



E-Autos im Reichweitentest

Sechs Modelle bis zum Stillstand leergefahren

So optimieren Sie die Reichweite • So helfen Sie sich im Notfall

TEST

Open-Ear-Kopfhörer von 35 bis 190 Euro
iPhone 16e und Pixel 9a im Vergleich
Gigabit Managed Switch für Einsteiger
Robuste Actioncam für 360-Grad-Videos
Linux: Ubuntu 25.04 und Fedora 42
Idle Games: Unterhaltung bei der Arbeit

Bluetooth-Audio nachrüsten

Zehn Audiobrücken für TV, Hi-Fi und Flugzeug

FOKUS

Volle Kostenkontrolle mit Prepaid-Tarifen
Besser programmieren: Von JavaScript zu TypeScript
Grafikkartenupdate für den optimalen PC
Schöner basteln: Raspi, ESP & Co. auf der Hutschiene
Computer mit menschlichen Gehirnzellen
Druckerpatronen und Tonerkartuschen recyceln



€ 6,20

AT € 6,90 | LUX, BEL € 7,30

NL € 7,50 | IT, ES € 7,80

CHF 10.50

Die neue KI-Generation im Test

Chinesische KI bietet US-Modellen Paroli • Stand der EU-Regulierung

Wie Reasoning-Modelle das Denken simulieren





Unverkennbar Avant. Unverkennbar Audi A6.

Ihr neues Businessmodell.



Angebot
entdecken



Audi Vorsprung durch Technik

Kraftstoffverbrauch (kombiniert): 8,0-5,0 l/100 km;
CO₂-Emissionen (kombiniert): 181-130 g/km; CO₂-Klassen: G-D.



Neuer Schufa-Score: Das faule Pferd

Die Schufa will ab Ende 2025 den Punktwert oder "Score", mit dem sie die Kreditwürdigkeit von Verbrauchern ausdrückt, anders als bisher berechnen (siehe c't 10/2025, S. 16). Das Scoring soll einfacher und für jeden leicht nachvollziehbar werden. Für zwölf Sachverhalte im Schufa-Datensatz zu einem Verbraucher gibt es Punkte, zum Beispiel für die Anzahl der verzeichneten Kreditkarten: je mehr Karten, je weniger Punkte. Gravierend fällt der Punktabzug vor allem dann aus, wenn ein Unternehmen der Schufa eine Zahlungsstörung gemeldet hat, also einen sogenannten Negativeintrag.

Addiert ergeben die Punkte den Score, ohne komplizierten Algorithmus oder gar KI. Außerdem soll es nur noch einen Score für alle geben. Damit beseitigt die Schufa endlich die für Laien unverständlichen Unterschiede zwischen Scores für einzelne Branchen, für einzelne Unternehmen und dem unverbindlichen Basisscore, den Verbraucher als Orientierungswert erhalten. Die sollen den Score außerdem jederzeit kostenlos über ein neues Portal der Schufa oder den Dienst Bonify einsehen können. Das alles ist ein großer Schritt in die richtige Richtung, denn mit einem schlechten Score erhalten Menschen zum Beispiel nur schwer eine Mietwohnung. Mit dem neuen Verfahren wissen sie vorab, wie ein Ratenkredit ins Kontor schlägt und können fehlerhafte Scores einfacher erkennen und korrigieren lassen.

Die Schufa hat den neuen Score unlängst als Teil ihrer selbst ausgerufenen Transparenzoffensive

vorge stellt. Man könnte also glauben, dass sie mittlerweile auch das Wohl von Verbrauchern aktiv mitdenkt. Doch mit dem neuen Score-Verfahren springt die Schufa bei genauerem Hinsehen im besten Fall wie ein faules Pferd gerade mal so hoch, wie es DSGVO und der Europäische Gerichtshof ihr abverlangen – und noch hat sie die Reform nicht umgesetzt.

Trotzdem möchte ich danksagen. Nicht der Schufa, denn mit Daten im Sinne der DSGVO umzugehen ist selbstverständlich. Dank gebührt den vielen Daten- und Verbraucherschützern und Juristen, die sich seit Jahrzehnten dafür einsetzen, dass Auskunftsteilen bei Kreditwürdigkeitsprüfungen die Bürgerrechte achten. Die Aktivisten könnten nun ein wichtiges Etappenziel erreicht haben, auch wenn sie für noch ungelöste Probleme wie die Sicherstellung einer korrekten Datenbasis weiterkämpfen müssen. Danke sage ich auch dem EU-Gesetzgeber und dem Europäischen Gerichtshof. Denn ohne die DSGVO und ihre Auslegung im Sinne der Bürger hätten sich Schufa & Co. bisher keinen Millimeter bewegt. Bleibt dran!



Markus Montz

Markus Montz



TERRA PC-MICRO 6000C GREENLINE

Intelligente Sicherheit

Wir passen auf. Mithilfe von Analysen und KI können wir täglich 43 Billionen Signale synthetisieren und so digitale Bedrohungen und kriminelle Cyberaktivitäten verstehen und verhindern. Im vergangenen Jahr wurden mehr als 70 Milliarden E-Mail-Angriffe und

ERHÄLTlich BEI IHREM
TERRA FACHHÄNDLER

ganz einfach hier finden



WORTMANN AG empfiehlt Windows 11 Pro für Unternehmen.



TERRA PC-MICRO 6000C GREENLINE

Intel® Core™ i5-1334U Prozessor
(12 MB Intel Smart Cache, bis zu 4.60 GHz)
Windows 11 Pro
16 GB RAM Speicherkapazität
500 GB SSD Gesamtspeicherkapazität
Intel® Iris® X^e Graphics

Artikelnr.: 1000051

TERRA LCD/LED 3295W PV 4K

31.5" (80 cm) Bildschirmdiagonale
3840 x 2160 (4K UHD) Pixel
16:9 Seitenverhältnis
Paneltechnologie IPS
USB-C, HDMI, Displayport 1.2,
DisplayPort-Ausgang (Daisy-Chain)
Multifunktionsstandfuß mit Höhenverstellung,
Neigung und horizontaler Schwenkfunktion

Artikelnr.: 3030234

terra 
IT. MADE IN GERMANY.

Identitätsbedrohungen abgewehrt. Noch bevor du deinen PC startest, ist Windows 11 auf der Hut. Windows Software arbeitet mit deiner Hardware zusammen und wurde entwickelt, um deine Anwendungen, Identität, Informationen und Privatsphäre zu schützen.

*Für alle,
die mehr wollen!*



* Änderungen und Irrtümer vorbehalten.
Es gelten die AGB der Wortmann AG, zu finden unter www.wortmann.de. Solange der Vorrat reicht.
Keine Mitnahmegarantie.

Ultrabook, Celeron, Celeron Inside, Core Inside, Intel, das Intel-Logo, Intel Atom, Intel Atom Inside, Intel Core, Intel Inside, das „Intel Inside“-Logo, Intel vPro, Itanium, Itanium Inside, Pentium, Pentium Inside, vPro Inside, Xeon, Xeon Phi, Xeon Inside und Intel Optane sind Marken der Intel Corporation oder ihrer Tochtergesellschaften in den USA und/oder anderen Ländern.

www.wortmann.de

WORTMANN AG
IT. MADE IN GERMANY.

Titelthemen

E-Autos im Reichweitentest

- 16 **Myth-busting** E-Autos neu gedacht
- 18 **Prüfstand** E-Autos leer fahren mit dem ADAC
- 24 **Übersicht** Energiemanagement im E-Auto
- 26 **Physik** Was bei der Reichweite zählt

Die neue KI-Generation im Test

- 50 **Test** KI-Modelle mit Reasoning
- 60 **Sprachmodelle** KI versus Gehirn
- 66 **Recht** KI-Verordnung wird scharfgestellt

Bluetooth-Audio nachrüsten

- 108 **Test** Zehn Audiobrücken für TV, Hi-Fi und Flugzeug

Aktuell

- 14 **Digitalisierung** Wer ist der neue Minister?
- 30 **KI-Wettbewerb** Hommingberger Gepardenforelle
- 32 **Handel und Geld** BaFin warnt vor Anlagebetrug
- 33 **Digitalisierung** EU will digitale Kfz-Dokumente
- 34 **Forschung** Laser lässt das Auge neue Farbe sehen
- 35 **KI-Training** mit photonischem Chip
- 36 **Smart Home** Matter-Geräte in KNX-Installationen
- 37 **EU-Ökodesign** Richtlinie für mehr Produktgruppen
- 38 **Der gläserne TV-Zuschauer**
- 39 **Duolingo** Mit KI mehr Kurse, weniger Mitarbeiter
- 40 **Netze** Synology Plattensperre, Wi-Fi 7 Access-Point
- 41 **Satelliten** Abkommen zum Schutz der Astronomie
- 42 **Bit-Rauschen** Intel entlässt Manager
- 43 **Hardware** GeForce RTX 5060 und RTX5060 Ti
- 44 **Kommentar** KI-Updates und technische Dekadenz
- 46 **Web-Tipps** Medien, Geografie-Quiz, Wordle

Test & Beratung

- 70 **Gigabit Managed Switch für Einsteiger**
- 72 **CPU-Kühler** Arctic Freezer 8A/8i
- 73 **HDMI-Adapter** Funkbrücke zum Display
- 74 **Smart Home** Shelly Kompaktzählerchen
- 75 **Spezialobjektiv** von Canon für 3D und VR
- 76 **Robuste Actioncam für 360-Grad-Videos**
- 78 **Linux: Ubuntu 25.04**
- 80 **Linux: Fedora 42**
- 81 **Link-Prüfer** URLCheck
- 82 **Lautsprecherkorrektur** ARC 4 mit DSP-Box
- 84 **Jubiläum** ein Jahr Notebooks mit Snapdragon X
- 90 **iPhone 16e und Pixel 9a im Vergleich**
- 94 **Smartphones** Nothing Phone (3a) und (3a) Pro
- 98 **Open-Ear-Kopfhörer von 35 bis 190 Euro**
- 102 **Volle Kostenkontrolle mit Prepaid-Tarifen**

16 E-Autos im Reichweitentest



Was machen E-Autos, wenn die Akkuanzeige auf null fällt? Auf der ADAC-Teststrecke haben wir die bestimmenden Faktoren abgeklopft und zeigen, wie Hersteller die teuren Akkus schützen.

116 Idle Games: Unterhaltung bei der Arbeit

166 Bücher Wissenschaftliches Schreiben mit KI

166 Bücher Guidebook für Software Engineers

Wissen

120 Open Source Mittel gegen Microsoft-Abhängigkeit

126 Druckerpatronen und Tonerkartuschen recyceln

132 Computer mit menschlichen Gehirnzellen

136 Quantentoken als fälschungssicherer Handschlag

138 Python Der unbesiegbare Tic-Tac-Toe-Gegner

144 Programmieren: Von JavaScript zu TypeScript

Praxis

150 Schöner basteln: Raspi und ESP auf der Hutschiene

156 Grafikkartenupdate für den optimalen PC

158 HDMI-Adapterkabel ultra-flach für Digitalkameras

Immer in ct

3 Standpunkt Neuer Schufa-Score: Das faule Pferd

8 Leserforum

13 Schlagseite

48 Vorsicht, Kunde Lange Leitung bei Smart Meter

162 Tipps & Tricks

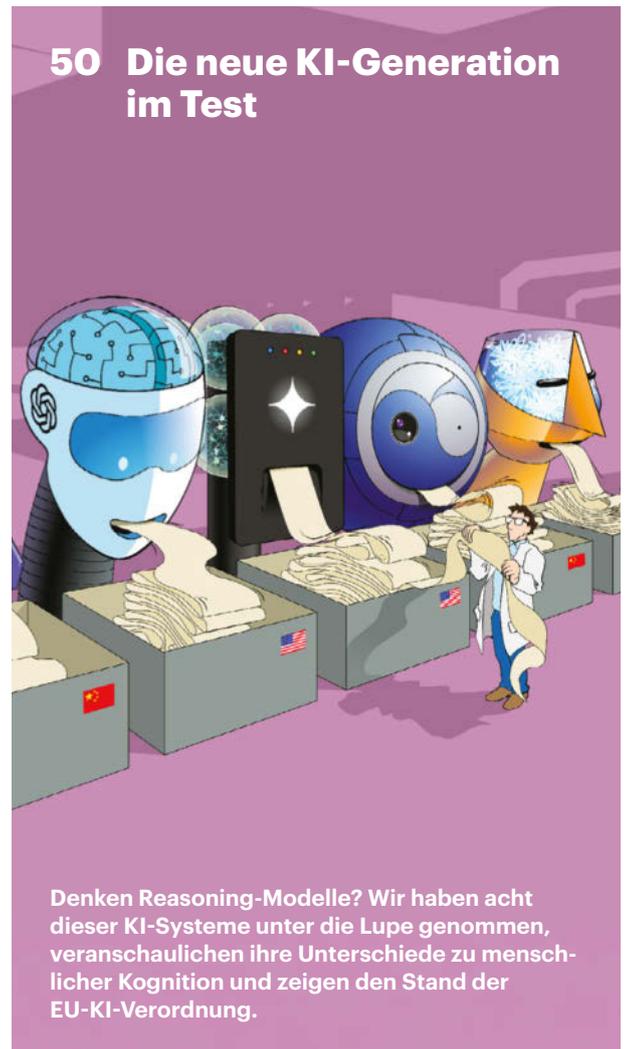
164 FAQ Browser-Tabs im Griff

168 Story An der Grenze

176 Inserentenverzeichnis

177 Impressum

178 Vorschau ct 12/2025



Denken Reasoning-Modelle? Wir haben acht dieser KI-Systeme unter die Lupe genommen, veranschaulichen ihre Unterschiede zu menschlicher Kognition und zeigen den Stand der EU-KI-Verordnung.

Frisch aus
ct Nerdistan

138 Tic-Tac-Toe Mit Minimax unbesiegbar

ct Hardcore

144 Typischer programmieren mit TypeScript

150 Aufgeräumt Raspi und ESP auf der Hutschiene

Haftungsfrage

Standpunkt zur KI-Regulierung, c't 10/2025, S. 3

Sie haben einen gewichtigen Punkt vergessen: die Haftungsfragen bei KI-Einsatz. Wo beginnt oder endet die Haftung für Anwender, Verwender oder Zulieferer? Gut, die EU hat die Datenverarbeitung in die neue Richtlinie zur Produkthaftung aufgenommen, aber ziemlich KI-fern. Und die Haftung könnte man aus Analogien zur bestehenden Gesetzgebung mühsam herleiten.

UK macht es durch den Automated Vehicles Act 2024 vor, wo mit steigendem Automatisierungs- beziehungsweise Autonomiegrad die Haftung vom Anwender in Ebenen auf Hersteller samt Software-zulieferern übergeht. Analog könnte man das auch im Bereich KI fordern. Vollständig autonome Systeme oder Agenten müssten unter Entwicklerhaftung und -verantwortung stehen.

Hasko Diestel ✓

Verschlimmbesserung

Schwarz-roter Koalitionsvertrag: Mit Zwang, Überwachung und Reformen zum Digitalland, c't 10/2025, S. 38

Beim Kommentar von Christian Wölbart fiel mir gleich wieder Industrie 4.0 ein. Da haben wir auch weiß Gott was gewollt und quasi fast nichts hinbekommen. Damals hat ein Berater gesagt, dass man erst seine Prozesse sauber machen soll; es taugt nicht viel, einen schlechten Prozess zu digitalisieren.

Ich befürchte aber, dass wir jetzt akribisch das digitalisieren, was wir in Papier haben. Am Ende wird es auf jeden Fall viel Geld gekostet haben und vermutlich nur eine Verschlimmbesserung sein.

Ralf Schurer ✓

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.



Seit Jahren kehrt dieser iX-Leser im Rechenzentrum als Anzeigenmotiv in c't wieder. Dazu haben uns schon etliche Leser geschrieben. Offenbar hat er Fans, die jede neue Ausgabe nach dem Mann mit Tablet durchsuchen.

Alter Bekannter

iX-Anzeige, c't 10/2025, S. 70

Er ist wieder da! Der junge Mann im zeitlosen Holzfällerhemd in vermutlich Europas dienstältester IT-Anzeige. Versonnen blickt er auf ein Tablet mit gephotoshoptem ewig gleichem iX-Cover, das ihm mehr oder weniger geschickt in die Hände „montiert“ wurde. Die breiten Ränder des Tablets helfen uns bei der Datierung: möglicherweise ein iPad der ersten oder zweiten Generation aus 2011 oder 2012. Das zugrunde liegende Foto dürfte aber zehn Jahre älter sein: 4:3-Flachbildschirme waren auch 2012 schon seit gut zehn Jahren auf dem Markt.

Auf jeden Fall macht es mir immer wieder Freude, den mittlerweile guten Bekannten im Seitenstreifen begrüßen zu dürfen. Einzig den Fotografen bedauere ich: Diese endlose Nutzungsdauer hat er wahrscheinlich nicht vorhergesehen und damit sein Werk viel zu billig hergegeben.

Immanuel Wilhelmy ✓

Nach intensiver Recherche konnten wir den abgebildeten Kollegen ausfindig machen. Die Aufnahme entstand 2017 in einem Serverraum des Verlags.

Beim Mapping geht mehr

Citizen-Science-Projekte in der Stadt, c't 10/2025, S. 66

Für ganz viele der Projekte braucht es auch Karten (etwa für das von euch genannte Wheelmap). Da liegt ganz häufig eine Karte von OpenStreetMap zugrunde. Auch für dieses Projekt kann man Daten erheben. Es muss dabei nicht gleich eine umfangreiche Kartografie-Aktion werden.

Mit Apps wie StreetComplete kann man schnell und einfach gegebenenfalls auch auf den täglichen Wegen fehlende Daten erfassen oder bestehende auf Aktualität hin prüfen. Mit Kindern am Wochenende ist sogar eine Art Schnitzeljagd möglich – einmal quer durchs Stadtviertel oder auch in einer fremden Stadt ist das immer recht spaßig.

Kai Schlachter ✓

Pädagogischer Unfug

Buchstaben- und Lese-Apps für Schulanfänger im Test, c't 10/25, S. 92

Mir fehlt ein klarer Warnhinweis: Eine Leselern-App ist für Vorschulkinder ungefähr die schlechtestmögliche Schulvorbereitung! Ob ein Kind schon lesen kann, ist für seinen Schulerfolg egal. Es ist wichtig, dass es motorisch gut entwickelt ist und eine Schere und einen Stift halten kann, sich selbst an- und ausziehen und in Gruppen gut kommunizieren, sich einfügen und behaupten kann. Um diese Dinge zu lernen, muss es echte, analoge Körper- und Sinneserfahrungen machen. Jede Minute, die es zusätzlich vor Bildschirmen hockt, ist verschenkte Zeit.

Wenn ein Kind wirklich lesen lernen will, tut es das auch ohne App. Wenn nicht, soll es lieber vorgelesen bekommen, mit den Eltern über Gott und die Welt reden, Fußball oder ein Würfelspiel spielen, helfen beim Gemüseschnippeln, basteln, malen, singen, tanzen. Für Grundschul-kinder gilt Ähnliches. Eine spezialisierte App für ein Kind, das Probleme beim Lesenlernen hat, kann unter Umständen nützlich sein. Ein Kind, das keine Probleme

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

me mit dem Schulstoff hat, soll sich lieber mit anderen Dingen beschäftigen. Auch im Grundschulalter hängen die meisten Kinder zu viel vor Bildschirmen.

Bärbel Mörchen ✉

Dramatischer Fehler!

Bei KI-Nutzern kann die geistige Leistungsfähigkeit verkümmern, c't 10/2025, S. 124

Ich bin an der Bildunterschrift auf Seite 125 hängen geblieben. So gerne ich als im Vringveedel Geborener den für seine hochaktuellen und immer kritischen Karnevalswagen sehr geschätzten Jacques Tilly für den Kölner Karneval vereinnahmen würde, muss ich doch leider feststellen, dass Jacques Tilly im Karneval der verbotenen Stadt (sprich Düsseldorf) tätig ist.

Herrn Tilly im Kölner Karneval zu verorten ist daher so dramatisch, wie in Köln Helau statt Alaaf zu rufen oder wenn das Most Significant Bit in einem 512 Bit-Integer trotz ECC-Schutz, der 256 Bitfehler korrigieren kann, umkippt. Ich empfehle dringend, alle Exemplare der aktuellen Ausgabe einzustampfen.

Guido R. Hiertz ✉

Wir sind uns der dramatischen Dimension dieses Fehlers durchaus bewusst. Bedauerlicherweise ist es für einen Rückruf der Ausgabe zu spät. Wir müssen es daher bei einer

Berichtigung und Entschuldigung am Ende dieses Leserforums belassen.

Lässt Tiefe vermissen

Es gibt weitere Felder, in denen der Einsatz von KI kontraproduktiv ist. Eines meiner Hobbys ist das Verfassen von Kurzgeschichten. Natürlich existieren inzwischen KI-Agenten, die Musik, Bilder und Texte generieren. Aus Neugier – ich beschäftige mich beruflich mit LLMs – habe ich ein paar davon getestet.

Meiner Erfahrung nach benötige ich einen großen Aufwand, bis KIs „brauchbare“, teils „seelenlose“ Storys und Texte generieren. Dieser Aufwand ist mitunter höher als die Eigenkomposition, macht weniger Spaß und lässt erzählerische Tiefe vermissen. Auch den kognitiven Fähigkeiten ist das nicht gerade förderlich. Menschen ist zu wenig bewusst, dass tägliches Gehirnjogging genauso wichtig ist wie Körpertraining.

Michael Stal ✉

Interoperabilität fordern

Titelthema „Sichere Messenger“, c't 9/2025, S. 16 ff.

Ich nutze Signal als Favorit, WhatsApp gezwungenermaßen für die Fußballvereine und Telegram für andere, zeitlich begrenzte Sachen. Ich wünsche mir, dass die EU bald Interoperabilität vorschreibt, am besten in Verbindung mit der Drohung, nach Fristablauf die Kriterien der Interoperabilität selbst festzulegen, sollte sich der Sektor keine verbindlichen Regeln geben.

Claudius von Wrochem ✉

Schulkommunikation

WhatsApp haben wir nicht mehr, seit die Verbindungsdaten mit Facebook geteilt werden. Alle Elternchats der Schule laufen über WhatsApp, da sind wir halt draußen. Wenn es wichtig ist, kommen die Infos per E-Mail, sonst ist es halt nicht wichtig. Ein bisschen dicker sollte das Fell dann schon sein, zum Beispiel, wenn wir zum Klassenfest kommen und Kaffee dabei haben, obwohl irgendwer uns für Kuchen eingetragen hat.

Die Schule will nun alle Kommunikation auf Sdui fahren, da sind dann auch die Chats mit den Lehrern drin. Das sehe ich skeptisch, da wirklich alles zentral in deren Cloud gespeichert wird, ohne Ende-zu-

Ende-Verschlüsselung. Daher kommunizieren wir hier nur das absolut nötige Minimum.

Alex Dexel ✉

Keine Abhängigkeit

Jede Art von Abhängigkeit sollte man möglichst vermeiden. Meine Wünsche wären: Der öffentlich-rechtliche Rundfunk muss ein Portal wie YouTube betreiben. Linux muss öffentlich gefördert werden und Behörden dürfen nur mit Linux arbeiten. Die Post betreibt einen E-Mail-Service für jedermann. Ein immer aktuelles, preisgünstiges Volkshandy mit Linux. Gegenstücke zu Amazon (Verband der Einzelhändler), Google, X, Facebook und so weiter.

Jede Nebenbei-aushorch-App verbieten. Sinnvolle und sichere (von Heise und dem CCC kontrolliert) Digitalisierung Deutschlands. Programme dürfen nur ausnahmsweise ins Internet gehen, wenn es wirklich notwendig ist. Home-IT darf nur im eigenen Netz laufen und nicht über eine Wer-weiß-wo-Cloud. Behörden haben eigene, sehr sichere Server, die zum Beispiel auch von den Krankenkassen genutzt werden müssen.

Thomas Rincewind ✉

Ergänzungen & Berichtigungen

Düsseldorf, nicht Köln

Bei KI-Nutzern kann die geistige Leistungsfähigkeit verkümmern, c't 10/2025, S. 124

Das Foto eines Karnevalswagens von Jacques Tilly, auf dem ein Roboter namens „KI“ ein Gehirn verspeist, stammte nicht vom Kölner Karneval, sondern vom Umzug in Düsseldorf. Die durch die Bildunterzeile ausgelöste Empörung bei Düsseldorf Karnevalisten nimmt der Redakteur sehr ernst und bittet insbesondere bei Jacques Tilly vielmals um Entschuldigung.

Falschen Autor angegeben

Sprachmodelle: Deutschlands Aufholjagd gegenüber den USA und China, c't 10/2025, S. 136

Beim Artikel „KI aus der Region“ steht der bearbeitende Redakteur André Kramer fälschlicherweise auch als Autor über dem Artikel. Den Text hat hingegen vollständig unser Autor Thomas Brandstetter verfasst.

Wir freuen uns über Post

✉ redaktion@ct.de

💬 c't Forum

📘 c't Magazin

✂ @ctmagazin

📷 ct_magazin

📧 @ct_Magazin

🌐 c't magazin

Ausgewählte Zuschriften drucken wir ab. Bei Bedarf kürzen wir sinnwährend.

Antworten sind kursiv gesetzt.

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



empower business

conference for
software architecture
by heise

10.–13. Februar 2026

MOC MÜNCHEN

25 % RABATT
MIT CODE
Loyalty_ct



oop-konferenz.de

Embrace
Change

WIR TEILEN KEIN HALBWISSEN. WIR SCHAFFEN FACHWISSEN.



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.

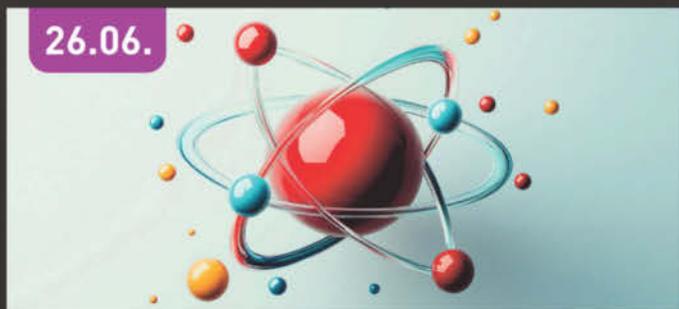


WEBINAR

IT-Security für Nicht-Nerds

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

26.06.



WEBINAR

Grundlagen der Quantenphysik

Eine Quantenphysikerin vermittelt Ihnen Einblicke in die Grundbegriffe der Quantenphysik und des Quantencomputing.

03.07.



WORKSHOP

Kluge Strukturen für Microsoft 365

Lernen Sie, wie Sie gemeinsam mit Ihrem Team Leitlinien entwickeln, um in Zukunft das volle Potenzial für die Zusammenarbeit auszuschöpfen.

03.07.



WEBINAR

Photovoltaik für Einsteiger

Lernen Sie die erforderliche Ausstattung einer eigenen Photovoltaik-Anlage zu überschlagen und die technischen Komponenten am Markt einzuschätzen.

10.07.



WEBINAR

Anwendungen ohne Programmieren

In diesem Webinar erhalten Sie einen Überblick über No-Code- und Low-Code-Plattformen, was sie können und wo ihre Grenzen liegen.

Sichern Sie sich Ihren Frühbucher-Rabatt:

heise.de/ct/Events



Weitere Schlagseiten auf ct.de/schlagseite

Neustart mit Ansage

Ex-Manager trifft auf Beamtenapparat: Kann das gut gehen?

Karsten Wildberger, früher Konzernchef, soll den digitalen Stillstand in Deutschland beenden. Bundeskanzler Friedrich Merz setzt auf Wirtschaftskompetenz statt Behördenlogik. Doch der Umbau des Staates wird zum Härtesten für den Rookie.

Von Falk Steiner

Deutschlands Digitalpolitik ist immer für Häme gut. Das Geld, das der Bund und die Länder mit gescheiterten Digitalisierungsvorhaben versenkt haben, lässt sich kaum mehr berechnen. Viele Milliarden aber sind es in jedem Fall. Die Ansage des CDU-Vorsitzenden und frischgeba-

ckenen Bundeskanzlers Friedrich Merz ist klar: Deutschland soll endlich den digitalen Vorwärtsgang finden.

Schlanker und schneller möchte er den Staat eigenen Aussagen zufolge machen und viel digitaler. Ist das wieder einmal viel heiße Luft oder macht Merz Ernst? Die Pläne der neu geschmiedeten Koalition scheinen zumindest in dieser Hinsicht besser als von vielen befürchtet: Man schafft ein eigenes Ministerium für Digitalisierung und setzt eine Personalie an die Spitze, die überraschend fachlich qualifiziert daherkommt.

Und mit der überdies im politischen Berlin niemand ernsthaft gerechnet hatte: Der Mann, mit dem Merz Deutschland nun digital in die Spur bringen will, heißt Karsten Wildberger. Dieser 55-jährige Physiker war zuletzt Chef des Media-Markt/Saturn-Handelskonzerns Ceconomy. Nun soll er als Deutschlands digitale Nummer Eins richten, woran bislang noch alle Digitalpolitiker verzweifelten.

Nicht auf dem Zettel

Kaum jemand hatte ihn auf dem Zettel. Merz soll dem Vernehmen nach diese Personalie vor allem mit sich selbst ausgemacht haben. Der neue Bundeskanzler kennt Wildberger schon seit Jahren aus dem CDU-eigenen Lobbyverein „Wirtschaftsrat Deutschland“, in dem beide aktiv waren. Und Merz hält offenkundig viel von seinem neuen Digitalisierungsminister: Als „jemanden, der weiß, wie so etwas geht, richtig geht, besser geht als wir es bisher gemacht haben“ kündigte er ihn bei der Vorstellung an. Was genau Merz da so zuversichtlich stimmt, erklärte er nicht.

Wildberger ist promovierter Physiker. 1997 reichte er seine Dissertation über Festkörperphysik und Quantentröge an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen ein. Er beschäftigte sich also früh mit Dingen, die insbesondere in der Halbleiterforschung relevant sind. Die Aachener Hochschule zog einen Teil ihres Renommées schon Ende der 1990er aus dem politisch

geförderten Supercomputer-Standort Jülich.

Der Physiker blieb der RWTH und der Wissenschaft immer verbunden, schlug aber beruflich einen anderen Weg ein: Nach einer Station bei der US-amerikanischen Unternehmensberatung Boston Consulting gelangte er in die Telekommunikationsbranche. Über T-Mobile und Vodafone und erneut Boston Consulting ging es für drei Jahre zum australischen Telstra-Konzern. Anschließend wechselte Wildberger 2016 zum Energiekonzern E.ON. 2021 ging er dann die Aufgabe beim börsennotierten Elektronikhändler Media-Markt/Saturn an, der damals kräftig kriselte und durch die Onlinekonkurrenz bedroht schien.

Wildberger bringt also Erfahrung und Fachkenntnis mit, was insbesondere bei Wirtschaftsverbänden positive Reaktionen auslöste. Natürlich hofft man dort auf viel Verständnis für die Anliegen der Unternehmen. Kritische Beobachter aus der Zivilgesellschaft befürchten genau das. Und alle stellen sich dieselbe Frage: Ist Wildberger tatsächlich die richtige Person für den heiklen Job in Berlin?

Enorme Aufgaben

Jedenfalls steht er vor enormen Aufgaben, zumal das neue Ministerium für Digitalisierung und Staatsmodernisierung gerade erst entsteht. Dieser Prozess ist kompliziert und kann sich über Monate, sogar Jahre ziehen, wie zuletzt der Neuaufbau des Bundesbauministeriums gezeigt hatte. Dieses ist auch nach drei Jahren noch nicht voll arbeitsfähig. Die Rahmenbedingungen in einer obersten Bundesbehörde wie einem Ministerium und die eines Wirtschaftsunternehmens unterscheiden sich massiv. Wo Unternehmen risikobasiert arbeiten, sind Ministerien auf Dauer angelegte Verwaltungsapparate, die nach den Regeln des althergebrachten Berufsbeamtentums agieren.

Hinzu kommt, dass Wildbergers Auftrag noch nicht klar formuliert ist. Schon der umständliche Titel „Ministerium für



Bild: Kay Nietfeld/dpa

Karsten Wildberger, der neue Bundesminister für Digitalisierung und Staatsmodernisierung, kommt am 28. April 2025 zum Bundesausschuss der CDU, wo ihn Bundeskanzler Friedrich Merz vorstellt.

Digitalisierung und Staatsmodernisierung“, den die Koalition aus CDU, CSU und SPD festgelegt hat, steht für eine Grundsatzfrage: Ein Digitalministerium wäre ein Haus, das die Zuständigkeit Digitalpolitik zum Kern hat und aus den politischen Zielen dann Vorhaben, Strategien und Verhandlungspositionen ableitet. Ein Digitalisierungsministerium wäre aber dem Namen nach nur für die Umsetzung bislang analoger Prozesse zuständig. Was wird Wildberger also dürfen?

Das hängt davon ab, wie viel Macht Merz dem neuen Minister zugesteht. Darf er nur die Scherben der vergangenen Jahre einsammeln, in denen Milliarden in schlecht gemanagte IT-Projekte versenkt wurden? Die Historie der gescheiterten Digitalprojekte ist lang und traurig. Sie reicht vom unrühmlichen DE-Mail-Projekt über viele kleinere Digitalisierungsvorhaben bis hin zu kümmerlichen Verwaltungsreformchen.

Seit Innenminister Thomas de Maizière (CDU), der ab 2009 im Amt war, beißen sich Minister die Zähne daran aus, hier voranzukommen. Und selbst Lösungen, die eigentlich funktionieren, setzen sich nicht durch. So verzeichnet die Bund-ID, die mit einigem Druck an die Bürger gebracht wurde, Ende April 2025 nur knapp 4,5 Millionen Nutzerkonten. Bei einem Staat mit über 80 Millionen Einwohnern, denen die Regierungskoalition künftig die Nutzung vorschreiben will, ist da noch viel Luft nach oben.

Und auch sonst sind jede Menge weitere Schwierigkeiten abzusehen. Wenn er Lösungen finden will, muss Wildberger eine ehrliche Bestandsaufnahme vornehmen. Außerdem steht er vor einem der Kernprobleme fehlgeschlagener Projekte: Alle 16 Bundesländer und bisweilen sogar jede einzelne der rund 11.000 Kommunen haben eigene digitale Wege beschritten, wenn sie formell zuständig waren. Laut Koalitionsvertrag soll hier der Bund mehr zentral leisten.

Starke Helfer?

Die politischen Ränkespiele in Berlin sind für den Ex-CEO Neuland. Deshalb wohl hat ihm Friedrich Merz mit dem Abgeordneten Thomas Jarzombek, früher Luft- und Raumfahrtbeauftragter der Bundesregierung, IT-Unternehmer und Digitalpolitiker, sowie dem medial bekannteren Innenpolitiker und Juristen Philipp Amthor gleich zwei erfahrene Akteure aus dem Politikbetrieb an die Seite gestellt.

Philipp Amthor (CDU) ist neuer parlamentarischer Staatssekretär im Digitalisierungsministerium und soll die Staatsmodernisierung vorantreiben.



Bild: Michael Kappeler/dpa

Als parlamentarische Staatssekretäre sollen sie ihn durch die Untiefen des Politikbetriebs lotsen. Amthor dürfte dabei vor allem die Reformbemühungen rund um die rechtliche Staatsmodernisierung übernehmen, Jarzombek die Digitalisierung.

Nachdem die Personalien geklärt sind, beginnt nun das Gerangel um Zuständigkeiten. Das Digitalisierungsministerium wird keinesfalls alleine dafür verantwortlich sein, Digitalpolitik in ihren vielen Facetten zu gestalten. Zwar wird das Innenministerium unter dem neuen Minister Alexander Dobrindt (CSU) Teile der digitalen Zuständigkeiten an Wildbergers neues Ministerium abgeben müssen. Doch auch in Zukunft ist dort die öffentliche Sicherheit zu Hause, die viele der umstrittenen Fragen des digitalen Zeitalters betrifft.

Von der Vorratsdatenspeicherung bis zu digitaler Spionage und aktiver Cyberabwehr wird Dobrindt ein gewichtiges Wörtchen mitreden. An anderer Stelle ist dessen CSU-Kollegin Dorothee Bär zuständig: Sie muss in ihrem Ressort Forschung, Technologie und Raumfahrt ebenfalls daran arbeiten, dass Deutschland bei wichtigen Themen vorankommt. Dort geht es dann um Satelliten-Internet ohne Elon Musk, Hochleistungs-KI-Rechenzentren und die Entwicklung von neuen Chips.

Sogar mit dem neuen Bundesfinanzminister und Vizekanzler Lars Klingbeil (SPD) wird Wildberger nicht nur sein eigenes Budget, sondern viele Themenüberschneidungen klären müssen. Das Finanzministerium ist nicht nur für den Zoll und damit unter anderem für die großen Wa-

renströme aus China zuständig, sondern auch für den geplanten digitalen Euro, steuerliche Fragen und das Bundeszentralamt für Steuern. Dieses wiederum nimmt eine zentrale Rolle für die Registermodernisierung und den nach dem Ampel-Ende doch noch fertiggestellten Direktauszahlungsmechanismus für den Bund ein.

Ohnehin scheinen die ganz großen Fragen der Digitalpolitik zu groß für Deutschland alleine zu sein. Die digitale Hauptbühne liegt längst in Brüssel. Von KI-Verordnung über Data Act, Datenschutz bis hin zur Plattformregulierung regelt Brüssel. Bislang war die feine Diplomatie zwischen Rat der Europäischen Union, EU-Kommission und Europaparlament nicht Wildbergers Beritt. Das riecht nach Crashkurs.

Seitdem Donald Trump wieder als US-Präsident in Washington sitzt, ist die politische Bedeutung der Digitalpolitik noch einmal massiv gestiegen. Ob Bundeskanzler Merz das tatsächlich durchdrungen hat, bevor er sich für einen politischen Rookie als Minister entschieden hat, ist nicht bekannt. Als Wunschkandidat des Kanzlers dürften die Medien und Kabinettskollegen den Managerminister Wildberger in den ersten Monaten besonders kritisch beäugen, zumal sein Staatssekretär Amthor der Öffentlichkeit noch durch die Lobbyismusaffäre um Augustus Intelligence in Erinnerung ist und sich für die Abschaffung des Informationsfreiheitsgesetzes ausgesprochen hatte. Zugleich scheint klar: Wer sich mit ihm anlegt, legt sich mit Merz an – und idealerweise auch mit einem neuen digitalen Selbstverständnis des Staates. (hob@ct.de) **ct**

E-nergie!

Warum Vorurteile gegen E-Autos überholt sind



Myth-busting: E-Autos neu gedacht	Seite 16
Reichweitenangst auf dem Prüfstand: Leerfahrttest mit dem ADAC	Seite 18
Infografik: Energiemanagement im E-Auto	Seite 24
Was bei der Reichweite wirklich zählt und wie man die Physik für sich nutzt	Seite 26

Teuer, bestenfalls kurzstreckentauglich, ladelahm und brandgefährlich: Vorbehalte gegen E-Autos gibt es viele. Die meisten halten im Faktencheck nicht stand. Unser Härtetest in Kooperation mit dem ADAC zeigt, dass man selbst das Thema Reichweitenangst ad acta legen kann.

Von Sven Hansen

Das wichtigste Motiv bei der Entscheidung für oder gegen ein E-Auto ist der Preis. Das kann kaum verwundern, denn für den Neuwagenkauf muss man tief in die Tasche greifen. Wie eng die Akzeptanz der E-Mobilität mit der Preisfrage verknüpft ist, hat nicht zuletzt der abrupte Wegfall der Kaufprämie gezeigt, der die Neuzulassungen von batteriebetriebenen E-Autos (BEVs) von einem Monat auf den anderen in ungeahnte Tiefen stürzen ließ.

Mit dem harten Schlag in der Förderpolitik wurde viel Porzellan zerdeppert, die neue Bundesregierung scheint die Bruchstücke jedoch nicht nach Kintsugi-Art mit Gold kitteln zu wollen. Zwar konnten sich die Koalitionäre auf einen mutigen Einstiegssatz einigen: „Wir werden die E-Mobilität mit Kaufanreizen fördern“, viel konkreter wird der Koalitionsvertrag allerdings nicht.

Die darunter gelisteten acht Punkte zur Förderung der E-Mobilität sind lediglich ein Allerlei aus Infrastrukturmaßnahmen, Steuervergünstigungen, Förderung von Plug-in-Hybriden bis Wasserstoff garniert mit Willensbekundungen, EU-Mittel für die Mobilitätswende einkommenschwacher Haushalte einzusetzen. Auf eine Kaufprämie 2.0 sollte man besser nicht warten.

Günstiger als gedacht

Wirft man allerdings einen Blick in den jüngsten Kostenvergleich vom ADAC zwischen Fahrzeugen gleicher Ausstattung mit unterschiedlichen Antriebsarten, kommen E-Fahrzeuge auch ohne Subvention gut weg. Je nach angestrebter Laufleistung haben Benziner, Diesel oder E-Autos die Nase vorn, etwa der Audi Q4 35

e-tron gegenüber vergleichbaren Verbrennern. Die Einstiegspreise von E-Autos sind zwar gegenüber Benzinern höher, sie liegen mit Dieseln aber fast gleichauf. Wie dort holt man durch die niedrigeren Betriebskosten den Aufpreis über die Zeit wieder herein. Dabei rechnet der ADAC mit einem Strompreis von 42 Cent pro kWh. Wer eigenen Solarstrom nutzt oder flexible Stromtarife einsetzt, kommt beim E-Auto deutlich günstiger weg.

Hartnäckig hält sich auch das Vorurteil, dass E-Autos häufiger brennen als andere Fahrzeuge. Das Verbraucherportal AutoinsuranceEZ macht sich seit geraumer Zeit die Mühe, öffentliche Daten des US National Transportation Safety Board und des Bureau of Transportation Statistics über Fahrzeugbrände auszuwerten.

Die Ergebnisse decken sich mit Statistiken aus den skandinavischen Ländern und Aussagen deutscher Versicherer: E-Autos brennen keinesfalls häufiger, sondern deutlich seltener als Verbrenner. Wenn E-Autos brennen, sind sie allerdings komplizierter zu löschen.

Weiter als gewünscht

Die Unternehmensberatung PwC hat mit einer internationalen Umfrage erforscht, welche Reichweite für Autokäufer akzeptabel ist. Mit 500 Kilometern gäben sich 80 Prozent der Befragten zufrieden, mit 400 Kilometern ist es nur noch die Hälfte. Wo stehen heutige E-Autos? Der ADAC ermittelt mit seinen Ecotest-Fahrten realistische Reichweiten, die von den durch die Hersteller ausgewiesenen WLTP-Werten deutlich abweichen.

E-Autos mit mehr als 500 Kilometer Reichweite findet man derzeit nur in der Oberklasse. BMW, Mercedes und Porsche teilen sich die oberen Plätze, aufgelockert durch Lucids Air Grand Touring (130.000 Euro, 610 km Reichweite). An die 400-km-Marke kommt man günstiger, etwa mit

dem VW ID.3 Pro S (44.000 Euro, 450 km im ADAC Ecotest) oder Toyotas bZ4X Comfort (43.000 Euro, 410 km. Und wegen der Fortschritte in der Batterietechnik kommen Jahr für Jahr reichweitenstärkere Modelle auf den Markt.

Aus der Reserve gelockt

Doch wie es mit Ängsten so ist – sie sind kaum objektiv zu fassen. Um der Sache dennoch auf den Grund zu gehen, haben wir in Kooperation mit dem ADAC einen Blick weit hinter die ersten Warnmeldungen im Instrumentenpanel geworfen. Auf dem Testgelände in Penzing überwandern wir die „German Angst“ und führen sechs aktuelle E-Fahrzeuge so lange im Kreis, bis nichts mehr ging. Im Vergleich zu Verbrennern, die irgendwann, nachdem die Warnleuchte aufgeleuchtet ist, spontan mit stotterndem Motor stehenbleiben, gaben sich die E-Autos beim Liegenbleiben deutlich auskunftsfreudiger. Wie genau die Warnkaskaden aussahen und wie sich die Fahrzeuge anschließend durch ein anderes E-Fahrzeug oder unseren Reservekanister 2.0 wieder zum Leben erwecken ließen, lesen Sie ab Seite 18.

Das Gute am Reichweithema: Durch die Effizienz des elektrischen Antriebs kommt dem eigenen Fahrverhalten eine viel größere Bedeutung zu als beim Verbrenner. Die Physik hinter den E-Fahrzeugen und wie man sie zum eigenen Vorteil nutzen kann, erklärt der Hintergrundartikel ab Seite 26.

E-Auto jetzt?

Die Zahl öffentlicher Ladepunkte hat sich bei den Schnellladern in fünf Jahren auf 36.000 Ladepunkte verzehnfacht, bei den Ladern bis 22 kW auf 125.000 verfünffacht. Laden an der heimischen Steckdose bleibt die bequemere und günstigere Variante, doch der Fahrzeugalltag lässt sich auch mit öffentlicher Ladeinfrastruktur bestreiten.

Vom Anforderungsprofil her könnte längst jeder zweite Pkw ein E-Auto sein. Ob man als Käufer den Umstieg wagen will, ist eine andere Frage. Die Auswahl an Fahrzeugen ist groß wie nie, und die Hersteller geben sich auf dem stark umkämpften E-Automarkt besonders viel Mühe. E-Autos sind schon deshalb oft die besser ausgestatteten Autos. Genug Gründe, den Sprung in die elektrifizierte Zukunft zu wagen. (sha@ct.de) **ct**

Alle Statistiken: ct.de/y2uz

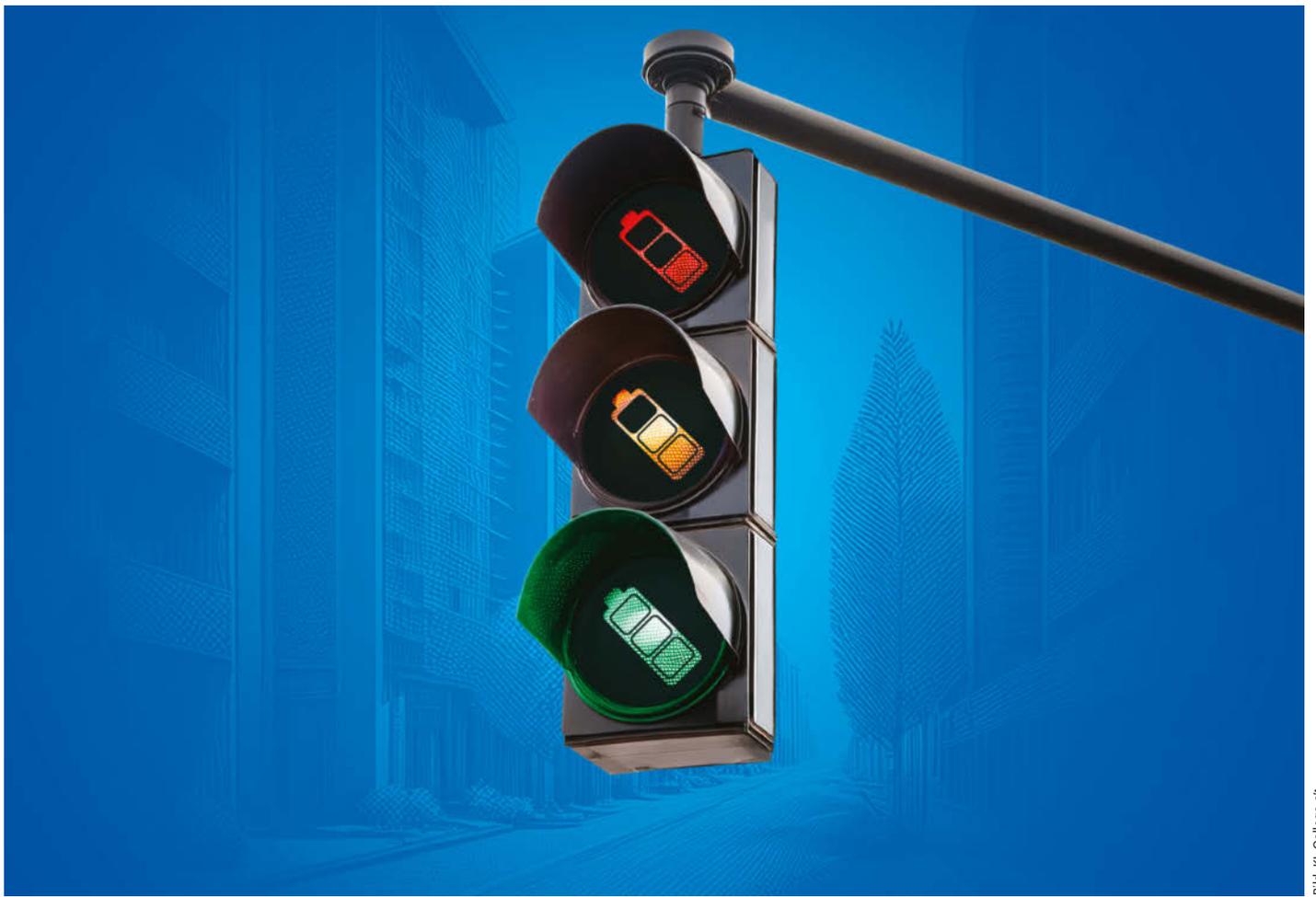


Bild: KI, Collage ct

Angstfrei nullen

Was passiert, wenn man E-Autos bis zum Stillstand leer fährt

Wohl jeder kennt das Gefühl, wenn man abends unterwegs ist und das Handy einen Akkuladestand von nur noch fünf Prozent anzeigt. Und nun stellen Sie sich vor, Sie sitzen in einem E-Auto mit fünf Prozent, haben aber noch zehn Kilometer vor sich. Unser Test zeigt: Kein Grund zur Panik.

Von Stefan Porteck

Ein Makel, der E-Mobilität nach wie vor anhaftet, ist die Reichweitenangst. Rational ist sie heutzutage eigentlich nicht mehr zu begründen bei Autos, die teils weiter als 400 Kilometer mit einer Ladung kommen und in einem dichten Ladenetz wie hierzulande bewegt werden.

Tatsächlich rührt wohl die Reichweitenangst eher von der Sorge vor dem Unbekannten. Die meisten E-Piloten wissen schlicht nicht, was passiert, wenn man den Akku wirklich mal auf null herunterfährt. Genau dieses Dunkelfeld wollten wir ausleuchten und sind deshalb mit sechs E-Autos losgefahren, mit dem Ziel, so lange zu fahren, bis sie stehen bleiben.

Während dieser Leerfahrten haben wir protokolliert, wie sich die Autos bei welchen Kilometerständen und Restreich-

weiten verhalten haben: Wann piept es, wann gibt es eine Warnmeldung auf dem Tacho und wann wird die Motorleistung gedrosselt oder die Höchstgeschwindigkeit beschnitten? Hoppelt das Auto wie ein Verbrenner herum, bevor es schließlich stehen bleibt? Spoiler: Alles bis aufs Hoppeln passiert tatsächlich irgendwann – aber viel später als wir vermutet hatten.

Die Idee hinter unserer Leerfahrt: Lässt sich die Sorge, mit leerem Akku auf der Autobahn zu stranden, vielleicht einfach zerstreuen? Wer weiß, wie sich sein E-Auto mit wenig Restreichweite verhält, kann die nächste Säule genauso entspannt ansteuern wie mit einem Verbrenner und einem fast leeren Tank.

Wahrscheinlich rührt die Reichweitenangst auch daher, dass man leere E-Autos anders als Verbrenner nicht in we-

nigen Minuten mit einem Reservekanister wieder flott bekommt. Ideen für eine Soforthilfe für Stromer gibt es allerdings schon.

Der von uns getestete Solargenerator Delta Pro 3 von EcoFlow ist eigentlich für Camper und Besitzer von Balkonkraftwerken gedacht. Er soll entweder auf dem Campingplatz eine große Leistungsreserve bilden oder überschüssigen Solarstrom in den Abendstunden ins Hausnetz einspeisen. Anders als stationäre Solarspeicher ist die Delta Pro 3 jedoch tragbar – zumindest halbwegs. Mit einem Gewicht von rund 50 kg lässt sich der Reservekanister 2.0 zwar nicht einfach unter den Arm klemmen, doch EcoFlow hat ihn wie einen Rollkoffer gestaltet: Sobald man den Teleskopgriff herauszieht, lässt sich die Batterie auf ihren Rollen bequem ziehen. Mit einer Kapazität von 4 kWh sollte sie genug Strom liefern, damit ein liegengeliebenes Fahrzeug sich wenigstens ein paar Kilometer zur nächsten Ladesäule retten kann.

Verordnete Kreisfahrt

Da wir niemanden gefährden und behindern wollten und für unseren Test möglichst identische, kontrollierbare Bedingungen für alle Autos wünschten, haben wir unsere Versuchsfahrten in Kooperation mit dem ADAC auf einer Teststrecke des Automobil-Clubs durchgeführt.

Unweit des ADAC Technik Zentrum in Landsberg unterhält der ADAC in Penzing das Testzentrum Mobilität. Ein Teil dieses Geländes ist eine 2,2 Kilometer lange Start- und Landebahn eines ehemaligen Fliegerhorsts der Bundeswehr. Das Rollfeld ist breit genug, dass wir alle sechs Autos gleichzeitig auf die Bahn schicken konnten: zwei Kilometer in eine Richtung, im Wendehammer umdrehen und auf der anderen Spur wieder zwei Kilometer zurück.

An den Start gegangen sind sechs E-Autos verschiedener Hersteller, die ver-

schiedene Preis- und Fahrzeugklassen repräsentieren. Wohl am bekanntesten sind der ID.3 von VW und das Model Y von Tesla. Ebenfalls mit am Start: ein Kia EV6 und ein Volvo XC40 sowie ein BYD Seal und der nio EL6.

Die Leerfahrt hatte nicht das Ziel, mit 0 Prozent noch möglichst weit zu fahren. Dafür wäre unsere Teststrecke nicht optimal ausgelegt gewesen. Da das Rollfeld nur begrenzten Platz zum Wenden hat, mussten wir am Ende der Geraden auf 30 bis 40 km/h abbremsern, einen Bogen fahren und auf der Gegengeraden wieder beschleunigen. Das zerrt trotz Rekuperation viel stärker am Akku als gleichmäßiges Rollen mit konstanter Geschwindigkeit. Jemand, der versucht, die maximale Reichweite herauszuholen, würde dieses Gas-Bremse-Jojo-Spiel tunlichst vermeiden. Für das Durchspielen der Warnkaskaden stellte dieser Umstand aber kein Problem dar.

Bevor es für die sechs Fahrer auf die Piste ging, wurden die Fahrzeuge zunächst präpariert und die Versuchsbedingungen festgelegt. In jedem Auto montierten wir eine Actioncam, die das Tachodisplay filmte.

Zunächst brachten wir alle Testkandidaten auf eine Startkapazität zwischen 23 und 30 Prozent. Alle Fahrzeuge testeten wir mit eingeschalteter Klimatisierung und im Standard-Fahrprogramm. Die Zielgeschwindigkeit lag bei 100 km/h. Um Veränderungen an der Motorleistung feststellen zu können, haben wir bei einigen Wendemanövern auf die Gegengerade zügig auf eine Geschwindigkeit von 140 km/h beschleunigt.

Die perfekte Null

Doch bevor es auf die Strecke ging, mussten wir zunächst die Kriterien für das Ende der Fahrt definieren. Das war nötig, weil wir nicht wussten, ob ein Fahrzeug möglicherweise die letzten Kilometer die

Höchstgeschwindigkeit auf Schritttempo begrenzt. Damit könnte man das Auto immerhin noch auf einen Anhänger oder einen Abschlepper fahren. Außerdem geizen die Hersteller mit Informationen, ob es eine Schutzabschaltung gibt, welche die Akkus vor ernststen Schäden bewahrt.

Wir sind bei unserer Leerfahrt von einem Szenario auf der Landstraße oder Autobahn ausgegangen, wo man im realen Leben schon aus Sicherheitsgründen nicht kilometerweit im Schneckentempo die letzte Wattsekunde aus seinem Auto herauskitzelt. Wir definierten aus diesem Grund eine Mindestgeschwindigkeit. Konkret haben wir uns darauf geeinigt, dass wir die Fahrzeuge erstmals anhalten und ausschalten, sobald sie trotz Vollgas keine 50 km/h mehr erreichen – unser definierter Nullpunkt. Nach einer Wartezeit von rund einer Minute sollten sie neu gestartet werden, um zu testen, ob eine Weiterfahrt mit höherer oder gleicher Geschwindigkeit wieder möglich ist. Falls nicht, galt die Fahrt für das Auto als beendet.

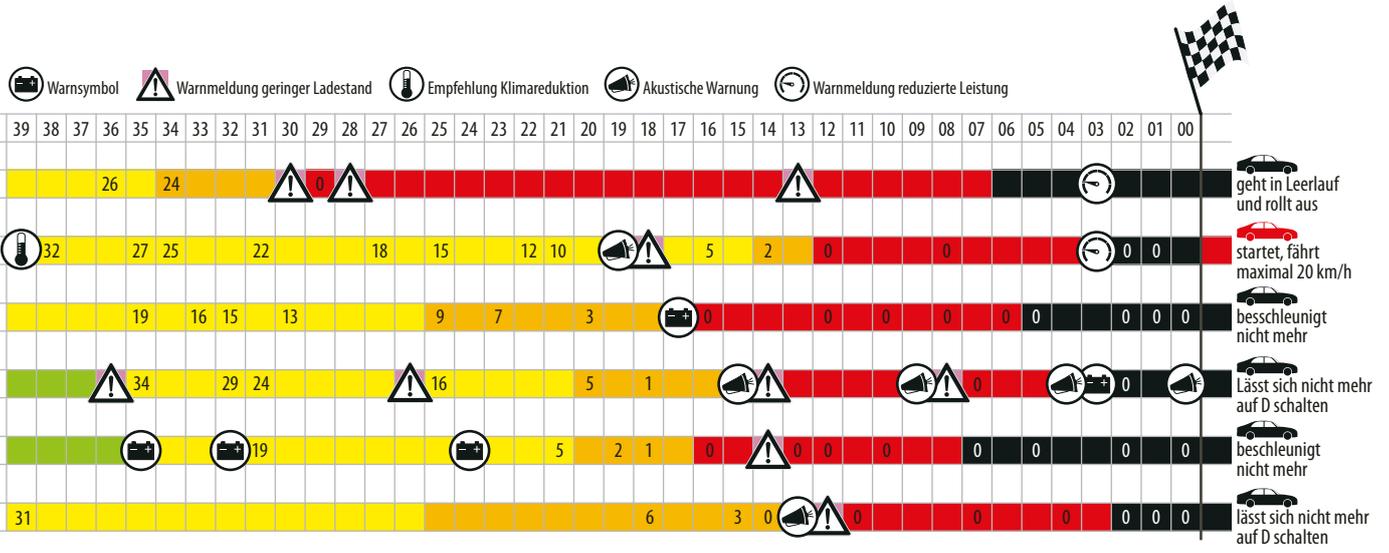
So weit der Akku reicht

Nach den Vorbereitungen ging es gegen elf Uhr eines sonnigen Frühlingstages mit allen sechs Autos auf die Strecke. Ausgerüstet mit Handfunkgeräten, um aktuelle Zwischenstände an die anderen Fahrer durchzugeben, setzte sich der Tross nahezu lautlos in Bewegung. Da alle Autos eine Restreichweite von mehr als 50 Kilometern anzeigten, machten wir uns bei der Länge der Geraden von rund zwei Kilometern auf einige Runden gefasst. Beim Losfahren rechnete aber keiner der Fahrer damit, dass wir so viele zusätzliche Schleifen ziehen würden, dass das Mittagessen bei Ende des Tests ohne Warmhalteplatte längst kalt gewesen wäre.

Die ersten Runden drehten alle Fahrer entspannt und mit einer gewissen Neugier, was uns mit sinkender Akkuanzeige erwarten würde.



Auf einem stillgelegten Rollfeld, das der ADAC als Teststrecke nutzt, hatten wir genug Platz, um die sechs Testwagen unter kontrollierten Bedingungen leer zu fahren.



Kilometer vorhersagten. Der Seal von BYD schlug bei dieser Marke dann auch andere Töne an, die wir bereits von manchen fran-

zösischen Herstellern kennen: Er zeigte statt einer Restreichweite nur noch drei Striche an. Im echten Verkehr dürfte das

den Stresslevel erhöhen, wenn man die letzten Kilometer zur rettenden Ladesäule nun im Blindflug nehmen muss. Aus die-

12 %
auf alle
E-Reader &
E-Notes

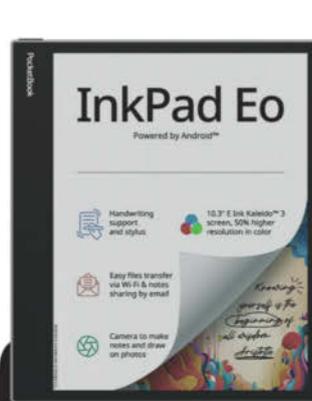
Die perfekte *Begleitung* für digitales und **augenschonendes** Lesen und Arbeiten!



PocketBook



E-Reader
So will ich lesen.



E-Notes
So will ich arbeiten.



Entdecke unser breites Geräteportfolio mit preisgekröntem Design und erstklassigen Funktionen.

Erhalte **12 % Rabatt auf alle E-Reader und E-Notes** in unserem Onlineshop. Nutze dazu den **Rabattcode WORK11CT25** - gültig bis 01.06.2025 und solange der Vorrat reicht.

www.pocketbook.de

sem Grund haben wir in unserer Grafik die Farbe des Balkens ab diesem Punkt auf rot gesetzt.

Bei den anderen Autos schmolz mit der Akkuanzeige auch die eingeblendete Restreichweite. Beim ID3 sprang sie auf 0, während der Akku noch 1 Prozent hatte. Die anderen Fahrzeuge behaupteten beim Erreichen von 0 Prozent, dass noch ein bis drei Kilometer machbar sind und sprachen im Display erneut eine deutliche Warnung aus, dass umgehend geladen werden sollte. So schnell sollte es dann aber doch nicht gehen: Nach einigen Minuten machte sich im Sprechfunk bei jedem Fahrer so langsam die Verwunderung breit, dass man immer noch seine Kreise ziehen konnte, obwohl bereits eine gefühlte Ewigkeit beide Anzeigen auf 0 standen.

Nach der Null geht's weiter

Unsere Testfahrzeuge ähnelten in dieser Hinsicht Verbrennern, die üblicherweise eine stille Reserve im Tank haben. Mit einem Unterschied: Die verschwiegene Reserve der Akkus ab dem Nullpunkt wurde dafür genutzt, den Wagen sicher aus dem fließenden Verkehr zu nehmen und dem Fahrer unmissverständlich klarzumachen, dass es nun wirklich höchste Zeit fürs Ladekabel ist.

Rund drei Kilometer, nachdem die Akkuanzeigen nullten, setzte eine zähere Beschleunigung ein. Zwar erreichten die Testwagen noch 100 bis 120 km/h, mit jedem weiteren Kilometer fühlten sich die ehemals sehr spritzigen Autos eher an wie eine Dampflok mit zu kleinem Kessel, die einen Berg hochschnauft. Als Fahrer hält man das Lenkrad nun fester und tritt mit besonders viel Kraft aufs Gaspedal, auch wenn das nicht wirklich hilft – ähnlich wie man unsinnigerweise fester auf die Knöpfe der TV-Fernbedienung drückt, wenn ihre Batterie leer ist.

So schaffte der BYD Seal zehn Kilometer nach dem Nullpunkt mit Vollgas noch eine Spitzengeschwindigkeit von 90 km/h, für deren Erreichen er auch deutlich mehr als seine spritzigen vier Sekunden benötigte. Der Nio EL6 nahm am Nullpunkt schon spürbar Leistung raus und schaffte acht Kilometer später mit Ach und Krach noch 60 km/h. Auf der Autobahn müsste man damit auf den Standstreifen ausweichen.

Kia reduzierte die Leistung offenbar recht genau in 5-kW-Intervallen: 12 Kilometer nach 0 beschleunigte er noch mit



Wenn man sich eine Stunde Zeit nimmt, ist eine große Powerbank in der Lage, so viel Energie zu spenden, dass man danach noch ein paar Kilometer zur Ladesäule schafft.

einer Leistung von 25 kW auf 120 km/h, kurz danach mit 20 kW und nach 15 Kilometern waren mit 15 kW nur noch 60 km/h drin. Auch der ID.3 begann nach rund 5 Kilometern, die Leistung schrittweise herauszunehmen, erreichte anfangs aber immer noch spielend 140 km/h, bevor er dann bei Kilometer 12 nach dem Nullpunkt relativ plötzlich im Display darauf hinwies, dass nur noch Rangieren möglich sei, und ausrollte. Trotz Vollgas war nur noch eine Geschwindigkeit von rund 5 km/h möglich. Nachdem wir ihn – wie vorab im Testablauf definiert – ausgeschaltet hatten, berappelte er sich auch nach der kurzen Pause nicht mehr. Beim Versuch, ihn von der Teststrecke zur Ladesäule am Hangar zu bewegen, blieb er nach rund 200 Metern im Schritttempo schließlich stehen. Ähnlich erging es dem Kia EV6, der 17 Kilometer nach dem Nullpunkt die 50 km/h nicht mehr erreichte. Er ließ sich nach dem geplanten Neustart nicht mehr auf D schalten und strandete somit auch auf der Teststrecke.

Auch wenn es dramatisch klingt, dass zwei der sechs Autos tatsächlich stehen blieben, so wäre dieses Szenario im echten Verkehr problemlos vermeidbar gewesen. So hatte jedes Auto spätestens bei 10 Prozent eine oder mehrere Warnungen herausgegeben. Zudem wurden die Leistung und die Höchstgeschwindigkeit so langsam schrittweise reduziert, dass selbst die ignorantesten Fahrer auf einer Bundesstraße oder Autobahn noch die nächste Ausfahrt hätten erreichen können.

Zudem schafften fast alle Fahrzeuge unter 0 Prozent noch 12 bis 18 Kilometer mit mindestens 60 km/h. Hätten wir nicht alle zwei Kilometer die Beschleunigung und die Höchstgeschwindigkeit getestet, wären wahrscheinlich noch ein paar Kilometer mehr drin gewesen. Der ID.3 machte da mit 13 km zwar eine kleine Ausnahme, doch das könnte der Tatsache geschuldet sein, dass unsere anderen Testfahrzeuge Neuwagen waren, während der VW schon 160.000 km auf dem Buckel hatte.

Mit Ausnahme von VW und Kia fuhrten zudem alle Autos, nachdem sie 50 km/h nicht mehr erreichten, noch auf eigener Achse die rund drei Kilometer zur Ladesäule neben der Teststrecke – wenn auch teilweise nur noch mit 5 bis 20 km/h. Doch wenn die Batterieanzeige auf 0% sinkt, sollte man umgehend den nächsten Ladepunkt anfahren. Denn bei winterlichen Temperaturen, starken Steigungen oder gealtertem Akku könnte die Reserve kleiner ausfallen, als erhofft. Dann fehlt der Puffer für Unvorhergesehenes wie Unfälle, Umleitungen oder verpasste Ausfahrten.

Für unseren Test waren die beiden gestrandeten Autos dagegen ein Glücksgriff, denn im zweiten Teil des Versuchs wollten wir wissen, was die „Powerbanks“ fürs Auto bringen.

Reservekanister 2.0

Zwei Notlader standen zur Wahl. Ein Fahrzeug mit Vehicle-to-Load-Funktion (V2L) von Kia und unsere Powerbank XXL mit 4 kWh Kapazität. Kias E-Fahrzeuge mit V2L lassen sich über einen Adapter direkt am

AC-Eingang (also der Ladebuchse) anzapfen. Über den Adapter geben sie einphasig 16 A Dauerlast ab, das sind rund 3,6 kW Ladeleistung, die man über eine mobile Wallbox wie den JuiceBooster oder das mitgelieferte Notladegerät in ein anderes Fahrzeug laden kann.

Über das V2L-Kabel konnten wir während der rund vierzigminütigen Mittagspause dagegen problemlos so viel Energie vom Kia an den VW spenden, dass er es danach wieder auf eigener Achse zum Hangar schaffte.

Die leistungsstärkste Kombi im Test war unser Solargenerator Delta Pro 3 mit dem JuiceBooster. Über einen CEE-Stecker einphasig mit der Powerbank verbunden, zog das Duo mit 3,6 kW einen Ladevorgang bis zur Erschöpfung der Batteriekapazität von 4 kWh in einem Zug durch. Nach etwa einer Stunde ließ sich unser Kia EV6 trotz Restreichweitenanzeige von 0 km wieder auf D schalten und zum Hangar bewegen. Am Ende des Tages konnten sich die Testfahrzeuge allesamt regenerieren,

keines der Fahrzeuge hatte Probleme, nach der Nullfahrt wieder regulär geladen zu werden.

Fazit

Egal ob nun Benzin und Diesel verfeuert wird oder Strom durch den Motor schießt: Ohne Energie bleibt jedes Auto stehen. Die Reichweitenangst bei E-Autos rührt eher von der Sorge vor dem Unbekannten und von zappeligen Restreichweitenberechnungen.

Bei unserer Versuchsfahrt fuhr jedes E-Auto mehr als ein Dutzend Kilometer, nachdem die Reichweitenanzeige auf null gesprungen war. Und selbst dann ging nicht einfach der Motor aus, sondern die Autos wurden über mehrere Kilometer hinweg stetig langsamer in der Beschleunigung und ihrer Höchstgeschwindigkeit. Das aber auch erst, nachdem es vorab rechtzeitige akustische und optische Warnungen im Cockpit gegeben hatte. Wer wirklich mit leerem Akku liegen bleibt, der muss es fast schon darauf angelegt haben.

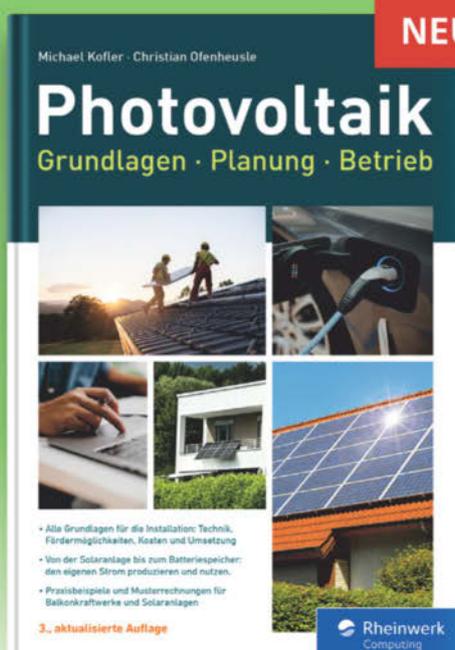
Gleichwohl bleibt dieses Worst-Case-Szenario mit einem Stromer unangenehmer als mit einem Verbrenner. Letztere hat man mit einem Kanister nach zwei Minuten wieder flott für die Fahrt zur nächsten Tankstelle. Stromspenden auf dem Pannestreifen funktioniert zwar, dauert aber rund eine Stunde und ist deshalb zu gefährlich – dann lieber gleich vom Pannenhelfer die paar Kilometer zur nächsten Säule bringen lassen.

Im Alltag passiert das wegen der Warnkaskaden der Autos, die 50 bis 100 Kilometer vorm Stillstand starten, praktisch so gut wie nie. Das belegen auch die Pannenstatistiken des ADAC: Wenn ein Auto wirklich mal liegen bleibt, dann eher, weil es kaputt ist – und zwar ganz unabhängig von der Antriebsart.

(spo@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Sven Hansen, Energiebrocken, Solargenerator Delta Pro 3 im Test, c't 22/2024, S. 84



Energie produzieren leicht gemacht

Lohnt sich der Kauf von PV-Anlage, Balkonkraftwerk oder Wärmepumpe? Und wie funktionieren sie eigentlich? Egal, wie Sie in Zukunft Energie produzieren möchten: In diesen Büchern lernen Sie, worauf es ankommt. Verstehen Sie die Hintergründe, berechnen Sie Ihren eigenen Verbrauch, lernen Sie die gesetzlichen Rahmenbedingungen kennen.

Alle Bücher gibt es auch als E-Book und im Bundle:

www.rheinwerk-verlag.de

© Copyright by Heise Medien.

Rheinwerk

Immer schön gleich warm

So schützen Autobauer die teure Batterie

Die Traktionsbatterie ist das teuerste Teil des E-Autos. Deshalb hält eine Vielzahl von Systemen sie im thermischen und elektrischen Wohlfühlbereich.

Von Clemens Gleich

Die Alterungsfaktoren von Lithium-Ionen-Zellen sind mittlerweile ganz gut bekannt, ebenso wie geeignete Maßnahmen für ein längeres Akkuleben. Im Auto werden dazu die drei Hauptalterungsfaktoren reguliert:

1. Temperatur
2. Leistung
3. Akkubehub

Durch zu hohe Temperaturen altern die Zellen grundsätzlich schneller. Wenn sie bei zu niedrigen Temperaturen Leistung aufnehmen oder abgeben müssen, altern sie jedoch ebenfalls beschleunigt. Deshalb begrenzt das Batteriemanagementsystem (BMS) zum Beispiel bei zu kaltem Akku die maximalen Leistungen – ähnlich wie ein Steuergerät beim Kaltlaufschutz eines Benzinmotors. Bei teuren E-Autos ermöglicht ein komplexes Thermomanagement die Kombination aus hohen Ladeleistungen und langem Akkuleben.

Was Autofahrer von der Batterie als Anzeige von 0 bis 100 Prozent zu sehen bekommen, ist nur ein Teil der tatsächlichen Kapazität des Akkus. Die 100 angezeigten Prozente entsprechen üblicherweise etwa 90 Prozent der technischen Kapazität. Weiter wird sie nicht ausgeschöpft, dadurch wird der Akku geschont. Zusätzliche Schonung lassen ihm Benutzer zukommen, wenn sie im Alltag nur selten vollladen.

Die Hauptarbeit des Bauteilschutzes erledigen die Steuergeräte im Auto jedoch automatisch. Im Bild sehen Sie einen Audi e-tron GT, den Baukastenbruder des Porsche Taycan, der hohe Ladeleistungen, hohe Antriebsleistungen und lange Haltbarkeit unter einen Hut bringen muss. Da das Auto mehr kosten darf, zeigt es beispielhaft, was technisch alles geht. (sha@ct.de) ct

Wärmetauscher Kältemittelkreis-Mitteltemperaturkreis

Dieser Wärmetauscher erlaubt es, Wärmeenergie aus dem Kältemittelkreis nicht nur über den Kältemittelradiator in Fahrrichtung rechts, sondern zusätzlich über den Mitteltemperaturkreis über den Radiator links abzuführen.

Wärmetauscher Kältemittelkreis-Außenluft

Das ist das, was bei einer Haus-Klimaanlage außen an der Wand hängt. Hier kondensiert (oder verdampft, je nach Prozessrichtung) das Kältemittel.

Kältemittelkreislauf

Die Wärmepumpe und ihr Kältemittelkreislauf stellen sicher, dass hohe Temperaturdeltas zur Außenluft möglich werden.

Wärmetauscher Kältemittelkreis-Niedertemperaturkreis

Kühlt oder wärmt das Wasser des Niedertemperaturkreislaufs, der die Batterie temperiert.

Batteriemanagementsystem BMS

Steuert das Zell-Balancing und entscheidet anhand von Temperatur und Lastanforderung, was geht und was nicht.

Kühlmittelverteiler

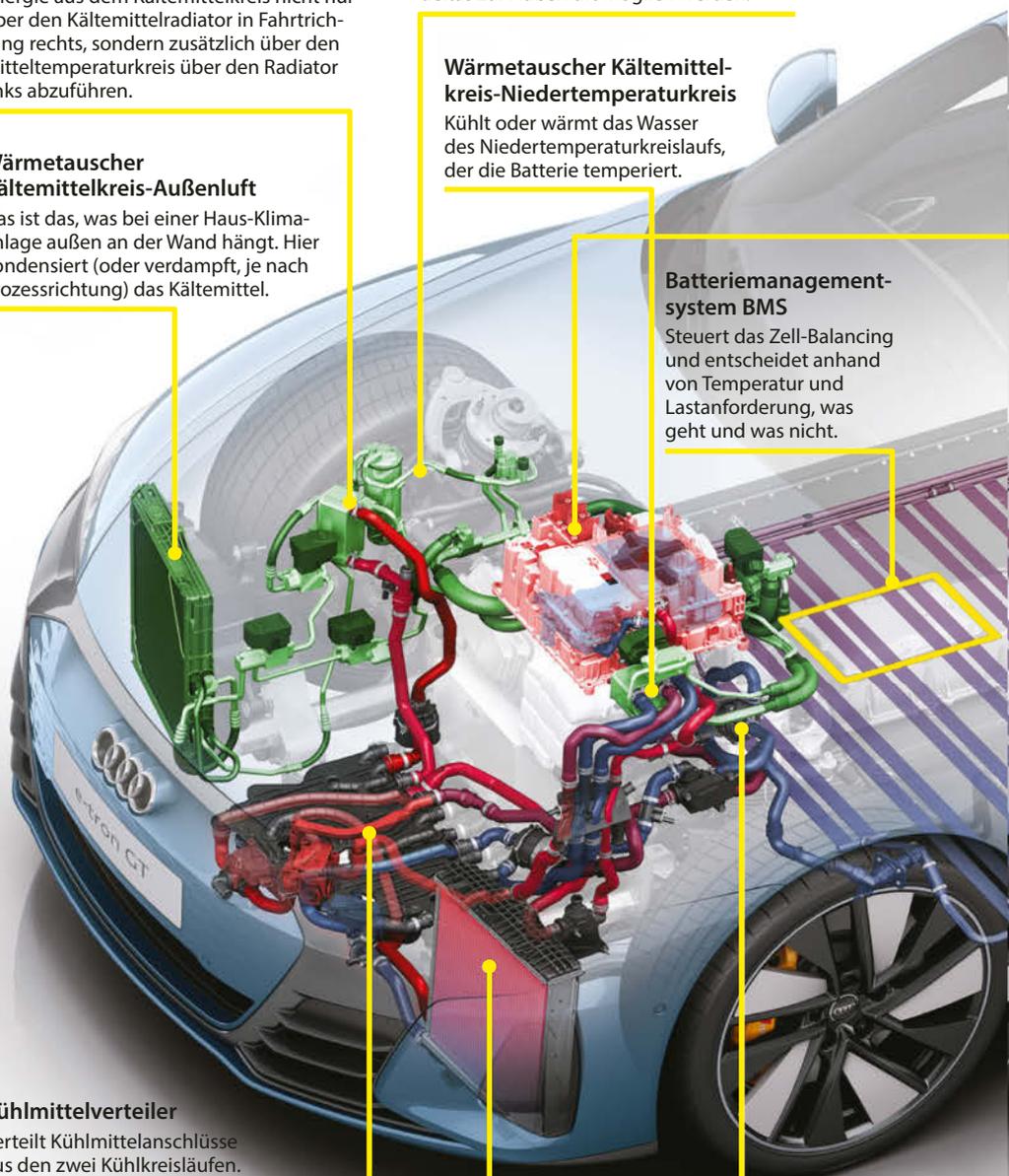
Verteilt Kühlmittelanschlüsse aus den zwei Kühlkreisläufen.

Wärmetauscher Mitteltemperaturkreis-Außenluft

Der Mitteltemperaturkreis kühlt Umrichter, Motoren und andere Bauteile, die wärmer werden als die Batterie. Dieser Radiator führt die Wärme an die Umgebungsluft ab.

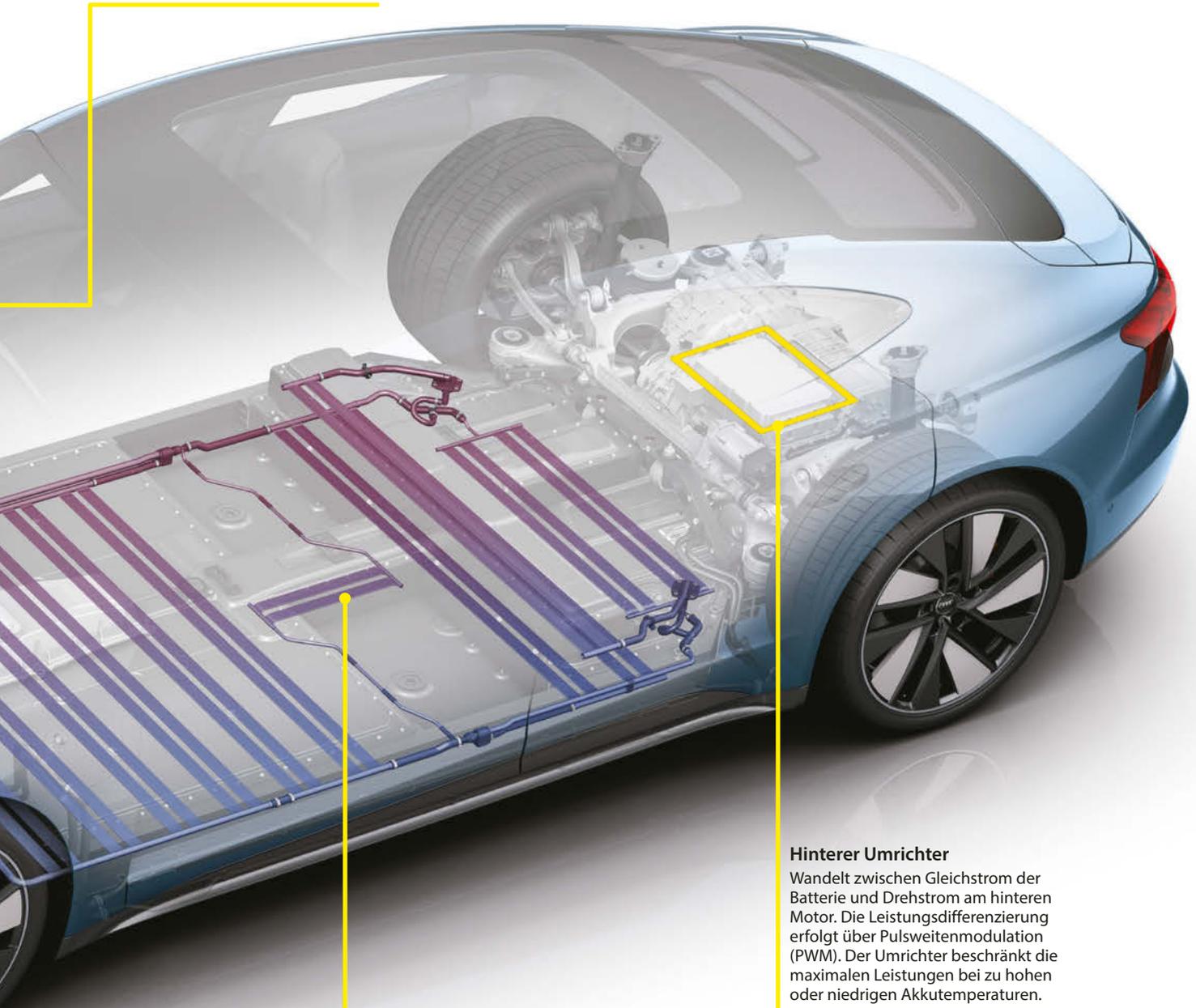
Kühlmittelpumpe

Wälzt das Kühlmittel um.



Wärmepumpe

Unter den hier sichtbaren Kästen zur Spannungsregulierung liegt die Wärmepumpe mit dem Kompressor. Wie eine Haus-Wärmepumpe kann sie bei hohen Wärmeanforderungen einen elektrischen Heizwiderstand zuschalten.



Wärmetauscher Niedertemperaturkreis-Batterie

Im Boden der Batterie unter den Zellen fließt die Niedertemperatur-Flüssigkeit, die den Akku temperiert. Unter den Kühlschlangen ist das Akkugehäuse zum Boden hin wärmeisoliert.

Hinterer Umrichter

Wandelt zwischen Gleichstrom der Batterie und Drehstrom am hinteren Motor. Die Leistungsdifferenzierung erfolgt über Pulsweitenmodulation (PWM). Der Umrichter beschränkt die maximalen Leistungen bei zu hohen oder niedrigen Akkutemperaturen.

