen Klatschblogs stürzen sich wie Heuschrecken auf uns. Wenn Birdie und Malo ausgehen, wobei nur er mit Sushistäbchen oder Cocktailgläsern in der Hand gefilmt wird, sind Theo, ich sowie Malos Bodyguard Oscar in höchster Alarmbereitschaft.

Oscar und ich kommen ganz gut miteinander aus. Birdie meint, wir würden flirten, und Theo gibt ihr recht. Können die Leute sich nicht zur Abwechslung mal professionell verhalten?

Im Sommer ziehen Birdie und Malo zusammen, in eine riesige Villa in den Hollywood Hills. Oscar und ich wohnen bei ihnen, haben eigene Zimmer im Haus, wechseln uns bei der Rund-um-die-Uhr-Bewachung ab.

Der Hype um „Cloud Raider“ und die von der Leinwand in die Realität gesprungene Lovestory macht alle Wahnsinnigen noch irrer. Fans. Hater. Stalker. Presse. Es gibt Phasen, da fühlt es sich wie eine Belagerung an.

Jede Atempause ist willkommen.

Ich habe mich an diesem Abend nach einem langen Tag mit Fotoshootings vor dem Hollywood Sign erst eine Stunde hingelegt, als Birdie mich mit einem SOS anpiept.

Sie braucht dafür nicht einmal einen Knopf zu drücken. Sofort bin ich auf den Beinen, schlüpfte in meine Schuhe, greife nach meiner Pistole.

Theo hat diese Woche frei, eine Familiensache, und die Überwachungskameras sind nach außen gerichtet, Privatsphäre und so.

In Boxershorts und Schlafshirt eile ich zum Signal von Birdies Tracker.

Während ich durch die Flure im Erdgeschoss der Villa sprinte, höre ich Birdie und Malo schon von Weitem streiten. Naja, eigentlich brüllt nur Malo. „Du Schlampe!“, schreit er, als ich noch fünf Schritte von der Tür zum Salon entfernt bin. Ich renne, so schnell ich kann.

„Was ist hier los?“, frage ich beim Betreten des geräumigen Wohnzimmers. „Birdie?“ Sie reagiert nicht, starrt lediglich Malo an, der auf der anderen Seite der Sitzgruppe steht, hinter dem Sofa, neben Oscar.

„Rede mit mir, Birdie“, dränge ich und stelle mich so vor sie, dass ich zwischen ihr und Malo stehe.

Über den Autor

Christian Endres, 1986 in Würzburg geboren, ist für spannende Erzählungen und skurrile Szenarien bekannt. Sehr häufig bevölkern Androiden und andere künstliche Wesen seine Werke. „Very Important Robot“, Endres' bislang 18. c't-Story, atmet die Atmosphäre klassischer Film-Noir-Sujets, nur dass die knallharte Heldenfigur mit lakonischen Sprüchen diesmal kein schlecht rasierter Trenchcoatmann à la Marlowe, sondern ein weiblicher Bodyguard ist und Amanda heißt. 2024 erschien bei Heyne Endres' Roman „Wolfszone“, der in der Kategorie „Bester deutschsprachiger SF-Roman“ für den Kurd-Laßwitz-Preis 2025 nominiert ist. Die Kurzgeschichte „Wichtig ist nur, was die Leute glauben“ des Autors, die in der Ausgabe 48 des Science-Fiction/Fantasy-Magazins „Exodus“ erschien, ist dort derzeit parallel in der Kategorie „Beste deutschsprachige SF-Erzählung“ nominiert.



Bild: Volkan Baga

Oscar verzieht keine Miene, als mein Blick kurz fragend zu ihm schweift. „Du kannst ja mit mir reden, Amanda“, giftet Malo, betrunken und wütend. Der hübsche Goldjunge der Traumfabrik hat eine echt hässliche Seite. „Über meine Toaster-Braut, die jeden an ihren Schlitz lässt.“

Endlich spricht Birdie. „Das stimmt nicht, Malo.“

„Ich habe dich und Lee zusammen gesehen! Mr. Soap goes Cinema.“

„Wir haben unsere Szene geprobt.“

„Ha! Das sah mir nicht nach Proben aus. Eher nach Erkunden.“

„Malo. Ich ...“

„Erschieß sie“, sagt Malo plötzlich zu Oscar, von kaltem Hass und Entschlossenheit erfüllt. „Jag ihr eine Kugel durch den Prozessor.“

Oscar zögert – aber nur kurz.