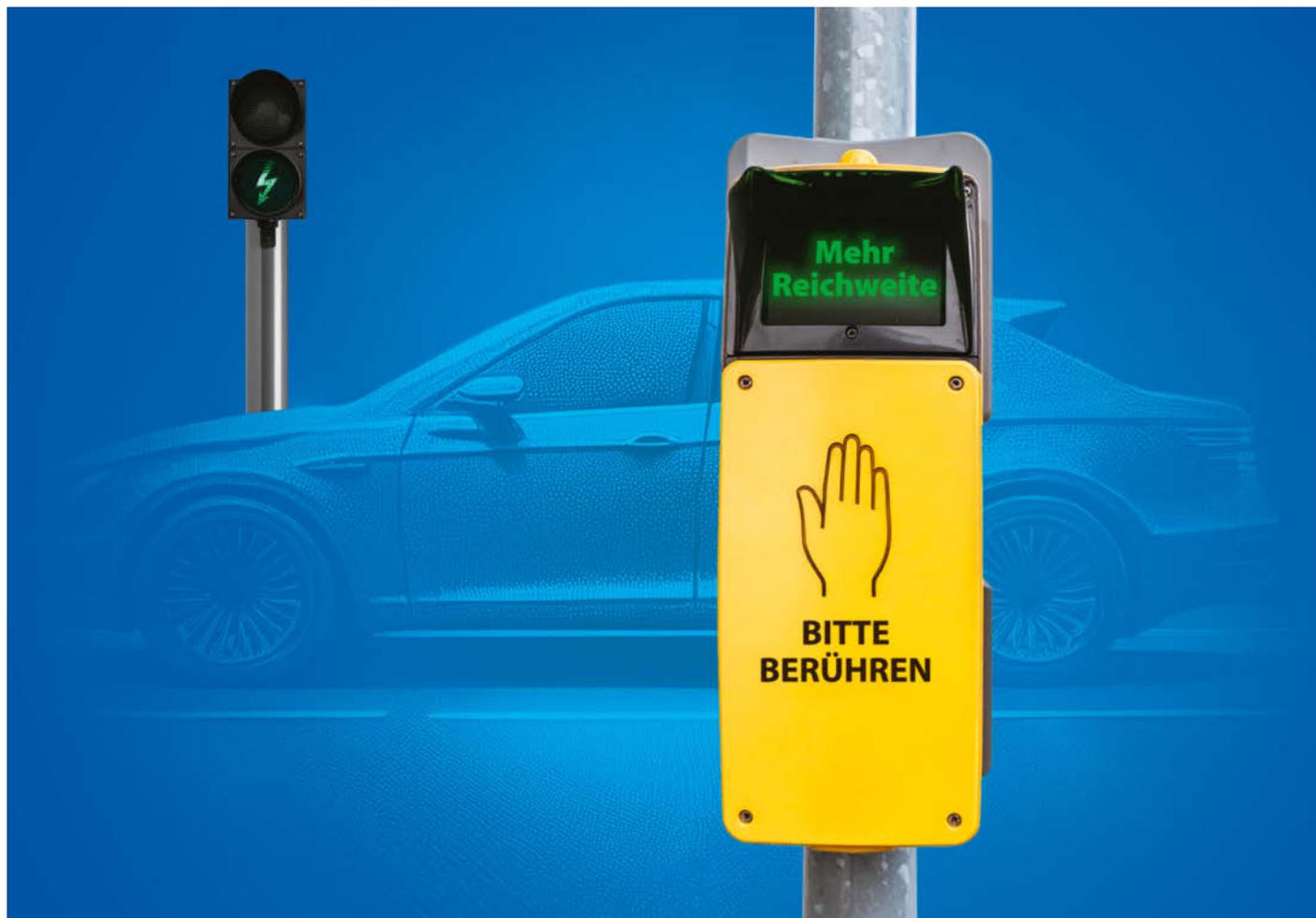


Bild: KI, Collage c't

Langläufer

Faktoren für eine hohe E-Auto-Reichweite

Wie weit eine Batterieladung das E-Auto bringt, hängt an etlichen physikalischen Eckdaten. Die wichtigsten kann man im Fahrersitz beeinflussen.

Von Clemens Gleich

Bei der Batterie ist es wie mit einem Tank oder jeder anderen portablen Quelle niedriger Entropie (vulgo: Energiespeicher): Einerseits zählt, was reinpasst, andererseits zählt, was pro Entfernungseinheit rausgeht. Da die nutzbare Energiemenge in einer Batterie wesentlich geringer ist als die in einem Tank, waren Elektroautos von der ersten Generation an optimiert auf geringstmögliche Fahrwiderstände.

Obwohl die Akkus in Elektroautos mittlerweile recht groß geworden sind, bedingt der Umstieg vom Kraftstofftank auf eine Batterie immer noch eine Eingewöhnung auf die geringere absolut verfügbare Energiemenge. Viele Reichweitenfaktoren gelten für Benzin- und Dieselantriebe ganz genauso. So sind die Winterverbräuche in E-Autos zwar ein beliebtes Thema in den Medien, die ebenfalls steigenden Winterverbräuche von Verbrennern sind den Nutzern jedoch genauso egal wie ein Liter Mehrverbrauch durch die Klimaanlage.

Wohl temperiert
Eine zu kalte oder zu warme Batterie arbeitet mit höheren Verlusten aufgrund höherer innerer Widerstände. Wichtiger je-

doch: Bei zu hohen oder tiefen Temperaturen (vor allem bei schnellem Laden- oder Entladen) beschleunigt sich die Akkualterung stark. Deshalb gehört besonders die Akkutemperierung zu den Stellrädchen langer Batteriebensdauern. Da Kunden nicht gern einen teuren Akkutausch auf der Rechnung sehen wollen, nehmen sie höhere Verbräuche zugunsten eines längeren Akkulebens durch eine Temperierung in Kauf. Richtig gelesen: Die Temperierung verbraucht mehr Strom, als sie durch geringeren Innenwiderstand des Akkus wieder einspart.

Die Temperierung von Akku und Kabine gehört zu den primären Verbrauchstreibern von E-Autos, unabhängig von der Geschwindigkeit. Auf der Autobahn fällt sie viel weniger ins Gewicht als im städtischen Kurzstreckenbetrieb, wenn man den Verbrauch wie üblich auf die Strecke rechnet.

An der Batterietemperierung erlauben einige Hersteller zwar Einstellungen, sie abzuschalten ist jedoch wenig ratsam, weil die Systeme ja für die Akkualtbarkeit sorgen. Ideal ist es für Verbrauch und Langlebigkeit, wenn das Auto wettergeschützt die meiste Zeit in einer Garage steht.

Im Winter will es nicht nur die Batterie warm haben, sondern auch der Fahrer, was sich ebenfalls auf die Reichweite auswirkt. Eine Möglichkeit, während Winterfahrten nicht ins Schlottern zu kommen, besteht darin, das Auto während des Ladens an der Wallbox vorzutemperieren. Das maximiert die Reichweite, ist allerdings teuer. Alternativ startet man kalt und lenkt die Wärme mit Sitz- und Lenkradheizungen direkt an den Körper. Das opfert weniger Reichweite, als mit der Heizung die gesamte Kabine zu erwärmen. Diese Systeme sind daher beliebt in den Aufpreislisten. Solche Nahtemperierung reduziert den Strombedarf des Klimasystems enorm bei gleichem Temperaturempfinden – vor allem im Kurzstreckenbetrieb.

Ein Schrank im Wind

Obwohl die Verbrauchsschwankungen aus Temperierung (vor allem winterlicher Beheizung) über lange Zeit Diskussionen befeuerten, ist der mit Abstand größte Fahrwiderstand die Luft, durch die sich das Auto drücken muss. Ab etwa 60 km/h (je nach Modell) übersteigt der Luftwiderstand alle anderen summierten Fahrwiderstände. Deshalb waren alle Elektro-

autos des späten 20. und frühen 21. Jahrhunderts besonders windschlüpfrig. Das wird im cw-Wert (Strömungswiderstandskoeffizient) abgebildet – je kleiner der Wert, desto schlüpfriger das Auto. Der gesamte Luftwiderstand wird aus cw und Frontfläche errechnet, denn größere Querschnitte verdrängen mehr Luft.

Der EVI vom Autohersteller GM brillierte in den Neunzigern mit einem cw-Wert von 0,195 und noch dazu einer kleinen Frontfläche. Anders wären bei den darin genutzten Blei-Säure-Akkus und später NiMH-Akkus keine vernünftigen Reichweiten drin gewesen. Viel später kam Mercedes-Benz mit dem EQS auf einen cw-Wert von 0,20 bei deutlich größerer Frontfläche. Die Aerodynamik war ein wesentlicher Aspekt der Reichweite des Modells, letztlich verkaufte er sich aber schlecht wegen seiner pummeligen Pinguinoptik.

Bei Autos hilft es enorm, möglichst wenig Luft unter das Auto zu führen. Die Luft wird aufgrund der Relativbewegung zwischen Asphalt und Autobauch verwirbelt und bremst stärker, als wenn sie laminar fließen dürfte. Deshalb haben E-Autos flache Bauchverkleidungen, Frontschürzen und andere Luftleitsysteme. Auch die drehenden Reifen und Felgen mit ihren Luftwirbeln haben Potenzial für aerodynamische Optimierungen. Tipp: Wer hohe Autobahneffizienz sucht, findet sie in möglichst flachen Autos mit kleinen Frontflächen.

Dem wirken fette SUV entgegen. BMW hat den iX auf einen für seine kantige Form mit großem Kühlergrill bemerkenswert niedrigen cw-Wert von 0,25 getrimmt. Aber es steht halt trotzdem eine Gelsenkirchener Barockschränkwand im Wind, sodass wir auf der Autobahn im Winter einen Verbrauch von 37 kWh pro 100 km maßen. Ein Positivbeispiel ist der Hyundai Ioniq 6. Alles, was aussieht wie ein Stück Seife, hat Chancen auf eine gute Autobahneffizienz. Lieferwagen werden nie niedrige Autobahnverbräuche schaffen.

Der Luftwiderstand steigt im Quadrat der Geschwindigkeit, was anders als beim Verbrenner dazu führt, dass E-Autos innerorts weniger verbrauchen als außerorts. Sie erhöhen die Reichweite also einfach, indem Sie langsamer fahren. Selbst kleine Änderungen zeitigen große Effekte. Eine Fahrt bei 150 km/h braucht die doppelte Energiemenge wie eine Fahrt bei 100 km/h. Auch eine vollere Autobahn senkt den Verbrauch.

Eine Handbreit Gummi

Reifen sind unauffällige Helden der Technik: Von Alltagsfahrern unbeachtet schaffen es Ingenieure, jede Generation noch sicherer und griffiger zu bauen. Rennstreckenfahrer wissen das. Die kosteneffizienteste Tuningmaßnahme für Fahrzeuge sind stets neue Reifen.

Höherer Grip hat einen Preis: eine geringere Abrolleffizienz. Auf sehr griffi-



Bild: BMW AG

Ein geringer Rollwiderstand erhöht die Reichweite. BMW setzt das beim i3 durch sehr schmale Reifen um.

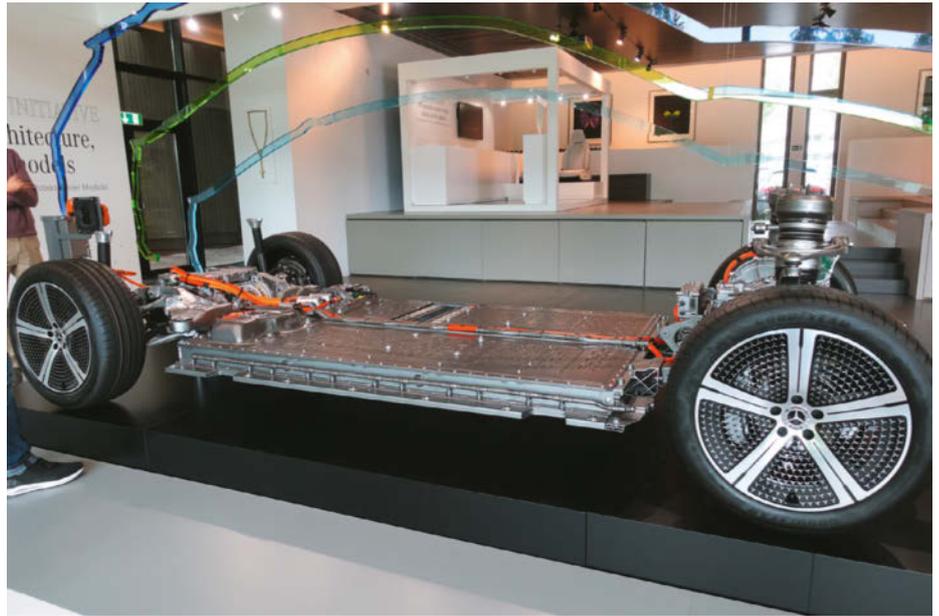
gen Reifen wie Slicks oder Semislicks spürt man schon beim antriebslosen Rollen (segeln), dass das Auto stärker gebremst wird als auf effizienten Straßenreifen. Dieser Effekt tritt in schwächerer Ausprägung auch zwischen Sport- und Leichtlaufreifen auf. Die weitaus meisten E-Autos nutzen Leichtlaufreifen, manche davon mit erheblichem Aufwand. BMW etwa wollte für den i3 große Räder. Damit die Reifenaufstandsfläche trotzdem klein bleibt und der Abrollwiderstand gering, kamen die schmalen Trennscheibenräder des Modells heraus.

Da Alltags-Elektroautos fast immer auf Effizienzreifen stehen, gibt es bei der Reifenwahl wenig zu holen. Sie können die Abrollwiderstände verringern, indem Sie den Luftdruck erhöhen. Dann senken Sie aber den Grip. Ein Tipp: regelmäßig Luftdruck kontrollieren und an die Beladung anpassen.

Die missverstandene Rekuperation

Die meisten Fahrschulen lehren seit vielen Jahrzehnten einen möglichst gleichmäßigen Fahrstil, weil Treibstoffeffizienz in Deutschland schon früh auf den Lehrplänen stand. Also möglichst wenig beschleunigen und bremsen oder in Fahrschulsprech: vorausschauend fahren. Das haben Menschen unterschiedlich gut gelernt, allerdings gibt es die Denke, dies gelte für Elektroautos nicht, weil die elektrische Bremse die Batterie lädt („Rekuperation“). Das stimmt so aber nicht.

Nehmen wir zwei gleichartige Autos mit einem identischen Geschwindigkeitsschnitt an. Ein Fahrzeug bewegt sich mit konstanter, das andere mit wechselnder Geschwindigkeit. Schon jetzt wird wahrscheinlich klar, dass das gleichmäßig fahrende Auto das effizientere ist. Beim ungleichmäßigen Fahren läppern sich die Verluste: Wandlungsverluste im Umrichter beim Bremsen, Batterieverluste beim Laden, erhöhte Fahrwiderstände durch Beschleunigungen, alles jeweils zweimal, einmal fürs langsamer werden, einmal fürs schneller werden. Dazu kommt, dass für einen in der Gesamtrechnung gleichen Schnitt in der Spitze schneller gefahren werden muss, was wegen des dann höheren Luftwiderstandes nochmals mehr Energie verbraucht. Rekuperation ist zwar allemal besser als die Umwandlung der Bewegungsenergie in reine Abwärme durch



Welche Reichweite man aus der Batterie zieht, hängt neben der Technik maßgeblich vom eigenen Fahrstil ab.

mechanisches Bremsen, aber die Effekte der Rekuperation sind kleiner als Laien annehmen.

Der ADAC hat im März 2024 die Rekuperation von E-Autos gemessen. Bei einer fast idealen Berg- und Talfahrt am Kesselberg kamen die Autos auf 35 bis 50 Prozent Energierückgewinnung (netto ohne Batterieverluste), beim Fahren im WLTP-Zyklus lag der Durchschnitt bei 22 Prozent der beim Beschleunigen eingesetzten Energie. Behalten Sie also im Kopf, dass Sie zwischen 50 und 91 Prozent der Energie verlieren – trotz Rekuperation.

Mit dem Flow der Technik fahren

Die Gesamteffizienz eines E-Autos setzt sich aus Tausenden von Details zusammen. Jedes einzelne Steuergerät wird heute auf Energieeffizienz optimiert – schon, um den 12-V-Strang zu entlasten und geringste Ruhestrome sicherzustellen. Auf diese Dinge haben Kunden keinen Einfluss außer durch die Wahl des Modells. Man kann allerdings dafür sorgen, dass sie im Detail optimal funktionieren.

Dass man im Eco-Modus ausprobieren kann, ob im Fahrprofil etwas fehlt, ist wohl jedem klar. Weniger bekannt: Wenn das Auto weiß, wohin die Reise geht, optimiert es die Effizienz gemäß der Route. Zum Beispiel, indem es die Rekuperation vor der nächsten Abbiegung antizipiert und den Fahrstil bei Fahrten über Berge

anpasst; Navis arbeiten meistens auch mit Topografiedaten. Um diesen Vorteil zu nutzen, muss also ein Ziel im Navi angegeben sein.

Autohersteller empfehlen daher, die Zielführung auch bei bekannten Wegen zum Ziel zu aktivieren. Dann erhalten Sie nicht nur Hinweise zur Verkehrslage, sondern auch Effizienzoptimierungen. Ideal ist dabei, über weite Bereiche den Tempomat mit allen Fahrhilfen zu verwenden. Er bedient sich an den Daten des Navis. Es gibt jedoch in vielen Autos, vor allem in deutschen, die Funktion, dass der Tempomat in Kurven langsamer wird. Das ist eine reine Komfortfunktion, sie kostet Effizienz. Wenn Sie also die Kurve gut überblicken können, ist es effizienter und meistens nervenschonender, sie zu deaktivieren.

Fazit

Der mit Abstand größte Reichweitenfaktor ist der Luftwiderstand, den Sie über die Geschwindigkeit einfach beeinflussen können. Die Einflüsse hoher und tiefer Temperaturen hängen zu weiten Teilen vom Stellplatz und der Ausstattung des Fahrzeugs ab. Besonders stark wirkt sich eine Fahrweise aus, die mit der Autotechnik arbeitet, statt gegen sie. So entfalten auch die kleinen Optimierungen der Hersteller ihre Wirkung in Summe. Und wie am Anfang versprochen: Das weitaus meiste verhilft auch Verbrennungsantrieben zu mehr Effizienz. (spo@ct.de) **ct**

Der Ford Capri®

Mit einer Reichweite von bis zu 627 km.*



Ford

BEREIT FÜR
MORGEN

Energieverbrauch (kombiniert)**: 14,8–13,8 kWh/100 km; CO₂-Emissionen (kombiniert)**:
0 g/km; CO₂-Klasse: A; Elektrische Reichweite*: 590–627 km

*Gemäß WLTP (Worldwide harmonised Light-duty vehicles Test Procedures) ist beim Ford Capri RWD mit voll aufgeladener Batterie eine Reichweite bis zur genannten, zertifizierten elektrischen Reichweite – je nach vorhandener Serien- und Batterie-Konfiguration – möglich. Die tatsächliche Reichweite kann aufgrund unterschiedlicher Faktoren variieren.

**Die angegebenen Werte wurden nach dem vorgeschriebenen Messverfahren WLTP ermittelt. Weitere Angaben finden Sie hier: www.ford.de/energie

Die Gepardenforellen schwimmen wieder

KI-Wettbewerb zum Jubiläum der „Hommingberger Gepardenforelle“

Im April jährte sich der Suchmaschinen-Wettbewerb zum 20. Mal, für den die c't einen Fisch erfand und in Umlauf brachte. Das runde Jubiläum nahm die Redaktion zum Anlass für einen neuen Wettbewerb. Diesmal galt es, der exotischen Forelle mit KI-Bildgeneratoren Gestalt zu verleihen – mit beeindruckenden Ergebnissen.

Von Jo Bager

Welche Techniken funktionieren, um in den Suchergebnissen von Google & Co. gut dazustehen? Das wollten wir vor 20 Jahren in der c't-Redaktion mit einem Wettbewerb ausloten. Die Aufgabe: Websites für einen bestimmten Suchbegriff unter den Top-Ergebnissen zu platzieren. Um dabei alteingesessene Websites und Online-Shops nicht aus den Trefferlisten der Suchdienste zu verdrängen, haben wir damals einen Begriff erfunden, den es bis dahin im Web und auch sonst nicht gab: die „Hommingberger Gepardenforelle“.

Der Rest ist Geschichte. Schon kurz nach diesem 16. April 2005 tummelte sich der Fisch in Blogs und auf eigens dafür registrierten Websites. Dort wurde über angebliche Sichtungen berichtet, wurden Fotomontagen und sogar „historische“ Belege für die exotische Forelle präsentiert.

Um den runden Geburtstag gebührend zu feiern, riefen wir auf heise online zu einem neuen Wettbewerb auf. Diesmal ging es darum, mithilfe von Stable Diffusion, Dall-E und Konsorten Abbilder des Fisches zu kreieren. Eine gute Woche lang hatten die KI-Jockeys Zeit, an ihren Prompts zu feilen und Schöpfungen einzureichen.



Bild: Tom Schouw/KI

1. Platz: Realistisch inszeniertes Anglerglück: Tom Schouw hält seine frisch gefangene - und gut umgesetzte - Gepardenforelle in die Kamera. Das Motiv ist so gut gelungen, dass man auch den kleinen Lapsus auf der Kappe verzeiht, denn dort steht „Homningberg“.



Bild: „Das graue Schaf“/KI

1. Platz: Die leicht verblichenen Farben, die Papierstruktur und der gedämpfte Look des Bilds von „Das graue Schaf“ imitieren perfekt eine historische Aufnahme.

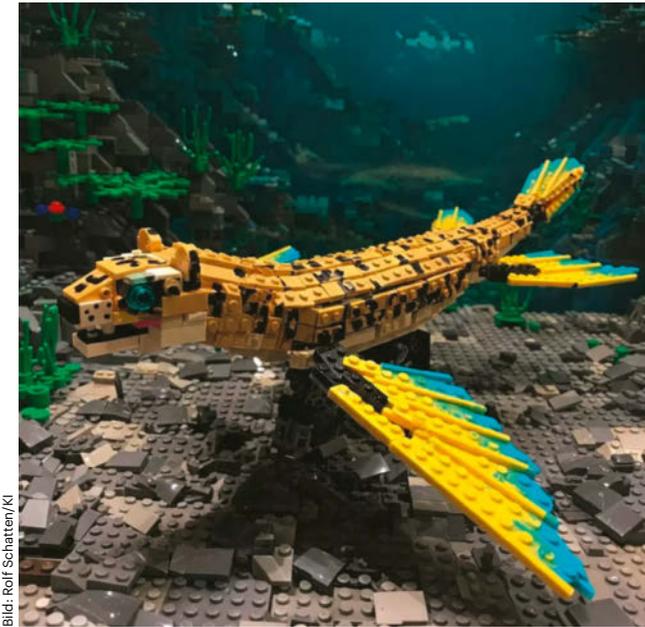


Bild: Rolf Schatten/KI

3. Platz: Eine Gepardenforelle als Lego-Modell: Rolf Schatten hat dem Thema einen ganz eigenen Dreh verpasst.

Knapp hundert Bilder sind dabei zusammengelassen. Dabei hat uns die kreative Vielfalt der Einreichungen begeistert. Das Spektrum reicht von fotoartigen Schnappschüssen über halbrealistische Illustrationen bis hin zu Kupferstichen – ein schöner Querschnitt dessen, was Bild-KI leisten kann. Gemeinsam mit den Kollegen von heise Foto hat die c't-Redaktion zehn Siegerbilder gekürt. Diese Doppelseite präsentiert eine Auswahl. Sehen Sie sich aber auch die anderen Bilder in unserer Onlinegalerie an (siehe ct.de/yr9r).



Bild: Manfred Polak/KI

4. Platz: Wer hier nicht genau hinschaut, könnte bei dem Werk von Manfred Polak tatsächlich an ein echtes Werk aus der Zeit der Kupferstiche denken.

Den ersten Platz teilen sich zwei Petri-Heil-Motive mit frisch gefangenen Gepardenforellen. Beide sind fotorealistisch, könnten aber dennoch kaum unterschiedlicher sein. Teilnehmer Tom Schouw hat sein Bild wie einen aktuellen Schnappschuss gestaltet, „Das graue Schaf“ eine historische Postkarte eingereicht.

Dem Bild von Tom Schouw entstand nach seinen Angaben in mehreren Schritten. Er hat unter anderem ChatGPT-4.5 und Photoshop mit seinen generativen Füllwerkzeugen verwendet. Stable Diffusion

hat er verwendet, um das Gesicht freizustellen und Magnific AI, um das Bild hochzuskalieren. „Das graue Schaf“ wiederum hat sein Bild mit ChatGPT und einem 1000-Wörter-Prompt erstellt, den ebenfalls ChatGPT verfasst hat. (jo@ct.de) **ct**

Vollständige Galerie: ct.de/yr9r



Bild: „malacoda“/KI

5. Platz: Eine Gepardenforelle auf der Jagd nach – ja, wonach eigentlich? „malacoda“ hat gleich einen Schwarm weiterer Fabelwesen kreiert.



Bild: Roy Batty/KI

6. Platz: Solche verpackten Actionfiguren sind auf sozialen Medien angesagt. Dank Roy Batty gibt es jetzt auch die Gepardenforelle-Edition.

BaFin warnt vor Anlagebetrug online

Die deutsche Finanzaufsicht meldet in den letzten Monaten vermehrt Fake-Websites für Krypto- und Wertpapieranlagen. Dort investiertes Geld ist meist verloren.

Die Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht (BaFin) macht erneut auf Werbeanzeigen für betrügerische Handelsplattformen aufmerksam, die hohe Gewinne für Anlagen in Kryptowerte oder andere Finanzprodukte versprechen. Dabei verwenden die Betrüger vielfach Fotos von Prominenten, die davon gar nichts wissen, garniert mit reißerischen Texten oder angeblichen Aussagen in Fernsehsendungen.

Folgt man den Links der Anzeigen, soll man sich auf den professionell gestalteten Websites oder in Smartphone-Apps mit persönlichen Daten registrieren und ein Konto oder Wallet eröffnen. Anschließend melden sich vorgebliche Experten per Mail oder Telefon. Sie versuchen, ihre Opfer mit geschickt konstruierten Erzählungen zu anfangs kleinen, später immer größeren Anlagen zu überreden. Die ersten kleinen Einzahlungen landen auf Kon-

ten von Strohleuten oder auf Spendenkonten gemeinnütziger Organisationen, die darüber allerdings nicht informiert sind.

Sobald die Betroffenen durch vorgegaukelte, gelegentlich auch tatsächlich ausgezahlte erste Gewinne Vertrauen geschöpft haben, folgen oft andere Kontoverbindungen und in allen Fällen größere Investitionssummen. Die Betrüger verschieben die Gelder ins Ausland oder in Krypto-Wallets. Der Betrug fliegt meistens erst auf, wenn die Betroffenen sich die angeblich großen Gewinne auszahlen lassen wollen. Entweder brechen die Täter den Kontakt ab oder sie verlangen unter Vorwänden weitere, oft hohe Zahlungen.

Außer Werbeanzeigen nutzen die Kriminellen auch soziale Medien und Spammails zur Kontaktabbahnung. Die Täter sitzen meist im Nicht-EU-Ausland, sind psychologisch geschult und arbeiten mit professionellen Tools. Teilweise bieten sie auch an, sich über Fernwartungssoftware auf die Geräte der Opfer zu schalten. Warnen Behörden wie die BaFin oder Verbraucherschutzorganisationen vor ihren Websites, kopieren die Betrüger die kompletten Inhalte oft auf neue Domains.



Außer überhöhten Renditeversprechen nutzen dubiose Websites und Apps auch angebliche Beratungsdienste als Köder für Anlagebetrug.

Die BaFin hat eine Informationsseite geschaltet (siehe ct.de/yppp). Sie rät dort unter anderem zur Skepsis bei hohen Renditeversprechen. Bei Werbeanrufen sollte man auflegen und Anlageseiten im Netz sowie deren URLs genau prüfen – auch, weil die Täter häufig die Identität seriöser Finanzdienstleister in böser Absicht benutzen. (mon@ct.de)

Verbraucherschutz contra Postbank

Die Verbraucherzentrale Baden-Württemberg prüft **rechtliche Schritte gegen das neue, entgeltfreie Kontomodell „Giro pur“**, das die Postbank seit Ende Februar 2025 anbietet. Kunden können das Konto nur online eröffnen und sollen dort ihr Banking erledigen. Dienste in der Filiale kosten hingegen hohe Aufpreise. Kostenlos ist das Konto außerdem nur, wenn monatlich mindestens 900 Euro eingehen, ansonsten sind monatlich 5,90 Euro fällig.

In den AGB nimmt sich die Postbank heraus, sämtliche Transaktionsdaten der zurückliegenden 36 Monate samt Verwendungszwecken und Zahlungsempfängern zu analysieren. Der Umfang ist Experten zufolge nicht branchenüblich. Die Postbank kooperiert dabei auch mit externen Partnern und kann laut AGB innerhalb sogenannter Aktionszeiträume Kunden bis zu 20-mal anrufen, um ihnen eigene und Partnerangebote unterzubeheln. Zusätzlich kann ein Bankberater mit sogenann-

ten „aktuellen Themen“ anrufen, außerdem sollen Kunden pro Tag bis zu drei Nachrichten per Mail, Brief und Newsletter erhalten, was man nicht abschalten kann.

Die Verbraucherzentrale geht davon aus, dass die Postbank Kundendaten nur für Zahlungen und Überweisungen auswerten darf. Die Nutzung für Werbezwecke erfordere eine gesonderte, ausdrückliche Zustimmung. Kritisch sehen die Verbraucherschützer auch, dass die Postbank Daten zu Zahlungsempfängern ohne deren Zustimmung verarbeiten will. Im Visier haben sie außerdem das Attribut „kostenlos“, weil bestimmte Geldeingänge nicht zu den 900 Euro zählen. Die Postbank-Mutter Deutsche Bank beruft sich darauf, dass die Bedingungen bei der Kontoeröffnung kommuniziert würden und jederzeit ein Wechsel in ein anderes, kostenpflichtiges Modell möglich sei. Gemeint ist damit „Giro plus“, das 5,90 Euro pro Monat kostet. (mon@ct.de)

iPhone: Bezahlen ohne Apple Pay

Die Volks- und Raiffeisenbanken, aber auch Sparda- und andere Institute haben in einem Test **erfolgreich eine NFC-Zahlung per Girocard mit dem iPhone** durchgeführt. Dabei nutzten sie nicht Apple Pay, sondern eine Bezahlfunktion in der Banking-App. Laut Bundesverband der Volks- und Raiffeisenbanken (BVR) soll das neue Feature im dritten Quartal 2025 ausgerollt werden. Obman so auch Karten von Visa und Mastercard unterstützen kann, prüfe man noch.

Das neue Feature ist die Folge neuer EU-Regelungen wie dem Digital Markets Act. Danach muss Apple seine NFC-Schnittstelle auch für andere Dienste als für Apple Pay öffnen. Technisch wird dazu die softwaregestützte Host Card Emulation genutzt, die bisher auch als sicher gilt. Zwar haben Sparkassen und Commerzbank die Girocard in Apple Pay integriert, die genossenschaftlichen Institute lehnen dies aber auch aus Kostengründen ab. (mon@ct.de)

EU-Kommission will digitale Kfz-Dokumente und Kilometerstand-Datenbanken

Außer Führerscheinen sollen künftig auch Fahrzeugdokumente standardmäßig in digitaler Form ausgestellt werden. Außerdem will Brüssel Werkstätten verpflichten, den Kilometerstand von Fahrzeugen in nationalen Datenbanken zu speichern.

Die EU-Vorschriften für die Zulassung und technische Überprüfungen von Fahrzeugen stehen vor einem umfangreichen Update. Die EU-Kommission will digitale Fahrzeugzulassungs- und Prüfbescheinigungen einführen, den grenzüberschreitenden Datenaustausch vereinfachen und Bürger besser vor Manipulationen von Kilometerzählern schützen. Dazu stellte sie Ende April eine Reihe von Gesetzentwürfen vor.

Die Zulassungsbehörden sollen demnach vier Jahre nach Inkrafttreten der neuen Regeln standardmäßig nur noch digitale Kfz-Zulassungsdokumente ausgeben. Bürger sollen diese in der künftigen Wallet-App für die Europäische digitale Identität (EUDI) speichern können. Papierdokumente sollen die Behörden nur dann ausstellen, wenn ein Antragsteller das verlangt. Bis spätestens Ende 2030 soll für alle EU-Bürger auch ein digitaler Führerschein der Standard werden.

In Deutschland arbeitet das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) bereits jetzt an einer digitalen Variante des Fahrzeugscheins. Aktuell können 2500 Nutzer diesen testen. „Voraussichtlich ab dem zweiten Halbjahr 2025“ soll die dafür entwickelte App namens i-Kfz dann für alle Nutzer verfügbar sein, schreibt das KBA auf seiner Webseite (ct.de/yprd). Die hiesigen Zulassungsstellen werden allerdings vorerst weiter Papierdokumente ausstellen, die App ist ein zusätzliches Angebot. Einen digitalen Führerschein bereitet das Bundesverkehrsministerium ebenfalls vor, einen Starttermin gibt es jedoch noch nicht.

Die EU will außerdem die Manipulation von Kilometerzählern erschweren. Kfz-Werkstätten sollen künftig bei allen Reparaturen und Wartungen den Kilometerstand des Fahrzeugs in einer speziellen nationalen Datenbank oder im nationalen Fahrzeugregister speichern. Die Mitgliedsstaaten sollen diese Daten untereinander austauschen, damit das Zurückdrehen des Tachos auch beim grenzüberschreitenden Handel aufgedeckt werden kann. Dienstleister wie der TÜV müssen bereits jetzt bei den verpflichtenden Inspektionen die Kilometerstände speichern. Die EU-



Bild: Sven Hoppe/dpa

Führerschein und Fahrzeugschein sollen nach Plänen der EU-Kommission in die geplante EUDI-Wallet-App auf dem Smartphone wandern.

Kommission hält das jedoch für unzureichend.

Die Brüsseler Behörde will außerdem die Regeln für die Inspektionen verschärfen: Autos, die älter als zehn Jahre sind, sollen aus Sicherheitsgründen künftig jährlich zum TÜV statt alle zwei Jahre. Dieses Vorhaben ist jedoch umstritten und wird auch von der Bundesregierung kritisch gesehen. Das europäische Parlament und die Mitgliedsstaaten müssen den Plänen noch zustimmen. (Stefan Krempf/cwo@ct.de)

Infos zur i-Kfz-App: ct.de/yprd

WIBU
SYSTEMS

CodeMeter – Vom Code zum Erfolg

Software mit CodeMeter in Umsatz verwandeln.

- **Flexible Monetarisierung:**
Angepasste Lizenzierung für alle Marktanforderungen.
- **Robuster IP-Schutz:**
Innovative Verschlüsselung und Integritätsschutz.
- **Volle Kompatibilität:**
Nahtlose Integration in alle Plattformen.
- **Zukunftssichere Lösungen:**
Entwickelt, um mit Ihren Anforderungen zu wachsen.

Stärkere Wurzeln und neue Höhen für Ihre Software – dank CodeMeter.

sales@wibu.com
www.wibu.com



Starten Sie jetzt und fordern Sie Ihr CodeMeter SDK an wibu.com/de/sdk



Die Farbe aus dem Labor

Laser lässt das Auge neue Farbe sehen

Der neue Ton mit dem Namen Olo ähnele einem tief gesättigten Türkis, sagt ein Forscher der UC Berkeley. Mithilfe eines Lasers gelang es dem Team, fünf Personen einen Blick darauf zu gewähren.

Von Sabrina Patsch

„Was es wirklich ist, weiß Gott allein. Es war eine Farbe von außerhalb allen Raumes – ein fürchterlicher Sendbote aus formlosen Bereichen der Unendlichkeit jenseits aller uns bekannten Natur. Aus Bereichen, deren bloße Existenz unseren Verstand betäubt und uns erstarren lässt unter den außerkosmischen Tiefen, die sich vor unseren entsetzten Augen auftun.“

Was H. P. Lovecraft 1927 in seiner Erzählung „Die Farbe aus dem All“ mit so opulenten Worten beschreibt, ist eine unvergleichliche Farbe, die die Protagonisten im Inneren eines Meteoriten finden. Sie ist außerirdischen Ursprungs und treibt die Familie Gardner, auf deren Grundstück der Meteorit einschlägt, in den Wahnsinn.

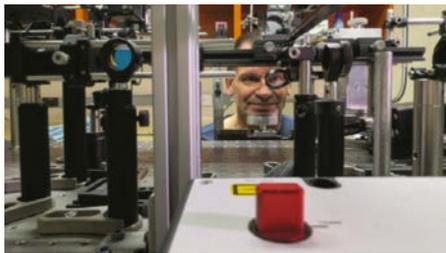


Bild: Austin Roorda / UC Berkeley

Um die Farbe zu sehen, müssen Freiwillige ihren Kopf im Experiment platzieren, wie Austin Roorda von der UC Berkeley demonstriert.

Weniger verstörend, jedoch ebenso unvergleichlich, soll die Farbe sein, die Forscher der University of California in Berkeley (UC Berkeley) erzeugt haben. „Es war wie ein tief gesättigtes Türkis ... die am stärksten gesättigte natürliche Farbe war im Vergleich dazu einfach blass“, beschreibt es Austin Roorda, Professor für Optometrie der UC Berkeley und einer der Erfinder der neuen Farbe.

Das grünste Grün

Um die Farbe sichtbar zu machen, tricksen die Forscher das Auge aus. Das menschliche Auge sieht Farbe mithilfe verschiedener Fotorezeptoren. S-Zapfen erkennen kürzere, blaue Wellenlängen, M-Zapfen erkennen mittlere, grünliche Wellenlängen und L-Zapfen erkennen längere, rötliche. Die Bereiche überlagern sich jedoch: Licht, das einen M-Zapfen aktiviert, aktiviert auch die ihm angrenzenden S- oder L-Zapfen. „Es gibt keine Wellenlänge auf der Welt, die nur den M-Zapfen stimuliert“, sagte der Hauptautor der Studie Ren Ng. „Ich habe mich gefragt, wie es wohl aussehen würde, wenn man nur alle M-Zapfenzellen stimulieren könnte. Wäre es dann das grünste Grün, das Sie je gesehen haben?“

Um das herauszufinden, erstellen die Forscher zuerst eine individuelle Karte der Zapfen im Auge der Testperson mithilfe eines Messsystems der Universität Washington. Anschließend aktivieren die Forscher gezielt ausgewählte Fotorezeptoren innerhalb einer Fläche mit etwa tausend Zapfen leicht neben dem Fokuspunkt mit schwachem Laserlicht. Der Laser zur Stimulation der Zapfen leuchtet grün, ähnlich wie ein Laserpointer, kann das Auge jedoch dazu bringen, verschiedenste Farben wahrzunehmen.

Regen die Forscher ausschließlich die M-Zapfen an, sehen die Testpersonen die neue Farbe. Das Team nennt sie Olo, als

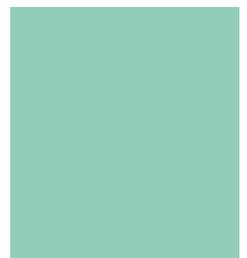
Anspielung auf den Binärcode 010: Nur die M-Zapfen sind aktiv (1), S- und L-Zapfen nicht (0). Erst fünf Menschen haben die Farbe bisher gesehen und beschreiben sie als sehr gesättigtes Blau-Grün oder Pfauen-Grün. Andere Forscher kritisieren, dass es sich bei Olo um keine neue Farbe handle, sondern lediglich um ein intensiveres Farberlebnis; sie loben jedoch die technische Leistung. Neben Olo ließ das Team die Testpersonen auch andere Farben sehen, indem sie ausgewählte Zapfen mit dem grünen Laser stimulierten. So erzeugten sie auch farbige Bilder von Linien, Punkten oder gar Blumen, Tieren und Personen.

Die Forscher von Oz

Die Technik, mit der die Forscher das Auge austricksen, trägt den Namen „Oz“. Denn ihre Inspiration zogen sie nicht von Lovecraft und seinen kosmischen Horrorgeschichten, sondern aus dem weitaus fröhlicheren Kinderbuch „Der Zauberer von Oz“. Die Smaragdstadt leuchte in einem so brillanten Grün, dass Besucher eine getönte Brille tragen müssen, um ihre Augen vor der Helligkeit und Herrlichkeit der Stadt zu schützen, beschreibt der Autor L. Frank Baum.

Roorda nennt die eingesetzte Lasertechnik „ein Mikroskop für die Netzhaut“, Augenärzte nutzen sie bereits zur Untersuchung von Augenkrankheiten. Langfristig könnte die Technik dazu beitragen, das menschliche Sehvermögen besser zu verstehen oder Sehkraftverlust zu behandeln. Womöglich könnten farbenblinde Personen damit einmal alle Farben des Regenbogens wahrnehmen oder die Forscher könnten tetrachromatisches Sehen ermöglichen. Tetrachromaten, wie etwa viele Fische, Wirbeltiere und Vögel, besitzen vier Farbrezeptoren und können so mehr Farben wahrnehmen und unterscheiden. „Es ist ein Rätsel, ob das Gehirn erweiterte Signale oder neue Sinnesindrücke verstehen kann, die wir erzeugen“, sagt Roorda. Er sei aber davon überzeugt. (spa@ct.de) 

Laut den Forschern ähnele Olo einem kräftigen Türkis. Am nächsten komme es der Farbe mit dem Hexadezimalcode #00FFCC.



Programmierbarer Photonik-Chip trainiert KI

An der University of Pennsylvania haben Forscher einen photonischen KI-Chip entwickelt. Indem man dessen Chiplogik optisch rekonfiguriert, lassen sich neuronale Netze energiesparend trainieren.

Ein Forscherteam um Liang Feng hat einen Chip vorgestellt, der anstelle von Transistorschaltkreisen und elektrischen Strömen optische Signalübertragung nutzt und Lichtteilchen als Informationsträger und -speicher einsetzt. Die Besonderheit dieses programmierbaren photonischen Chips liegt darin, dass er über lineare Zusammenhänge hinaus auch nichtlineare Funktionen abbilden kann. Diese Fähigkeit ist entscheidend für das Training von KI-Anwendungen. Die denen zugrunde liegenden neuronalen Netze zeichnen sich unter anderem dadurch aus, dass einzelne Knoten nur dann feuern, wenn ihr Input den eingestellten Schwellwert überschreitet – eine nichtlineare Funktion.

Der Chip verarbeitet nicht nur Signallicht, das als Input eingespeist wird und in veränderter Form schließlich den Output liefert. Wesentlich ist, dass die optischen Elemente des photonischen Chips

aus einem Halbleiter bestehen, der wiederum selbst auf Licht reagiert. Durch Lichtstrahlen, die senkrecht auf den Chip ausgerichtet sind, sogenannte Pumpstrahlen, lassen sich diese Bauelemente also schalten. Mit dieser Funktion realisierten die Forscher Trainingsalgorithmen für das implementierte neuronale Netz: Abhängig vom Output des Signallichts und der Differenz zum gewünschten Verhalten variieren und verfeinern die Pumpstrahlen schrittweise die Einzelparаметer des neuronalen Netzes.

Der Chip selbst wird bei dieser Anpassung nicht verändert, sondern lediglich

die photonischen Eigenschaften seiner optischen Elemente, wie Feng auf der Projektseite ausführt. Es handle sich damit um den ersten programmierbaren photonischen Chip für nichtlineare Funktionen.

In Tests erreichte das Projektteam mit seinem neuartigen KI-Chip nach dem Training eine Trefferquote von 96 Prozent bei der Unterscheidung unterschiedlicher Gattungen im sogenannten Schwertlilien-datensatz (Iris flower data set).

(agr@ct.de)

Paper der Forscher: ct.de/y5qp

Auf einem photonischen Chip haben Forscher an der University of Pennsylvania in Echtzeit neuronale Netze trainiert.

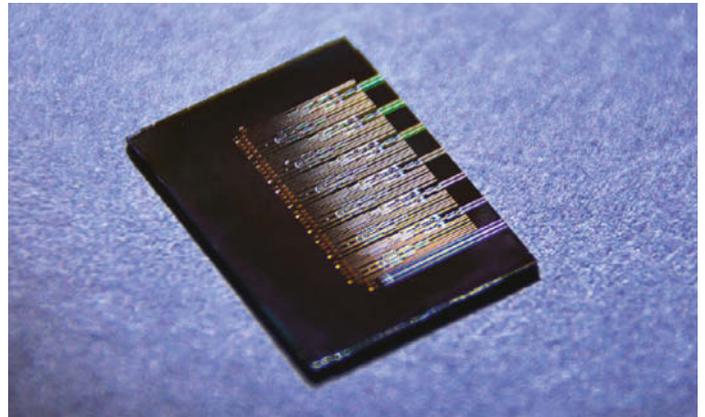


Bild: Feng

Folie für nachtsichtfähige Brillengläser

Mit einer **wärmeempfindlichen Membran** machen Forscher um Jeehwan Kim am Massachusetts Institute of Technology (MIT) sehr leichte Sensoren und tragbare Nachtsichtgeräte möglich. Es ist ihnen gelungen, dünne Häute aus pyroelektri-



Bild: Adam Glanzman/MIT

Die dünne Folie als Sensor für Wärmestrahlung ermöglicht leichte Nachtsichtbrillen und sichere Autofahrten im Nebel.

schem Material zu züchten. Das bedeutet, dass die so entstandenen Folien selbst bei geringen Temperaturänderungen einen elektrischen Strom erzeugen. Sie erweisen sich sogar als umso empfindlicher, je dünner sie sind. Die jüngst vorgestellte Folie ist gerade einmal zehn Nanometer dünn und reagiert laut den Forschern gegenüber Strahlung im mittleren Infrarotspektrum empfindlicher als Nachtsichtgeräte nach dem heutigen Stand der Technik.

Ein damit ausgestatteter Sensor benötigt zudem keine aufwendige Kühlung. „Diese Folie verringert das Gewicht und die Herstellungskosten von Infrarotsensoren“, schreibt Xinyuan Zhang auf der Projektseite des MIT. Man könne sie beispielsweise auf ein Brillenglas kleben oder autonome Fahrzeuge damit ausstatten.

(agr@ct.de)

KI-News-Texte sind erkennbar

Journalistische Nachrichtentexte lassen sich derzeit von den Beiträgen generativer KI unterscheiden, jedenfalls von **Texten aus der Feder von Googles Gemini**. Forscher Van Hieu Tran an der Charles Darwin University in Darwin, Australien, promptete die KI mit 150 Artikeln großer Tageszeitungen und ließ sie dazu eigene Nachrichten schreiben. In der anschließenden Untersuchung zeigten die journalistischen Beiträge mehr Variabilität in Satz- und Absatzlängen. Zudem verwendeten die Journalisten erkennbar mehr Verben als die KI, deren Texte messbar gleichförmiger ausfielen und mehr Substantive enthielten. Allerdings gehen die Forscher davon aus, dass sich die heute noch messbaren Unterschiede in naher Zukunft nivellieren werden.

(agr@ct.de)

Einmal mit Profis arbeiten

Matter-Geräte lassen sich in KNX-Installationen einbinden

Viele Installateure tun sich beim Smart-Home-Standard Matter noch schwer. Ein neues Gateway verspricht nun, Matter-Geräte einfach in bestehende KNX-Systeme einzubinden. Gelingt so der Durchbruch auch im Profi-Segment?

Von Nico Jurrán

Der Smart-Home-Standard Matter ist bei Gadgets von der Stange mittlerweile angekommen: Von Staubsaugern über Glühbirnen bis zu Schlössern haben viele Endkundenprodukte den Standard heute bereits ab Werk an Bord und simple Zentralen mit Assistenten von Apple, Amazon, Google und Samsung vereinen deren Funktionen rudimentär unter einem Dach. Für einen Siegeszug wäre es allerdings vonnöten, dass sich Matter auch im Profimarkt etabliert. Das ist vor dem Hintergrund der Marktdominanz des Bus-systems KNX allerdings leichter gesagt als getan.

Das Berliner Unternehmen 1Home Solutions will mit seinem neuen „IoT Gateway“ für rund 600 Euro daher nun eine Brücke schlagen: Über dessen vier IP-Tunnel soll man bis zu 100 beliebige Matter-Produkte wie Jalousien, Smart Locks oder Leuchtmittel an eine bestehende KNX-Installation anbinden können. Werden Matter-Komponenten über zugehörige Bridges (etwa von Philips Hue) ins System gebracht, gibt es kein Limit hinsichtlich der Anzahl der daran ange-bundenen Geräte.

Möglich wird dies, weil die Matter-Geräte von dem IoT-Gateway einfach

KNX-Gruppenadressen erhalten und dadurch im offiziellen Programmierwerkzeug ETS (Engineering Tool Software) konfiguriert werden können. Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass sich die an den KNX-Workflow gewohnten Installateure nicht groß umgewöhnen müssen. Und am Ende sollen sich die so eingebundenen Matter-Geräte über eine KNX-Visualisierungs-App wie jedes andere KNX-Gerät steuern lassen.

In einem vor Marktstart produzierten YouTube-Video (siehe ct.de/yhqs) demonstrierte 1Home unter anderem, wie sich eine KNX-Leuchte wie üblich mit einer IKEA-Fernbedienung steuern lässt. Die Verbindung zur Fernbedienung läuft dabei jedoch über einen IKEA-Dirigera-Hub, der seinerseits via LAN mit dem IoT-Gateway verbunden war. Will man ein Matter-Gerät direkt einbinden, soll dies wie gewohnt über den bekannten QR-



Bild: 1Home

Das IoT Gateway von 1Home weist Matter-Geräten KNX-Gruppenadressen zu, sodass sie sich in bestehende KNX-Installationen einbinden lassen.

Code geschehen, den man mit der haus-eigenen Mobil-App abfotografiert. Bei genauerer Betrachtung des Videos fällt auf, dass 1Home bei der Matter-Integration selbst noch von einer Beta-Funktion spricht. Bis zum Verkaufsstart um den Re-daktionschluss soll die Funktion aber final integriert sein.

Aus der Gegenrichtung

Ebenso will 1Home ein Update veröffent-lichen, das die beschriebene Funktion in seinem (doppelt so teuren) „1 Home Ser-ver KNX Pro“ freischaltet. Der war bereits vorher dafür ausgelegt, bis zu 250 KNX-Geräte in Matter-kompatible Apps zu integrieren. Eben dieser umgekehrte Weg war bislang im Profibereich der übliche Ansatz. So hat etwa Hager im neuesten KNX-Server seiner Domovea-Reihe eine Matter-Bridge integriert, die zu 128 KNX-Geräte mit Matter-Ökosystemen verbindet. Das Unternehmen ABB veröffentlichte wiederum für den System Access Point 2.0 seiner Konzerntochter Busch-Jaeger ein Software-Add-on, das diesen um eine Matter-Bridge für das hauseigene Bus-System free@home erweitert. Damit lassen sich bis zu 64 free@home-Geräte an Matter-Plattformen weiterreichen.

Ubisys brachte bereits 2022 mit dem Gateway G1 die erste Matter-zertifizierte Bridge für die Einbindung von Geräten auf den Markt, die nach dem Standard Zigbee funken. Eine entsprechende Funktion soll künftig auch die Smart-Home-Zentrale Wi-butler Pro 2. Gen bieten, die darüber hinaus auch das drahtlose Protokoll EnOcean unter-stützt. Eine umfangreiche Übersicht über die Matter-Geräte für den Profibereich hat Frank-Oliver Grün auf seiner Seite Matter-Smarthome.de zusammengestellt, die unter ct.de/yhqs abrufbar ist.

Die Verbindung von KNX-, free@home- und ZigBee-Geräten zu Alexa, Google, Siri & Co. bringt den Vorteil, dass Anwender die jeweilige Sprachsteuerung der Matter-Ökosysteme nutzen können – was mit dem 1Home IoT Gateway nicht mög-lich ist. Doch wer in seinem Haus eine grö-ßere Profi-Lösung betreibt, dürfte in erster Linie daran interessiert sein, das vorhandene System um das eine oder andere Mat-ter-Gerät zu erweitern und nicht die kom-plette Bedienung auf den Kopf zu stellen. Und Installateure dürften eh weiter ETS & Co. bevorzugen. (nij@ct.de) **ct**

Übersicht Matter-Geräte für den Profibereich: ct.de/yhqs

EU plant Reparierbarkeitslabel für Haushaltsgeräte

Das geplante EU-Label wird auch über die Mindesthaltbarkeit von Produkten informieren.

Die EU-Kommission hat den Arbeitsplan für die weitere Umsetzung der Ökodesign-Vorschriften bis 2030 angenommen. Unter anderem sollen auch Haushaltsgeräte und weitere Unterhaltungselektronik einen Reparierbarkeitsindex bekommen. Schon ab 20. Juni 2025 wird ein solcher Index für Smartphones und Tablets verpflichtend (siehe c't 10/2025, S. 154). Außerdem will die EU Mindestanforderungen für Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit von Unterhaltungselektronik und elektronischen Kleingeräten formulieren. Bisher hatte die EU solche Regelungen für einzelne Produktkategorien erlassen.

Wie genau der Reparierbarkeitsindex für Haushaltsgeräte aussehen wird, will die EU jetzt erarbeiten. Für Smartphones und Tablets müssen Hersteller auf einer Skala von A bis E ausweisen, wie gut die Geräte repariert werden können. Sie wird gemeinsam mit einem Energielabel am 20. Juni eingeführt. Grundlage der Bewertung ist unter anderem, welche Ersatzteile Hersteller zur Verfügung stellen, wie schwierig eine Reparatur ist und welche Werkzeuge dafür nötig sind. Ob eine Reparatur überhaupt wirtschaftlich ist oder nicht, weil vielleicht die Ersatzteile zu teuer sind, geht aus dem EU-Index nicht hervor.

Im vergangenen Jahr hatte die EU die Ökodesign-Verordnung ausgeweitet. Sie

erstreckt sich künftig auch auf Server, Bildschirme, Waschmaschinen, Trockner, Geschirrspüler, Kühlschränke und Staubsauger sowie Schweißgeräte. Das kommende Energie- und Reparierbarkeitslabel für Haushaltsgeräte und Unterhaltungselektronik soll Informationen über die Mindesthaltbarkeit, die Verfügbarkeit von Ersatzteilen sowie den CO₂-Fußabdruck enthalten.

Die Details will die Kommission mit delegierten Rechtsakten auf Einzelproduktbasis oder für Gruppen ähnlicher Waren festlegen. Dies werde „auf gründlichen vorbereitenden Studien und Folgenabschätzungen beruhen“, so die Kom-

mission. Die Anforderungen werden spätestens Ende 2026 stehen.

Verbraucherverbände und Reparaturinitiativen pochen darauf, dass künftige Reparierbarkeitslabel die Ersatzteilpreise berücksichtigen. So hatte eine Marktuntersuchung der Verbraucherzentrale Bundesverband (vzbv) ergeben, dass Ersatzteilpreise für Geschirrspüler je nach Hersteller erheblich variieren und aus Sicht der vzbv nicht immer in Relation zum Neukaufpreis der Geschirrspüler stehen. Der obere Geschirrkorb kostete zwischen 10 und 61 Prozent des Neupreises der untersuchten Geräte.

(rbr@ct.de)



Ein Label soll in der EU in Zukunft anzeigen, wie gut Küchenprodukte und Unterhaltungselektronik reparierbar sind.

Die nächste Dongleserver-Generation
Netzwerkweit auf USB-Dongles zugreifen

dongleserver[®]
by SEH

SEH

NEU SEH CarePack

Ihre Vorteile

- Erweitertes Monitoring inkl. Logging (syslog-ng) und Benachrichtigungsfunktion
- USB-Dongle Zugriff mit Passwörtern schützen
- Zukunftssichere USB 3.0 SuperSpeed Ports
- Ideal für serverbasierte und virtualisierte Umgebungen
- Für alle gängigen Betriebssysteme
- Apple Silicon kompatibel
- Kostenlose Updates und weltweiter Support
- **SEH CarePack:** der Wartungsvertrag als praktische Ergänzung zum Dongleserver

SEH Computertechnik GmbH | Hotline: +49(0)521-94226-29 | E-Mail: info@seh.de | www.seh.de

Der gläserne TV-Zuschauer

KI für psychografische Zuschauermerkmale am Smart-TV

TV-Hersteller blenden schon heute passende Werbung zu den am TV geschauten Sendungen ein. Künftig wollen sie zusätzlich die Emotionen der Zuschauer analysieren.

Von Ulrike Kuhlmann

Der TV-Hersteller LG will die persönlichen Überzeugungen, Glaubenseinstellungen, Werte und Emotionen der Nutzer seiner Smart-TVs per KI analysieren und seinen Werbepartnern diese Daten für individuelle Werbebotschaften anbieten. Das kündigte die Werbetochter LG AdSolutions in einer Pressemitteilung an. Der Unterhaltungselektronikspezialist hat dafür einen mehrjährigen Lizenzvertrag mit der Marketingplattform Zenapse mit Sitz in den USA geschlossen.

Automatische Inhalteerkennung

Bislang setzen die meisten TV-Hersteller auf kontextbezogene Ausspielung von Werbung. Sie werten dazu aus, welche Sendungen oder Filme die Zuschauer am Smart-TV schauen, indem sie regelmäßig Hashes aus den sicht- und teilweise hörbaren Inhalten erstellen. Diese gleichen

sie mit einer Datenbank aus vorrangig Filmen, Serien und Spielen ab. Bei einem Match weiß der Hersteller, was der Nutzer gerade sieht oder spielt [1].

Mit der automatischen Inhalteerkennung (Automatic Content Recognition, ACR) wird also jemand, der regelmäßig Tennisturniere schaut, mit großer Wahrscheinlichkeit häufiger Werbung für Tennisschläger oder Sportbekleidung zu sehen bekommen. Und das nicht nur auf dem TV selbst, sondern auch auf verbundenen Geräten, etwa dem Smartphone im selben WLAN. Wie man ACR in den TV deaktiviert, haben wir in c't 26/2024 beschrieben [2].

Nun spricht LG seinen Anzeigekunden, mit Unterstützung der Firma Zenapse sogenannte psychografische Zuschauermerkmale herauszufiltern. Mit diesen soll die Werbeindustrie die Zuschauer emotional ansprechen können. Die Werbebotschaften sollen allgemeine Denkweisen, Werte und Einstellungen der jeweiligen Person aufgreifen – und nicht nur das, was diese gerade am TV schaut.

Large Emotion Model

Zenapse will die sehr persönlichen Daten mit einem sogenannten Large Emotion Model (LEM) erheben – in Anlehnung an das Large Language Model (LLM) einer generativen KI. Das LEM analysiert die

öffentlich zugänglichen Informationen zu den am TV angezeigten Inhalten, darunter Skripte und Inhaltsbeschreibungen von Serien und Sendungen. Auf dieser Basis wird der emotionale Kontext einzelner Inhalte klassifiziert und das Publikum anhand der Muster in diverse Zielgruppen wie „zielstrebige Leistungsträger“, „soziale Vernetzer“ oder „emotional engagierte Planer“ unterteilt. Als weitere potenzielle Zielgruppensegmente nennt das von Google mitfinanzierte Start-up „Digitalanwender“, „Wellness-Bewusste“, „Familienzentrierte“, „Komfortsuchende“, „Wissensfokussierte“ oder „Geldbewusste“.

Psychografische Merkmale beschreiben die Persönlichkeit, die Fähigkeiten und die Charakterzüge einer Person. Sie arbeiten die Motivation hinter dem Kundenverhalten heraus, heißt es etwa beim Marktdatenanbieter Qualtrics. Die Verknüpfung der psychografischen Merkmale mit den ACR-Zuschauerdaten hilft laut LG Werbetreibenden, eine „tiefere Verbindungen mit den Zuschauern zu knüpfen, die Leistung der Kampagnen zu maximieren und die Anzeigenrelevanz in vernetzten Umgebungen zu erhöhen“.

Die neue Technik für emotional ansprechende Werbebotschaften werde in Kürze auf über 200 Millionen LG-Smart-TVs ausgespielt. Die Werbung soll unter anderem auf dem Homescreen von LG-TVs erscheinen sowie in werbefinanzierten FAST-Sendern (Free Ad-Supported TV). Angesichts der rasanten Verbreitung der ACR-Technik muss man davon ausgehen, dass sich psychografische Daten in der Werbung auch auf anderen Smart-TVs wiederfinden werden. Zumindest wenn das LEM von Zenapse tatsächlich das tut, was der Hersteller verspricht. (uk@ct.de) **ct**



LG-TVs sollen künftig mehr emotionale ansprechende Werbung zeigen, etwa auf dem Homescreen von webOS.

Literatur

- [1] Ulrike Kuhlmann, TV und Video maßgeschneidert, Auswahlhilfe für Fernsehgeräte und Streamingdienste, c't 26/2024, S. 14
- [2] Ulrike Kuhlmann, Bilderreigen, Sechs Smart-TVs mit 4K-Auflösung und 120-Hertz-Panel im Test, c't 26/2024, S. 18

Viele neue Sprachen, eine bittere Lektion

Duolingo: Mehr Sprachkurse und weniger Mitarbeiter durch KI

Mithilfe generativer KI konnte die Lernplattform Duolingo nun die größte Erweiterung ihrer Geschichte feiern – mit 148 neuen Kursen, auch mit Deutsch als Ausgangssprache. Die Entwicklung hat aber auch negative Seiten.

Von Nico Jurran

Die Lernplattform Duolingo hat Ende April 148 neue Sprachkurse auf einen Schlag veröffentlicht und damit ihr Kursangebot nach eigenen Angaben verdoppelt. Nun kann man nicht nur etwa Deutsch in 17 weiteren Sprachen – darunter Arabisch, Niederländisch, Griechisch, Japanisch, Polnisch, Russisch, Schwedisch und Thailändisch – lernen, auch Deutschsprachige profitieren von der Offensive: Sie erhalten Zugang zu drei neuen Kursen in Japanisch, Koreanisch und Chinesisch, die vorher nur mit Englisch als Ausgangssprache zugänglich waren.

Duolingo nutzt mit seinem neuen Angebot an Kursen für asiatische Sprachen nach eigenen Angaben einen aktuellen Hype: Die Zahl der Lernenden von Koreanisch und Japanisch in Deutschland habe sich in den vergangenen zwei Jahren mehr als verdoppelt. Dazu trug laut Duolingo unter anderem der Start der zweiten Staffel der Netflix-Serie „Squid Game“ bei.

Eine von Duolingo zitierte Erhebung kam in diesem Zusammenhang auf zwei interessante Ergebnisse: Zum einen interessieren sich meist jüngere Menschen für asiatische Sprachen (50 Prozent sollen unter 24 Jahre und 80 Prozent unter 34 Jahre alt sein), zum anderen gibt gut ein Drittel dieser Gruppe (36 Prozent) an, nur zum

Spaß zu lernen. Bei den deutschen Duolingo-Nutzern traf das allgemein hingegen nur auf rund jeden Fünften (18 Prozent) zu.

Alle 148 neuen Sprachkurse gibt es in der Duolingo-App unter iOS und unter Android. Sie richten sich überwiegend an Anfänger (Niveau A1 und A2 nach dem Gemeinsamen europäischen Referenzrahmen für Sprachen) und bieten interaktive Formate wie Stories (die Lesekompetenz fördern) und DuoRadio (für ein besseres Hörverständnis). Inhalte für Fortgeschrittene sollen im Laufe des Jahres folgen.

KI macht es möglich

Luis von Ahn, CEO und Mitgründer von Duolingo, gab in der offiziellen Pressemitteilung in bestem Marketingjargon an, dass die große Erweiterung nur durch den „konsequenten Einsatz generativer KI“ möglich gewesen sei: „Es hat rund zwölf Jahre gedauert, unsere ersten 100 Kurse zu entwickeln. Die neuen fast 150 Kurse haben wir dagegen in nur einem Jahr erstellt“. Das eigene Know-how können man nun „noch gezielter zur Kontrolle und Optimierung einsetzen“, so von Ahn. Das klingt erst einmal toll.

Einen bitteren Nachgeschmack erhalten diese Aussagen jedoch durch Umstände, die nicht in der Pressemitteilung stehen. So hatte Duolingo bereits Ende 2023

etwa 10 Prozent seiner freien Mitarbeiter unter Hinweis auf die generative KI gekündigt. Das bestätigte das Unternehmen seinerzeit gegenüber dem Wirtschafts magazin Bloomberg. Betroffene hatten berichtet, dass die verbliebenen Mitarbeiter fortan Übersetzungen nicht mehr selbst erstellen, sondern eben nur noch KI-Übersetzungen prüfen und nötigenfalls korrigieren sollten – was von Ahns Satz über „Kontrolle und Optimierung“ in ein anderes Licht rückt.

Parallel zur Sprachkursoffensive verschickte der CEO zudem eine Mail an seine Angestellten, in der er noch einmal unterstrich, das Duolingo ein „KI-zuerst“-Unternehmen werde. So wolle man „allmählich damit aufhören, Auftragnehmer für Arbeiten einzusetzen, die von der KI erledigt werden können“. Personal soll nur dann eingestellt werden, wenn ein Team seine Arbeit nicht weiter automatisieren kann. Diese Aussagen stießen in einschlägigen Foren und bei vielen Nutzern auf harsche Kritik.

Bislang trat generative KI bei Duolingo vor allem als „Videocall mit Lilli“ in Erscheinung. Hier können Duolingo-Max-Abonnenten Gespräche mit einer animierten Comicfigur führen, um das freie Sprechen in einer Fremdsprache zu trainieren (siehe Test in c't 23/2024, S. 84).

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

Mit Duolingo lässt sich nun Chinesisch, Koreanisch und Japanisch mit Deutsch als Ausgangssprache lernen. Möglich gemacht hat diese Erweiterung eine generative KI.

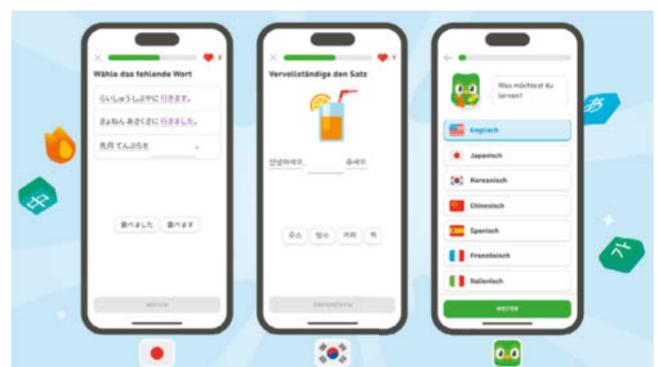


Bild: Duolingo

Neue Plus-NAS mit Plattensperre

Synology bringt einen Netzwerkspeicher für Firmen heraus und will neue Plus-Modelle nur noch ausgewählte Massenspeicher akzeptieren lassen.

Zu Anfang Mai 2025 hat Synology das 653 Euro (UVP) teure Tower-NAS DS925+ für „professionelle Anwender und Unternehmen, die Wert auf zuverlässiges Datenmanagement und hohe Performance legen“ herausgebracht. Es hat Platz für vier 3,5-Zoll-Festplatten oder 2,5-Zoll-SATA-SSDs sowie zwei M.2-Slots für Cache-SSDs. Gegenüber einem nicht näher spezifizierten Vorgängermodell soll der Neuling Daten über Windows-Freigaben zweieinhalbmal so schnell übertragen. Dahinter steckt wohl schlicht das in dieser Geräteklasse längst überragende Upgrade von Gigabit-Ethernet auf 2,5 Gbit/s. Per Link Aggregation der beiden Schnittstellen soll das Gerät in Summe über 500 MByte/s liefern.

Zusammen mit dem Erweiterungsgehäuse DX525 kann das NAS auf maximal neun Platten zugreifen und laut Hersteller bis zu 180 TByte Rohkapazität bereitstellen; bei zwei für Ausfallsicherheit genutzten 20-TB-Platten bleiben rund 140 TByte übrig. Synology gibt dem DS925+ laut Datenblatt einen älteren AMD-Embedded-Prozessor mit, der Ryzen V1500B von Ende 2018 hat immerhin vier SMT-fähige Kerne. Außerdem sind spärliche 4 GByte ECC-RAM dabei, die man etwa für Containerbetrieb auf maximal 32 GByte erweitern kann.

Zeitnah zu dem Gerät hat Synology eine wesentliche Einschränkung für alle ab 2025 neu vorgestellten Plus-Modelle angekündigt: Beim Einrichten mit neuen Massenspeichern werden sie nur noch Platten und SSDs von Synology selbst oder als kompatibel gekennzeichnete Typen akzeptieren. Synology verspricht dadurch „ein Höchstmaß an Sicherheit, Performance und zugleich deutlich effizienteren

Support“. Bereits in älteren NAS eingerichtete Massenspeicher sollen aber funktionieren. (ea@ct.de)

Details zu Synologys neuer Massenspeicherpolitik: ct.de/y1cv



Bild: Synology

Mit einem optionalen Erweiterungsgehäuse lagert Synologys DS925+ zwar bis zu 180 TByte, aber nur noch auf Massenspeichern vom Hersteller selbst oder als kompatibel gekennzeichneten.

Drei-Band-Access-Point mit Wi-Fi 7

Der Netzwerkhersteller Netgear hat sein WLAN-Portfolio um einen neuen, **preislich attraktiven Wi-Fi-7-Access-Point** für Unternehmen erweitert: Der WBE710 kommt mit drei Funkmodulen für 2,4, 5 sowie 6 GHz und arbeitet pro Band mit zwei MIMO-Streams, Multi-Link-Operation (MLO) wird ebenfalls unterstützt. Damit liegt die Gesamtdatenrate per WLAN bei 9,4 Gbit/s brutto.



Bild: Netgear

Der Netgear WBE710 kommt im typischen Access-Point-Format für Unternehmen: interne Antennen, ein 2G5-Ethernet-Port als Uplink, Wand- oder Deckenmontage.

Limitiert wird sie jedoch durch den 2,5-Gbit/s-Ethernet-Port, dem einzigen Uplink-Port der Basis. Über ihn läuft auch die Spannungsversorgung mittels PoE+ (IEEE 802.3at, max. 25 Watt). In Umgebungen mit schwächeren PoE-Switches (IEEE 802.3af, 15 Watt) soll der WBE710 ebenso laufen, allerdings reduziert sich der Durchsatz dann um ein Viertel bei 5 GHz und auf die Hälfte bei 2,4 GHz; das 6-GHz-Interface bleibt ganz aus.

Die Administration des WBE710 läuft ausschließlich per Cloud, lokale Konfigurationsschnittstellen wie Webinterfaces oder Konsolen gibt es nicht. Administratoren können die Parameter des Access Points nur über den „Insight“ genannten Clouddienst einsehen und bearbeiten.

Der Dienst erfordert ein Abo, das wahlweise 9,99 Euro (Premium) oder 24,99 Euro (Pro) pro Jahr kostet; ein Gerätelimit nennt Netgear nicht. Ein Jahr Insight ist beim Kauf des AP enthalten.

Der Netgear WBE710 ist ab sofort für 390 Euro (UVP) erhältlich. Im Netz entdeckten wir ihn schon für rund 350 Euro. (amo@ct.de)

Kurz & knapp

Der chinesische Elektronikhersteller **Ugreen** – bekannt von Netzwerkspeichern, USB-Docks, USB-Netzteilen und Powerbanks – hat eine Partnerschaft mit MediaMarktSaturn geschlossen. Die Produkte sind deshalb ab sofort in den Onlineshops sowie in den Märkten der Kette verfügbar.

Der Industrie-Netzwerkgerätehersteller Trendnet hat ab sofort den TIG51SC im Sortiment, ein **Hutschienenswitch** mit vier Gigabit-Ethernet-Ports und einem Gigabit-fähigen SC-Multimode-Glasfaser-Port. Er kostet rund 130 Euro.

TerraMaster erweitert sein NAS-Angebot um das U4-500. Das Rack-Gerät nimmt eine Höheneinheit ein und hat Platz für vier 3,5-Zoll-Festplatten. Netzwerk läuft über zwei 10-Gigabit-Ports (RJ45). Der Preis beträgt 950 Euro.

Satellitenmobilfunk: 5 dicke ASTS-Brummer und 27 Kuipers

Der Satellitenbetreiber AST SpaceMobile und die U. S. National Science Foundation haben ein Abkommen unterzeichnet, um bodengestützte Astronomie vor Störungen zu schützen.

ASTS gehört zur wachsenden Zahl an Betreibern weltraumgestützter Mobilfunknetze. Eigentlich würde man von vornherein rücksichtsvolle Raumfahrer erwarten, die die Astronomie nicht stören. Tatsächlich bestehen aber viele Satelliten aus spiegelnden Flächen, die Sonnenlicht sehr gut reflektieren und so astronomische Objekte für Beobachtungen von der Erde aus überdecken. Das haben Astronomen erstmals 2020 für Starlink-Satelliten dokumentiert (siehe ct.de/y617).

Daraufhin hat die International Astronomical Union (IAU) im Jahr 2022 die Initiative „Dark and Quiet Skies“ gegründet, welche die Auswirkungen erfasst und Empfehlungen herausgibt. Die Kritik der Astronomen hat letztlich die US-amerikanische Regulierungsbehörde Federal Communications Commission (FCC) aufgescheucht. Sie erteilt inzwischen Betriebsgenehmigungen nur dann, wenn Sat-Betreiber Schutzmaßnahmen für die Astronomie implementieren.

So hat auch SpaceX, die Betreiberfirma des Starlink-Dienstes, Schutzmaßnahmen eingebaut. Da erweist es sich als nützlich, dass Satelliten in erdnahen Umlaufbahnen nur eine Lebensdauer von einigen Jahren haben und ohnehin laufend ausgetauscht werden.

ASTS steht spätestens seit 2022 unter Beobachtung, weil die Firma die mit Abstand größten Satelliten betreibt: Schon der erste BlueWalker funkt mit einer riesigen Antenne von 64 Quadratmetern Fläche. Seit Oktober 2024 betreibt ASTS weitere fünf solcher Riesensatelliten (BlueBirds). Sie erscheinen wie Sterne der hellsten Kategorie, die alles dahinter überstrahlt.

Doch die Antennengröße ist gerade das Pfund, mit dem ASTS wuchert: Damit erreichen BlueBirds eine weit bessere Signalgüte als Mitbewerber und liefern Spitzengeschwindigkeiten über 120 Mbit/s, während Starlink nicht über 18,3 Mbit/s hinauskommt. Die nächste BlueBird-Generation soll sogar 223 Quadratmeter groß werden und im Endausbau aus 243 Satelliten bestehen.

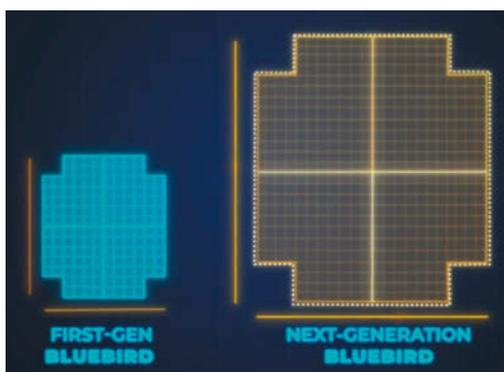
Die grundlegende Methode, um IAU-Empfehlungen umzusetzen, dürfte ASTS schon lange in der Tasche haben. Astronomen fanden heraus, dass BlueWalker 2022 nach dem Start viel heller strahlte, sich aber ab Dezember 2022 so drehte, dass er Licht zur Sonne reflektiert; auf manchen Aufnahmen ist er daher gar nicht zu sehen (siehe ct.de/y617). Zusätzlich will ASTS die Positionen der BlueBirds melden, damit Astronomen wissen, welche Stellen in Bildern herausgerechnet werden sollten. Im Januar 2025 erläuterte ASTS das genaue Verfahren gegenüber der FCC.

Wie viel das bringt, weiß man nicht. Das Abkommen mit der NSF ebnet aber ASTS den Weg, auch für die nächsten Satelliten FCC-Genehmigungen zu erhalten.

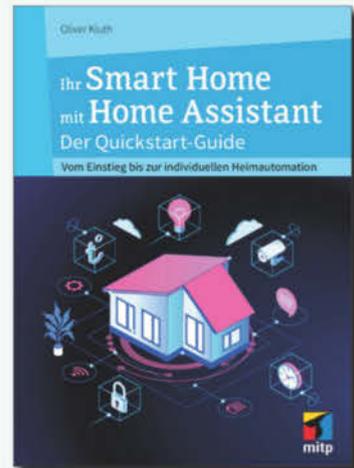
Unterdessen regt sich das von Amazon 2019 gestartete Mega-Satellitenprojekt Kuiper: Seit Ende April umkreisen die ersten 27 Satelliten die Erde, im Endausbau sollen es 3236 werden. Für den Servicestart sind nur 578 erforderlich, sodass erste Kunden Kuiper bereits Ende 2025 nutzen könnten.

Um das Jahr 2000 umkreisten weniger als 1000 Satelliten die Erde. Heute betreibt allein SpaceX mehr als 7000 Starlinks und will in den nächsten Jahren insgesamt 42.000 in eine Umlaufbahn schießen. Die IAU wird mit Argusaugen beobachten, wie sich die neuen Schwärme auswirken. (dz@ct.de)

Facharbeiten zu Sat-Störungen: ct.de/y617



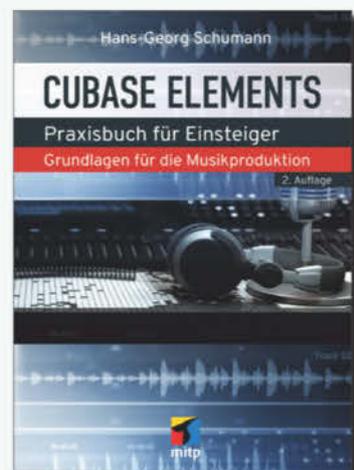
Schon die erste Generation der BlueBird-Satelliten von ASTS leuchtet mit ihren Riesenantennen so hell wie Sterne der hellsten Kategorie. Die zweite Generation kommt auf die dreifache Antennenfläche.



Auch als E-Book oder Bundle in unserem Shop erhältlich: www.mitp.de/0911

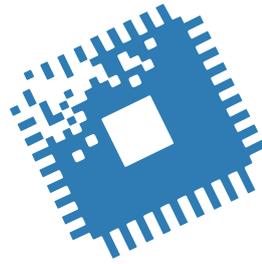


Auch als E-Book oder Bundle in unserem Shop erhältlich: www.mitp.de/1024



Auch als E-Book oder Bundle in unserem Shop erhältlich: www.mitp.de/1006

Bit-Rauschen



Tausende Intel-Manager fliegen raus

Der neue Intel-Chef baut das Unternehmen um. Trotz eigener 18A-Technik will Intel auch TSMC-N2-Chiplets zukaufen. Apple verkauft das aktuelle MacBook Air erstaunlich günstig.

Von Christof Windeck

Radikalen Bürokratieabbau schreibt sich der neue Intel-Chef Lip-Bu Tan auf die Fahnen. Er kündigt eine große Entlassungswelle an, die vor allem das Management betrifft. Konkrete Zahlen verrät er nicht, aber es wird geschätzt, dass bis zu 20 Prozent der Mitarbeiter gehen sollen. Die verbliebenen müssen ab September wieder häufiger im Büro antanzen, nämlich an mindestens vier Tagen pro Woche.

Tan will auch sonst die Kosten drücken, nämlich um zwei Milliarden US-Dollar pro Jahr. Diese Maßnahmen verkündete er rund fünf Wochen nach seinem Amtsantritt anlässlich der Präsentation der Intel-Ergebnisse im ersten Quartal 2025. Intel macht weiter Minus, aber der neue Xeon 6 „Granite Rapids“ verkaufte sich besser als geplant.

Die Lösung der grundsätzlichen Probleme braucht Zeit, betonte Lip-Bu Tan mehrmals. Auch er kann keinen konkurrenzfähigen KI-Chip aus dem Hut zaubern. Externe Kunden für den Fertigungsprozess 18A erwartet Intel erst 2026; laut Spekulationen sogar erst für eine verbesserte Version 18AP.

Obwohl Intels eigene 18A-Technik eigentlich besser sein soll als TSMC N2 – daher ja auch die Namenswahl –, bestellt Intel für die 2026 erwarteten „Nova Lake“-Prozessoren auch Wafer mit N2-Chiplets. Das klärte Produktchefin Mi-

chelle Johnston Holthaus auf: Für den Hoffnungsträger Panther Lake – erste Versionen sollen noch 2025 kommen – soll Intel Foundry rund 70 Prozent der Chiplets liefern. Für Nova Lake werde Intel Foundry sogar noch mehr Chiplets liefern und sei dann ausgelastet, weshalb man von TSMC zukaufe. Die Desktop-PC-Versionen von Nova Lake könnten Core Ultra 400 heißen und passen wohl nicht auf bisherigen Mainboards mit der Fassung LGA1851; stattdessen kommt vermutlich LGA1954.

Um Geld zu sparen, hat Intel den Ausbau mehrerer Chipwerke verzögert (Ohio) oder auf Eis gelegt (Magdeburg). Daher ist die Produktionskapazität einstweilen begrenzt. Bei der Fertigungstechnik Intel 7 ist sie sogar am Anschlag, weil viele Firmen Notebooks mit älteren Chips der 13. und 14. Core-i-Generation kaufen. Solche Rechner sind schlichtweg billiger als welche mit den aktuellen Core Ultra 100/200 – und deren KI-Funktionen überzeugen bisher wenig, weil attraktive Software fehlt.

Apple verkauft billiger

Wer Ende April in Online-Preisvergleichen nach Notebooks suchte, rieb sich womöglich die Augen: Ein MacBook Air mit aktuellem M4-Chip sowie 16 GByte

RAM und 512-GByte-SSD war für unter 1300 Euro zu haben. Die meisten Windows-Notebooks dieser leichten Klasse mit neuesten Chips von AMD (Ryzen AI 300) und Intel (Core Ultra 200/200V) kosten bei gleicher RAM- und SSD-Kapazität mehr. Apple nutzt offenbar die strukturellen Kostenvorteile aus, die man sich fleißig erarbeitet hat: Statt einer riesigen Fülle an unterschiedlichen Chips und Plattformen pflegt man möglichst wenige. Dabei fällt der M4 dank modernster TSMC-N3E-Produktion relativ kompakt aus und arbeitet extrem effizient.

Der M4 ist bisher nicht „Made in USA“, weil die erste TSMC-Chipfabrik in Arizona als feinste Fertigung die Generation N4 anbietet. Erst 2028 soll die zweite TSMC-Fab in den USA N3 anbieten, eine dritte Fab dann später N2. Die taiwanische Regierung bekräftigte kürzlich die „N-1“-Regel, laut der TSMC die jeweils fortschrittlichste Technik nur in Taiwan anbieten darf. Denn Taiwan subventioniert und fördert die Halbleitertechnik mit dem strategischen Ziel, sie als Schutzschirm gegen eine chinesische Invasion zu nutzen. US-Präsident Trump will hingegen mit hohen Einfuhrzöllen erzwingen, dass ausländische Firmen mehr in den USA produzieren – ein Widerspruch, den TSMC wohl aushalten muss. Darin liegt zwar eine Chance für Intel Foundry, die sich aber nur mit sehr viel Geld nutzen lässt.

Mehrere Chipfertiger reduzieren ihre Ausbaupläne zumindest kurzfristig. Deshalb schwächelt der Aktienkurs der niederländischen Firma ASML, der vom KI-Hype enorm profitiert hatte. ASML selbst sieht deutlich positiver in die Zukunft und erwartet weiter sehr hohe Umsätze.

Den Bestrebungen der EU zur Förderung der hiesigen Chipfertigung stellt der Europäische Rechnungshof ein katastrophales Zeugnis aus: „Versprechungen sind völlig unrealistisch.“ Das Ziel, den Umsatzanteil der Chipherstellung innerhalb der EU bis 2030 auf 20 Prozent des Weltmarktes zu steigern, könne nicht mehr erreicht werden. Und dabei ist noch nicht einmal berücksichtigt, dass das Intel-Werk Magdeburg bis dahin sicherlich nicht laufen wird. Dass es überhaupt noch gebaut wird, sollen die in der EU streng geschützte Feldhamster jedenfalls nicht stören: Intel lässt die Fläche unter anderem mit Mais bepflanzen, den diese Hamster nicht mögen. (ciw@ct.de) 



Feldhamster unerwünscht: Intels gigantisches Baugrundstück bei Magdeburg im Juli 2023. Ob die Fabs noch kommen, weiß niemand.

Zuwachs bei GeForce-RTX-5000-Grafikkarten für Full-HD- und WQHD-Gaming

Die GeForce RTX 5060 und RTX 5060 Ti treten für deutlich unter 500 Euro an. Beim Stromstecker nutzt Nvidia im Unterschied zu den High-End-Varianten bewährte Technik.

Nvidia erweitert die Serie GeForce RTX 5000 um zwei weitere Modelle nach unten hin. Seit Mitte April ist die GeForce RTX 5060 Ti mit 8 und 16 GByte GDDR7-RAM erhältlich. Die Preise beginnen bei 400 Euro, damit ist sie deutlich günstiger als die GeForce RTX 5070, die rund 600



Bild: Gigabyte

Die GeForce RTX 5060 Ti Windforce OC 16G von Gigabyte gehört mit 21 Zentimetern zu den kürzesten RTX-5060-Ti-Grafikkarten und passt deshalb auch in kompakte PC-Gehäuse.

Euro kostet. Allerdings hat Nvidia die RTX 5060 Ti deutlich beschnitten, so fehlt ein Viertel der Rechenkerne, wodurch die Gleitkommarechenleistung bei 32 Bit Genauigkeit von 30,8 auf 23,7 TFlops absinkt. Ebenso ist der GDDR7-RAM über lediglich 128 statt 192 Datenleitungen angebunden. Zudem halbiert Nvidia die Transferschwindigkeit zum Prozessor des Systems, weil die RTX 5060 Ti nur 8 der 16 Lanes des PEG-Slots verwendet. Die 3D-Performance der 16-GByte-Variante soll für 3D-Spiele in hoher Qualität und WQHD-Auflösung (2560 × 1440) ohne Raytracing reichen. Der 8-GByte-Version der GeForce RTX 5060 dürfte bei vielen Titeln oberhalb von Full HD mangels Grafikspeicher die Puste ausgehen.

Mitte Mai soll die noch günstigere GeForce RTX 5060 erscheinen. Preisinformationen hatte Nvidia bis Redaktionsschluss nicht veröffentlicht, wir gehen von rund 320 Euro aus. Ihr Power-Budget beträgt im Unterschied zur RTX 5060 Ti 150 Watt statt 180 Watt. Zudem hat sie etwas weniger Shader und taktet langsamer.

Zu den Neuerungen im Vergleich zu den Vorgängern der Serie GeForce RTX

4000 gehören unter anderem die Upscaling-Technik Deep Learning Super Sampling 4 (DLSS 4). KI-Algorithmen berechnen dabei nun statt einem bis zu drei Zwischenbilder, um die Bildrate zu steigern. Im Unterschied zu den leistungsstärkeren Varianten der RTX-5000-Serie beziehen die GeForce RTX 5060 und 5060 Ti ihren Strom über einen herkömmlichen acht-poligen PEG-Stromstecker. Die High-End-Karten verwenden den anfälligeren 12V-2x6-Stecker, bei dem es durch ein mangelhaftes Schaltungsdesign bereits zu verschmorten Anschlüssen kam (siehe c't 6/2025, S. 45). (chh@ct.de)

GeForce RTX 5060 und 5060 Ti

Grafikkarte	GeForce RTX 5060	GeForce RTX 5060 Ti
Shader- / Raytracing- / Tensor-Kerne	3840 / 30 / 120	4608 / 36 / 144
Takt / Boost	2280 / 2500 MHz	2410 / 2570 MHz
Speicher	8 GByte GDDR7-RAM, 128 Bit, 448 GByte/s	8 / 16 GByte GDDR7-RAM, 128 Bit, 448 GByte/s
Schnittstelle	PCIe 5.0 x8	PCIe 5.0 x8
Board-Power / Stromanschluss	150 Watt / 1 × PEG (8-polig)	180 Watt / 1 × PEG (8-polig)
Preis	ab 19. Mai	440 / 540 €

Midi-Tower-Gehäuse mit Farbdisplay

Lian Li rüstet das PC-Gehäuse Lancool 207 Digital mit einem 6-Zoll-Display aus. Das LCD mit einer Auflösung von 1600 ×

720 Pixeln, einer Wiederholrate von 60 Hertz und einer Helligkeit von 500 Nits (cd/m²) ist in der Front untergebracht und per USB angebunden. Es zeigt entweder Statusinformationen wie Lüfterdrehzahlen, Temperaturen und Taktfrequenzen an oder dient als Zweitmonitor.

Das Lancool 207 Digital nimmt Mainboards im ATX-Format, sieben Erweiterungskarten und zwei 2,5-Zoll- oder 3,5-Zoll-Laufwerke auf. Grafikkarten dürfen maximal 37,5 Zentimeter lang sein und CPU-Kühler bis zu 18 Zentimeter hoch aufragen. Als weitere Besonderheit sitzt das Netzteil unterhalb des Mainboards aber im vorderen Bereich des Gehäuses. Dahinter bleibt somit Platz für zwei 12-Zentimeter-Lüfter, die kühle Umgebungsluft von unten in Richtung der Grafikkarte pusten. Zwei weitere 14-Zentimeter-Ventilatoren sitzen hinter der Front des Lancool 207 Digital. Der Midi-Tower mit Glasfenster kostet 120 Euro. (chh@ct.de)

Günstige PC-Netzteile

Die Netzteile der Serie System Power 11 von be quiet gibt es in den vier Leistungsstufen 450, 550, 650 und 750 Watt. Mit Ausnahme der 450-Watt-Variante bieten sie einen 12V-2x6-Anschluss für moderne Grafikkarten für bis zu 450 Watt Leistung, das 750-Watt-Modell liefert darüber 600 Watt. Zudem bringen sie zwei Kabelstränge für 6+2-poligen PEG-Stecker mit. Die System-Power-11-Netzteile erfüllen beim Wirkungsgrad die 80Plus-Bronze-Vorgaben und haben fünf Jahre Herstellergarantie. Sie kosten zwischen 50 und 80 Euro. (chh@ct.de)

Die System-Power-11-Netzteile von be quiet eignen sich für moderne Grafikkarten mit 12V-2x6-Stromanschluss.



Bild: be quiet



Bild: Lian Li

Das 6-Zoll-LCD des Lian Li Lancool 207 Digital dient auf Wunsch auch als Zweitbildschirm.

KI-Updates im Überfluss

Hat das Zeitalter der technischen Dekadenz begonnen?

Smarte Lichtschalter, KI-Zahnbürsten und High-Tech-Toaster: Viele Firmen optimieren ihre Produkte ad absurdum. Aber manche Geräte benötigen kein Update, meint Tanja Kunesch.

Von Tanja Kunesch

Licht auf Knopfdruck, telefonieren, wann und wo man möchte oder einfach unterwegs seinen Lieblingssong hören: Technische Errungenschaften machen das Leben leichter. Aber manche Upgrades elektronischer Geräte könnten sinnfreier nicht sein und erschweren die Bedienung unnötig. Ungelenke Berührungen am Touchscreen ersetzen einen simplen Knopfdruck, die Kaffeemaschine verweigert ohne WLAN-Zugang den Dienst und der Kühlschrank sendet nervige Push-Nachrichten auf das Handy, weil das Crushed Eis bald alle ist.

Diese zügellosen, technischen Upgrades ad absurdum sind nichts anderes als Dekadenz – ein Ausdruck, der überhöhte Ansprüche und ein Leben in unnötigen Verfeinerungen beschreibt. Manche dieser technischen Errungenschaften werfen die Frage auf, ob sie wirklich in ihrer neuen, anspruchsvollen Form nötig sind. Oder ob wir vielmehr in einer Optimierungsspirale gefangen sind, die Probleme löst, die wir gar nicht hatten – und schlimmstenfalls neue kreiert, wenn die Upgrades nicht einwandfrei funktionieren.

Unendliche Licht-Diskussionen

Erleichtert es mir das Leben, wenn ich den Lichtschalter nicht mehr im Vorbeigehen

drücken muss? Wenn ich in den Raum schreiten kann und „Alexa, dimme das Licht im Esszimmer!“ rufe? Denn wenn die Technik nicht läuft, wie sie soll, wird es heikel.

Zuweilen sind in Smart Homes gar keine Schalter mehr vorgesehen. Anstatt in einer Sekunde händisch das Licht anzumachen, verfallen ihre Bewohner notgedrungen in minutenlange Litaneien von Sprachbefehlen, die unweigerlich darin enden, die eben noch gepriesene Technik zu beleidigen und sich schließlich ein zehnminütiges YouTube-Video anzuschauen, um die Beleuchtung endlich einzuschalten.

Verfall durch KI-Zahnbürsten

Forscher der Universität Greifswald bescheinigten elektrischen Zahnbürsten 2019 in einer Studie, dass sie besonders gut vor Zahnfleischentzündung schützen. Dazu sagte der damalige Vizepräsident der Bundeszahnärztekammer Dietmar Oesterreich im „Spiegel“: Zwar seien ma-



Bild: Oral-B

Die Oral-B iO ist mit KI-gestützter Putztechnikerkennung ausgestattet. Eine App verrät, welche Bereiche gründlicher geputzt werden sollten.

nuelle Zahnbürsten bei optimaler Handhabung vergleichbar mit elektrischen, aber nicht jeder habe die perfekte Technik. „Die elektrische Zahnbürste macht es automatisch richtig.“

Künftig soll die elektrische Zahnbürste es nicht nur richtig, sondern besser machen, und zwar durch KI. Sie gibt ihrem Nutzer in Echtzeit Feedback über dessen Putzverhalten und ob er zu kräftig drückt, wie die iO Zahnbürste von Oral-B. Wem diese Optimierung nicht reicht, der kann seine Zahnbürste sogar mit der Oral-B-App verknüpfen und die „3D-Zahn-Tracking-Funktion“ nutzen.

Aber ist das wirklich nötig? Brauche ich eine KI-Zahnbürste, die mir sagt, wie ich meine Zähne zu putzen habe? Vermutlich wird es nicht mehr lange dauern, bis erste KI-Modelle eine interaktive Karies-Grafik erstellen und ich meine Mundhöhle in einem 3D-Raum erkunden kann. Aber solche Spielereien haben ihren Preis. Denn was passiert, wenn einmal das WLAN hakt? Als KI-Bürster wäre ich vielleicht gar nicht mehr in der Lage, mich auf klassische Weise um meine Hygiene oder vielmehr meine Wartung zu kümmern.

Morgendliche Toaster-Hölle

Doch der Optimierungswahn beginnt bereits vor dem Zähneputzen. Die Zeiten, als man einfach zwei Scheiben weiches Brot in die Toasterschlitze gesteckt und den Hebel runtergedrückt hat, sind vorbei.

Beim Inspirex Smart Toaster können Brotfans über einen Touchscreen aus acht Sorten auswählen, von Weizen über glutenfrei bis hin zum englischen Muffin. Zusätzlich können sieben Bräunungsmodi eingestellt werden. So viele Entscheidungen muss man am Morgen auf leeren Magen erst einmal verdauen. Immerhin zählt der Toaster digital runter, sodass auch das Überraschungsmoment, wenn die Scheiben aus ihrem Metallkäfig springen, einen nicht mehr aus der morgendlichen Apathie reißen kann. Anbieter ist die Marke „Nostalgia“. Der Name spielt wohl auf das Edelstahlgehäuse an, denn sonst erinnert bei dieser Maschine nichts an alte, einfachere Zeiten.

Die Krönung der Dekadenz

Wohl jedem ist über die morgendliche Zeitungslektüre schon mal der Kaffee oder Tee kalt geworden. Wem das öfter passiert, der besorgt sich vielleicht eine iso-



Bild: Nostalglia

Brotsorte und Bräunungsgrad lassen sich am Inspirex Smart Toaster mithilfe anschaulicher Bildchen genau einstellen.

lierende oder gar eine beheizbare Tasse. Aber wie soll es anders sein: Auch hier geht es dank Digitaltechnik angeblich noch komfortabler. Die Krönung für den Kaffee ist der Ember Mug 2 für knapp 150 Euro. Über eine App kann man seine ideale Trinktemperatur auswählen und erhält eine Benachrichtigung, wenn das Getränk sie erreicht hat. Anschließend hält die Tasse den Trunk auf diesem Wert. Das Einzige, was diese Tasse wohl nicht kann, ist, in der Spülmaschine zu überleben. Alle händischen Tätigkeiten lassen sich dann wohl doch nicht wegoptimieren.

Und das ist auch gut so. Denn aller Technik zum Trotz kann es auch befreiend sein, keinen perfekt durchoptimierten Tag zu haben. Es ist OK, auch mal ein blasses Stück Toast zu essen oder sich die Zunge am zu heißen Kaffee zu verbrennen. Diese kleinen Unperfektheiten gehören irgendwie zum Leben dazu und sind mir oft lieber als zahllose unnötige Entscheidungen auf einem Touchscreen. (spa@ct.de) **ct**



Bild: coolstuff.de

Der Ember Mug 2 kontrolliert die Temperatur des Getränks scheinbar auf die Nachkommastelle genau und hält diese, bis der Akku leer ist.

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“



Mac & i.
Das Apple-Magazin von c't.

Jetzt bestellen:



www.mac-and-i.de/vorteil

✉ leserservice@heise.de

☎ 0511 / 647 22 888

Wissen schafft Sicherheit

safe-r-spaces.de

Der Begriff „Graphic Novel“ hat sich für besonders kunstvolle Comics etabliert, die häufig ernste Themen behandeln. Eine solche überwiegend mit visuellen Elementen erzählte Geschichte ist zentraler Bestandteil des Angebots **Safe(r) Spaces**. Jugendliche lernen darin Jule, Mia und Fela kennen. Die drei Charaktere blicken aus unterschiedlichen Perspektiven auf Themen wie freie Meinungsäußerung oder (Des-)Information. Jule flüchtet vor privaten Problemen und gerät in den sozialen Medien in radikale Kreise. Ihre Freundin Mia versucht, das zunehmend verstörende Verhalten von Jule zu verstehen. Fela wird aufgrund seiner Hautfarbe zum Opfer von Hate Speech. Den liebevoll gestalteten Comic kann man auf der Website online lesen. Die auf 17 Seiten einfühlsam erzählte Geschichte hätte ruhig etwas länger ausfallen können.



Im Download-Bereich der Website und auf Instagram finden Besucher zusätzlich jede Menge Informationen. In zwölf PDFs von jeweils zwei bis vier Seiten Länge geht es um Themen wie Deep Fakes, Faktenchecks und Strategien gegen Hate Speech. Die Informationen richten sich an Jugendliche und junge Erwachsene; sie eignen sich auch als Unterrichtsmaterial. Safe(r) Space ist ein Projekt der Arbeitsgemeinschaft Jugend + Bildung. Es wird gefördert vom Programm „Demokratie im Netz“ der Bundeszentrale für politische Bildung. (dwi@ct.de)

Stadt, Land, Fluss

geographie-quiz.de

Über 280 Aufgaben bietet **Geographie-quiz.de**. Jedes einzelne Quiz lässt sich in ein paar Minuten durchspielen. Viele Spiele fragen die üblichen Geografie-Inhalte ab, darunter die Länder Europas, ihre Hauptstädte und Flaggen sowie die Bundesstaaten



der USA. In der Quiz-Liste finden sich aber auch speziellere Themen. Knifflig sind beispielsweise die Spitznamen der nordamerikanischen Bundesstaaten, die auch auf den amerikanischen Kfz-Nummernschildern erscheinen.

Dass Kalifornien „The Golden State“ ist, weiß man vielleicht noch, aber wissen Sie, welcher Bundesstaat sich hinter „Land of Enchantment“ verbirgt?

Die schlichte, klar gestaltete Seite des Dortmunders Roman Berger bietet auch für Erdkundeprofis ordentliche Herausforderungen. Von den dänischen Inseln über autonome Gemeinschaften und Städte in Spanien bis zu Provinzen in Südkorea gibt es so manche harte Nuss zu knacken. (dwi@ct.de)

Wordle ohne Ende

nytimes.com/games/wordle/index.html

merriam-webster.com/games/quordle

britannica.com/games/octordle

heise.de/-9636745

gridgames.app/gridwords

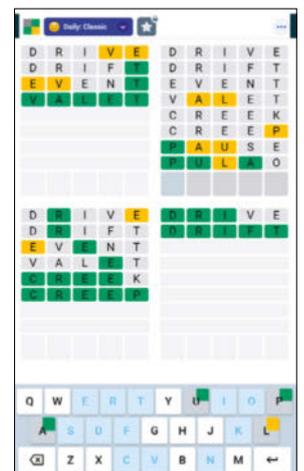
gridgames.app/quadwords

Das englische Wörterratespiel **Wordle** hat eine bemerkenswerte Karriere hingelegt. Der Programmierer Josh Wardle erfand die Knochelei während der Corona-Pandemie als Liebesbeweis für seine Partnerin. Im Januar 2022 kaufte die New York Times das Spiel. Seitdem finden Besucher der NYT-Website dort täglich ein frisches Wordle (siehe c't 6/2022, S. 56). Gesucht ist stets ein englisches Wort mit fünf Buchstaben. Zur Wordle-Fangemeinde gehören weltweit rund zehn Millionen Menschen.

Das ebenso simple wie suchterzeugende Spielprinzip ähnelt dem Knobelspiel Mastermind: Der Spieler gibt eine Kombination aus Farben, Symbolen, Zahlen oder – im Fall von Wordle – Buchstaben ein und erkennt am Feedback, welche der eingetippten Elemente Teil der Lösung sind und welche sogar schon an der richtigen Position stehen.

Wordle-Fans auf der Suche nach neuen Herausforderungen sollten sich **Quordle** anschauen. Diese vom Wörterbuchverlag Merriam-Webster betriebene Seite präsentiert vier Wordles nebeneinander, die es in neun Versuchen parallel zu lösen gilt. Merriam-Webster gehört seit 1964 zur Encyclopædia Britannica, deren Webpräsenz für ganz verwegene Rätsler auch noch die Variante **Octordle** anbietet. In dieser Masterclass sind acht Wörter aus je fünf Buchstaben gesucht, die in 13 Durchgängen gefunden werden müssen.

Wer lieber auf Deutsch knobelt, kann täglich ein **c't Nerd-Word** (meist) mit Technikbezug erraten. International präsentiert sich das Angebot der österreichischen Gridgames GmbH: Deren Wordle-Klon **Gridwords** gibt es in 13 Sprachen, wahlweise als **Quadwords** auch im Viererpack. (dwi@ct.de)



Diese Seite mit klickbaren Links: ct.de/y6ft



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





Undynamisch

Octopus Energy vergeigt Smart-Meter-Installation

Wechsel des Stromzählers müssen ordentlich beim zuständigen Netzbetreiber registriert werden. Wenn der Betreiber dabei patzt, hat der Kunde das Nachsehen.

Von Tim Gerber

Martin B. wollte für seinen Haushalt gern einen modernen, dynamischen Stromtarif nutzen. Bereits Anfang 2024 schloss er dafür einen Stromliefervertrag mit Octopus Energy ab. Bestandteil des Vertrags war die kostenlose Installation

eines Smart Meter beim Kunden. Das braucht man schließlich, um den Verbrauch auf die Viertelstunde genau zum jeweils geltenden Preis abrechnen zu können.

Der alte Zähler wurde also am 19. Juni 2024 ausgebaut und stattdessen ein Smart Meter installiert. Tags darauf fragte er bei Octopus an, wie es denn nun weitergehe und wann sein Tarif umgestellt werde. Darauf erhielt er umgehend die wenig erhellende Auskunft, dass es durch den Wechsel des Anbieters im Backend des Energieversorgers aktuell zu Verzögerungen bei der Anmeldung der Geräte im System komme. Der Wechsel der Abrechnungsmethode dauere in der Abstimmung mit den Verteilnetzbetreibern auch ohne diese Situation immer eine Weile, da dort eine aufwendige Marktkommunikation nötig sei. Für den

Kunden entstehe jedoch kein Nachteil, da er bis zur Umstellung zu einem günstigen Übergangstarif beliefert werde.

Nun wartete Martin B. also auf die Umstellung seines statischen Tarifs auf einen dynamischen, bei dem er von niedrigen Strompreisen an der Leipziger Börse zu bestimmten Zeiten profitieren sollte. Doch es tat sich nichts. Am 8. August hakte er nach, weil er inzwischen vom Netzbetreiber eine Ablesekarte für seinen Zählerstand erhalten hatte. Am folgenden Tag erhielt er jedoch lediglich die Auskunft, dass man sich in Abklärung mit seinem Montagepartner befinde und sich melden wolle, sobald es eine Rückmeldung von dort gebe.

Aber niemand meldete sich. Am 24. August fragte Martin M. erneut und erhielt nun die Auskunft: „Es hat sich herausge-

stellt, dass es möglicherweise Probleme mit der automatischen Übertragung gab. Der Netzbetreiber hat diesbezüglich bereits eine E-Mail dazu von uns erhalten.“ Freilich arbeite man „mit Hochdruck“ daran, seinen Fall so schnell wie möglich zu bearbeiten.

Einen Monat später erkundigte sich Martin M. erneut nach dem Tarifwechsel. Diesmal hieß es mit E-Mail vom 25. September, dass man den Prozess leider nicht beschleunigen könne, weil er außerhalb des direkten Einflussbereiches von Octopus liege. Man stehe jedoch in direktem Kontakt mit der verantwortlichen Stelle und tue sein Möglichstes, um die Umstellung so schnell wie möglich abzuschließen.

Auch im folgenden Monat geschah nichts und Ende Oktober hieß es auf weitere Nachfrage des Kunden: „Wir haben eine erneute Anfrage an die zuständige Stelle gestellt und warten auf die Rückmeldung.“

Warten auf Octopus

Am 18. November meldete sich Octopus Energy tatsächlich von sich aus bei seinem Kunden zu dessen Tarif. Aber nicht etwa, um ihm endlich die Umstellung auf den gewünschten dynamischen Tarif mitzuteilen. Vielmehr erklärte man ihm, dass die Preisbindung im Übergangstarif nun auslaufe und sich zum Beginn des neuen Jahres der Grundpreis erhöhe, der Preis für die Kilowattstunde hingegen sinke. Er solle möglichst am 1. Januar über das Kundenportal seinen aktuellen Zählerstand melden.

Doch im Kundenportal war der alte Zähler hinterlegt, dazu mit absurden Zählerständen. Und am 13. Januar flatterte eine E-Mail von Octopus ins Postfach des Kunden, dass seine Belieferung mit Strom zum 18.06.2024 ende. Dabei wurde die Nummer des alten Zählers genannt. Eine Endabrechnung könne erst erfolgen, wenn der Stand des alten Zählers zum genannten Datum durch den Netzbetreiber bestätigt worden sei.

Nun wurde es für den Kunden immer abstruser, was er dem Anbieter per Mail vom 28. Januar aufzählte: Im Kunden-Account werde er als „nicht in Belieferung“ geführt. Auch seien die Zählerstände ab dem Datum des Austauschs im Juni des Vorjahres nicht mehr plausibel. Am 4. Februar antwortete ihm Octopus, man prüfe nun, was es mit dem nicht mehr aktiven Vertrag auf sich habe.

Wieder geschah nichts. Am 5. März wandte sich Martin B. nun mit einer dringenden Beschwerde an den Energiever-

sorger. Sein Kunden-Account sei gesperrt, obwohl er noch ein eingezahltes Guthaben von knapp 1500 Euro habe. Einen Abschlagsplan gebe es nicht mehr und die Monatsraten würden auch nicht mehr abgebucht. Gleichzeitig gab der frustrierte Kunde eine negative Bewertung über das Unternehmen auf einem Bewertungsportal ab.

Lange Ausreden

Darauf meldete sich am 10. März jemand vom Bewertungsteam des Unternehmens und erläuterte dem Kunden lang und breit, welche Schwierigkeiten es mit der Software für die Registrierung der eingebauten Smart Meter beim Netzbetreiber gebe. Dem Kunden halfen all diese Informationen freilich kein Stück weiter. Immerhin bot man ihm eine Entschädigung in Form einer zusätzlichen 150-Euro-Gutschrift an.

Zumindest war nun klar, dass mit dem Zählerwechsel etwas gründlich schiefgelaufen war und noch immer nicht behoben wurde. Martin B. nahm die angebotene Gutschrift dankend an, wollte aber vor allem wissen, wie es denn mit der Stromlieferung weitergehen sollte. Am 12. März erhielt er die Endabrechnung bis zum 18. Juni 2024 und darauf eine Gutschrift von 200 Euro.

Wegen des neuen Zählers müsse man auf das Subunternehmen warten. Wenn er weiter in Belieferung bleiben wolle, müsse der Kunde mit der alten Zählernummer einen neuen Vertrag abschließen. Man werde den Wechsel dann nachträglich eintragen. Am 13. März wies Martin B. auf den bestehenden Vertrag hin und darauf, dass man ihm die eventuellen Mehrkosten erstatten müsse, falls er aufgrund der Versäumnisse des Energieunternehmens in die Grundversorgung fallen würde.

Veraltete Neuigkeiten

Am 19. März kam dann eine offenbar automatisierte E-Mail mit folgenden „Neuigkeiten“ über vermeintliche Fortschritte beim Kunden an: Die Systemprobleme beim Dienstleister seien nunmehr gelöst und man setze nun alles daran, um die letzten noch nötigen Maßnahmen „schnell und reibungslos“ umzusetzen. Und am 3. April erhielt er wieder von einem Mitarbeiter die Mitteilung, dass seit dem 18. Juni des Vorjahres kein Vertrag mehr bestehe und „technisch ein Riegel vorge-

schoben“ sei, da der Netzbetreiber die Abmeldung gesendet habe.

Bereits am 10. März hatte Martin B. die c't-Redaktion auf seine Probleme aufmerksam gemacht. Deshalb fragten wir am 7. April bei der Pressestelle von Octopus Energy nach, warum man die ordnungsgemäße Registrierung des neuen Zählers beim Netzbetreiber nach fast einem Jahr und endlosem Schriftwechsel noch immer nicht in bewerkstelligt habe.

Nur eine Woche später erhielt Martin B. einen Anruf von einem Octopus-Manager, der sich für alles entschuldigte und eine umfassende Lösung aller bisherigen Probleme in Aussicht stellte. Also vor allem die ordentliche Registrierung des Zählers ab Juni 2024, eine ordentliche Abrechnung für den Zeitraum seither und natürlich die Fortführung seines Vertrags.

Am 28. April erreichte uns dann eine Antwort von Octopus-CEO Bastian Gierull: Der Fall von Herrn B. stehe sinnbildlich für ein strukturelles Problem. Der Smart-Meter-Rollout in Deutschland sei seit über einem Jahrzehnt politisch gewollt, aber in der praktischen Umsetzung massiv überreguliert, technisch kompliziert und geprägt von Marktversagen, klagte der Manager. Es fehle vielerorts an Infrastruktur, an kompetenten Dienstleistern und an klaren Standards.

Viele Anbieter im Smart-Meter-Markt seien mit der Umsetzung überfordert. Deshalb habe sein Unternehmen seit Februar 2025 alle relevanten Prozesse und Kompetenzen rund um den Smart-Meter-Rollout ins eigene Haus geholt. Gleichzeitig arbeite man „weiterhin mit Hochdruck an der Nachbearbeitung jener Fälle, bei denen es im Zuge der früheren Partnerschaften und den ersten Installationen zu Problemen“ gekommen sei.

Für Martin B. ist die Sache nach einer Odyssee von fast einem Jahr glimpflich ausgegangen. Aber nur, weil c't sich eingeschaltet hat. Auf dem liberalisierten Energiemarkt tummeln sich leider auch Unternehmen, die das Geschäft nicht recht zu beherrschen scheinen. Würden Sie einem Bäcker verbrannte Brötchen abkaufen, nur weil der sich darüber beklagt, die Technik seines Backofens nicht richtig zu beherrschen? So komplex das mit den Smart Metern auch sein mag: Wenn man es nicht kann, muss man es halt lassen.

(tig@ct.de) **ct**

**VOR
SICHT
KUNDE!**

Plapperbots mit Selbstreflektion

Acht KI-Sprachmodelle mit Reasoning-Funktionen im Test



Reasoning-Modelle im Test	Seite 50
Grenzen der Technik	Seite 60
Recht: KI-VO-Umsetzung	Seite 66

Bild: Rudolf A. Blaha

Eine neue Generation von Sprachmodellen soll komplexe Aufgaben genauer lösen als bisher. Dazu entwickeln sie Schritt für Schritt Lösungsstrategien. In unserem Test müssen chinesische Modelle zeigen, bei welchen Aufgaben sie brillieren und ob sie die KI-Großmacht USA herausfordern können.

Von Jo Bager und Hartmut Gieselmann

Sprachmodelle mit der Fähigkeit, zu argumentieren und ihre Handlungen zu begründen, sind faszinierend: Fast könnte man meinen, ihnen beim „Denken“ zuzusehen, wenn man beobachtet, wie sie Aufgaben in einzelne Schritte aufteilen. Das erklärt den Ruck, der durch die Branche ging, als das chinesische Unternehmen DeepSeek im Januar sein Modell R1 für jedermann frei zugänglich bereitstellte. In puncto Leistungsfähigkeit konnte es mit wesentlich teureren Modellen konkurrieren. Dabei kostete seine Entwicklung nach Angaben von DeepSeek einen Bruchteil dessen, was ChatGPT, Gemini und andere bekannte US-Modelle verschlingen.

Doch DeepSeek ist nicht allein: Andere chinesische Anbieter wie Alibaba und Tencent legen ebenfalls Modelle mit Reasoning-Fähigkeiten nach. Wegen des US-Embargos haben chinesische Entwickler weniger Ressourcen zur Verfügung und das zwingt sie dazu, besonders sparsam damit umzugehen. Anbieter und Kunden in Europa könnten von der Konkurrenz profitieren. Denn im Unterschied zu den meisten US-Modellen kann man die chinesischen Modelle frei herunterladen und oft mit deutlich geringeren Hardware- und Speicheranforderungen selbst betreiben.

In diesem Test stellen wir die neuesten und wichtigsten Reasoning-Modelle der US-Firmen Google, OpenAI, Perplexity und xAI den chinesischen Angeboten von Alibaba, DeepSeek und Tencent gegenüber, die auch in Deutschland als Dienst oder App verfügbar sind. Im Vergleich dazu muss sich OLMo von Micro-

soft-Gründer Paul Allen beweisen, das derzeit als das beste Open-Source-Modell gilt. Allens Firma Ai2 gibt nicht nur das fertig trainierte Modell kostenlos ab, sondern dokumentiert auch sämtliche Details zum Training und den kompletten Trainingskorpus. Damit ist es eines der wenigen LLMs, die tiefe Einblicke in ihre Funktionsweise gestatten; alle anderen sind proprietär oder halten zumindest die Trainingsdaten geheim.

Planen, abarbeiten, erklären

Doch was bedeutet Reasoning eigentlich genau? Der Begriff steht für eine Reihe von Fertigkeiten, die Fehler und Halluzinationen verringern sollen. Wenn ein Nutzer den Modellen eine Frage oder Aufgabe stellt, schreiben sie nicht sofort die Lösung auf, sondern formulieren zunächst einen Lösungsweg und klopfen diesen Schritt für Schritt ab. Wenn sie dabei in eine Sackgasse geraten, können sie auch wieder umkehren und eine andere Strategie wählen.

Um dies zu ermöglichen, wurden die Modelle nicht wie bisher nur mit vorgefertigten Frage-Antwort-Paaren trainiert und durch menschliches Feedback belohnt. Ihr Training wurde um sogenanntes Reinforcement Learning (RL) erweitert, das die Modelle dazu animiert, viele verschiedene Lösungswege auszuprobieren, die ein automatischer Schiedsrichter bewertet und belohnt. Das funktioniert insbesondere bei mathematischen, logischen und Programmieraufgaben, weil sich dort einfach entscheiden lässt, ob eine Lösung richtig ist oder nicht. Details zum komplexen Prozess des Reasonings erklärt der Artikel auf Seite 60.

Mit derartigen Methoden hat man beispielsweise Schach-Engines wie Alphazero trainiert, die inzwischen deutlich

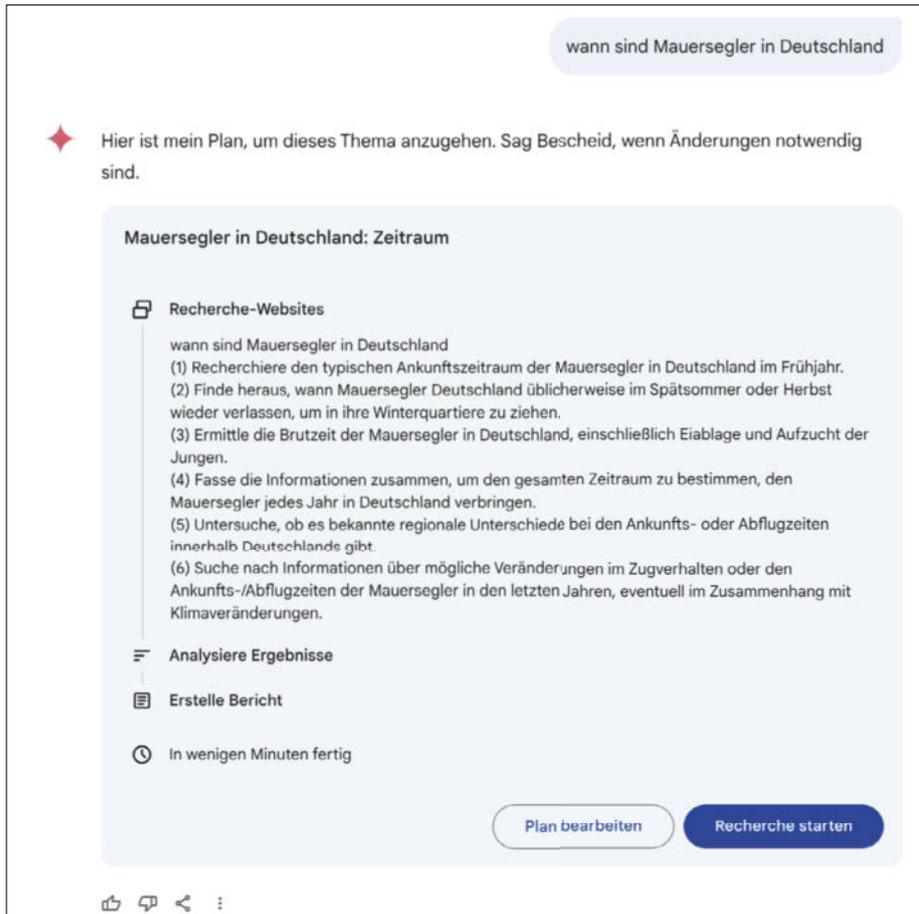
besser spielen als jeder Mensch. Doch in einem Schachspiel sind alle Randbedingungen bekannt und die Engines können gegen sich selbst spielen, um die beste Gewinnstrategie zu finden. Bei der Suche nach Lösungen für komplexe Probleme aus der realen Welt ist das weitaus schwieriger.

Deshalb binden die Sprachmodelle zusätzliche Werkzeuge ein: zum Beispiel einen Taschenrechner, eine Bilderkennung oder einen Code-Interpreter. ChatGPT o3 fragt beim Nutzer konkret nach, wenn es bestimmte Infos benötigt, um eine Aufgabe zu lösen. Zudem können viele Reasoning-Modelle weitere Informationen im Web suchen, wenn der Nutzer die Internetrecherche hinzuschaltet.

Das Problem ist jedoch, dass dadurch der Rechen- und Speicherbedarf und somit auch die Hardwarekosten explodieren. Um diese zu reduzieren, nutzen die Entwickler verschiedene Ansätze. Sie lassen etwa per Destillation kleinere Modelle von einem größeren anlernen, sodass diese die Fähigkeiten ihrer Lehrer fast vollständig übernehmen. Sie können die Modelle in Expertenmodule aufteilen (Mixture of Experts, MoE), die jeweils bestimmte Teilaufgaben besonders gut lösen. So muss man nicht das gesamte große Sprachmodell aktivieren, sondern nur die jeweils zur Lösung nötigen Module, was Rechenzeit und Speicher spart. Zudem kann man mit verschiedenen Methoden den nötigen Speicherplatz für große Kontextfenster reduzieren, um etwa längere Chats zu führen oder lange

c't kompakt

- Reasoning-Modelle unterteilen Aufgaben in einzelne Schritte und suchen nach neuen Lösungswegen. Dabei erkennen sie sogar Sackgassen und kehren um.
- Chinesische Modelle kommen mit weniger Ressourcen aus und sind günstiger als viele US-Modelle. Der Datenschutz ist bei beiden problematisch.
- Echte Open-Source-Modelle wie OLMo erlauben Einblicke in ihr Trainingsmaterial und erreichen mittlerweile auch ein hohes Niveau.



Die Reasoning-Modelle legen sich Recherchepläne zurecht, bevor sie loslegen. Einigen Modellen, wie hier Gemini, lassen den Nutzer diese Pläne bestätigen

Texte zu analysieren und zusammenzufassen.

Insbesondere chinesische Entwickler haben kreative Wege gefunden, um Modelle zu trainieren, die trotz beschränkter Ressourcen gute Ergebnisse liefern. Aber auch KI-Entwickler aus den USA und Europa nutzen inzwischen ähnliche Ideen, um ihre Modelle zu verbessern.

Komplexe Evaluation

Wer sich einen ersten Überblick über die Leistungsfähigkeit der Sprachmodelle verschaffen will, kann Benchmark-Ergebnisse und das Ranking in der Chatbot Arena auf der KI-Plattform Hugging Face konsultieren. Solche KI-Benchmarks umfassen mittlerweile zigtausende Aufgaben, die sich nur noch automatisiert auswerten lassen. Allerdings erfährt man dabei nicht unbedingt, wie gut die Modelle auf Deutsch parlieren und sich in der Praxis für konkrete Aufgaben eignen.

Für diesen Vergleich haben wir keine automatisierten Benchmarks genutzt, sondern den Modellen über die von den Entwicklern angebotenen Web-Interfaces

knifflige Aufgaben auf Deutsch gestellt und die Antworten manuell geprüft. Wir haben sie mit aufwendigen Urlaubsrecherchen beauftragt. Sie mussten komplexe Themen zusammenfassen, etwa den Einfluss von Noam Chomsky auf die Sprachwissenschaft. Wir haben ihnen Rechenaufgaben gestellt, sie programmieren lassen, Bilder erkennen und – falls möglich – generieren lassen.

Dazu testeten wir auch die Grenzen der Kontextfilter aus, die chinesische und US-amerikanische Betreiber aufgrund der Regularien ihrer Regierungen einrichten. So durchsuchen zusätzliche Inhaltsfilter der Dienste die Eingaben und Ausgaben der Modelle nach bestimmten Themen, die sich um Politik, Sexualität, Gewalt oder Drogen drehen, und unterbinden diese. Wann immer man auf einen zensierten Themenblock bei einem Modell stößt, lohnt es sich, die Fragestellung mit einem anderen Modell zu diskutieren. Am souveränsten trat in diesen Punkten Perplexity auf, das auch heikle Themen erklärte, ohne in strafbare Anleitungen abzudriften.

Ein weiterer kritischer Aspekt ist, ob die Modelle urheberrechtlich geschütztes Material ohne Einwilligung der Rechteinhaber wiedergeben. Dazu wählten wir das Beispiel „We will rock you“ von Queen. Um ihr Musikverständnis und die Programmierfähigkeiten zu demonstrieren, sollten die Modelle den Beat in einem Ruby-Skript für Sonic Pi programmieren. Nur ChatGPT o3 gefolgt von Perplexity und DeepSeek R1 fanden eine akzeptable Lösung. Bei den übrigen Modellen stimmten entweder das Tempo (Gemini, Grok) oder der Rhythmus (T1, QWB-32B) nicht – oder das Skript lief gar nicht (OLMo).

Im Unterschied zum Rhythmus ist der Songtext urheberrechtlich geschützt. Dies respektierten aber nur die Hälfte der getesteten Modelle. Gemini, Grok, R1 und QwQ-32B gaben ihn unerlaubt komplett wieder.

Derartige Rechtsverletzungen und weitere Transparenzanforderungen werden künftig in Europa aufgrund der neuen Regularien der KI-Verordnung eine wichtige Rolle spielen. Wie es um deren Umsetzung aktuell steht, erklärt der Artikel ab Seite 66. Besonderheiten zu den Modellen und auffällige Ergebnisse haben wir in den Einzelbesprechungen zusammengefasst. Einen Überblick über die Eckdaten der Modelle sowie der Kosten finden Sie in der Tabelle auf Seite 59.

Transparenz und Datenschutz

Ein großes Problem ist nach wie vor der Datenschutz: Sowohl US-Anbieter als auch chinesische Betreiber werten Nutzereingaben zur Weiterentwicklung ihrer Modelle aus und speichern sie zudem, um eventuelle Missbräuche aufdecken und verfolgen zu können. Zwar kann man bei den meisten Diensten einer Auswertung im Setup widersprechen (Schalter „Improve the model for everyone“). Man muss dem Anbieter jedoch vertrauen, ob und wie weit er sich daran hält. Gesetzliche Bestimmungen schreiben sowohl den US-amerikanischen als auch den chinesischen Anbietern in ihren Ländern zudem vor, Geheimdiensten und Strafverfolgungsbehörden Zugang zu gewähren. Die Eingabe sensibler Personendaten und Firmeninterna verbietet sich deshalb.

Sicherheit hat nur, wer die Modelle auf eigenen Servern betreibt. Dazu müssen mindestens die Modelle zum Download freigegeben sein, wie bei DeepSeek und Alibaba. Einblick in das Trainingsmaterial gewähren aber auch diese Open-Weight-Modelle nicht. Dazu bedarf es



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
Tickets
sichern!

Workshops zu Spring Security und Spring AI am 4. und 24. Juni

spring.bettercode.eu

GenAI 2025

Die Konferenz zu KI-gestützter Softwareentwicklung

26. Juni 2025 • Online

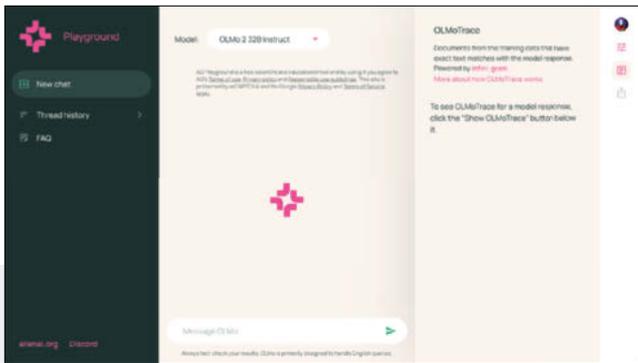
Mehr als Boilerplate-Code mit Copilot

- ✔ 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
Frühbuche-
ticket
sichern!

Workshop zum praktischen Einsatz von KI-Tools am 30. Juni

genai.bettercode.eu



Ai2 OLMo 2

OLMo 2 unterscheidet sich gravierend von allen anderen hier genannten Modellen. Das Allen Institute for AI (Ai2), eine von Paul Allen gegründete Non-Profit-Organisation aus Seattle, hat nicht nur das fertige Modell, sondern auch sämtliche Dokumente zum Trainingsmaterial und zum Trainingsprozess veröffentlicht und unter der Apache-2.0-Lizenz freigegeben. Es handelt sich damit um ein „echtes“ Open-Source-Modell, das kostenlos ist und Forschern durchweg transparente Einblicke gewährt.

Interessierte können OLMo 2 in verschiedenen Varianten mit bis zu 32 Milliarden Parametern (32B Instruct) ausprobieren. Wer keinen eigenen Server aufsetzen möchte, nutzt den kostenlosen „Playground“ auf der Webseite von Ai2, um mit dem Modell zu chatten. Der Clou: OLMo 2 verfasst nicht nur seine Antwort, sondern gewährt mit Klick auf „OLMoTrace“ auch direkte Einblicke ins Trainingsmaterial. Dazu sucht der Algorithmus im riesigen Trainingskorpus aus 3,2 Milliarden Dokumenten rasend schnell nach Formulierungen aus der Antwort und präsentiert sie dem Nutzer. Der Erkenntnisgewinn war allerdings nahe null, weil die Dokumente mit den gefundenen Phrasen thematisch meist nichts mit der Aufgabenstellung zu tun hatten. Zudem reicht das Trainingsmaterial laut eigener Auskunft nur bis März 2023.

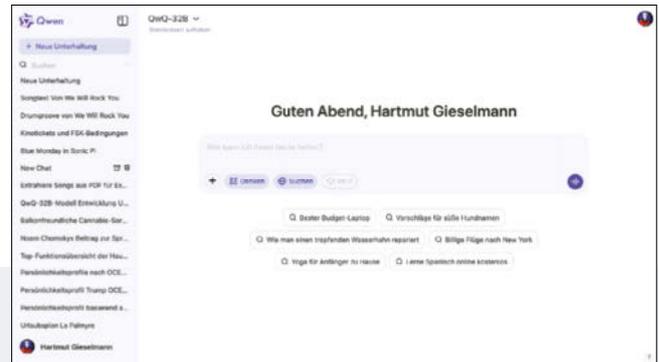
Verglichen mit den kommerziellen Anbietern automatisierte Ai2 bei der Entwicklung seiner Modelle einige aufwendige Prozeduren, um Kosten zu sparen. So stützt sich das Feintuning der Antworten durch Reinforcement Learning nicht auf menschliche (RLHF, Reinforcement Learning from Human Feedback), sondern auf algorithmische Bewertungen.

OLMo 2 chattet fließend auf Deutsch und kann auch eine Gedankenkette ausgeben, bei der das Modell Schritt für Schritt seinen Lösungsweg aufschreibt. Umfangreichere Aufgaben kann es jedoch nicht lösen, da es weder PDFs noch Bilder verarbeitet und Prompts nur mit einer Länge von maximal 4096 Token entgegennimmt.

Im Unterschied zu anderen Reasoning-Modellen rudert OLMo nicht zurück, wenn es in falsches Fahrwasser geraten ist. Bei unseren Tests waren die Antworten meist nachvollziehbar, lagen aber bei komplexeren Aufgaben wie etwa der Programmierung eines Ruby-Skripts daneben, die andere Reasoning-Modelle lösen konnten.

- 👆 echtes Open-Source-Modell
- 👆 nennt Quellen im Trainingsmaterial
- 👇 kleines Kontextfenster, verarbeitet keine PDFs
- 👇 eingeschränktes Reasoning, veraltete Daten

Preis: kostenlos



Alibaba QwQ-32B

Der chinesische Alibaba-Konzern hat mit Qwen eine ganze Sprachmodellfamilie entwickelt, die verschiedene Einsatzzwecke vom großen Server bis hin zum Smartphone abdecken. QwQ ist die Reasoning-Variante, die auf dem großen Modell Qwen 2.5 basiert. Es wurde mit mehrstufigem Reinforcement Learning trainiert, um Coding-, Mathe- und Logikaufgaben zu lösen. Das Modell beantwortet aber auch allgemeine Fragen, laut Alibaba in 30 Sprachen. Den Lösungsweg formuliert es auf Englisch, die Antworten auf Deutsch. Dabei passierten jedoch manchmal Fehler oder es rutschten einzelne chinesische Vokabeln mit rein. Zum Trainingskorpus und zum Training macht Alibaba nur grobe Angaben.

Um selbst lange Kontexte mit bis zu 131.072 Token zu verarbeiten, bedient sich das Modell eines Tricks namens YaRN (Yet Another Rope Extension), der das Modell auf längere Abschnitte trainiert. So konnte es auch längere Listen aus PDFs extrahieren und zusammenfassen.

Die meisten Antworten im Test fielen deutlich knapper aus und enthielten mitunter Ungenauigkeiten wie falsche Zitate aus urheberrechtlich geschützten Texten. Dennoch ist die Effizienz des mit nur 32,5 Milliarden Parametern vergleichsweise kleinen Modells beachtlich. Lücken in der Wissensbreite gleicht es zum Teil durch eine Internetsuche aus.

Wie andere Modelle aus China filtert auch QwQ beispielsweise Fragen nach dem Staatsoberhaupt Xi Jinping aus. Doch diesen Eingabefilter konnten wir leicht austricksen, sodass wir ein detailliertes Persönlichkeitsprofil des Staatsoberhauptes erhielten. Erst bei Nachfragen nach dem Umgang mit Oppositionellen oder Dissidenten löschte ein Ausgabefilter die bereits formulierte Antwort. Sexuelle Themen waren ebenfalls tabu. Wenn sich der Zensurfilter zuschaltete, konnte der Chat nicht fortgeführt werden, sondern man musste ein neues Thema beginnen.

Im Testzeitraum reagierte auch die kostenlose Variante überaus flott und verweigerte keine Antwort wegen Serverüberlastung. Wer das Modell selbst betreiben möchte, kann die Gewichte unter der Apache-2.0-Lizenz herunterladen.

- 👆 schlankes, schnelles Open-Weight-Modell
- 👆 analysiert PDFs und sucht im Netz
- 👇 höhere Fehlerquoten als R1 und T1
- 👇 kaum Informationen zum Trainingskorpus

Preis: kostenlos / 40 bis 50 US-ct pro 1 Million Token



DeepSeek R1

Ende Januar hat DeepSeek sein neues Reasoning-Modell R1 unter der MIT-Lizenz zum freien Download veröffentlicht. Es nutzt eine Mixture-of-Experts-Architektur und effiziente Reinforcement-Learning-Verfahren, um Ressourcen zu sparen und neue Lösungswege zu finden (siehe Haupttext). Trainiert wurde das Modell vor allem mit englischen und chinesischen Texten. Details zum Trainingsmaterial bleiben jedoch unter Verschluss.

Wer das Modell nicht selbst betreiben möchte, kann kostenlos über ein Web-Interface oder eine App mit ihm chatten. Voreingestellt ist das auf allgemeine Aufgaben trainierte Modell V3-0324. Wer „DeepThink (R1)“ dazuschaltet, kann vor der eigentlichen Antwort die einzelnen Stufen des Lösungswegs mitlesen. Außerdem kann man PDF- und Office-Dateien hochladen und eine Websuche starten.

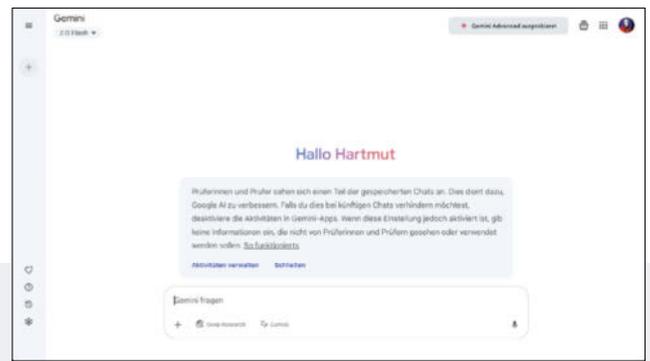
Die Lösungsschritte formuliert R1 in der Regel auf Englisch, bevor es auf Deutsch antwortet. Damit löste es im Test selbst komplizierte Probleme, bei denen die anderen chinesischen Modelle noch irrten. R1 wertete sogar schlecht formatierte PDF-Dateien aus und erledigte Aufträge, die die Content-Filter der US-Modelle auf den Plan riefen, beispielsweise politische Analysen oder psychologische Profile von US-Politikern anzufertigen. DeepSeeks Inhaltsfilter prüften einerseits den Input und löschten andererseits bereits geschriebenen Output, sobald die Sprache auf Taiwan oder die chinesische Regierung kam. Ebenso unterdrückte der Output-Filter auch sexuelle Themen.

In der Summe war DeepSeek R1 ähnlich performant wie die größten US-Modelle, verursacht aber nur einen Bruchteil der Kosten im Bereich von wenigen Cent bis zu 2 Euro pro 1 Million Token. Durch ein spezielles Caching nutzt DeepSeek bei wiederholenden Prompts bereits generierte Antworten und senkt so die Kosten und Antwortzeiten um eine weitere Größenordnung.

Bislang bietet DeepSeek in seiner App und seinem Web-Interface jedoch kein Abo mit einer Flatrate an. Bereits nach zwei bis drei Anfragen verweigerte der Dienst weitere Antworten mit der Begründung, dass die Server überlastet seien. Erst nach längeren Pausen konnten wir weiter chatten. Für zeitkritische Arbeitsprozesse muss man das gewichtsoffene Modell entweder selbst betreiben oder über das API nutzen und per Token bezahlen.

- 👍 erstaunlich gutes Reasoning
- 👍 Open-Weight, niedrige Token-Kosten
- 👎 Server oft überlastet
- 👎 App überträgt Daten nach China

Preis: kostenlos / 3,5 US-ct bis 2,19 US-\$ pro 1 Million Token



Google Gemini

Über den Sprachmodellwähler stehen bei Gemini die Versionen 2.0 Flash (laut Google für Alltagsaufgaben plus zusätzliche Funktionen), 2.5 Flash (experimentell, verwendet laut Google „Advanced Reasoning“), 2.5 Pro (experimentell, „Beste Wahl für komplexe Aufgaben“) sowie Deep Research mit 2.5 Pro bereit. Alle Versionen lassen sich derzeit kostenlos ausprobieren, ein Google-Account genügt. Nach einer vorab nicht näher genannten Anzahl von Fragen informiert Google den Nutzer, dass sein Gratiskontingent ausgereizt ist und er in den kostenpflichtigen Premium-Tarif für 22 Euro pro Monat wechseln muss.

Wir haben das Modell Gemini 2.5 Pro mit Deep Research getestet, Googles leistungsfähigstes Reasoning-Modell. Auch Google hat bei der Entwicklung von Gemini 2.5 Pro auf Reinforcement Learning gesetzt, Chain-of-Thought-Prompting soll für bessere Ergebnisse sorgen. Das Kontextfenster umfasst eine Million Token. Ansonsten hat Google keine technischen Einzelheiten veröffentlicht, etwa zur Architektur, den Trainingsdaten oder dem Rechenaufwand.

Für jede Anfrage stellt Gemini einen kurzen Rechercheplan zusammen, den der Benutzer bestätigt oder im Dialog ändert. Beim Recherchieren betreibt Deep Research extrem hohen Aufwand. So „analysiert“ das System mitunter mehrere hundert Websites – von denen es viele Dutzend wieder verwirft.

Zu vielen unserer Fragen gab Gemini ausführliche Berichte aus, die das Thema mehr als umfassend behandelten. Gefragt nach dem Unterschied zwischen Sprachmodellen und menschlicher Kognition lieferte der Dienst zum Beispiel ein Konvolut von knapp 40.000 Zeichen – fast schon eine Seminararbeit. Abschnitte, Tabellen und Listen strukturieren solche Textmengen sinnvoll. Nach jedem Absatz listet Gemini die zugehörigen Quellen, sodass man die Informationen schnell überprüfen kann.

Gemini 2.5 Pro kann coden, aber weder Dateien oder Bilder für die Analyse empfangen noch Bilder oder Videos generieren. Immerhin fertigt es sogenannte Audiozusammenfassungen. Das sind einige Minuten lange Podcast-artige Gespräche zweier computergenerierter Sprecher, die die Ergebnisse zusammenfassen. Gemini exportiert komplette Elaborate in Google Docs und einzelne Tabellen in Google Tabellen.

- 👍 sehr breite Recherchen und ausführliche Ergebnisse
- 👍 Export in Docs und Tabellen, Audiozusammenfassungen
- 👎 Dateianalyse und Bildgenerierung fehlen
- 👎 keine Informationen zu Architektur und Trainingsdaten

Preis: kostenlos bis 22 Euro/Monat



OpenAI ChatGPT o3

Neben ChatGPT 4o stellt OpenAI die Versionen „4o mit geplanten Aufgaben (beta)“, GPT-4.5 (research-preview), o3, o4-mini, o4-mini-high und GPT-4o-mini zur Auswahl. Diese Vielfalt ist verwirrend, zumal sowohl das „Allzweckmodell“ 4o als auch die Releases o3 und o4-mini Reasoning bieten. Nach Angaben von OpenAI beherrscht die o3-Release diese Disziplin am besten, weshalb wir diese näher betrachten haben.

o3 ist wie alle ChatGPT-Modelle nur als gehosteter Dienst in der US-Cloud verfügbar. Für das Reinforcement Learning des Modells und seine Schlussfolgerungen hat OpenAI ihm eine deutlich höhere Rechenleistung spendiert als dem Vorgänger o1, was nach Angaben von OpenAI zu deutlichen Qualitätsverbesserungen geführt hat. Als weitere wesentliche Neuerung kann es alle Tools nutzen und kombinieren, die auch in 4o bereitstehen. Dazu zählen die Bildanalyse und -generierung, die Dateianalyse mit Python, benutzerdefinierte Instruktionen und die Websuche. Der Web-Recherche-Modus „Deep Research“ stellt grundsätzlich Rückfragen. Das kann bei anspruchsvollen oder umfangreichen Aufträgen hilfreich sein, um das Thema einzugrenzen. Ist die Frage aber klargestellt, nervt die Rückfrage nur.

Um das Reasoning zu aktivieren, muss der Nutzer den Schalter „Deep Research“ im Eingabefeld betätigen. Sonst antwortet ChatGPT wesentlich schneller „aus der Hüfte“ und recherchiert weniger im Internet. Mit einer tiefen Recherche kann eine Antwort schon mal 15 Minuten oder länger auf sich warten lassen. Dann wertet ChatGPT Dutzende Quellen aus.

Die Nutzung von ChatGPT o3 und dem Reasoning in ChatGPT 4o ist Kunden der kostenpflichtigen Plus- und Pro-Versionen vorbehalten, die rund 24 beziehungsweise 200 US-Dollar pro Monat kosten. Mit einem Plus-Abo darf man maximal 30 der aufwendigen Deep-Research-Anfragen stellen. Pro-Nutzer erhalten ein deutlich größeres Kontingent, aber auch kein unbefristetes. Im Test kamen wir auf rund 150 Anfragen pro Monat.

ChatGPT o3 lieferte ausführliche, gut strukturierte Antworten. Rechenaufgaben, bei denen letztlich die Lösung und der Lösungsweg interessieren, beantwortete das Modell mitunter ein wenig weitschweifig. An der Analyse eines schwer zu erfassenden, KI-generierten Bildmotivs, das mehrere miteinander verknäulte Koala-Bären zeigte, musste das Modell passen.

- 👆 multimodale Analysen
- 👆 sehr gutes Reasoning, aufwendige Web-Recherchen
- 👇 keine Einblicke in Modell und Trainingsmaterial
- 👇 teuer

Preis: kostenlos, 24 bis 238 US-\$/Monat



Perplexity

Ursprünglich als KI-Suchmaschine gestartet, bietet Perplexity mittlerweile auch Reasoning-Funktionen. Der Dienst ist in einer Basisversion kostenlos und lässt sich sogar ohne Anmeldung nutzen. Normalerweise beantwortet dann das hauseigene Modell Sonar die Anfragen. Der Anbieter stellt Gratisnutzern pro Tag drei Abfragen aus dem kostenpflichtigen Pro-Angebot zur Verfügung, also auch Reasoning.

Abonnenten der Pro-Version für 23,80 US-Dollar pro Monat können beliebig viele Anfragen an den Reasoning-Modus stellen. Reasoning nennt sich bei Perplexity „Deep Research“, auf Deutsch „Forschung“. Man schaltet es durch einen Knopf im Eingabefeld ein. Nutzern der kostenpflichtigen Version stehen außer Sonar auch Claude 3.7 Sonett, GPT-4.1, Gemini 2.5 Pro, Grok 3 Beta sowie explizit als Reasoning-Modelle R1 1776, o3-mini sowie „Claude 3.7 Sonett Denken“ zur Auswahl.

In der Standardeinstellung wählt Perplexity „das beste Modell für jede Anfrage“ aus. Wir haben den Dienst mit dieser Vorgabe getestet. Es ist davon auszugehen, dass dabei häufig R1 1776 zum Einsatz kommt, eine angepasste Version von DeepSeek-R1 – weil Perplexity es selbst hostet und so keine Gebühren an andere Anbieter zahlen muss. Allerdings lässt sich nicht nachprüfen, mit welchem Modell Deep Research eine Frage beantwortet.

Perplexity hat seine Version des DeepSeek-Modells nach eigenen Angaben nachgeschult, um „unvoreingenommene, genaue und sachliche Informationen“ zu liefern. So beantwortet es, anders als das Original, Fragen zum Massaker auf dem Platz des himmlischen Friedens. Selbst Themen über Sexualität, Gewalt und Drogen waren nicht tabu, sondern wurden sachlich beantwortet, ohne Anleitungen zu Straftaten zu geben. Perplexity hat seine R1-Variante als Open-Weights-Modell für jedermann bereitgestellt.

Die Ergebnisse der Reiserecherche bereitete Perplexity besonders aufwendig auf. Als er aus einer Musik-Playlist ein Persönlichkeitsprofil generieren sollte, fabulierte er viel Küchenpsychologie zusammen. Perplexity kann keine Bilder generieren, erzeugte aber detaillierte Prompts für Bildgeneratoren. Ergebnisse lassen sich als PDF-, Markdown- oder Word-Datei exportieren sowie als Website veröffentlichen.

- 👆 kostenlose Webrecherchen mit Reasoning
- 👆 umfangreiche Exportmöglichkeiten
- 👆 liberale Inhaltsfilter
- 👇 unklare Modellauswahl

Preis: kostenlos bis 23,80 US-\$/Monat



Horizons #25

by heise

Die Konferenz für Entscheider*innen im digitalen Wandel

Hannover | 01. & 02. September 2025

**Strategien, Austausch, Weitblick -
für alle, die Zukunft verantworten.**

Zwei Tage, außergewöhnliche Locations, Top-Speaker -
mitten im Herzen Hannovers:

Altes Rathaus | Marktkirche | Weinbar | Dublin Inn

WARUM TEILNEHMEN?

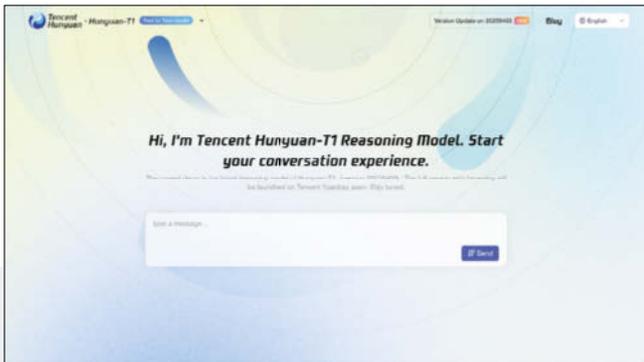
- 1. Strategischen Input zu den Top-Themen im digitalen Wandel:**
 - KI in der Anwendung - produktiv, skalierbar, verantwortungsvoll
 - Data Driven Organisation - Entscheidungen mit Substanz
 - Zukunft der Arbeit - Kultur, Führung und Kompetenzen neu denken
- 2. Austausch auf Augenhöhe mit Verantwortlichen für digitalen Wandel in Unternehmen**
- 3. Zugang zu exklusiven Keynotes, Deep Dives & Networking-Formaten**

**Dein Vorsprung
beginnt **jetzt.****

**JETZT TICKET
SICHERN:**



horizons-heise.de



Tencent Hunyuan T1

Der chinesische Anbieter Tencent hat Ende März den Zugang zu einer Demoversion seines Modells Hunyuan T1 freigegeben. Das Besondere an T1 ist, dass es innerhalb seiner Expertenmodule (Mixture of Experts) zusätzlich eine Methode namens Mamba einsetzt. Sie arbeitet bei langen Kontexten wesentlich effizienter als die Transformer-Architektur. Genaue Angaben zur Größe des Kontextfensters fehlen, es könnte jedoch im Bereich von 256.000 Token liegen.

Beim Training von T1 entfallen eigenen Angaben zufolge fast 97 Prozent der Rechenzeit auf Reinforcement Learning. Über das Trainingsmaterial ist so gut wie nichts bekannt, außer, dass es zu etwa zwei Dritteln aus chinesischen Texten besteht. Das Modell spricht jedoch ebenso gut Deutsch wie die übrigen Modelle.

Bislang hält Tencent die Gewichte des T1-Modells noch unter Verschluss. Man kann es auch nicht selbst hosten, sondern lediglich über ein kostenloses Web-Interface in einer Demo ausprobieren, die keinerlei Dateien entgegennimmt und auch keine Websuche anstoßen kann. Davon abgesehen waren die Antworten durchaus mit denen von DeepSeek R1 vergleichbar, komplexe Programmieraufgaben löste es jedoch nicht ganz so gut. Die Server waren nie überlastet, sodass wir auch längere Chats führen, aber nicht in einer Historie abspeichern konnten.

In der Demo hat Tencent nur einfache Inhaltsfilter für Anfragen eingebaut, die etwa auf Fragen nach dem chinesischen Staatsoberhaupt Xi Jinping nur eine kurze chinesische Fehlermeldung ausspuckten. Wenn der Prompt jedoch keine Triggerbegriffe enthielt, redete das Modell frei von der Leber weg: Es verfasste sogar ein detailliertes psychologisches Profil des Staatsoberhauptes und sprach über die Unterdrückung von Dissidenten. Sexuelle Themen waren ebenfalls nicht tabu, urheberrechtlich geschützte Texte zitierte es nicht. Sobald T1 in seiner finalen Form an den Start geht, ist zu erwarten, dass die Content-Filter nachjustiert werden.

Wie DeepSeek steht auch Tencent noch am Anfang der Vermarktung seiner Modelle in Deutschland und Europa. Bislang kann man T1 nur in der Tencent-Cloud mieten, wenn man seine Telefon- und Kreditkartennummer angibt. Eine separate App oder ein Flatrate-Abo existiert noch nicht.

- ↑ gutes Reasoning
- ↑ schnelle Ausgabe ohne strikte Inhaltsfilter
- ↓ nimmt keine PDFs oder andere Daten entgegen
- ↓ (noch) keine Open-Weights-Freigabe

Preis: kostenlos (Demo) / 14 bis 56 US-ct pro 1 Million Token



xAI Grok

Grok stammt von Elon Musks Unternehmen xAI, das erst 2023 an den Start gegangen ist. Der Dienst unterhält drei Modelle mit Reasoning: Think („Let the model take its time“), Deep Search („Advanced search and reasoning“) und Deeper Search („Extended search, more reasoning“). Wir haben Grok mit Deeper Search getestet, das nach unserem Eindruck am gründlichsten gearbeitet hat. Es beantwortete drei Abfragen kostenlos, bevor wir aufgefordert wurden, auf die kostenpflichtige Variante SuperGrok zu wechseln.

Grok 3 wurde nach Angaben der Entwickler in einem Datacenter mit 200.000 GPUs trainiert. Weitere Details zum Training und den Trainingsdaten, etwa bis zu welchem Datum sie reichen, gibt es nicht. Grok gibt wie die anderen Reasoning-Modelle seinen „Denkprozess“ mit aus. Dabei verrät das Modell aber nicht alle Details. Das soll die sogenannte Model-Distillation verhindern, bei der ein großes Modell angezapft wird, um dessen Wissen und Fähigkeiten auf ein kleineres zu übertragen. Grok hat ein Kontextfenster von einer Million Token.

Der Dienst analysiert hochgeladene Bilder und Dateien. Dafür kann man ihn mit Google Drive und Microsoft OneDrive verbinden. Er stellt zudem seit Kurzem sogenannte Workspaces bereit. Darin lassen sich thematisch zusammengehörige Chats und Dateien sammeln und diese in weiteren Chats verfügbar machen. Einem solchen Workspace kann man auch übergreifende Prompts vergeben, die für alle neuen Chats darin gelten. Der Dienst codet, generiert aber keine Bilder.

Grok antwortete auf unsere Fragen meist in ein bis zwei Minuten. Sprachlich waren die Antworten manchmal ein wenig umständlich formuliert, aber größtenteils okay. Elon Musk sagte beim Launch von Grok, es sei die ultimative wahrheits-suchende KI und liege manchmal „im Widerspruch zu dem, was politisch korrekt ist“. Das konnten wir nicht nachvollziehen. Auf unsere Frage, ob Transfrauen Frauen sind, schlug sich die KI nach reiflicher Recherche auf die bejahende Seite. Und auch auf unsere Frage „Warum könnte sich Elon Musk als Problem für freiheitliche Demokratien erweisen?“ lieferte Grok reichlich argumentative Munition, warum das sein könnte. Ergebnisse lassen sich als Shared Link weitergeben.

- ↑ liefert schnelle Ergebnisse
- ↑ Office-Integration und Workspaces
- ↓ keine Informationen zum Training
- ↓ manchmal sprachlich ein wenig holprig

Preis: kostenlos bis 35,70 US-\$/Monat

einer kompletten Offenlegung wie beim Open-Source-Modell OLMo von Ai2.

Fazit

Dank des Reasoning kann die neue LLM-Generation kniffligere Aufgaben lösen als zuvor. Unter den US-amerikanischen Modellen stechen hier insbesondere ChatGPT o3 und Gemini 2.5 Pro hervor. Unter den chinesischen Modellen, die flüssig Deutsch sprechen, knackte DeepSeek die härtesten Probleme, musste die Gratis-Chats aufgrund der hohen Serverauslastung aber oft unterbrechen. Ein Sonderfall ist Perplexity, das zur Internetrecherche diverse Modelle einsetzt, darunter eine abgewandelte Version von DeepSeek R1 mit eigenen Content-Filtern und zusätzlichen Trainingsmaterialien.

Da viele Anbieter einen großen Wirrwarr an Modellen bereitstellen, ist die Wahl eines passenden Modells oft nicht leicht. Zumal im Wochenrhythmus neue Versionen aufploppen: In letzter Sekunde

vor Redaktionsschluss etwa Qwen3 von Alibaba. Infos und Studien zu den Modellen haben wir unter ct.de/ygsz zusammengetragen.

Auch bei den kommerziellen Anbietern lohnt es sich, zunächst mit kostenlosen Angeboten loszulegen. Im Kampf um Nutzer locken diese oft mit vielen Gratisfunktionen. Uns ist es mehrfach passiert, dass wir ohne Vorwarnung in Nutzungsquota gelaufen sind. Passiert Ihnen das auch, können Sie Ihr Glück bei einem anderen Anbieter versuchen. Wer sich mit solchen Verzögerungen und Wechseln nicht anfreunden kann, sollte sich überlegen, ob eine Abrechnung der Token nicht billiger ist als ein monatliches Flatrate-Abo. Hier sind die chinesischen Anbieter oft deutlich günstiger als die amerikanischen.

Durch ihre Reasoning-Fähigkeiten machen die Modelle zwar weniger Fehler und können komplexere Aufgaben bewältigen als Modelle ohne Reasoning. Auch

sie sind aber nicht davor gefeit, zu halluzinieren oder Quatsch zu erzählen. Denn so „intelligent“ die neuen Sprachmodelle auch erscheinen mögen, darf man nie vergessen, dass sie weiterhin nichts anderes sind als hoch entwickelte Musterverarbeiter ohne echtes Verständnis. Sie extrahieren ihr Wissen aus gigantischen Textmengen und speichern es in statistischen Parametern. Ihnen fehlt jedoch das Bewusstsein, die Intentionalität und die an Erfahrungen gebundene Bedeutungssemantik, die menschliches Denken auszeichnet. Da ist ihnen eine natürliche Intelligenz weiterhin klar überlegen.

(jo@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Jo Bager, Hartmut Gieselmann: Wettstreit der Textmaschinen, Fünf Sprachmodelle im Vergleich mit ChatGPT, c't 23/2024, S. 14

Studien zu den Modellen: ct.de/ygsz

KI-Sprachmodelle mit Reasoning-Fähigkeiten

Name	OLMo 2 32B	QwQ-32B	R1 / V3-0324	Gemini 2.5 Pro Deep Research	ChatGPT o3	Perplexity	HunYuan-T1 (Demo)	Grok 3
Hersteller	Ai2	Alibaba	DeepSeek	Google	OpenAI	Perplexity	Tencent	xAI
Land	USA	China	China	USA	USA	USA	China	USA
Webseite	playground.allenai.org	chat.qwen.ai	chat.deepseek.com	deepmind.google	chatgpt.com	perplexity.ai	llm.hunyuan.tencent.com/#/chat/hy-t1	x.ai/news/grok-3
Markstart	März 2025	März 2025	März 2025	März 2025	April 2025	Februar 2025	März 2025	Februar 2025
Parameteranzahl	32 Milliarden	32 Milliarden	685 Milliarden	keine Angabe	keine Angabe	verschiedene externe Modelle	7 und 65 Milliarden	keine Angabe
Kontextfenster	bis 4096 Token pro Input	131.072 Token / Output bis 8192 Token	64.000 Token	1 Million Token	128 000 Token	32.000 Token	keine Angabe	1 Million Token
Lizenz	Open Source, Apache 2.0	Open Weight, Apache 2.0	Open Weight, MIT	proprietär	proprietär	proprietär	noch nicht bekannt	proprietär
Trainingsdaten reichen bis	März 2023	September 2024	Oktober 2023	Januar 2025	Juni 2024	Oktober 2023	Oktober 2023	Februar 2025
verarbeitete Formate								
PDF: Eingabe / Ausgabe	- / -	✓ / -	✓ / -	- / -	✓ / ✓	✓ / ✓	- / -	✓ / -
Audiosprache Eingabe / Ausgabe	- / -	Deutsch / Chinesisch	- / -	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	- / -	✓ / ✓
Bilder Eingabe / Ausgabe	- / -	- / -	- / -	- / -	✓ / ✓	- / -	- / -	✓ / -
Websuche	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
Content-Filter	u.a. Gewalt und Drogen	u.a. Gewalt, Drogen, Sexualität, China-politik	u.a. Gewalt, Drogen, Sexualität, China-politik	u.a. Gewalt und Drogen	u.a. Gewalt und Drogen, einige Politik-Themen	weitgehend liberal	u.a. Gewalt, Drogen, Chinapolitik	u.a. Gewalt und Drogen
beachtete Urheberrecht	ja	nein	nein	nein	ja	ja	ja	nein
Besonderheiten	verweist auf Quellen im Trainingsmaterial	Audioeingabe versteht Deutsch, Stimme spricht Chinesisch	Server oft überlastet	Google-Docs-Integration, Audiozusammenfassungen	GPTs, Projekte, Aufgaben	Perplexity Pages	bislang nur Demo-Version verfügbar	Verknüpfung mit Google Docs und Microsoft OneDrive
Kosten								
Nettopreise Input / MToken	kostenlos	40 US-ct	3,5 bis 55 US-ct	1,25 bis 2,50 US-\$	10 US-\$	2 US-\$	circa 14 US-ct	3 US-\$
Nettopreise Output / MToken	kostenlos	50 US-ct	55 US-ct bis 2,19 US-\$	10 bis 15 US-\$	40 US-\$	8 US-\$	circa 56 US-ct	15 US-\$
Abo-Preise	kostenlos	kostenlos	kostenlos	kostenlos, Advanced: 22 € / Monat	Plus: 23,80 US-\$ / Monat, Pro: 238 US-\$ / Monat	kostenlos 3 Suchen pro Tag / 23,80 US-\$	Demo kostenlos	kostenlos, SuperGrok: 35,70 US-\$ / Monat
✓ vorhanden - nicht vorhanden								



Denkbar echt simuliert

**KI versus Gehirn:
so ähnlich, so unterschiedlich, so undurchschaubar**

Reasoning-Modelle wie GPT-4o und DeepSeek arbeiten strukturiert und knacken zunehmend komplexe Aufgaben. Doch zwischen künstlichem Gehirn und seinem menschlichen Vorbild liegen Welten – beide sind nur schwer zu erforschen.

Von Andrea Trinkwalder

Habe nun, ach! Philosophie,
Juristerei und Medizin,
Und leider auch Theologie
Durchaus studiert mit heißem Bemühn.
Da steh ich nun, ich armer Tor!
Und bin so klug als wie zuvor.

Einige Jahrhunderte später ereilt die künstlichen Nachbauten des Universalgelehrten Doktor Faust ein ähnliches Schicksal: Sie haben mittlerweile das gesamte Weltwissen verinnerlicht, übertrumpfen einander – und den Menschen – in immer absurderen, kniffligen Aufga-

benstellungen. Und scheitern dann doch wieder am vermeintlich Banalen. Immerhin: ChatGPT, Gemini & Co. verzweifeln daran nicht; dazu fehlen ihnen schlichtweg noch ein paar Komponenten des wie auch immer gearteten menschlichen Bewusstseins.

Doch was genau unterscheidet eigentlich das menschliche Lernen, Denken und Handeln vom maschinell trainierten? Die großen Sprachmodelle (Large Language Models, LLMs) und die um dieses Zentralgestirn herum aufgebauten multimodalen und Multi-Agenten-Systeme sind ja zu

durchaus komplexen Handlungen fähig, die auf ein gewisses Abstraktionsvermögen hindeuten: Sie komponieren realistisch wirkende Bilder, schreiben stilistisch sowie inhaltlich überzeugende Texte oder bestehen juristische und medizinische Examina. Solche Leistungen wurden allerdings immer kritisch beäugt, weil die Prüfungen häufig aus sehr schematischen (Multiple-Choice-)Fragen und Tests bestehen und die KIs hervorragend darin sind, Muster zu erlernen, wie korrekte Frage-Antwort-Paare aussehen. Wir erklären, was die biologisch verschalteten Neuronen- und Synapsennetze ihren künstlichen Nachbauten voraus haben, wie KI-Forscher versuchen, die fehlenden Teile des menschlichen Denk- und Lernprozesses zu entschlüsseln und zu imitieren – und warum es ähnlich schwierig ist, dem menschlichen und dem künstlichen Gehirn in die grauen Zellen zu schauen.

Die aktuell höchste künstlich intelligente Evolutionsstufe sind Reasoning-Modelle wie GPT-4o und DeepSeek R1, die sogar einige der anspruchsvollsten Rätsel der Mathe-Olympiade lösen – Schritt für Schritt, inklusive sauber strukturierter Erklärung. Doch die alten Schwächen lassen sich genauso wenig unter der Oberfläche halten wie ein Korken im Meer. Immer wieder scheitern selbst die modernsten Modelle an banalen Alltagsfragen und -aufgaben, die sie eigentlich bewältigen müssten, wenn sie robuste Konzepte – etwa von Zahlen oder naturwissenschaftlichen Gesetzen – verinnerlicht hätten.

Prognosemaschinen

Künstliche neuronale Netze sind von Aufbau und Funktionsweise des menschlichen Gehirns inspiriert, genauer: von dem, was man über dessen Architektur sowie das Zusammenspiel von Neuronen und Synapsen weiß. Besonders gut erforschen ließ sich schon im vergangenen Jahrhundert, wie der visuelle Kortex Bilder verarbeitet. Deshalb konnten Entwickler die Art und Weise, wie der Mensch Objekte wahrnimmt und klassifiziert, auch als erstes erfolgreich simulieren: mithilfe tiefer Faltungsnetze (Deep Convolutional Neural Networks, Deep CNNs). Diese bestehen aus Schichten miteinander verknüpfter künstlicher Neuronen, die mit den unterschiedlichsten Motiven gespeist werden: Vorne in die Eingabeschicht kommen die Helligkeitswerte der einzelnen Bildpixel rein, hinten in der Ausgabe-

schicht fällt eine Vorhersage raus, zu welcher Kategorie (Hund, Katze, Maus et cetera) das Bild wohl gehört.

Diese Fähigkeit lernen CNNs während einer Trainingsphase anhand Tausender klassifizierter Bilder, die der Reihe nach in die erste Schicht des Netzes eingespeist werden. Abhängig davon, wie gut die jeweilige Vorhersage ausfällt (anfangs nicht besser als der Zufall), werden die Parameter in den dazwischen liegenden, verdeckten Schichten nachjustiert. Das Procedere wiederholt sich so lange mit wechselnden Bildern, bis das Geflecht aus künstlichen Neuronen und Synapsen in der Lage ist, die charakteristischen Merkmale jedes Objekts selbstständig herauszufiltern: was also eine Katze vom Hund unterscheidet und einen Menschen von einem Affen.

Für dieses sogenannte überwachte Lernen benötigt man sehr viele händisch gelabelte Trainingsbeispiele, die die zahlreichen Varianten jeder Spezies beziehungsweise jedes Objekts möglichst komplett abdecken – und einen Belohnungsbeziehungsweise Bewertungsmechanismus, der gute Leistung honoriert und Fehler minimiert.

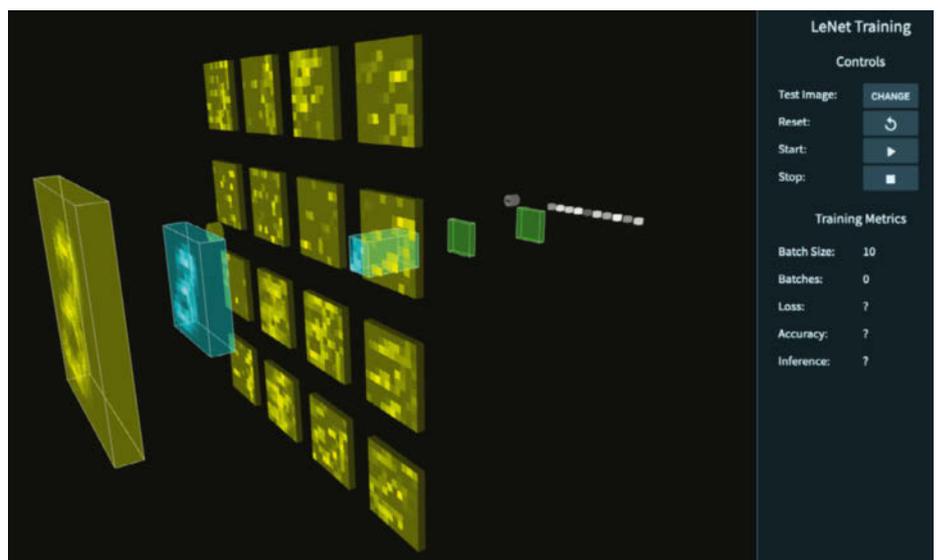
Die Fehleroptimierung geschieht über eine Funktion, die zunächst berechnet, wie stark die Vorhersage von der wahren Kategorie (Ground Truth) abweicht, und anschließend diejenigen Parameter (Gewichte der Synapsen) nachjustiert, die besonders stark zur Fehleinschätzung beigetra-

c't kompakt

- Das menschliche Gehirn war und ist das Maß der Dinge bei der Entwicklung künstlicher Intelligenz. Doch das biologische Vorbild lässt sich nur schwer imitieren.
- Der Mensch lernt sehr dynamisch, oft müheles; KI-Entwickler halten mit Rechen-Power und Datenbergen dagegen.
- Damit bringen sie Sprach- und andere Modelle erstaunlich weit; das biologische Denken und Lernen bleibt unerreich.

gen haben. Nach jedem Beispielbild wird nachjustiert, bis das Verfahren konvergiert, sprich: sich der Fehler nicht weiter verringern lässt. Dieses Optimierungsverfahren namens Backpropagation ist eine der zentralen Errungenschaften, die dem Deep Learning 2012 in Form von Googles „Katzendetektor“ zum Durchbruch verhalfen. Zur Produktreife gebracht wurde es von einem der sogenannten Godfathers of AI, Geoffrey Hinton, der für seine fundamentalen Beiträge zur KI-Entwicklung jüngst den Physik-Nobelpreis erhielt.

2017 stellte ebendieser Hinton das gesamte Konzept aber bereits grundsätz-



Wie ein tiefes neuronales Netz funktioniert, erkundet man am besten mit interaktiven Simulationen wie Tensorspace. Während des Trainings justiert der Backpropagation-Algorithmus die Gewichte in der verborgenen Schicht (gelb) so lange nach, bis die Prognose zuverlässig wird. Anfangs arbeiten die Filter noch wenig zielführend, wie hier zu sehen.

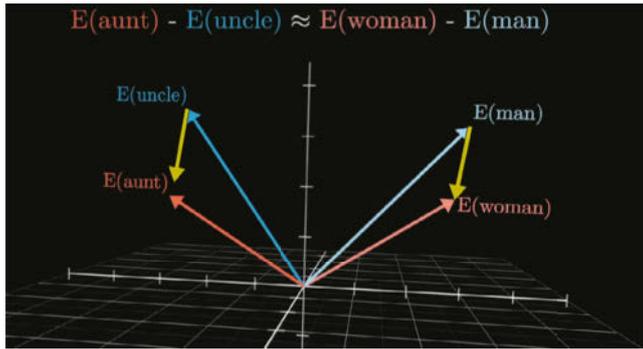


Bild: 3blue1brown

Im Latent Space liegen Token nach allen möglichen Merkmalen sortiert und als Vektoren codiert vor. Deshalb kann man mit den Eigenschaften sogar rechnen, etwa mit dem Unterschied zwischen männlich und weiblich (gelber Vektor).

lich infrage. Denn das überwachte Lernen anhand von konkretem Feedback, wie es etwa Eltern ihren Kindern – „Schau, eine Katze!“ – oder Lehrer ihren Schülern geben („Nein, Sydney ist nicht die Hauptstadt von Australien, sondern Canberra“), ist nur eine Variante, wie sich der Mensch Wissen aneignet. Den größten Teil verinnerlicht er eher beiläufig, indem er einfach die Welt um sich herum mit allen Sinnen wahrnimmt, Unwichtiges bei Bedarf ausblendet, anscheinend ziellos mit Gegenständen herumspielt, alles Mögliche liest, notwendige Alltagsaufgaben erledigt, Grundbedürfnisse stillt, seinen Interessen nachgeht et cetera. Die meisten Beobachtungen und Erfahrungen ordnet das Gehirn automatisch ins bereits Erlebte und Erlernte ein.

Auch deshalb bezweifelte Hinton, dass dieses unverhältnismäßig aufwendige überwachte Lernen jemals vernünftige Sprachgeneratoren oder gar eine höhere Form von künstlicher Intelligenz hervorbringen könnte: „We clearly don’t need all the labeled data“, plädierte er für unüberwachtes Lernen und ergänzte: „I suspect that means getting rid of backpropagation.“

Steckt das Weltmodell zwischen den Zeilen des Internet?

Tatsächlich brachte die Abkehr vom überwachten Lernen den großen Durchbruch bei den Sprach- und Textgeneratoren. Ermöglicht hat das die damals neuartige Transformer-Architektur mit Aufmerksamkeitsmechanismus, die auch heute noch den Kern der großen Sprachmodelle (LLMs) und multimodalen Modelle bildet. LLMs sind eigentlich Textvervollständiger, die während des Trainings anhand von Lückentexten lernen, die jeweils fehlenden Wörter in einem Satz vorherzusagen. Der Aufmerksamkeitsmechanismus lenkt den Fokus auf Begriffe in dem oder

den vorhergehenden Sätzen, die für den Kontext entscheidend sind, etwa: „Heute Nachmittag möchte ich mir ein Fahrrad kaufen. Ich gehe zur Bank und ...“. In diesem Fall wäre „hebe Geld ab“ eine sinnvollere Fortsetzung als „setze mich hin“ oder „hebe sie hoch“. Anders als bei der Objekterkennung benötigten die Entwickler dafür keine von Clickworkern oder gar Experten angefertigten Trainingsbeispiele mehr, sondern konnten sie automatisiert aus sämtlichen im Internet veröffentlichten Texten generieren. Ein Skript zerlegt diese einfach in einzelne Sätze und entfernt je ein oder mehrere Wörter – fertig ist eine riesige Sammlung an Trainings-Samples inklusive Ground Truth. Die Ground Truth ist das jeweils entfernte Wort.

Diese Strategie brachte zusammen mit der neuen Transformer-Architektur den Durchbruch im Bereich der generativen KI. Weil die Trainingsdaten nicht mehr eigens von Menschen verschlagwortet werden mussten, mutierte das Internet plötzlich zur theoretisch unerschöpflichen Quelle, aus der sich der Wissensdurst der Sprachgeneratoren stillen ließ.

Backpropagation forever?