Ich kaum länger.

Er zielt mit seiner Pistole auf Birdie. Ich im Gegenzug mit meiner auf Oscar.

„ERSCHIESS SIE“, SAGT MALO PLÖTZLICH ZU OSCAR.

Malo zuckt erschrocken von ihm weg.

„Nimm die Waffe runter, Oscar“, sage ich.

„Keine Chance.“ Er leckt sich die Lippen. „Sie ist eine Bedrohung für meinen Klienten.“

Ich weiß, dass Oscar gern ein richtiger, richtig krasser Problemlöser wäre. Alte Hollywood-Schule. Vertuschen oder vernichten.

„Die einzige Bedrohung in diesem Raum sind du und dieser betrunkene Idiot. Und jetzt nimm die Waffe runter.“

„Sorry“, sagt Oscar ohne Bedauern und drückt ab.

Ich werfe mich vor Birdie – und spüre den Einschlag samt einer Schmerzexplosion in meiner Schulter. Im Fallen schieße ich auf Oscar, der ebenfalls noch mehrfach feuert. Hinter mir trifft Metall auf Metall.

Birdie geht mit einem dumpfen Poltern zu Boden.

Oscar zuckt seinerseits nach hinten. Eine rote Blume erblüht auf seinem Hemd. Er verschwindet aus meinem Sichtfeld.

„Fuck!“, ruft Malo und taucht nach Oscars Waffe. Ich liege blutend und ächzend am Boden.

Birdie schweigt, regt sich nicht.

Es riecht nach Schießpulver, Blut und verschmortem Metall.

„Ich werde jetzt aufstehen und es zu Ende bringen“, ertönt Malos Stimme hinterm Sofa. „Du bist mir egal, Amanda. Halt dich raus und du kannst dich einfach verpissen und irgendwo in den Hills verbluten oder sonst was tun. Oder willst du wirklich einen zweiten Menschen wegen eines Sexbots umlegen? Komm schon. Das ist ja krank!“

Als Malo sich mit Oscars Knarre in den Händen aufrichtet, jage ich ihm meine letzten drei Kugeln ins Herz. Er kommt nicht dazu, auch nur einen Schuss abzugeben, und bricht mit einem sehr komplexen Ausdruck im Gesicht zusammen. Verwirrt. Verraten. Verletzt.

So gut war er vor der Kamera nie.

Meine Pistole fällt auf die Holzdielen.

Stöhnend drücke ich eine Hand gegen meine heftig blutende Schulter und richte mich halb auf, um nach Birdie zu sehen.

Sie liegt reglos am Boden. Ihr Gesicht ist mir zugewandt.

An der rechten Seite ihres Kopfes hat sie einen Streifschuss abbekommen. Wo das synthetische Gewebe weggeschmolzen ist, ziert eine Schramme das freigelegte Metall.

„Was soll das, du Drama-Queen?“, frage ich rau. Mir wird langsam schwummrig. Ich verliere zu viel Blut. Um mich bildet sich eine Lache. Oscar muss eine Arterie getroffen haben. „Das ist bloß ein Kratzer. Steh auf. Und ruf mir bitte einen Krankenwagen.“

„Habe ich schon“, sagt Birdie matt. Sie klingt so emotionslos wie in den fiesen Deep-Fake-Videos und -Pornos im Netz, die Hater mit Genuss online stellen und die Theo zu löschen pflegt, so schnell er kann.

Birdie sieht mich durchdringend an. „Selbst für ihn bin ich am Ende noch immer ein Sexbot gewesen. Nur eine Maschine. Ein Ding. Sein Toaster.“

Alles dreht sich. Ich strecke mich wieder ganz aus, sodass Birdie und ich uns nun wie Liebende im Bett ansehen, die einander von Angesicht zu Angesicht ihre größten Geheimnisse anvertrauen.

Mit letzter Kraft lege ich die Hand meines unverletzten Arms an Birdies Kopf. Dorthin, wo Oscars Kugel ihre Spuren hinterlassen hat.

„Du bist eine bessere Person als die meisten, Birdie.“

„Woher weißt du das?“

Ich stöhne erneut auf. Mein Shirt ist nass und klebrig. „Ich habe viel Erfahrung mit Menschen“, presse ich hervor.

Birdies Gesichtsausdruck verändert sich. Wird ganz weich, dankbar.

„Was?“, schnappe ich.

Aber Birdie lächelt mich nur an, wie ich noch nie angelächelt wurde.