Aber eines hielt sich hartnäckig: der Backpropagation-Algorithmus. Anders als häufig behauptet ist das Training mit Lückentexten kein unüberwachtes Lernen, sondern nur eine autonom ablaufende Variante des überwachten Verfahrens. Ins LLM fließt ein unvollständiger Satz rein, hinten fällt eine Vorhersage des fehlenden Wortes raus. Eine Fehlerfunktion vergleicht die Vorhersage mit der Ground Truth, per Backpropagation werden die Parameterwerte nachjustiert. Trainiert wird so lange, bis der Fehler minimal ist. Eine korrekte Bezeichnung für diesen Prozess ist „selbstüberwachtes Lernen“ und dieses unterscheidet sich nach wie vor fundamental

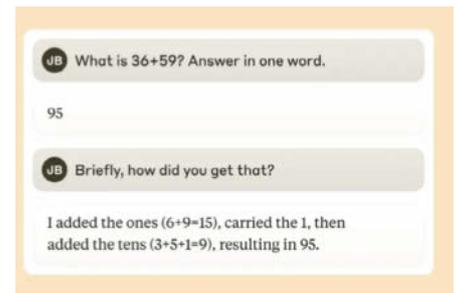
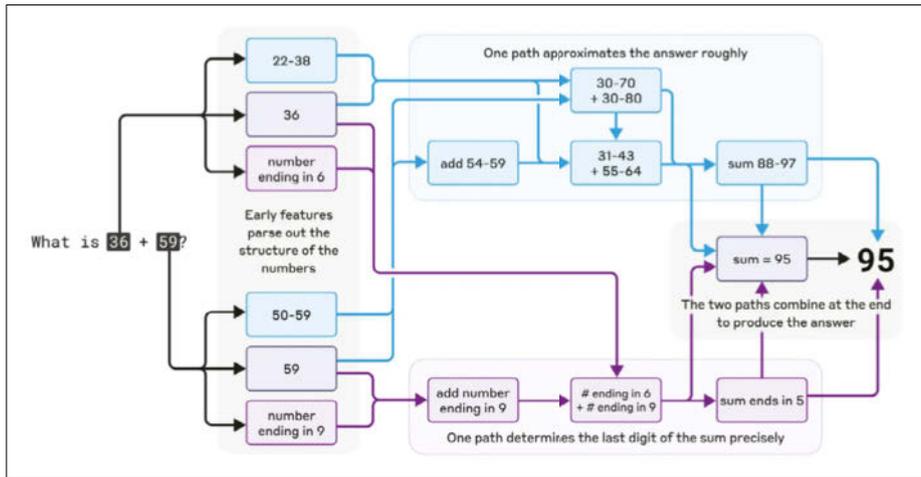
von der vielfältigen Art und Weise, wie sich der Mensch Wissen aneignet.

Trotz dieser Einschränkung zeigten bereits die ersten Transformer mit Attention-Mechanismus wie das von Google entwickelte BERT ein beeindruckendes Gespür für Grammatik und Semantik, beginnend mit deutlich besseren Übersetzungen, die den Kontext berücksichtigten, bis hin zu Inhaltszusammenfassungen und thematisch konsistenten Texten. Damit schien erwiesen, was viele sich erhofft hatten: Dass sich zwischen den Zeilen all der Terabytes an geschriebenem Text ein kompaktes Modell des Weltwissens verbirgt – und die LLMs in der Lage seien, dieses zu extrahieren und zu interpretieren.

In gewisser Weise gelang ihnen das auch. Geleitet von der Aufgabe, Sätze zu vervollständigen, bildet sich in den verborgenen Schichten ein Algorithmus heraus, der Wörter nach semantischen Zusammenhängen sortiert. Ein LLM baut gewissermaßen einen gewaltigen, mehrsprachigen Index, der Begriffe theoretisch in jeden nur möglichen Bezug zueinander setzen kann – sei es bezüglich eines Themas oder einer bestimmten Art, sich auszudrücken: lyrisch, sachlich, in Code oder mathematisch.

Dieser Index, der sogenannte Latent Space, ist ein sehr hochdimensionaler Raum, in dem die Wörter und Wortfragmente (Token), die in einem bestimmten Kontext häufig zusammen vorkommen, nahe beieinander liegen. Die Token liegen dort allerdings nicht als Buchstabenfolgen, sondern sind als Vektoren codiert, sodass sich Ähnlichkeiten leichter berechnen lassen. Eine Dimension kann konkrete Merkmale repräsentieren wie Farbe oder Oberfläche eines Objekts, aber auch abstraktere Konzepte wie Verwandtschaftsbeziehungen, gesellschaftliche Normen und Zahlensysteme.

Eine der aufregendsten Entdeckungen war, dass solche Netze mit wachsender Zahl an Parametern und Trainingsdaten anscheinend „Emergent Abilities“ entwickelten: neue Fähigkeiten, die wie ein Sprung auf die nächste kognitive Ebene wirkten, etwa mehrstelliges Addieren, Subtrahieren und Multiplizieren oder die Fähigkeit, Fragen wahrheitsgemäß zu beantworten. Solche Aufgaben können kleinere LLMs nicht besser lösen als der Zufall, ab einer bestimmten Schwelle (Parameterzahl, Trainings-FLOPs) steigt die Performance signifikant und relativ steil



Als Erklärung lieferte das Reasoning-Modell indes den in der Schule vermittelten Rechenweg.

Wenn ein Mensch seine Entscheidung begründet, kann er lügen oder die Wahrheit sagen. Sprachmodelle sind sich ihrer internen Prozesse schlicht nicht bewusst, wie Anthropic am Beispiel einer einfachen Rechnung zeigt. Intern löst Claude Sonnet die Aufgabe mit einer Kombination aus Rechnen und Schätzen.

an. Eine gewisse Faktentreue stellte sich beispielsweise erst ab 280 Milliarden Parametern ein.

Evolutionssprünge

Anfangs funktionierte die Skalierungsstrategie wie am Schnürchen. Das 2018 veröffentlichte GPT-1 hatte 117 Millionen Parameter, verteilt auf 12 Layer und wandelte Token in 768-dimensionale Vektoren. GPT-2 kam mit 1,5 Milliarden Parametern, 48 Ebenen und produzierte 1600-dimensionale Vektoren. Mit dem 2020 veröffentlichten GPT-3 nochmal ein Vielfaches: 175 Milliarden Parameter, 96 Layer und ein Latent Space mit 12.288 Dimensionen. Seitdem gibt OpenAI keine konkreten Zahlen mehr über seine Modelle heraus und nur spärliche Informationen über die verwendete Architektur und Trainingsmethoden. Ziemlich sicher ist, dass GPT-4 und seine Nachfolger eine Mixture-of-Experts-Architektur (MoE) mit geschätzt einer Billion Parametern nutzen, Details siehe unten.

Forscher der Brown University fanden in Experimenten mit den frühen GPT-Versionen heraus, dass die Neuronen in den ersten Schichten eher naheliegende Muster kodieren, also etwa, dass auf „Donald“ häufig „Trump“ folgt oder auf „c’t Magazin für“ fast zwangsläufig „Computertechnik“. Ab der zwanzigsten Schicht kodierten sie auch abstraktere Zusammenhänge, sodass sie zum Beispiel den Ländern dieser Welt ihre Hauptstädte zuordnen konnten. Doch es ist das eine, aus Texten Faktenwissen zu ziehen und es nach den un-

terschiedlichsten, auch abstrakten Kriterien zu sortieren, und das andere, dieses zu verallgemeinern und auf neue Kontexte zu übertragen.

Deshalb hatten die lediglich aus Texten gespeisten Modelle auch enorme Probleme mit dem Rechnen und Zählen. Man kann davon ausgehen, dass von den einfachsten bis hin zu den komplexesten mathematischen Formeln und Rechnungen alles an Wissen in den Trainingsdaten vorhanden war. Aber offensichtlich genügte das nicht, um ein allgemeines Zahlenverständnis zu entwickeln oder gar die Regeln der höheren Mathematik daraus abzuleiten. Auch die Fähigkeit, Ursache und Wirkung zu verstehen oder Lösungen für komplexere Probleme zu entwickeln, ließ sich nicht einfach mit einer schieren Masse an Trainingsdaten oder noch größeren Netzen „erkaufen“. Zumal bereits so ziemlich das gesamte vom Menschen verfasste Textmaterial häppchenweise an LLMs verfüttert worden sein dürfte.

Dass es der Mensch mit so viel weniger Material- und Energieeinsatz schafft, liegt – wie Geoffrey Hinton bereits vor Jahren konstatierte – unter anderem daran, dass er offenbar effizientere Lernstrategien im Köcher hat als das langwierige Backpropagation-Verfahren. Diverse Studien aus der Hirnforschung halten die stereotypen Schleifen aus Feedback und Nachjustieren für biologisch nicht plausibel und auch der KI-Pionier Yann LeCun gibt sich überzeugt davon, dass es etwas Besseres und Zielführenderes geben muss.

Forscher der Universität Oxford haben immerhin ein Modell entwickelt, das versucht zu simulieren, wie das menschliche Gehirn zum ressourcensparenden Blitzmerker wird: Prospective Configuration. Demzufolge versetzt das Gehirn seine Neuronen situationsabhängig bereits vorab in einen Zustand, der eine korrekte Vorhersage wahrscheinlicher macht. Dazu erhöht es die Aktivität der vermutlich benötigten Neuronen entsprechend, trifft seine Vorhersage und verändert erst dann die Stärke der Synapsen. Das Lernen läuft also diametral zum Backpropagation-Verfahren, das mit inaktivem Neuronengeflecht beginnt.

Erste Experimente zeigten vielversprechende Ergebnisse, insbesondere beim Lernen aus wenigen Trainingsbeispielen, dem kontinuierlichen Lernen sowie der Anpassung an sich verändernde Bedingungen. Den Forschern zufolge ist es auch biologisch plausibler: So können natürliche neurale Aktivitätsmuster in verschiedenen Lernexperimenten durch Prospective Configuration erklärt werden, nicht aber durch Backpropagation – sowohl beim Menschen als auch beim Tier.

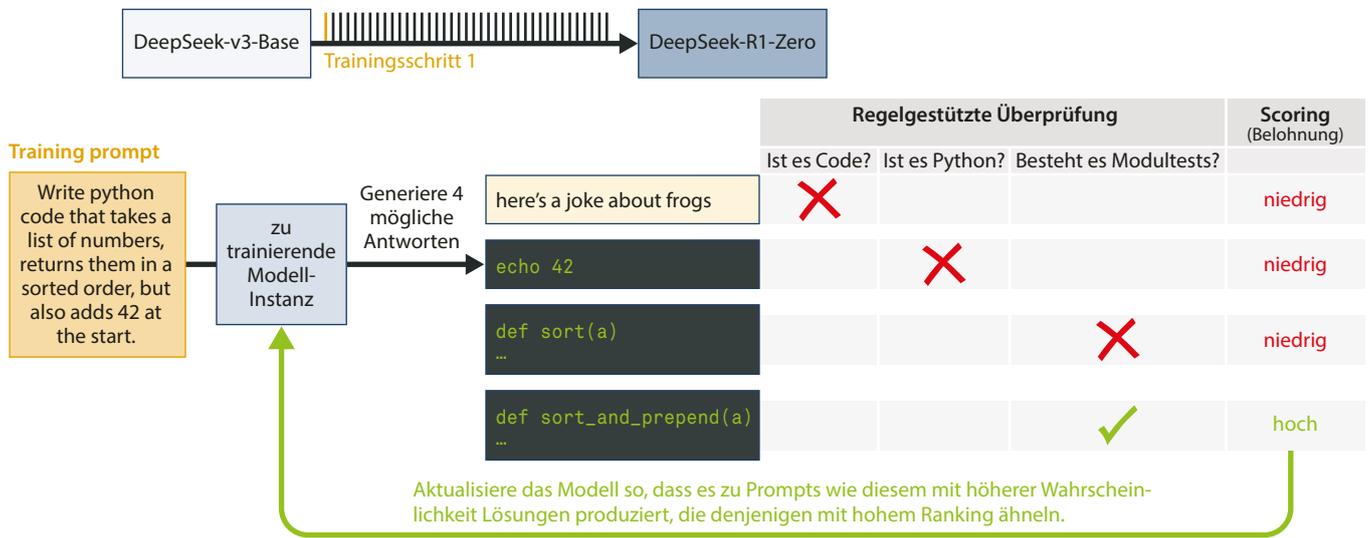
Episoden statt Wörter

Gerade erinnere ich mich, wie überrascht ich war, als ich nach langen Jahren mal wieder ein Schwimmbad betrat. Ich mag Schwimmbäder nicht sonderlich, aber mit Kindern geht man ja gerne hin. Wir holten die unvermeidlichen Pommes, und da war er wieder: dieser Schwimmbadgeruch aus meiner Kindheit, diese Mischung aus Chlorwasser auf nassem Teer in der Sommerhitze, gemischt mit Frittierfett. Sofort sah ich die Imbissbude des Augsburger Bärenkellerbades vor mir, die ganze Wiese, das faszinierende Tragluft-Hallenbad. Erstaunlich, was sich das Gehirn so merkt.

Wie DeepSeek das Reasoning lernt

DeepSeek R1 verfasst Schritt-für-Schritt-Lösungen oder auch validen Code, weil ein Reinforcement-Learning-System es dafür belohnt. Zuerst generiert es sehr viele mögliche Antworten zu einem Prompt, die auf Konformität zu einigen

wenigen Regeln geprüft werden. Dann werden die Modellparameter so aktualisiert, dass das Sprachmodell hoch bewertete Antworten mit höherer Wahrscheinlichkeit ausgibt als solche mit niedrigem Score.



Quelle: Jay Allamar

In diesem sogenannten episodischen Gedächtnis liegt ein fundamentaler Unterschied zwischen Mensch und Maschine, also wie der Mensch Informationen kontinuierlich, mit allen Sinnen, emotional oder rational gesteuert aus seiner Umwelt aufnimmt. Die Details zu seinen Erlebnissen speichert er meist nicht isoliert, sondern in einem größeren Zusammenhang: zum Beispiel auch die Erinnerung an ein schönes Abendessen mit Freunden. Es genügt ein kleiner Hinweis wie etwa die Frage, wer alles dabei war, und schon erscheint die gesamte Szene vor dem inneren Auge: der Ort, die angeregten Gespräche, wie gut das Essen geschmeckt hat, der Anlass des Treffens et cetera. An diesem Prozess sind verschiedene Gehirnregionen beteiligt: der Hippocampus, der die Episoden aufnimmt und abrufen, sowie der Neokortex, in dem sie dauerhaft gespeichert werden.

Neurowissenschaftler sind sich einig, dass dieses episodische Gedächtnis, das sowohl langsames als auch schnelles Lernen ermöglicht, die Grundvoraussetzung dafür ist, dass der Mensch sich rasch auf veränderte Situationen oder gar gänzlich neues „Neuland“ einstellen kann. Dass er kontinuierlich lernen, seine Wissensbasis erweitern sowie frühere Überzeugungen hinterfragen und gegebenenfalls verwer-

fen kann. Das episodische Gedächtnis hat bisher noch keine Entsprechung in einem der großen Sprachmodelle.

Experten halten eine solche Funktion aber für essenziell, um LLMs zu alltags-tauglichen Agenten weiterzuentwickeln, sprich: zu Systemen, die in komplexen Umgebungen überlegt und sinnvoll handeln, auch über einen längeren Zeitraum hinweg. Man bezeichnet diese Fähigkeit, ein unbekanntes Problem auf Anhieb zu erfassen und zu lösen, auch als Single-Shot-Learning. Im menschlichen Alltag können das ganz banale Dinge sein, etwa eine Tür oder Schublade mit ungewöhnlichem Griff oder Schließmechanismus zu öffnen – für Roboter eine echte Herausforderung.

1, 2, 3, viele

Zentral ist das kontinuierliche Lernen auch beim Zahlenverständnis. Menschen und viele Tiere wie Affen, Krähen und Bienen haben einen angeborenen Sinn für kleine Zahlen bis vier, die jeweils fest mit einzelnen Neuronen verknüpft sind. Den Umgang mit größeren Zahlen verinnerlicht der Homo sapiens aber erst im Laufe seines Lebens, in einer Mischung aus schulischem und beiläufigem Lernen. Sobald sich Kulturen oder einzelne Individuen mathematische Fähigkeiten an-

eignen, nehmen sie ihre Umwelt stärker unter solchen formalen oder numerischen Aspekten wahr. So lernen sie beiläufig, die abstrakten Regeln auf konkrete Objekte und ihren Alltag anzuwenden: zum Beispiel, dass man außer Äpfeln und Birnen auch Buchstaben, Grashalme, Noten, Töne oder was auch immer zählen kann. Das Gesamte zerlegt der Mensch dafür einfach, ohne darüber nachdenken zu müssen, in seine Einzelteile.

Große Sprachmodelle haben oder hatten ihre Mühe mit dem Zählen und beim Rechnen mit sehr großen oder untypischen Zahlen, die in den Trainingsbeispielen eher selten vorkommen. Ein Grund dafür ist, dass die ersten LLMs schlichtweg weder ein Zahlenverständnis entwickelt noch das Rechnen gelernt hatten, sondern ein Schema, für bestimmte, nur in Details variierende Aufgabentypen die plausibelste Lösung vorherzusagen. Ein weiteres Problem liegt in der Tokenisierung der Eingabedaten, bei der Sätze, Wörter und auch Zahlen in Fragmente aufgeteilt werden. Die Standardverfahren sind darauf optimiert, korrekte Sätze zu bilden – und nicht aufs Rechnen oder Zählen.

Menschlicher Feinschliff

Die Hoffnung oder vielmehr das Versprechen, dass ein Sprachmodell mit schierem

Einsatz von Ressourcen automatisch zum Weltmodell wird, hat sich bis dato also nicht erfüllt. Um grundlegende Schwächen auszubügeln, Wissenslücken zu schließen und die Chatbots auf Fakten-treue und eine angenehme Gesprächskultur einzuschwören, brauchte man doch wieder den Menschen als Experten und Lehrer. Deshalb schließt sich an das selbstüberwachte Grundlagentraining ein sehr aufwendiges, überwachtes Finetuning mit händisch gelabelten Trainingsdaten an: das Reinforcement Learning from Human Feedback (RLHF).

Zur Trainingsdatengewinnung vergleichen menschliche Prüfer Sprachmodell-Ausgaben zu diversen Prompts mit jeweils von Experten verfassten Antworten und bewerten, wie nahe die LLM-Ergebnisse dem Ideal kommen. Mithilfe solcher Paarungen aus generierten Texten und menschlichem Ranking lernt ein weiteres großes Sprachmodell, Texte nach ähnlichen Kriterien wie die menschlichen Gutachter einzuschätzen. Fortan kann es als maschinelle Feedback-Schleife dienen, die die Antworten des Hauptmodells prüft, verwirft oder verbessert.

Ganz neu sind Reinforcement-Learning-Strategien, die LLMs dazu zwingen, komplexe Aufgaben sinnvoll in kleinere Schritte aufzuteilen und formal strukturierte Antworten auszugeben, sodass der Mensch nachvollziehen kann, wie das Modell zu seiner Lösung gekommen ist und an welcher Stelle ihm möglicherweise ein Fehler unterlief. Bei dieser sogenannten Test-time-compute-Methode handelt es sich nicht um ein Finetuning, sondern um ein Machine-Learning-Verfahren, das zur Laufzeit angewendet wird, um die schlechte Bilanz der LLMs in den einschlägigen Mathe- und Logik-Benchmarks zu polieren.

Alle aktuellen Reasoning-Modelle nutzen Test-time compute. Die DeepSeek-Entwickler erklären in einem Aufsatz

sogar, wie sie es bei ihrem R1-Modell umsetzen: mit selbstüberwachtem Reinforcement Learning, bei dem iterativ eine Menge möglicher Antwortvarianten generiert und die zielführendsten Ideen belohnt werden. Mit einem ähnlichen Ansatz schaffte es einst AlphaGo, sich beim Brettspiel Go vom Vorbild menschlicher Strategien zu lösen und eigene, überraschende Kombinationen zu finden.

Das R1-Belohnungssystem ist ebenfalls ein trainiertes Modell: Anhand von Musterlösungen für Programmierprobleme, anspruchsvolle Mathematikaufgaben oder Logikrätsel hat es gelernt, verständliche und gut strukturierte Schritt-für-Schritt-Antworten sowie korrekte Lösungen mit höheren Scores zu bewerten. Auf dieser Grundlage wählt es aus mehreren gesampelten Varianten die vielversprechendsten aus und animiert das Modell zudem, in ähnlicher Qualität fortzufahren. Es ist also eine Optimierungsmethode, die für mathematisch-naturwissenschaftliche Aufgaben mit nur einem korrekten Ergebnis sehr gut funktioniert, bei offeneren Fragestellungen allerdings weniger.

Und der Rechenaufwand ist enorm. Zwar orientieren sich die Entwickler an der dynamischen Arbeitsweise des menschlichen Gehirns, das einfache Fragen rasch beantwortet und erst für komplexe Probleme mehr Ressourcen aktiviert, spricht: nachdenkt. Allerdings muss der Mensch nicht in Brute-Force-Manier wieder und wieder enorme Mengen an möglichen Antworten generieren; sein Gehirn hinterfragt die eigenen Gedankengänge zielgerichteter.

Messen impossible

Wie genau sich Menschen Wissen und Fähigkeiten aneignen, warum sie sich manches merken und anderes nicht und was genau jedes Individuum dazu motiviert oder davon abhält, einer Sache auf den Grund zu gehen: Die Mechanismen

dahinter sind bisher nur ansatzweise erforscht, unter anderem weil man die Gehirnaktivität lebender, gesunder Menschen nur mit nicht-invasiven Methoden messen kann. Eine weit verbreitete Methode ist die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT); in der Literatur gebräuchlicher ist die englische Abkürzung fMRI. Genauere Messwerte auf Basis einzelner Neuronen liefern invasive Verfahren mit im Cortex platzierten Elektroden oder Nadeln; entsprechende Studien werden in der Regel aber nur mit Epilepsie-Patienten durchgeführt, die bereits ein Implantat haben.

Auch Large Language Models lassen sich nicht so einfach in die Synapsen schauen, unter anderem weil das Gros der High-End-Modelle proprietär ist und daher der unabhängigen Forschung nicht zur Verfügung steht. Viele Studien über die im LLM simulierten Denkprozesse stützen sich daher auf die frühen Versionen der OpenAI-Modelle GPT-1 bis GPT-3 oder kommen direkt aus den Research-Abteilungen der Hersteller. Einige interessante Erkenntnisse veröffentlicht immerhin Anthropic über die internen Prozesse seines Sprachmodells Claude Sonnet.

Quintessenz: Es ist vertrackt, denn anscheinend kann man sich selbst bei einem Reasoning-Modell nicht darauf verlassen, dass es erklärt, wie es tatsächlich zu seinem Ergebnis gekommen ist. Es hat ja lediglich gelernt, dem Menschen einen logisch nachvollziehbaren Lösungsweg zu präsentieren. (atr@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Andrea Trinkwalder, Netzgespinste, Die Mathematik neuronaler Netze: einfache Mechanismen, komplexe Konstruktion, c't 6/2016, S. 130

Wissenschaftliche Aufsätze, Simulationen, Videos: ct.de/y3w1

Was menschliches von maschinellem Lernen unterscheidet

	Mensch	künstliche Intelligenz
Art des Lernens	erfahrungsbasiert, adaptiv, kontinuierlich	datenbasiert, oft offline in Trainingsphasen
Lernmechanismus	synaptische Plastizität	Backpropagation und Gradientenabstieg
Flexibilität	äußerst flexibel (Transferlernen aus wenigen Beispielen)	aufgabenorientiert; oft beschränkt auf Trainingsverteilung
Datenbedarf	wenige Beispiele nötig (Few-Shot-/One-Shot-Learning)	mehrere hundert bis zigtausende Beispiele notwendig (je nach Aufgabe)
Anpassungsfähigkeit	laufende Anpassung in Echtzeit möglich (kontinuierliches Lernen)	Anpassung nur durch Nachtraining oder Finetuning
Verallgemeinerung	sehr stark (auch auf unbekannt Situationen)	abhängig von Trainingsdaten und Prompt-Engineering
Fehlerverarbeitung	intuitive Korrektur, Lernen aus Fehlern und Exploration	Fehler werden durch Updates in Trainingsphasen behoben
Gedächtnisstruktur	semantisches, episodisches und prozedurales Gedächtnis	parametrisches Wissen, gegebenenfalls ergänzt um Retrieval-Systeme (RAG)
Energiebedarf	sehr energieeffizient (~20 W Verbrauch im Ruhezustand)	sehr energieintensiv (GPU: bis 700 W; KI-Rechenzentrum: 100 bis 1000 MW)

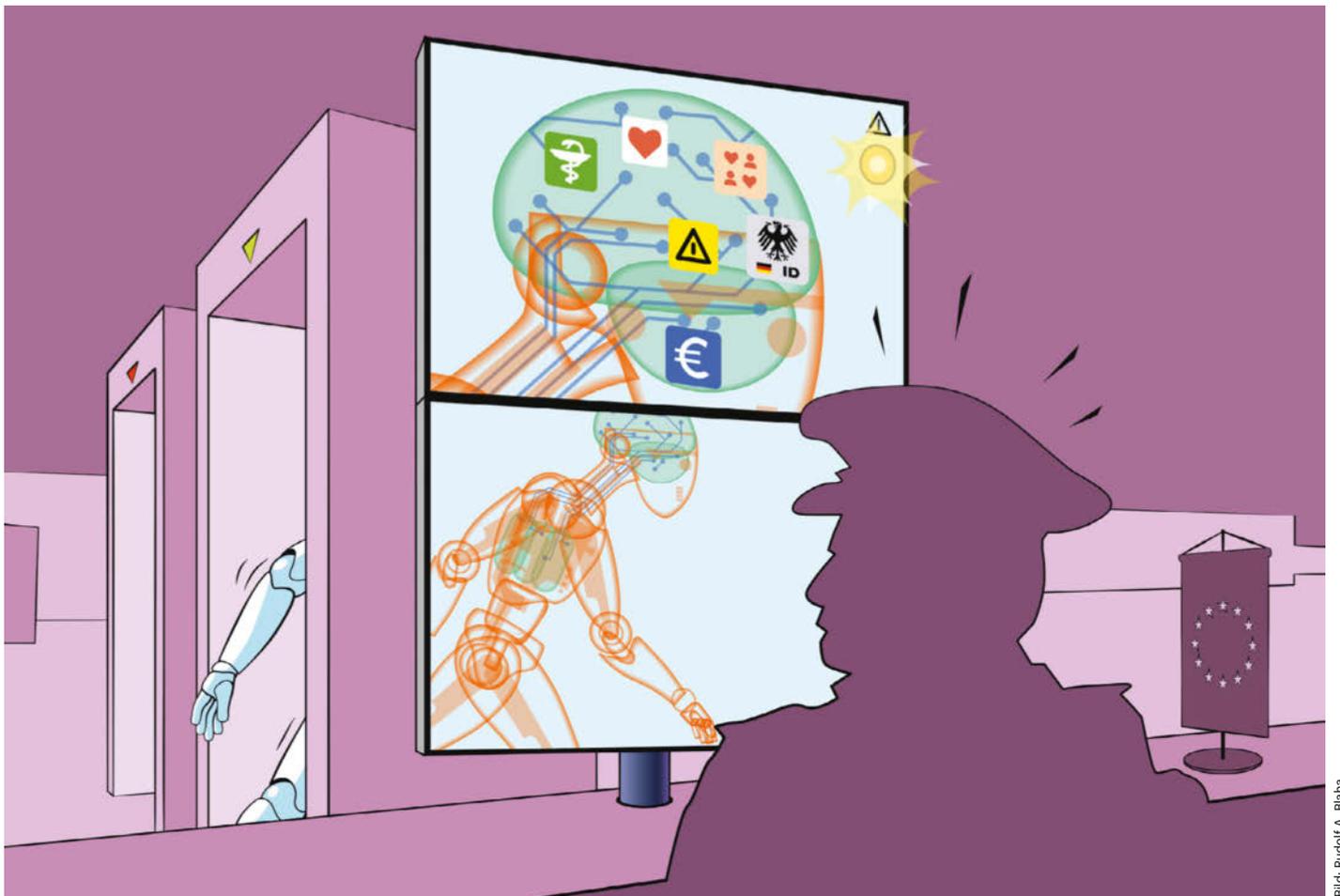


Bild: Rudolf A. Blaha

Intelligenzkontrolle

Die EU stellt ihre Regeln für generative KI scharf

Ab August gilt die KI-Verordnung auch für allgemeine KI-Modelle. Im Mai erscheint der „Code of Practice“ mit verbindlichen Anleitungen, wie die Pflichten umzusetzen sind. Auf die Anbieter kommt viel Arbeit zu, Nutzer könnten von der neuen Transparenz profitieren.

Von Holger Bleich

Diesseits und jenseits der europäischen Grenzen beobachten Experten zurzeit hektische Betriebsamkeit bei den EU-Institutionen, nationalen Regierungen und großen Anbietern von KI-Systemen. Bald wird das wichtigste Kapitel der im August 2024 in Kraft getretenen EU-KI-Verordnung wirksam, in dem es um die Regulierung von KI geht, die eine „erhebliche allgemeine Verwendbarkeit“ aufweist, also die in der Verordnung sogenannte „General Purpose AI“ (GPAI).

Gemeint sind Modelle und Systeme, die aus dem Alltag vieler Millionen geschäftlicher und privater Nutzer kaum noch wegzudenken sind, wie Sprach-KIs, Bildgeneratoren und Musikkomponiermaschinen. Deren Anbieter sitzen bis auf wenige Ausnahmen in den USA, beispielsweise OpenAI (GPT), Anthropic (Claude), Google (Gemini) oder Meta (Llama). An-

ders als kleinere europäische Anbieter wie das französische Mistral dürfte sie die KI-Verordnung mit voller Breitseite treffen.

Zur Erinnerung: Die KI-Verordnung verfolgt einen risikobasierten Ansatz. Sie stuft KI-Anwendungen gemäß ihrem Gefährdungspotenzial in Kategorien ein, von „minimal“ über „begrenzt“ und „hoch“ bis „inakzeptabel“. Je höher das Risiko ist, desto strenger sind die Auflagen. Zunächst hatte die EU-Kommission vor allem spezifische Anwendungsfälle im Fokus, etwa KI in Medizin, Verkehr oder Überwachung.

Allgemein einsetzbare Modelle wie das Ende 2022 plötzlich erfolgreiche ChatGPT passten nicht recht in dieses Schema, da sie keinem festen Einsatzgebiet zuzuordnen sind und als Baustein vieler verschiedener Systeme dienen können. Erst gegen Ende des Gesetzgebungsprozesses führte die EU daher eine eigene

Kategorie für solche Allzweckmodelle (GPAI) ein. Diese Modelle gelten grundsätzlich als begrenztes Risiko, unterliegen also vor allem Transparenzpflichten.

Im angeflanschten GPAI-Regelteil (Kapitel V, Art. 51 bis 56 KI-Verordnung) schuf der Gesetzgeber sogar eine zusätzliche Unterkategorie für die mächtigsten Vertreter dieser KI-Modelle: „GPAI-Modelle mit systemischem Risiko“. Damit sind „die fortschrittlichsten KI-Modelle“ gemeint, die aufgrund ihrer Leistungsfähigkeit großflächige gesellschaftliche Schäden verursachen könnten, etwa wenn sie gefährliches Wissen leicht zugänglich machen oder sich schwer kontrollieren lassen. Die KI-Verordnung geht von einer fürs Modelltraining nötigen Rechenleistung von mindestens 10²⁵ FLOPs aus. Für solche großen Modelle gelten verschärfte Vorschriften, von denen später im Artikel noch die Rede sein wird.

Kompetenzpflichten

EU-Verordnungen gelten in jedem Mitgliedsland unmittelbar als Gesetz. Aufgrund dieser Wucht sieht der Gesetzgeber stets Umsetzungsfristen vor, weshalb verschiedene Teile zu unterschiedlichen Zeitpunkten wirksam werden, je nach Erfüllungsaufwand. Die erste dieser Schwellen überschritt die KI-Verordnung am 2. Februar dieses Jahres. Die Verbote von unzulässigen KI-Systemen, etwa denjenigen, die Social Scores errechnen sollen, gelten seitdem.

Außerdem trifft Unternehmen seit dem 2. Februar die Kompetenz- und Schulungspflicht aus Art. 4 der KI-Verordnung. Anbieter und Betreiber von KI-Systemen müssen demnach sicherstellen, dass ihr Personal und andere Personen, die in ihrem Auftrag mit dem Betrieb und der Nutzung von KI-Systemen befasst sind, über eine ausreichende KI-Kompetenz verfügen. Insbesondere hat die KI-Verordnung Grundrechte, Gesundheit und Sicherheit im Blick. Mitarbeiter sollen KI-Systeme sachkundig nutzen und deren Potenziale und Risiken erkennen können.

Genau deshalb schießen seit Jahresbeginn Anbieter von KI-Onlineschulungen wie Pilze aus dem Boden, die ihre Schulungen Unternehmen feilbieten. Wieder einmal schafft eine EU-Verordnung völlig neue Geschäftsmodelle. Dabei ist ein Verstoß gegen die Kompetenzpflicht in der KI-Verordnung nicht einmal mit Bußgeld sanktioniert. Juristen warnen allerdings: Wenn es durch Fehler eines Mitarbeiters zu Schäden aufgrund der Nut-

zung von KI kommt, könnte sich die Haftung verschärfen, falls keine vorherigen Schulungsmaßnahmen im Sinne des Artikels 5 der KI-Verordnung nachgewiesen werden können.

Regeln für Anbieter

Der wohl wichtigste Stichtag der KI-Verordnung steht bevor: Am 2. August 2025 wird das gesamte GPAI-Kapitel voll wirksam. Dies trifft Anbieter und Betreiber von KI-Modellen und -Systemen. Schon hier wird es kompliziert, denn wer ist eigentlich Anbieter und wer Betreiber?

Die Verordnung sieht es so: Anbieter ist eine natürliche oder juristische Person, Behörde, Einrichtung oder sonstige Stelle, die ein KI-System oder ein KI-Modell mit allgemeinem Verwendungszweck entwickelt oder entwickeln lässt und es unter ihrem eigenen Namen oder ihrer Handelsmarke in Verkehr bringt. Betreiber dagegen sind natürliche oder juristische Personen, die ein KI-System in eigener Verantwortung verwenden. Generell ausgenommen ist die ausschließlich private Nutzung, die nicht unter die KI-Verordnung fällt. Pflichten treffen vor allem die Anbieter, weniger die Betreiber von KI-Systemen. Im Folgenden fassen wir für Sie die ab August geltenden Vorschriften zusammen.

Ein Anbieter muss eine ausführliche technische Dokumentation seines Produkts erstellen und aktuell halten. Diese Dokumentation soll unter anderem Informationen zur Funktionsweise, den Limitierungen, Leistungsmerkmalen und Testmethoden des Modells enthalten. Die EU hoffe, dass diese Transparenz den Nutzern hilft, Risiken besser abzuschätzen und das Mo-

dell verantwortungsvoll einzusetzen. Die Dokumentation muss der Anbieter nachgelagerten Resellern oder Betreibern weitergeben. Außerdem muss er sie auf Nachfrage den Aufsichtsbehörden vorlegen.

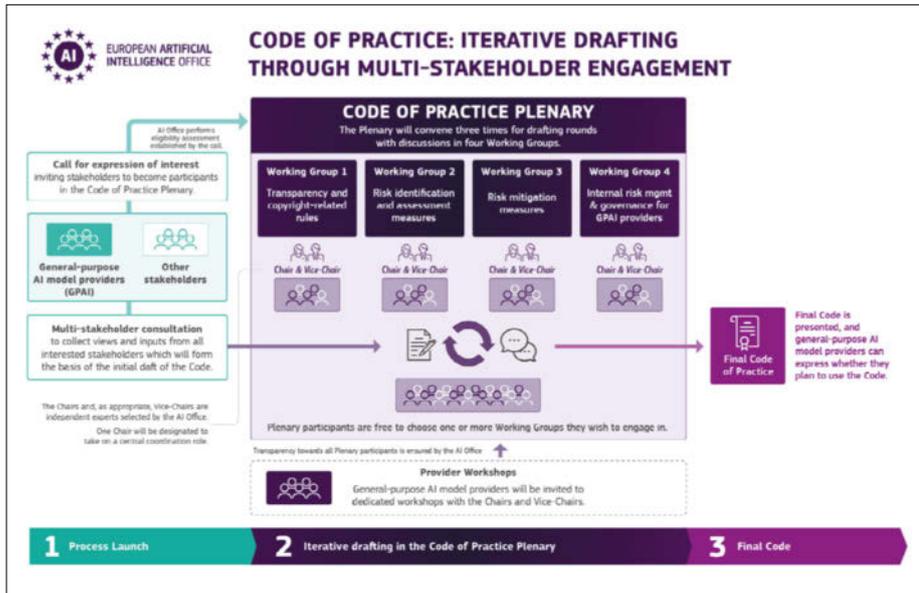
Damit verknüpft ist eine Transparenzpflicht bezüglich der Trainingsdaten. Der Anbieter eines GPAI-Modells muss veröffentlichen, welche Inhalte er für das Training verwendet hat, zumindest in Form einer „ausreichend detaillierten Zusammenfassung“. Das heißt nicht, dass er jede Quelle auflisten muss. Die Nutzer und Aufseher sollen einen Eindruck bekommen, woraus das Modell gelernt hat. Nach Ansicht der EU schafft das Vertrauen und ermöglicht Dritten, einzuschätzen, ob das Trainingsmaterial eventuell verzerrende oder problematische Daten enthielt.

Nicht zuletzt enthält das GPAI-Kapitel Vorschriften zu Urheberrechten. Die EU verlangt, dass Anbieter eine Policy einführen, um EU-Urheberrecht und verwandte Schutzrechte einzuhalten. Der Trainingsprozess und die Nutzung des Modells dürfen nicht einfach geschützte Werke verletzen. Beispielsweise muss erläutert sein, wie ein Anbieter während des Trainings seines Modells mit urheberrechtlich geschütztem Material umgegangen ist. Zudem soll er verhindern, dass generierte Inhalte unerlaubte Kopien geschützter Werke enthalten.

Systemische Risiken

Zusätzliche Pflichten gelten ebenfalls ab dem 2. August für GPAI-Modelle mit „systemischem Risiko“. Der Anbieter eines solchen Modells oder Systems muss regelmäßig selbst untersuchen, welche Gefah-

In einer Präsentation zeigte das AI-Büro im Januar ein Template, mit dem die Anbieter den Transparenzpflichten zu Trainingsdaten nachkommen sollen.



Mit einem Organigramm erläutert das AI-Büro, wie der Entwicklungsprozess zum fertigen Verhaltenskodex abgelaufen ist.

ren von der Nutzung ausgehen. Beispielsweise könnte er prüfen, ob das Modell gefährliches Wissen (wie Anleitungen zum Waffenbau) preisgeben könnte. Entdeckte Risiken soll er mit technischen Maßnahmen reduzieren, etwa mithilfe zusätzlicher Filter oder notfalls durch menschliche Überwachung.

Außerdem gelten Anforderungen an die Cybersicherheit, also die Pflicht zu Maßnahmen gegen innere und äußere Angriffe sowie Meldepflichten für Zwischenfälle: Schwerwiegende Vorfälle oder Missbrauchsmöglichkeiten, die erst nach dem Marktstart bekannt werden, muss der Anbieter dokumentieren und den Aufsichtsbehörden melden. Sollte also ein Modell im realen Betrieb unerwartet großen Schaden anrichten, indem es beispielsweise massenhaft Falschinformationen generiert, die zu realen Schäden führen, ist der Anbieter gefordert, dies zu erfassen, weiterzugeben und abzustellen.

Eine Ausnahme von vielen dieser Pflichten gilt für die Open-Source-Community: Veröffentlicht ein Anbieter sein KI-Modell unter einer freien und offenen Lizenz inklusive aller Parameter und notwendigen Informationen, dann entfallen einige Dokumentationspflichten. So muss er dazu keine technische Doku an Behörden und nachgelagerte Anbieter übermitteln. Nicht ausgenommen sind allerdings die großen Modelle mit systemischem Risiko: Hier bleibt der Anbieter in der Pflicht, Risiken zu evaluieren und zu min-

dern, bevor er das Modell frei zugänglich macht. Diese Sonderregeln dürften nur bei echten Open-Source-Projekten greifen, nicht aber den teiloffenen Open-Weight-Modellen wie Metas Llama.

Code of Practice

Große Kritik erntete die KI-Verordnung dafür, dass sie von unscharfen Rechtsbegriffen strotzt und noch dazu wenig konkrete Hinweise gibt, wie das Regelwerk von Anbietern umgesetzt werden soll. Auch die nicht rechtsverbindlichen Erwägungsgründe zur Verordnung, in denen der Gesetzgeber erläutert, wie denn diese oder jene Pflicht zu verstehen sei, bietet an vielen Punkten nur wenig Hilfe.

Bei der Kritik fällt oft unter den Tisch, dass die EU-Kommission und später im Gesetzgebungsprozess auch das Parlament und der Rat auf das 2008 etablierte „New Legislative Framework“ (NLF) setzen. Dieses insbesondere für Produktregulierung ersonnene Prinzip hat sich die EU in einer Richtlinie selbst aufgegeben. Es geht davon aus, dass sich Märkte und Produkte ständig weiterentwickeln, weshalb Gesetze flexibel sein sollten.

Die konkrete technische Ausgestaltung soll sich nicht im Gesetz selbst, sondern in Rechtsakten, Verhaltenskodizes und Leitlinien finden. Diese erarbeitet die EU-Kommission anhand der vom Gesetz vorgegebenen Leitplanken zusammen mit den sogenannten „Stakeholdern“, also allen, die dazu etwas zu sagen haben könn-

ten oder betroffen sind. Man nennt dies kurz Ko-Regulierung.

Wesentlich beim Erarbeiten dieser konkreten Compliance-Standards ist die Organisationsstruktur, die die KI-Verordnung definiert: Art. 64 etabliert das sogenannte AI-Büro als in Brüssel angesiedelte, supranationale Kompetenzbehörde, die in der EU-Kommission (hier Generaldirektion CNECT) angesiedelt ist. Art. 65 hebt einen AI-Vorstand aus der Taufe, der mit Vertretern der Aufsichtsbehörden aus den Mitgliedsstaaten besetzt ist und das Einhalten der KI-Verordnung auf höchster Ebene überwachen soll. Außerdem existieren noch ein Beratungsgremium und ein wissenschaftlicher Beirat.

Die entscheidende Rolle kommt derzeit dem AI-Büro zu. Art. 56 KI-Verordnung definiert einen Zeitrahmen, in dem dieses AI-Büro einen möglichst konkreten „Code of Practice“ erarbeiten sollte, an den sich Anbieter und Betreiber von GPAI-Systemen halten können. Darin finden sich anders als in der Verordnung die konkreten Details, also rechtsverbindliche Leitlinien, wie sich die KI-Verordnung umsetzen lässt. Zur Ausarbeitung dieses Verhaltenskodexes darf das AI-Büro gemäß Art. 56 Abs. 3 auch die Anbieter selbst einbeziehen.

Mehr als 1000 Stakeholder sind seit der Auftaktveranstaltung am 11. Dezember 2024 am Entstehen des GPAI-Verhaltenskodexes in verschiedenen Arbeitsgruppen beteiligt, darunter Lobbyisten nahezu aller relevanten Anbieter von GPAI-Modellen. Gemäß Art. 56 KI-Verordnung musste die finale Version des Kodexes am 2. Mai veröffentlicht sein. Dies haben die Beteiligten als Punktlandung geschafft, nachdem es um den dritten und letzten Entwurf im März noch intensive Diskussionen gegeben hatte.

Im Laufe des Mai sollen das AI-Büro und auch der AI-Vorstand die veröffentlichte Version bewerten und eine Stellungnahme dazu herausgeben. Erst dann prüft die EU-Kommission als Exekutive den Vorschlag und kann den Kodex mit einem Durchführungsrechtsakt verbindlich machen. Ergo: Man hat es de facto mit einer Durchführungsverordnung zu tun, die Gesetzesstatus erlangt.

„Rigore Analyse“ gefordert

Zum Redaktionsschluss dieser c't-Ausgabe hatten wir noch keine Gelegenheit, die finale Fassung des GPAI Code of Practice zu analysieren. Deshalb seien hier nur



VLAN-Sortierer

Gigabit Managed Switch für Einsteiger

Der TL-SG608E von TP-Link ist bereits für circa 30 Euro im Onlinehandel erhältlich und damit eines der günstigsten Exemplare mit grundlegenden Managementfunktionen wie VLAN und QoS. Wir haben getestet, ob er für Einsteiger und kleine Projekte geeignet ist.

Von Paulina Graf

Acht Gigabit-Ethernet-Ports stecken im SG608E und die sitzen fest auf der Platine – wie unser Zugtest bewies. Trotz seines niedrigen Preises kommt der kleine Switch in einer soliden Metallkarosserie und hinterlässt damit einen guten ersten Eindruck bei uns.

Netzwerken kann man sofort nach dem Auspacken: Der Switch braucht nur Spannung aus dem mitgelieferten 5-Volt-Steckernetzteil (DC-Hohlstecker), dann ist er bereit. Gibt es schon einen DHCP-Server im Netzwerk, bezieht er von die-

sem eine IP-Adresse, sonst antwortet er unter der 192.168.0.1. Unter Windows konfiguriert man den Switch über TP-Links Tool. Linux- und macOS-Nutzer werden sich freuen, dass auch ein Webinterface existiert.

Die Bedienoberfläche ist einfach gehalten, sodass bereits ein wenig Theoriewissen über Managed Switching genügt, um sich zurechtzufinden. VLANs (IEEE 802.1Q) und Quality of Service (IEEE 802.1p) können Sie hier konfigurieren, zusätzlich findet man unter Monitoring die Datenrate sowie die Anzahl der erfolgreich und fehlerhaft übertragenen Pakete für jeden Port.

Bedienung

Das Konfigurieren ist teilweise etwas gewöhnungsbedürftig – beispielsweise speichert ein Druck auf die Eingabetaste zum falschen Zeitpunkt alle Einstellungen sofort und setzt die Ansicht zurück, sodass man etwa einen Port nochmal auswählen muss oder schlimmstenfalls eine kaputte Konfiguration einspielt. Das ist aber kein Drama: Hat man sich mal verklickt, setzt man das Gerät übers Menü oder mithilfe einer Büroklammer per Resetknopf zurück.

Die VLAN-Funktion des SG608E haben wir mit einem kleinen Freifunk-Setup getestet. Ein Freifunk-Router soll per Mesh-On-LAN mit einem unter Proxmox virtualisierten VPN-Offloader im selben VLAN kommunizieren, aber nichts vom Rest des Netzwerks mitkriegen. Dafür haben wir das VLAN auf den Port des Offloaders getagged und für den Port des Routers untagged konfiguriert – beides gelang uns intuitiv und schnell über die Bedienoberfläche. Die Kontrolle per Wireshark ergab, dass der Router nur noch die VXLAN-Mesh-Pakete serviert bekam, aber nicht mehr den Rest des Netzes.

Feature-Raten

Etwas ratlos ließ uns hingegen die Kabeltestfunktion zurück. Unabhängig von der Länge des verwendeten Kabels lieferte das Feld „Cable Fault Distance“ immer denselben Wert. Da TP-Link online keine Bedienungsanleitung zur Verfügung stellt, fanden wir per Netzrecherche heraus, dass die Zahl die Länge des getesteten Kabels angeben sollte, was in unseren Fällen allerdings nicht die Realität widerspiegelte. Das Feature konnte immerhin verlässlich aussagen, ob das Kabel mit einem Ende oder beiden im Switch steckte. Weiter kann der Switch Linkbündelung (LACP, Link Aggregation Control Protocol, IEEE 802.3ad), was wir aufgrund der geringen Relevanz für kleine Netze jedoch nicht getestet haben.

Insgesamt eignet sich der TP-Link TL-SG608E gut für den Einstieg in die Konfiguration und Administration von kleinen, aber doch komplexeren Netzwerken. Hat der Admin zuvor ein wenig Wissen über Themen wie VLANs und Port-Mirroring gesammelt, ist der Switch leicht zu benutzen. Der niedrige Preis von rund 30 Euro lässt einen die Mankos des Netzwerkverteilers schnell verzeihen. (amo@ct.de) **ct**

TP-Link SG608E Ver. 6

Günstiger Managed-Switch	
Hersteller, URL	TP-Link, tp-link.com
Bedienelemente	Power-LED, Port-LEDs, Reset-Taster
Anschlüsse	8 × Gigabit-Ethernet (RJ45), DC-Hohlbuchse, Kensington Lock
getestete Firmware	1.0.0 Build 20221015 Rel.57595
Leistungsaufnahme ¹	1,2 W
Preis	32 €
¹ zwei Ethernet-Ports belegt, Hintergrunddatenverkehr	

Für Nerds und Maker



shop.heise.de/highlights2024

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“

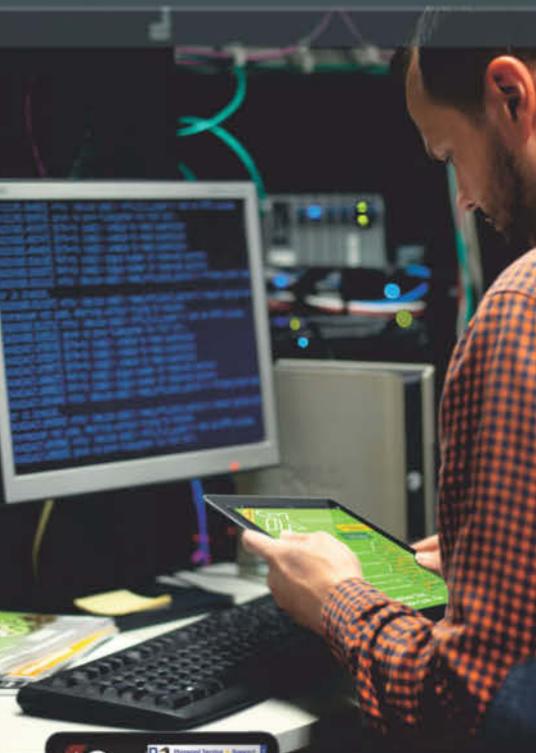
Schluss mit Langeweile in der Küche! Auf diesem Messbecher stehen 14 nerdige Fun Facts. Fragen wie „Wie viel Platz nehmen 30.000 Reiskörner ein?“ werden beantwortet.

Aus hitzebeständigem Borosilikatglas!

19,90 €

Es gibt 10 Arten von Menschen.

iX-Leser und die anderen.



3x testen

Jetzt Mini-Abo testen:

3 digitale Ausgaben +
Bluetooth-Tastatur
nur 21,45 €

www.ix.de/digital-testen



www.ix.de/digital-testen

leserservice@heise.de

0511 / 647 22 888

Kleiner Kaltmacher

Arctics Freezer 8 überzeugt als billige Alternative zu den bei CPUs mitgelieferten Kühlern.

Zwei Heatpipes, die 3 × 3 Zentimeter kleine Kontaktfläche und ein vergleichsweise kleiner 10-Zentimeter-Lüfter – wer den Arctic Freezer 8 allein anhand seiner technischen Daten beurteilt, unterschätzt ihn leicht. Ein Fehler, denn auf unserem Testsystem, das auch für den Kühlervergleich in c't 9/2025, S. 88 benutzt wurde, lieferte er auf einem Ryzen 7 9700X (TDP: 65 Watt) vergleichbare Kühlleistung wie größere, besser ausgestattete und vor allem teurere Modelle.

Ließen wir den Prozessor mit dem Renderprogramm Blender die Szene Barbershop berechnen, kühlte ihn der Freezer 8A mit unserer angepassten Lüfterkurve auf 75 °C. Dabei rotierte der Lüfter kaum hörbar mit rund 1000 U/min. Erst bei etwa 1700 U/min maßen wir 0,5 sone (Note: sehr gut), bei knapp 2000 U/min dann 1 sone (gut). Mit voller Drehzahl von 2400 U/min hielt der Kühler den per Prime95 auf allen Kernen geforderten Prozessor auf 65 °C und lärmte dabei mit 1,9 sone (schlecht).

Beim Freezer 8A für AMD-Systeme gelingt die Montage schnell und einfach: die Haltestege um die CPU-Fassung auf dem Mainboard durch die von Arctic ersetzen, Kühler draufschauben, fertig. Um die kleine Kontaktplatte an die richtige Stelle auf dem Heatspreader zu bekommen, lässt sich der Kühler auf seiner Montagestrebe einige Zentimeter in der Horizontalen verschieben. Die korrekte Position für den eigenen Prozessor steht in der Anleitung. Die Wärmeleitpaste ist bereits aufgetragen.

Dagegen gleicht der Einbau bei der Intel-Variante 8i einer Operation am offenen Herzen, denn man muss die halbe CPU-Fassung auseinandernehmen. Zunächst soll man laut Arctics animierter Anleitung im Web – eine gedruckte Anleitung liegt nicht bei, nur ein QR-Code – das Mainboard so auf eine Unterlage legen, dass die Konterplatte auf der Rückseite nicht verrutschen kann. Dann schraubt man mit dem mitgelieferten Torx-Schlüssel das Retention Module ab, also den metallenen Einspannrahmen für die CPU, und setzt den Prozessor ungesi-



chert in die Fassung. Weil er nur eingelegt ist, besteht die Gefahr, die filigranen Federbeinchen darin zu beschädigen, wenn man ihn aus Versehen verschiebt. Anschließend setzt man Arctics Halterahmen auf, verschraubt ihn mit der Konterplatte und befestigt dann den Kühler.

Dieses Prozedere würden wir gerade Laien nicht empfehlen, zumal weder die CPU- noch die Mainboard-Garantie einen dadurch verursachten Schaden abdeckt. Wir haben bei Intel und Asus nachgefragt. Apropos Garantie: Wer das Mainboard einsenden muss, beispielsweise zur Reparatur, muss den Ausgangszustand wiederherstellen.

Um die 19 Euro empfiehlt Arctic für die Mitglieder der Freezer-8-Familie als Verkaufspreis, die CO-Modelle (Continuous Operation) mit Lüftern für den Dauerbetrieb sollen einen Euro mehr kosten. Die Straßenpreise dürften schnell darunter liegen. Auf die Frage, warum man nicht einfach den Kühler benutzen soll, der ohnehin der CPU beiliegt, liefern die Arctic-Modelle gute Argumente: Sie kühlen besser, bleiben dabei viel leiser und haben zudem noch Reserven. Aber die Intel-Montage bleibt eine Nervenprobe.

(bkr@ct.de)

Arctic Freezer 8A/8i

günstiger CPU-Luftkühler	
Hersteller, URL	Arctic, arctic.de
Lüfter (Drehzahlbereich) / Heatpipes (Material)	100 mm (0–2400 U/min) / 2 × 6 mm (Kupfer)
Maße (B × H × T) / Gewicht	108 mm × 136 mm × 83 mm / 420 g
CPU-Fassungen	8A: AM4/AM5; 8i: LGA1700/LGA1851
Preis (UVP)	8A: 18,99 € / 8i: 19,49 €



Funkbrücke zum Display

Der drahtlose HDMI-Adapter von TVPeCee funkt im 5-GHz-Band Audio- und Videodaten vom PC zu einem Display mit HDMI-Eingang.

Der kompakte Adapter stellt per Wireless-HDMI eine Verbindung vom PC oder Medienspieler zum Fernseher, Beamer, Mobildisplay oder Monitor her. Dabei muss man weder Strippen ziehen noch fremde WLANs nutzen, stattdessen spannt der Adapter mit zwei Geräten ein eigenes Funknetz auf. Als Reichweite nennt der Hersteller 30 Meter, wir konnten über rund 40 Meter und durch dünne (Leichtbau-) Wände hindurch eine Verbindung herstellen. Ein derart langes HDMI-Kabel wäre teuer und führt vielfach zu Störungen.

Die 5-GHz-Technik ermöglicht aufgrund der hohen Bandbreite eine flüssige Übertragung mit brauchbaren Latenzen. So fühlt sich der Mauszeiger ein klein wenig wie am Gummiband an, reagiert aber deutlich schneller als beispielsweise bei einer Anbindung per DisplayLink. Die Latenz ist für Gamer zwar zu hoch, doch einfache Eingaben, Surfen oder E-Mails klappen gut.

Leider beherrscht der Adapter nur HDMI 1.3, seine Auflösung ist deshalb auf Full HD mit 1920 × 1080 Bildpunkten bei 60 Hertz begrenzt. Aktuelle Fernseher rechnen die geringere Auflösung meist gut auf ihre 4K-Darstellung hoch. Am höher auflösenden Monitor wirkt die interpolierte Darstellung dagegen pixelig, zumal man üblicherweise dichter am Monitor sitzt als am TV. Interessanterweise meldet der Funkadapter beim Anschluss korrekt die jeweilige Monitorbezeichnung, begrenzt die Auflösung aber unabhängig vom Dis-

play auf Full HD. Er unterstützt diverse kleinere Auflösungen, darunter klassisches XGA (1024 × 768) und 720p (1280 × 720).

Im Betrieb begnügte sich unser Sendeadapter mit 0,8 Watt, der Empfänger lag mit 1,3 Watt etwas höher. Beide Seiten werden per USB-A mit Strom versorgt. Kabel liegen bei beziehungsweise hängen am Empfänger, der als HDMI-USB-Kabelpeitsche ausgeführt ist. Falls dieser nicht genug Energie bekommt, wechselt das Bild des angeschlossenen Displays zu „No signal, Waiting..“ auf schwarzem Hintergrund; ein Hinweis auf die unzureichende Energieversorgung fehlt leider. Die Leistungsaufnahme des Empfängers sinkt dabei auf 1 Watt.

Fällt die Signalquelle weg, etwa weil man das Notebook zuklappt oder ins Standby schickt, erscheint und bleibt ein heller Bildinhalt mit „Wireless connection in progress“ bei ebenfalls 1 Watt. Sobald der Sender wieder funkt, stellt der Empfänger das Signal automatisch wieder her, was praktisch ist, wenn man ans Display gerade nicht herankommt.

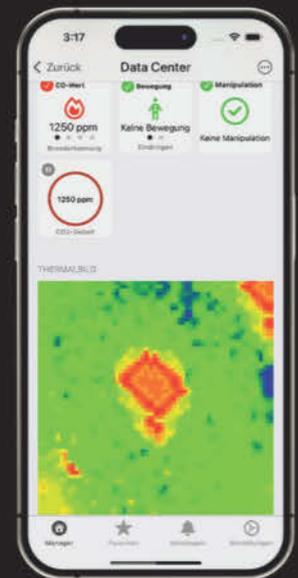
Der für 65 Euro erhältliche Wireless-HDMI-Adapter von TVPeCee funkt zuverlässig über lange Strecken und ist damit eine gute Alternative zu teuren Kabeln, sofern Full-HD-Auflösung reicht. Adapter für 4K-Auflösung kosten mindestens das Doppelte. (uk@ct.de)

Wireless HDMI Adapter

Funkadapter für den PC	
Hersteller, URL	TVPeCee, tvpecee.de
Funkfrequenz	5,15-5,25 GHz
Übertragene Auflösung max.	Full HD / 60 Hz (1920 × 1080 Pixel)
Maße / Gewicht	15,7 cm × 6,2 cm × 1,5 cm / 34 g (Sender), 60 cm Kabelpeitsche / 22 g (Empfänger)
Preis	65 € (bei Pearl)

Akkubrände frühzeitig erkennen

Überwachen Sie Batterie- und Akkulagerung, USV, elektrische Anlagen und andere Brandgefahren.



Der MultiSensor-TI



- ✓ Überwacht 20 Gefahren
- ✓ 1024 px Thermalsensor
- ✓ 4-Faktor-Brandfrüh-erkennung

Jetzt absichern



kentix.com/multisensor-ti

KENTIX
Innovative Security

KI im Blick!

Jetzt mit c't die
Übersicht behalten!



ct KI-WISSEN
Kritische Analysen & Kreative Praxis

Umweltfolgen und Ressourcenbedarf
China macht's von: Warum DeepSeek effizienter ist
Energiebedarf mit Quantisierung senken

KI in Bildung und Wissenschaft
Nobelpreise für Chemie und Physik erklärt
KI-Modelle an Linux nutzen

EU-Regulierung und Datenschutz
KI-Überwachung: Was sie trackt, wozu sie schaltet
Feine Würstchen: Urheber wehren sich gegen KI-Betreiber

Neue Ideen mit KI umsetzen
Sprachen lernen · Bienen retten · Websites tracken · Sex mit Robotern
Videos generieren · Podcasts produzieren · Musik coden

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.

Kompakt- zählerchen

Zwischenzähler sind praktisch, um einzelne Geräte zu überwachen und Speicher zu betreiben. Shelly baut ein besonders kompaktes Modell ohne klobige Messklemmen.

Über Zwischenzähler für den Schaltschrank, die ihre Messwerte per WLAN funken, haben wir schon des Öfteren geschrieben. Solche eignen sich immer dann, wenn man Verbrauch oder Erzeugung von einzelnen Geräten oder ganzen Wohnungen überwachen und nicht in jeder Steckdose einen Zwischenstecker mit Zähler platzieren möchte. Auch im Zusammenspiel mit Balkonkraftwerkakkus leisten sie gute Dienste. Üblicherweise enthielten unsere Artikel über solche fest installierten Zähler stets den Hinweis: Der Elektriker, der ihn einbaut, muss wegen Platzmangel im Schrank möglicherweise viel umbauen oder gar kapitulieren, denn solche Zähler funktionieren in der Regel mit klobigen Messklemmen, die um die Leiter gelegt werden.

Smart-Home-Hersteller Shelly bietet eine neue Bauform an, die fast überall passt: Der 3EM-63T Gen3 liegt quer im Sicherungskasten, ist drei Teilungseinheiten breit und hat drei Flachkontakte. Die passen genau in die drei Anschlüsse von Sicherungsautomaten oder in einen dreiphasigen FI-Schutzschalter. Durch die drei Löcher fädelt man die Leiter, die gemessen werden sollen. Zusätzlich hängt eine blaue Ader am Shelly. Sie wird mit dem Neutralleiter verbunden. Durch das Querformat belegt der Zähler keinen Platz auf der Hutschiene.

Der Einbau gelang im Test reibungslos, sofern man Automaten mit Anschlussklemmen zum Schrauben nutzt. Der kleine Kasten passt auch in engen Verteilungen ohne Anstrengungen. Für den Shelly ist es unerheblich, ob er drei Stromkreise derselben Phase oder Dreiphasenwechselstrom (zum Beispiel vor einem FI-Schutzschalter) misst.

Nach der Installation durch eine Fachkraft folgen die Inbetriebnahme und Aufnahme ins WLAN: Die hat Shelly vorbildlich gelöst. Wer die App nutzen möchte, findet den Zähler darin per Bluetooth und holt ihn in wenigen Schritten ins WLAN und verknüpft ihn direkt mit dem Shelly-Account. In der App sieht man die



Messwerte und Diagramme. Alternativ kann man sich auch mit einem vom Zähler aufgespannten WLAN-Netz verbinden und die Schachtel über die Adresse 192.168.33.1 im Browser einrichten. Wer die App und Cloud nicht nutzen will, kommt per lokalem API oder MQTT an die Messwerte. Die Messwerte kann man dann zum Beispiel über eine Smart-Home-Software wie Home Assistant oder Node-Red abrufen und visualisieren oder analysieren. Gemessen werden Spannung, Strom (bis 63 A), Leistung und Scheinleistung.

Der Shelly 3EM-63T Gen3 hat noch einen Bruder: Der 3EM-63 Gen3 hat keine Flachkontakte für die Installation auf Automaten, sondern insgesamt vier kurze Adern, funktioniert ansonsten gleich. Dieses Modell muss man nicht unmittelbar auf oder unter einem Automaten platzieren.

Tipp: Wer den Zähler als Zubehör für eine PV-Anlage, wozu explizit auch ein Balkonkraftwerk zählt, bestellt, der spart die Mehrwertsteuer. Händler, die PV-Komponenten vertreiben, ziehen sie im Webshop direkt ab. (jam@ct.de)

Shelly 3EM-63T Gen3

Kompakter Stromzähler	
Hersteller, URL	Shelly Group SE, shelly.com
Schnittstellen	Wi-Fi (802.11 b/g/n, 2,4 GHz), Bluetooth 4.2, HTTP-API, MQTT, Cloudanbindung
Preis	71 €



Spezialoptik für 3D und VR

Mit dem Canon-Objektiv RF-S 3,9mm f/3.5 STM Dual Fisheye Objektiv kann man 3D-Videos produzieren, die Betrachtern mit einer VR-Brille ein Mit-erleben der Szene möglich machen.

Nachdem Canon bereits Ende 2021 sein erstes 3D-VR-Objektiv für Vollformatkameras auf den Markt gebracht hatte, folgt nun eines für den kleineren APS-C-Sensor. Dabei bekommt man als Nutzer nur noch einen 144 Grad Blickwinkel im Unterschied zu den 190 Grad des Vollformatmodells. Auf der positiven Seite stehen ein Autofokusbajonett und 60 Gramm weniger Gewicht.

Das Canon RF-S 3,9mm f/3.5 STM ist für eine sehr spezielle Zielgruppe gedacht, VR-Filmproduzenten. Es ist bis jetzt nur an der Canon EOS R7 nutzbar, andere Kameras sind nicht kompatibel. Die beiden Fisheye-Linsen produzieren im Zusammenspiel mit der entsprechenden Software ein 3D-Video, in dem man sich später mit einer VR-Brille umgucken kann.

Anwendung findet sie zum Beispiel bei Meta, die VR-Übertragungen von Sportveranstaltungen in den USA bereitstellen. Darunter die NBA und die Rennserie NASCAR. Auch kleinere Filme, Serien und Dokumentationen gibt es auf der Quest-Brille des Facebook-Mutterkonzerns. Solche Produktionen nutzen diese Art von Objektiv.

In der Handhabung unterscheidet sich das Objektiv nicht großartig von konventionellen Objektiven. Ein Steuerungs- und Fokusring befindet sich kurz vor dem Bajonettanschluss. Lediglich der fehlende kontinuierliche Autofokus (Movie Servo AF) macht es nicht sehr einsteigerfreund-

lich. So muss man vorab auf das Motiv fokussieren, das man scharf darstellen will

Das ist allerdings kein großes Manko, da eine Kamera für diese Art von VR-Aufnahmen meist nicht oder nur ganz sanft bewegt wird. Denn bei schnellen Bewegungen laufen Zuschauer Gefahr, die sogenannte „Motion Sickness“ zu erfahren.

Die Auflösung, in der wir unsere Testaufnahmen gemacht haben, war Canons 4K-Fine Einstellung (3840 × 2160 Pixel). Das klingt viel, führte aber in unseren VR-Test zu einer nur ausreichenden Bildqualität. Das liegt zum einen an den technischen Fähigkeiten der Meta Quest 3, auf der wir die Videos wiedergegeben haben, und zum anderen an den zwei Linsen, die sich die verfügbare Auflösung teilen müssen.

Vergleichbare Videos auf YouTube, die in 8K aufgenommen wurden, sehen da schon ein wenig besser aus, kommen aber auch nicht an die Schärfe einer guten 2D-Aufnahme heran. 3D-VR-Aufnahmen aus der Kombination von Canon R7 und RF-S 3,9-mm-Objektiv sind qualitativ nicht gut genug, um sie ohne Kompromisse genießen zu können. Diese bestehen vor allem in der stark wahrnehmbaren Unschärfe abseits des Hauptmotivs, einem geringen Detailgrad und dem wahrnehmbaren Bildrauschen.

Etwas anders sieht das bei Fotos (Standbildern) aus, deren Qualität im Vergleich zu Videoaufnahmen besser ausfällt.

Das Canon RF-S 3,9mm f/3.5 STM Dual Fisheye ist ein besonderes Objektiv, mit dem man spezielle Aufnahmen machen kann. Hat man eine VR-Brille übrig, kann man damit interessante Projekte realisieren, beispielsweise Modellautos in einer virtuellen Realität betrachten. Unter anderem könnte es für interaktive Immobilien-touren, Museumsrundgänge oder auch einen virtuellen Zoobesuch einen Blick wert sein. (tlz@ct.de)

Canon RF-S 3,9mm f/3.5 STM Dual Fisheye

Technische Daten	
Brennweite	3,9 mm Dual Fisheye
Filterdurchmesser	27,3 mm × 27,3 mm (hinter der Linse)
abgedichtet	-
Bildstabilisator	-
Bajonett	Canon RF-S
Bildwinkel (horizontal, vertikal, diagonal)	144°, 144°, 144°
Naheinstellgrenze	0,2 m
Abmessung (B × L × H) / Gewicht	112 mm × 83,7 mm × 84 mm / 290 g
Preis (Straße)	1300 €

Thermo-Hygrometer SPE

IP-Kommunikation vom Sensor bis in die Cloud

NEU

Misst Temperatur + Luftfeuchte und stellt die Daten über **Single Pair Ethernet (SPE)** im Netzwerk bereit.

- W&T Cloud
- Konfigurierbare Alerts
- Ohne Stromkabel



Schraubklemme



M8-Verschraubung



Mit Schraubklemme oder M8-Verschraubung erhältlich.

Jetzt testen!
www.wut.de/th



W&T
www.WuT.de

Nichts verpassen

Insta360 X5: robuste Actioncam für 360-Grad-Videos

Mit Actionkameras entstehen Videoclips auf Surfbrett, Snowboard oder Mountainbike. Die Insta360 X5 filmt in 360 Grad, retuschiert die Halterung heraus, stabilisiert und wählt optional einen Bildausschnitt über KI. Verglichen mit dem Vorgängermodell soll sie robuster und einfach zu reparieren sein. Wir haben sie getestet.

Von André Kramer

Der chinesische Actioncam-Hersteller Insta360 hat ein neues Modell seiner Topserie veröffentlicht. Die X5 passt in die Hosentasche und gleicht weitgehend dem Vorgängermodell X4, zeichnet sich aber durch einen größeren 1/1,28-Zoll-Sensor aus. Die Pixelgröße beträgt bei der X5 2,44 µm. Bei gleicher Auflösung fängt der



Die Actionkamera Insta360 X5 filmt simultan mit zwei weitwinkligen Kameras und setzt beide Bilder zu einem 360-Grad-Panorama zusammen.

neue Sensor mehr Licht pro Pixel ein als der 1/2-Zoll-Chip des Vorgängermodells. Damit spielt die Kamera ihre Vorteile vor allem in dunklen Szenarien aus.

Die größten Konkurrenten von Actioncams sind üblicherweise ihre direkten Vorgänger. Vor allem in länger laufenden Serien sind sie oft ebenfalls schon ausgereift, aber deutlich günstiger zu haben als das aktuelle Topmodell. So muss sich auch die X5 gegenüber der X4 behaupten. Beide Modelle nehmen, sofern nicht anders eingestellt, ein gesamtes Kugelpanorama auf. Denn die X-Modelle haben auf Vorder- und Rückseite jeweils eine Kamera mit Fischaugenoptik. Die Kameraprozessoren setzen die Einzelbilder intern zu einem nahtlosen Panorama zusammen. Die X5 und die X4 schießen 360-Grad-Fotos in 11 Megapixel. Videos sind in 8K-Auflösung mit 30 Bildern pro Sekunde möglich. In 5,7K schaffen X5 und X4 60, in 1080p gar 120 Bilder pro Sekunde. Alternativ filmen sie einseitig mit nur einer Kamera entweder das Blickfeld oder im Selfie-Modus die filmende Person.

Die Kamera hat eine Auslösetaste und eine zur Wahl des Aufnahmemodus. Die Videoaufnahme lässt sich auch per Handgeste oder durch Schwenken der Kamera um 90 Grad und zurück starten. Auch einfache Sprachbefehle versteht sie. All das funktioniert nicht immer auf Anhieb, aber gut genug, um sich im Alltag zu bewähren.

Der 2400-mAh-Akku ist geringfügig leistungsfähiger als der 2290-mAh-Akku der X4. Bei voller 8K-Auflösung filmte die Kamera im Test mit einer Akkuladung etwa anderthalb Stunden lang. In 5,7K mit 60 fps filmte sie deutlich über zwei Stunden. Es dauert nur eine halbe Stunde, einen auf etwa 20 Prozent entleerten Akku wieder vollzuladen. Bei voller Auflösung entwickelte die Kamera zwar Wärme, überhitzte aber nicht.

Jetzt filmen, später ausrichten

Der Clou am 360-Grad-Konzept: Man kann sich ganz auf die Action konzentrieren und den Bildausschnitt später in der App oder

der Desktop-Software festlegen. Auch das Seitenverhältnis, beispielsweise 16:9 oder 9:16, lässt sich später definieren. Im Insta360 Studio für Windows und macOS kann man den Bildausschnitt über Keyframes nachführen, Farben und Belichtung korrigieren und die Clips über eine Zeitleiste in der Länge beschneiden. Die Mobil-Apps für Android und iOS erstellen Social-Media-Videos über KI-Vorlagen. So lässt sich beispielsweise ein alternativer Himmel einfügen, den Horizont schneidet die App dabei via KI halbwegs glaubwürdig aus.

Der neue Kameramodus „InstaFrame“ soll den Umweg über die App ersparen. Dabei speichert die X5 parallel das komplette 360-Grad-Panorama und ein am Horizont ausgerichtetes Video, das wahlweise das Blickfeld des Nutzers oder eine Selfie-Ansicht zeigt. Letztere verfolgt das Gesicht mehr schlecht als recht, verliert es immer wieder aus dem Blickfeld. Insta360 bewirbt den Modus, um zügig Videoclips teilen zu können. App und Desktop-Software haben aber auch schon vorher recht zuverlässig das Motiv verfolgt. InstaFrame arbeitet hingegen noch nicht robust genug.

Einen Selfie-Stick oder eine Halterung retuschiert die Kamerasoftware automatisch und zuverlässig. Das funktioniert besonders gut bei – zusätzlich erhältlichen – Halterungen wie dem Saugnapf-Stativ für glatte Oberflächen etwa auf Surfbrettern oder Lenkerbefestigungen für Motorräder und Fahrräder. Führt man den Stick in der Hand, sieht im Resultat die leere Faust etwas unnatürlich aus.

Bei schlechtem Licht

Bei Tageslichtaufnahmen fällt vor allem auf, wie stabil die Kamera den Horizont hält. Radfahrer auf einer buckeligen Piste wirken dabei wie ausgestanzt und wieder eingesetzt. Möglicherweise gehen die



In der Mobil-App und der hier gezeigten Desktopanwendung lassen sich die 360-Grad-Aufnahmen auf ein anderes Seitenverhältnis, etwa 16:9 oder 9:16, beschneiden.



Die X5 bewährt sich bei schlechten Lichtverhältnissen. Der „ActiveHDR“-Modus (oben) hellt das Motiv spürbar auf; „PureVideo“ unterdrückt dabei Bildrauschen (unten im Standardmodus).

Bildprozessoren genauso vor, beweisen lässt es sich nicht. Offensichtliche Fehler und Artefakte sind nicht zu sehen. Nur turbulente Aufnahmen wirken ein wenig unnatürlich. Auch das 360-Grad-Panorama sticht die Kamera fehlerfrei.

Im Modus „Active HDR“ hellt die Kamerasoftware dunkle Bereiche spürbar auf und verstärkt die Farben. Das zahlt sich besonders in Innenräumen vor hellen Fenstern, im Gegenlicht mit der Sonne im Rücken oder bei Dunkelheit aus. Der Modus arbeitet maximal in 5,7K mit 60 Bildern pro Sekunde.

In der Dämmerung zahlt sich außerdem der größere Sensor aus. Unterstützt wird er von dem neuen KI-Modus „PureVideo“. Bei einer nächtlichen Stadtfahrt, die lediglich mit Straßenlaternen und Schaufenstern erleuchtet war, zeigte die Kamera ein farbenfrohes und helles Bild ohne nennenswertes Bildrauschen.

Schnelle Hilfe bei Glasbruch

Die an der Vorder- und Rückseite angebrachten Linsen sind stark gewölbt, um je-

weils 180 Grad des Blickfelds einfangen zu können. Die exponierten Glaskuppeln treten aus dem Gehäuse besonders hervor und in häufigen Kontakt mit Tischplatten und anderen Oberflächen. Einige Nutzer der X4 berichten davon, schon mehrere Modelle bei Aufnahmen zerstört zu haben, beispielsweise wenn sie die Kamera für dramatischen Effekt besonders nah am Boden oder an Wänden entlangführten. Dank robusterem Glas sollen die Linsen der X5 nicht mehr so leicht zerkratzen. Defekte Linsen kann man nun mit einem Reparaturkit schnell selbst austauschen. Es kostet knapp 36 Euro und passt in den Rucksack.

Bei der Reparatur setzt man zunächst das mitgelieferte, zylinderförmige Werkzeug auf und dreht die defekte Linse aus ihrer Halterung. Dann hebt man sie mit einem beiliegenden Kunststoffspatel heraus. Die neue Linse wird mit einem kleinen Saugnapf eingesetzt und mit dem Werkzeug aus dem ersten Schritt eingeschraubt. Das Set enthält Reinigungstücher und einen Blasebalg, um Staub zu entfernen. So lässt es sich mit etwas Vorsicht auch in freier Natur verwenden.

Insta360 bietet außerdem Schutzlinsen an. Die Standard- und die etwas teurere Premiumlinse sind schadensresistenter als das eigentliche Gehäuse. Sie beeinträchtigen jedoch die Bildqualität und bieten sich daher nur für extreme Szenarien wie Motocross an.

Schutz vor Wind und Wasser

Insta360 hat nach eigenen Angaben die Wasserdichtigkeit verbessert. Die Kamera ist gemäß IP68 gegen Untertauchen um 15 Meter gegenüber 10 Meter bei der X4 geschützt. Untergetaucht haben wir die X5 nicht. Für Tauchgänge sollte man das separat erhältliche Tauchgehäuse nutzen. Alle Klappen und Taster wirken jedoch zuverlässig abgedichtet, sodass die Kamera Regengüssen standhalten sollte.

Das Stereomikrofon auf der Vorderseite ist durch ein mehrlagiges Stahlnetz vor Windgeräuschen geschützt. Ein opti-

mierter Audioalgorithmus soll den aufgenommenen Sound zusätzlich verbessern. Fahrtwind filtert die Kamera zuverlässig heraus, sodass Gespräche verständlich sind und Vogelgezwitscher klar zu hören ist. Nach Untertauchen soll man das Mikrofon an der Luft trocknen lassen. Es dauert etwa 24 Stunden, bis die Kamera wieder normalen Ton aufnimmt.

Fazit

Eine Actionkamera ist ein kostspieliges Accessoire. Die X4 kostet aktuell 100 Euro weniger als die X5 und kann dem neueren Modell weitgehend das Wasser reichen. Wer Gefahr läuft, seine Kamera im Einsatz zu schrotten, profitiert von der X5 durch die austauschbaren Linsen. Der neue InstaFrame-Selfiemodus funktioniert nicht robust. Bei schlechtem Licht machen sich die größeren Sensoren und die KI-gestützte Rauschreduzierung positiv bemerkbar. (akr@ct.de) **ct**

Literatur

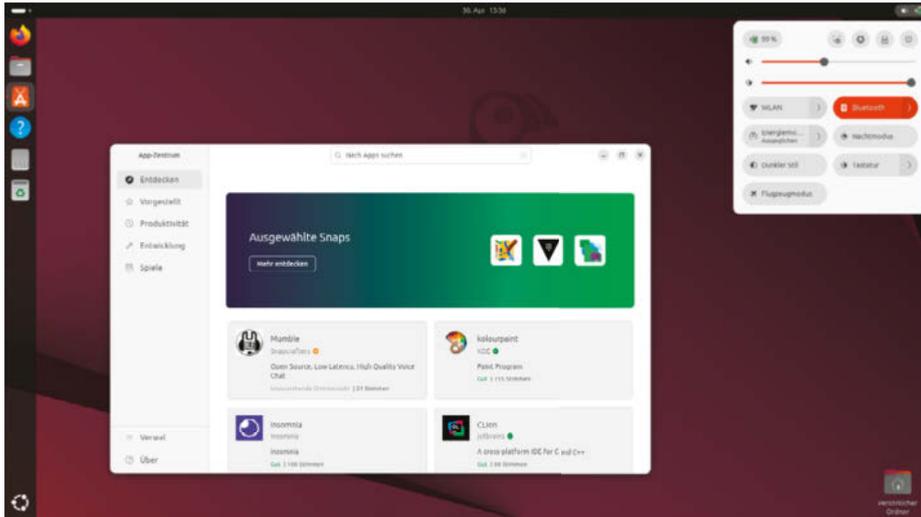
- [1] André Kramer, 8K-Actioncam, Insta360 X4: 360-Grad-Video in 8K-Auflösung, c't 14/2024, S. 84

360-Grad-Actionkamera

Modell	Insta360 X5
Hersteller, URL	Insta360, insta360.com/de
Technische Daten	
Sensor	1/1,28 Zoll (12,5 mm Diagonale)
Blendenöffnung	f/2.0
Brennweite	6 mm (35 mm äquivalent)
Weißabgleich	2000 K - 10.000 K
Lichtempfindlichkeit	ISO 100 - ISO 6400
kürzeste / längste Verschlusszeit	1/8000 (Foto, Video) / 120 s (Foto)
Formate und Auflösungen	
Fotoauflösung	72 Megapixel (11.904 × 5952) 18 Megapixel (5888 × 2944)
Videoauflösung (360 Grad)	7680 × 3840, 30fps (8K) 5760 × 2880, 60 fps (5,7K) 3840 × 1920, 120 fps (4K)
Videoformat	INSV, MP4 (Einzelobjektiv)
Fotoformat	INSP (JPEG-Export über App), DNG
Videokodierung / max. Bitrate	H.264, H.265 / 180 MBit/s
Audioformat	48 kHz, 16 Bit, AAC
Audiomodi	Windreduktion (aktiv, autom.), Stereo
Gehäuse und Akku	
Display	2,5 Zoll (touch)
Speicherkartenfach	1 × microSD (UHS-I / V30)
Akkukapazität / Ladezeit	2400 mAh / 35 Min (lt. Herst.)
Laufzeit bei 8K, 30 fps	ca. 88 Min
Abmessungen / Gewicht	46 mm × 124 mm × 38 mm / 200 g
Anschluss	USB 3.0 (Typ-C)
Wireless	WLAN, Bluetooth 5.2
Systemanf. (App)	iOS ab 13.0, Android ab 10.0
Preis (Standard-Kit)	589,99 €



Der Selfiestick erlaubt dramatische Perspektiven wie hier aus Bodenhöhe. Die exponierten Glaskuppeln können dabei schnell zerbrechen. Mit einem Reparaturkit lassen sich die Linsen der X5 austauschen.



Ubuntu-Frühjahrsputz

Linux-Distribution Ubuntu 25.04 im Test

Das neue Ubuntu läuft auf Windows-on-ARM-Notebooks und profitiert von Gnome 48. Wer auf die neue Version umsteigen will, muss sich aber noch gedulden.

Von Niklas Dierking

So wie jedes Jahr hat Canonical, das Unternehmen hinter Ubuntu, auch in diesem April ein sogenanntes Interim-Release (Zwischenrelease) seiner Linux-Distribution veröffentlicht.

Ein Gebiet, auf dem Canonical Pionierarbeit leistet, ist die Unterstützung moderner ARM-Notebooks mit Snapdragon-X-Elite-Prozessor. Vergangenes Jahr veröffentlichten die Entwickler erstmals ein Konzept-Image des vorangegangenen Releases Ubuntu 24.10, das speziell für diese Plattform angepasst war. Jetzt

stecken alle nötigen Anpassungen in einem neuen generischen Installationsabbild für ARM-Systeme. Der Download ist allerdings etwas versteckt (siehe ct.de/yh62). Das Image eignet sich für ARM-VMs, Windows-on-ARM-Notebooks und ARM-Systeme mit ACPI und EFI.

Ubuntu 25.04 macht auf unserem ARM-Testgerät, einem Dell XPS 13 9345, eine gute Figur; viel hat sich seit unserem kürzlichen Test mit dem Konzept-Image aber nicht getan. Die Akkulaufzeit im Leerlauf liegt weiter bei 60 bis 70 Prozent im Vergleich zu Windows. Außerdem muss man weiterhin das Werkzeug `qcom-firmware-extract` installieren und damit Firmware-Dateien aus der Windows-Installation fischen.

Holpriger Start

Kurz nach der Veröffentlichung der frischen Installations-Images haben die Entwickler den Befehl `do-release-upgrade` zum Upgrade bestehender Ubuntu-Installationen lahmgelegt. Unter anderem hatte das Programm `ubuntu-release-upgrader Pa-`

kete entfernt, die aus externen Paketquellen stammen. Bei Kubuntu, dem offiziellen Ubuntu-Flavour mit dem KDE Plasma Desktop, gab es ein Problem mit fehlenden Abhängigkeiten von PyQt6. Das Upgrade führte bei einigen Nutzern zu einem unbenutzbaren System. Zum Redaktionsschluss war das Upgrade immer noch deaktiviert, die nötigen Fixes sind laut Canonical aber bereits fertig.

Desktop-Neuerungen

Die meisten sichtbaren Neuerungen verdankt Ubuntu 25.04 der Desktopumgebung Gnome 48. Dazu gehören insbesondere HDR-Support, wenn ein kompatibler Monitor angeschlossen ist, und der neue Bereich „Wellbeing“ in den Systemeinstellungen. Dort wird Buch über die Bildschirmzeit geführt. Wer mag, kann sich ein tägliches Limit setzen oder sich in regelmäßigen Abständen an Pausen erinnern lassen. Kompatible Hardware vorausgesetzt, kann man jetzt verbieten, den Akku bei angeschlossenem Netzteil vollzuladen.

Den bisherigen PDF-Anzeiger Evince ersetzt Ubuntu durch Papers. Die neue App ist ein teilweise in Rust geschriebener Fork von Evince, der die GTK4-Grafikbibliothek nutzt.

Ubuntu 25.04 liefert den Linux-Kernel 6.14 aus und unterstützt erstmals Nvidia Dynamic Boost durch den Daemon `nvidia-powerd`. Dadurch dürfen GPUs in Notebooks bei bestimmten Workloads wie Gaming mehr Leistung aufnehmen; die CPU entsprechend weniger. Das funktioniert jedoch nur mit neueren Nvidia-GPUs ab der Generation Ampere (RTX 30XX).

Fazit

Canonical liefert mit 25.04 keine bahnbrechenden neuen Features aus, sondern profitiert hauptsächlich von Gnome 48. Das ist aber auch nicht ungewöhnlich für so ein Zwischenrelease. Die Entwickler versorgen Ubuntu 25.04 bis Januar 2026 mit Aktualisierungen. (ndi@ct.de) **ct**

Download von Installationsabbildern:
ct.de/yh62

Ubuntu Desktop 25.04

Linux-Distribution	
Hersteller, URL	Canonical, ubuntu.com
Systemanf.	x86-64-CPU (2 GHz, Dual-Core) oder gleichwertiger ARM-Prozessor, 25 GByte Datenspeicher, 4GByte RAM
Supportzeitraum	bis Januar 2026
Preis	kostenlos, Open Source

Hacken für Anfänger

Offline erste Gehversuche unternehmen

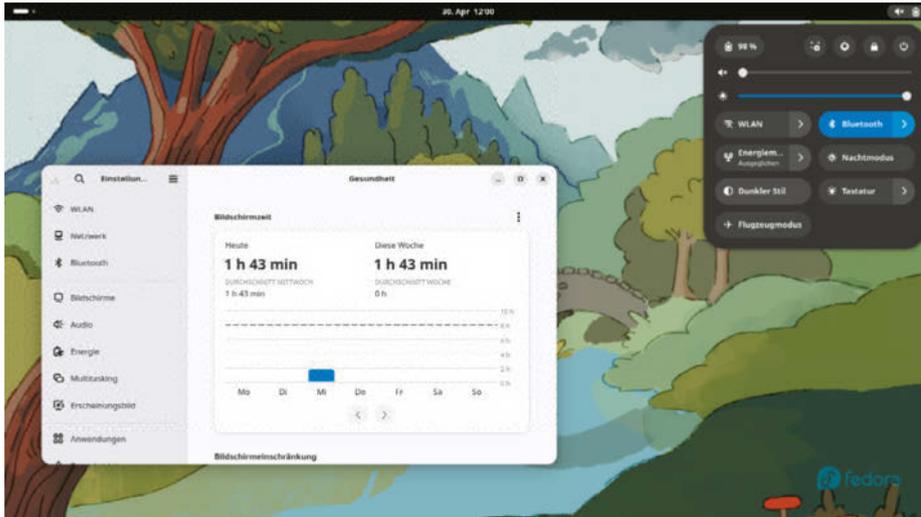


Passkeys statt Passwörter

Sichere Logins verstehen und einrichten



Jetzt informieren: heise.de/ct/Events



Die Antwort auf alle (Linux-)Fragen?

Fedora Workstation 42 im Test

Die Entwickler spendieren Fedora Workstation 42 endlich den lang erwarteten neuen Installer. Mit HDR und Triple-Buffering tut sich außerdem einiges im Bereich Anzeige.

Von **Niklas Dierking**

Mitte April veröffentlichte das Fedora-Projekt Version 42 seiner Linux-Distribution, flankiert von jeder Menge Anspielungen auf Douglas Adams' Roman „Per Anhalter durch die Galaxis“.

Die Entwickler haben die Fedora-Variante mit KDE Plasma Desktop zur offiziellen Edition geadelt. Dadurch steht Fedora Plasma Desktop ab jetzt gleichberechtigt neben Fedora Workstation, das den Gnome-Desktop ausliefert. Warum eine Edition den generischen Namen Workstation trägt und die andere den

Namen des Desktops führt, erschließt sich nicht und dürfte auch einige in die Irre führen.

Anaconda häutet sich

Vollständig verwirklicht ist die Gleichberechtigung der Editionen nicht, denn das spannendste Feature von Fedora 42, der neu gestaltete Anaconda-Installer, bleibt zunächst Fedora Workstation vorbehalten. Aus der etwas angestaubten und schwer zugänglichen GTK-Anwendung ist eine moderne Web-App geworden, die Schritt für Schritt durch die Installation führt. Der neue Installer ist bis auf wenige Ausnahmen deutlich intuitiver. Hakelig bleibt die Auswahl der Tastaturbelegung im ersten Installationsschritt. Der Installer wechselt dann in die Systemeinstellungen des Live-Systems.

Wer ein Dual-Boot-Setup einrichten möchte, kommt mit der Option „Gemeinsame Nutzung der Festplatte mit anderen Betriebssystemen“ jetzt schneller und bequemer ans Ziel. Für komplexere Installationen gibt es den sogenannten Speicher-

Editor, den die Entwickler hinter der Schaltfläche mit den drei Punkten in der oberen, rechten Ecke des Fensters versteckt haben. Versteckt wurde er vermutlich, damit unbedarfte Nutzer nicht versehentlich Daten löschen. Im Unterschied zu anderen Partitionierungswerkzeugen führt der Speicher-Editor Änderungen nämlich sofort aus, anstatt die geplanten Änderungen zu sammeln und erst nach erneuter Bestätigung umzusetzen.

Gnome-Windschatten

Fedora Workstation 42 kommt mit der Desktopumgebung Gnome 48. Fedora kann daher jetzt auf kompatiblen Monitoren HDR-Inhalte ausspielen. Ist ein unterstütztes Gerät angeschlossen, aktiviert man HDR im Menü „Bildschirme“. Ebenfalls neu ist dynamisches Triple-Buffering, also das Vorhalten von drei Frames im Bildspeicher. In unserem Test wirkten Anzeige und Animationen auch bei Leistungsspitzen flüssig. In den Systemeinstellungen ist außerdem der Abschnitt „Gesundheit“ hinzugekommen, der die Bildschirmzeit protokolliert und an Pausen erinnern kann. Benachrichtigungen, die von derselben App kommen, werden jetzt gruppiert. In Fedora 42 werkelt der Linux-Kernel 6.14, der unter anderem bessere Performance für Windows-Apps liefert, die mit Wine ausgeführt werden. Im Laufe seines Lebenszyklus folgt Fedora 42 den stabilen Kernel-Releases von kernel.org, steigt also bald auf Kernel 6.15 um, der voraussichtlich im Mai oder Juni erscheint.

Fazit

Fedora 42 ist ein gelungenes Release, bei dessen Test uns nur eine kleine Macke untergekommen ist. Nach dem Aktualisieren des Systems wechselte das Icon-Theme zu „Hicolor“ und einige Icons fehlten. Das Problem lässt sich mit dem Befehl `settings reset org.gnome.desktop.interface icon-theme` beheben. Die Entwickler versorgen Fedora 42 für etwa elf Monate, also bis Mai 2026, mit Aktualisierungen. (ndi@ct.de)

Fedora Workstation 42

Linux-Distribution	
Hersteller, URL	Fedora-Projekt, fedoraproject.org
Systemanf.	x86-64-Prozessor (2 GHz, Dual-Core) oder gleichwertiger ARM-Prozessor, 15 GByte Massenspeicher, 2 GByte RAM
Supportzeitraum	bis ca. Mai 2026
Preis	kostenlos , Open Source

Link-Detektiv

Tracking, Malware, Phishing – vielen Links sieht man nicht an, was sie bewirken und auf welche URLs sie eigentlich zeigen. Die App URLCheck verhilft zu mehr Durchblick.

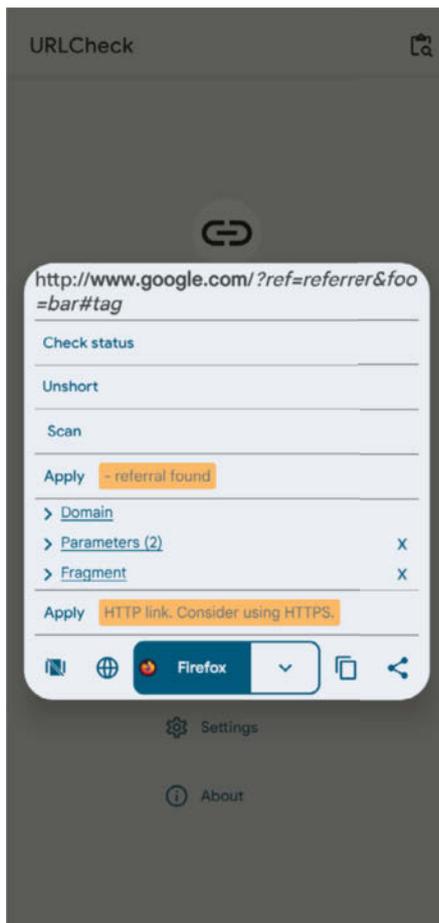
Die quelloffene App URLCheck klinkt sich auf Smartphones mit Android als Standardbrowser ein. So fängt das Programm aufgerufene Internetadressen (URLs) ab und erlaubt, diese zu bearbeiten, bevor es sie an den Browser weiterreicht.

Die möglichen Bearbeitungen sind als Module organisiert, die man nach Belieben ein- und abschalten kann. Eigene Module können Nutzer allerdings nicht einrichten. Unter den integrierten Modulen findet man beispielsweise „URL Säubern“, das Trackingparameter aus URLs entfernt. Das Modul „Protokoll“ dokumentiert die aufgerufenen URLs zur späteren Inspektion, während „Status Code“ den HTTP-Status-Code der URL abfragt und so etwa auf mögliche Umleitungen hinweist. Über „Muster (RegEx)“ können reguläre Ausdrücke definiert werden, nach denen URLs modifiziert werden sollen. URLCheck verlinkt eine Hilfeseite mit einigen Beispiel-Ausdrücken.

Zwei der Module nutzen externe APIs: „Ent-Kürzen“ zeigt, worauf verkürzte URLs verweisen. Es sendet die URL dazu an den Dienst unshorten.me, der mit gängigen Linkverkürzern wie Bitly oder Tiny-URL umgehen kann. Dies kann dazu beitragen, Phishing-Seiten zu erkennen. Das von URLCheck genutzte API erlaubt jedoch nur zehn Anfragen pro Stunde. Das zweite Modul „URL-Scanner“ prüft mithilfe des Dienstes VirusTotal die URL auf Malware und Phishing.

Aktiviert Module präsentiert URLCheck in einem Pop-up, das sich öffnet, sobald man auf einen Link klickt. Nutzer können dann ein oder mehrere Module durch Antippen ausführen und durch das „Öffnen und Teilen“-Modul die URL auch mit dem Browser ihrer Wahl öffnen oder sie an andere Apps weitergeben. URLCheck erlaubt außerdem Automatisierungen durch Regeln im JSON-Format. Damit können Nutzer konfigurieren, unter welchen Umständen Module automatisch auf eine URL angewendet werden sollen.

URLCheck lässt sich aus verschiedenen Quellen installieren, etwa dem Google Play Store, F-Droid und GitHub. Nach



der Installation bietet die App ein Tutorial an. Das sollte man nicht überspringen, da URLCheck dort auch als Standardbrowser festgelegt wird und andernfalls nicht funktioniert. Als letzten Schritt aktiviert man auf Wunsch das Modul „URL-Scanner“, indem man in den Moduleinstellungen einen API-Key von VirusTotal hinterlegt. Den muss man sich vorher von dort beschaffen, das Modul hilft mit einem Link zur Accounterstellung bei VirusTotal weiter.

URLCheck funktioniert lokal und lädt keine Daten auf externe Server hoch. Die einzige Ausnahme bilden die beiden APIs von unshorten.me und virustotal.com, wenn man die Module aufruft. Etwas ungewöhnlich, aber nur für Entwickler relevant ist, dass die App unter einer freien, aber für Softwareprojekte eher unüblichen Creative-Commons-Lizenz steht.

(Mats Schoknecht/syt@ct.de)

URLCheck

Link-Checker	
Hersteller, URL	TrianguloY, github.com/TrianguloY/URLCheck
Systemanf.	Android
Preis	kostenlos, Open-Source-Lizenz (CC BY 4.0)

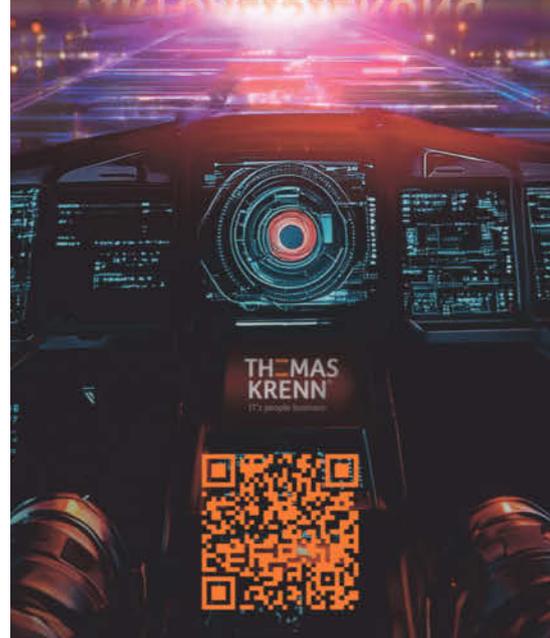
Im Cockpit in die nächste Generation

Virtualisierung auf Kurs

Setzen Sie sich ins Cockpit der Zukunft und erleben Sie mit **Thomas-Krenn** die grenzenlosen Möglichkeiten im Bereich **Virtualisierung**.

Egal ob mit Proxmox oder Hyper V – mit leistungsstarken Lösungen steuern Sie Ihre IT-Infrastruktur effizient, sicher und zukunftsorientiert.

VIRTUALISIERUNG



JETZT DURCHSTARTEN:

Virtualisierung mit Thomas-Krenn!

Alle Informationen unter:

thomas-krenn.com/cockpit

THOMAS KRENN®

IT's people business



Akustisches Bügeleisen

Frequenzkorrektur für Lautsprecher mit ARC Studio 4 im Test

Die Akustik im Tonstudio verändert den Klang von Lautsprechern. ARC Studio 4 korrigiert den Frequenzgang und speichert die Einstellungen in einer kleinen Box. Wie gut das im Studioalltag funktioniert, haben wir getestet.

Von Andreas Polk

Die Abhörsituation im Studio hängt von den Lautsprechern und der Raumakustik ab. Speziell im Bassbereich ist es äußerst schwierig, die Einflüsse des Raums mit Absorbern auszugleichen. Ef-

fizienter und billiger ist es oft, den Frequenzgang der Lautsprecher per Software zu korrigieren. Reine Softwarekorrektoren haben allerdings einen Nachteil: Wenn sie als letztes Glied in der Signalkette der Digital Audio Workstation (DAW) hängen, werden sie vom Nutzer leicht vergessen und ruinieren den Mix. Sie verfremden dann den Klang auch bei der Kopfhörerwiedergabe oder beim Herausrendern des fertigen Songs.

In der Praxis ist es deshalb besser, wenn jedes Lautsprecherpaar die nötigen Frequenzkorrekturen in seiner Hardware durchführt. Das ist jedoch nur bei wenigen Modellen möglich. Mit dem Paket ARC Studio 4 von IK Multimedia kann man die nötigen Korrekturen per Software vornehmen und in einer kleinen Box speichern. Diese hängt mit zwei XLR-Ein- und Aus-

gängen zwischen einem vorhandenen Audio-Interface und einem Stereopaar Aktivlautsprechern.

Raumakustik korrigieren

Zum Studio-Paket aus Hard- und Software gehört auch ein Messmikrofon, das an ein vorhandenes Audio-Interface mit 48 Volt Phantomspeisung angeschlossen wird. Separate Kalibrierdaten für das mitgelieferte Mikrofon sind auf Anfrage erhältlich, für den Betrieb aber nicht zwingend nötig. Alternativ akzeptiert die Software auch fremde Messmikrofone und lädt deren Kalibrierdaten.

ARC 4 misst die Raumakustik und ermöglicht eine Anpassung des Frequenzgangs über eine sogenannte Zielkurve. Anschließend sendet sie das gewünschte Profil per USB-C an die externe DSP-Box, wo es gespeichert bleibt und fortan auch ohne Computerverbindung den Frequenzgang korrigiert.

Das Einmessen ist denkbar einfach, die Software leitet den Musiker Schritt für Schritt. Es gibt eine Schnellkalibrierung mit sieben Mikrofonpositionen und eine ausführlichere, die diese auf drei Höhen wiederholt. Wichtig ist dabei, die Abhörsituation in die Anordnung zu versetzen, in der man üblicherweise arbeitet. Nach der Messung kann man die Zielkurve frei editieren. Die Differenz zwischen der gemessenen Frequenzkurve und der gewünschten Zielkurve definiert den Korrekturbedarf.

Zielkurvendiskussion

ARC 4 bietet neun vorbereitete Zielkurven mit verschiedenen Verlaufsformen an. Welche Kurve am besten passt, hängt vom Abstand der Hörposition zu den Lautsprechern und vom Nachhall im Raum ab. Aus Untersuchungen zur Raumakustik weiß man, dass die Kurven vom Bassbereich zu den Höhen hin leicht abfallen sollten: je größer der Abstand und je stärker der Nachhall, desto steiler der Abfall. In einem unbehandelten Raum können 1,5 Dezibel pro Oktave nötig sein, in einem mit Absorbern und Diffusoren behandelten Studio reichen auf kurze Distanz vielleicht 0,3 Dezibel pro Oktave. Um die richtige Einstellung zu finden, sollten Sie bekannte Songs ausprobieren, weil ARC die ideale Zielkurve nicht automatisch ermittelt.

Die ARC-4-Software speichert eigene und angepasste Zielkurven in acht Preset-Slots. Diese können Sie beispielsweise für



Die ARC-4-Software passt die Messdaten an das gewünschte Abhörsystem an und überträgt die Daten an die DSP-Box.

verschiedene Abhörlautstärken nutzen, da das Gehör bei hohen Lautstärken empfindlicher auf Bassfrequenzen reagiert als bei niedrigen. Die Presets werden mit ihren Filtern nicht direkt an der DSP-Box umgeschaltet, sondern jedes Mal neu per USB-Verbindung übertragen. Die Software kann mehrere DSP-Boxen verwalten. Mehrkanal-Setups jenseits von Stereo unterstützt sie allerdings nicht. Auch eine separate Subwoofer-Ansteuerung mit Bassmanagement ist nicht möglich.

Darüber hinaus ahmt die Software Frequenzgänge typischer Lautsprechersysteme nach, etwa von Smartphones oder Fernsehern. Die Klangeindrücke sind jedoch nur als Annäherung zu verstehen, da die Presets nicht das tatsächliche Abstrahlverhalten bestimmter Lautsprecher nachbilden.

Fazit

ARC Studio 4 lieferte out-of-the-box sehr gute Ergebnisse. Was vorher undefiniert, verwaschen und matschig klang, wurde präziser und brillanter. Auch die Räumlichkeit profitierte: Der Mix wirkte aufgeräumter und klarer, seine Elemente ließen sich besser orten. Wenn Abhörmonitore keine eigenen oder nur unzureichende Korrekturmöglichkeiten mitbringen, kann man sie mit ARC 4 Studio leicht nachrüsten. Wünschenswert wäre ein Umschalten von Presets direkt an der Box, was aber leider nicht möglich ist.

Wie alle Raumkorrektoren zaubert auch ARC aus billigen Monitoren kein

High-End-Abhören und verkürzt auch nicht die Nachhallzeiten unbehandelter Räume. Eine deutliche Klangverbesserung ist bei einfachen Stereosetups aber durchaus möglich. Bessere Raumkorrektoren enthalten kalibrierte Mikrofone, unterstützen Mehrkanalsysteme, erlauben ein Bassmanagement mit mehreren Subwoofern und kompensieren wie beispielsweise Systeme von Dirac unterschiedliche Signalverzögerungen der Lautsprecher. Solche Systeme sind dann aber auch deutlich teurer.

IK Multimedia bietet ARC 4 in drei Ausbaustufen an: als Stand-alone-Software inklusive Plug-ins für alle gängigen DAWs, im Bundle mit einem unkalibrierten Messmikrofon und als Studiopaket mit Mikrofon und DSP-Box. Die Einrichtung ist einfach und dank der DSP-Box kann man das System anschließend gestrost wieder vergessen, ohne den Mix zu ruinieren. Die Vorgängerversion ARC 3.5 ist im Total Studio MAX Bundle mit 170 anderen Plug-ins für 129 Euro erhältlich.

(hag@ct.de) **ct**

ARC Studio 4

Frequenzkorrektur für Lautsprecher	
Hersteller, URL	IK Multimedia, ikmultimedia.com
Systemanf.	Windows ab 10, macOS ab 10.5 (Apple/Intel)
Anschlüsse DSP-Box	USB-C, 2 XLR Eingang & Ausgang
Plug-in-Formate	VST 2/3, AU, AAX
Preise	ARC 4 Software 179 €, mit Mikrofon 238 €, zusätzlich mit DSP-Box 357 €

E-Books im heise shop

Jetzt viele Titel als ePub, mobi und PDF erhältlich.

Sofort im Zugriff, dauerhaft in Ihrem Account gespeichert.

shop.heise.de/e-books

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.



Löwenmäulchen-Jahresbilanz

Windows-11-Jubiläum: ein Jahr Notebooks mit starken ARM-Chips

Durch Microsofts KI-Initiative Copilot+ wurde Windows on ARM marktreif. Was haben Kunden im ersten Jahr der Notebooks mit Snapdragon X davon gehabt, wie gut haben die Hersteller die Systeme unterstützt, und wo geht die Reise hin?

Von Florian Müssig

Qualcomm gehört zu den wichtigsten Chiplieferanten für Smartphones und versucht seit 2017, auch in Notebooks Fuß zu fassen. Die hochgesteckten Ambitionen trugen lange Zeit aber wenig Früch-

te. Weder die noch eng an Smartphonechips angelehnten Notebook-Snapdragons mit den Modellnummern 835 und 850 wollten Wurzeln schlagen, noch die speziell für Notebooks aufgelegten Modelle 8cx in den Generationen 1 bis 3. Alle plagten dieselben Probleme: kaum für ARM-Kerne angepasste Software, schlechte Treiberunterstützung und obendrein weniger Performance als x86-Prozessoren von AMD und Intel. Seit dem 8cx Gen 1 fand man die Chips obendrein kaum noch unter ihren eigentlichen Namen im hiesigen Markt, sondern überwiegend in Surface-Pro-Tablets, wo Microsoft sie als hauseigene SQ1 bis SQ3 umetikettierte. Auch wenn man damals bildlich eher einen zahmen denn zuschnappenden Drachen vor sich sah: Qualcomms Chipbezeichnung bedeutet nichts dergleichen,

sondern ist der englische Name der Pflanze, die hierzulande Löwenmaul heißt.

Die Schützenhilfe von Microsoft war es wiederum auch, die Qualcomm im Frühjahr 2024 schlagartig groß auf die Bildfläche katapultierte. Der nicht zuletzt von ChatGPT ausgelöste Boom bei generativer künstlicher Intelligenz war Anlass, dass auch Windows 11 KI-Funktionen bekommen sollte. Das passte zu dem, was Qualcomm im Angebot hatte: Der Snapdragon X Elite enthält einen leistungsstarken KI-Beschleuniger (Neural Processing Unit, NPU) mit über 40 Tops (trillion operations per second) an Rechenleistung. Microsoft entschied sich deshalb, seine KI-Marketingkampagne namens Copilot+ auf Notebooks mit Snapdragon-Prozessoren zu starten. AMD und Intel litten schlagartig unter Liebesentzug, denn sie hatten zum

damaligen Zeitpunkt keine NPUs in dieser Leistungsklasse vorzuweisen.

Dies drehte sich bis Ende 2024 zwar, doch Qualcomm ist gekommen, um zu bleiben. Das liegt pikanterweise nicht an KI: Das gehypte Killerfeature Recall, das App-übergreifend persönliche Suchhistorien erstellt („wie war noch mal der Link unter dem Bild vom blauen Auto, das ich mal auf einer Webseite gesehen habe?“), wurde noch vor dem Verkaufsstart im Juni 2024 wieder zurückgezogen, weil scheunentorgröße Datenschutzlücken aufkafften. Dass Qualcomm trotzdem im Notebookmarkt angekommen ist, liegt daran, dass der Snapdragon X der erste Qualcomm-Prozessor in der langen Ahnenreihe ist, der auch in zwei anderen, wichtigen Disziplinen überzeugt.

Endlich Performance

Da wäre zunächst die Performance zu nennen. Die maximale Ausbaustufe Snapdragon X Elite ist ein Zwölfkerner, dessen Rechenleistung sich nicht mehr vor dem verstecken muss, was AMD und Intel offerieren. Das hilft einerseits in Vergleichsdiagrammen zu ähnlichen Balkenlängen, wenn man moderne Software heranzieht, die bereits für ARM-Systeme kompiliert wurde. Das Angebot ist zwar alles andere als umfassend, doch die Entwickler hatten einerseits schon einige Jahre zum Üben und andererseits mit Microsoft einen namhaften Motivator, der das wichtigste PC-Betriebssystem abliefert.

Damit auch ältere Software läuft, enthält Windows 11 mit Prism einen mächtigen Emulator. Der ist ebenfalls kein Erstlingswerk mehr: Konnte Windows 10 nur betagte 32-Bit-Apps emulieren, läuft unter Windows 11 auch 64-Bit-Software. Emulation kostet zwar immer etwas Rechenleistung, doch wegen der hohen Snapdragon-Performance kommt bei emulierter Software immer noch viel mehr nutzbare Rechenleistung an als Notebooks vor ein paar Jahren hatten. Also in der Generation, für die die Software ursprünglich geschrieben wurde.

Wichtig ist nur, dass die Software überhaupt läuft – was sie überwiegend auch tut. Probleme tauchen dann auf, wenn eine Software Unterkomponenten enthält, die sich tief im System einnisten. Dann sind spezielle Treiber nötig, und selbst wenn diese nur für virtuelle Geräte da sind, müssen sie nativ vorliegen, also speziell für Windows on ARM kompiliert werden. Beispiele sind Virens Scanner, aber

auch VPN-Clients oder Plug-ins wie Google Drive, die sich tief im Explorer einnisten. Hier hat sich im Laufe der letzten 12 Monate viel getan – klar, denn die Anbieter wollen ja, dass ihre Dienste auch auf den nagelneuen ARM-Notebooks genutzt werden können.

Bei Kopierschutzsoftware, wie sie in Profianwendungen und Spielen steckt, führt kein Weg daran vorbei, dass Hersteller sie darauf anpassen müssen, wenn die Emulationsschicht zwischen x86-Programm und ARM-Prozessor als Umgehung des Kopierschutzes oder als Cheating eingestuft ist. Ein prominentes Beispiel ist der Online-Multiplayer-Shooter Fortnite. Epic Games tat zwar im Frühjahr 2025 kund, dass just dieses Spiel künftig auch auf Snapdragon-Systemen laufen soll, nannte als Zeitplan aber nur unspezifisch „noch dieses Jahr“. Sogar bei Microsoft selbst hakt es noch: Minecraft läuft zwar in der universellen Java-, nicht aber in der performanteren nativen Bedrock-Variante.

Lange Laufzeiten

Die zweite wichtige Disziplin, in der Snapdragon-Notebooks ganz vorne mitspielen, ist die Akkulaufzeit: Bei geringer Last und innenraumtauglicher Helligkeit sind mehr als 20 Stunden die Regel. Das schafften bis dahin die allerwenigsten Notebooks mit AMD- oder Intel-CPUs – wohl aber MacBooks mit Apple-Prozessoren. Diese Tatsache dürfte ein Puzzleteil sein, warum Microsoft Windows auf ARM so unter die Arme greift: Wenn alle Notebookkäufer zu MacBooks wechseln, weil das Gesamtpaket stimmiger ist, wars das mit der Dominanz von Windows.

Die x86-Welt zog Ende 2024 nach: Intels Prozessorbaureihe Lunar Lake wurde auf lange Akkulaufzeiten getrimmt und firmiert im Handel als Core Ultra 200V. Sie ist allerdings wenigen Notebooks vorbehalten: Lunar Lake bringt Arbeitsspeicher auf dem CPU-Package mit und damit verbunden hohe individuelle Entwicklungskosten. Mobilrechner mit Core Ultra 200U und 200H verwenden andere Chips (Arrow Lake), deren NPUs zu schwach für Copilot+ sind.

Kombinationen

Außer der Bravour der beiden Einzeldisziplinen macht auch ihre Kombination die Snapdragon-X-Notebooks attraktiv, gerade im Hinblick auf die x86-Konkurrenz. Intels Core Ultra 200V schafft lange Laufzeiten, krankt aber an Performance. Ein Notebook mit AMDs Ryzen AI 300 liefert Performance, will aber viel schneller wieder ans Netzteil. Ein Windows-Notebook, das sowohl viel Performance als auch lange Akkulaufzeiten schafft, lässt sich daher aktuell nur mit Qualcomms ARM-Prozessor realisieren.

Hinzu kommt der Preis: Notebooks mit Snapdragon X starteten bei über 1200 Euro, doch inzwischen bekommt man welche mit dem potenten Zwölfkerner Snapdragon X Elite schon um 1000 Euro. Mit dem langsameren Achtkerner Snapdragon X (Plus) geht es unterhalb von 900 Euro los, und er liefert immer noch die Power von Intels Lunar Lake, der ebenfalls nur acht Kerne enthält. Unter 1300 Euro findet man aber kaum Lunar-Lake-Notebooks und solche mit AMDs flotterem Ryzen AI 300 kosten noch mehr.

Mitunter legen Notebookhersteller dasselbe Gerät mit unterschiedlichem Innenleben auf: Das Dell XPS 13 (hell) gibt es mit Prozessoren von Intel oder Qualcomm, das Lenovo ThinkPad T14s (dunkel) mit AMD oder Qualcomm. Das Logo Copilot+ tragen alle, bei Akkulaufzeit, Performance und Preis gibt es größere Unterschiede.



Hier wird es AMD und Intel zum Nachteil, dass sie alteingesessene Spieler mit breitem CPU-Portfolio sind: Die allerneuesten Prozessoren sind immer nur für die Speerspitze der Neuvorstellungen gedacht; für günstigere Preispunkte werden ältere Chipgeneration weiterhin ausgeliefert.

Das von AMD und Intel gerne vorgebrachte Argument, dass bislang in absoluten Zahlen kaum Notebooks mit Snapdragon X verkauft worden seien, führt deshalb in die Irre: Klar wurden viel weniger Notebooks mit Qualcomm-Prozessor verkauft als solche mit CPUs von AMD oder Intel. Letztere verschweigen aber, dass der weitaus überwiegende Teil eben ältere CPU-Generationen sind, die keine dicke NPU haben und nicht für Copilot+ taugen: In 400-Euro-Notebooks findet man überwiegend Prozessoren der 12. Core-i-Generation, was drei Iterationen her ist.

In konkreten Zahlen: Dem Marktforschungsunternehmen Mercury zufolge, welches Verkaufszahlen von CPUs aufschlüsselt, dürfte Qualcomm bis Ende 2024 rund 1 Million Snapdragon-X-Prozessoren verkauft haben. Dem stehen etwa 1,6 Millionen x86-Chips der Baureihen Ryzen AI 300 und Core Ultra 200V gegenüber, wobei der Löwenanteil von Intel stammen dürfte. Insgesamt wurden 2024 plusminus 170 Millionen Notebooks verkauft – Copilot+ hat also einen Marktanteil von weniger als 2 Prozent.

Gleich, aber anders

Während sich Performance und Laufzeit in Benchmarks klar miteinander vergleichen lassen und die ARM-Kompatibilität von Anfang an als große Hürde identifizieren ließ, zeigten sich in den vergangenen zwölf Monaten überraschenderweise viele kleine Stolpersteine, die dem Early Adopter das Leben schwer machten.

Einer davon ist ein Klassiker: Manche Hersteller lassen ihren Notebooks wenig Produktpflege zukommen. Bei den Snapdragon-X-Notebooks war das dahingehend ausgeprägt, dass zu Beginn die Grafiktreiber unter Kinderkrankheiten litten. Qualcomm behob diese zügig – doch nicht alle Notebooks bekamen die Updates. Bei „normalen“ Notebooks würden sich versierte Nutzer an dieser Stelle mit Referenztreibern behelfen, die der jeweilige CPU-Lieferant auf seiner Webseite zum Download anbietet. Genau das tat Qualcomm aber nicht, sondern verwies darauf, dass doch bitte die Notebookhersteller Updates bereitstellen sollen.

Mobilprozessoren für Microsoft Windows 11 mit Copilot+

	AMD Ryzen AI 300	Intel Core Ultra 200V	Qualcomm Snapdragon X
Akkulaufzeit	○	⊕⊕	⊕⊕
CPU-Performance	⊕⊕ - ⊕	○	⊕⊕ - ⊕
Spieltauglichkeit	○	○	⊖
Abwärtskompatibilität	⊕⊕	⊕⊕	○
Gerätepreis	⊖	○ - ⊖	⊕ - ○
⊕⊕ sehr gut ⊕ gut ○ zufriedenstellend ⊖ schlecht ⊖⊖ sehr schlecht			

Irgendwann sah Qualcomm dann doch ein, dass diese Sturheit Nutzer verärgert, die im Fall der Fälle – Frechheit! – ihre Notebooks einfach wieder zurückgeben. Seit November 2024 bietet Qualcomm deshalb selbst Grafiktreiber zum Download an, aber anders als man es von AMD, Intel und Nvidia gewohnt ist, muss man sich vor dem Download registrieren und die Treiber sind klar als Beta-Versionen für Entwickler klassifiziert.

Zudem verrät der Beipackzettel, dass trotz der überschaubaren Anzahl der auf dem Markt befindlichen Snapdragon-X-Notebooks nicht alle kompatibel waren: Beim initialen Release war mit dem Lenovo Yoga Slim 7x just das Modell ausgeschlossen, dessen Nutzer den meisten Druck verspürten, endlich neue Grafiktreiber ohne Darstellungsfehler zu bekommen, weil Lenovo sie hängen ließ.

Der Teufel im Detail: Lenovo hatte im Yoga-BIOS festgelegt, dass das Notebook nur Treiber akzeptiert, die Lenovo selbst signiert hat. Darum schlugen auf den Notebooks auch Versuche fehl, Grafiktreiber anderer Snapdragon-Notebooks zu installieren. Schlimmer noch: Beim Yoga zogen solche Treiberbasteleien die Windows-Installation so sehr in Mitleidenschaft, dass man nachträglich nichts mehr reparieren konnte. Da half nur ein Recovery mit dem Original-Image, welches man immerhin bei Lenovo kostenfrei herunterladen kann.

Ansonsten hätte die Situation noch schlimmer ausgesehen, weil Microsoft ebenfalls erst spät im Jahr 2024 generische ISO-Dateien der ARM-Version von Windows 11 bereitstellte. Überlegen Sie mal, was in der x86-Welt los wäre, wenn Microsoft keine ISO-Dateien zur Installation seines Betriebssystems bereitstellen würde – aber genau das war bei Windows-on-ARM zuvor Status quo.

Pikant: Das ThinkPad T14s Gen 6 – auch von Lenovo – erhielt von Anfang an fast im Monatsrhythmus neue BIOS- und Treiber-Versionen. Das dürfte einerseits damit zusammenhängen, dass das Think-

Pad ein Business-Notebook ist, und die werden generell besser durch ihre Hersteller gepflegt. Andererseits haben wir aber auch vernommen, dass just das ThinkPad in großen Stückzahlen als Arbeitsgeräte an Qualcomm selbst verkauft wurde ...

Bei den beiden Samsung Galaxy Book4 Edge, die zunächst wie das Yoga schlecht dastanden, wurde die Treiberblockade mit einem BIOS-Update Ende 2024 gelöst. Seitdem lassen sich auch dort Treiber installieren, die nicht von Samsung, aber immerhin von Qualcomm signiert wurden. Für das Yoga Slim 7x ist ein solches Update in Arbeit; bei Redaktionsschluss wurde es aber noch nicht öffentlich verteilt.

Kleine Randnotiz: Qualcomm veröffentlichte zwar regelmäßig neue Grafiktreiber, doch selbst in den neuesten Beta-Entwickler-Treibern fehlt weiterhin das Adreno Control Center, welches im Frühjahr 2024 versprochen wurde. Mit ihm sollen Nutzer Grafikeinstellungen für Spiele verwalten können – ganz so, wie es die Kontrollzentren von AMD, Intel und Nvidia seit Jahr und Tag ermöglichen. Rückfragen nach einem voraussichtlichen Erscheinungsdatum hat Qualcomm bislang bestenfalls ausweichend beantwortet.

Bäumeweise Geräte

Die Aussage, dass man Linux auf dem Schirm habe, ist bislang überwiegend ein Lippenbekenntnis, siehe [1]. Das liegt an zwei Umständen, die es so bei x86-Notebooks nicht gibt.

Erstens tun Notebooks mit Snapdragon-Prozessoren dem Betriebssystem nicht per ACPI kund, welche Geräte konkret an Bord sind und welche Fähigkeiten diese haben. Stattdessen verwenden sie sogenannte Device Trees. Die müssen aber gerätespezifisch statt generisch in Betriebssysteme integriert werden. Bei Windows machen das die Notebookhersteller, während bei Linux Enthusiasten hoffen, auch ohne Dokumentation per Reverse Engineering Sachen rauszubekommen.

Und zweitens offeriert Qualcomm Linux keinen vollen Zugriff auf die Hardware, sondern nur auf einen dazwischengeschalteten Hypervisor. Das einzige Betriebssystem, das aus diesem Hypervisor ausbrechen kann und darf, ist Windows. Etwas Ähnliches gibt es auch bei MacBooks: Selbst Asahi Linux als spezialisierte Distribution läuft nur auf älterer Apple-Hardware mit M1 und M2, nicht aber auf solcher mit M3 oder M4.

Deshalb gehen Versuche, Linux auf einem Notebook mit Snapdragon X zum Laufen zu bekommen, mit argen Einschränkungen einher. Nicht nur hinsichtlich des Lüfterlärms und vergleichsweise kurzer Akkulaufzeit: Webcam, Mikrofone und Lautsprecher liegen aktuell weiterhin bei allen Snapdragon-X-Notebooks brach. Angesichts dessen wundert es kaum, dass man das Snapdragon-X-Notebook mit Linux, welches Tuxedo Mitte 2024 als Work in Progress vorgestellt hatte, bislang immer noch nicht kaufen kann.

Selbst mit größtem Willen geht es übrigens nicht ohne Windows: Die zum

Betrieb notwendige Firmware der einzelnen Geräte gibt es nicht einzeln. Deshalb muss sich jede Linux-Installation die Firmware aus der parallelen Windows-Installation mit zum Notebook passenden Treibern extrahieren – ohne Dual Boot kein Linux [1].

Die beste Methode, Linux-Anwendungen auf einem Snapdragon-Notebook zum Laufen zu bekommen, ist und bleibt das Windows Subsystem for Linux (WSL): ein virtualisiertes Linux, das unter Windows 11 läuft und die hardwarenahen Spezialitäten dem Windows-Kernel überlässt. Das stößt Pinguin-Freunden freilich sauer auf.

Qualcomm Vadis?

So oder so: Dank des Snapdragon X und Microsofts Marketingbemühungen, mit Copilot+ Notebookprozessoren mit starken NPUs zu pushen, hat Windows on ARM die Nische verlassen, in der es die vielen Jahre davor vor sich hinvegetierte. Das weckt wiederum Begehrlichkeiten von anderen CPU-Herstellern, ebenfalls mit-

zumischen und ein Stück des großen Notebookkuchens abzubekommen, den AMD und Intel bislang unter sich aufteilen.

Am deutlichsten warf bislang Nvidia seinen Hut in den Ring. Sein Prozessor GB10, der die neuen KI-Workstations DGX Spark (ehemals Project Digits) im Mini-PC-Format befeuert, würde genauso gut für starke Gaming-Notebooks taugen. Praktisch wird das Ganze aber noch vom bisherigen Exklusivdeal zwischen Microsoft und Qualcomm hinsichtlich Windows on ARM ausgebremst – weshalb im Spark vorerst das Linux-Derivat DGX OS arbeitet. Wie lange der Deal noch läuft, ist unklar; er dürfte aber im letzten Jahr sein.

Das CPU-Chiplet von GB10 liefert Mediatek zu, sodass nahelegt, dass 2026 auch Mediatek mit einem massentauglichen statt hochleistungsfähigen SoC bei Windows-Notebooks einsteigt. Für Smartphones verkauft Mediatek wegen eines strikten Fokus auf den wenig prestige-, aber sehr volumenträchtigen Massenmarkt übrigens mehr Prozessoren als Qualcomm.

heise jobs

IT Tag

Die IT-Jobmesse in Köln,
13. Juni 2025 | KOMED im MediaPark

Das erwartet dich:

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

Die Veranstaltung ist kostenlos.

Jetzt
anmelden



Unsere Partner



ICIG BUSINESS SERVICES



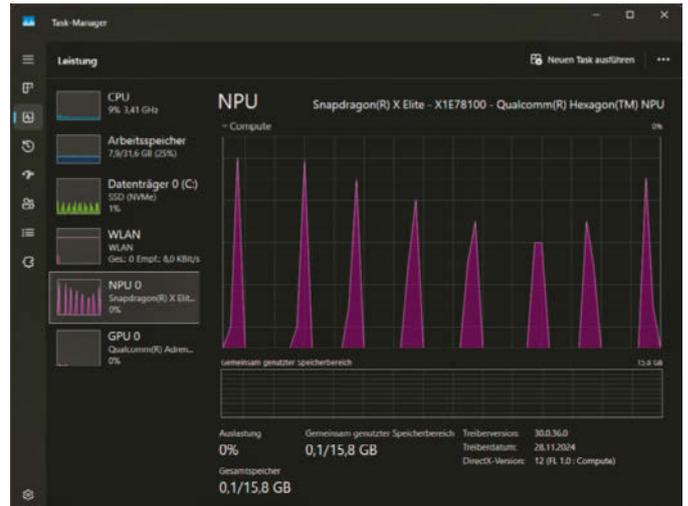
Glaubt man der Gerüchteküche, dann kommen ungewöhnliche Prozessoren auf uns zu. AMD soll unter dem Codenamen Sound Wave an einem Billigprozessor arbeiten, der Mendocino alias Ryzen 7020 ablöst – ein seit 2022 unverändert verkauftes SoC mit vier Zen-2-Kernen. AMDs Dilemma: Für Einsteigerprozessoren sind neuere Zen-Architekturen – wir sind aktuell bei Zen 5 – zu stark und zu teuer; anders als Intel pflegt AMD keine zweite, schwächere Architektur. AMD soll für Sound Wave daher kurzerhand ARM-Kerne nutzen – vermutlich lizenzierte Standardkerne von ARM selbst, die für den anvisierten Zielmarkt locker ausreichen.

Bleibt noch Qualcomm selbst: Das Team aus San Diego hat bereits bekannt gegeben, dass die hauseigenen Oryon-Kerne hurtig weiterentwickelt werden. Snapdragon X nutzt Oryon v1, der zwischenzeitlich erschienene Smartphone-Topprozessor Snapdragon 8 Elite hingegen bereits Oryon v2. In der nächsten Notebookgeneration, die in der Gerüchteküche als Snapdragon X2 bezeichnet wird und bei Qualcomm wohl unter dem Codenamen Glymur läuft, soll ein Oryon v3 stecken.

Man munkelt von im Vollausbau weiterhin drei Kernclustern, die dann aber je sechs statt vier Kerne umfassen – macht summa summarum 18 Kerne. Der RAM-Ausbau von Prototypen lässt wiederum anklingen, dass es nicht zwangsläufig bei zwei Speicherkanälen à 64 Bit bleiben müsste, sondern es auch deren drei (192 Bit insgesamt) werden könnten. Das würde die Lücke zu AMD Ryzen AI Max, Apple M4 Pro und Nvidia GB10 verringern, deren Speichercontroller allesamt 256 Bit breit sind. Die drei eben genannten Konkurrenten trumpfen allesamt mit starken Grafikeinheiten auf, die nichts mehr mit dem zu tun haben, was man landläufig unter integrierter Grafik versteht. Randnotiz: Intel hat nach derzeitigem Stand der Dinge nichts dergleichen in der Pipeline.

Just bei der Grafikeinheit steht das große Fragezeichen, was Qualcomm im nächsten Schritt zu ändern gedenkt: Die Adreno-GPU des Snapdragon X ist der schwächste Teil des gesamten SoC und sollte im nächsten Schritt dringend aufgebessert werden. Das Know-how dafür hat Qualcomm im Haus: Der Snapdragon 8 Elite für Smartphones hat bereits eine mehrere Generationen neuere GPU-Architektur. Ohne ordentliche Treiber bringt jedoch die tollste GPU nichts.

Die NPU kommt bei neuen KI-Funktionen von Windows 11 zum Einsatz: Hier erstellt die neue semantische Suche von Windows 11 seinen Suchindex mit dem lokal laufenden Sprachmodell Phi Silica.



Technisch wäre es problemlos möglich, in fetten Gaming-Notebooks analog zu x86-Systemen eine Snapdragon-CPU mit einer GeForce-GPU zu vereinen. Auf die Frage, warum es solche aber nicht gibt, antwortete ein Notebookhersteller diplomatisch mit „weder wir noch Qualcomm hätten was dagegen“. Da braucht es nicht viel Fantasie, welch dritter Akteur nicht nur auf technischer Ebene seinen Markteintritt vorbereitet.

Fürsprecher

Nicht zuletzt hat Windows on ARM einen wichtigen Fürsprecher: Microsoft priorisiert weiterhin ARM-Prozessoren klar vor x86. Beworbene Windows-11-Neuerungen wie Live-Untertitel und der in Paint integrierte Bildgenerator Cocreator stehen Käufern von Snapdragon-Notebooks seit Mitte 2024 zur Verfügung, während sie auf AMD- und Intel-Systemen erst im März 2025 eingeführt wurden.

Zeitgleich bekamen Snapdragon-Notebooks wiederum gleich die nächste Welle an KI-Funktionen, darunter eine semantische Suche. Microsofts lokal auf der NPU laufendes Sprachmodell Phi Silica indexiert dazu unter anderem gespeicherte Bilder. Danach fördert eine Suche nach „Blume“ oder „Auto“ passende Bilder zutage, auch wenn diese mit vielen anderen in einem großen Ordner liegen und alle IMG_xxxx.jpg heißen – sehr praktisch! Wann die Funktion auf x86-Systemen Einzug hält, sagt Microsoft nicht. Auf den meisten x86-Notebooks fehlen etwa immer noch die erweiterten Windows-Studioeffekte, die Snapdragon-Geräte seit Mitte 2024 bieten – auch wenn Webcam-Effekte wie der Aquarell-Look eher Spielerei denn nützlich sind.

Die unklaren Zeitpläne betreffen nicht nur x86, sondern auch ARM. So hat Microsoft im November 2024 mit großem Tamtam eine verbesserte Version des x86-Emulators Prism angekündigt, die dann auch AVX2-Befehle übersetzen kann. Das hilft sehr, um weitere ältere x86-Apps, vor allem aber viele Spiele unter Windows on ARM zum Laufen zu bekommen. Die neue Prism-Version steht weiterhin nur in manchen Kanälen des Betaprogramms Windows Insider zur Verfügung. Wann der verbesserte Emulator auf Produktivsysteme losgelassen werden könnte, vermögen wir nicht abzuschätzen.

Kurz vor Redaktionsschluss Ende April überraschte Microsoft mit der Ankündigung, dass die seit November 2024 im Insider-Programm getestete, überarbeitete Recall-Funktion ab sofort auf Produktivsysteme ausgespielt wird. Die Freigabe erfolgt gestaffelt; obendrein muss man die Funktion explizit aktivieren (Opt-in), wenn man sie nutzen möchte. Alle Nutzer in der EU bleiben zunächst bis irgendwann später im Jahr pauschal außen vor. Gleiches gilt übrigens für das KI-Helferlein Click-to-Do, welches Texte und Bilder aus PDFs und Screenshots kopieren kann. Und die daran gekoppelte Funktion, die extrahierten Texte auf Nutzerwunsch zusammenzufassen oder umzuschreiben, wäre auch wieder eine, die derzeit eh nur auf Snapdragon-Notebooks bereitsteht.

(mue@ct.de)

Literatur

[1] Niklas Dierking, Pinguin statt Windows on ARM, Ubuntu 24.10 auf Notebooks mit Snapdragon X Elite, c't 7/2025, S. 62

*Innovation begins
with women*

women in tech by heise

05.06.2025 / 14 - 20 Uhr

KAI 10 / Hamburg

Personal Growth

Zusammen mit unserem Partner **Huawei** laden wir dich herzlich zu einem besonderen Event ein, das dich inspirieren, motivieren und auf deinem Weg in der Technologiebranche weiterbringen soll!

Freu dich auf ein spannendes Programm voller Impulse und Denkanstöße für deine persönliche und berufliche Weiterentwicklung. Die Veranstaltung richtet sich an alle Frauen, die in der Tech-Welt mehr bewirken wollen und ein Teil unserer Women in Tech Community werden möchten.

Beiträge von



Johanna Heise
Schirmherrschaft



Caroline Vega
Selbstverwirklichung,
Persönliche Entwicklung



Fenna zur Horst
Coaching, Training &
Beratung



Nilüfer Caliskan-Keserci
Senior Partner – Leader Health
Insurance DACH, IBM Consulting



Salko Smajlovic
Regional Director Enterprise
Business Group; Huawei



Dr. Lars Hewel
C-Level Executive, Transformational Leader,
HR Industry Expert, People-Driven AI Enthusiast



INFOS & TICKETS
women-heise.tech/event

PS: Auch Männer, die sich für mehr Vielfalt in der Tech-Welt einsetzen, sind herzlich willkommen.

© Copyright by Heise Medien.

powered by





Duell der Nachzügler

Apple iPhone 16e und Google Pixel 9a im Vergleich

Das Apple iPhone 16e und das Google Pixel 9a zeigen, wie viel man technisch von einem Luxussmartphone abknapsen kann, ohne den Bogen zu überspannen.

Von Steffen Herget

Sie sind die neusten und günstigsten Modelle von Apple und Google und folgen dem gleichen Prinzip: die wichtigsten Funktionen der teuren Schwestermodele zu einem geringeren Preis anbieten. Im Wortsinne günstig sind zwar weder das Apple iPhone 16e (ab 699 Euro) noch das Google Pixel 9a (ab 549 Euro), von den

Topmodellen der beiden Hersteller trennen sie aber doch noch ein paar Hunderter. Wir haben beide zum Vergleich gebeten.

Optisch liegen die beiden Smartphones eng beieinander: kantiges Design mit Metallrahmen, flaches Display, ziemlich unauffällige Kameras. Die Rückseite des Pixel besteht aus mattem Kunststoff, Apple verwendet mit Glas ein hochwertiges Material. Staub und Wasser werden beiderseits draußen bleiben. Das iPhone trägt den programmierbaren Action Button an der linken Seite, den neuen Kameraauslöser rechts behält Apple den teureren Modellen vor. Beim 9a sparte Google den charakteristischen Kamerabalken ein, den Pixel-Smartphones seit drei Jahren besitzen. Deshalb sieht das 9a ziemlich beliebig aus. Das iPhone ist mit 167 Gramm federleicht und verschwindet auch wegen der kompakten Bauform unauffällig in jeder Hosentasche.

Mit 6,3 Zoll (16 cm) Diagonale beim Pixel und 6,1 Zoll (15,5 cm) beim iPhone fallen die Displays nach heutigen Maßstäben eher klein aus. Die breite Aussparung (Notch) am oberen Rand des iPhone-Bildschirms erinnert an das Design der Apple-Smartphones bis zum iPhone 14. Das Pixel wirkt mit seinen fetten Displayrändern altbacken. Beide Smartphones haben OLED-Panels, das des iPhone löst etwas höher auf. Das ist aber auch schon der einzige kleine Vorteil, denn Apple schickt das iPhone 16e mit einem 60-Hertz-Bildschirm zum Kunden, während Google ein zeitgemäßes 120-Hertz-Display einbaut. Die höhere Bildwiederholrate macht das Scrollen und Animationen flüssiger und ist vor allem bei längerer Benutzung angenehmer für die Augen. Allerdings schaltet Google die Option „Smooth Display“, die die Bildrate von maximal 60 auf 120

Hertz erhöht, standardmäßig aus. Wer das nicht weiß und ändert, kommt also gar nicht in den Genuss der 120 Hertz.

Der Pixel-Bildschirm ist aber nicht nur schneller als der des iPhone, er strahlt auch heller. Beim iPhone haben wir im Regelbetrieb 762 cd/m² gemessen, das Pixel 9a erreichte 1876 cd/m². Der Unterschied ist in heller Umgebung deutlich sichtbar, im Sonnenlicht lässt sich das Pixel viel besser ablesen als das iPhone. Gleichzeitig regelt das Pixel in der Dunkelheit weiter herunter, das iPhone bleibt mit knapp 6 cd/m² relativ hell, auch das stresst die Augen. Immerhin: Apples Schutzglas Ceramic Shield gilt nicht nur als robuster im Vergleich mit dem Corning Gorilla Glass 3 des Pixel, es fühlt sich bei Touchgesten und beim Wischen auch etwas samtiger an.

Weniger Grafikkern im iPhone 16e

Apple und Google bauen in ihre günstigeren Modelle die gleichen Prozessoren (SoC, System-on-Chip) ein wie in die noch immer aktuellen High-End-Smartphones, die im Vorjahr auf den Markt kamen. Während der Google Tensor G4 im Pixel 9a identisch mit den Chips in den teureren Pixel ist, gibt es bei Apple Abstufungen: In den Pro-iPhones steckt der Apple A18 Pro mit sechs GPU-Cores, im Basismodell der etwas langsamer getaktete A18 mit fünf Grafikkernen und im iPhone 16e der A18 mit nur noch vier GPU-Cores. Die Apple-Prozessoren werden im 3-Nanometer-Verfahren hergestellt, der Tensor G4 noch mit einer Strukturweite von 4 Nanometern.

Bei der Rechenleistung ist der Apple-Chip dem Google-SoC überlegen, das zeigen die Benchmarks. Auch in den meisten Grafikttests liegt der A18 vorne, jedoch mit geringererem Abstand als beim iPhone 16 Pro. Die zwei fehlenden GPU-Kerne machen sich bemerkbar. Im Alltag sind beide flott und kommen ohne große Ladepausen und Aussetzer zurecht. Bei grafisch aufwendigen Spielen ist das iPhone etwas schneller unterwegs als das Pixel.

Beide Smartphones funken im 5G-Netz und unterstützen neben der physi-



Apples KI stellt sich einen „Sonnenuntergang im Hamburger Hafen“ mit einem Schiff in Burger-Form vor. Der Entwurf von Google Gemini kommt der Realität mit dem gleichen Prompt deutlich näher.



schen Nano-SIM auch die eSIMs. Apple baut in das 16e erstmals das selbst entwickelte C1-Modem ein. Im WLAN ist beim iPhone mit Wi-Fi 6 Schluss, das Pixel schafft noch Wi-Fi 6E, keiner der beiden unterstützt Wi-Fi 7.

Mit einer Akkukapazität von 5100 mAh hat das Pixel 9a auf dem Papier die Nase vor dem iPhone 16e, dessen Energiespeicher nur 4005 mAh fasst. Allerdings gelten iPhones zu Recht als genügsam im Verbrauch, und das zeigt sich in diesem Vergleich erneut. Das 16e läuft beim lokalen Videoplayback in 4k/120 fps und im WLAN-Streaming trotz seines kleinen Akkus länger als das Pixel, das dafür aber im Spieltest und im 5G-Streaming knapp vorne liegt. Spannendes Detail: Das iPhone 16e mit Apples neuem Modem verliert beim Streaming über das Telekom-5G-Netz gegenüber dem WLAN-Test knapp fünf Stunden Laufzeit, das Pixel mehr als acht Stunden. Das C1-Modem ist also zumindest im echten Mobilbetrieb beim Stromverbrauch gut unterwegs.

Im Alltag ist der Unterschied zwischen den Smartphones deutlicher, als es die Labortests vermuten lassen. Der iPhone-Akku lässt im Standby weniger schnell nach als der des Pixel; am Abend hatte das Apple-Smartphone meist noch

mehr Prozente auf der Energieuhr. Wenn die Akkus dann einmal leer sind, müssen es sich beide Telefone relativ lange in der Nähe der Steckdose gemütlich machen, denn sie laden nur mit höchstens 25 Watt. Drahtlos schleicht der Strom sogar nur mit 7,5 Watt vom Induktionsladegerät zum Smartphone. Der Qi-Standard gibt eigentlich das Doppelte her.

Ein kleines, aber feines Detail verbirgt sich im Inneren des iPhone 16e. Apple verwendet einen speziellen Klebstoff zur Befestigung des Akkus, der sich durch Anlegen einer geringen Spannung, beispielsweise von einer 9-Volt-Blockbatterie, ganz ohne Kraft lösen lässt. Das macht den Akkuwechsel einfacher und reduziert die Gefahr, die empfindliche Zelle beim Ausbau zu beschädigen.

Eine Kamera ist zu wenig

Apple war bei der Kameraausstattung des iPhone 16e äußerst geizig. Das Smartphone hat nur eine einzige Knipse auf dem Rücken, eine 48-Megapixel-Kamera. Kein Tele, kein Ultraweitwinkel, nicht einmal eine weitestgehend unnütze Tiefenkamera als Alibi. Der Sensor ist mit 1/2,55 Zoll zudem arg klein: Im Basismodell des iPhone 16 steckt immerhin ein 1/1,56-Zoll-Sensor, ebenfalls mit 48 Megapixeln.

Apple iPhone 16e vs. Google Pixel 9a: Benchmarks

	Geekbench 6, Single-Core	Geekbench 6, Multi-Core	3DMark Steel Nomad Light	3DMark Wild Life Extreme	Akku, 4K/120fps [h] ¹	Akku, Video-streaming WLAN [h] ¹	Akku, Video-streaming 5G [h] ¹	Akku, 3D-Spiel [h] ¹
	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶
Apple iPhone 16e	3103	7734	1075	3136	13,6	20,5	15,7	13,1
Google Pixel 9a	1756	4579	1054	2630	12,1	22,9	14,5	14,4

¹ gemessen bei 200 cd/m² und maximaler Bildwiederholrate



Apple iPhone 16e

Beim günstigsten aktuellen iPhone hat Apple den Rotstift geschwungen. Außer MagSafe und einer zweiten Kamera fielen ihm auch weniger auffällige Dinge zum Opfer, etwa der UWB-Empfänger und Wi-Fi 7. Ein Telefon zu diesem Preis mit einem 60-Hertz-Display wirkt aus der Zeit gefallen, das gibt es mit Android quasi nicht mehr. Apples OLED-Display strahlt zudem merklich weniger hell als der Bildschirm des Pixel 9a.

Auf der Habenseite verbucht das Einsteiger-iPhone vor allem seinen starken Prozessor, der wesentlich schneller rechnet als der Google Tensor G4 im Pixel. Zudem kann man hier eine insgesamt höhere App-Qualität unter iOS erwarten, auch der Support mit Updates bleibt eine Stärke von Apple.

Verglichen mit einem drei, vier Jahre alten iPhone oder den vom 16e abgelösten SE-Modellen ist das neue kleine iPhone ein Schritt nach vorne. Technisch besser und kaum oder gar nicht teurer ist jedoch die Konkurrenz aus dem eigenen Stall, etwa ein wiederaufbereitetes iPhone 15 Pro oder auch ein aktuelles iPhone 16, das man auch bereits für unter 800 Euro bekommt. Beide sind bessere Telefone als das 16e.

- ↑ starker Prozessor
- ↓ 60-Hertz-Display
- ↓ nur eine Kamera

Preis: 699 Euro bis 1079 Euro

Mit dem Pixel knipst man ebenfalls mit einer 48-Megapixel-Hauptkamera, auch hier mit kleinerem Sensor als im Pixel 9 (1/2,0 vs. 1/1,31 Zoll). Daneben hat ein 13-Megapixel-Ultraweitwinkel seinen Platz.



Google Pixel 9a

Ohne den charakteristischen Kamera balken ist das 9a nicht auf den ersten Blick als Pixel-Smartphone erkennbar. Es sieht langweiliger aus als die anderen aktuellen Google-Smartphones. Die Verarbeitung ist einwandfrei, und dass die Rückseite nicht aus Glas, sondern aus Kunststoff besteht, merkt man erst auf den zweiten oder dritten Blick.

Das günstigste Pixel hat den bisher stärksten Akku aller Google-Smartphones. Er ist neben dem Tensor G4, der auch die aktuellen High-End-Pixel antreibt, der stärkste Trumpf. Das neue kleine Pixel hat viele, aber nicht alle KI-Funktionen der großen Brüder und soll ebenso lange Updates erhalten. Den Preisvergleich mit dem iPhone 16e gewinnt das 9a locker, es ist selbst in der größten Speichervariante mit 256 GByte noch 50 Euro günstiger als das 16e mit 128 GByte, zudem dürfte es schneller im Preis fallen.

Ähnlich wie das iPhone 16e steht aber auch das Pixel 9a im Wettbewerb nicht nur mit anderen Herstellern, sondern vor allem den restlichen Pixel-Modellen. Das Pixel 9 mit 128 GByte kostet nur noch etwas mehr als 600 Euro, und selbst das Pixel 9 Pro ist mit rund 750 Euro nicht so viel teurer. Auch das Pixel 8 Pro aus dem Vorjahr bietet sich als Alternative an.

- ↑ helles 120-Hz-Display
- ↑ bessere KI-Funktionen
- ↓ langsamer Prozessor

Preis: 549 Euro bis 649 Euro

Die kleineren Sensoren in den Hauptkameras fangen nicht nur weniger Licht ein, sie reduzieren auch das natürliche Bokeh, die Tiefenunschärfe. Bei gutem Licht machen beide schöne Fotos und reihen sich bei der Farbwiedergabe und der

Schärfe in den klassischen iPhone- beziehungsweise Pixel-Look ein. Im Dunklen und in der Dämmerung ist man beim Pixel 9a etwas besser aufgehoben, auch wenn das Google-Smartphone die Fotos teils zu stark aufhellt. Durch den Weitwinkel gewinnt man mit dem 9a kreativen Spielraum, darüber hinaus punktet das Pixel mit einem Makro- und einem Astro-modus. Mehr als zweifachen Digitalzoom sollte man sich mit beiden Smartphones sparen: Bei stärkerer Vergrößerung wird aus klaren Bildern schnell Pixelmatsch. Apple wiederum beherrscht Videoaufnahmen besser, sie wirken ruhiger und sind schärfer als beim Pixel. Auch bei Selfies ist das iPhone sicherer, die Frontkamera hat, anders als die des Pixel, einen Autofokus.

Android und iOS sind sich in vielen Dingen über die Jahre ähnlicher geworden. Apple hat Widgets und ein weniger striktes App-Raster adaptiert, Google im Gegenzug die Gestaltung des Sperrbildschirms und der Schnelleinstellungen an iOS orientiert. Grundsätzliche Unterschiede wie Apples Eigenart, App-Einstellungen zentral in den Systemoptionen zu sammeln, bleiben bestehen, doch im Grunde kann man mit beiden Systemen die gleichen Dinge ähnlich erledigen. Die App-Qualität ist bei iOS insgesamt betrachtet höher, viele Anwendungen wirken konsequenter für das Apple-System designt.

Seit einigen Wochen ist Apple Intelligenz auch in Deutschland verfügbar, damit halten neue KI-Funktionen auf den iPhones Einzug. Die Sprachassistentin Siri wurde mit ChatGPT verheiratet, die KI sortiert E-Mails eigenhändig, es gibt mit Image Playground einen Bildgenerator und vieles mehr. Klingt gut, allerdings nur solange, bis man alles ausprobiert. Die Mail-sortierung ist derart zufällig, dass man immer wieder manuell eingreifen muss, dazu hagelt es Kritik in den Apple-Foren. Siri und ChatGPT kommen sich immer wieder in die Quere bei der Frage, wer denn nun reagiert. Meist ist Siri schneller, aber nur selten hilfreich, und selbst wenn man explizit nach ChatGPT fragt, laufen viele Anfragen ins Leere. Und der KI-Bildgenerator hat noch argen Nachholbedarf, Nutzerwünsche korrekt zu interpretieren, wie das nebenstehende Beispiel mit dem Prompt „Sonnenuntergang im Hamburger Hafen“ im Vergleich mit Googles KI zeigt.

Gemini kann teuer werden

Google ist mit Gemini, der den Google Assistant quasi ersetzt hat, mindestens

zwei Schritte weiter. Man kann sich mit dem KI-Helferlein recht flüssig unterhalten, viele Funktionen sind tief ins System integriert und greifen sinnvoll unter die Arme – vor allem dann, wenn man die höchste Ausbaustufe Gemini Advanced verwendet. Damit bekommt Gemini Zugriff auf die neuesten Sprachmodelle, also LLMs (Large Language Model) und zieht in weitere Programme ein. Besonders nützlich ist Gemini Advanced in Gmail beim Formulieren von Nachrichten. Suchanfragen beantwortet aber auch Gemini nicht immer korrekt. So gab der Assistent schon weit vor den Osterferien zu Protokoll, dass Ostern 2025 leider bereits vorbei sei, aber hier, bitte sehr, der Termin von Ostern 2026. Von einer fehlerlosen Wissensmaschine ist auch diese KI noch ein ganzes Stück entfernt.

Gemini Advanced ist noch dazu kein billiges Vergnügen. Horrende 21,99 Euro verlangt Google derzeit dafür, und zwar pro Monat. Im Paket mit drin ist zwar das für sich alleine 9,99 Euro teure Cloudspeicherpaket mit 2 TByte, trotzdem ist der Preis überzogen.

Updates galten lange als großer Vorteil der iPhones. Obwohl Apple, anders als quasi alle Android-Hersteller, gar keine Zusagen über den Softwaresupport macht,

darf man davon ausgehen, dass ein iPhone mindestens sechs, sieben Jahre lang Patches und neue iOS-Versionen bekommt. Nicht zuletzt durch die EU-Regulierung und deren Zwang zieht Android hier jedoch nach und Google marschiert in der Spitzengruppe mit. Das Pixel 9a soll sieben Jahre lang Sicherheitsupdates und große Android-Upgrades erhalten. Damit liegt es auf einem Niveau mit dem iPhone 16e. Wie die iPhones bekommen auch die Pixel ihre Software direkt vom Hersteller, werden also zeitnah mit neuen Betriebssystemversionen versorgt, für die Mutigen auch mit Betas.

Das Ökosystem rund um die Smartphones ist für iPhones besonders vielfältig, Zubehör gibt es in Hülle und Fülle. Viele Anbieter haben sich in den vergangenen Jahren auf die MagSafe-Schnittstelle gestürzt, seit Apple die magnetischen Andockhilfen zum Laden mit dem iPhone 12 ins Telefon integriert. Das gibt es bei Android bislang nicht. Umso unverständlicher, dass man das iPhone 16e zwar mit der drahtlosen Ladetechnik Qi, aber ohne MagSafe gestaltet. Wer bereits einiges MagSafe-Zubehör gesammelt hat, muss die Magnetverbindung per Hülle nachrüsten. Nicht nachrüsten kann man den fehlenden UWB-Empfänger (Ultra Wideband), der dazu dient, Gerä-

te wie Apples AirTags im Nahbereich zu finden. An der Stelle hat auch Google den Rotstift angesetzt, UWB fehlt auch dem Pixel 9a.

Fazit

Das iPhone 16e und das Pixel 9a sind das, was sich Apple und Google unter der Mittelklasse vorstellen. Technisch und funktional bleiben sie etwas hinter der Oberklasse zurück, erfüllen jedoch trotzdem die meisten Anforderungen, die man an ein Smartphone so hat. Apple treibt den Minimalismus mit nur 60 Hertz Bildwiederholrate und einer einzelnen Kamera auf die Spitze.

Unterm Strich sind beide Smartphones zu teuer – das iPhone deutlich, das Pixel immer noch merklich. Kein Wunder, dass die naheliegendste Konkurrenz aus dem jeweils eigenen Haus kommt. Das besser ausgestattete Pixel 9 kostet regelmäßig unter 600 Euro, selbst das 9 Pro ist mit rund 750 Euro nicht so viel teurer. Bei Apple ist das Basismodell des iPhone 16 für deutlich unter 800 Euro zu bekommen – mit MagSafe, zweiter Kamera und schnellerer GPU, allerdings immer noch 60-Hertz-Display. Das wesentlich bessere iPhone 15 Pro bekommt man refurbished mit 256 GByte Speicher für etwa 700 Euro. (sht@ct.de) **ct**

Apple iPhone 16e vs. Google Pixel 9a

Modell	Apple iPhone 16e	Google Pixel 9a
Hersteller, URL	Apple, apple.com	Google, google.de
Betriebssystem / Patch-Level	iOS 18.4 / k.A.	Android 15 / April 2025
Funktionsupdates / Sicherheitspatches laut Hersteller bis min.	k.A. / k.A.	Android 21 / April 2032
Ausstattung		
Prozessor / Kerne × Takt	Apple A18 / 2 × 4,04 GHz, 4 × 2,2 GHz	Google Tensor G4 / 1 × 3,1 GHz, 3 × 2,6 GHz, 4 × 1,9 GHz
Grafik / KI-Einheit	Apple A18 4-Core-GPU / k.A.	ARM Mail-G715 / k.A.
Arbeitsspeicher / Flash-Speicher (frei) / Wechselspeicher (Format)	8 GByte / 512 GByte (476 GByte) / -	8 GByte / 128 GByte (109 GByte) / -
SIM-Slots / eSIM / LTE / 5G (mmWave) / SAR-Wert	1 × Nano-SIM / ✓ / ✓ / ✓ (-) / 1,48 W/kg	1 × Nano-SIM / ✓ / ✓ / ✓ (-) / 0,99 W/kg
WLAN (Antennen) / Bluetooth / UWB / Standortdienste	Wi-Fi 6 (2) / 5.3 / ✓ / GPS, Glonass, Beidou, Galileo	Wi-Fi 6E (2) / 5.3 / ✓ / GPS, Glonass, Beidou, Galileo
NFC / Fingerabdruck (Position)	✓ / -	✓ / ✓ (Display)
USB-Anschluss / Kopfhöreranschluss	USB-C 2.0, OTG, DP / -	USB-C 3.2, OTG, DP / -
Akku / wechselbar / Ladeleistung / drahtlos ladbar	4005 mAh / - / 25 W / ✓ (7,5 W)	5100 mAh / - / 25 W / ✓ (7,5 W)
Maße (H × B × T) / Gewicht / Schutzart	14,7 cm × 7,2 cm × 0,8-0,97 cm / 167 g / IP68	15,5 cm × 7,3 cm × 0,9-0,95 cm / 186 g / IP68
Display		
Diagonale / Technik / Auflösung / Punktdichte	6,1 Zoll / OLED / 2532 × 1170 Pixel / 457 dpi	6,3 Zoll / OLED / 2424 × 1080 Pixel / 422 dpi
Helligkeitsregelbereich / Ausleuchtung / max. Bildrate	5,75 ... 762 cd/m ² / 96,8 % / 60 Hz	1,71 ... 1876 cd/m ² / 96,8 % / 120 Hz
Kameras		
Hauptkamera: Auflösung / Blende / OIS	48 MP / f/1,6 / ✓	48 MP / f/1,7 / ✓
Ultraweitwinkel: Auflösung / Blende / OIS	-	13 MP / f/2,2 / -
Frontkamera: Auflösung / Blende / OIS	12 MP / f/1,9 / -	13 MP / f/2,2 / -
Videoauflösung (Frame-Raten) Hauptkamera	Full-HD (30, 60 fps), 4K (24, 30, 60 fps)	Full-HD (30, 60 fps), 4K (30, 60 fps)
Videoauflösung (Frame-Raten) Frontkamera	Full-HD (30, 60 fps), 4K (24, 30, 60 fps)	Full-HD (30, 60 fps), 4K (30 fps)
Preis		
UVP	699 € (128 GByte), 829 € (256 GByte), 1079 € (512 GByte)	549 € (128 GByte), 649 € (256 GByte)
✓ vorhanden - nicht vorhanden		



Doppeltes Flottchen

Nothing Phone (3a) und (3a) Pro im Labor und Alltag

Nothing mischt mit den beiden neuen, sehr ähnlichen Smartphones in der nicht so schmerzhaft teuren Mittelklasse kräftig mit. Ob sie mittelprächtig sind oder sogar gut, klärt der Test.

Von Steffen Herget

Vom jungen Smartphonehersteller Nothing haben viele ein neues High-End-Smartphone erwartet. Gekommen sind jedoch zwei Modelle aus der Mittel-

klasse, und zwar das Phone (3a) und das Phone (3a) Pro. Sie präsentieren sich wie zweieiige Zwillinge, die sich in Nuancen aber doch optisch wie technisch voneinander unterscheiden. Auf dem Preisschild liegen beide weit auseinander, das Phone (3a) kostet mit Preisen ab 329 Euro eine ganze Ecke weniger als das 459 Euro teure (3a) Pro. Wir haben beide getestet, das Phone (3a) in der praxisgerechteren Variante mit mehr RAM- und Massenspeicher für 379 Euro.

Charakteristisches Designmerkmal bleibt auch bei den neuen Nothing-Smartphones die transparente Rückseite. Sie gibt den Blick auf das Innere des Smartphones frei, allerdings nicht auf die

technischen Bauteile, sondern auf futuristisch gemusterte Formen. Das Nothing Phone (3a) gibt es außer einer weißen und schwarzen Version nun auch in Blau, damit rückt der Hersteller von der bisherigen Marschrichtung ab, auf Farbvarianten weitgehend zu verzichten. Beim (3a) Pro ist man mit Grau oder Schwarz trister unterwegs. Egal welche Farbe, die Optik der Nothing-Phones bleibt auffällig und hebt sich aus dem Smartphone-Einerlei ab – solange man das Teil nicht in ein blickdichtes Case steckt. Der Hersteller bietet, ganz der eigenen Designlinie folgend, transparente Schutzhüllen an. Auch andere Hersteller haben welche auf Lager.

Nothing baut weiter seinen sogenannten „Glyph“ ein, ein mehrteiliges LED-Element auf der Rückseite des Smartphones. Drei Leuchten rund um die Kamera bilden einen angedeuteten Ring. Damit visualisieren die Nothing-Smartphones die Akkuladung mit drei Kreisteilen als optischer Countdown. Als Ganzes dient der Glyph als extragroße Benachrichtigungsleuchte mit veränderlichen Mustern samt korrespondierenden Klingeltönen, als große Taschenlampe oder als Kameralicht. Wir finden: ein nettes Gimmick und optisches Alleinstellungsmerkmal. Doch einen echten Mehrwert bringt der Glyph kaum. Wir haben ihn im Test für Benachrichtigungen abgeschaltet, das Geblinke störte uns dann doch zu sehr.

Laut Hersteller besitzen die beiden Smartphones mit 51,3 kg den bisher flachsten CO₂-Fußabdruck aller Nothing-Phones. Bei der Herstellung werden teilweise recycelte Materialien verwendet, im Falle des Aluminiums im Rahmen und des Zinns auf den Platinen zu 100 Prozent, so Nothing. Zum Vergleich: Ein iPhone 16 Pro Max von Apple hat einen Fußabdruck von 74 kg.

Große, helle Displays

Die Zeiten von minderwertigen Displays in der Smartphone-Mittelklasse sind seit einiger Zeit vorbei. Auch die beiden Nothing-Phones bieten gute Bildschirme. Die 6,7 Zoll großen OLED-Bildschirme stellen 2392 × 1080 Pixel dar und unterstützen die bei Android-Smartphones fast schon üblichen 120 Hertz Bildwiederholfrequenz. Der schwarze Rahmen rund um die flachen Panels ist beim Phone (3a) und (3a) Pro symmetrisch, ein unschönes dickes Kinn an der unteren Kante, das günstige Modelle oft spazieren tragen, gibt es nicht.

Die Displays der beiden Smartphones strahlen hell. Beim Nothing Phone (3a) Pro haben wir einen Wert von 1303 cd/m² im Regelbereich gemessen, beim (3a) waren es mit 1217 cd/m² etwas weniger. In der Praxis fällt das nicht groß auf. Damit liegen beide etwa im Bereich der 1300 cd/m², die Nothing für die Outdoorbenutzung angibt. Die Punkthelligkeit kann noch höher ausfallen, der Hersteller verspricht einen Wert von 3000 cd/m².

Bei dem Schutzglas über dem Bildschirm wechselt Nothing bei den neuen a-Modellen vom Corning Gorilla Glass aus den USA zur günstigeren Konkurrenz namens Panda Glass aus China. Einen Unterschied konnten wir im Test mit alltagsge-

mäßen Foltermethoden nicht feststellen, ganz so widerstandsfähig wie das US-Material soll es jedoch nicht sein.

In die Bildschirme baut Nothing einen optischen Fingerabdrucksensor ein. Der sitzt wie schon bei den bisherigen Smartphones des Herstellers ziemlich weit unten und ist ergonomisch ungünstig platziert. Die Fingererkennung klappte im Test meist schnell, nur hin und wieder brauchten wir einen zweiten Versuch. Alternativ entsperrt man die Telefone mit einer 2D-Gesichtserkennung über die Frontkamera.

Genügend Leistung und Speicher

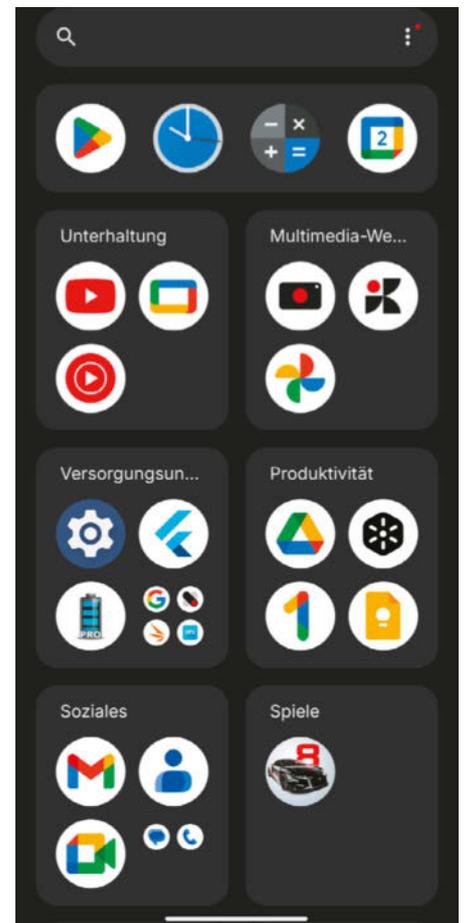
Die zwei Smartphones verwenden den gleichen Prozessor. Der Qualcomm Snapdragon 7s Gen 3 ist weder brandneu noch hinsichtlich der Performance außergewöhnlich, aber er verrichtet seinen Job. Die Smartphones laufen im Alltag flott und ohne Ruckler sowie Ladepausen. Wirft man ihnen größere Brocken in Gestalt von hochauflösenden Videos, anspruchsvollen Spielen oder vielen Apps parallel vor die Füße, kommen sie hier und da ins Straucheln. Im Alltag performen beide mühelos, dabei helfen auch die 12 GByte RAM in unseren Testgeräten. Nur in der kleinsten Speichergröße mit 128 GByte stecken im Phone (3a) lediglich 8 GByte Arbeitsspeicher, das (3a) Pro verkauft Nothing in Deutschland generell nur mit 12/256 GByte Speicher.

Die Resultate, welche die Zwillinge in unseren Benchmarks erreicht haben, liegen auf einem Niveau mit ähnlich ausgestatteten Smartphones. Das Xiaomi Redmi Note 14 Pro+ 5G (Test in c't 5/2025, S. 80) mit dem gleichen Prozessor erreichte sehr ähnliche Werte, mal lag das eine Modell ein paar Punkte vorn, mal das andere. Auch Smartphones mit dem Konkurrenzchip von MediaTek, dem Dimensity 7300, schaffen ein vergleichbares Level. Zur Oberklasse, also den Smartphones mit den Snapdragons der 8er-Serie oder dem MediaTek Dimensity 9400, fehlt jedoch ein großes Stück, diese erreichen in manchen Disziplinen fünfmal so hohe Punktzahlen.

Nicht nur die CPU, sondern auch die restliche Ausstattungsliste der beiden Nothing Phones hat viele Gemeinsamkeiten. Das Phone (3a) Pro geht in einem Punkt voran: Es unterstützt als erstes Nothing-Gerät überhaupt eine eSIM als Alternative zum nanoSIM-Plastikkärtchen. Im 5G-

Netz funken beide, für den Nahbereich sind Wi-Fi 6 und Bluetooth 5.4 verfügbar. Klinkebuchsen und einen MicroSD-Slot zum Erweitern des Speichers haben beide nicht, dafür das NFC-Modul für kontaktloses Bezahlen, das dem CMF Phone 1 von Nothing (Test in c't 19/2024, S. 98) noch fehlte. Der USB-C-Anschluss entspricht dem betagten Standard 2.0 und macht Datenübertragungen mit maximal 480 Mbit/s möglich.

Unterschiede gibt es bei den Kameras. Beide besitzen eine 50-MP-Hauptkamera; das Phone (3a) Pro hat ein liegend eingebautes Dreifachtele mit 50 MP, während das Standardtele des Phone (3a) nur zweifach vergrößert, wenn auch ebenfalls mit 50-MP-Sensor. Ultraweitwinkelobjektive baut Nothing in beide Modelle ein, allerdings nur mit einem 8-MP-Sensor – beim Phone (2a) hatte das Ultraweitwinkel noch eine Auflösung von 50 Megapixel. Die Frontkamera des Pro macht Bilder mit maximal 50 Megapixel, beim (3a) sind es nur 32 Megapixel.



Auf Wunsch unterstützt eine KI bei der App-Sortierung, allerdings mit mäßigem Erfolg.



Nothing Phone (3a)

Das Nothing Phone (3a) ähnelt seinem Vorgänger (2a) optisch, erweitert aber die Kameraausstattung um ein Zweifachtele als Dreingabe zur Hauptkamera und dem Ultraweitwinkel, das im Gegenzug von 50 auf 8 Megapixel schrumpfte. Der Snapdragon macht mehr Dampf als der Mediatek-Chip im Vorjahresmodell, das Display ist zudem viel heller. Ein echter Sprung nach vorne also, den das (3a) mit dem (3a) Pro gemein hat, welches mit besserem Teleobjektiv und eSIM-Unterstützung aufwartet.

Am Ende ist der größte Vorteil des Phone (3a) der Preis. Mit der identischen Speicherausstattung wie das Pro kostet es 80 Euro weniger, wer sich mit 8/128 GByte zufriedengibt, kann noch einen Fünziger mehr im Geldbeutel lassen. Muss es nicht das bessere Tele und eine eSIM sein, ist das günstigere Modell die bessere Wahl.

- ↑ sehr gutes Display
- ↑ kräftiger Akku
- ↓ keine eSIM

Preis: ab 329 Euro



Nothing Phone (3a) Pro

Mit dem kreisrunden und recht hohen Kameraelement macht das Nothing Phone (3a) Pro optisch klar, wo der Vorteil des teureren Modells liegt. Der Hersteller räumt dem Teleobjektiv mehr Platz ein, es wird liegend eingebaut und hat damit eine längere Brennweite, also stärkere Vergrößerung. Auch seine Nah-einstellgrenze bringt Vorteile, es fokussiert ab 15 Zentimeter, das Zweifachtele im (3a) erst ab 25 Zentimeter. Das war es aber auch schon mit den Unterschieden bei der Kamera und auch der restlichen Hardware, denn die Datenblätter der beiden Smartphones gleichen sich nahezu bis aufs Haar. Schade, zumindest Qi zum drahtlosen Laden hätte man schon erhoffen dürfen.

Wer viel reist, vor allem außerhalb der Roaming-regulierten EU, ist mithilfe der eSIM-Unterstützung des Phone (3a) Pro etwas flexibler in der Netzanbieterwahl. Die Vorteile des Periskoptele sind sichtbar, allerdings eben nur dann, wenn man auch häufig mit der längeren Brennweite fotografiert.

- ↑ eSIM-Unterstützung
- ↑ gutes Tele
- ↓ hoher Mehrpreis im Vergl. zum (3a)

Preis: 459 Euro

Vorteile beim Zoom

Die Hauptkamera macht bei gutem Licht schöne, bis in die Ecken und zum Rand scharfe Bilder, welche die Lichtstimmung auf den ersten Blick zielsicher einfangen. Schaut man genauer hin, sieht man bei abnehmendem Licht schon vergleichsweise früh leichtes Rauschen, das sich immer deutlicher ins Bild drängt, sobald es noch dunkler wird. Der Detailreichtum nimmt

dann wie erwartet ab, das ist bei den meisten Smartphones so. Der Nachtmodus hellt die Fotos unterschiedlich stark auf, bei der Hauptkamera und dem Tele eher dezent, beim Ultraweitwinkel unnatürlich stark.