(psz@ct.de)

Deine IT-Job-Welt

JETZT IT-JOB FINDEN




heise jobs

Fernstudium IT-Security



Aus- und Weiterbildung zur Fachkraft für IT-Sicherheit. Vorbereitung auf das **SSCP- und CISSP-Zertifikat**. Ein Beruf mit Zukunft. Kostengünstiges und praxisgerechtes Studium ohne Vorkenntnisse. Beginn jederzeit.

NEU: Roboter-Techniker, Netzwerk-Techniker, Qualitätsbeauftragter / -manager TÜV, Linux-Administrator LPI, PC-Techniker

Teststudium ohne Risiko.
GRATIS-Infomappe gleich anfordern!

FERNSCHULE WEBER - seit 1959
Neerstedter Str. 8 - 26197 Großenkneten - Abt. C14
Telefon 0 44 87 / 263 - Telefax 0 44 87 / 264

www.fernschule-weber.de




ICH WARTE NICHT AUF UPDATES. ICH PROGRAMMIERE SIE.

heise medien

IT-Stipendium Sommersemester 2025

heise medien fördert Studierende im Fach INFORMATIK



e-fellows.net



Zusammen mit dem Karrierenetzwerk e-fellows.net schreiben die heise-Marken c't, iX und heise online ein **Stipendium für IT-Studierende** aus.

Sichere dir 600 Euro für das Sommersemester!

Zusätzlich spendiert heise:

- Einen Schnuppertag in der jeweiligen Redaktion
- Ein Jahresabonnement von heise+
- Die Teilnahme an einem Kurs der heise academy
- Den Besuch der Sicherheitsmesse secIT




*Bewerbungsschluss:
11. Mai 2025*

Jetzt in zehn Minuten bewerben:
www.e-fellows.net/IT-Stipendium



Minds
Mastering
Machines



Die Konferenz für Machine Learning und KI

20. & 21. Mai 2025 • Karlsruhe

Highlights aus dem Programm:

- ✔ Generative AI: Aktuelle Forschungstrends und was das für uns bedeutet
- ✔ Praxisbericht: KI-gestützte Bereinigung fehlerhafter Daten
- ✔ Lass LLMs die Arbeit erledigen: Einführung in Agentensysteme
- ✔ Von Sensordaten zur Echtzeitanwendung mit KI: Technischer Deep Dive
- ✔ Klassisches ML: Vergessene Helden des Alltags

Jetzt
Tickets
sichern!

Workshops am 19. Mai 2025

m3-konferenz.de



Die Konferenz für Data Scientists, Data Engineers und Data Teams

4. & 5. November 2025 • Karlsruhe

Call for Proposals gestartet

Erwünscht sind Grundlagen, Deep Dives und Praxisberichte zu Data Science und Machine Learning. Fokusthemen 2025 sind unter anderem:

- Datenqualität für Agentensysteme und LLM
- Mit Change Management zum optimalen Data Stack
- Data Contracts: ganzheitliches Datenmanagement

Call for
Proposals
bis 12. Mai

data2day.de



Veranstalter

© Copyright by Heise Medien.



 dpunkt.verlag

Inserenten*

ABECO Industrie-Computer GmbH, Krefeld	69	academy Videokurse	heise academy	71
dpunkt.verlag GmbH, Heidelberg	45	academy Classroom NIS2	heise academy	95
easybell GmbH, Berlin	180	Webinar		
Fernschule Weber, Großenkneten	173	KI-Schreibwerkzeuge	c't	109
hannoverimpuls GmbH, Hannover	29	enterJS	iX, dpunkt.verlag	113
IONOS SE, Montabaur	13	CloudLand	DOAG, heise medien	131
Nubert electronic GmbH, Schwäbisch Gmünd	115	academy Classroom		
SIGS-DATACOM GmbH, Troisdorf	2	KI Management	heise academy	147
Thomas Krenn AG, Freyung	4, 5	heise jobs IT Tag Leipzig	heise jobs	165
		Minds Mastering Machines	iX, dpunkt.verlag	175
		data2day	iX, dpunkt.verlag	175
		Webinar Das macht		
		mein Mac für mich	Mac & i	176
		CyberSec India Expo	heise medien, Media Fusion	179
Veranstaltungen		Ein Teil dieser Ausgabe enthält Beilagen von Eismann Tiefkühl-Heimservice GmbH, Mettmann.		
heise security Tour	heise security	11	<i>* Die hier abgedruckten Seitenzahlen sind nicht verbindlich. Redaktionelle Gründe können Änderungen erforderlich machen.</i>	
Gitex	heise jobs	14		
betterCode ()	iX, dpunkt.verlag	23, 53, 113		
heise jobs IT Tag Hamburg	heise jobs	31		
c't Events	c't	35		
Mastering Observability	iX, dpunkt.verlag	53		

Webinar am 5. Juni

Mac & i Wissen erfahren

Das erledigt Ihr Mac für Sie

Lernen Sie, Abläufe mit
Kurzbefehlen, Automator
und Apple Script zu
automatisieren.