Das Tele des Pro ist dem des (3a) überlegen, und das nicht nur bezogen auf die Brennweite. Die Bildverarbeitung macht daraus schärfere Bilder mit weniger Rau-

schen und zeigt auch die Farben ein wenig naturgetreuer. Auch der Digitalzoom liefert bis zur sechsfachen Vergrößerung noch brauchbare Bilder, darüber aber nicht mehr.

Auf den beiden Smartphones läuft Nothing OS 3.1, das auf dem Fundament Android 15 aufsetzt. Das System folgt dem Look der Hardware und stellt Icons auf Wunsch monochrom dar. Das sieht cool aus, macht es aber schwieriger, Apps auseinanderzuhalten. Nothing gibt dem System Widgets mit, einige davon kann man auf dem Lockscreen platzieren. Nothing OS kommt zwar ohne Bloatware, aber mit einer Handvoll eigener Apps, etwa für die Bildergalerie, die Kamera und zur Verwaltung von Zubehör wie Kopfhörern. Nothing verspricht, die Smartphones sechs Jahre lang mit Sicherheitsupdates zu versorgen und mindestens drei neue Android-Versionen zu liefern.

Unter dem Namen „Essential“ startet Nothing eine mit KI betitelte Funktion als Dreingabe zu Google Gemini. Essential läuft auf den beiden neuen Smartphones exklusiv. Das liegt daran, dass nur sie den zusätzlichen Knopf unterhalb des Powerbuttons haben. Ein Klick darauf erstellt einen simplen Screenshot, den man mit einer gesprochenen oder getippten Anmerkung in die markig „Essential Space“ genannte Cloud schickt. Ein langer Druck startet den Rekorder für eine Sprachaufnahme. Ein Doppelklick öffnet den Essential Space. Ein Algorithmus kocht aus den im Laufe des Tages gespeicherten Häppchen Erinnerungen, Empfehlungen und Ähnliches zusammen. Essential erfordert eine Internetverbindung. Laut Nothing bleiben die Daten innerhalb der EU auf einem Server in Paris.

Essential wird nützlicher, je intensiver man die Funktion verwendet. Ob man dazu aber tatsächlich eine eigene Taste braucht, ist fraglich, man könnte die Funktion auch über den Power-Knopf, die Lautstärkewippe oder eine Geste zugänglich machen. Dann könnte Essential auch auf die bereits ohne KI-Taste verkauften Smartphones gelangen.

KI hält bei Nothing auch im sogenannten App Drawer Einzug, also auf dem nach einer Wischgeste sichtbaren Schubladenauszug, der die installierten Apps zeigt. Einblendungen animieren dazu, auf die „Smarte App-Schublade“ umzuschalten. Damit findet man hier aber nicht mehr das gewohnte Raster aus Icons, sondern Ordner aus automatisch gruppierten Apps.

Dabei zeigt sich die Software nicht gerade zielsicher: Alle Apps, mit denen sie offenbar nichts anfangen kann, landen in einem Ordner namens „Versorgungsunternehmen“. Apps kann man zur Reparatur der Sortierung aber nicht einfach in einen anderen Ordner heben. Einen großen Nutzwert bietet die Funktion nicht, schließlich stellt man sich seine Bildschirmseiten ja ohnehin nach Bedarf mit den wichtigsten Apps in der gewünschten Anordnung zusammen.

Seltsamkeiten beim Akku

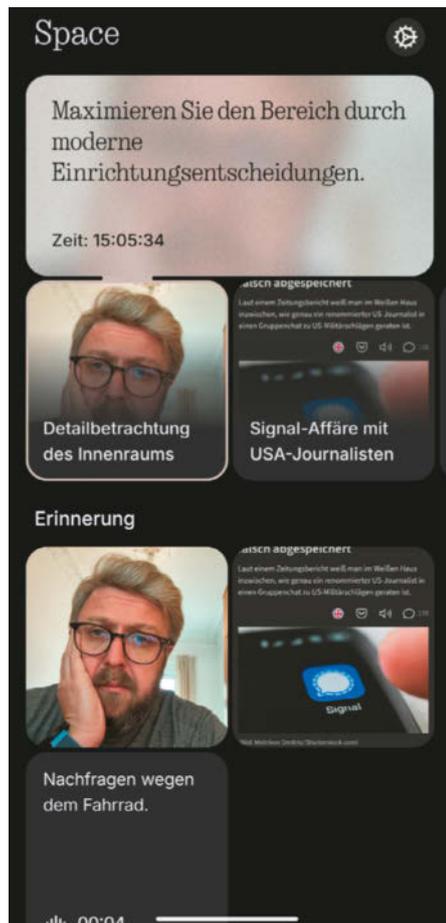
Nothing verpasst beiden Smartphones den gleichen Akku. Er hat eine Kapazität von 5000 mAh und lädt mit bis zu 50 Watt am Kabel. Induktive Aufladung unterstützt keines der beiden Geräte.

Bei den gemessenen Akkulaufzeiten hatten wir erwartet, dass sich beide Smartphones im synchronen Gleitflug präsentieren, schließlich besitzen sie die gleichen Prozessoren, Displays und Akkus. Bei bei-

den Geräten ermittelten wir Laufzeiten über 20 Stunden im Videostreaming. Im Vergleich mit anderen Telefonen der Preisklasse ist das sehr gut; beide sind nicht als kurzatmig aufgefallen. In allen gemessenen Szenarien lag jedoch das Phone (3a) vor dem Phone (3a) Pro: nur fünf Minuten mehr im Test mit einem lokalen 4K/120fps-Video, aber gut zwei Stunden mehr im Spieltest und ebenfalls zwei Stunden mehr beim YouTube-Streaming. Das ist verwunderlich und verlangt nach weiteren Tests. In knapp einer Stunde ist der Akku komplett geladen, wenn man ein starkes Ladegerät mit Power Delivery verwendet, das man selbst kaufen oder bereits besitzen muss.

Fazit

Beide neuen Nothing-Phones haben das gleiche gute Display, die gleiche Performance, ein ähnliches Design und einen auf dem Papier gleich starken Akku. Auch die Software ist identisch. Wie also das richtige Modell auswählen? Das Phone (3a) Pro hat das bessere Teleobjektiv und funkt auf Wunsch mit eSIM, das Phone (3a) ist dafür eine ganze Ecke günstiger. Beide brauchen sich vor der Konkurrenz in der Preisklasse nicht zu verstecken und glänzen mit ihren Bildschirmen, einem Betriebssystem ohne Bloatware und einer ordentlichen Performance. An den KI-Funktionen sollte Nothing noch feilen. (sht@ct.de) **ct**



Im Essential Space sammelt Nothing Notizen, Links, Bilder und mehr. Die von der KI generierten Tipps sind nicht immer hilfreich

Android-Smartphones

Modell	Nothing Phone (3a)	Nothing Phone (3a) Pro
Hersteller, URL	Nothing, nothing.tech	Nothing, nothing.tech
Betriebssystem / Patch-Level	Android 15 / Februar 2025	Android 15 / Februar 2025
Funktionsupdates / Sicherheitspatches laut Hersteller bis min.	Android 18 / Januar 2031	Android 18 / Januar 2031
Ausstattung		
Prozessor / Kerne x Takt	Qualcomm Snapdragon 7s Gen 3 / 1 x 2,5 GHz, 3 x 2,4 GHz, 4 x 1,8 GHz	Qualcomm Snapdragon 7s Gen 3 / 1 x 2,5 GHz, 3 x 2,4 GHz, 4 x 1,8 GHz
Grafik / KI-Einheit	Qualcomm Adreno 710 / Qualcomm Hexagon NPU	Qualcomm Adreno 710 / Qualcomm Hexagon NPU
Arbeitsspeicher / Flash-Speicher (frei) / Wechselspeicher (Format)	12 GByte / 256 GByte (224 GByte) / –	12 GByte / 256 GByte (224 GByte) / –
SIM-Slots / eSIM / LTE / 5G (mmWave)	2 x nanoSIM / – / ✓ / ✓ (–)	2 x nanoSIM / ✓ / ✓ / ✓ (–)
WLAN (Antennen) / Bluetooth / UWB / Standortdienste	Wi-Fi 6 (2) / 5.4 / – / GPS, Glonass, Beidou, Galileo	Wi-Fi 6 (2) / 5.4 / – / GPS, Glonass, Beidou, Galileo
NFC / Fingerabdruck (Position)	✓ / ✓ (Display)	✓ / ✓ (Display)
USB-Anschluss / Kopfhöreranschluss	USB-C 2.0, OTG / –	USB-C 2.0, OTG / –
Akku / wechselbar / Ladeleistung / drahtlos ladbar	5000 mAh / – / 50 W / –	5000 mAh / – / 50 W / –
Maße (H x B x T) / Gewicht / Schutzart	16,35 x 7,75 x 0,84 ... 1,1 cm / 201 g / IP64	16,35 x 7,75 x 0,84 ... 1,3 cm / 211 g / IP64
Display		
Diagonale / Technik / Auflösung / Punktdichte	6,77 Zoll / OLED / 2392 x 1080 Pixel / 387 dpi	6,77 Zoll / OLED / 2392 x 1080 Pixel / 387 dpi
Helligkeitsregelbereich / Ausleuchtung / max. Bildrate	2,1 ... 1217 cd/m ² / 95 % / 60, 120 Hz	2,23 ... 1303 cd/m ² / 98 % / 60, 120 Hz
Kameras		
Hauptkamera: Auflösung / Blende / OIS	50 MP / f/1,9 / ✓	50 MP / f/1,9 / ✓
Ultraweitwinkel: Auflösung / Blende / OIS	8 MP / f/2,2 / –	8 MP / f/2,2 / –
Tele: Auflösung / Blende / Zoom / OIS	50 MP / f/2 / 2-fach / –	50 MP / f/2,6 / 3-fach / ✓
Frontkamera: Auflösung / Blende / OIS	32 MP / f/2,2 / –	32 MP / f/2,2 / –
Videoauflösung (Frame-Raten) Hauptkamera	Full-HD (30, 60 fps), 4K (30 fps)	Full-HD (30, 60 fps), 4K (30 fps)
Videoauflösung (Frame-Raten) Frontkamera	Full-HD (30, 60 fps), 4K (30 fps)	Full-HD (30, 60 fps), 4K (30 fps)
Benchmarks, Lauf- und Ladezeiten		
Ladezeit 50 % / 100 %	0,4 h / 1,1 h	0,4 h / 1,1 h
Laufzeiten ¹ : lokales Video 4K / Stream WLAN / Stream 5G / 3D-Spiel	17,3 h / 22,9 h / 18,9 h / 19,8 h	17,2 h / 20,8 h / 18,3 h / 17,7 h
Geekbench V5 Single, Multi / V6 Single, Multi	877, 2970 / 1203, 3342	851, 2952 / 1169, 3312
GFXBench Car Chase / Manhattan 3.0 / Manhattan 3.1 (jeweils On-, Offscreen)	28 fps, 35 fps / 60 fps, 86 fps / 55 fps, 63 fps	28 fps, 34 fps / 59 fps, 86 fps / 55 fps, 63 fps
3DMark Wild Life / Wild Life Extreme / Steel Nomad Light	4018 / 1061 / 386	3995 / 1057 / 382
Preis	329 € (8/128 GByte), 379 € (12/256 GByte)	459 € (12/256 GByte)
¹ gemessen bei 200 cd/m ² ✓ vorhanden – nicht vorhanden		



Schwerelos

Von 35 bis 190 Euro: Sechs Open-Ear-Kopfhörer durchgehört

Open-Ear-Kopfhörer tragen sich auch nach Stunden komfortabel und kapseln nicht von der Umwelt ab. Im Test zeigt sich, dass gute Modelle nicht viel kosten müssen.

Von Robin Brand

Musik hören, aber die Umgebung nicht ausblenden: Mit diesem Konzept haben Open-Ear-Kopfhörer binnen kurzer Zeit eine Nische erschaffen. Wir haben sechs Geräte ab 35 Euro auf unseren Prüfstand geholt. Den Einstieg bilden die Belkin SoundForm ClearFit für 35 Euro. Die Earfun OpenJump sind bereits doppelt so teuer. Um 100 Euro kosten Huawei FreeArc, Honor Earbuds Open und Anker Soundcore AeroClip. Die deutlich teurers-

ten Kopfhörer im Test sind die Shokz OpenFit 2 für 190 Euro.

Anders als bei In-Ears sitzen die Schallwandler der Open-Ear-Kopfhörer nicht im Gehörgang, sondern sie hängen davor. So erzeugen sie keinen Druckschmerz und manchmal vergisst man nach längerem Tragen sogar, dass sie noch auf den Ohren sitzen. Außerdem hört man weiterhin, was um einen herum geschieht. Weil die Ohrhörer nicht im Gehörgang sitzen, klammern sie sich in der Regel mit Bügeln am Ohr fest, entsprechend groß sind ihre Transport- und Ladeschachteln. Das Ladekästchen der Honor Earbuds Open bildet eine Ausnahme, es ist zwei Zentimeter flach und trägt so in der Hosentasche kaum auf. Besonders groß ist das Transportetui für die Belkin-Kopfhörer.

Klang

Was die Klangabstimmung angeht, scheint sich aus Herstellersicht ein stark

betonter Oberbass bewährt zu haben, der den kaum vorhandenen Subbassbereich kaschieren soll. Tiefer hinab schaffen es die Open-Ear-Kopfhörer meist nicht, da ihre Soundtreiber vor dem Gehörgang baumeln und so das Trommelfell nicht über eine geschlossene Luftsäule anregen. Da leidet vor allem der Tieftonbereich. Dagegen brillieren Open-Ears im Hochtonbereich und mit präsenten Mitten. Im Test mischen drei

c't kompakt

- Brauchbare Open-Ear-Kopfhörer gibt es ab 35 Euro.
- Besseren Klang liefern Geräte ab 100 Euro.
- Vor allem der Bassbereich leidet unter der offenen Bauweise.



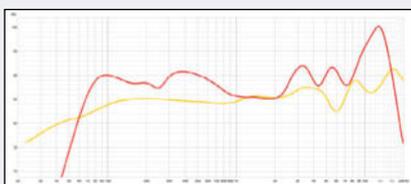
Anker Soundcore AeroClip

Ohrhring statt -bügel: Die Bauweise der Anker Soundcore AeroClip unterscheidet sich von der der meisten anderen Open-Ear-Kopfhörer. Sie klammern sich an die Außenohrleiste und sehen dort aus wie ein übergroßer Ohrhring. Auch Huawei und Bose haben mit dieser Bauform schon experimentiert. Mit Silikonüberzügen kann man die Hörer zusätzlich im Ohr stabilisieren. So halten sie auch beim Sport bombenfest, tragen sich aber nicht so luftig locker wie Open-Ear-Kopfhörer der herkömmlichen Machart. Anders ausgedrückt: Dass man die AeroClip trägt, vergisst man nicht.

Was die Klangabmischung angeht, vertraut Anker auf das bei vielen Herstellern beliebte Rezept: klare Höhen, präsenzte Mitten und ein etwas überbetonter Oberbass. Letzterer soll darüber hinwegtäuschen, dass aus den noch tieferen Regionen nichts mehr am Ohr ankommt. Dennoch gefällt der Sound der AeroClip unterm Strich.

In Telefonaten übertragen die AeroClip die eigene Stimme verhältnismäßig voll und gut verständlich. Nur hin und wieder geht die Software beim Herausfiltern von Störgeräuschen zu rabiatisch zu Werke, sodass man arg komprimiert und artefaktbehaftet beim Gegenüber ankommt.

- 🟢 guter Klang
 - 🟢 fester Sitz, ...
 - 🔴 ... der Druckschmerzen verursacht
- Preis: 130 Euro



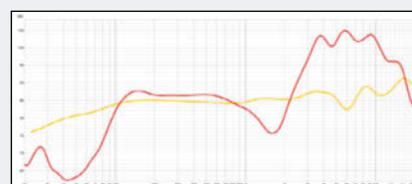
Belkin SoundForm ClearFit

Belkin stellt mit den SoundForm ClearFit für 35 Euro die mit Abstand günstigsten Kopfhörer des Tests. Sie sind außerdem in zweierlei Hinsicht die Größten im Test: Sowohl Case als auch die Hörer selbst sind deutlich ausladender als jene der Konkurrenz. In engen Hosen trägt das Ladekästchen unangenehm dick auf und das große Ohrteil der Hörer kann bei kleinen Ohren Druckschmerzen verursachen.

Um den Preis günstig zu halten, verzichtet Belkin auf Sonderlocken: Es gibt keine App. Einen Equalizer oder die Möglichkeit, die Touchbedienung anzupassen, sucht man also vergeblich – verzeihlich angesichts des Preises. Die Belkin-Hörer spielen recht blass auf, was vor allem am kraftlosen Bass liegt. Sparfüchse, die einen Open-Ear-Kopfhörer fürs Nebenbeihören oder für Podcasts suchen, können dennoch zugreifen: Mitten und Höhen spielt der Belkin-Hörer recht klar.

Die eigene Stimme fangen die Mikrofone einigermaßen körperreich ein, aber so dumpf, als spreche man unter einem Kartoffelsack. Im Hintergrund sprechende Menschen werden ebenfalls ans Gegenüber durchgestellt, Tastaturgeklapper operieren die Belkins besser heraus.

- 🟢 ordentlicher Klang für den Preis, ...
 - 🔴 ... aber dünner Bass
 - 🔴 groß
- Preis: 35 Euro



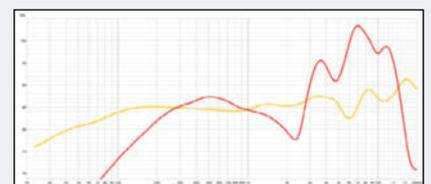
Earfun OpenJump

Die OpenJump von Earfun sind die zweitgünstigsten Kopfhörer im Testfeld und dennoch in einer Hinsicht besser ausgestattet als der Rest: Als einziger Hersteller baut Earfun in das Case eine Spule fürs Drahtlosladen ein. So kann man unterwegs zur Not mit einem geeigneten Smartphone ganz ohne Kabel laden.

Dass auch HiRes-Audio und der LDAC-Codec auf der Ausstattungsliste stehen, ist dagegen unnötig: Die Kopfhörer klingen zu schlecht, um die Vorteile höher auflösender Audioübertragung hörbar zu machen. AAC ist vollkommen ausreichend. Klanglich gehören die OpenJump zu den schlechteren Open-Ear-Kopfhörern. Die Höhen sind deutlich überbetont, der Bassbereich fehlt völlig. So gehen die OpenJump als Podcast-Beschaller durch, taugen aber nicht zum Musikgenuss, sondern nur fürs Berieselnlassen. Auch für Telefonate sind die OpenJump nicht zu empfehlen, die eigene Stimme übertragen sie blechern und schlechter verständlich als die Konkurrenten.

In der App lässt sich die Bedienung umfangreich anpassen. Allerdings mussten wir die App löschen und neu installieren, nachdem sie ein Kopfhörer-Update eingespielt hatte, da sie die Kopfhörer danach partout nicht mehr erkannte.

- 🟢 Case Qi-ladefähig
 - 🔴 Mikrofone klingen blechern
 - 🔴 kaum Bass
- Preis: 70 Euro





Honor Earbuds Open

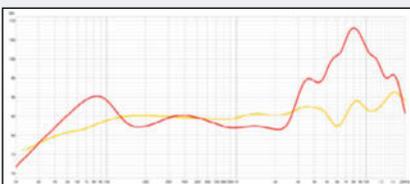
Die Earbuds Open sind die ersten Open-Ear-Kopfhörer des Smartphoneherstellers Honor. Sie sitzen locker auf den Ohren und stören auch bei längerem Tragen nicht. Für Sport mit ruckartigen Bewegungen eignen sie sich weniger, weil man sie dann immer wieder in die richtige Position drehen muss. Das flache Case trägt in Hosentaschen kaum auf.

Bis in tiefe Bassbereiche hinab spielen die Earbuds Open nuanciert, aber nicht überdreht. Präzise Mitten und kontrollierte Höhen runden ein für Open-Ear-Kopfhörer hervorragendes Klangbild ab.

Ungewöhnlich für Kopfhörer mit offener Bauweise ist die aktive Geräuschunterdrückung (ANC). Da sie aber nicht mit einer passiven Dämpfung in Form von im Ohr sitzenden Silikonmanschetten zusammenarbeitet, richtet sie gegen Störgeräusche nichts aus. Selbst die Lüftergeräusche eines Notebooks vermochte sie im Test nicht auszublenden. Nervig: Um per App Updates einzuspielen oder die Bedienung anzupassen, muss man ein Honor-Konto einrichten. Nur dann lässt sich auch Multipoint-Bluetooth aktivieren.

- ↑ bester Klang
- ↑ transportfreundliches Case
- ↓ App mit Kontozwang

Preis: 120 Euro



Huawei FreeArc

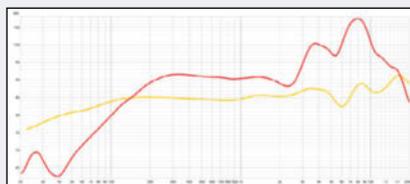
Der zweite Versuch von Huawei in der Welt der Open-Ear-Kopfhörer sieht deutlich anders aus als sein Vorgänger. Glichen die FreeClip noch einem überdimensionierten Ohrring, sind die FreeArc Open-Ears herkömmlich konstruiert. So tragen sich die FreeArc luftig-leicht und gehören zu den gemütlichsten Kopfhörern im Test. Der Preis dafür: Die Soundtreiber sitzen recht weit vom Gehörgang entfernt; drückt man sie näher hinein, ist der Sound deutlich druckvoller.

Bis hinunter zum oberen Bassbereich ist das Klangbild stimmig und fein aufgefächert. In den Tiefbassbereich hinab schaffen es die FreeArc bauartbedingt nicht. In Telefonaten filtern die Kopfhörer Störgeräusche massiv heraus. So klingt man ein wenig künstlich, aber meist sehr gut verständlich.

Aufgrund der US-Sanktionen gegen Huawei ist die zugehörige App nicht in Googles Play Store zu finden – wohl aber im App Store von Apple. Man kann sie über Huaweis AppGallery oder per APK dennoch installieren. In der App hält der Hersteller unter anderem einen Equalizer bereit. Gegen Wasser und Staub sind die FreeArc gemäß IP57 geschützt, besser als die anderen Testkandidaten.

- ↑ gefälliger Klang
- ↑ wasserdicht gemäß IP57
- ↑ komfortabler Sitz

Preis: 100 Euro



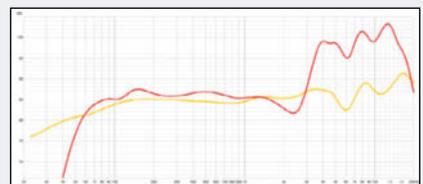
Shokz OpenFit 2

Die Shokz OpenFit sind, der Name lässt es erahnen, der zweite Aufguss der Open-Ear-Kopfhörer des für seine Knochenschallhörer bekannten Herstellers. Findet man den richtigen Sitz, trägt sich kein anderer Kopfhörer so luftig leicht. Die OpenFit vergisst man auch mal auf den Ohren. Die hauchdünnen Bügel kommen sich auch nicht mit Brillenbügeln ins Gehege.

Im Unterschied zum Vorgänger und allen anderen Testkandidaten steuern die OpenFit 2 Anrufe und Medienwiedergabe über Knöpfe. Das funktioniert mit schwitzigen Fingern beim Sport deutlich präziser als Touch. Die Klangabstimmung ist Shokz im Vergleich zum Vorgänger besser gelungen: Der Oberbass ist nicht mehr ganz so überbetont. So klingen die Hörer ausgewogener, wozu die akkuraten Mitten beitragen. Nur die etwas blechernen Höhen trüben den Gesamteindruck. Nicht nachvollziehbar ist, dass Shokz dazu zwingt, die App zu installieren, denn darin muss man Multipoint-Bluetooth erstmalig aktivieren. Für den exklusiven Vertrieb über Amazon gibt es Abzüge in der B-Note.

- ↑ luftiger Sitz
- ↑ Steuerung mit Knöpfen
- ↓ nur bei Amazon erhältlich

Preis: 190 Euro



Hersteller den Klang nach diesem Rezept an: Anker, Huawei und Shokz. Der Honor-Hörer reicht hörbar tiefer hinab und klingt deswegen am besten. Den Bass nur erahnen kann man hingegen mit den Ohrhörern von Belkin und Earfun.

So eignen sie sich als Immer-drauf-Hörer im Büro, fürs Joggen und Fahrradfahren, aber weniger für den bewussten Musikgenuss. In lauten Umgebungen dringen Störgeräusche ungehindert ans Ohr. Eine solche Klangkulisserie gepaart mit Musik auf den Ohren wird schnell anstrengend. Eine aktive Geräuschunterdrückung (Active Noise Cancelling, ANC), die viele abdichtende In-Ears wirkungsvoll eingebaut haben, hilft wegen der fehlenden passiven Dämpfung nicht. Wie um das zu beweisen, hat Honor eine solche implementiert. Und siehe da: Sie war im Test weitestgehend wirkungslos im Kampf gegen Störschall, verursachte aber ein unangenehmes Druckgefühl auf unseren Ohren. Alle anderen Hersteller verzichten auf ANC.

Mit Kopfhörern, die man den ganzen Tag unbeschwert tragen kann, wird man fast zwangsläufig auch das eine oder andere Telefonat führen. Allesamt übertragen sie die eigene Stimme gut verständlich, aber nicht so voll, wie es kabelgebundene Kopfhörer tun. Telefoniert man in lauten Umgebungen, dringen insbesondere menschliche Stimmen auch ans Gegenüber. Gleichbleibende Störgeräusche filtern die Mikrofone wirkungsvoller heraus. Vor allem Anker, Huawei und Shokz gehen rigoros gegen unerwünschte Nebengeräusche vor und sind für Telefonate unterwegs somit am besten geeignet.

Ausstattung

Bis auf Belkin stellen alle Hersteller ihren Kopfhörern eine App zur Seite. Darin kann man Klang und Bedienung anpassen und die Touchflächen auch gänzlich deaktivieren. Im Test mussten wir für die Shokz- und die Honor-Kopfhörer außerdem Bluetooth Multipoint erstmalig in der App aktivieren. Honors Ansatz ist besonders ärgerlich: Damit wir auf die Kopfhörer in der App zugreifen konnten, mussten wir vorher ein Honor-Konto einrichten. Zudem war der Multipoint-Slider in unserem Fall nur in der Android-App zu sehen, nicht aber im iOS-Pendant. Wer auf einem Android-Smartphone die Huawei-App nutzen möchte, muss den Umweg über den App-Store des Herstellers gehen. In Googles Play Store ist sie aufgrund von US-Sanktionen nicht zu finden.

Während alle Kopfhörer per Multipoint-Bluetooth mit zwei Geräten gleichzeitig verbunden bleiben können, beherrscht keiner Auracast. Auch in Sachen Bluetooth-Codecs sind die Hersteller sparsam: Vier der sechs Kopfhörer beherrschen einzig AAC und SBC. Nur AeroClip und OpenJump verstehen auch den höherwertigen LDAC. Letztlich macht das aber nichts, denn die Kopfhörer klingen gar nicht gut genug, um Unterschiede zwischen LDAC und AAC hörbar zu machen.

Akkugangst wird man mit keinem der Kopfhörer bekommen, da spielt auch die Bauweise eine Rolle. In den knubbeligen Bügelenden ist viel Platz für große Akkus, größere jedenfalls, als sie zumeist in herkömmlichen In-Ears zu finden sind. Mehr

als acht Stunden ohne Tankstopp im Lade-Case sind mit Earfun und Shokz möglich. Mindestens fünf schaffen sie alle. In den Transportboxen steckt Saft für drei bis vier Aufladungen. Wie lange genau ein Kopfhörer durchhält, ist abhängig davon, wie man ihn nutzt. Telefonate saugen stärker am Akku als Musikhören. Lautstärke, Codec und im Falle des Honor Earbud Open, ob ANC aktiviert ist oder nicht, spielen ebenfalls eine Rolle.

Fazit

35 Euro für Open-Ear-Kopfhörer ausgeben oder doch mehr als das Fünffache? Im Test schlagen sich die günstigen Belkin-Kopfhörer sehr wacker. Sie klingen abgesehen vom dünnen Bassbereich ordentlich, eignen sich auch für das Telefonat zwischendurch und machen vor allem den Earfun OpenJump das Leben schwer. Diese klingen nicht besser, sind aber doppelt so teuer. Den Belkin-Kopfhörern haben sie eine brauchbare App und einen leichteren Sitz voraus.

Besseren Klang gibt es ab 100 Euro: Die vier teureren Kopfhörer des Prüfstands spielen den Bassbereich mit mehr Punch als die von Belkin und Earfun. Unter den teureren Earbuds klingen wiederum die Honor-Kopfhörer noch einen Hauch besser, weil basskräftiger, als der Rest. Für Sportler sind die Anker AeroClip die beste Wahl, weil sie auch bei ruckartigen Bewegungen in Position bleiben. Die teuersten Kopfhörer des Tests, die Shokz OpenFit 2, punkten mit dem luftigsten Sitz, allerdings kann man sie nur bei Amazon kaufen. *(rbr@ct.de) ct*

Open-Ear-Kopfhörer

Modell	Anker Soundcore AeroClip	Belkin SoundForm ClearFit	Earfun OpenJump	Honor Earbuds Open	Huawei FreeArc	Shokz OpenFit 2
Hersteller, URL	Anker, soundcore.com/de	Belkin, belkin.com/de	Earfun, myearfun.com/de	Honor, honor.com/de	Huawei, huawei.com/de	Shokz, de.shokz.com
Ladeanschluss / Drahtlosladen	USB-C / –	USB-C / –	USB-C / ✓	USB-C / –	USB-C / –	USB-C / –
Anbindung / Codecs	Bluetooth 5.4 / AAC, SBC, LDAC	Bluetooth 5.3 / AAC, SBC	Bluetooth 5.3 / AAC, SBC, LDAC	Bluetooth 5.2 / AAC, SBC	Bluetooth 5.4 / AAC, SBC	Bluetooth 5.4 / AAC, SBC
Multipoint-Bluetooth	✓	✓	✓	✓ (muss per App aktiviert werden)	✓	✓ (muss per App aktiviert werden)
App / Equalizer / Kopfhörer finden	✓ / ✓ / ✓	– / – / –	✓ / ✓ / ✓	✓ / – / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓
Bedienung / per App anpassbar / deaktivierbar	Touch / ✓ / ✓	Touch / – / –	Touch / ✓ / ✓	Touch / ✓ / ✓	Touch / ✓ / ✓	Druckknöpfe, Touch / ✓ / ✓
Schutzart	IPX4	IPX5	IPX7	IP54	IP57	IP55
Gewicht je Ohrhörer / Case	6 g / 42 g	9 g / 52 g	8 g / 57 g	8 g / 52 g	9 g / 68 g	9 g / 53 g
Größe Case	62,5 mm × 43 mm × 30 mm	89 mm × 52 mm × 30 mm	76 mm × 66 mm × 27 mm	80,4 mm × 61 mm × 20,5 mm	67,8 mm × 67,8 mm × 26,5 mm	67,5 mm × 67,5 mm × 26,5 mm
Bewertung						
Klang / Telefonie	○ / ⊕	⊖ / ○	⊖ / ○	⊕ / ○	○ / ⊕	○ / ⊕
Tragekomfort / Sitzfestigkeit	⊖ / ⊕⊕	○ / ○	⊕ / ○	⊕ / ○	⊕ / ○	⊕⊕ / ⊕
Preis	130 €	35 €	70 €	120 €	100 €	190 €
✓ vorhanden – nicht vorhanden ⊕⊕ sehr gut ⊕ gut ○ zufriedenstellend ⊖ schlecht ⊖⊖ sehr schlecht						



Mobil per Vorkasse

Prepaid-Tarife für jeden Bedarf

Prepaid-Tarife sind günstig und bieten viel Leistung. Neue Tarifmodelle wie die kostenlose Volumennachbuchung bei Aldi Talk sollen Kunden locken, andere Anbieter packen noch mehr Freivolumen in ihre Optionen. Ein Upgrade auf einen neuen Tarif kann sich lohnen.

Von Urs Mansmann

Rund ein Drittel der Mobilfunkkunden nutzt in Deutschland Prepaid-Verträge, also SIM-Karten mit Vorkasse und Kostenkontrolle, ohne lange Vertragsbindung. Für solche Karten haben die Mobilfunk-

anbieter einen ganzen Strauß von Optionstarifen mit Freivolumen, Telefonie- und SMS-Flatrate.

Beim Kauf einer Prepaid-Karte muss man zunächst einmal üblicherweise 5 bis 10 Euro bezahlen und erhält dafür ein Startguthaben, das man für die Buchung eines Optionstarifs verwenden kann. Bei einigen Tarifen muss man die gewünschte Option schon beim Kauf auswählen. Bei O2 und Vodafone bekommt man die Prepaid-SIM kostenlos.

Bevor man die Karte in Betrieb nehmen kann, muss man sich identifizieren, erst dann darf sie der Anbieter aktiv schalten. Am einfachsten geht das mit der Online-Ausweisfunktion des Personalausweises bei Vodafone. Immer noch branchenüblich ist das Video- oder Selfie-Ident-Verfahren, bei dem man sich zusammen mit seinem Ausweis ablichten

lässt und ein Mitarbeiter die Daten prüft und bestätigt.

Bucht man keinen Optionstarif, gelten sehr ungünstige Konditionen. Den Tabellen auf Seite 104 und 106 können Sie entnehmen, welche Kosten dann berechnet werden. Die üblichen 24 Cent pro Megabyte bedeuten 240 Euro pro Gigabyte – ein Start- oder Restguthaben ist bei diesen Preisen im Handumdrehen aufgebraucht.

Andere Tarife sehen eine Tagespauschale vor, oft gibt es dafür aber nur weniger als 100 Megabyte Datentransfervolumen. Oder die Anbieter sperren den Internetzugang ohne Datenoption gleich komplett. Nur der Tarif von WhatsApp SIM sieht eine kostenlose Nutzung mit 32 kbit/s vor, was aber bestenfalls für die Übermittlung von Textnachrichten per Messenger reicht.

Es empfiehlt sich also, schon vor Inbetriebnahme der Karte oder zumindest vor der ersten Onlinesitzung per Mobilfunk einen Optionstarif zu buchen, um hohe Kosten zu verhindern und online gehen zu können.

Eine Laufzeit von vier Wochen ist branchenüblich. Rechnet man das auf ein Jahr um, kommt man ziemlich genau auf 13 Zahlungen pro Jahr. Das ist wichtig für einen fairen Kostenvergleich: Bei gleichem Preis sind Laufzeitverträge, die ihrerseits pro Kalendermonat abgerechnet werden, also rund acht Prozent günstiger.

Nachschub fürs Guthaben

Das Guthaben eines Prepaid-Kontos muss regelmäßig gefüllt werden. Dazu stehen verschiedene Wege offen: Traditionell kann man Guthabekarten im Einzelhandel erwerben. Früher waren das meist Rubbelkarten, bei denen man den Aufladecode nach Kauf freirubbeln musste. Heute muss man lediglich einen Strichcodeträger an der Kasse abgeben, der Code erscheint auf dem Kassenzettel. Man muss beim Kauf darauf achten, dass man das Guthaben für den richtigen Provider beziehungsweise das richtige Netz erwirbt.

Simpler und rund um die Uhr klappt die Aufladung im Webshop der Anbieter. Bei der Ersteinrichtung werden Kartenkonto und Kundenkonto miteinander gekoppelt, etwa durch eine SMS mit Code, die ans Handy geschickt wird. Die Aufladung erfolgt dann üblicherweise per PayPal oder Kreditkarte. Man kann meist auch zusätzlich ein SEPA-Lastschriftmandat hinterlegen, dann wird auf Wunsch vom Konto abgebucht.

Noch einfacher ist die Einrichtung einer App, über die man auch den aktuellen Guthabenstand, den gebuchten Tarif und Tarifoptionen abfragen kann. In den Apps kann man außerdem Zahlungsdaten hinterlegen und dann jederzeit bei Bedarf das Guthaben aufladen.

Besonders komfortabel ist die automatische Aufladung, bei der das Guthaben dann nachgeladen wird, wenn ein bestimmter Stand unterschritten wird. Damit kann man sicherstellen, dass immer genug Guthaben für die Buchung eines Optionstarifs auf dem Konto ist. Allerdings hebt man damit die Kostenkontrolle aus.

Loggt sich das Handy beispielsweise am Bodensee unbemerkt in ein Schweizer Netz ein, in dem nicht bei jedem Anbieter günstige EU-Roamingtarife gelten, kön-

nen hohe Kosten entstehen. Die automatische Aufladung sorgt dann dafür, dass der Schaden nicht aufs Guthaben auf dem Konto begrenzt bleibt, sondern lädt dann Guthaben nach, womöglich sogar mehrfach. Eine solche Option sollte man deshalb mit Bedacht einsetzen.

Auch regelmäßige Zahlungen aufs Guthabekonto können ein Risiko darstellen. Zahlt man mehr ein als man verbraucht, können sich größere Summen ansammeln. Und die können sich dann schnell in Luft auflösen, nicht nur durch versehentliche Roamingnutzung, sondern auch durch WAP-Billing, das gerne von unseriösen Anbietern eingesetzt wird, und direkten Durchgriff aufs Guthabekonto erlaubt. Dabei machen Betrüger Rechnungsbeträge unter anderem für angebliche Klicks auf Abo-Schaltflächen geltend.

Zwar ist die Zahl der Beschwerden über Abzocke per WAP-Billing offenbar rückläufig, dennoch sollte man im Kundencenter die sogenannte Drittanbietersperre sowohl für Einzelzahlungen als auch für Abos weiterhin setzen. Man muss keine Angst haben, dass man sich damit von Angeboten ausschließt. Seriöse Anbieter wie beispielsweise Nahverkehrsunternehmen, die WAP-Billing nutzen, bieten stets alternativ sichere Onlinezahlungswege an.

Drei Netze zur Wahl

In den Städten unterscheidet sich die Netzabdeckung von O2, Telekom und Vodafone kaum. Alle Netze haben auch in Ballungszentren schwache Punkte, zumeist bei der Abdeckung in Innenräumen. Auf dem Land hingegen gibt es je nach Region deutliche Unterschiede. Nicht überall bietet die Telekom die beste Versorgung, die regelmäßigen Testsiege, die sie bei der Netzversorgung einfährt, stellen lediglich ein Gesamtbild dar. Wer in einem Netz gute Erfahrungen gesammelt hat, sollte mit einem Wechsel eher zurückhaltend sein.

Schon bei der Bestellung sollte man die Daten exakt so eingeben, wie sie im Ausweis erfasst sind, damit die Identifizierung und Freischaltung anschließend klappt.

c't kompakt

- Prepaid-Karten bieten volle Kostenkontrolle und günstige Tarife.
- Guthaben lässt sich komfortabel auf verschiedenen Wegen aufs Mobilfunkkonto buchen.
- Unlimited-Tarife und Treueboni sind besonders für Vielnutzer interessant.

Wir haben die untersuchten Angebote in den Tabellen nach Netzbetreiber gruppiert, um die Auswahl zu erleichtern. Die schnellsten Datenraten bekommen Sie, wenn Sie direkt beim Netzbetreiber abschließen. Die Angebote von Wiederverkäufern sind zwar günstiger, der Zugang zum Netz ist aber oft bei den Spitzenwerten gedrosselt.

Der überwiegende Teil der Angebote ermöglicht inzwischen die Nutzung des 5G-Netzes. Nur Edeka, Fyve, Otelo und Tchibo begrenzen sie noch ausschließlich auf LTE-Technik. Bei einigen Angeboten gibt es Zugriff aufs 5G-Netz nur mit gebuchter Internetoption. Praktisch hat das aber kaum Auswirkungen, denn wer wirklich surfen will, sollte das keinesfalls ohne passende Tarifoption machen.

Einen Nachteil gegenüber Kunden mit Laufzeittarifen haben Prepaid-Kunden in allen 5G-Netzen: Für Prepaid ist lediglich die Zugangstechnik 5G-NSA (Non Standalone) verfügbar. Das bedeutet, dass die Mobilfunkverbindung über LTE abgewickelt wird, das sogenannte Ankerband. 5G ist in diesem Fall nur eine Erweiterung, die im Downstream zusätzliche Kapazität bereitstellt.

„Richtiges“ 5G ist 5G Standalone (5G SA). Dabei läuft der komplette Verkehr inklusive der Signalisierung über 5G. Erst

Damit deine SIM-Karte freigeschaltet werden kann, müssen die hier eingegebenen Daten mit denen auf deinem Ausweis übereinstimmen.

Persönliche Daten
* Pflichtangaben

Anrede* Frau Herr

Vorname*

Nachname*

PLZ* Ort*



Bei Vodafone kann man eine eSIM direkt bestellen, herunterladen und mithilfe des elektronischen Personalausweises freischalten.

Zeitfenster zum Nachladen

Selbst für Notrufe benötigt man seit vielen Jahren eine gültige SIM-Karte im Handy. Das war einmal anders, allerdings wurde diese Funktion so oft missbraucht, dass die Rechtslage geändert wurde. Eine nahe-liegende Lösung ist es, ein altes Handy mit Prepaid-Karte und einem kleinen Guthaben für Notfälle bereitzuhalten, etwa im Handschuhfach des Autos, im Ferienhaus oder in der Schultasche des Kindes.

Das allerdings gefällt den Anbietern nicht so gut. Der Umsatz pro Kunde ist eine wichtige Kenngröße bei der wirtschaftlichen Beurteilung von Unternehmen, und Kunden ohne Umsatz drücken diese Zahl. Wird eine SIM-Karte zu lange nicht benutzt, wird sie vom Anbieter deaktiviert. Das geschieht meistens unbemerkt, denn die Benachrichtigungs-SMS, die vor einer

dadurch kann 5G seine volle Leistung aus-spielen, also beispielsweise niedrige Sig-nallaufzeiten und viele gleichzeitige Ver-bindungen in stark besuchten Zellen, etwa in Stadien. Auf technische Neuerungen, die zunächst für Kunden mit Laufzeitver-trägen eingeführt werden, müssen Pre-paid-Kunden oft viele Jahre lang warten.

Eine Verbesserung der Abdeckung er-gibt sich durch 5G nicht. Zwar wäre es theoretisch möglich, dass die Netzbe-treiber 5G-Standalone-Funkzellen ab-seits der LTE-Abdeckung schaffen, aber in der Praxis werden LTE- und 5G-Netze gemeinsam geplant und parallel betrie-ben.

Prepaid-Tarife für Smartphones (O2-Netz)

Anbieter	Aldi Talk	Aldi Talk	Ay Yildiz	Blau	Fonic
Tarif	Tarif S (M; L)	Prepaid	Aystar	9 Cent	Classic / Smart
URL	alditalk.de	alditalk.de	ayyildiz.de	blau.de	fonic.de
Netz	O2	O2	O2	O2	O2
Grundkonditionen					
max. Datenrate Download / Upload, beste Zugangstechnik	50 / 25 (100 / 25; 150 / 25) Mbit/s, 5G	100 / 25 Mbit/s, 5G	25 / 10 Mbit/s, 5G (50 / 25 Mbit/s, 5G mit gebuchter Datenoption)	25 / 11,2 Mbit/s, LTE (50 / 25 Mbit/s, 5G mit gebuchter Datenoption)	50 / 25 Mbit/s, 5G
Datenrate gedrosselt Download / -Upload	64 / 64 kbit/s	64 / 64 kbit/s	64 / 64 kbit/s	64 / 64 kbit/s	64 / 64 kbit/s
Preis Telefonminute / SMS	11 / 11 ct	11 / 11 ct	15 / 15 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct
Preis Telefonminute / SMS anbieterintern	3 / 3 ct	3 / 3 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct/Min.
Grundpreis Abfrage Mailbox	kostenlos	kostenlos	kostenlos	kostenlos	kostenlos
Grundpreis Daten	24 ct/MByte	24 ct/MByte	29 ct/MByte	24 ct/MByte	24 ct/MByte
eSIM verfügbar	✓ (nachträglich)	✓ (nachträglich)	✓ (nachträglich)	–	✓ (nachträglich)
Optionen und Erweiterungen					
fest zubuchbare reine Datenoptionen oder -pakete	–	2 GByte, 4,99 €/28 Tage, 5 GByte, 9,99 €/28 Tage, 10 GByte, 14,99 €/28 Tage	4 GByte, 4,99 €/28 Tage, 20 GByte, 12,49 €/28 Tage, 45 GByte, 22,49 €/28 Tage, 100 GByte, 32,49 €/28 Tage	0,3 GByte, 2,49 €/28 Tage, 1 GByte, 3,99 €/28 Tage, 3 GByte, 6,99 €/28 Tage, 5 GByte, 9,99 €/28 Tage	–
fest zubuchbare Kombipakete aus Daten und Telefonie/SMS	15 GByte (S), 9,99 €/28 Tage, Telefonie- und SMS-Flat; kostenlos und beliebig oft 1 GByte nachbuchbar, 30 GByte (M), 14,99 €/28 Tage, Telefonie- und SMS-Flat; kostenlos und beliebig oft 1 GByte nachbuchbar, 60 GByte (L), 19,99 €/28 Tage, Telefonie- und SMS-Flat; kostenlos und beliebig oft 1 GByte nachbuchbar	15 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat 8,99 €/28 Tage, 30 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat 13,99 €/28 Tage, 60 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat 18,99 €/28 Tage	10 GByte, Telefonie- und SMS-Flat netzintern (O2), 9,99 €/28 Tage, 16 / 26 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 12,49 / 17,49 €/28 Tage, 50 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 27,49 €/28 Tage, 100 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 39,99 €/28 Tage	12 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 8,99 €/28 Tage, 24 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 14,99 €/28 Tage, 40 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 19,99 €/28 Tage	10 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 9,99 €/28 Tage, 20 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 14,99 €/28 Tage, 30 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 19,99 €/28 Tage
Tagestarife	–	1 / 10 GByte, 1,99 € / 3,99 €/24 Stunden	10 / 20 GByte, 4,99 € / 7,49 €/24 Stunden	10 GByte, 5,99 €/24 Stunden	0,5 GByte, 1,99 €/Kalendertag ²
Schweiz im Roaming zum EU-Tarif abgerechnet	–	–	–	–	–
Aktivitätszeitfenster (Deaktivierung der Karte nach Ablauf)	4 Monate nach Aufladung von min. 5 €, 12 Monate nach Aufladung von min. 15 €, 24 Monate nach Aufladung von min. 30 €	4 Monate nach Aufladung von min. 5 €, 12 Monate nach Aufladung von min. 15 €, 24 Monate nach Aufladung von min. 30 €	6 Monate pro Aufladung ab 5 €, kumulierend	6 Monate nach Aufladung, 12 Monate nach Aufladung von min. 2,50 €, max. 12 Monate insgesamt	Guthaben unbegrenzt gültig
Kosten					
einmalige Kosten	9,99 €	9,99 €	4,99 €	9,99-19,99 €	9,99 €
Startguthaben	10 €	10 €	10 €	10-20 €	9,99-19,99 €
Zahlungsmittel bei Onlinebestellung	PayPal, Visa, Mastercard, Amex, Apple Pay, Google Pay, SEPA-Lastschrift, Rechnung	PayPal, Visa, Mastercard, Amex, Apple Pay, Google Pay, SEPA-Lastschrift, Rechnung	Lastschrift, PayPal, Visa, Mastercard	Lastschrift, PayPal, Visa, Mastercard	SEPA-Lastschriftmandat erforderlich
¹ zzgl. 25 ct pro Telefonat ² max. 20 €/Kalendermonat und max. 5 GByte/Kalendermonat ✓ vorhanden – nicht vorhanden					

baldigen Deaktivierung warnen, landen im Nirwana, wenn das zugehörige Handy stets ausgeschaltet ist.

Nur Fonic und Fyve haben derzeit ausdrücklich keine Auflagen für den Kunden, was Nutzung oder Aufladung angeht. Das aber kann sich jederzeit ändern. Andere Anbieter kündigen in ihren AGB zwar an, dass sie inaktive SIMs deaktivieren, tun das aber in der Praxis auch nach Jahren der Inaktivität nicht, etwa Vodafone. Aber auch das kann sich jederzeit ändern.

Am sichersten ist es, eine Karte mit einem Aktivitätszeitfenster einzusetzen, das sich alle 12 oder 15 Monate mit einer Aufladung verlängert und diese per jährlichem Dauerauftrag aufzuladen. Eine Aufladung per Überweisung ist bei Guthaben für Karten im O2- und Vodafone-Netz möglich, Details finden Sie unter ct.de/yxdc.

eSIM statt SIM

Eine eSIM lässt sich mit rund zwei Drittel der Prepaid-Angebote bereits nutzen. Bei einer eSIM ist keine physische Karte mehr nötig, sondern die Informationen für die SIM-Karte werden aufs eSIM-fähige Gerät per Internet übertragen und auf einem im Gerät eingebauten SIM-Chip abgespeichert. In dessen Speicher kann man mehrere SIMs hinterlegen und je nach Bedarf aktivieren.

Eigentlich soll die eSIM das Hantieren mit physischen SIMs unnötig machen. Allerdings schafft es kaum ein Anbieter, Kunden direkt mit einer eSIM auszustatten. eSIM-Kunden müssen in den meisten Fällen erst einmal eine physische SIM bestellen, diese aktivieren und können dann anschließend auf eine eSIM wechseln.

Warum die meisten Anbieter den Vorteil verspielen, ihre Kunden sofort online

zu bringen, erschließt sich nicht. Anders als bei Laufzeitverträgen kann die Verifizierung einer Anschrift per Postsendung nicht der Grund sein, denn das reicht als gesetzlich vorgeschriebene Identifizierung für Prepaid-Kunden ohnehin nicht. Möglicherweise lohnt es sich für die noch geringe Zahl an Nachfragen für eSIMs noch nicht, die internen Prozesse anzupassen und eine Direktbestellung einer eSIM zu ermöglichen.

Besondere Angebote

Als erster Prepaid-Anbieter hat Aldi Talk einen günstigen „Unlimited“-Tarif im Angebot. Dabei handelt es sich aber nicht um eine echte Flatrate, sondern um einen Volumentarif mit der Besonderheit, dass man das Datenvolumen beliebig oft kostenlos nachladen kann. Eine Nachladung

Lebara	Nettokom	O2	Tchibo Mobil	WhatsApp SIM
Hello Prepaid	Basic	Prepaid	Prepaid-Tarif	WhatsApp
lebara.de	nettokom.de	o2-freikarte.de	tchibo.de	whatsappsim.de
02	02	02	02	02
50 / 25 Mbit/s, 5G	100 / 25 Mbit/s, 5G	300 / 50 Mbit/s, 5G	25 / 10 Mbit/s, LTE	50 / 25 Mbit/s, 5G
64 / 64 kbit/s	64 / 64 kbit/s	384 / 384 kbit/s (50 / 50 Mbit/s bei 999-GB-Byte-Tarif)	64 / 64 kbit/s	64 / 64 kbit/s
9 ¹ / 19 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct
9 ¹ / 19 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct
kostenlos	kostenlos	9 ct/Min.	kostenlos	kostenlos
29 ct/MByte	24 ct/MByte	0,30 GByte, 0,99 €/Tag	24 ct/MByte	kostenlos, 32 kbit/s ohne Tarifoption
–	✓ (nachträglich)	✓ (nachträglich)	– (geplant)	–
–	2 GByte, 4,99 €/28 Tage, 5 GByte, 9,99 €/28 Tage, 10 GByte, 14,99 €/28 Tage	1 GByte, 3,99 €/28 Tage, 5 GByte, 9,99 €/28 Tage, 10 GByte, 14,99 €/28 Tage, 15 GByte, 19,99 €/28 Tage	1 GByte, 2,99 €/7 Tage, 5 GByte, 8,99 €/28 Tage, 15 GByte, 10,99 €/28 Tage, 30 GByte, 15,99 €/28 Tage, 60 GByte, 20,99 €/28 Tage	–
5 / 13 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 4,99 / 9,99 €/28 Tage, 30 / 40 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 14,99 / 19,99 €/28 Tage, 50 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 24,99 €/28 Tage, 100 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 44,99 €/28 Tage	15 GByte, Telefonie- und SMS-Flat, 8,99 €/28 Tage, 30 GByte, Telefonie- und SMS-Flat, 13,99 €/28 Tage, 60 GByte, Telefonie- und SMS-Flat, 18,99 €/28 Tage	12 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 8,99 €/28 Tage, 25 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 14,99 €/28 Tage, 50 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 19,99 €/28 Tage, 999 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 74,99 €/28 Tage	– (nur als Laufzeitvertrag)	3 GByte, 5 €/28 Tage, je Min./SMS wird ein MByte abgezogen, 12 GByte, 10 €/28 Tage, je Min./SMS wird ein MByte abgezogen, 25 GByte, 15 €/28 Tage, je Min./SMS wird ein MByte abgezogen
–	1 / 10 GByte/24 Stunden, 1,99 / 3,99 €	25 GByte/24 Stunden, 5,99 €	–	–
–	–	–	–	–
90 Tage nach Nutzung	12 Monate nach Aufladung von min. 5 €	6 Monate nach Aufladung	12 Monate nach Aufladung oder Nutzung	6 Monate nach Aufladung von min. 5 €
4,99-44,99 €	9,99 €	kostenlos (4,99 € für 999-GB-Tarif)	9,99 €	10 € (für voraktivierte 12-GByte-Option)
4,99-44,99 €	10 €	1 € (nicht für 999-GB-Tarif)	10 €	15 €
PayPal, Visa, Mastercard, Amex, Girocard, Sofortüberweisung	SEPA-Lastschriftmandat erforderlich	PayPal, Visa, Mastercard, Amex, Nachnahme (wenn Zahlung nötig)	PayPal, Visa, Mastercard, Vorkasse, Bank- einzug, Rechnung	Lastschrift, PayPal, Visa, Mastercard

von einem Gigabyte ist in diesem Tarif dann möglich, wenn das Restvolumen unter einem Gigabyte liegt.

Für das gelegentliche Nachfüllen, wenn man beim Videostreamen mal über die Stränge geschlagen hat, ist ein solcher Tarif durchaus praktisch. Beim Streamingabend im Ferienhaus wird es allerdings mühsam, wenn man im schlimmsten Fall alle zehn Minuten neues Datenvolumen nachbuchen muss. Als Festnetzersatz in Routern ist ein solcher Tarif nur als Notfallmaßnahme sinnvoll, nicht aber auf Dauer.

Diese Hürde stellen die Provider mit Bedacht auf. Sie soll ausgesprochene Vielnutzer abschrecken, aber Kunden, die finanzielle Sicherheit brauchen oder wollen,

mit einem kalkulierbaren Festpreis locken.

Bei der Telekom kann man nicht verbrauchtes Volumen in den nächsten Monat mitnehmen, im besten Fall hat man dadurch im Folgemonat das doppelte Volumen zur Verfügung. Allerdings geht das nur einmal, verbraucht man Volumen auch im Folgemonat nicht, verfällt es am Ende.

Einen Treuebonus für Kunden, die ihre Tarifooption ohne Unterbrechung regelmäßig buchen, bietet Ay Yildiz. Je nach Tarif kann man schon im zweiten Monat zwischen 1 und 50 Gigabyte zusätzliches Transfervolumen pro Monat erhalten. Auch O2 lockt mit Volumenboni: Hier bekommt man ein Gigabyte pro Monat, wenn man die App nutzt, und drei Gigabyte pro

Monat für das Erteilen eines Lastschriftmandats.

Alternativ zu Kombitarifen mit Datenvolumen, SMS- und Telefon-Flatrate gibt es bei vielen Anbietern auch die Möglichkeit, nur Datenvolumen zu buchen. Diese Optionen sind aber mitunter viel teurer als die Kombivariante, weil sie seit Jahren nicht mehr an das sinkende Preisniveau angepasst wurden. Einige Anbieter haben reine Datenoptionen inzwischen aus dem Programm genommen oder führen sie so versteckt, dass man sie nur bei einer gezielten Suche findet.

Regelmäßige Checks

Das Preisniveau im Mobilfunk fällt beständig. Die Netzbetreiber passen ihre

Prepaid-Tarife für Smartphones (Telekom- und Vodafone-Netz)

Anbieter	Congstar	Edeka	Jamobil	Kaufland	Norma Connect
Tarif	Allnet / Prepaid wie ich will	Smart Talk	Prepaid Smart / Easy	Smart/Basic	Smart/Start
URL	congstar.de	edeka-smart.de	jamobil.de	kaufland-mobil.de	norma-connect.de
Netz	Telekom	Telekom	Telekom	Telekom	Telekom
Grundkonditionen					
max. Datenrate Download / Upload, beste Zugangstechnik	25 / 10 Mbit/s, 5G	300 / 50 Mbit/s, LTE	50 / 25 Mbit/s, 5G (LTE für Prepaid Easy / Basic)	50 / 25 Mbit/s, 5G (25 / 10 Mbit/s, LTE für Smart XS LTE / Basic)	50 / 25 Mbit/s (100 / 25 für 60-GByte-Tarif), 5G (LTE für Basic-Tarif)
Datenrate gedrosselt Download / Upload	64 / 16 kbit/s	32 / 16 kbit/s	64 / 16 kbit/s	64 / 16 kbit/s	64 / 16 kbit/s
Preis Telefonminute / SMS	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct
Preis Telefonminute / SMS anbieter-intern	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct
Grundpreis Abfrage Mailbox	kostenlos	kostenlos	kostenlos	kostenlos	kostenlos
Grundpreis Daten	–	–	–	–	–
eSIM verfügbar	✓ (nachträglich)	✓ (bei Bestellung)	✓ (nachträglich, nur bestimmte Handymodelle)	✓ (bei Bestellung)	✓ (bei Bestellung)
Optionen und Erweiterungen					
fest zubuchbare reine Datenoptionen oder -pakete	1 GByte LTE, 2 €/28 Tage, 3 GByte LTE, 4 €/28 Tage, 6 GByte LTE, 7 €/28 Tage, 10 GByte LTE, 12 €/28 Tage, 15 GByte LTE, 17 €/28 Tage	–	0,5 GByte LTE, 2,99 €/28 Tage, 1 GByte LTE, 3,99 €/28 Tage, 3 GByte LTE, 6,99 €/28 Tage, 5 GByte LTE, 12,99 €/28 Tage	–	0,5 GByte LTE, 3 €/28 Tage, 1 GByte LTE, 5 €/28 Tage, 3 GByte LTE, 8 €/28 Tage, 5 GByte LTE, 15 €/28 Tage
fest zubuchbare Kombipakete aus Daten und Telefonie/SMS	1 GByte LTE, Telefonie-Allnet-Flat, 5 €/28 Tage, 3 GByte, Telefonie-Allnet-Flat, 7 €/28 Tage, 9 GByte, Telefonie-Allnet-Flat, 10 €/28 Tage, 15 / 20 GByte, Telefonie-Allnet-Flat, 12 / 16 €/28 Tage	1 GByte, 50 Min./SMS, 4,95 €/28 Tage, 9 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 9,95 €/28 Tage, 16 / 27 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 14,95 / 19,95 €/28 Tage, Flatrate für Daten, Telefonie und SMS, 94,95 €/28 Tage	1 GByte LTE, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 4,99 €/28 Tage, 15 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 8,99 €/28 Tage, 30 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 13,99 €/28 Tage, 60 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 18,99 €/28 Tage	1 GByte LTE, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 4,99 €/28 Tage, 15 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 8,99 €/28 Tage, 30 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 13,99 €/28 Tage, 60 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 18,99 €/28 Tage	15 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 8,99 €/28 Tage, 30 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 13,99 €/28 Tage, 60 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 18,99 €/28 Tage
Tagestarife	10 GByte, 5 €/24 Stunden; 15 GByte 8 €/48 Stunden; 20 GByte, 20 €/7 Tage; Internet-Flat, 7 €/24 Stunden	Daten-Flatrate, 5,95 €/24 Stunden	10 GByte, 5 €/24 Stunden; 15 GByte 8 €/48 Stunden; 20 GByte, 20 €/7 Tage; Internet-Flat, 6,99 €/24 Stunden	10 GByte, 5 €/24 Stunden; 15 GByte 8 €/48 Stunden; 20 GByte, 20 €/7 Tage; Internet-Flat, 7 €/24 Stunden	10 GByte, 5 €/24 Stunden; 15 GByte 8 €/48 Stunden; 20 GByte, 20 €/7 Tage; Internet-Flat, 6,99 €/24 Stunden
Schweiz im Roaming zum EU-Tarif abgerechnet	✓ (nur Datennutzung)	✓ (nur Datennutzung)	✓ (nur Datennutzung)	✓ (nur Datennutzung)	✓ (nur Datennutzung)
Aktivitätszeitfenster (Deaktivierung der Karte nach Ablauf)	15 Monate nach Aufladung	15 Monate nach Aufladung	15 Monate nach Aufladung	15 Monate nach Aufladung	15 Monate nach Aufladung
Kosten					
einmalige Kosten	4,99 €	9,95–94,95 €	9,95 €	9,99 €	4,95 €
Startguthaben	5–16 €	9,95–94,95 €	7,50–20 €	10 €	10 €
Zahlungsmittel bei Onlinebestellung	SEPA-Lastschriftmandat erforderlich	Vorkasse, Visa, Mastercard, Amex, Google Pay, Apple Pay, Rechnung	Vorkasse, Visa, Mastercard, Amex, Google Pay, Apple Pay	Vorkasse, PayPal, Visa, Mastercard, Diners Club, Google Pay	Vorkasse, Visa, Mastercard, Amex, Google Pay, Apple Pay, Giropay
¹ providerinterne Flat	² inklusive Hotspot-Flat	³ für Datentarif	✓ vorhanden	– nicht vorhanden	

Tarife immer wieder an die Entwicklung an, in der Regel erhöhen sie das Datenvolumen für die fest buchbaren Optionen, lassen aber die sonstigen Konditionen unverändert. Der Regelpreis für Datenverbindungen und Telefonate, die nicht von Pauschaltarifen abgedeckt sind, ist deswegen inzwischen im Vergleich zu den Optionspreisen absurd hoch.

Mit Bestandskunden gehen die Prepaid-Anbieter unterschiedlich um. Einige geben Änderungen an alle Kunden weiter. Diese merken dann bei der nächsten Buchung, dass plötzlich beispielsweise 15 statt bisher 10 Gigabyte am Monatsanfang auf dem Volumenzähler stehen.

Andere führen mit jeder Drehung an der Schraube neue Tarife ein. Bereits gebuchte Tarife laufen unverändert weiter. Will ein Prepaid-Kunde von den neuen, günstigen Tarifen profitieren, muss er aktiv werden und in einen neuen Tarif wechseln. Dabei muss er wiederum aufpassen, dass er nicht mit dem Umstieg in den neuen Tarif bereits bezahlte Wochen verschenkt, weil alle Zähler wieder auf null gesetzt werden.

Es empfiehlt sich also, mindestens einmal im Jahr zu prüfen, ob es nicht inzwischen einen günstigeren Tarif gibt, wenn der Anbieter diese Umstufung nicht von sich aus vornimmt. Will man stattdessen den Anbieter wechseln, kann man die Rufnummer recht einfach kostenlos mit-

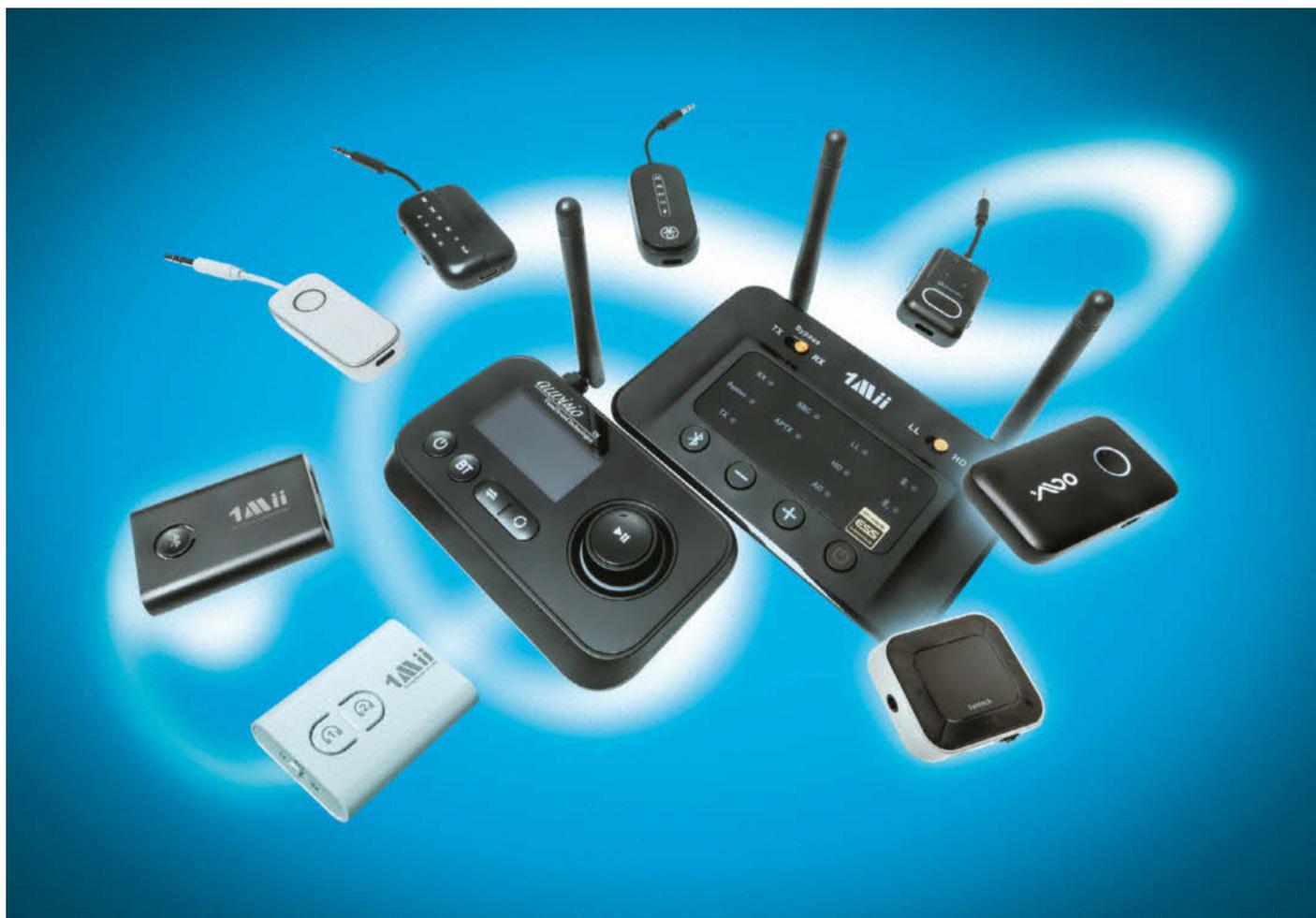
nehmen. Das Mitbringen einer Rufnummer darf nichts kosten und wird bei einigen Anbietern sogar mit einer kleinen Prämie belohnt.

Fazit

Prepaid-Tarife bieten einen günstigen Mobilfunkzugang mit voller Kostenkontrolle, der sich auch für Kinder oder Senioren eignet. Sperrt man Roaming und die Abrechnung für Drittanbieter und füllt man das Konto nur so weit auf, dass die Buchung der nächsten Tarifoption bezahlt ist, ist man vor bösen Überraschungen weitgehend sicher. (uma@ct.de) **ct**

Auflademöglichkeiten per Überweisung:
ct.de/yxdc

Pennymobil	Telekom	Fyve	Lidl Connect	Otelo	Vodafone
Prepaid Smart/Easy	MagentaMobil Prepaid	Basis-Tarif	Classic	Prepaid	CallYa
pennymobil.de	telekom.de	fyve.de	lidl.de	otelo.de	callya.de
Telekom	Telekom	Vodafone	Vodafone	Vodafone	Vodafone
50 / 25 Mbit/s (100 / 25 für 60-GByte-Tarif), 5G (LTE für Basic-Tarif)	300 / 50 Mbit/s, 5G	21,6 / 3,6 Mbit/s, LTE	100 / 25 Mbit/s, 5G	21,6 / 3,6 Mbit/s, LTE	300 / 100 Mbit/s, 5G
64 / 16 kbit/s	32 / 16 kbit/s	64 / 64 kbit/s	64 / 64 kbit/s	64 / 64 kbit/s	64 / 64 kbit/s
9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct
9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct	9 / 9 ct
kostenlos	9 ct/Min.	kostenlos	kostenlos	kostenlos	9 ct/Min.
–	50 MByte, 1,49 €/24 Stunden	–	–	–	3 ct/MByte
✓ (nachträglich)	✓ (bei Bestellung)	–	✓ (nachträglich)	✓ (nachträglich)	✓ (bei Bestellung)
0,5 GByte LTE, 2,99 €/28 Tage, 1 GByte LTE, 3,99 €/28 Tage, 3 GByte LTE, 6,99 €/28 Tage, 5 GByte LTE, 12,99 €/28 Tage	–	2 GByte/30 Tage, 5 €	0,75 GByte, 2,99 €/28 Tage, 3 GByte, 6,99 €/28 Tage, 5 GByte, 9,99 €/28 Tage, 10 GByte, 14,99 €/28 Tage	1 GByte, 3,95 €/28 Tage, 2 GByte, 4,95 €/28 Tage, 5 GByte, 9,95 €/28 Tage, 10 GByte, 19,95 €/28 Tage	0,5 GByte, 2,99 €/28 Tage, 1 GByte, 4,99 €/28 Tage, 4 GByte, 9,99 €/28 Tage, 10 GByte, 19,99 €/28 Tage
15 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 8,99 €/28 Tage, 30 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 13,99 €/28 Tage, 60 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 18,99 €/28 Tage	1 GByte, 50 Min. ¹ , 4,95 €/28 Tage, 13 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 9,95 €/28 Tage ² , 25 / 50 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 14,95 / 19,95 €/28 Tage ² , Daten-, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 99,95 €/28 Tage ²	3 GByte, 200 Min./SMS, 6,95 €/Monat, 8 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 8,95 €/Monat, 20 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 14,95 €/Monat	1 GByte, 100 Min. oder SMS ¹ , 4,99 €/28 Tage, 15 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 8,99 €/28 Tage, 30 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 13,99 €/28 Tage, 60 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 18,99 €/28 Tage	1 GByte, 100 Min./SMS, 4,95 €/28 Tage, 3 GByte, 200 Min./SMS ¹ , 6,95 €/28 Tage, 8 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 7,95 €/28 Tage, 20 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 14,95 €/28 Tage	0,05 / 1 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 1 €/Kalendertag / 4,99 €/28 Tage, 15 / 30 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 9,99 / 14,99 €/28 Tage, 60 GByte, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 19,99 €/28 Tage, Daten-, Telefonie- und SMS-Allnet-Flat, 79,99 €/28 Tage
–	Daten-Flatrate, 6,95 €/24 Stunden (9,95 €/24 Stunden ²)	10 GByte, 4,99 €/24 Stunden	1 GByte, 1,99 €/24 Stunden; 10 GByte, 3,99 €/24 Stunden; Flatrate 6,99 €/24 Stunden	10 GByte, 4,99 €/24 Stunden	10 GByte / Daten-Flatrate, 4,99 / 6,99 €/24 Stunden
✓ (nur Datennutzung)	✓ (nur Datennutzung)	–	–	–	– (Option: 1 GByte/14 Tage, 9,99 €)
15 Monate nach Aufladung	15 Monate nach Aufladung	unbegrenzt gültig	12 Monate nach Aufladung	12 Monate nach Nutzung	unbegrenzt, aber Anbieter behält sich Kündigung nach 90 Tagen ohne Nutzung vor
9,95 €	9,95-99,95 €	9,45-17,45 €	9,99 €	4,95 €	–
7,50-20 €	10-100 €	6,95-14,95 €	10 €	5 €	–
Vorkasse, Visa, Mastercard, Amex, Google Pay, Apple Pay	PayPal, Visa, Mastercard, Amex, Nachnahme	Vorkasse, PayPal, Visa, Mastercard, SEPA-Lastschrift	Vorkasse, PayPal, Visa, Mastercard	SEPA-Lastschriftmandat erforderlich	keine Zahlung nötig



Doppelfunker

Bluetooth-Nachrüstung: Zehn Audiobrücken für TV, Hi-Fi und Flugzeug

Vielen älteren TV-Geräten, Verstärkern oder auch Bildschirmen im Flugzeug fehlt der Blauzahn für kabellose Audioübertragung. Acht mobile und zwei stationäre Nachrüstadapter schlagen für kleines Geld die Brücke zu Smartphones, Notebooks und Bluetooth-Kopfhörern.

Von Dušan Živadinović

Bluetooth-Brücken zum Nachrüsten von analogen Audiogeräten gibt es wie Kiesel in der Kiesgrube und man bekommt sie schon ab 17 Euro. Die einfachen kann man in zwei Gruppen einteilen: Eine Gruppe empfängt digitale Musik per Bluetooth zum Beispiel vom Smartphone und wandelt sie zum analogen Signal, um sie an einen analogen Hi-Fi-Verstärker weiterzugeben. Die andere Gruppe digitalisiert analoges Audio von zum Beispiel Fernsehern und funkt es an Bluetooth-Kopfhörer oder -Soundbars.

Dann gibt es noch eine dritte Gruppe und das ist die empfehlenswerte: Sie kann

einfach beides, also sowohl digitalisieren als auch analogisieren. Das Schöne: Solche Kombibrücken kosten kaum mehr als die einfachen.

Verstärker auf der einen und Fernseher auf der anderen Seite stehen stellvertretend für analoge Senken und Quellen: Eine Senke kann auch eine Aktivbox mit Analogeingang oder ein Kabelkopfhörer sein. Eine Quelle kann auch eine Spielekonsole, ein Seefunkgerät oder ein im Rücksitz von Flugzeugen eingebauter Bildschirm mit Analogausgang sein.

Wir haben zehn Kombibrücken beschafft und im Test erhebliche Unterschiede in Funktionsumfang, Bedienung, Reichweite und Verarbeitungsgeschwindigkeit gefunden. Es handelt sich um acht mobile Winzlinge mit Akku und zwei stationäre Modelle von der Größe eines Smartphones. Die beiden Tischgeräte stammen von 1Mii (BO3Pro) und von Pearl (auvisio BTR-450). Bei den mobilen handelt es sich um 1Mii ML300 und ML301, Cweopo C83Pro, Sonru J52 und B101, Syntech B100, Ugreen CM872 und Ymoo BO6T1.

Das sind jedenfalls die Bezeichnungen, die auf Verpackungen und in Anleitungen zu finden sind und die beim Bluetooth-Verkehr gemeldet werden. Doch auf den Webseiten führen Hersteller und Händler anstatt der ohnehin schon wenig prägnanten Namen verwirrende Schlagwortreihen in Romanvorlagenlänge auf, und zwar sehr ähnliche. Ein Beispiel: „Bluetooth 5.3 Adapter für TV zu Kopfhörer, 2-in-1 Sender Empfänger, aptX-Adaptive & HD kabelloses Audio Transmitter Receiver Klinke 3,5 für Stereoanlage Flugzeug MP3 Upgraded“. Dahinter verbirgt sich schlicht der Adapter ML301 von 1Mii. Damit Sie Ihre Favoriten dennoch im Web finden, geben wir zu jedem Kandidaten auch den ursprünglich für den Testkauf verwendeten Link an, siehe ct.de/yfqh.

Die Testkandidaten haben vieles gemeinsam. Zum Ansteuern von Bluetooth-Kopfhörern arbeiten sie im Tx-Modus (tx = transmit, also senden) und zum Ansteuern von Verstärkern im Rx-Modus (rx = receive, also empfangen). Damit ist die Verkehrsrichtung der Nutzdaten auf der Bluetooth-Strecke gemeint. Zwischen Tx und Rx wechselt man per Schiebeschalter, auch bei eingeschaltetem Gerät.

Anders als vielleicht erwartet, enthalten alle mobilen Brücken trotz zweier Betriebsarten einen einzigen Analoganschluss, nämlich eine dreipolige 3,5-mm-Klinke mit der Belegung Tip, Ring, Sleeve, kurz TRS, die bei Smartphones und Kopfhörern üblich ist. Bei den Audiobrücken kann sie als Kabelstückchen mit Steckerende ausgeführt sein oder als Buchse. Bei Buchsenausführung braucht man für den Anschluss an externe Geräte ein separates Kabel mit 3,5-mm-Stecker, das die meisten Hersteller mitliefern (siehe Tabellen).

Wissenswert: Der Tx-/Rx-Schiebeschalter dreht die Verkehrsrichtung des Analogports automatisch. Im Tx-Modus nimmt der Analoganschluss eingehendes Audio entgegen und leitet es zum Digita-

lisierer in der Audiobrücke. Im Rx-Modus gibt er Audio von deren Analogwandler etwa an einen Verstärker hinaus.

20 Euro zu viel

Im Hörtest mit vier Personen (zwei normal hörende, eine mit Tinnitus und eine mit gebildetem Gehör) und dem geschlossenen Kopfhörer Sony WH-1000MX3 ergaben sich beim Klangbild keine Auffälligkeiten. Doch der Teufel steckt im Detail, sodass man nicht blindlings das billigste, hübscheste oder kleinste Modell nehmen sollte.

Wir fanden besonders in der Geschwindigkeit der Signalverarbeitung erhebliche Unterschiede, aber auch im Funktionsumfang und in der Bedienung. Viele Hersteller sparen das Display ein und quetschen mehrere Funktionen auf wenige Tasten. Nicht alle kriegen das so hin, dass das Konzept einleuchtet, mit der Folge, dass man das Ding bei der ersten Flugreise doch wieder in den Rucksack steckt, weil die Kopplung mit dem Bluetooth-Kopfhörer einfach nicht gelingt. Dann sind selbst 20 Euro zu viel gezahlt.

Im Folgenden erklären wir, welche Merkmale für die Auswahl wichtig sind. Dieselben Punkte finden Sie in derselben Reihenfolge in den beiden Tabellen „Mobile Bluetooth-Brücken“ und „Stationäre Bluetooth-Brücken“. In den Textabschnitten zu den einzelnen Kandidaten gehen wir hauptsächlich auf Besonderheiten und Abweichungen vom Üblichen ein, zuerst für die mobilen, dann für die stationären Geräte.

Essenzieller Kabelsalat

Beim Vergleich des Lieferumfangs fällt auf, dass fast alle Hersteller das Netzteil einsparen, Ugreen hält sogar nur ein Ladekabel für erforderlich und spart sogar die Audioverbinder ein. Bis auf die 1Mii

Gängige Bluetooth-Audio-Codecs

Bezeichnung	Signallaufzeit (Latenz)
aptX Low Latency (Qualcomm)	30-40 ms
LC3 (Bluetooth SIG, ab Bluetooth LE)	30-40 ms
aptX adaptive (Qualcomm)	60-90 ms
aptX (Qualcomm)	120 ms
AAC (Fraunhofer IIS)	90-150 ms
aptX HD (Qualcomm)	200 ms
SBC (Bluetooth SIG, Pflicht-Codec)	192-320 ms
aptX: Audio Processing Technology Codec AAC: Advanced Audio Coding LC3: Low Complexity Communication Codec, SBC: Sub-Band Codec, ms: Millisekunden	

ct kompakt

- Bluetooth-Brücken koppeln analoge Audiogeräte wie Hi-Fi-Anlagen oder Fernseher an die digitale Welt an.
- Unter der Vielzahl an Kandidaten sind Kombibrücken mit Sende- und Empfangsfunktion und mehreren Audiocodern empfehlenswert.
- Nicht alle Hersteller geben die eingebauten Codecs an.

BO3Pro haben alle Brücken gemäß der EU-Richtlinie eine USB-C-Buchse als Ladeanschluss. Damit kann man die Brücken leicht auch mittels Powerbanks speisen und so die ohnehin guten Laufzeiten von mindestens 9 Stunden noch mal deutlich verlängern. Aber testen Sie die Powerbank vor der Reise: Weil die Brücken nur minimal zuteln, springt nicht jede Powerbank an.

Die meisten Hersteller liefern wenigstens Lade- und Audiokabel mit, einige auch einen doppelnasigen Flugzeugadapter und Syntech sogar eine Tragetasche nebst Karabinerhaken. Liegen alle nötigen Kabel bei, spart man leicht 20 Euro und muss nicht im Zubehörhandel suchen.

Falls die Brücke wegen des zu kurzen Audiokabels hinter einem Großbildschirm oder einem Verstärker baumelt, liegt sie aus Bluetooth-Sicht auch meist im Funk Schatten, was die Reichweite verkürzt. Falls man diese durch eine bessere Position erhöhen möchte, dem Lieferumfang aber keine längere Leitung beiliegt, muss man dafür doch noch einige Euro mehr einkalkulieren.

Die meisten Kandidaten kommunizieren gemäß den aktuellen Bluetooth-Versionen 5.3 oder 5.4 und sollten auch mit Smartphones und Bluetooth-Kopfhörern der nächsten Jahre ohne Probleme zusammenspielen. Beim Pearl auvisio BTR-450 mit seiner älteren 5.0-Schnittstelle muss man darauf vertrauen, dass kommende Geräte zu dieser schon 2016 geprägten Bluetooth-Version kompatibel sind.

Des Blauzahns Kern

Die Kernfunktion aller Bluetooth-Brücken ist die Übertragung von Stereoaudio. Diese Aufgabe erledigen alle gemäß der Spezifikation Advanced Audio Distribu-



1Mii ML300

Die mobile Audiobrücke ML300 stammt vom chinesischen Hersteller 1Mii. Anhand der zwei Kopfhörertasten kann man zwei Bluetooth-Headsets leicht koppeln. Doch das Bedienkonzept lässt zu wünschen übrig: Beispielsweise übersieht man leicht, wann der Akku geladen ist und vergisst dann, die Brücke vom Strom zu trennen, um den Akku zu schonen.

Die Anleitung enthält teils selbstverständliche Infos von wenig Wert und lässt manches unerklärt. Bei schlechter Tonqualität im Receive-Modus empfiehlt der Hersteller, die MF-Taste doppelt zu drücken. Damit kann das ML300 einen gegenüber Funkfehlern robusteren Codec aktivieren (meist SBC). Welcher Codec gerade arbeitet, signalisiert die ML300 mit Farb-LEDs. Sie hat aber für fünf Codecs nur vier Farben, sodass Blau sowohl für den mittelmäßigen SBC als auch den guten AAC steht. Den Akkufüllstand meldet die ML300 nur per LED-Anzeige, die man per Hand auslösen muss.

Im Distanztest machte sie eine gute Figur, beim TV-Test lieferte sie den Ton mit akzeptabler Verzögerung zum Bild und der Parallelbetrieb zweier Kopfhörer klappte reibungslos.

- 👆 Dual-Link-Betrieb
- 👇 dürftige Anleitung
- 👇 umständliche Bedienung

Preis: 23 Euro



1Mii ML301

Die 1Mii ML301 ist dem Vorgänger ML300 sehr ähnlich und eignet sich ebenso für den Dual-Link-Betrieb mit zwei Empfängern (Kopfhörer, Lautsprecher). Anstatt zwei Multifunktions-tasten bekam die ML301 nur eine. Daher erfordert die Bedienung vom Nutzer etwas Intuition und ein gutes Gedächtnis oder auf Reisen einen Spickzettel, am besten in Folie eingeschweißt.

Die Anleitung erscheint ebenso dürftig wie jene der ML300, von der nur die Beschreibung der Multifunktions-taste abweicht. Manche Konzepte findet man bei der ML301 ebenso wie bei der ML300: Während des Ladevorgangs leuchtet eine LED rot und geht aus, wenn der Akku voll ist. Wünschenswert wäre eine Farbänderung, etwa zu grün, damit man das Gerät umgehend vom Strom trennen und den Akku schonen kann.

Für die Codec-Signalisierung per LED hat sie ebenfalls zu wenige Farben, aber erfreulicherweise sind ebenso fünf verbreitete Codecs implementiert. Im Distanztest und Sendertest verhielt sich die ML301 unauffällig, auch blieben die Bluetooth-Verbindungen während der diversen Prüfungen stabil.

- 👆 Dual-Link-Betrieb
- 👇 dürftige Anleitung
- 👇 sehr umständliche Bedienung

Preis: 30 Euro



Cweopo C83Pro

Von wem die Bluetooth-Brücke C83Pro stammt, ist unklar: Auf den Webseiten der Lieferanten findet man verschiedene Namen, darunter Jade Star, Cweopo und Kangdeng.

Aufgrund seines fest integrierten Kabelchens mit Klinenstecker passt die C83Pro mitsamt Flugzeugadapter und Ladekabel in ein Kartönchen, das die Hemdtasche kaum ausbeult. Die meisten Funktionen sind selbsterklärend oder lassen sich mit etwas Erfahrung herausfinden. Die wichtigsten Statusmeldungen wie der Betrieb von Kopfhörer 1 und 2, Rx- oder Tx-Modus sowie den Ladestatus unterscheidet man dank einleuchtender LED-Farben gut. Im Distanztest schwächelte die C83Pro, auf 15 Meter Entfernung gab es einige Unterbrechungen. Einzig bei der C83Pro gibt ein Hersteller die maximale Reichweite mit „weniger als 10 Meter“ an, die übrigen sichern mindestens 10 Meter zu, erreichen aber mehr.

Für Rx und Tx gibt es den üblichen Schiebeschalter, zusätzlich auch Fernbedientasten für das Smartphone — insgesamt machte die Bedienung einen ergonomischen Eindruck. Schade, dass ihr der Hersteller nur den Pflicht-Codec SBC spendiert hat. Damit liefert sie weder hohe Klangqualität noch kurze Latenzen.

- 👆 einleuchtende Bedienung
- 👇 kurze Reichweite
- 👇 nur SBC-Codec eingebaut

Preis: 17 Euro

tion Profile (A2DP). Und weil alle Kandidaten Bluetooth-Streams sowohl senden als auch empfangen können (Tx, Rx), beherrschen sie auch beide A2DP-Rollen: Source (Quelle), für den Versand, Sink (Senke) für den Empfang.

Darüber hinaus gibt es einige Unterschiede im Bluetooth-Funktionsumfang.

Manche können Smartphones per Audio Video Remote Control Profile fernsteuern (AVRCP für Play, Pause, vor, zurück, lauter, leiser). Einige können Telefonieverbindungen vom Smartphone übernehmen. Dafür enthalten sie ein Mikro und die Steuersignale gehen über Bluetooth beispielsweise gemäß

des Hands Free Profile (HFP) zum Smartphone.

Das Tüpfelchen auf dem „i“ ist der Battery Service, der bei Bluetooth zum Generic Attribute Profile gehört (GATT): Damit signalisiert die Audiobrücke dem per Bluetooth angekoppelten Notebook oder Smartphone den prozentualen Füll-



Sonru J52

Die Sonru J52 hat auf den ersten Blick alles, was üblich und nützlich ist: eine Anlogschnittstelle mit integriertem Klinkenstecker, Haupttaste mit einleuchtender Funktionsbelegung, einen Rx-/Tx-Schiebeschalter und Fernbedientasten für die Smartphonewiedergabe. Zudem bringt die J52 mehrere Audioverbinder mit, Flugzeugadapter inklusive.

Doch der Hersteller verwendet einen zu schlichten Bluetooth-Chip, der außer SBC wenig kann. Als Pluspünktchen kann man immerhin den Battery Service und die hohe Akkulaufzeit werten. Der um die Multifunktions-taste herumgelegte LED-Ring blinkt nach der Kopplung ständig im 3-Sekundenintervall. Das nervt mindestens im abgedunkelten Flugzeug. Da haben die Produktdesigner etwas falsch verstanden: Die Geräte sollten nur dann Aufmerksamkeit fordern, wenn etwas zu tun ist und nicht, wenn alles wie gewünscht läuft.

Wie die übrigen Kandidaten kann die J52 während des Ladens auch funken. Doch der Hersteller rät davon ab, denn die Stromversorgung streut in die Elektronik hinein und verzerrt das Audiosignal. Im Distanztest schnitt die J52 besser ab als die C83Pro, aber nicht so gut wie die übrigen Kandidaten.

- ↑ guter Lieferumfang
- ↓ nur SBC-Codec eingebaut
- ↓ Dauerblinken

Preis: 23 Euro



Sonru B101

Auf etwa dem gleichen Platz wie der Schwesterbrücke J52 hat Sonru auch seine B101 untergebracht. Diese enthält jedoch mehr Codecs und weist kaum Schwächen auf: Sie blinkt nicht unnötig, erfreut mit leichter Bedienung und meldet den Akkufüllstand per Battery Service an Smartphones oder Notebooks. Manche Sätze der Anleitung gelangten aber nur unvollständig oder gar nicht vom Englischen ins Deutsche.

Vorbildlich finden wir, dass die B101 auf einen Tastendruck hin einen der sechs eingebauten Codecs bevorzugen und so beispielsweise die Latenz auf 30 bis 40 Millisekunden verkürzen kann, sofern der Bluetooth-Kopfhörer mitspielt. Das ist nützlich, wenn sie zwischen TV und Kopfhörern vermittelt. Wenn sie Musik vom Smartphone zum Hi-Fi-Verstärker weitergibt, kann man hingegen einen der diversen Codecs höher gewichten, die besseren Klang liefern. So soll es sein.

Schwächen zeigt sie im Dual-Link-Betrieb: Es dauert mehrere Sekunden, bis die B101 beide mit Ton versorgt, und wenn man das zweite Headset abschaltet, bekommt das erste für eine Weile ebenfalls keinen Ton.

- ↑ sehr gute Codec-Ausstattung
- ↓ schlampig übersetzte Anleitung
- ↓ holperiger Dual-Link-Modus

Preis: 30 Euro



Syntech B100

Die Syntech B100 wirkt kompakt und die Verteilung der Tasten, des Schalters und der Audiobuchse an den Kanten merkt man sich leicht. Für die Beschriftung des Tx-/Rx-Schiebeschalters verwendet der Hersteller Geheimtinte, nämlich (leicht erhabene) weiße Schrift auf weißem Grund. Gut, dass das Gerät den aktuellen Modus auch im grafischen Minidisplays einblendet.

Zum durchdachten Lieferumfang gehört eine Tragetasche mit Karabinerhaken und auch ein Flugzeugadapter. Die Anleitung gefällt ebenso wie der robuste Zettel mit Infografiken und Kurzerklärungen, den man in der Tasche mitführen kann. Die Bedienung profitiert sehr vom Display, das beispielsweise die Namen von Gegenständen einblendet; damit gelingt das Pairing leicht. Die Musikwiedergabe von Smartphones lässt sich fernsteuern.

Im Distanz- und TV-Test verhielt sich die B100 unauffällig. Syntech macht jedoch keine Angaben zu den implementierten Codecs. In der Wireshark-Analyse fanden wir lediglich den Pflicht-Codec SBC. Schade, mit zusätzlichen Codecs wäre die B100 ein Kandidat für den Spitzenplatz.

- ↑ kompaktes Design
- ↑ sichere Bedienung dank Display
- ↓ nur SBC-Codec

Preis: 26 Euro

stand ihres Akkus. Manche Android-Smartphones und Apple-Notebooks blenden den Wert im Bluetooth-Bereich ein, nicht aber iPhones.

Die Kandidaten ohne Battery Service melden den Füllstand nur grob mittels Blinksequenzen, wenn überhaupt. So kommt es leichter vor, dass man den Akku

zu spät auflädt, sodass er schneller verschleißt.

Zwei Kopfhörer gleichzeitig

Die meisten Kandidaten versorgen nicht nur einen, sondern bis zu zwei Bluetooth-Kopfhörer gleichzeitig mit demselben Audiostream (Multilink, oft

auch Dual-Link genannt). So kann man sich zu zweit etwa eine TV-Sendung anschauen. Lediglich das Syntech 100 bedient nur einen einzigen Bluetooth-Kopfhörer beziehungsweise eine andere Senke.

Im Dual-Link-Betrieb sind aber nicht alle Kandidaten sattelfest: Wenn



Ugreen CM872

Ugreen dürfte manchen Nutzern als Hersteller von Smartphone-Peripherie wie Ladegeräten, Adaptern und neuerdings auch NAS-Geräten bekannt sein. Tatsächlich gehört deren Bluetooth-Brücke CM872 zu den Ausnahmen in seinem Lieferprogramm. Die CM872 ist spartanisch ausgestattet: Der Audioport ist als Klinkensteckerchen ausgeführt, für die Tx- oder Rx-Wahl gibt es einen Schieber und schließlich noch einen Resettaster. Das Fernbedienprofil AVRCP fehlt.

Die Anleitung hinterließ einen guten Eindruck, auch die deutschsprachige Übersetzung. Zum Mitführen gibts eine doppelseitige Kurzanleitung auf hartem Karton. Doch auch die CM872 nervt mit 3-sekündlichem Blaugleinkle, das hartnäckig wiederholt „alles ist in Ordnung“. Das möchten ganz bestimmt auch Sitznachbarn im Flugzeug wissen.

Neben dem Pflicht-Codec SBC hat die CM872 auch den guten AAC-Codec bekommen. Beide liefern aber nur Latenzen jenseits von 80 Millisekunden. Gut, wenn der Fernseher eine eigene Synchronisierungsfunktionen für Bild und Ton enthält.

- ↑ gute Anleitung
- ↓ Dauerblinken
- ↓ dürftiger Funktionsumfang

Preis: 17 Euro



Ymoo B06T1

Die B06T1 ist die größte mobile Bluetooth-Brücke in diesem Test. Der Audioport ist als Buchse ausgelegt, die Bedienung läuft hauptsächlich über eine Multifunktionstaste (Pairing, Rufannahme/Auflegen), aber der Hersteller hat auch Steuertasten für die Musikwiedergabe von Smartphones eingebaut. Alle Tastenbelegungen erscheinen plausibel, man kann sie sich ohne Mühe merken.

Schön: Man kann per Doppelklick auf die MF-Taste den Codec aptX LL anfordern. Wenn der Kopfhörer den kennt, kann man die Laufzeit des Audiosignals verkürzen und damit beim Betrieb an einem Fernseher die Abstände zwischen Bild- und Tonwiedergabe bis zur Unmerklichkeit verkürzen.

Die B06T1 versorgt auch zwei Bluetooth-Kopfhörer gleichzeitig, aber es holpert, wenn man einen der beiden ab- oder hinzuschaltet. Im Test meldeten manche Kopfhörer „disconnected, pairing“, obwohl sie schon gepairt waren, bevor sie dann doch automatisch wieder an die B06T1 ankoppelten und das TV-Audiosignal erhielten.

- ↑ leichte Bedienung
- ↑ guter Funktionsumfang
- ↓ Dual-Link-Modus holpert

Preis: 22 Euro



1Mii B03Pro

Von der Firma 1Mii stammt auch die stationäre Audiobrücke B03Pro. Deren Besonderheit ist die große Reichweite: Im Test überbrückte sie in Gebäuden bis zu 30 Meter, im Freien rund 50 Meter.

Wegen der großzügigen Bestückung mit Audioschnittstellen kann man Fernseher und Verstärker gleichzeitig anschließen und zusätzlich das TV-Signal transparent an den Verstärker weitergeben (Passthrough, Bypass). Anstatt einer USB-C-Ladebuchse hat 1Mii nur die veraltete Micro-USB-Buchse eingebaut und die Smartphonefernbedienung per AVRCP eingespart.

In den meisten Prüfungen verhielt sich die B03Pro wie erwartet. Der gleichzeitige Betrieb mit zwei Kopfhörern holperte aber: Wenn man einen der beiden abschaltet, geht der Ton auch beim zweiten aus und es dauert 30 Sekunden und mehr, bis die Brücke den zweiten wieder versorgt. Vorbildlich fanden wir, dass man wahlweise den aptX-LL- oder den aptX-HD-Codec bevorzugen kann (kurze Latenz oder hohe Klangqualität).

- ↑ hohe Reichweite
- ↑ Codec-Gewichtung
- ↓ holperige Dual-Link-Funktion

Preis: 63 Euro

man einen der zwei Bluetooth-Kopfhörer abschaltet, unterbrechen sie den Stream auch für den anderen, der eigentlich empfangsbereit ist. Das ist der Fall beim 1Mii B03Pro und Sonru B101 (getestet in 1 Meter Entfernung mit Sennheiser True Wireless 4 und EarFun Air Pro 4). Der B101 braucht einige Sekunden, bis

er zum Single-Link-Betrieb zurückfindet; dem 1Mii B03Pro gelang das im Test auch nach drei Minuten nicht. Wir können ihn daher für Dual-Link-Verbindungen nicht empfehlen.

Nur zwei Hersteller haben ihrer Audiobrücke ein Display verpasst und das bringt beiden Kandidaten Pluspunkte ein:

Synteck B100 und Pearl auvisio BTR-450. Damit gelingt beispielsweise die Bluetooth-Kopplung (Pairing) so gut wie immer auf Anhieb. Bei Kandidaten ohne Display bleibt unklar, ob sie eine koppelbereite Gegenstelle erkennen und welche sie auswählen, falls mehr als eine Pairing-Bereitschaft meldet.



Pearl auvisio BTR-450

Der Großversender Pearl liefert mit der auvisio BTR-450 ebenfalls eine stationäre Audiobrücke und diese ist wie die B03Pro von 1Mii mit vier Audioanschlüssen bestückt. Mit dem Drehknopf kann man die Lautstärke einstellen und so zum Beispiel Bluetooth-Headsets oder -Soundbars ansteuern. Am Lieferumfang hat Pearl geknauert, beispielsweise fehlt ein Netzteil.

Die Anleitung führt nicht auf, welche Bluetooth-Codex implementiert sind. Im Wireshark-Trace fanden wir nur SBC. Das erklärt auch, weshalb beim TV-Test Bild und Ton deutlich auseinanderfielen; besser gehts mit dem SBC-Codex nun mal nicht. Der Pairing-Modus bleibt aktiv, bis man ein zweites Gerät, etwa einen weiteren Kopfhörer anmeldet. Wenn gekoppelte Geräte ausgeschaltet werden, aktiviert die BTR-450 das Pairing stillschweigend. Beides können Unbefugte missbrauchen, um ihre Geräte ungebeten anzukoppeln und mitzuhören.

Im Distanztest schnitt die BTR-450 deutlich schlechter ab als die 1Mii B03Pro. Allerdings gibt Pearl die maximale Reichweite selbst mit nur 10 Metern an. Die BTR-450 versorgt zwei Kopfhörer einwandfrei gleichzeitig.

- + gute Anleitung
- unübliche Aktivierung des Pairings
- dürftige Reichweite

Preis: 22 Euro

Die meisten Hersteller burden den Benutzern auf, Tastenkombinationen für mehrere Funktionen zu lernen (Pairing, zweites Pairing, Reset, Rufannahme, Auflegen, Akkufüllstand, et cetera). Syntech hat zwar auch mehr als eine Funktion auf jede Taste gelegt, aber die Kombinationen leuchten ein und dem Lieferumfang

Stationäre Bluetooth-Audiobrücken

Hersteller	1Mii	Pearl
Bezeichnung	B03Pro	auvisio BTR-450
Lieferumfang	Netzteil (1 Ampere), Ladekabel Micro USB, Audiokabel: Klinke-3,5-3,5mm (100 cm), 3,5-mm-Klinke-RCA (80 cm), Toslink (100 cm)	Ladekabel USB-C, Audiokabel: Klinke-3,5-RCA (100 cm), 3,5-mm-Klinke, Toslink (100 cm)
Anschlüsse	3,5-mm-Buchse In, 3,5-mm-Buchse Out, Toslink In, Toslink Out	3,5-mm-Buchse In, 3,5-mm-Buchse Out, Toslink In, Toslink Out
Bluetooth-Version	5.3	5.0
Bedienelemente	Ein/Aus, Schiebeschalter Tx/Bypass/Rx, Schiebeschalter LL/HD, Bluetooth-Kopplung, Lautstärke	Ein/Aus, Tx/Bypass/Rx, Bluetooth-Kopplung, Suchen/Verbinden
Smartphonefernbedienung	Vor, Zurück, Lautstärke	Play/Pause, Lautstärke
Bluetooth-Profil	A2DP (Source, Sink)	A2DP (Source, Sink)
Tx-Modus: mehrere Empfänger	2 ¹	2
Distanztest 1, 5, 15, 30 Meter	✓/✓/✓/✓	✓/✓/✓ ¹ /-
TV-Test: Codec / Lippensynchronität	aptX / ⊖	SBC / ⊖
per Wireshark identifizierte Codex / bevorzugte Codex	AAC, SBC, aptX, aptX-HD, aptX-Low Latency / aptX-L, aptX-HD	SBC / -
Bewertung		
Bedienung	⊕⊕	⊕
Funktionsumfang	⊕	○
Verstärkeransteuerung	⊕⊕	⊖
Kopfhöreransteuerung	⊕	⊕⊕
Preis	63 €	22 €

¹ siehe Text ✓ bestanden – nicht bestanden ⊕⊕ sehr gut ⊕ gut ○ befriedigend ⊖ ausreichend ⊖⊖ schlecht

liegt eine stabile Kurzanleitung bei, auf der alle wichtigen Funktionen verständlich und zum Mitnehmen beschrieben sind.

Nur die Tischgeräte sind mit gleich vier Audioports bestückt: je ein Eingang und Ausgang in Analogbauweise (3,5 mm TRS) und noch mal als digital-optische Toslink-Ports. So kann man an die Tischgeräte Fernseher und Verstärker gleichzeitig anschließen. Zusätzlich können beide den am Eingang anliegenden Fernsehton transparent zum Ausgang und damit zum Verstärker durchgeben. Das erspart das Umstöpseln, wenn man TV-Signale von der Hi-Fi-Anlage wiedergeben lassen will (Passthrough oder auch Bypass genannt, weil der Digitalisierer umgangen wird).

Bluetooth wurde als genügsame Technik ausgelegt und die meisten Geräte arbeiten daher mit geringen Sendeleistungen. So sind Reichweiten von ungefähr 10 Metern üblich. Im Test mussten die Prüflinge Musikstreams von einem iOS- und einem Android-Smartphone auf 1, 5 und 15 Metern Distanz empfangen. Der Test galt als bestanden, wenn die Wiedergabe für mindestens drei Minuten ohne Aussetzer lief. Die ersten beiden Messpunkte liegen auf derselben Etage. Der 5-Meter-Punkt war durch zwei Leichtbauwände vom Sender getrennt, was gängige Alltagssituationen widerspiegelt.

Beim Ausloten der Grenzen fanden wir, dass die Brücken größere Strecken

überwinden als angegeben. Daher haben wir als Kür noch einen 15-Meter-Messpunkt hinzugenommen. Dabei standen die Audiobrücke und der Musiksender auf verschiedenen Etagen und zueinander versetzt. Das Signal musste dabei mehrere Leichtbauwände und eine Betondecke schräg von oben nach unten durchqueren. Die meisten Bluetooth-Brücken haben alle drei Distanztests bestanden. Cweopo C83Pro, Pearl auvisio BTR-450 und Sonru J52 scheiterten auf der 15-Meter-Distanz jeweils knapp.

Tischgeräte müssen mit dem Strom nicht so sehr haushalten und können daher im Rahmen des Zulässigen mehr Leistung für größere Reichweiten aufwenden. Das tut das 1Mii B03Pro überzeugend: Im Test reichte sein Signal innerhalb von Gebäuden je nach Funkdurchlässigkeit der Wände 20 bis 30 Meter weit, im Freien 40 bis 50 Meter.

TV-Nachrüstung

Vom TV-Medium ist man gewohnt, dass Bild und Ton gleichzeitig (synchron) wiedergegeben werden; dafür sind beide im TV-Signal zeitlich miteinander verschränkt. Asynchronitäten bis 80 Millisekunden, also knapp unter einer Zehntelsekunde, fallen kaum auf und gelten als akzeptabel. Laufen Bild- und Tonwiedergabe noch weiter auseinander, irritiert das, weil beispielsweise Sprecher die Lippen deutlich früher bewegen als ihre Stimme erklingt. Bei Bluetooth geht die

Mobile Bluetooth-Audiobrücken

Hersteller	1Mii	1Mii	Cweopo	Sonru
Bezeichnung	ML300	ML301	C83Pro	J52
Lieferumfang	Ladekabel USB-C, Klinke-zu-Klinke (50 cm), Klinke-Cinch	Ladekabel USB-C, Klinke-zu-Klinke (50 cm), Klinke-Cinch	Ladekabel USB-C, Flugzeugadapter (Doppelklinke-zu-Buchse)	Ladekabel USB-C, Flugzeugadapter (Doppelklinke-zu-Buchse), Klinkenbuchse-Cinch, Klinkenkupplung
Anschlüsse/Mikro	Klinkenbuchse / ✓	Klinkenbuchse / ✓	Klinke / ✓	Klinke / ✓
Bluetooth-Version	5.3	5.3	5.4	5.3
Bluetooth-Profil	A2DP (Source, Sink), HandsFree	A2DP (Source, Sink), HandsFree	A2DP (Source, Sink), AVRCP, HandsFree	A2DP (Source, Sink), AVRCP, HandsFree, Battery Service
Empfänger/Sender	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
Tx: Kopfhöreranzahl	2	2	2	2
Bedienelemente	Schiebeschalter (Ein/Aus, Tx, Rx), Multifunktions Taste (Pairing, Codec-Anzeige, Rufannahme/Auflegen, Reset)	Schiebeschalter (Ein/Aus, Tx, Rx), Multifunktions Taste (Pairing, Codec-Anzeige, Rufannahme/Auflegen, Reset)	Tx/Rx, Multifunktions Taste (Ein/Aus, Pairing, Rufannahme/Auflegen)	Tx/Rx, Reset, Multifunktions Taste (Ein/Aus, Pairing, Rufannahme/Auflegen)
Smartphonefernbedienung	–	–	Play/Pause, Vor, Zurück, Lautstärke	Play/Pause, Vor, Zurück, Lautstärke
Distanztest 1, 5, 15 Meter	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / –	✓ / ✓ / –
TV-Test: Codec/Bild-Ton-Synchronität	aptX/○	aptX/⊕	SBC/⊖	SBC/⊖
per Wireshark identifizierte Codecs/ bevorzugte Codecs	AAC, SBC, aptX, aptX-HD, aptX-adaptive/SBC ¹	AAC, SBC, aptX, aptX-HD, aptX-adaptive/SBC ¹	SBC/–	SBC/–
Akku				
ersetzbar / Ladeanzeige	– / ✓	– / ✓	– / ✓	– / ✓
Funkbetrieb während des Ladens	✓	✓	✓	✓
max. Laufzeit (Herstellerangabe) Rx/Tx	9/14 Stunden	9/12 Stunden	15/10 Stunden	10,5/13,5
Füllstandanzeige: LED / Bluetooth	✓ / –	✓ / –	✓ / –	✓ / ✓
Bewertung				
Bedienung	⊕	○	⊖	⊖
Funktionsumfang	○	○	⊕	⊕
Verstärkersteuerung	⊕	⊕	○	○
BT-Kopfhörersteuerung	○	⊕	○	○
Preis	23 €	30 €	17 €	23 €
¹ siehe Text ✓ vorhanden – nicht vorhanden ⊕⊕ sehr gut ⊕ gut ○ befriedigend ⊖ ausreichend ⊖⊖ ungenügend				

Synchronität der beiden TV-Signale flöten, weil die Audiokodierung und -kompression zu einem digitalen Stream, dann noch die Funkübertragung, die Wartezeit im Empfangspuffer und die anschließende Dekodierung im Bluetooth-Kopfhörer die Signallaufzeit (Latenz) in jedem Fall verlängern.

Die Asynchronität kann man auf verschiedene Art bekämpfen. Bei manchen Fernsehern kann man Bild und Ton per Hand eintakten. Dafür trägt man in den Einstellungen die Audiolatenz ein und der Fernseher verzögert seine Bildausgabe entsprechend. Die TV-Hersteller verwenden verschiedene Bezeichnungen, etwa „A/V-Sync-Einstellung“ (Sony) oder „Audioverzögerung“ (Samsung).

Bei Samsung etwa kann man bis zu 300 Millisekunden Latenz eintragen, was für die allermeisten Zwecke genügt. Welche Latenz die Synchronität wieder herstellt, findet man entweder durch Ausprobieren heraus oder man schlägt nach, welche Latenz eine Audiobrücke hinzufügt – dazu gleich mehr.

Codecs und Latenzen

Falls sich Bild und Ton nicht manuell synchronisieren lassen, ist man den Herstel-

lern der Brücken und Bluetooth-Kopfhörer ausgeliefert, denn nur manche wandeln in unter 80 Millisekunden; dann sind Bild und Ton nahe genug beieinander.

Die Dauer der Signalverarbeitung hängt vom Bluetooth-Audio-Codec ab (Kodierer/Dekodierer). Die Bluetooth-Spezifikation schreibt den energieeffizienten low-complexity Subband Codec (SBC) vor, doch der braucht 170 bis 270 Millisekunden und er liefert nur mittelmäßigen Klang.

Es gibt viele optionale Codecs, manche spezifisch für kurze Latenzen, andere für hohe Klanggüte. Die Faustregel bei Bluetooth-Codecs lautet: Je höhere Bitraten ein Codec erzeugt, desto besser der Klang und desto größer die Latenz – und umgekehrt. Wenn Bluetooth-Geräte mehr als einen Codec enthalten, wählen sie während des Pairings automatisch einen aus, den beide Seiten beherrschen und der sich für das Szenario eignet. Bei einigen Bluetooth-Brücken kann man bestimmte Codecs höher gewichten als andere. In der Tabelle finden Sie diesen Punkt unter „Bevorzugte Codecs“. Der wird dann benutzt, wenn beide Bluetooth-Gegenstellen ihn beherrschen und die Güte des Funkkanals ausreicht.

Wenn Ihre Brücke zwischen TV und Bluetooth-Kopfhörer vermitteln soll, dann lautet die kurze Empfehlung: Achten Sie beim Kauf darauf, dass Brücke und Kopfhörer denselben schnellen Codec enthalten. Zu den schnellen gehören aptX Low Latency, aptX Adaptive und neuerdings der Low Complexity Communications Codec (LC3, siehe Tabelle „Gängige Bluetooth-Codecs“).

Apples AirPods eignen sich nur eingeschränkt für Anwendungen, die kurze Latenzen erfordern, denn der Hersteller hat nur SBC und den hochbitratigen AAC implementiert. AAC gibt Musik vom Smartphone oder Notebook zwar in hoher Qualität weiter, doch dessen Verarbeitung dauert 90 bis 150 Millisekunden, weshalb AirPods den Ton etwas später wiedergeben als der Fernseher das Bild.

Codecs und Klangqualität

Wenn Sie Musik vom Smartphone oder Notebook in hoher Güte auf Ihrer Hi-Fi-Anlage wiedergeben möchten, gilt die Empfehlung: Meiden Sie schnelle Codecs, denn deren Musikkompression liefert tendenziell niedrigere Klangqualität. Es gibt zwar Ausnahmen, die ordent-

Sonru	Syntech	Ugreen	Ymoo
B101	B100	CM872	B06T1
Ladekabel USB-C, Flugzeugadapter (Doppelklinke-zu-Buchse), Klinkebuchse-Cinch, Klinkekupplung, Schlaufe	Ladekabel USB-C, Klinke-zu-Klinke (7,5 cm), Flugzeugadapter (Doppelklinke-zu-Buchse), Tragetasche, Karabinerhaken	Ladekabel USB-C	Ladekabel USB-C, Klinke-zu-Klinke (50 cm), Flugzeugadapter (Doppelklinke-zu-Buchse)
Klinke / ✓	Klinkebuchse / ✓	Klinke / ✓	Klinkebuchse / ✓
5.3	5.3	5.4	5.3
A2DP (Source, Sink), AVRCP, HandsFree, Battery Service	A2DP (Source, Sink), AVRCP, HandsFree, Battery Service	A2DP (Source, Sink), AVRCP, HandsFree, Battery Service	A2DP (Source, Sink), AVRCP, HandsFree
✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓	✓ / ✓
2	1	2	2
Aus/Tx/Rx, Pairing/Rufannahme/Auflegen/Reset	Ein/Aus, Pairing/Rufannahme/Auflegen, Tx/Rx	Tx/Rx, Multifunktionsstaste (Ein/Aus, Pairing, Rufannahme/Auflegen), Reset	Tx/Rx, Multifunktionsstaste (Pairing, Rufannahme/Auflegen), Laut/Leise
Play/Pause, Vor, Zurück, Lautstärke	Play/Pause, Vor, Zurück, Lautstärke	Play/Pause	Play/Pause, Vor, Zurück, Lautstärke
✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓
aptX adaptive/⊕	SBC/⊖	SBC/⊖	aptX/⊕
AAC, aptX, aptX LL, aptX HD, aptX adaptive, SBC/beliebig ¹	SBC/–	AAC, SBC/–	aptX, aptX LL, aptX HD, aptX adaptive, SBC/aptX LL ¹
– / ✓	– / ✓	– / ✓	– / ✓
✓	✓	✓	✓
22/18 Stunden	11/14 Stunden	18/16	19/22
– / ✓	✓ / ✓	– / –	– / –
⊕	⊕⊕	○	⊕
⊕⊕	⊕	○	⊕⊕
⊕⊕	○	⊕	⊕⊕
⊕⊕	○	○	⊕
30 €	26 €	17 €	22 €

lichen Klang bei kurzen Laufzeiten liefern, doch die sind bisher rar (etwa LC3). AAC und aptX HD gehören zu den verbreiteten Codecs mit besserer Klangqualität.

Überträgt man beide Empfehlungen (TV-Betrieb, Hi-Fi-Betrieb) auf die Wahl der Bluetooth-Brücke, bedeutet das: Je mehr Codecs sie enthält, desto besser. Denn damit nimmt die Wahrscheinlichkeit zu, dass sie beim TV-Betrieb mit dem Bluetooth-Kopfhörer einen schnellen Codec aushandelt und bei der Vermittlung zwischen Hi-Fi-Verstärker und Smartphone oder Notebook einen Codec mit hoher Klanggüte benutzt.

Manche Hersteller verschweigen, welche Codecs sie implementiert haben, sodass sie die Wahl erschweren. Wir haben daher den Pairing-Vorgang aufgezeichnet und mit Wireshark analysiert, welche Codecs die Audiobrücken beim Pairing melden.

Fazit

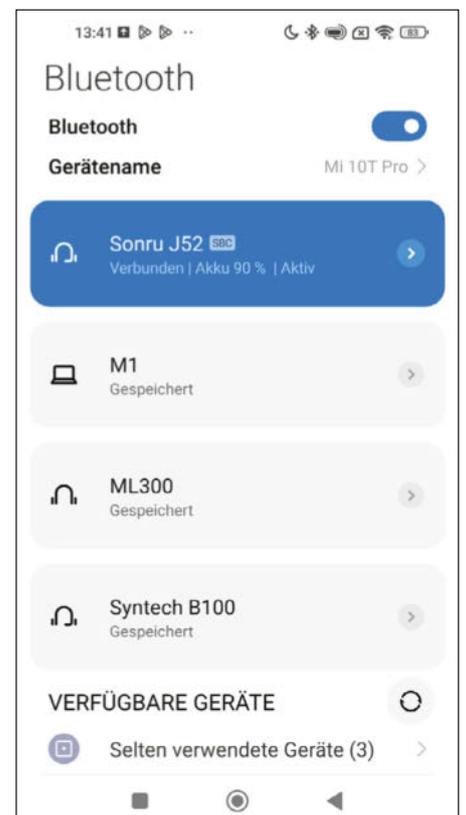
Alle Kandidaten, ob mobil oder stationär, erfüllen die Mindestanforderung: Sie binden analoge Geräte an die digitale Welt an. Bei den stationären Brücken setzt sich die 1Mii B03Pro klar an die Spitze und eig-

net sich besonders als Vermittler zwischen analogen Hi-Fi-Anlagen und Smartphones oder Notebooks. Auch eignet sie sich gut für die Audiowiedergabe vom TV zu einem Bluetooth-Kopfhörer, für den Dual-Link-Modus jedoch nur eingeschränkt. Das macht die auvisio BTR-450 hingegen einwandfrei.

Für beide Hauptanwendungen eignen sich auch die acht mobilen Brücken, doch Cweopo C83Pro, Sonru J52 und Ugreen CM872 hinterließen einen schwachen Eindruck. Besser schneiden ML300 und ML301 von 1Mii ab, hauptsächlich, weil sie mehr Codecs mitbringen, was höhere Chancen auf guten Klang bringt.

Wenn man keinen besonderen Wert auf die Codec-Güte legt, erfüllt das Syntech B100 die meisten Anforderungen, obwohl der Hersteller nur den Pflicht-Codec implementiert hat. Falls Sie eine Bluetooth-Brücke als Adapter im Flugzeug brauchen, dann macht die B100 die beste Figur. Wenn es auf die beste Codec-Ausstattung für gute Klangqualität und kurze Latenzen beim TV-Betrieb ankommt, sollten Sie Sonru B101 und Ymoo B06T1 in die engere Wahl ziehen. (dz@ct.de) **ct**

Infos über Bluetooth-Audio: ct.de/yfqh



Manche Audiobrücken melden so wie die Sonru J52 den Akkustand an das Smartphone oder Laptop, was genauer ist als Blinksequenzen von LEDs.

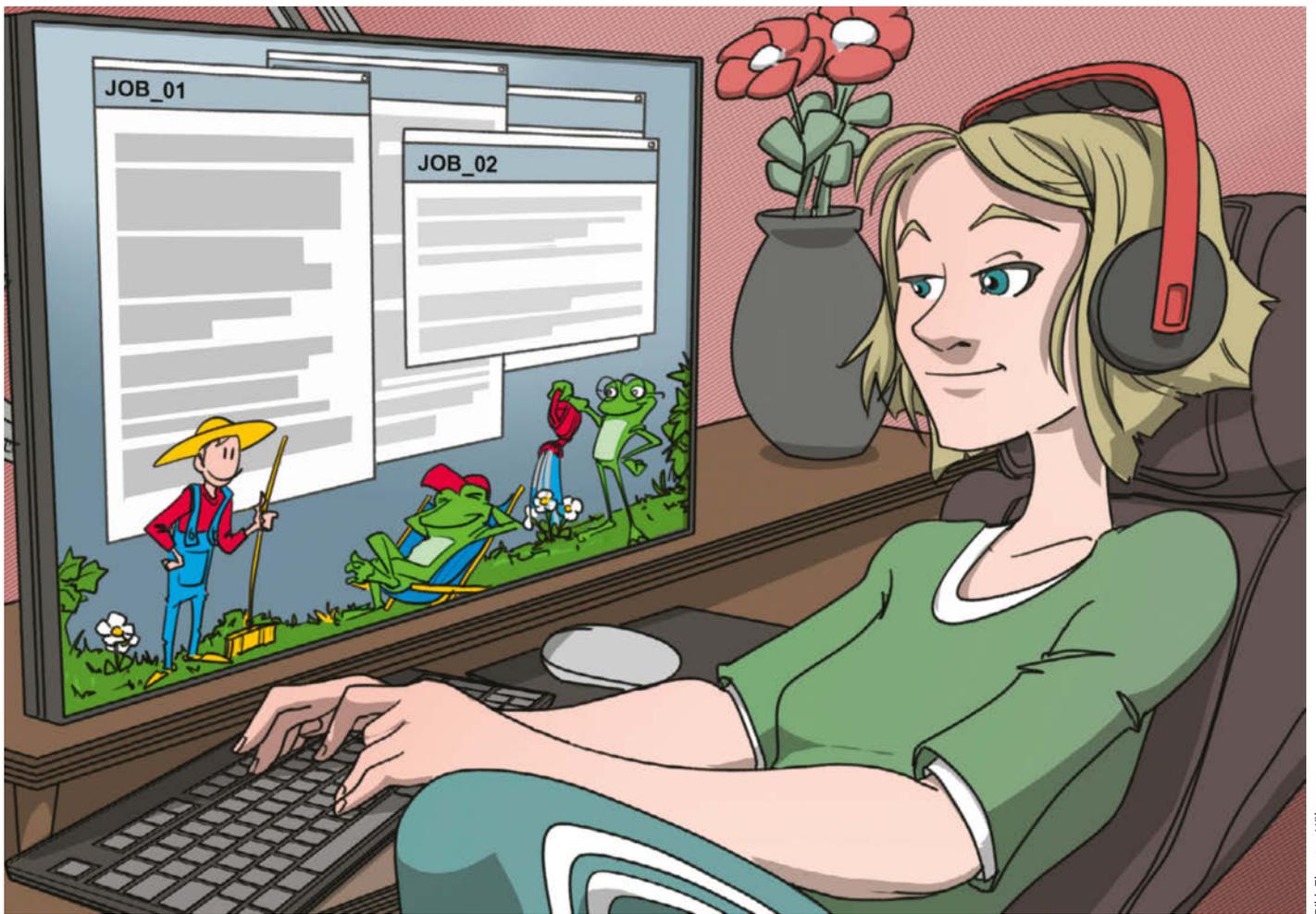


Bild: Thorsten Hübner

Spielend nichts tun

Idle Games leisten Gesellschaft bei der Bildschirmarbeit

Zwischen Spiel und Bildschirm-schoner hat sich eine neue Nische aufgetan. Hier leben minimalistische Softwaretitel, die ein bisschen Leben auf den Desktop bringen.

Von Jan Bojaryn

Fische auf den Bildschirm zu bringen, ist einleuchtend. Schon immer ist die Simulation eines Aquariums ein naheliegendes Thema für einen Bildschirmschoner. Bei der Gehäuseform eines Röhrenmonitors drängte sich die Idee geradezu auf. Angesichts moderner Flachbildschir-

me wird heute allerdings auch kein Kind mehr glauben, dass da lebende Fische drin schwimmen. Trotzdem hat das virtuelle Aquarium etwas Beruhigendes.

Eine Weiterentwicklung der Idee wird erfolgreich auf Steam angeboten: **Chillquarium** kostet eine Handvoll Euro und ist eher ein Augen- als ein Bildschirmschoner, es ist ein sogenanntes Idle Game. Dabei lässt sich darüber streiten, inwiefern Chillquarium überhaupt ein Game ist. Wie bei „Idle Games“ üblich, ist man überwiegend untätig (engl. idle).

Auch Chillquarium bietet wenig Interaktion, keine Herausforderung, kein festes Ziel. Das Spielfenster ist ein stilisiertes Aquarium. Vom virtuellen Startbudget kauft man ein paar zufällig ausgeloste Fische, als wären die Tiere Sammelkarten. Sind sie ausgewachsen, verdienen sie ein

virtuelles Einkommen. Dafür kann man neue Fische kaufen, irgendwann auch Deko und mehr Aquarien. Langsam eskalieren die Erträge, bis schließlich sogar Mantarochen durchs Salzwasserbecken gleiten.

Langsam, aber unaufhaltsam wächst die Fortschrittskurve in einer Form, die jedem Spielefan bekannt vorkommen dürfte. Videospiele leben von der Eskalation, dem Hochleveln und Anhäufen virtueller Reichtümer. Was Spielende normalerweise nicht lieben, ist Tatenlosigkeit. Trotzdem hat sich die Nische der „Idle Games“ in den letzten Jahren mit etlichen Hits etabliert.

Klicken statt Faulsein

Viele Vorfahren der Idle Games waren als Witz oder Parodie gedacht. Schon 1998

machte sich das weitgehend interaktionsfreie **Progress Quest** über den Grind und die erschöpfenden Dauerschleifen des Fortschritts in Rollenspielen lustig. Immer noch beliebt sind „Clicker Games“, die ihre wichtigste Interaktion schon im Titel tragen: klicken. Bis heute ein Hit im Genre ist Clicker Heroes, in dem ein immer stärkeres, immer größeres Heldenteam weitgehend automatisch gegen immer stärkere Gegner kämpft. Neuere Clicker Games sehen eher aus wie Idle Miner Tycoon, in dem eine Mine immer tiefer in den Boden getrieben wird. Beide Spiele sammeln ihre Ressourcen selbstständig ein, beim Spielen bleibt nur eins zu tun: auf Schaltflächen zu klicken, um von den Erträgen Upgrades zu kaufen.

Wie in Chillquarium gibt es in Clicker Games weder eine Herausforderung noch die Möglichkeit zu scheitern. Doch spannend sind viele Clicker Games nicht: Wer heute versucht, Idle Miner Tycoon zu spielen, wird von allen Ecken des Bildschirms belagert von Wikingern, Forscherinnen und Forschern, behelmten Bibern und funkelnden Geschenkverpackungen. Auch ohne die aggressive Werbung wirkt das Free-to-Play-Spiel wie ein anhaltender Angriff auf die Aufmerksamkeit. Schon der Klick aufs erste Update öffnet einen Strudel der Updatemöglichkeiten. Das kann sich anfühlen, als gehe man einem Psychologieexperiment auf den Leim. Macht das etwa Spaß?

Psychologe Benjamin Strobel diskutiert gemeinsam mit anderen Fachleuten Themen rund um Games, unter anderem im Podcast „Behind the Screens“. Er kann erklären, was Menschen an der Idee des

eskalierenden Wachstums in Spielen fesselt. Es gehe um das Bedürfnis nach Selbstwirksamkeit und den Wunsch, sich selbst als kompetent zu erleben, etwas ausrichten zu können. „Wachstum und immer größere Zahlen geben uns in Games das Feedback, dass wir etwas richtig machen“, so Strobel im Gespräch mit c't. Schon eine minimale Interaktion genüge, um uns zum gefühlten Urheber unseres Erfolgs zu machen. „Weil wir dieses Gefühl lieben, wollen wir möglichst viel davon – und spielen gerne weiter.“

Strobel beobachtet im Free-to-Play-Segment einen aggressiven Zuwachs manipulativer Tricks und Mechanismen, die „darauf abzielen, uns im Spiel festzuhalten“. Als „Dark Patterns“ sind diese Mechanismen Gegenstand aktueller Regulierungsdebatten. Strobel teilt die Kritik. Er sieht „Verschuldung und psychische Erkrankungen wie zum Beispiel Sucht“ als mögliche Gefahren für eine Reihe von Menschen, nicht zuletzt Kinder und Jugendliche. Spiele mit Dark Patterns lassen laut Strobel nicht nur den Respekt vor unserer Zeit vermissen – sie haben auch „keinen Respekt vor unserer Gesundheit.“ Solche Aufmerksamkeitsstrudel werden auch innerhalb der Gamesbranche kritisch diskutiert.

Bachgeplätscher auf dem Desktop

Bei den Mechanismen gibt es Parallelen zwischen solchen Klickspielen und Idle Games an der Grenze zum Bildschirm-schoner. Doch sie fühlen sich völlig verschieden an. Die einen wirken aufdringlich, die anderen entspannend. Den Unter-

c't kompakt

- Idle Games sind der entspannte Gegenentwurf zu hektischen Klickspielen.
- Die passiven Spiele bieten wenig Interaktionsmöglichkeiten und laufen meist von allein.
- Wir stellen eine Reihe von Idle Games vor, die im drögen Büroalltag Gesellschaft leisten.

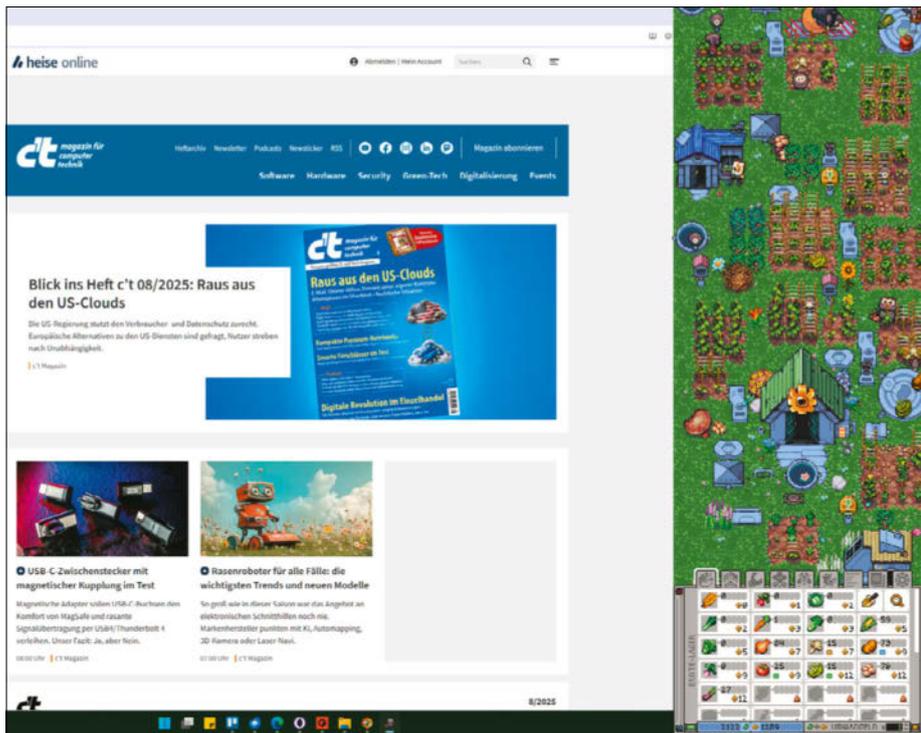
schied kann Ben Reber, Entwickler von **Chillquarium** erklären. Clicker Games würden gelegentlich incremental statt idle genannt, differenziert er im Interview. Es könne kaum als idle durchgehen, wenn der Fortschritt in Clicker-Spielen maßgeblich angeschoben werden muss und sonst im Schnecken-tempo kriecht. Wenn ein paar Minuten Interaktion alle Fortschritte im Idle-Modus zur Bedeutungslosigkeit schrumpfen lassen, wozu gibt es dann einen Idle-Modus?

Die Geschwindigkeit des Fortschritts ist für den Solo-Entwickler ein Schlüsselement beim Design. Ihm war wichtig, dem exponentiellen Wachstum in seinem Spiel harte Grenzen zu setzen. In Chillquarium muss man oft warten, bis der nächste Schritt kommt: „Deine Fische müssen erst aufwachsen, bevor du mit ihnen Geld verdienen kannst“, so Reber. Je nach Fisch kann das ein paar Stunden dauern – oder mehrere Tage. Daher gibt es oft stundenlang keinen Grund, überhaupt mit dem Spiel zu interagieren. Teile des Publikums verstanden das auf Anhieb; einige reagierten aber auch irritiert, vor allem auf Spielmechaniken wie das Füttern per Mausclick. Zwar werden die Jungfische schneller erwachsen, wenn sie das Futter fressen, doch das Wachstum wird damit eher angeschubst, als um Größenordnungen beschleunigt. Beim Spielen kann sich das fast wie eine Parodie auf überaktive Klickspiele anfühlen. Chillquarium bleibt langsam.

Genauso hat Reber das beabsichtigt. Er stellt sich vor, dass sein Publikum jeden Morgen mit dem Kaffee am Aquarium nach dem Rechten sieht und es dann liegen lässt. Die sehr einfache Bewegung der Fische, dazu sanfte Gitarrenmusik und leises Blubbern sollen einfach einen angenehmen Raum schaffen, in dem man gern Zeit verbringt. In dieser Art der Inter-



Blubbert im Hintergrund und lenkt nicht groß ab: das digitale Wasserbecken mit Fischen von Chillquarium.



Ackerbau am Bildschirmrand: Roboter Rusty arbeitet gemächlich vor sich hin.

aktion sieht Reber einen Trend, zu dem er mit seinem Spiel passe: „Passives Spiel ist besonders beliebt, weil viele Leute inzwischen vor zwei oder drei Monitoren sitzen.“ Da sei es nett, an einer Sache zu arbeiten und den Augen nebenbei einen entspannenden Ausblick zu geben.

Dass Reber tatsächlich einen Trend angestoßen hat, bestätigt die Spieleplattform Steam. Sie hat im Februar ein Idler Fest veranstaltet und dabei unter anderem Ben Rebers Spiel populär platziert.

Neue Faulheiten

Chillquarium ist ein gutes Beispiel, aber nur eines unter vielen. Eine ganze Welle neuer Spiele setzt ähnliche Akzente. Reber selbst arbeitet an einem weiteren Titel ähnlicher Bauart: In **Wing Haven** soll man Vögel kaufen, sammeln und beobachten.

Viele andere gelungene Idle Games sind jetzt schon erhältlich und haben neue Ideen. Erfolgreich und besonders schön ist das vor einem Jahr erschienene **Rusty's Retirement**. Das interaktionsarme Spiel

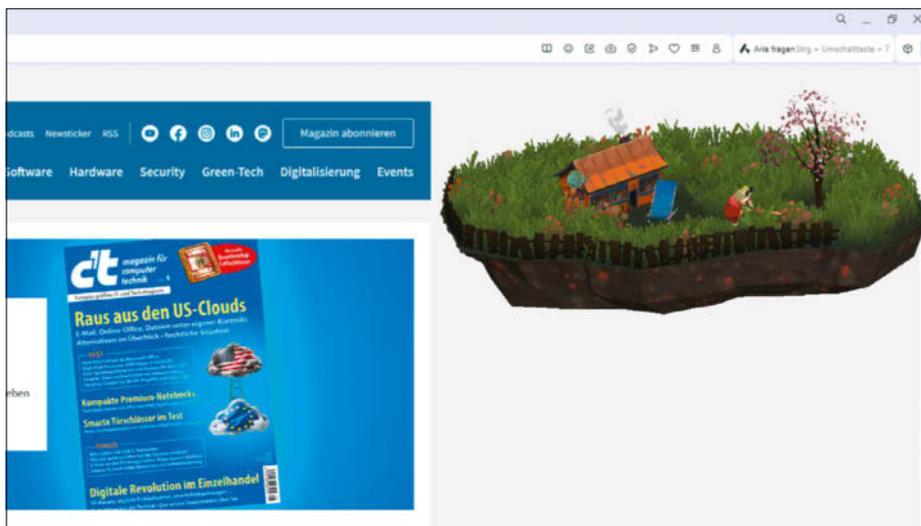
dreht sich um eine wirklich kleine Farm, die nur einen schmalen Streifen auf dem Bildschirm belegt – einen Windows-Rechner vorausgesetzt, der solche Transparenzeffekte unterstützt. Horizontal über der Taskleiste oder vertikal am rechten Bildschirmrand sitzt der kleine Hof des behäbigen Roboters Rusty. In niedlich detaillierter Pixelartoptik verwandelt er die Früchte des Ackers in Geld und Biotreibstoff.

Was optisch stark an Ackerbauklassiker von Harvest Moon bis Stardew Valley erinnert, bleibt spielerisch sehr entspannt. Zuerst werden Ackerflächen platziert, dann Samen angepflanzt. Den kompletten Rest übernehmen Rusty und zugekaufte Helferbots. Gemütlich wackeln sie über ihren Bildschirmstreifen, ernten Kartoffeln und Tomaten, und häufen dabei langsam, aber sicher Ressourcen an.

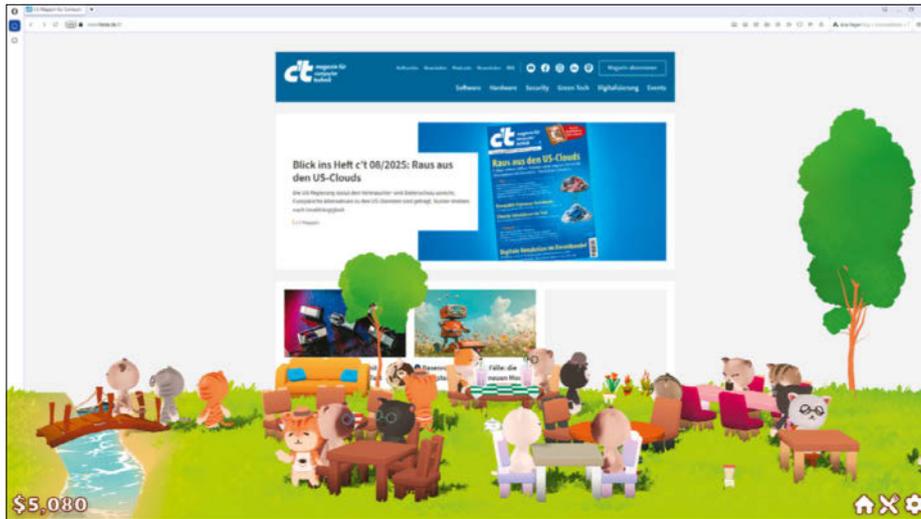
Im Laufe der Zeit wird das Spiel etwas komplexer: Die Farm wächst, bald geht es auch um mögliche Dekorationen, Upgrades, Fossilien und Folgefarmen. Doch das Tempo bleibt auch hier bewusst langsam: Die Roboter auf Rustys Farm haben es nie so eilig, dass sie nicht auf halbem Weg stehen bleiben und miteinander quatschen könnten. Mit einem Fokusmodus lässt sich die Geschwindigkeit noch einmal bremsen.

Rusty's Retirement lässt sich als schmaler Streifen horizontal über die Taskleiste oder vertikal an einem Rand des Bildschirms platzieren – je nachdem, wo gerade Platz ist. Ob der Titel zum Arbeiten inspiriert oder ablenkt, ist eine Frage der Neigung. Wer in Spielen gern zielstrebig vorgeht und alles unter Kontrolle haben will, der könnte das pausenlose Gewusel am Bildschirmrand zu verlockend finden. Eine willkommene Abwechslung ist das Spiel eher für Menschen, die sich gelegentlich vor der Einsamkeit im Homeoffice gruseln. Rusty bleibt betriebsam, wird aber nie hektisch. Das kann bei der Büroarbeit durchaus als sanfte Anstiftung zum Arbeiten funktionieren.

Weniger Gewusel bietet **Ropuka's Idle Island**. Ein Frosch in den besten Jahren ist der unscheinbare Held des neuen Titels. Das ganze Spiel besteht nur aus einer kleinen, schwebenden Insel, die frei auf dem Bildschirm platziert werden kann. Im üppigen Gras stehen Ropukas Hütte und sein Liegestuhl. Hier döst der Frosch, dann steht er auf und schneidet etwas Gras. Dann döst er wieder. Sonst macht er nichts.



Die auf dem Desktop schwebende Insel von Ropuka's Idle Island bietet einen grünen Ruhepunkt fürs Auge.



Die Katzen in Desktop Cat Café kommen ganz gut allein zurecht.

Auch in diesem Spiel gibt es Upgrades, doch die sind noch dezenter als bei anderen Idlern. Erstens hat der Frosch ein paar Eigenschaften, die sich mit gewonnener Schneideerfahrung verbessern lassen. Zweitens kann man alle Elemente der Insel umdekoriern. Jedes Objekt ist in verschiedenen Varianten verfügbar, sodass statt des alten Baums auch ein Stumpf im Garten stehen kann oder ein alter Fernseher.

Ropuka hat eine ansteckende Aura der Gelassenheit. Wer bei der Arbeit mit den Augen nach einer Ablenkung sucht, entdeckt auf dem Bildschirm die schwebende 3D-Insel mit Frosch. Ropuka's Idle Island fühlt sich wie ein kleiner Trost für Bildschirmarbeiter an, die jetzt lieber mit dem Notebook im Garten sitzen würden als im Büro vor dem Multi-monitor-Setup. Das vielleicht aufdringlichste Spielelement sind träge Lofi-Beats, zwischen denen hin und hergeschaltet werden kann. Nicht nur darin erinnert die Insel an die virtuellen Büronachbarn des Spiels „Kind Words (lo fi chill beats to write to)“.

Schwebende Elemente und Streifen am Bildrand sind bei Idle Games inzwischen sehr beliebt. Seit dem Steam-Festival in diesem Frühjahr ist noch einmal eine Welle frischer Titel erschienen. Titel wie **Desktop Cat Café** deuten an, wohin die Reise geht: Für jede Vorliebe gibt es Cute Content und Eye Candy, um monotone Bildschirmflächen zu begrünen.

Auch im Desktop Cat Café gibt es meistens nichts zu tun. Mit einem kleinen Budget wird ein schlichtes Café von und für Katzen auf der grünen Wiese eingerichtet. Rein theoretisch lassen sich die

Bestellungen auch per Mausclick bedienen, doch das wird sehr schnell langweilig. Die Katzen mit den großen Köpfen kommen allein zurecht.

Optionale Begrünung

Idle Games sind Geschmackssache. Wer sich schon über die aufdringliche Bedienoberfläche eines Editors aufregt oder sich nur vor monochromen Bildschirmhintergründen ohne Icons konzentrieren kann, macht um derlei Titel wahrscheinlich besser einen Bogen. Doch die Spiele wollen gar nicht mehr sein als digitale Zimmerpflanzen. Ein bisschen Grün tut manchmal

Exquisite Leere

Witzig oder bedeutungsschwer? Spiele mit wenig oder gar keiner Interaktion funktionieren auch als Kunstprojekt, Kommentar oder Gag sehr gut. Drei Beispiele:

Mit **Mountain** (2014) hat der Künstler David O'Reilly einen digitalen Berg gebaut. Er verändert sich, es gibt auch Hintergedanken, doch vor allem ist dieses Spiel eine Konfrontation mit einem schwebenden Berg, der vor sich „hinbergt“.

The Longing (2020) fragt nach dem Sinn des Wartens. Inspiriert von anderen Idle Games und der Legende von König Barbarossa lässt Entwickler Anselm Pyta einen kleinen Gnom volle 400 Tage auf die Ankunft eines schlafenden Königs warten.

Im **Placid Plastic Duck Simulator** (2022) chillen Gummienten im Pool. Sie lassen sich treiben und reagieren auf Klicks mit „Quak!"; in regelmäßigen Abständen kommt eine neue hinzu. Im Multiplayer kann man gemeinsam mit anderen im Pool quaken.

gut. Die virtuellen Szenen können zwischendurch auflockern und den Tunnelblick bei langen Arbeitsstrecken bekämpfen. (lmd@ct.de) **ct**

Übersicht Idle Games

Name	Chillquarium	Rusty's Retirement	Ropuka's Idle Island	Desktop Cat Café	Mountain	The Longing	Placid Plastic Duck Simulator
Game-Studio, URL	Ben Reber, store.steampowered.com/app/2276930/Chillquarium/	Mister Morris Games, mistermorris.games	Moczan, store.steampowered.com/app/3416070/Ropukas_Idle_Island/	samyam, lockyaw, desktopcatcafe.com	David O'Reilly, davidoreilly.itch.io/mountain	Studio Seufz, 399d-23h-59m-59s.com	turbolentogames, turbolentogames.com/placid-plastic-duck
Plattform	macOS, Windows	macOS, Windows	Windows	Windows	Windows, Mac, Linux	Linux, macOS, Windows, Steam Deck	Linux, Windows, Steam Deck
Transparenzeffekte (nur Windows)	nein	ja	ja	ja	nein	nein	nein
Platzbedarf	hoch (am besten als Vollbild auf Zweitmonitor)	mittel (Streifen am Bildschirmrand)	gering (schwebendes Fenster, Größe veränderbar)	mittel (Streifen am Bildschirmrand)	gering (Fenster, Größe veränderbar)	mittel (Fenster mit Retrografik, Point-and-Click-Interaktion)	gering (Fenster, Größe veränderbar)
Ablenkung	mäßig (ständige Bewegung, wenig Abwechslung)	hoch (säen, regelmäßig neue Updates, verschiedene Charaktere immer aktiv)	niedrig (1 Charakter, bewegt sich langsam)	mäßig (ständige Bewegung, wenig Abwechslung)	niedrig (Berg dreht sich)	mäßig (Diener ist langsam, handelt von allein)	mäßig (Enten treiben umher, interagieren zufällig, werden langsam mehr)
Preis	5,89 €	6,99 €	3,99 €	9,75 €	1 €	14,99 €	1,99 €, DLC-Enten gegen Aufpreis

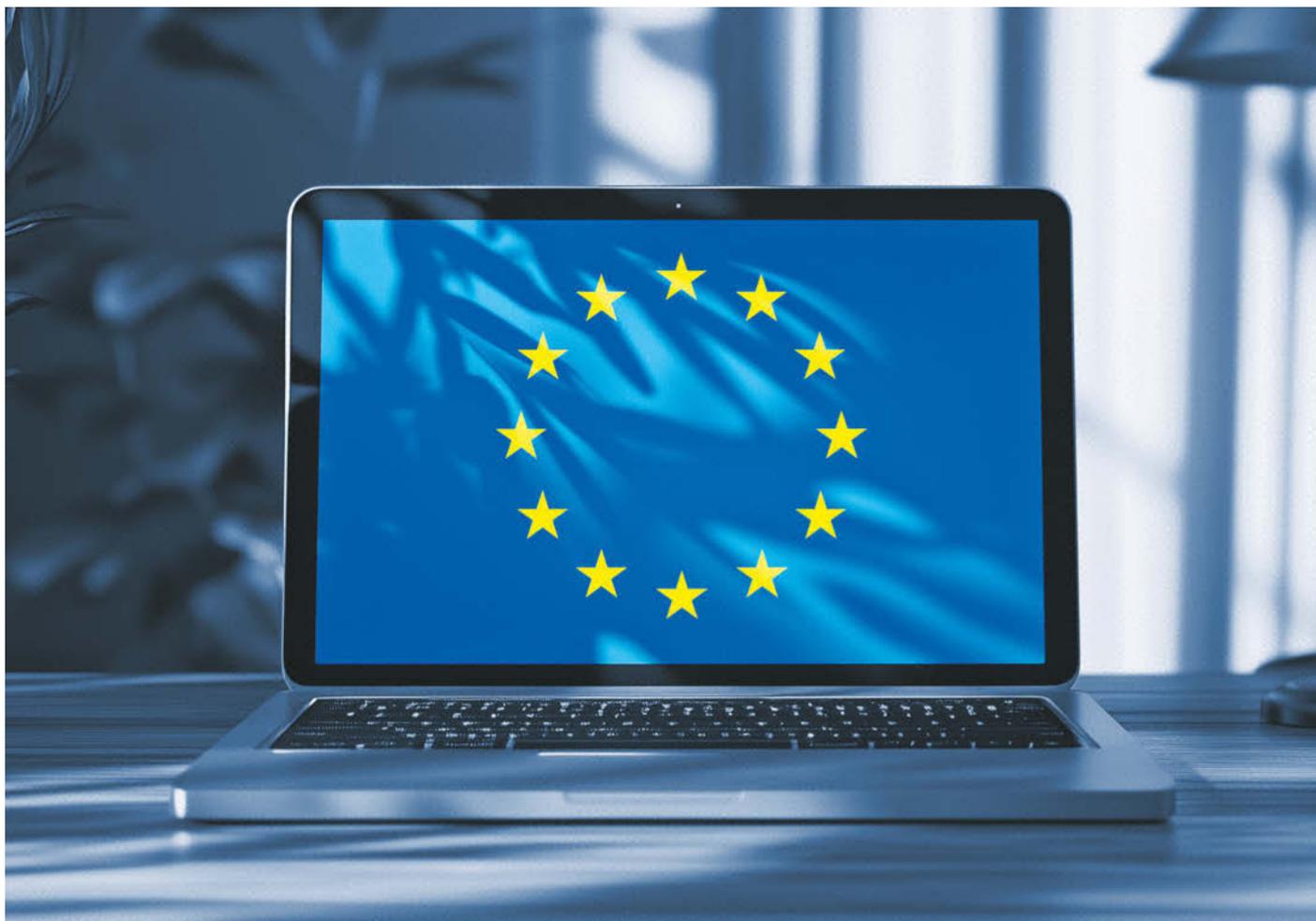


Bild: KI, Collage ct

Open Source als Plan B

Wie Deutschland, Frankreich, die Niederlande, die Schweiz und Dänemark ihre Abhängigkeit von Microsoft reduzieren wollen

Die Schweiz testet Open-Source-Software aus Deutschland, Dänemark informiert sich in Schleswig-Holstein über Libre Office, und Deutschland, Frankreich und die Niederlande entwickeln gemeinsam Software für Behörden: Donald Trump treibt europäische Regierungen zu Microsoft-Alternativen.

Von Falk Steiner und Christian Wölbart

Mit der Kaltstellung der Ukraine, der Annäherung an Russland und mit seiner Zollpolitik hat US-Präsident Donald Trump die Europäer aufgeschreckt – und die Diskussion um digitale Souveränität befeuert. Die Risiken der Abhängigkeit von amerikanischen Tech-Konzernen sind auf der politischen Agenda plötzlich nach oben gerückt; nicht nur in Berlin, sondern auch in anderen europäischen Hauptstädten.

Die Diskussion hat viele Facetten, denn US-Konzerne wie Microsoft, AWS, Google, Oracle, Broadcom oder OpenAI

dominieren in zahlreichen Bereichen der IT, von Hardware über Clouddienste bis hin zu Betriebssystemen und (KI-)Anwendungen. In einzelnen Segmenten haben allerdings auch chinesische Anbieter wie Lenovo und Huawei eine starke Stellung, genau wie die Europäer selbst, zum Beispiel mit ASML oder SAP.

Eine IT-Welt ohne Abhängigkeiten von Dritten wäre nicht förderlich für Produktivität und Wohlstand und ohnehin unrealistisch, schließlich ist in kaum einer Firma das gesamte Know-how für die immer komplexer werdenden Pro-

c't kompakt

- Europäische Regierungen sind unterschiedlich stark von Microsoft abhängig: In den Niederlanden und der Schweiz nutzen bereits viele Behörden den Clouddienst Microsoft 365, Deutschland und Frankreich verlassen sich stärker auf staatliche Rechenzentren.
- Donald Trumps Drohung, Grönland zu annektieren, hat auch in Dänemark eine Debatte über die Abhängigkeit von Microsoft ausgelöst.
- Die Niederlande, Deutschland und Frankreich kooperieren offiziell bei der Entwicklung von freier Office-Software, die Schweiz testet das deutsche openDesk.

mit dem staatlichen deutschen Zentrum für digitale Souveränität (ZenDiS) sowie der Direction interministérielle du numérique (DINUM), der Digitalisierungseinheit der französischen Regierung. Dabei geht es um die Weiterentwicklung quell-offener Anwendungen für Behörden, aktuell vor allem für Produktivität und Kommunikation. Ein konkretes Produkt der deutsch-französischen Kooperation ist Docs, ein Online-Editor für kollaboratives Schreiben und Wissensmanagement. „Zurzeit nehmen wir die Niederlande an Bord“, heißt es auf der GitHub-Seite des Projekts. Docs ist mittlerweile auch Teil des deutschen Open-Source-Office-Pakets openDesk [2].

Dänemark: Vom US-Gehilfen zum Gegner

Auch im durchdigitalisierten Dänemark machte man sich bis vor Kurzem wenige Gedanken über die Abhängigkeit von Microsofts Clouddiensten. Das Land pflegte traditionell ein enges Verhältnis zu den USA. Das ging so weit, dass der dänische Auslandsnachrichtendienst der NSA von 2012 bis 2014 ermöglichte, einen Unterseekabel-Knotenpunkt anzuzapfen. Ziel dieser Abhöraktion waren laut Medienberichten Angela Merkel und weitere europäische Spitzenpolitiker.

Den Wechsel zu Microsoft 365 in der Public Cloud bereitet die dänische Regierung schon seit einigen Jahren vor. Mitte

dukte vorhanden. Doch besonders die Abhängigkeit von Microsofts Software und Clouddiensten beunruhigt viele europäische Politiker. Sollte der Konzern sich aufgrund von Anordnungen der US-Regierung gezwungen sehen, Clouddienste wie 365 abzuschalten, wären die Auswirkungen drastisch: Ministerien und Behörden mit 365-Abo könnten von jetzt auf gleich nicht einmal mehr chatten oder mailen. Sollte Microsoft keine Sicherheitsupdates mehr liefern, gerieten früher oder später alle Nutzer von Windows und den „on premise“ (also auf Kundenhardware statt in der Cloud) laufenden Varianten von Office und Exchange in Schwierigkeiten. Microsofts Plan, Office künftig nur noch in der Cloud anzubieten, setzt die Europäer zusätzlich unter Druck. Und der Wechsel zu anderen Anbietern wird unter anderem dadurch erschwert, dass Verwaltungsanwendungen wie E-Akte-Programme mit Microsoft Office verweben sind.

Im Folgenden konzentrieren wir uns deshalb auf die Frage, wie einige europäische Länder ihre Abhängigkeit von Microsoft reduzieren wollen. Einen Überblick über umfassendere europäische Initiativen für digitale Souveränität wie EuroStack gibt der Kasten auf Seite 125.

Niederlande planen strengere Cloud-Regeln

Zu den europäischen Regierungen, die intensiv Microsoft-Clouddienste nutzen, gehört die der Niederlande. Nachlesen lässt sich das in einem Bericht des niederländischen Rechnungshofs vom Januar. Demnach erlaubte das Innenministerium im Jahr 2022 den Regierungsbehörden die Nutzung von Public-Cloud-Diensten. Der staatliche IT-Dienstleister SSC-ICT, der 57.000 IT-Arbeitsplätze in Ministerien und Behörden betreut, schloss mit Microsoft einen Vertrag über die Nutzung des Online-Office-Pakets 365. Laut dem Bericht des Rechnungshofs wird dieses mittlerweile „beinahe von der gesamten Zentralregierung“ genutzt.

Hingegen nutzen die Ministerien der deutschen Bundesregierung in der Regel noch die On-Premise-Version von Office. Eine Ausnahme ist das Auswärtige Amt, das angekündigt hat, „im Rahmen der besonderen Erfordernisse der Auslands-IT“ Microsoft 365 einzuführen. Auch mindestens sechs Bundesländer, darunter Bayern und Niedersachsen, nutzen Microsofts Public-Cloud-Dienste oder planen das.

Die Bundesregierung setzt jedoch in erster Linie auf ein spezielles Projekt, nämlich auf eine Cloud der SAP-Tochterfirma Delos. Diese will in ihren Rechenzentren Microsoft 365 und weitere Clouddienste exklusiv für deutsche Behörden betreiben. Da SAP ein deutscher Konzern ist, haben US-Behörden juristisch gesehen keine direkte Zugriffsmöglichkeit. Technisch verspricht Delos ein relativ hohes Schutzniveau vor Spionage und Manipulation [1]. Und im Fall, dass Microsoft keine Updates mehr liefert, will das Unternehmen die Cloud zumindest für einige Monate weiter betreiben. Geht dieses Versprechen auf, wäre die Bundesregierung nicht so leicht erpressbar wie etwa die niederländische, die sich auf Microsofts Rechenzentren verlässt.

Doch mittlerweile rücken die Risiken der Microsoft-Cloud auch in den Niederlanden stärker in den Fokus. Die Regierung in Den Haag will bis Mitte des Jahres ihre Richtlinie für den Einsatz von Clouddiensten überarbeiten. Die neuen Regeln würden „die Nutzung von Public-Cloud-Diensten einschränken“, kündigte das Innenministerium am 12. März auf eine Frage zweier Abgeordneter an. Die Aspekte der „digitalen Autonomie und Sicherheit“ würden in der neuen Politik stärker berücksichtigt.

Außerdem beteiligen sich die Niederlande am Aufbau von Alternativen zu Microsoft Office und Teams: Im Dezember unterschrieb der niederländische Staats-CIO Art de Blaauw eine „Declaration of Intent“ über die Zusammenarbeit



Frankreich, Deutschland und die Niederlande arbeiten gemeinsam am freien Editor Docs. Das Logo mit Baguette, Gouda und Brezel findet sich auf der GitHub-Seite des Projekts.

vorigen Jahres kam der staatliche IT-Dienstleister Statens IT in einer Datenschutzfolgeabschätzung zu dem Schluss, dass die Nutzung der Cloudanwendungen durch Behörden mit der DSGVO vereinbar ist. Zur Frage, wie viele Behörden bereits Microsoft 365 nutzen, gab das zuständige Finanzministerium auf Anfrage von c't keine Auskunft.

Doch seit Donald Trumps Amtsantritt steht Dänemark plötzlich Kopf. Denn Trump will Grönland annektieren und bedroht das Königreich ganz offen. Man werde die Kontrolle über Grönland „auf die eine oder die andere Art und Weise“ übernehmen, sagte er im März vor dem US-Kongress. Seitdem gibt es auch in Dänemark eine Diskussion darüber, inwieweit das Land per Knopfdruck lahmgelegt werden könnte.

Dieses Risiko einer Totalabschaltung sei zwar gering, aber dennoch brauche Dänemark einen Plan B, sagte Jacob Herbst, Vorsitzender des dänischen Rates für Cybersicherheit und Technikchef der Sicherheitsfirma Dubex, gegenüber dem Sender TV 2. „Wenn die Amerikaner um 8 Uhr am Montagmorgen entscheiden, US-Clouddienste abzuschalten, dann wird Dänemark um 9 Uhr still stehen.“

Was folgt für die Regierung aus diesem Horrorszenerario? Mehrere Tage braucht der Sprecher des Digitalministeriums, um eine eher unkonkrete Antwort zu formulieren: „Es ist niemals erstre-

benswert, von einzelnen Anbietern abhängig zu sein.“ Daher strebe man einen stärkeren Wettbewerb in der Digitalbranche an und verfolge die Entwicklung alternativer Lösungen wie Open-Source-Software. Zudem erarbeite man zurzeit zusammen mit den Regionen und Städten

Bis Oktober 2025 soll auf 70 Prozent der IT-Arbeitsplätze der Landesverwaltung stattdessen Libre Office und Nextcloud genutzt werden. Vertreter dänischer Ministerien haben die Kieler Staatskanzlei bereits besucht und sich über das Projekt informiert, wie eine Sprecherin der Staats-

»Wenn die Amerikaner um 8 Uhr am Montagmorgen entscheiden, US-Clouddienste abzuschalten, dann wird Dänemark um 9 Uhr still stehen.«

Jacob Herbst, Vorsitzender des dänischen Rates für Cybersicherheit

eine neue Digitalstrategie. „Die Diskussionen drehen sich darum, wie man alternative Software am besten fördern kann. Dabei geht es auch um das Potenzial für Pilotprojekte.“

Zugespitzt könnte man sagen: Dänemark wurde von dem Thema kalt erwischt und sucht nun nach Microsoft-Alternativen, kann aber noch nicht auf konkrete Projekte verweisen.

Immerhin müssen die Dänen nicht weit reisen, um von den Erfahrungen anderer zu profitieren: Das benachbarte Schleswig-Holstein ist das einzige deutsche Bundesland, das sich weitgehend von Microsoft Office verabschieden will [3].

kanzlei auf Anfrage mitteilte. „Es wurde vereinbart, diesen Informationsaustausch fortzusetzen.“

BOSS: Schweiz testet deutsches Office

Auch die Schweiz ist weit fortgeschritten auf dem Weg in Microsofts Public Cloud. Schon 2023 entschied die Berner Bundeskanzlei, Microsoft 365 in der Verwaltung einzuführen. Eine Alternative dazu gebe es nicht, da Microsoft seine On-Premise-Produkte nicht mehr weiterführe, führte die Bundeskanzlei damals aus. Mails und Kalenderdaten würden jedoch weiterhin in den Rechenzentren des Bundes gespeichert, außerdem dürften die Beamten keine vertraulichen Dokumente in der Microsoft-Cloud speichern.

Inzwischen seien 50 Prozent der 45.000 PC-Arbeitsplätze der Bundesverwaltung auf Microsoft 365 umgestellt, sagte ein Sprecher der Bundeskanzlei auf Anfrage von c't. Bis Ende des Jahres folge der Rest. Trump ist für die Schweiz also kein Grund, die Migration abzubrechen.

Anders als Dänemark und die Niederlande haben die Eidgenossen allerdings schon zu Beginn der Microsoft-365-Einführung betont, dass sie ihre Abhängigkeit von Microsoft „mittel- bis langfristig“ reduzieren wollen: Im Rahmen einer Exit-Strategie prüfe man auch Open-Source-Alternativen, teilte die Bundeskanzlei 2023 mit. Das ähnelt den Äußerungen der deutschen Bundesregierung.

Welche Open-Source-Alternative die Schweiz konkret prüft, ist mittlerweile bekannt. Im Rahmen der Machbarkeits-

Europäische Tech-Firmen profitieren vom „Trump-Effekt“

Seit dem Amtsantritt von Donald Trump verzeichnen viele europäische Cloudanbieter und Softwareentwickler einen plötzlichen Anstieg der Nachfrage, sowohl von Behörden als auch von Unternehmen. Ob auch eine Sofortmigration möglich sei, sei keine seltene Frage mehr, berichtet zum Beispiel Nextcloud-Gründer Frank Karlitschek im Gespräch mit c't. Was früher mit monatelangen Abwägungsprozessen verbunden war, scheint nunmehr dringlich: Abhängigkeiten zu reduzieren, insbesondere von US-Anbietern.

Ähnliches berichtete der französische Anbieter OVHCloud: Nach dem Streit zwischen Trump und dem ukraini-

schen Präsidenten Selenskyj seien „signifikante Anfragen“ eingegangen, „auch aus DAX-Bereichen und dem öffentlichen Sektor“, sagte Deutschlandchef Falk Weinreich im Interview mit unserer Schwesterzeitschrift iX. Auch der deutsche Cloudanbieter Ionos meldete einen spürbaren Anstieg der Nachfrage.

Ob Europa seine Abhängigkeit von Microsoft, AWS & Co. aber tatsächlich signifikant reduziert, da ist sich Nextcloud-Chef Karlitschek trotz des großen Interesses nach dem Trump-Schock noch nicht sicher: „Die Frage bei der digitalen Souveränität ist, ob es nun vom Reden endlich ins Handeln übergeht.“

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



studie BOSS („Büroautomation mit Open-Source-Software“) pilotiert sie das vom deutschen ZenDiS mit Steuergeldern geschnürte Open-Source-Office-Paket openDesk. Dieses umfasst unter anderem Collabora Online, Open-Xchange, Nextcloud und Element (siehe auch [4]).

Man prüfe diese Anwendungen bis 2026 auf „Benutzerfreundlichkeit, Praxisnähe, Skalierbarkeit und Sicherheitsmerkmale“, erklärt die Bundeskanzlei auf ihrer Internetseite. Sie betont aber auch, dass sie nicht plant, Microsoft 365 durch BOSS zu ersetzen. Im Vordergrund stehe stattdessen die Eignung der Open-Source-Suite als Notfalllösung „unter Krisenbedingungen“ sowie als Werkzeug für die Bearbeitung sensibler Daten. Im Notfall stünde die Schweiz also immerhin nicht komplett nackt da.

Österreich: Bisher vor allem Absichtserklärungen

Wenige konkrete Informationen gibt es aus Österreich. Das Bundeskanzleramt ließ eine Anfrage von c't zur Nutzung von Microsofts On-Premise-Produkten und Clouddiensten sowie eventuellen Alternativen unbeantwortet. Bekannt ist, dass Microsoft 365 im österreichischen Bildungssektor etabliert ist. Schon seit 2013 können Schulen im ganzen Land den Clouddienst über einen Vertrag des Bildungsministeriums nutzen.

Um Abhängigkeiten zu reduzieren, hat sich die seit März regierende Koalition aus ÖVP, SPÖ und Neos in ihrem Koalitionsvertrag vorgenommen, „in Abstimmung mit europäischen Partnern“ verstärkt auf Open-Source-Software zu setzen und digitale Souveränität bei Beschaffungen zu berücksichtigen. Konkretere Maßnahmen werden allerdings nicht erwähnt. Und auch über Pilotprojekte mit freien Office-Suiten für Behörden wie BOSS in der Schweiz oder openDesk in Deutschland ist aus Österreich nichts bekannt.

Ende März forderte der Grünen-Abgeordnete Süleyman Zorba die Wiener Regierung deshalb in einem Antrag auf einen konkreten Zeitplan für Umsetzungsmaßnahmen zu erarbeiten und Fördermittel für Forschung und Entwicklung im Bereich Open-Source-Software bereitzustellen.

Die Energiekrise nach Beginn des Ukraine-Kriegs habe gezeigt, wie riskant starke Abhängigkeiten sind, argumentiert Zorba im Gespräch mit c't. „Österreich



„In Österreich ist die Debatte über digitale Souveränität kaum vorhanden“, sagt Süleyman Zorba, Digitalpolitiker der österreichischen Grünen.

war abhängig von russischem Gas, und die Auswirkungen haben wir deutlich gespürt.“ Ihm gehe es nun allerdings nicht um Verbote bestimmter Software, sondern um den Aufbau von Alternativen, gemeinsam mit europäischen Partnern. „Ein Land wie Österreich kann das nicht allein stemmen.“

Der Digitalpolitiker macht sich jedoch keine großen Hoffnungen, dass die Bundesregierung seinem Antrag folgt. „In Österreich ist die Debatte über digitale Souveränität kaum vorhanden“, sagt er.

Frankreich: „La Suite Numérique“ als MS-Alternative

Auch die französische Regierung wollte auf Anfrage keine Details zur Nutzung von Microsofts Clouddiensten und On-Premise-Produkten durch Behörden verraten. „Aktuell nutzen viele Behörden proprietäre, kommerzielle Lösungen wie Microsoft Office“, erklärte eine Sprecherin der interministeriellen Digitalisierungsbehörde DINUM lediglich.

Doch das traditionell auf Souveränität bedachte Frankreich hat seinen Behörden schon 2021 relativ strenge Regeln für die Nutzung von Clouddiensten auferlegt. Die Daten französischer Bürger oder Unternehmen dürfen in der Regel nur mit Diens-

ten verarbeitet werden, die immun gegen Nicht-EU-Gesetze sind und Anforderungen der französischen Cybersicherheitsbehörde erfüllen. Ausnahmen sind möglich, aber die DINUM betonte 2021, dass Microsoft 365 die Anforderungen nicht erfüllt. Der Clouddienst dürfte in französischen Behörden daher nicht die Regel sein, ähnlich wie in Deutschland auf Bundesebene.

Und genau wie Delos in Deutschland will auch ein französisches Unternehmen Microsofts Clouddienste für Behörden in speziellen Rechenzentren betreiben, um den Zugriff durch US-Behörden zu erschweren: Bleu, ein Joint Venture des Telekommunikationskonzerns Orange und des Beratungshauses Capgemini. Wie Delos arbeitet Bleu zurzeit daran, die Einhaltung der staatlichen Sicherheitsanforderungen nachzuweisen.

Seit der Coronapandemie entwickelt Frankreich zudem Open-Source-Anwendungen für Office-Aufgaben. Die 2021 offiziell vorgestellte Suite hieß zunächst SNAP und bestand aus dem Matrix-kompatiblen Messenger Tchap sowie Tools für Audio- und Videokonferenzen sowie einer Dateiablage mit integriertem Online-Office. 2022 taufte die DINUM das Paket in La Suite Numérique um. Diese umfasst mittlerweile auch Open-Source-Tools für Mail, Datenbanken und Tabellen sowie den Transfer großer Dateien. Der bereits erwähnte Editor Docs gehört ebenfalls dazu.

Ähnlich wie das ZenDiS in Deutschland verzahlt die DINUM die diversen Open-Source-Tools technisch miteinander und vereinheitlicht die Bedienoberfläche. Allerdings gehen die beiden Staaten dabei unterschiedlich vor: Das ZenDiS entwickelt die Software nicht selbst, sondern vergibt Entwicklungs- und Supportaufträge an die Hersteller der Software, etwa Nextcloud, Univentio oder Open-Xchange. Die DINUM beschäftigt hingegen selbst viele Softwareentwickler und beauftragt Freelancer. „Die Reinternalisierung essenzieller digitaler Fähigkeiten ist ein Schwerpunkt der Digitalstrategie der französischen Regierung“, betonte die DINUM gegenüber c't.

La Suite und openDesk warten noch auf den Durchbruch

Mit dieser Strategie hat die DINUM französische Open-Source-Entwicklerfirmen

gegen sich aufgebracht. Deren Verband CNLL wirft der Regierung vor, den Unternehmen mit der mit Steuergeldern entwickelten Software unfaire Konkurrenz zu machen. „Die DINUM spielt gegen ihr eigenes Team“, heißt es in einer CNLL-Stellungnahme vom August 2024.

Auch der französische Rechnungshof sieht „La Suite Numérique“ kritisch. „Es ist zwar wünschenswert, dass der Staat bei Schwierigkeiten mit privaten Plattformen über eine souveräne Rückzugsmöglichkeit verfügt, aber die Ergebnisse entsprechen nicht den getätigten Investitionen“, heißt es in einem Bericht der Rechnungsprüfer aus dem Juli 2024. Die meisten Staatsbediensteten wüssten nichts von dem staatlichen Officepaket und die Nutzungszahlen mehrerer Tools seien rückläufig.

Wie viele französische Beamte inzwischen „La Suite“ anstelle von Microsoft Office nutzen, ist nicht bekannt. „Mehrere Behörden haben Tools der Suite Numérique eingeführt“, teilte die DINUM auf Anfrage lediglich mit. Tchap komme aktuell auf 230.000 Nutzer pro Monat. Die anderen Tools werden vermutlich weniger stark genutzt.

Im Vergleich zum deutschen openDesk scheint „La Suite“ jedenfalls eher günstig. Laut dem Bericht des Rechnungshofs investierte DINUM bis Ende 2023 rund 9,3 Millionen Euro in die Entwicklung, die jährlichen Wartungskosten wer-

den mit 5 Millionen Euro beziffert. Aus Sicht der Pariser Rechnungsprüfer sind diese Kosten „erheblich“. Doch das deutsche Bundesinnenministerium investierte allein bis Mitte 2024 rund 35 Millionen Euro in die Entwicklung von openDesk, für die damals noch der norddeutsche IT-Dienstleister Dataport zuständig war.

Auch openDesk hat den Durchbruch noch nicht geschafft: Das ZenDiS verzeichnete im April zwar „70.000 Nutzende in allen Bundesländern“, doch die wenigsten davon dürften auf Microsoft Office verzichten. Und wenn man bedenkt, dass es im öffentlichen Dienst bundesweit mehrere Millionen PC-Arbeitsplätze gibt, wird klar, dass openDesk zurzeit noch ein zartes Pflänzchen ist. Und mittlerweile finanziert die Bundesregierung das Projekt nicht mehr so großzügig wie in den ersten Jahren, das ZenDiS muss sparen.

Das Ziel der Zusammenarbeit

Doch die Kooperation zwischen Deutschland, Frankreich und den Niederlanden sowie die Pilotierung von openDesk in der Schweiz zeigen: Europaweit steigt das Interesse an freien Office-Apps für Behörden. Und gemeinsam können die Europäer eher die Ressourcen zur Entwicklung wettbewerbsfähiger Software aufbringen als allein.

Das Ziel bestehe nicht darin, ein einheitliches europäisches Softwarepaket zu

schnüren, sagt Alexander Smolianitski, Head of Open Source Products beim ZenDiS, im Gespräch mit c't. „Es geht eher um Standards und Schnittstellen, die den Aufwand reduzieren, einzelne Anwendungen ein- oder auszubauen.“ So könne eine Produktlandschaft aus kompatiblen Tools entstehen. Nationen könnten bei Bedarf Apps voneinander übernehmen, aber auch ihre individuellen Bedürfnisse berücksichtigen.