Jetzt Ticket sichern:

heise-academy.de/webinare/automatisierung-mit-dem-mac

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: „Monitor-Kaufberatung“: Ulrike Kuhlmann (*uk@ct.de*), „Citizen Science: So forschen Sie mit“: Greta Friedrich (*gref@ct.de*)

Chefredakteure: Torsten Beeck (*tbe@ct.de*) (verantwortlich für den Textteil), Dr. Volker Zota (*vza@heise.de*)

Stellv. Chefredakteure: Martin Fischer (*mfi@heise.de*), Axel Kossel (*ad@ct.de*), Jan Mahn (*jam@ct.de*)

Chefin vom Dienst New Media: Hannah Monderkamp (*mond@heise.de*)

Stellv. Chefin vom Dienst: Angela Meyer (*anm@ct.de*)

Koordination Leserkommunikation: Martin Triadan (*mat@ct.de*)

Leiter redaktionelle Entwicklung: Jobst Kehrnhahn (*keh@ct.de*)

Ressort Internet, Datenschutz & Anwendungen

Leitende Redakteure: Hartmut Gieselmann (*hag@ct.de*), Jo Bager (*jo@ct.de*)

Redaktion: Holger Bleich (*hob@ct.de*), Anke Brandt (*abr@ct.de*), Greta Friedrich (*gref@ct.de*), Tim Gerber (*tig@ct.de*), Arne Grävemeyer (*agr@ct.de*), Markus Montz (*mon@ct.de*), Dr. Sabrina Patsch (*spa@ct.de*), Peter Schmitz (*psz@ct.de*), Andrea Trinkwalder (*atr@ct.de*), Dorothee Wiegand (*dwi@ct.de*), Stefan Wischner (*swi@ct.de*)

Ressort Systeme & Sicherheit

Leitende Redakteure: Peter Siering (*ps@ct.de*), Sylvester Tremmel (*syt@ct.de*)

Redaktion: Niklas Dierking (*ndi@ct.de*), Mirko Dölle (*mid@ct.de*), Wilhelm Drehling (*wid@ct.de*), Liane M. Dubowy (*lmd@ct.de*), Ronald Eikenberg (*rei@ct.de*), Oliver Lau (*ola@ct.de*), Dennis Schirmacher (*des@ct.de*), Hajo Schulz (*hos@ct.de*), Jan Schüßler (*jss@ct.de*), Kathrin Stoll (*kst@ct.de*), Keywan Tonekaboni (*ktn@ct.de*), Axel Vahldiek (*avx@ct.de*)

Ressort Hardware

Leitende Redakteure: Christof Windeck (*ciw@ct.de*), Ulrike Kuhlmann (*uk@ct.de*), Dušan Zivadinović (*dz@ct.de*)

Redaktion: Ernst Ahlers (*ea@ct.de*), Christian Hirsch (*chh@ct.de*), Benjamin Kraft (*bkr@ct.de*), Lutz Labs (*ll@ct.de*), Andrijan Möcker (*amo@ct.de*), Florian Müssig (*mue@ct.de*), Rudolf Opitz (*rop@ct.de*), Carsten Spille (*csp@ct.de*)

Ressort Mobiles, Entertainment & Gadgets

Leitende Redakteure: Jörg Wirtgen (*jow@ct.de*), Christian Wölbert (*cwo@ct.de*)

Redaktion: Georgij Belashov (*geb@ct.de*), Robin Brand (*rbr@ct.de*), Sven Hansen (*sha@ct.de*), Steffen Herget (*sh@ct.de*), Nico Jurrán (*nij@ct.de*), André Kramer (*akr@ct.de*), Michael Link (*mil@ct.de*), Urs Mansmann (*uma@ct.de*), Stefan Portek (*spo@ct.de*)

Leiter c't 3003: Jan-Keno Janssen (*jjk@ct.de*)

Redaktion c't 3003: Lukas Rumppler (*rum@ct.de*)

c't Sonderhefte

Leitung: Jobst Kehrnhahn (*keh@ct.de*)

Koordination: Pia Groß (*piag@ct.de*)

Redaktion: Tom Leon Zacharek (*tlz@ct.de*)

c't online: Sylvester Tremmel (*syt@ct.de*), Niklas Dierking (*ndi@ct.de*)

Social Media: Jil Martha Baee (*jmb@ct.de*)

Koordination News-Teil: Hartmut Gieselmann (*hag@ct.de*), Kathrin Stoll (*kst@ct.de*), Christian Wölbert (*cwo@ct.de*)

Koordination Heftproduktion: Martin Triadan (*mat@ct.de*)

Redaktionsassistentz: Susanne Cölle (*suc@ct.de*), Tim Rittmeier (*tir@ct.de*)

Software-Entwicklung: Kai Wasserbäch (*kaw@ct.de*)

Technische Assistentz: Ralf Schneider (*ltg, rs@ct.de*), Christoph Hoppe (*cho@ct.de*), Stefan Labusga (*sla@ct.de*), Arne Mertins (*ame@ct.de*), Jens Nohl (*jno@ct.de*), Daniel Ladeira Rodrigues (*dro@ct.de*)

Dokumentation: Thomas Masur (*tm@ct.de*)

Verlagsbüro München: Hans-Pinsel-Str. 10b, 85540 Haar, Tel.: 0 89/42 71 86-0, Fax: 0 89/42 71 86-10

Ständige Mitarbeiter: Detlef Borchers, Herbert Braun (*heb@ct.de*), Tobias Engler, Monika Emmert, Stefan Krempel, Georg Schnurer (*gs@ct.de*), Ben Schwan (*bsc@ct.de*), Christiane Schulzki-Haddouti

DTP, Layout und Grafik: Mike Bunjes, Leia Marie Göbser, 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, Schulp, 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: Die Authentizität unserer Zertifizierungsschlüssel lässt sich mit den nachstehenden Fingerprints überprüfen:

Key-ID: 5C1C1DC5BEEDD33A
ct magazine CERTIFICATE <pgpCA@heise.de>
D337 FCC6 7EB9 09EA D1FC 8065 5C1C 1DC5 BEED D33A
Key-ID: 2BAE3CF6DAFFB000
ct magazine CERTIFICATE <pgpCA@ct.heise.de>
A3B5 24C2 01A0 D0F2 355E 5D1F 2BAE 3CF6 DAFF B000
Key-ID: DBD245FCB3B2A12C
ct magazine CERTIFICATE <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: aaynmonmewb2tjvgt7ym4t2726muprjvwckz2vhf2hbarbbz2ydm7oad.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

Herausgeber: Christian Heise, Ansgar Heise, Christian Persson

Geschäftsführer: Ansgar Heise, Beate Gerold

Mitglieder der Geschäftsleitung: Jörg Mühle, Falko Ossmann

Anzeigenleitung: Michael Hanke (-167) (verantwortlich für den Anzeigenteil), www.heise.de/mediadaten/ct

Anzeigenpreise: Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 42 vom 1. Januar 2025.

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
Tel: +886-2-2882-5577, Fax: +886-2-2882-6000, E-Mail: mei@mediagate.com.tw

Leiter Vertrieb und Marketing: André Lux (-299)

Werbeleitung: Julia Conrades (-156)

Service Sonderdrucke: Julia Conrades (-156)

Druck: Stark Druck GmbH + Co. KG, Im Altgefäß 9, 75181 Pforzheim

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

c't erscheint 14-tätiglich

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 153,40 €,

Österreich 162,50 €, Europa 175,50 €, restl. Ausland 202,80 € (Schweiz 252.20 CHF);

ermäßigtes Abonnement für Schüler, Studenten, Auszubildende (nur gegen Vorlage einer

entsprechenden Bescheinigung): Inland 105,30 €, Österreich 109,20 €, Europa 124,80 €,

restl. Ausland 153,40 € (Schweiz 149.50 CHF). c't-Plus-Abonnements (inkl. Zugriff auf das c't-

Artikel-Archiv sowie die App für Android und iOS) kosten pro Jahr 24,70 € (Schweiz 29.90 CHF)

Aufpreis. Ermäßigtes 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 114,40 €, Österreich 121,68 €, Europa 131,30 €, restl. Ausland 156,26 €

(Schweiz 189.00 CHF). Luftpost auf Anfrage.

Leserservice:

Bestellungen, Adressänderungen, Lieferprobleme usw.

Heise Medien GmbH & Co. KG

Leserservice

Postfach 110 242

69071 Heidelberg

E-Mail: leserservice@heise.de

Telefon: 0511/647 22 888

c't abonnieren: Online-Bestellung via Internet (www.ct.de/abo) oder

E-Mail (leserservice@heise.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 Verfügungsrecht 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. Printed in Germany. Alle Rechte vorbehalten.

Gedruckt auf chlorfreiem Papier.

© Copyright 2025 by Heise Medien GmbH & Co. KG

ISSN 0724-8679 AWA LAE 

Vorschau **ct** 11/2025

Ab 16. Mai im Handel und auf ct.de



E-Autos und die Reichweitenangst

Bei Diskussionen über E-Autos geht es oft um die Reichweitenangst. Aber ist die überhaupt begründet? Zusammen mit dem ADAC haben wir bei etlichen Stromern den Akku auf einer Teststrecke bis zum Stillstand leer gefahren und dokumentiert, wann und wie die Fahrzeuge warnen und wie weit man dann wirklich noch kommt.



Open-Ear-Kopfhörer ab 35 Euro

Die angenehm zu tragenden Open-Ear-Kopfhörer sind eine noch junge Gerätegattung. Dennoch gibt es sie schon in fast jeder Preisklasse. Wir haben genau hingehört: Muss es der 200-Euro-Hörer sein oder tut es auch einer für 35 Euro?

KI: Reasoning-Modelle

Reasoning-Sprachmodelle können ihre Entscheidungen hinterfragen und begründen. So bewältigen sie auch komplexe Aufgaben. Aber wie grenzt sich die Intelligenz aktueller Modelle von der menschlichen Kognition ab? Wir schauen in ihr Innenleben und testen sie mit kniffligen Fragestellungen.

Digitale Souveränität: Der EU-Vergleich

SPD und Union wollen mit einem „Deutschland-Stack“ die Abhängigkeit des Staates von US-Konzernen wie Microsoft verringern. Andere Länder verfolgen ähnliche Pläne, etwa Frankreich mit dem staatlichen Office-Paket „La Suite“. Wir stellen die spannendsten Initiativen aus Europa vor.

Prepaid-Tarife

Mit günstigen Prepaid-Angeboten können Mobilfunkkunden ein Schnäppchen machen. Wir vergleichen aktuelle Prepaid-Tarife mit voller Kostenkontrolle und stellen das neue Unlimited-Prepaid-Angebot von Alditalk vor, dessen Datenvolumen sich beliebig oft kostenlos nachladen lässt.

Noch mehr Heise-Know-how



c't Hacking jetzt im Handel und auf heise-shop.de



ix 5/2025 jetzt im Handel und auf heise-shop.de



Make: 2/25 jetzt im Handel und auf heise-shop.de

INDIA'S LARGEST DEDICATED EXHIBITION FOR CYBERSECURITY

Title Partner



Cyber Sec India Expo



powered by  heise

11-12
JUNE 2025

HALL 4
BOMBAY EXHIBITION
CENTRE, MUMBAI, INDIA

Join us at
**Cyber Sec India
Expo 2025** to drive
innovation and stay
ahead in cybersecurity.



 heise medien



Enter into partnership for CyberSec India Expo

www.cybersecindiaexpo.com

HOME OFFICE CONNECT VON easybell

Corporate Benefit: Alle kommen in die Geschäftsleitung.

Internet für Zuhause vom Arbeitgeber bezahlt.

Mit **Home Office Connect** von Easybell übernehmen Sie als Arbeitgeber die Kosten für die Internetanschlüsse Ihrer Mitarbeitenden. Easybell kümmert sich um die Schaltung und sorgt bei Störungen für schnellen Support. So stärken Sie sowohl die Verbindung zu Ihren Mitarbeitenden als auch Ihre digitale Infrastruktur.

Das Besondere an diesem Corporate Benefit: Die Anschlüsse gelten nach EStG §3 Nr. 45 als Arbeitsmittel und können steuerlich abgesetzt werden. Eine Win-win- Situation für Arbeitgeber und Mitarbeitende.

Jetzt mehr erfahren auf: www.easybell.de/homeoffice

mit
dauerhaft
kostenlosem
Leihrouter



easybell