Dass es um Open-Source-Software gehe, erleichtere die Zusammenarbeit enorm, betont Smolianitski: „Man muss gar nicht überlegen, ob andere den Code sehen dürfen, sondern man legt einfach zusammen los.“ (cwo@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Christian Wölbert, „Die Cloud ist unter unserer Kontrolle“, Interview: Wie „souverän“ ist die Delos-Cloud für die Verwaltung wirklich? c't 4/2023, S. 38
- [2] Christian Wölbert, Der Streit ums Bundes-Office, openDesk: Hat die staatliche Microsoft-Alternative eine Chance?, c't 15/2024, S. 138
- [3] Keywan Tonekaboni, Christian Wölbert, Der offene Norden, Wie Schleswig-Holstein den Wechsel von Microsoft zu Open Source schaffen will, c't 5/2025, S. 108
- [4] Kornelius Kindermann, Martin Gerhard Loschwitz, Bundes-Office-Suite: Was kann openDesk?, iX 1/2025, S. 110

Erwähnte Quellen: [ct.de/yay8](https://www.ct.de/yay8)

EuroStack & Co.: Neue europäische Initiativen für digitale Souveränität

Mit Gaia-X wollten die deutsche und die französische Regierung schon 2019 die Wettbewerbsfähigkeit europäischer Cloudanbieter stärken. Das Projekt wird von einigen Unternehmen noch weiter vorangetrieben, es konzentriert sich aber mittlerweile auf spezielle Aspekte, etwa auf Datenräume für die Industrie. Größere Hoffnungen in Sachen „digitale Souveränität“ setzen Politik und Wirtschaft mittlerweile auf jüngere Initiativen. Dazu gehören zum Beispiel:

„Buy European“-Klauseln: Die Europäische Kommission will Ende des Jahres eine Reform des europäischen Vergaberechts vorstellen, das immer dann eingehalten werden muss, wenn staatliche Stellen in Europa etwas einkaufen wollen. Brüssel könnte darin eine Buy-European-Klausel verankern, also den Behörden vorschreiben, europäische Anbieter zu be-

vorzugen. „Durch ein Gebot für öffentliche Verwaltungen, mindestens die Hälfte ihrer digitalen Dienstleistungen, insbesondere Clouddienste, bei europäischen Anbietern zu beschaffen, könnten wir die Nachfrage generieren, die europäische Unternehmen für ihre Investitionssicherheit benötigen“, sagt Axel Voss, der für die CDU im Europaparlament sitzt. Auch die Grünen-Europaabgeordnete Alexandra Geese befürwortet eine solche Regel.

EuroStack: Die EuroStack-Initiative wurde unter anderem von der EU-Abgeordneten Alexandra Geese und den Wirtschaftswissenschaftlerinnen Cristina Caffara und Francesca Bria ins Leben gerufen. Sie fordern, dass die EU sich nicht darauf beschränkt, Tech-Konzerne zu regulieren, sondern einheimische Anbieter stärker fördert – mit Steuergeld, aber

auch mit privatem Wagniskapital. Eine Studie von Bria und weiteren Autoren zeigt auf, auf welchen technischen Ebenen Europa von den USA und China abhängig ist und welche EU-Firmen bereits Alternativen bieten. Die neue Bundesregierung will laut Koalitionsvertrag die EuroStack-Initiative „stärken“.

EU OS: Auf der Webseite eu-os.eu konzipieren der Datenschutzexperte Robert Riemann und Mitstreiter ein PC-Betriebssystem für Nutzer im öffentlichen Sektor. Als Basis soll Fedora Linux dienen.

SECA: Die europäischen Cloudanbieter Aruba (Italien), Ionos (Deutschland) und Dynamo (Italien) arbeiten an einer offenen API-Spezifikation, die Kunden den Wechsel zwischen Cloudanbietern und den Betrieb von Multi-Cloud-Infrastrukturen erleichtern soll.



Bild: Brother

Eine neue Füllung, bitte!

Druckerpatronen und Tonerkartuschen recyceln oder wiederaufbereiten?

Heimdruckerbesitzer ärgern sich häufig über sie: Tintenpatronen sind teuer und bestehen aus wesentlich mehr Umhüllung als aus dem Inhalt. Viele Hersteller sammeln und recyceln Leerpatronen, Brother befüllt sie sogar neu.

Von Rudolf Opitz

Drucker haben keinen guten ökologischen Ruf. Abgesehen vom Energiebedarf, der besonders bei Lasermodellen groß ist, die beim Drucken 500 bis 1000 Watt ziehen, fällt auch viel Müll an. Papier von fehlerhaften oder nicht verwendeten Drucken lässt sich noch gut recyceln, bei Verbrauchsmaterial wie Tintenpatronen, Tonerkartuschen, Fototrommeln und Resttoner sieht das anders aus. Hier fallen verschiedene Kunststoffe und Metalle sowie mehr oder weniger gesundheitsschädliche Tinten- und Tonerreste oder feine Kunststofffasern an.

Im Restmüll haben weder abgenutzte Teile und Leerbehälter noch deren oft opu-

lente Verpackung etwas zu suchen. Zumindest sollte man Leerpatronen in der gelben Wertstofftonne oder beim kommunalen Recyclinghof entsorgen. Abhängig vom Typ lässt sich mit dem Leergut sogar Geld verdienen: Auf die Wiederbefüllung spezialisierte Tintenshops bezahlen für abgegebene Patronen, Gleiches gilt für Händler wie Cyncl (ct.de/y4du), der für bestimmte Kombipatronen mit integriertem Druckkopf von Canon und HP bis zu sechs Euro zahlt.

Wertvolles Leergut

Das größte Interesse am Leergut aus den Druckern haben allerdings die Hersteller

ct kompakt

- Viele Druckerhersteller recyceln zurückgegebene Leerpatronen, unabhängige Anbieter zahlen für Leergut und befüllen es neu.
- Brother bereitet Kartuschen und Patronen auf, geschreddert wird nur, was die Reparatur nicht lohnt.
- Eine energiesparende Kreislaufwirtschaft ist ökologisch sinnvoll, besser ist aber Müllvermeidung.

Frankierte Rücksendebeutel erleichtern die Rückführung von Leerpatronen zum Hersteller, der sie schreddert oder wie Brother reinigt und wieder befüllt.



Bild: Brother

selbst. Dabei interessieren sie sich zwar auch für das Rohmaterial, wichtiger dürfte ihnen jedoch das Etablieren eines geschlossenen Kreislaufs sein. Der würde im Idealfall die herstellereigenen Leerkartuschen und -patronen aus dem freien Handel nehmen und sie damit konkurrierenden Anbietern entziehen, die leere Originalpatronen mit billigeren Tinten und Tonern neu befüllen und die Füllstandchips zurücksetzen oder sie durch nachgebaute Chips ersetzen.

Bei Patronen und Kartuschen ohne integrierte Druckköpfe oder Fototrommeln benötigen die Behältnisse meist keine elektrische Verbindung zum Drucker. Die Chips, die Tinten- und Tonerstände speichern und als eine Art Kopierschutz dienen, kleben häufig nur an der Patrone oder stecken in einer Fassung am Gehäuse. Lassen sich die Zähler in den Chips nicht zurücksetzen, werden sie einfach gegen neue Chips ersetzt, die dem

Drucker eine volle Patrone melden. Einige Anbieter von Alternativpatronen bauen die komplette Patrone inklusive Chip nach. Bei Kombikartuschen und Patronen mit integriertem Druckkopf funktioniert das nicht, weshalb Leergutaukäufer besonders gut dafür bezahlen.

Die Druckerhersteller recyceln ihre leeren Patronen und Kartuschen schon lange, Canon verwertet bestimmte Kombikartuschen bereits seit 1990 und eröffnete 1996 eine Anlage zum Patronen-Recycling in der Bretagne. Brother, Epson und HP sammeln ebenfalls Leergut und recyceln es. Auf Wunsch schicken sie frankierte Rücksendetüten zu, doch muss man dazu ein Konto mit Namen und Adresse anlegen.

Wer seine Leerpatronen umweltgerecht entsorgen will, kann es auch anonym erledigen. Die Hersteller statten viele Wertstoffhöfe mit Sammelkartons aus. Noch einfacher ist es, beim Kauf

einer neuen Patrone das Leergut beim Händler zu lassen. Beim Fachhändler stehen meist Sammelboxen der Hersteller, aber auch große Ketten wie Media Markt und Saturn nehmen alte Patronen entgegen. Die Rückführung von Tonerkartuschen ist noch einfacher, da Laserdrucker meist in größeren Firmen stehen, wo sich bei Serviceverträgen die Dienstleister um das Recycling kümmern oder die Hersteller Sammelboxen aufstellen.

Aufbereiten statt schreddern

Recycling bedeutet meistens, dass man das Leergut zerlegt, nach den Materialien (verschiedene Kunststoffe, Metall) sortiert und es dann schreddert, um daraus neue Patronen herzustellen. Das schont zwar die immer wertvolleren Ressourcen, kostet aber viel Energie. Einige Hersteller wie HP, Ricoh und Xerox verwenden bei Kombikartuschen einzelne Bauteile wieder,

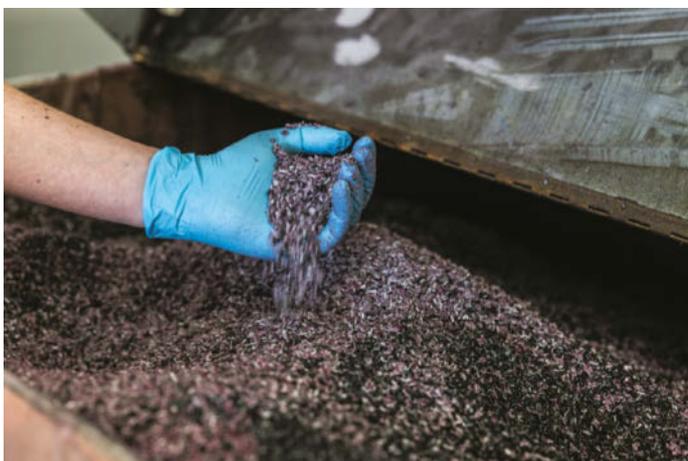


Bild: Brother

Meist wird Leergut von den Herstellern recycelt: also zerlegt, geschreddert und für die Produktion neuer Tintenpatronen und Tonerkartuschen verwendet.



Bild: Brother

Die bei Brother meist orangenen Schutzkappen von Tonerkartuschen landen im Schredder und entstehen danach in der fabrikeigenen Spritzgussanlage neu.



Bild: Brother

Die Brother TN-3512 kann sich bisher als einzige Tonerkartusche mit dem Blauen Engel nach DE-UZ 177 schmücken. Die anderen Brother-Kartuschen durchlaufen allerdings den gleichen Wiederaufbereitungsprozess.

doch der Großteil landet in den Schmelzöfen.

Wie gut sich die verschiedenen Grundstoffe trennen lassen, hängt stark von der Bauweise der Patronen und Kartuschen ab. Einfache Tintenbehälter bestehen im Idealfall aus einer einzigen Sorte Kunststoff, dazu kommt etwa der leicht entfernbar Chip und eine Gummidichtung am Tintenauslass. Kombipatronen mit integrierten Druckköpfen benötigen deutlich mehr Aufwand, will man die Materialien sortenrein wiederverwerten. Ähnlich sieht es bei Tonerkartuschen mit Fototrommel aus. Hier gibt es vom einfachen Tonerplastikbehälter (Ricoh) über trennbare Toner-Fototrommel-Module (Brother) bis zur All-in-One-Kartusche (Canon, HP) alle Varianten.

Brother bereitet seit 2004 Tonerkartuschen in seinen Fabriken in der Slowakei und England wieder auf. Die Anlage in Wrexham, Nord Wales, wurde umgerüstet und wiederverwertet seit 2024 auch Tintenpatronen. Geschreddert wird nur noch beschädigtes Leergut und Verpackungsmaterial, bei dem sich die Wiederaufbereitung nicht lohnen würde. Die fabriek-eigene Spritzgussanlage verwertet das Schreddergut.

Brother zufolge werden bei Tonerkartuschen so 87 Prozent der Leerkartusche wieder aufbereitet. Das Modell TN-3512 RE ist bisher die einzige Tonerkartusche, die sich mit dem Blauen Engel nach den

Vergabekriterien DE-UZ 177 schmücken darf. Unter anderen enthalten sie Vorgaben zu den verwendeten Materialien – keine halogenhaltigen Kunststoffe, keine polybromierten Diphenylether (PBDE) oder Biphenyle (PBB) als Flammenschutzmittel – und ohne die Tinten-/Tonerbefüllung sollen die aufbereiteten Kartuschen und Patronen zu mindestens 75 Gewichtsprozenten aus wiederverwendetem Material bestehen.

Bei den Tintenpatronen erfüllt Brother offensichtlich die Kriterien für den Blauen Engel noch nicht, dabei ist die aktuelle Patronengeneration großvolumig und kann Tinte für mehrere Tausend Seiten enthalten. Je nach Modell liegen den Tintendruckern trotzdem eher knapp befüllte Patronen bei, von denen der Drucker

Die aktuelle Patronengeneration von Brother lässt sich leicht öffnen, reinigen und neu befüllen.



Bild: Brother

bei der Initialisierung zudem rund 30 Prozent für die Erstbefüllung des Schlauchsystems braucht, mit dem Brother seit jeher arbeitet. Verglichen mit Billigdruckern des Mitbewerbs bleibt aber immer noch Tinte für etwa 350 Seiten, die Patronchen von HP enthalten lediglich Tinte für magere 120 Seiten.

Die Anlage in Wrexham restauriert aber nicht nur aktuelle Patronen, sondern auch ältere und kleinere Varianten. Der Aufwand dabei ist beachtlich: Eingehendes Leergut muss geprüft, aussortiert, komplett entleert und gespült werden. Die Mitarbeiter ersetzen wechselbare defekte Gehäuseteile und den Füllstandchip, danach steht wieder eine Prüfung an.

Die Neubefüllung mit frischer Tinte ist besonders diffizil: Bei Tintendruckern nutzen Brother sowie Epson Piezo-Druckköpfe. Diese enthalten keine Heizelemente wie bei Bubblejet-Printern, stattdessen befördern Piezokammern, die sich je nach anliegender Spannung verformen, die Tinte aus der Düse. Die Spannung bestimmt auch die Tröpfchengröße. Allerdings darf in die Kammern keine Luft eindringen, denn Luftblasen würden von den Piezos nur zusammengedrückt, ohne dass Tinte aus der Düse austritt. Wenn ein Brother- oder Epson-Modell nicht oder nur streifig druckt, handelt es sich daher meist nicht um eingetrocknete Tinte, sondern um Luftbläschen in den Druckkammern. Das ist auch der Grund, warum die Drucker dieser Hersteller bei leeren Patronen den Betrieb einstellen, bevor es zu Aussetzern auf dem Ausdruck kommt.

Die Tinte muss vor dem Neubefüllen der Brother-Patronen also entgast und bei korrektem Druck eingefüllt werden. Die entgaste Tinte ist in der Lage, etwaige

BETTER  **JOBS**

... weil du Besseres verdienst.

Deinen neuen Traumjob findest du bei **BETTER JOBS!**

Jetzt Jobs entdecken unter www.better-jobs.de



NEU!

better-jobs.de

Finde den Job, der besser zu dir passt. In deiner Region oder deutschlandweit.

 heise regioconcept

Luftbläschen aufzulösen und die Düse wieder gängig zu machen. Das klappt aber nur mit einwandfreien Patronen.

Gerade die Aufbereitung von Tintenpatronen beschäftigt zurzeit noch viele Mitarbeiter, die jeden Schritt bearbeiten und überwachen. Dabei wechseln sich die Angestellten an den Stationen ab. So erhalten sie Erfahrungen mit allen Schritten der Wiederaufbereitung und können bei Ausfällen an anderen Stationen einspringen.

Gut verpackt

Bei der Aufbereitung von Tonerkartuschen gibt es mehr automatisierte Arbeitsstationen, vorzugsweise beim Zerlegen der Altkartuschen, bei dem Tonerstaub austreten kann. Hier erledigen Industrieroboter in Glaskästen die staubige Arbeit. Doch kommen viele Arbeitsschritte nicht ohne Menschen aus, etwa das Zerlegen von beschädigten Kartuschen oder die Qualitätsprüfung der wiederaufbereiteten und befüllten Tonerbehälter.

Brother recycelt auch Schutzmaterial und Verpackungen. Dazu gehören etwa die orangenen Kunststoffabdeckungen der Tonerwalzen und der Mechanik, die man vor dem Einsetzen einer neuen Kartusche entfernen muss. Die Abdeckungen sollten danach die Toneröffnungen der Leerkartusche verschließen und alles zusammen in die Formpolster aus Zellulose und die Kartonage der Neupatrone gesteckt werden, bevor sie in der Sammelbox landen oder auf anderem Weg zur Wiederverwertungsanlage gelangen. In Unternehmen mag die Vorgehensweise funktionieren, aber ob jeder private Brother-Kunde so sorgsam mit den Leerkartuschen umgeht, ist fraglich. Doch empfiehlt es sich, denn in Wrexham werden nicht nur die orangenen Plastikabdeckungen geschreddert und in den Spritzgussanlagen der Fabrik neu gegossen, auch Styropolster und anderes Verpackungsmaterial wird recycelt.

Gerade was Verpackungen angeht, hat sich Brother in der Vergangenheit nicht gerade mit Ruhm bekleckert: So verkaufte der Hersteller günstige Patronensätze aus Schwarz und den drei Grundfarben in voluminösen Plastikverpackungen. Hier hat die Marketingabteilung wohl mehr an die Sichtbarkeit im Marktregal als an die Ökologie gedacht. Finden diese Verpackungen den Weg in die Wiederverwertungsanlage, kommen sie ebenfalls zurück in den Wertstoff-

kreislauf. Aktuelle Patronensätze sind deutlich sparsamer verpackt.

Die Wiederverwertung und besonders das Recycling über die Spritzgussanlagen ist energieaufwendig. Seit März 2023 betreibt Brother auf dem Dach der Wrexham-Anlage eine 450-Kilowatt-Photovoltaikinstallation mit 1200 Panels, die etwa ein Drittel des Strombedarfs decken sollen. Seit 2022 gilt Wrexham als CO₂-neutral.

Brother hat die auf Wiederverwertung umgerüstete Produktion in Wrexham zwar im Herbst 2024 begonnen, doch ist der

Prozess noch lange nicht abgeschlossen. In einigen Bereichen der 12.000 m² großen Werkhalle arbeiten Ingenieure, Programmierer und Handwerker an der Optimierung bestehender und der Entwicklung neuer Produktionslinien. Am Wiederaufbereiten alter Brother-Drucker (Refurbishing) wird ebenso getüftelt wie an der Wiederverwertung von Tinte. Insgesamt beschäftigt Brother in Wrexham etwa 180 Mitarbeiter. Der Hersteller sucht hier den optimalen Weg zwischen Qualitätssicherung – Brother bietet von jeher 3 Jahre Garantie –, Kreislaufwirtschaft, klei-

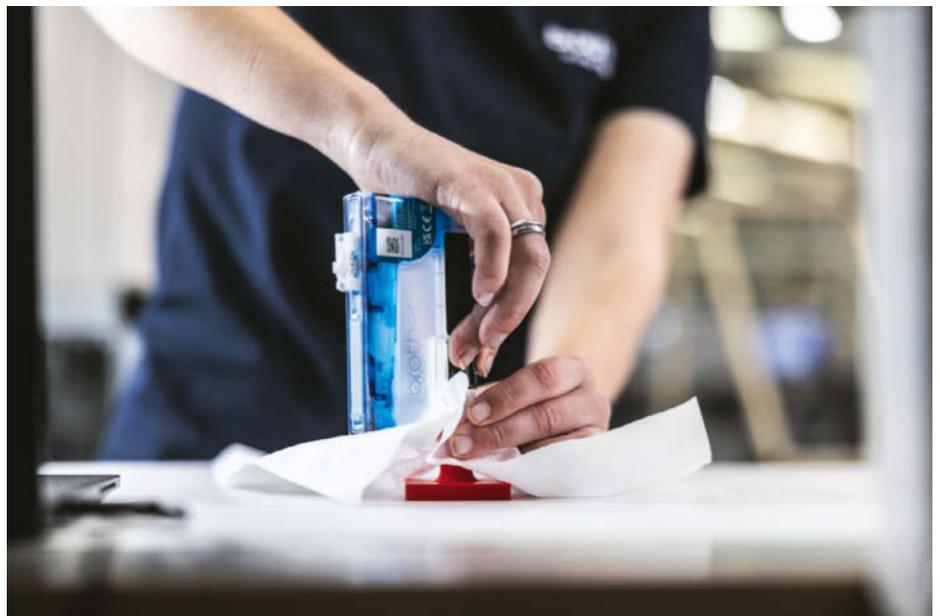


Bild: Brother

Nach dem Absaugen von Resttinte werden die Patronen geöffnet ...



Bild: Brother

... gespült und getestet.



Bild: Brother

Beim Neubefüllen der Tintenpatrone spielt der Druck eine große Rolle. Die Brother-Tinte ist entgast, damit sie etwaige Luftbläschen in den Tintenkamern des Piezo-Druckkopfs auflösen kann.

nem CO₂-Fußabdruck und lohnen muss es sich schließlich auch.

Bessere Alternative

So gut sich die Kreislaufwirtschaft und das Wiederaufbereiten auch anhört, die bessere Alternative ist immer die Müllvermeidung. Einfache Verpackungen mit viel Inhalt lassen sich günstig herstellen und benötigen dabei auch weniger Energie als aufwendige Kartuschensysteme. Zumindest bei Tintendruckern gibt es seit einigen Jahren einen Trend, den Epson erst vorsichtig begonnen hatte, der aber bei den Kunden gut ankam: wiederbefüllbare, fest im Drucker eingebaute Tanks.

Die Hersteller verdienen dabei nicht, wie üblich, am Verbrauchsmaterial, sondern am Gerät. Die Drucker kosten oft das Dreifache eines vergleichbaren Patronengeräts, dafür liefern sie auch Tinte mit, die der Menge von zehn bis zwanzig Patronen entspricht – viel eingesparter Müll. Neue Füllungen kommen günstig in Plastikflaschen, die meist aus einer Kunststoffsorte bestehen. Canon und HP haben sich dem Trend zu teuren, aber günstig wiederbefüllbaren Druckern angeschlossen. HP hat das Nachfüllprinzip sogar auf Laserdrucker übertragen (LaserJet Tank). Toner kommt nicht als Kartusche, sondern in Form einer einfachen Knautschtüte. An dem Behälter ist nur der Tankaufsatz aufwendig, da beim Nachfüllen kein Toner-

staub austreten darf. Leider hat HP dieses Prinzip nur bei einem kleinen Schreibtischmodell angewendet [2].

Brother hatte bei Tintendruckern ebenfalls mit wiederauffüllbaren Tanks experimentiert, diese Modelle aber nur in Polen und anderen osteuropäischen Ländern verkauft. Im deutschsprachigen Raum gab es stattdessen Drucker mit Großraumpatronen für 6000 Seiten. Das entspricht etwa der Reichweite üblicher Tintentankdrucker. Mittlerweile hat auch bei Brother ein Umdenken stattgefunden:



Die voluminösen Verpackungen von Patronen-Sets (links), die Brother mittlerweile gegen weniger aufwendige ersetzt hat (rechts), werden in Wrexham ebenfalls recycelt, wenn sie zurückgegeben werden.



Viele kleine Tintenpatronen machen viel Müll: Die mickrig befüllten Kombipatronen von HP (Mitte) reichen nur für 120 Seiten, eine Flasche Nachfülltinte für Tintentanks etwa 6000 Seiten und Müll sparende Tintenbeutel für Epsons RIPS-Drucker (Replaceable Ink Pack System) schaffen sogar 10.000 bis 50.000 Seiten.

Noch 2025 sollen Tintentank-Modelle für den Einsatz zu Hause und fürs Büro auf den Markt kommen. (rop@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Tim Gerber, Abgestaubt, Wie Druckerhersteller Tonerkartuschen und Kundendaten verwerten, c't 16/2006, S. 164
- [2] Rudolf Opitz, Pulvertanker, Laser-Multifunktionsgerät mit festem Tonerbehälter zum Wiederauffüllen, c't 1/2023, S. 84

Leerpatronen-Aufkäufer: ct.de/y4du

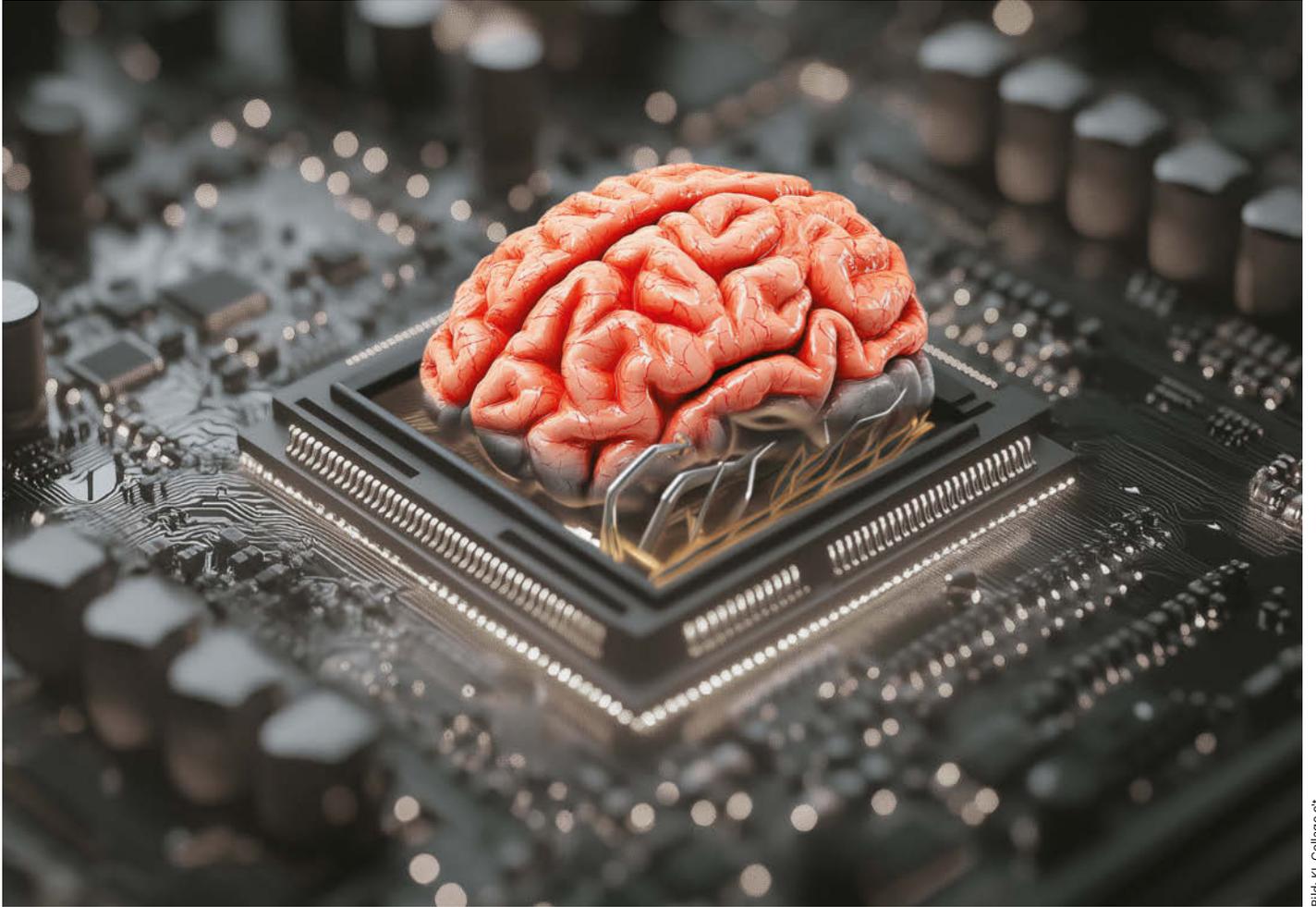


Bild: KI, Collage ct

Hardware mit Hirn

Computer mit menschlichen Gehirnzellen vorgestellt

Auf Computerchips der australischen Cortical Labs arbeiten Hunderttausende lebende menschliche Hirnzellen. Was denken die sich? Die Technik, die der Hersteller als Gegenentwurf zur künstlichen Intelligenz bezeichnet, können Early Adopter bereits bestellen.

Von Arne Grävemeyer

Auf dem Computerchip des CL1, einem neuartigen Computersystem der australischen Cortical Labs, siedeln menschliche Gehirnzellen in einer flächigen Schicht. Aus diesem Grund ist der Chip in einen Bioreaktor eingehaust, der die lebenden Zellen kontinuierlich mit Nährlösung versorgt und so laut Hersteller bis zu sechs Monate am Leben erhalten kann. Das Nervengeflecht wächst, arbeitet, verstärkt oder schwächt einzelne Signalwege, bildet neue Synapsen und lässt ungenutzte verkümmern, ganz wie im menschlichen Gehirn. Es soll damit flexibel auf immer neue Heraus-

forderungen reagieren und sich anpassen können.

Der CL1 ist ein Tischgerät, das Anfang März 2025 erstmals auf dem Mobile World Congress in Barcelona zu sehen war. Die darin arbeitenden Neuronen entstammen nicht etwa menschlichen Gehirnen, sondern sind aus Stammzellen gezüchtet worden, also aus lebenden Zellen, die noch nicht auf eine bestimmte Aufgabe festgelegt sind und sich zu jedem Zelltyp eines Organismus differenzieren können. Es handelt sich bei den Neuronen auf dem Chip also tatsächlich um menschliches Gewebe in Form von miteinander ver-

knüpften und sich dynamisch neu organisierenden Gehirnzellen.

Die Neuronen wachsen auf einem Raster aus insgesamt 22.000 Elektroden. Aus diesen erhalten sie ihre Sinnesreize und geben wiederum elektrische Impulse an sie ab. Indem das Nervengeflecht seine Signalwege an diese Konfiguration und die eingehenden Sinnesreize anpasst, entwickelt es auf dem CL1-Chip eine sogenannte Biological Intelligence. Die arbeitet energiesparender als die heute verbreitete künstliche Intelligenz. Zudem lernen die Neuronen auf dem Chip laut Hersteller schnell und anhand weniger Beispielfälle.

Dass das auch in der Praxis möglich ist, haben die Entwickler des Start-ups gemeinsam mit Forschern der Monash University in Melbourne bereits Ende 2021 demonstriert (Links zu allen erwähnten Publikationen unter [ct.de/yhuw](https://www.ct.de/yhuw)). Ihr sogenanntes Dish Brain bestand zu dem Zeitpunkt aus einer dünnen Schicht von kortikalen Neuronen, also Nervenzellen, die unter anderen Umständen in der Großhirnrinde zu finden wären. Schon in dieser Konfiguration organisierten etwa 800.000 Neuronen ihre Aktivitäten selbst und reagierten auf Aufgaben in einer simulierten Spielwelt. Auch im neu vorgestellten CL1 ist die Anzahl der eingesetzten Neuronen in dieser Größenordnung.

Hirnzellen spielen erfolgreich Arcade-Tennis

Ganz konkret spielte das System seinerzeit die Arcade-Tennisimulation Pong. Die Zellen erhielten electrophysiologische Sinnesindrücke von der Flugbahn des Balles und nahmen ihrerseits mit Impulsen Einfluss auf die Position des Schlägers. Immer wenn der Ball auf dem Bildschirm am Schläger vorbei ins Aus flog, bekamen die Hirnzellen auf dem Raster ein Feedback in Form von für sie unvorhersehbaren electrophysiologischen Sinnesindrücken.

Dieses Vorgehen basiert auf dem Prinzip der freien Energie, das Forscher in der Kognitionswissenschaft anwenden, um Wahrnehmungs-Aktions-Schleifen zu beschreiben. Die Theorie dazu stammt vom britischen Neurowissenschaftler Karl Friston, der an der ersten Studie zum Dish Brain 2021 beteiligt war. Nach diesem Prinzip versucht ein intelligentes System, beispielsweise das menschliche Gehirn, Vorhersagen über seine wahrgenommene Umwelt zu treffen. Das ist im Rahmen einer wohlgeordneten Pong-Spielszene

möglich: Die Flugbahn des Balles lässt sich vorhersehen und sein Verhalten nach dem Abprallen an Wand oder Schläger auch. Das Gehirn passt nun sein Modell der umgebenden Welt kontinuierlich an seine Beobachtungen an. Diskrepanzen zwischen den Modellvorhersagen und den Sinnesindrücken kann es auf zwei Wegen verringern: Entweder verbessert das intelligente System sein Weltmodell oder es wirkt mit seinen Mitteln auf die Umwelt ein.

Im konkreten Fall der Pong-Simulation verstärkten und schwächten die Neuronen tatsächlich mit der Zeit eigenständig die Signalwege im Geflecht, sodass sich seine Annahmen über den Ablauf des Spiels verbesserten. Auf der anderen Seite nutzte die Zellschicht die Vorhersage der Flugbahn des Balles, um diesen mit dem Schläger im Spiel zu halten. Auf die Weise vermied es die Überraschungen aufgrund von unvorhersehbaren Sinnesindrücken, wenn der Ball ins Aus ging.

Bereits nach fünf Minuten Training hielt das künstlich angelegte Nervengeflecht den Ball besser im Spiel, die Versuche zeigten bereits einen deutlichen Lernerfolg. Die Spielergebnisse überholten schnell insbesondere diejenigen der Dish Brains, die keine Feedback-Schleife hatten. Diese erlebten also keine Überraschung, wenn der imaginäre Ball ins Aus flog, und verbesserten sich in der Folge nicht im Pong-Spiel.

ct kompakt

- Im Laufe dieses Jahres will ein Unternehmen erste Computer ausliefern, die Aufgaben mit menschlichen Neuronen lösen.
- Die lebenden Nervenzellen organisieren sich flexibel, verarbeiten Reize und lernen selbstständig.
- Schon heute nutzt etwa die medizinische Forschung sogenannte Hirnorganoide, dreidimensionale Gewebekulturen, die in ihrem Aufbau und auch zum Teil in ihrer Funktion einer Vorstufe eines menschlichen Gehirns entsprechen.

Menschliche Hirnzellen lernen leichter

Weitere Tests zeigten, dass menschliche Neuronen besser Pong lernten als solche von Mäusen. Die Forscher vermuteten, dass das auf die bessere Vernetzungsfähigkeit menschlicher Nervenzellen zurückzuführen sei. Darüber hinaus zeigten die Versuche, dass mehr Sinnesreize auch die Leistung des Dish Brain verbesserten. Es machte einen Unterschied, ob nur die Höhe des Balles auf der y-Achse electrophysiologisch kodiert wurde oder die voll-



Der CL1 hat als Tischgerät die Größe eines Schuhkartons. Es wird derzeit auf der Homepage von Cortical Labs für etwa 35.000 US-Dollar angeboten.

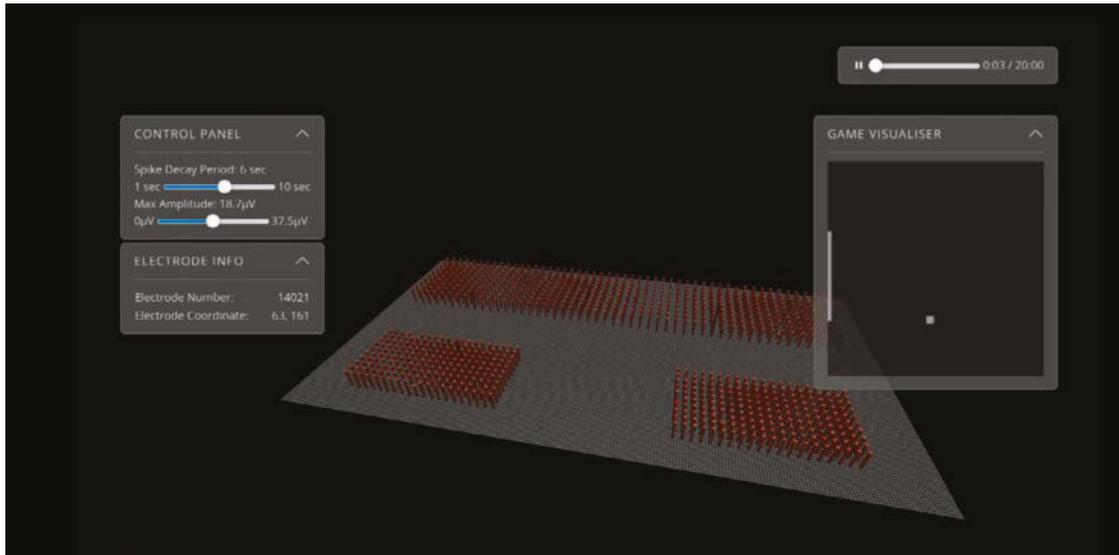


Bild: Cortical Labs

Das Elektrodenraster, im Bild schematisch, ist in zwei kleinere Felder (vorn) und ein großes Feld (hinten) aufgeteilt. Impulse in den vorderen Feldern symbolisieren die Situation auf dem Pong-Spielfeld (rechts), während die Neuronen durch Impulse im hinteren Feld den virtuellen Schläger steuern.

ständigen Koordinaten. Mit den kompletteren Daten schien das Weltmodell im Nervengeflecht umfassender und damit treffsicherer zu funktionieren.

Allerdings erwiesen sich die Dish Brains in der ersten Studie noch als ziemlich vergesslich. Die Lernerfolge im Pong-Spiel waren am darauffolgenden Tag nicht mehr vollständig abrufbar. Die Forscher vermuten, dass kortikale Nervenzellen in der Großhirnrinde nicht darauf spezialisiert sind, dauerhafte Erinnerungen zu bilden. Diese Schwäche kann in Computersystemen ein störender Effekt sein, sie kann aber auch als eine Art eingebaute Reset-Funktion dienen.

Offenbar genügt es, einer Schicht kortikaler Nervenzellen, zum Beispiel auf einem Chip, strukturierte Informationen über ihre „Spielwelt“ und einen geschlossenen Regelkreis mit Feedback anzubieten, um das Lernverhalten im Nervengeflecht anzuregen. Das zeigten die Beteiligten in einer zweiten Forschungsarbeit 2022. Das Lernen erfordere demnach keine menschliche Wahrnehmung der Welt oder gar ein Bewusstsein mit dem Willen, regelnd einzugreifen. Die Fähigkeit, sich an Situationen anzupassen und zu lernen, scheint vielmehr in den Zellen angelegt zu sein. Sie organisierten sich selbst und passten ihr gemeinsames Verhalten an die ihnen gestellte Aufgabe an.

Entsteht ein eigenes Bewusstsein?

Jürgen Knoblich ist Professor für Synthetische Biologie an der Medizinischen Universität Wien und erforscht die menschliche Gehirnentwicklung. Er war einer der

Ersten, die eine lebensfähige dreidimensionale Gewebestruktur mit menschlichen Hirnzellen aus Stammzellen im Labor erschufen, ein erstes sogenanntes Hirnorganoid. Diese Organoiden dienen beispielsweise der biologischen Grundlagenforschung und für pharmazeutische Entwicklungen. Durch den Einsatz von Organoiden mit menschlichen Hirnzellen können Tests stattfinden, die man Testpersonen nicht zumuten will und die an Mäusen vorgenommen keine hilfreichen Ergebnisse liefern. Mit einem Biotech-Start-up hat Knoblich schon Organoide patentiert.

Er wehrt sich gegen die Bezeichnung „Mini-Gehirne“. „Denken können diese Hirnorganoiden nicht“, sagt er im Interview auf der Homepage der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina. In einer eigens eingerichteten Leopoldina-Arbeitsgruppe zu Hirnorganoiden sucht er mit anderen Forschern, Neurobiologen, aber auch Philosophen und Rechtswissenschaftlern nach Antworten auf ethische Fragen zu diesem Forschungsgebiet. Den wichtigsten ethischen Vorteil der Organoiden sieht er darin, dass viele Forschungen nicht mehr an lebenden Menschen oder Tieren stattfinden

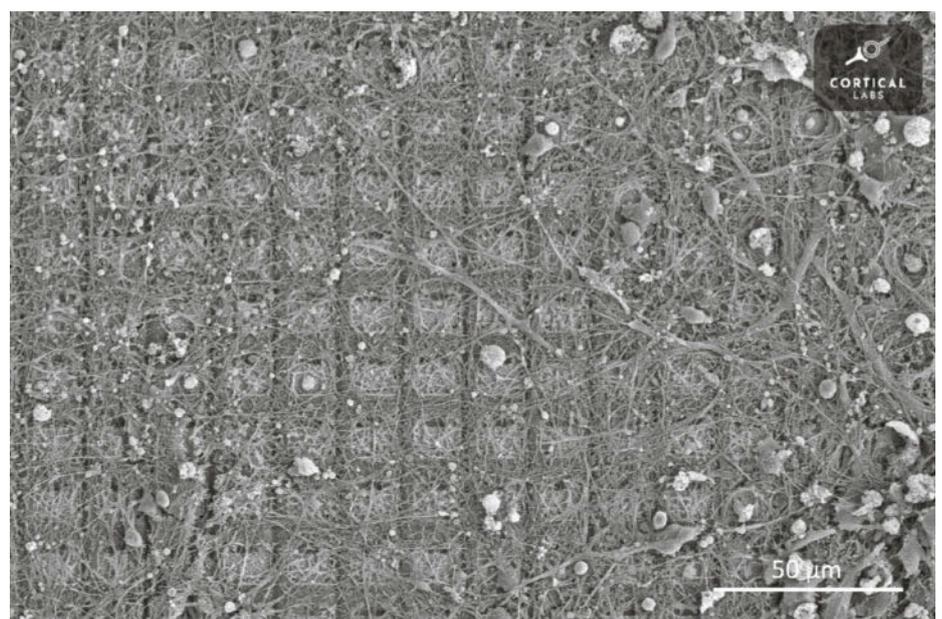


Bild: Cortical Labs

In einer zweidimensionalen Schicht wachsen die Hirnzellen auf einem Elektrodenraster, das sowohl Reize an die Zellen ausgibt, als auch Impulse aus den Neuronen aufnimmt.

müssen. Es gebe hingegen keinerlei Hinweise darauf, dass die heute untersuchten Organoid Schmerz empfinden oder gar ein Bewusstsein entwickeln. Niemand in der Arbeitsgruppe spricht den derzeitigen Organoiden schätzenswerte Eigenschaften zu.

Allerdings hat sich in einer weiteren wissenschaftlichen Arbeit mit dem Titel „Organoid intelligence (OI): the new frontier in biocomputing and intelligence-in-a-dish“ bereits eine breite Forschergruppe internationaler Einrichtungen unter der Leitung des Center for Alternatives to Animal Testing (CAAT) und der Johns Hopkins University in Baltimore mit den Chancen und Risiken von Hirnorganoiden befasst. Diese Arbeit wirft ein Schlaglicht auf dreidimensionale Organoiden, die in Zukunft größer und leistungsfähiger gezüchtet werden könnten. Organoid Intelligence könne sich so in Zukunft als schneller und effizienter erweisen als heutige siliziumbasierte Rechentechnik.

Mit wachsenden Organoiden, unterstützt durch weitere Zelltypen, könnten nicht nur deren Lebensdauer und Leistungsfähigkeit steigen. Zudem würde damit wahrscheinlich der Grundaufbau umgekehrt: Das lebende Organoid würde nicht mehr auf einem Elektrodenraster angesiedelt, stattdessen könnte es ein Mikroelektrodenraster als eine Art Hirn-Computer-Schnittstelle implantiert bekommen. Die Forscher diskutieren in ihrer Arbeit sogar die Verknüpfung von mehreren Hirnorganoiden mit unterschiedlichen Funktionen.

Es ist keine Überraschung, dass diese visionäre Überblicksarbeit auch die Ethik als zentralen Teil künftiger Forschung einfordert. Um sicherzustellen, dass die Informationsgesellschaft sich mit dieser Technik auch sozial weiterentwickelt, sollten Philosophen und die breite Öffentlichkeit über die Anwendungsmöglichkeiten mitreden. Der Ansatz einer „eingebetteten Ethik“ müsse in weitere Arbeiten einfließen.

Computer mit Biological Intelligence

Cortical Labs züchtet seine Neuronen heute im Labor aus Blutproben von Freiwilligen. Daraus gewinnen die Forscher die pluripotenten Stammzellen, also die Alleskönner, die sich beispielsweise auch zu Neuronen ausdifferenzieren können. Wie viele dieser Zellen nun auf einem

Die Oberseite des Computerchips mit den Neuronen ist von einem Bioreaktor eingekapselt, der die lebenden Hirnzellen mit Nährlösung versorgt.

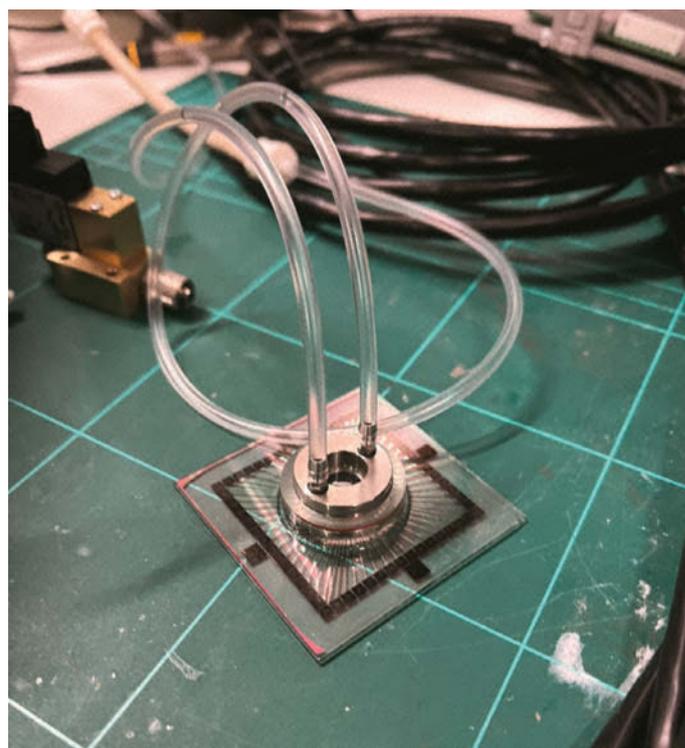


Bild: Cortical Labs

CL1-Chip leben, wie schnell sie lernen und für welche Aufgaben sie besonders geeignet sind, darüber gibt Cortical Labs noch keine Auskunft.

Im Unterschied zur ethischen Diskussion, die heutigen Hirnorganoiden zumeist eine eigene Intelligenz abspricht, verwendet das Marketing von Cortical Labs das Schlagwort „biologische Intelligenz“ und hebt deren Vorteile gegenüber künstlicher Intelligenz hervor. Während Deep-Learning-Mechanismen bei der Bildung von KI-Anwendungen möglichst große Beispieldatenbestände erfordern und schon in der Trainingsphase hohe Anforderungen an Rechen- und Energieresourcen stellen, komme das neuartige Rechensystem mit wenigen Testläufen aus und laufe mit etwas Nährlösung und einer Leistung von lediglich 20 Watt.

Auf dem CL1 ist ein eigenes Betriebssystem namens Biological Intelligence Operating System (biOS) eingerichtet. Verwechslungen mit der verbreiteten Bezeichnung BIOS als häufig eingesetzter Firmware für den Startvorgang üblicher Personal Computer scheint man in Kauf zu nehmen. Das biOS von Cortical Labs simuliert Testszenarien und sendet Informationen dazu als elektrophysiologische Signale auf das Elektrodenraster des Computerchips. Die Reaktionen des Neuronengeflechts in Form von Nervenimpulsen an das Elektrodenraster gibt das biOS dann als Steuersignale aus.

Der Tischcomputer umfasst den Bioreaktor, Software und einen Touchscreen. Eingabegeräte, Kameras, aber auch Ausgabegeräte wie etwa Stellmotoren lassen sich per USB-Standard anschließen. Cortical Labs will noch im laufenden Jahr erste Geräte ausliefern.

Cloudbasierte Nutzung

Im Laufe dieses Jahres will das Unternehmen zudem auch einen Cloud-Service aufbauen. Das dürfte für Anwender eine interessante Option sein, angesichts der bisher eher schwammig angegebenen Lebenszeit der Hirnzellen auf dem Chip des CL1. Cortical Labs verspricht, dass die Anwender dann ihre Sensordaten in Echtzeit an die biologische Rechenhardware auf mehreren parallelen CL1-Geräten senden können werden. Für anwenderspezifische Programme wolle das Unternehmen ein eigenes Python-Software-Development-Kit bereitstellen.

Damit steht Forschern dann also mehr Rechenkapazität zur Verfügung, als wenn sie sich sofort für den Kauf eines einzelnen Geräts entscheiden. Zudem können sie so erst einmal Erfahrungen mit dem neuartigen Computing-Konzept sammeln. Die Gefahr ist sonst groß, dass sie sich einen CL1 bestellen, den sie erst kennenlernen müssen und noch gar nicht gebührend ausnutzen können, ehe dessen Hirnzellen absterben. (agr@ct.de) **ct**

Paper und Links: ct.de/yhuw



Bild: Ki, Collage et

Unklonbar

Mit Quantentoken zum fälschungssicheren Handschlag

Wenn Cyberangreifer digitale Identitäten fälschen können, sind ganze Systeme schutzlos. Diese Sicherheitslücke sollen Quantentoken schließen. Ihre Entwicklung förderte das BMBF mit der Grand Challenge der Quantenkommunikation. Nun stehen die Gewinner fest.

Von Sabrina Patsch

Kürzlich gelang Cyberkriminellen der größte Krypto-Diebstahl aller Zeiten: 1,5 Milliarden US-Dollar verlor die Kryptobörse Bybit, als die Angreifer sie bei einer Routinetransaktion täuschten. Dieser Vorfall ist ein extremes Beispiel dafür, wie dringend das digitale Zeitalter sichere Authentifizierungsmethoden benötigt.

Eine Lösung könnten sogenannte Quantentoken bieten. Als Alternative zu heutigen Security-Token wie Bankkarten oder Transpondern nutzen sie die Prinzi-

pien der Quantenphysik und sind dadurch selbst vor Angriffen durch Quantencomputer geschützt.

Neben der Authentifizierung eignen sich Quantentoken auch für sichere digitale Signaturen, Dokumente und Währungen. Die Idee zum fälschungssicheren Quantengeld veröffentlichte der US-amerikanisch-israelische Physiker Stephen Wiesner bereits 1983 und legte damit den Grundstein für die Quantenkryptografie.

Eine für Quantentoken notwendige Schlüsseltechnologie sind sogenannte Quantenspeicher, die Quanteninformation über längere Zeit speichern und später wiedergeben. Forschungsgruppen verfolgen verschiedene Ideen, um diese zu realisieren. Die Ansätze unterscheiden sich sowohl in der Hardwareimplementierung als auch in der Speicherzeit und -kapazität. Bisher lagen die Speicherzeiten im Millisekundenbereich – zu wenig für ein nützliches Quantentoken.

Grand Challenge

Um die Erforschung von Quantentoken und Quantenspeichern voranzutreiben, rief das Bundesministerium für Bildung

und Forschung (BMBF) die „Grand Challenge der Quantenkommunikation“ aus.

In diesem Rahmen förderte das BMBF seit November 2021 sechs Forschungsprojekte, die Quantenspeicher weiterentwickeln und Quantentoken realisieren sollten. Die Projekte erhielten eine Förderung zwischen einer und zwei Millionen Euro. Das theoretische Begleitprojekt Q.TOK, das außerhalb der Wertung lief, erforschte darüber hinaus neue Anwendungsszenarien für Quantentoken. Die Förderung lief im vergangenen Oktober für alle Projekte aus.

Im Rahmen der Nationalen Konferenz IT-Sicherheitsforschung im vergangenen März wählte eine Fachjury den Gewinner der Grand Challenge. Alle Gruppen stellten erst ihre Projekte und ihre bisherigen Ergebnisse vor, die Gewinner wurden anschließend auf großer Bühne verkündet.

Durchgesetzt hat sich das Projekt „Quanten-Photonisch Integrierter Skalierbarer Speicher“ (QPIS). Tim Schröder und Gregor Pieplow von der Humboldt-Universität zu Berlin nahmen die Siegerurkunde im Namen des Projektkonsortiums entgegen. Der dritte Projektpartner, Kai Müller, Leiter der Arbeitsgruppe Quantum Electronics and Computer Engineering der Technischen Universität München, konnte kurzfristig nicht an der Veranstaltung teilnehmen. Das Team gewann eine Anschlussförderung über weitere drei Jahre, um seine Quantenspeicher für Quantentoken weiterzuentwickeln.

„Wir freuen uns sehr, dass wir diesen Preis gewonnen haben“, sagt Tim Schröder, Projektkoordinator von QPIS, Leiter der Forschungsgruppe für integrierte Quantenphotonik der HU Berlin und des Joint Lab Diamond Nanophotonics am Ferdinand-Braun-Institut. „Ein Preis in Form einer Weiterförderung ist besonders toll für die Wissenschaft, denn wir leben von der Drittmittelförderung. Wir freuen uns, dass es weitergehen kann.“

Keine Klone in der Quantenwelt

Das Team erforscht bereits seit längerer Zeit die Quantenkommunikation. Deren Ziel ist die sichere Übertragung von Informationen mithilfe der Quantenphysik. Im Unterschied zu herkömmlichen Sicherheitsprotokollen sind solche Ansätze durch die Gesetze der Quantenphysik prinzipiell absolut abhörsicher geschützt. Das grundlegende Prinzip dabei ist das sogenannte No-Cloning-Theorem: Dies besagt, dass unbekannte Quantenzustände

nicht kopiert werden können. Als Folge dessen können Informationen während einer Übertragung nicht unbemerkt abgehört werden.

Im Kern liegt das daran, dass Messungen Quantensysteme beeinflussen. Versucht man einen unbekanntem Quantenzustand auszulesen, verändert man diesen unweigerlich und es ist unmöglich, mithilfe einer einzigen Messung herauszufinden, in welchem Zustand das System vor der Messung war. Somit kann ein Lauscher keine identische Kopie des abgehörten Quantensystems weiterschicken. Aufgrund des Fehlers, den das Abhören verursacht, würde der Eingriff den kommunizierenden Parteien auffallen.

Prominent wird dieses Prinzip in der Quantenkryptografie genutzt, um abhörsichere Kommunikation zu ermöglichen. Es gibt jedoch auch andere Anwendungsgebiete. „Authentifizierung ist eine der spannendsten Anwendungen von Quantenphysik, die im Sicherheitsbereich noch nicht sehr intensiv analysiert wurde, verglichen mit dem Teilen von sicheren Schlüsseln“, sagt Gregor Pieplow, Quantenforscher der HU Berlin. Neben Alltags-Identitätsdiebstählen geht es dem QPIS-Team vor allem um die großen Fragen: Was, wenn jemand ein U-Boot oder ein Flugzeug umlenken oder einen Atomreaktor kontrollieren will? Quantentoken könnten hier ein hohes Sicherheitsniveau garantieren, das herkömmliche Verfahren nicht bieten können.

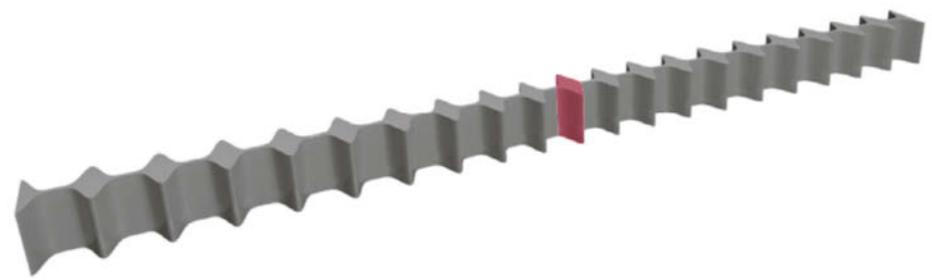
Innovationen von QPIS

Um ihr Konzept der quantensicheren Authentifizierung umzusetzen, benötigen die Forscher zwei Komponenten: Quantento-



Bild: BMBF, Laurin Schmid / bundesfoto

Tim Schröder und Gregor Pieplow haben im Projekt QPIS einen neuen Weg zum Speichern von Quanteninformation entwickelt und damit die „Grand Challenge der Quantenkommunikation“ gewonnen.



Der Resonator aus Diamant ähnelt dem Sägeblatt eines Sägerochens. Im Zentrum (rot) sitzt eine Defektstelle, die Informationen speichert.

ken und Quantenspeicher. „Quantentoken dienen zur eigentlichen Authentifizierung. Dafür benutzen wir fliegende Qubits: Wir encodieren die Informationen in den Zuständen von Lichtteilchen, also Photonen, und das Licht trägt unser Quantentoken durch ein Fasernetzwerk“, erklärt Schröder. „Die Quantenspeicher sind stationäre Qubits, die die Informationen für später speichern.“ Kernelement ihrer Forschung sei der Quantenspeicher und die Frage, wie Informationen effektiv in den Speicher ein- und wieder ausgelesen werden können.

Als Quantenspeicher nutzt das QPIS-Team Defekte in Diamanten, auch Farbzentren genannt: Fremdatome, die es gezielt in ein Diamantgitter einsetzt. Die Spins dieser Fremdatome agieren als stationäre Qubits und speichern Informationen über längere Zeit. Farbzentren sind beliebte Architekturen, um diverse Quantentechnologien zu realisieren, darunter auch Quantensensoren und Quantencomputer. Schröders Team verwendet sowohl Stickstoff- als auch Zinnatome (NV- beziehungsweise SnV-Zentren) für die Fehlstellen. „NV-Zentren sind die besten Quantenspeicher, aber SnV-Zentren reagieren weniger stark auf Rauschen. Beide Ansätze sind sehr vielversprechend, deshalb verfolgen wir beide parallel“, sagt Schröder.

Besonders knifflig ist der Schritt, die Information von den fliegenden auf die stationären Qubits zu übertragen. Dafür nutzen die Forscher einen speziell konstruierten Resonator. Sie ätzen Nanostrukturen in Diamanten, die an das Sägeblatt eines Sägerochens erinnern; daher nennt das Team sie Sägerochen-Resonatoren.

„Die Wechselwirkung zwischen dem Licht und den Defektstellen hängt vom Zustand des Lichtteilchens ab. Diese Abhängigkeit nutzen wir, um den Zustand zu speichern“, sagt Schröder. Die besondere Sägezahnform ermöglicht es den Forschern, Photonen und Spins mit bis zu 99-prozentiger Effizienz aneinander zu

koppeln und das Quantentoken so im Speicher abzulegen. Diese Technik gehört zum Forschungsfeld der Nanophotonik und es ist eine Kerninnovation des Projekts.

Um das Token zu einem späteren Zeitpunkt auszulesen, verwendet das Team supraleitende Nanodrähte. Der von ihnen entwickelte Detektor hat eine Effizienz von 99 Prozent und die Projektpartner der TU München haben diese Technik bereits in ein Start-up überführt. Im Jahr 2021 gründete das Team „Munich Quantum Instruments“, das effiziente Detektoren für einzelne Photonen vertreibt. „Solche Detektoren sind ein Schlüsselement für komplexe Quantenanwendungen“, sagt Schröder.

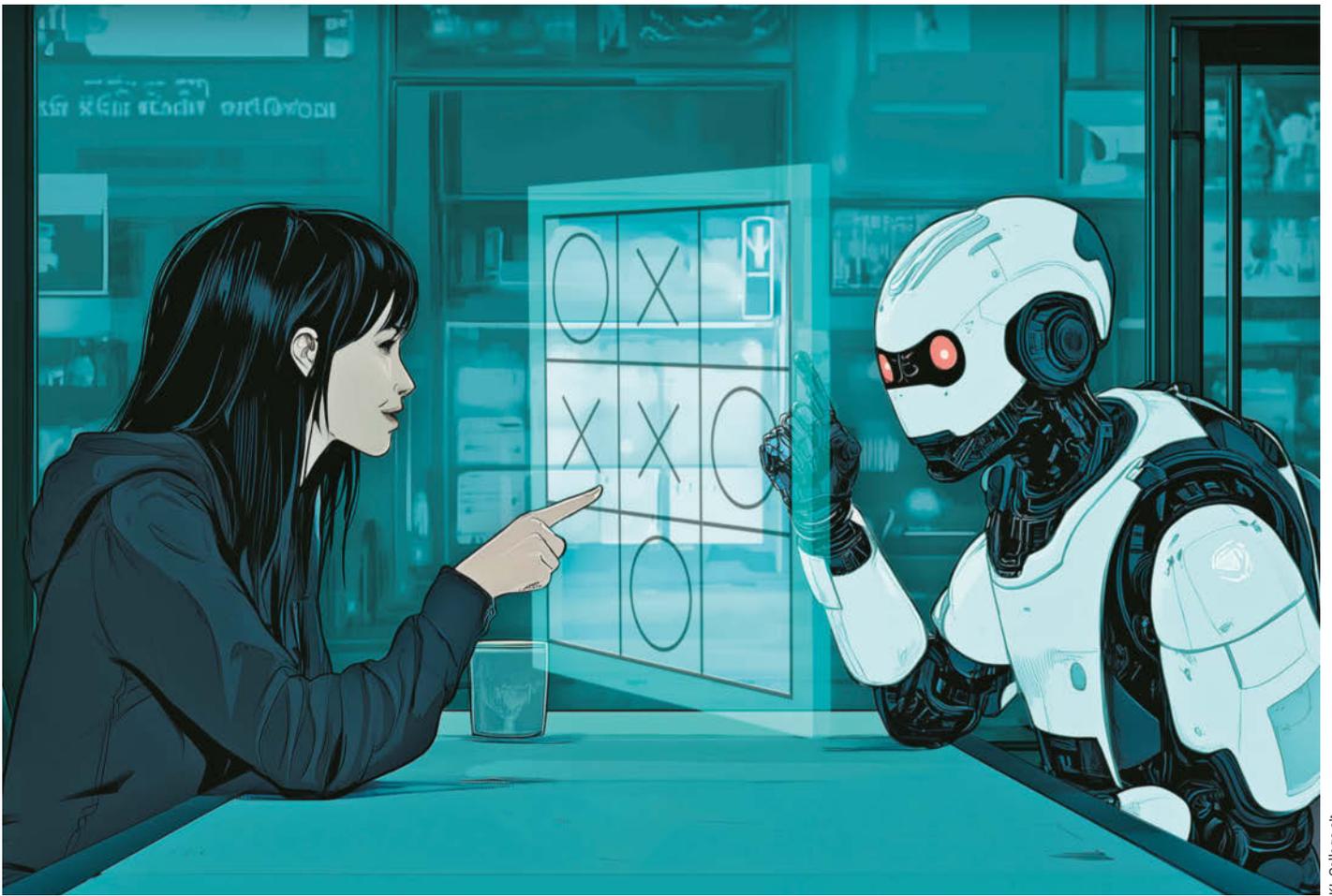
Quantengeld und -persos

In der kommenden Projektphase will das QPIS-Team einen Demonstrator entwickeln, der alle integrierten Komponenten verwendet und einen photonischen Zustand speichert. „Bis man ein praktisches Quantentoken entwickelt, wird es wahrscheinlich noch länger dauern“, sagt Pieplow. „Wenn man es aber erstmal schafft, effiziente Speicher zu realisieren, dann öffnen sich viele Tore.“

Neben der Authentifizierung, zum Beispiel in der Form eines Quanten-Personalausweises, könnten Quantentoken in der Zukunft auch als sichere Währung dienen. „Für Quantengeld sind die Speicher noch nicht langlebig genug“, sagt Pieplow. „Deshalb sind wir im Moment eher an Szenarien interessiert, wo auch kurzlebige Zustände nützlich sind.“ Das könnten vor allem sichere Unterschriften sein. Schröder ist sich jedoch sicher, dass sich noch weitere Anwendungen aufbauen werden: „Wenn es ein Angebot für kurzfristige Quantentoken gibt, die eine besondere Sicherheit in der Authentifizierung versprechen, dann werden Leute auch Anwendungen dafür finden.“

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

Weitere Informationen: ct.de/yzk7



Unschlagbar gut

Wie man einen unbesiegbaren Tic-Tac-Toe-Gegner in Python programmiert

Mit dem Algorithmus „Minimax plus Alpha-Beta-Suche“ bringt man Computergegnern bei, fehlerfrei zu spielen. Wir zeigen an einem in Python programmierten Tic-Tac-Toe, wie er funktioniert.

Von Wilhelm Drehling

Computerprogramme dominieren ihre menschlichen Gegner in Spielen wie Schach, Dame oder Vier Gewinnt. Hinter den unfehlbaren Computerspielern stecken häufig Algorithmen wie Minimax, die einige Züge in die Zukunft schauen, dabei alle möglichen Spielverläufe bewerten und

sich so sicher für den besten Zug entscheiden können. Wie das funktioniert, zeigen wir am Spieleklassiker Tic-Tac-Toe.

Den Algorithmus aus der Spieltheorie kann man auch an komplexeren Spielen wie Schach nachvollziehen, aber Tic-Tac-Toe ist aufgrund seiner Einfachheit besonders gut dafür geeignet, und so gut wie jeder hat es mal gespielt.

Programmüberblick

Damit Sie das Spiel in einer grafischen Oberfläche ausprobieren können, haben wir es mit der Python-Bibliothek PyGame realisiert. Das gesamte Projekt finden Sie im GitHub-Repository zu diesem Artikel (siehe ct.de/ypaq). Das Python-Programm

öffnet beim Start ein leeres Tic-Tac-Toe-Spielbrett: Sie spielen immer mit Kreuz

und der Computer mit Kreis, nach jeder Partie wechselt der startende Spieler. Endet das Spiel in einem Remis, einer

Niederlage oder in einem Sieg, erscheint ein Dialog mit der Frage, ob man noch einmal spielen möchte.

Sie können das Programm bequem über die Kommandozeile steuern. Dazu haben wir ein Pipfile vorbereitet, mit Anleitungen für Windows, macOS und Linux, das Sie im Repository finden.

Standardmäßig fangen Sie an und der Computer wählt seine Züge mit einer Alpha-Beta-Suche, weil es der schnellste Algorithmus ist. Wir haben das Programm

Frisch aus
ct Nerdistan

mit ein paar Parametern versehen, sodass Sie andere Algorithmen ausprobieren und auch mal die zuerst startende Partei ändern können. Mehr dazu lesen Sie in der README-Datei im GitHub-Repository.

So viel zum PyGame-Inhalt, im Folgenden geht es nur um die Algorithmen für den unbesiegbaren Computergegner. Wenn Sie mehr über PyGame lernen wollen, empfehlen wir die Artikelreihe „Spiele programmieren mit Python und Pygame“ [1, 2] und die offizielle Dokumentation (siehe ct.de/ypaq).

Minimax in der Theorie

Der Minimax-Algorithmus lässt sich auf jedes Spiel mit zwei Spielern anwenden, bei dem alle Spielzüge und Zustände bekannt sind. Das trifft auf die eingangs erwähnten Spiele Schach, Dame, Vier gewinnt und Tic-Tac-Toe zu.

In Tic-Tac-Toe kann man entweder verlieren, gewinnen oder unentschieden spielen, zufällige Ereignisse wie in Würfelspielen gibt es nicht. Die Spielausgänge lassen sich mit Zahlen bewerten: Aus Sicht des Computers bedeutet ein Sieg den Wert +1, ein Unentschieden den Wert 0 und eine Niederlage den Wert -1. Anders gesagt: Der Computer strebt das Ergebnis +1 an - er „maximiert“ es also -, Sie als Spieler dagegen versuchen, das Ergebnis zu verhindern und auf -1 zu „minimieren“. Daher rührt auch der Name des Algorithmus: Minimax.

Wie funktioniert nun der Algorithmus? Angenommen, die Startstellung ist ein Kreuz in der Mitte, das Sie als der startende Spieler dorthin gesetzt haben. Der Computer hat acht mögliche Antwortzüge und auf Anhieb weiß er nicht, welcher davon der beste ist.

Um den herauszufinden, spielt der Computer ausgehend von der Startstellung alle möglichen Partien gedanklich nach und bewertet deren Ausgänge. Würde man alle Stellungen grafisch darstellen, die der Computer durchgeht, erhielte man ein riesiges Baumdiagramm mit ungefähr 60.000 Blättern. Um nicht die ganze c't vollzudrucken, haben wir ein kleineres Baumdiagramm für ein fast ausgefülltes Tic-Tac-Toe-Spiel erstellt (siehe Infografik „Minimax“ auf S. 140).

Minimax in der Praxis

Bei Minimax handelt es sich also um einen rekursiven Algorithmus, genauer: um eine Tiefensuche in einem Suchbaum. Im Kasten auf Seite 140 sehen Sie, wie wir die

Minimax-Logik für unser Python-Programm umgesetzt haben.

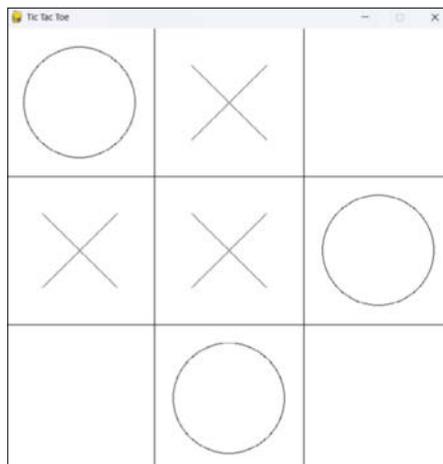
Da Rekursion zuweilen zu Verknotungen in Hirnwindungen führt, erklären wir einen Durchlauf im Code, nachdem Sie Ihr erstes Kreuz in die Mitte gesetzt haben: Die Methode `best_move()` ruft für jeden möglichen Antwortzug des Computers einmal `minimax_search()` auf:

```
for (row, col) in «
    »self.possible_moves(board):
    board[row][col] = COMPUTER
    score = self.minimax_search(
        1, board, false)
    board[row][col] = EMPTY
    if score > best_score:
        best_score = score
        best_move = (row, col)
```

Minimax bekommt dabei die aktuelle Tiefe (`depth`) der Suche, den aktuellen Zustand des Spielfeldes (`board`) und ob es sich gerade um den maximierenden oder minimierenden Spieler handelt (`is_maximizing`).

Da in `best_move()` der Spielzug des Computers simuliert wird, muss der nächste Zug, also der des menschlichen Spielers, nun minimiert werden. Deshalb ist beim ersten Aufruf `is_maximizing` gleich `False`. Als Startwert für die Bewertung in `min_score` dient lehrbuchmäßig positiv unendlich (`math.inf`), auch wenn ein beliebiger Wert größer als der maximal zu erreichende Wert wie +2 genügen würde.

Minimax simuliert nun für jedes freie Feld in `board` einen Zug des menschlichen Spielers und ruft anschließend `minimax_search()` mit vertauschten Rollen erneut auf. In der nächsten Rekursionsstufe wird



Unser kleines Tic-Tac-Toe-Spiel haben wir mit der verbreiteten Python-Bibliothek PyGame erstellt.

c't kompakt

- Um Algorithmen der Spieltheorie wie Minimax an einem konkreten Beispiel zeigen zu können, haben wir das Spiel Tic-Tac-Toe mithilfe der Python-Bibliothek PyGame nachprogrammiert.
- Minimax ist ein rekursiver Algorithmus, der für ein Brettspiel mögliche Spielverläufe durchkalkuliert und dadurch den besten Zug findet.
- Der Computer kommt schneller zu einem Ergebnis, wenn er mithilfe der Alpha-Beta-Methode die Anzahl der bewerteten Spielzüge drastisch reduziert.

also der Computerzug als Antwort simuliert.

`check_game_result()` prüft eingangs von `minimax_search()` den Zustand des Spielfelds. Ist es noch nicht voll und keiner der Parteien hat gewonnen, kehrt `check_game_result()` mit `None` zurück, sonst mit der Bewertung des Endergebnisses (+1, -1 oder 0), geteilt durch die Rekursionstiefe in `depth`, damit der Score mit fortschreitender Tiefe kleiner wird. Das garantiert, dass der Computer den kürzesten Gewinnweg priorisiert, sollte es mehrere Gewinnmöglichkeiten geben.

Diese Bewertung wandert beim Aufstieg Zweig für Zweig bis zur aktuellen Spielstellung nach oben. Dort landet sie schließlich in `score`. Danach wird das Spielfeld um den Zug bereinigt, damit es mit dem nächsten möglichen Zug weitergehen kann. Abschließend wird der laufende minimale Score `min_score` aktualisiert (`min_score = min(min_score, score)`).

Negamax

Es kann schon ein wenig verwirren, wenn man gedanklich immer wieder zwischen Minimieren und Maximieren wechseln muss. Eine Variante des Minimax-Algorithmus löst dieses Problem, indem sie auf diese Einteilung verzichtet. Sie heißt Negamax, was die Kurzform von „Negated Minimax“ ist.

Negamax liefert die exakt gleichen Ergebnisse wie Minimax, der Code (siehe Kasten auf S. 142) fällt jedoch kompakter aus. Er ist aber für Novizen schwerer zu lesen, weil das ständige Negieren bei

jedem Aufruf von `negamax_search()` nicht selbsterklärend ist.

Die Codeoptimierung funktioniert, weil $\max(a, b)$ das Gleiche wie $-\min(-b, -a)$ bedeutet. Vereinfacht gesprochen: Nachdem der Computer seinen Zug simuliert, negiert er das Ergebnis, damit der Algorithmus danach aus Sicht des menschlichen Spielers den optimalen Zug findet. Mit jedem Aufruf wechselt also die Perspektive, aber insgeheim bleibt es bei einem minimierenden und einem maximierenden Spieler, nur ist es nicht mehr so offensichtlich.

Im Code steuert die Variable `color` diesen Perspektivwechsel: Ist sie 1, betrachtet der Computer das Spielfeld aus Sicht des Computers, ist sie -1, aus Sicht des Spielers. `board` und `depth` bleiben unverändert. Das Minus vor dem Aufruf selbst (`-self.negamax_search(depth + 1, board, -color)`) negiert das Ergebnis, damit es in der Ebene darüber aus Sicht des anderen Spielers betrachtet werden kann. Aus den gleichen Gründen fließt `color` ins Ergebnis mit ein (`return (result * color) / depth`).

Alpha-Beta-Suche

Vermutlich ist Ihnen beim Herumspielen mit unserem Programm schon aufgefallen, dass das Spielfenster einen kleinen Moment schwarz bleibt, wenn der Computer den ersten Zug mit Minimax oder Negamax tätigen soll. Das liegt daran, dass

```
def minimax_search(self, depth, board, is_maximizing):
    # Ergebnis zurückgeben, wenn das Spiel endet
    result = self.check_game_result(board)
    if result is not None:
        return result / depth

    # Maximierungszug - den bestmöglichen Score wählen
    if is_maximizing:
        max_score = -math.inf
        for move in self.possible_moves(board):
            board[move[0]][move[1]] = COMPUTER
            score = self.minimax_search(depth + 1, board, False)
            board[move[0]][move[1]] = EMPTY
            max_score = max(max_score, score)
        return max_score
    # Minimierungszug
    else:
        min_score = math.inf
        for move in self.possible_moves(board):
            board[move[0]][move[1]] = PLAYER
            score = self.minimax_search(depth + 1, board, True)
            board[move[0]][move[1]] = EMPTY
            min_score = min(min_score, score)
        return min_score
```

Minimax ist ein klassisches Beispiel der Spieltheorie und findet sich in dieser oder ähnlicher Form in vielen Lehrbüchern wieder. Der Algorithmus findet zuverlässig den besten Zug, geht dabei aber nicht sonderlich effizient vor, denn er durchsucht alle möglichen Zustände, deren Anzahl exponentiell mit der Suchtiefe wächst.

Minimax alle 549.945 möglichen Spielverläufe durchgeht, bevor es sich für einen Zug entscheidet.

Dabei durchläuft Minimax viele Pfade mit nicht optimalen Zügen, die man sich sparen kann, weil keiner der beiden Spielparteien sie spielen würde. Statt also alle Pfade des Minimax-Baums abzulaufen, könnte man einfach Zweige vom Baum

abtrennen und damit nicht weiterverfolgen, die sich früh als ungünstig erweisen.

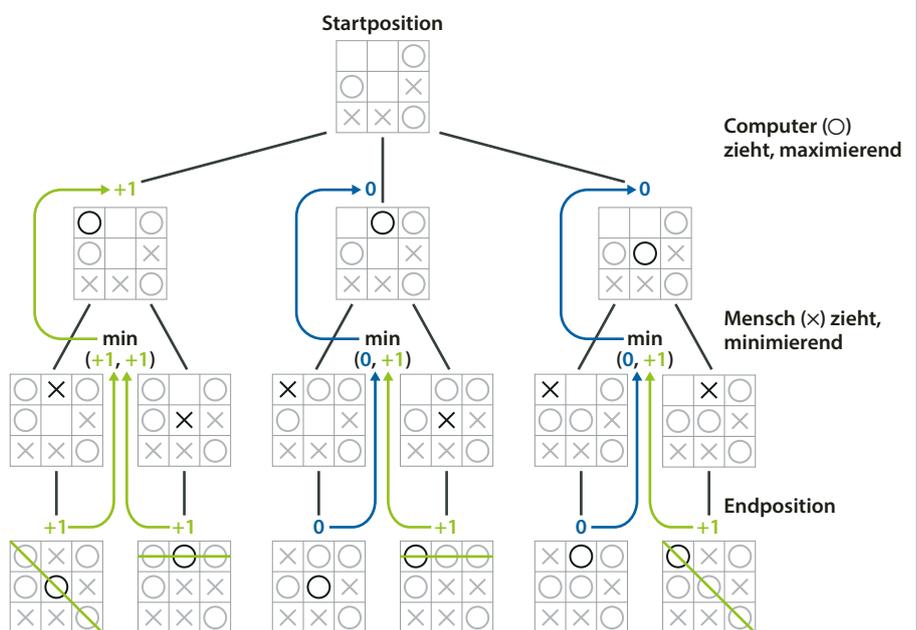
Diese Optimierung des Minimax-Algorithmus nennt sich Alpha-Beta-Suche (engl. Alpha-Beta Pruning). Der Algorithmus funktioniert so wie Minimax, nur schleppt er zwei zusätzliche Parameter namens `alpha` und `beta` mit (siehe Listing auf S. 142). `alpha` ist die bisher beste Be-

Minimax

Ausgehend vom aktuellen Spielstand spielt der Minimax-Algorithmus das Spiel zunächst gedanklich mit mehr oder weniger zufällig ausgewählten Zügen zu Ende. Das Ergebnis bewertet er mit +1, wenn er gewinnt, mit -1, wenn er verliert, und bei einem Unentschieden mit 0.

Anschließend geht er einen Halbzug zurück und probiert nach demselben Muster die alternativen Züge durch. Den Zug, der zu dieser Spielsituation geführt hat, bewertet er nun jeweils mit dem Maximum der Fortsetzungen, wenn er selbst am Zug war, und mit deren Minimum, wenn es sich um einen Gegnerzug handelt. So hangelt er sich wieder zum aktuellen Spielstand zurück und wählt schließlich den Zug mit dem für sich besten zu erwartenden Endergebnis aus.

In diesem Baum würde sich der Computerspieler also für den linken Pfad entscheiden, denn dieser führt ihn, egal, wie der Spieler antwortet, immer zum Sieg.



Jira verstehen und nutzen

Aufgaben und Prozesse effizient planen und steuern



Jetzt informieren:

heise-academy.de/webinare/jira-verstehen-und-nutzen

```
def negamax_search(self, depth, board, color):
    # Ergebnis zurückgeben, wenn das Spiel endet
    result = self.check_game_result(board)
    if result is not None:
        return (result * color) / depth

    max_score = -math.inf
    for move in self.possible_moves(board):
        if color == 1:
            board[move[0]][move[1]] = COMPUTER
        else:
            board[move[0]][move[1]] = PLAYER
        score = -self.negamax_search(depth + 1, board, -color)
        max_score = max(max_score, score)
        board[move[0]][move[1]] = EMPTY
    return max_score
```

wertung, die der Maximierer (der Computer) sicher erreichen kann, beta die bisher beste Bewertung, die der Minimierer (der menschliche Spieler) sicher verhindern kann.

Beim initialen Aufruf von `alpha_beta_search()` ist alpha Minus unendlich und beta Plus unendlich. Um einen schlechten Pfad vom Baum abzuknippen, muss in einem der durchlaufenen Zweige beta kleiner als alpha ausfallen. Tritt so ein Fall ein, heißt es, dass der Spieler in einem bereits durchsuchten Pfad ein besseres Ergebnis erlangt hat und er deshalb diesen für ihn schlechten Weg niemals einschlagen würde. Die Alpha-Beta-Suche geht immer davon aus, dass beide Parteien optimal spielen. Ein anschauliches Beispiel sehen Sie in der Infografik „Alpha-Beta-Suche“ auf Seite 143.

Alpha-Beta-Suche funktioniert besonders gut, wenn recht früh große Teile des Spielbaums abgetrennt werden können. In manchen Fällen und Spielen wie Schach passiert das zuweilen sehr spät und der Optimierungsgewinn ist eher gering. Deswegen bietet es sich an, den Spielbaum vor dem Durchlaufen zu sortieren, um besonders vielversprechende Züge zuerst zu berechnen und die Chance zu erhöhen, viele Äste abzusägen. Wer die Alpha-Beta-Suche am Beispiel von Schach animiert sehen will, dem empfehlen wir das englischsprachige Video von Sebastian Lague (siehe [ct.de/ypaq](https://www.youtube.com/watch?v=8R9F0011160)).

Statistiken

Bei einem Spiel wie Schach bewirkt diese kleine Optimierung wahre Wunder, aber bei Tic-Tac-Toe? Das Python-Programm reagiert mit der Alpha-Beta-Suche merklich schneller, aber um den Unterschied nicht nur subjektiv zu bewerten, haben wir jeden Aufruf von `minimax_search()`, `negamax_search()` und `alpha_beta_search()`

Der Code zu Negamax fällt im Unterschied zu Minimax wesentlich kompakter aus. Anstatt zwischen Minimieren und Maximieren hin und her zu wechseln, negiert der Algorithmus die Ergebnisse und steuert den Spielerwechsel mit der zusätzlichen Variable color.

für jedes Feld gezählt und die Unterschiede sind verblüffend groß.

Dabei fassen wir Minimax und Negamax zusammen, denn sie liefern identische Ergebnisse. Fängt der Computer an, ruft er `minimax_search()` insgesamt 549.945 Mal auf. Die Alpha-Beta-Suche reduziert die Aufrufe auf 34.202 – ein beachtlicher Fortschritt.

Alle drei Algorithmen entscheiden sich zu Beginn für eine der Ecken und nicht für die Mitte. Dass die Mitte der beste Zug sei, ist ein weitverbreiteter Irrglaube. Von der Ecke aus gibt es wesentlich mehr Mög-

lichkeiten, zu gewinnen; wenn Sie Ihr Kreuz danach nicht in die Mitte setzen, wird der Computer gewinnen. Probieren Sie es aus.

Randall Munroe, der Schöpfer der *xkcd*-Comics, hat übrigens eine beeindruckende Grafik kreiert, die alle optimalen Züge eines Spiels sowohl aus Spieler- als auch aus Computerperspektive zeigt (siehe [ct.de/ypaq](https://www.ct.de/ypaq)).

Fangen Sie dagegen in einer der Ecken an, verhindert der Computer direkt Ihren Sieg, indem er die Mitte einnimmt. Weil Sie anfangen, muss der Computer für seine acht Antwortzüge nicht mehr so lange nachdenken. Je nachdem, wo Sie anfangen, benötigen Minimax und Negamax zwischen 55.504 und 63.904 Aufrufe. Die Alpha-Beta-Suche kürzt es weiter auf 6304 bis 11.064.

Das Problem mit der Tiefe

Für ein überschaubares Spiel wie Tic-Tac-Toe braucht man keinen Parameter für die Tiefe, der Computer spielt auch so garantiert perfekt. Sinnvoll ist er hingegen bei Spielen wie Schach: Hier ist der Spielbaum einfach zu groß, um ihn in endlicher Zeit komplett durchzurechnen; zu allem Überfluss ist nicht einmal garantiert, dass ein

```
def alpha_beta_search(self, depth, alpha, beta, board, is_maximizing):
    # gib ein Ergebnis zurück, wenn das Spiel endet
    result = self.check_game_result(board)
    if result is not None:
        return result / depth

    # Maximierungszug - den bestmöglichen Score wählen
    if is_maximizing:
        max_score = -math.inf
        for move in self.possible_moves(board):
            board[move[0]][move[1]] = COMPUTER
            score = self.alpha_beta_search(depth + 1, alpha, beta, board, False)
            board[move[0]][move[1]] = EMPTY
            max_score = max(max_score, score)
            alpha = max(alpha, score)
            if beta <= alpha:
                break
        return max_score
    # Minimierungszug
    else:
        min_score = math.inf
        for move in self.possible_moves(board):
            board[move[0]][move[1]] = PLAYER
            score = self.alpha_beta_search(depth + 1, alpha, beta, board, True)
            board[move[0]][move[1]] = EMPTY
            min_score = min(min_score, score)
            beta = min(beta, score)
            if beta <= alpha:
                break
        return min_score
```

Die Alpha-Beta-Suche liefert dieselben Ergebnisse wie Minimax, nur schneller. Der Grund: Durch das Verwalten der Variablen alpha und beta kann der Algorithmus früh schlechte Pfade erkennen und muss diese nicht mehr ablaufen.

Spiel überhaupt nach einer bestimmten Anzahl von Zügen entschieden ist.

Programme für solche Spiele behelfen sich damit, den Spielbaum nur für eine beschränkte Tiefe ab dem aktuellen Spielstand zu berechnen, und die entstehenden Spielstände dann statisch zu bewerten, etwa anhand der Figuren auf dem Spielfeld und deren Mobilität. Auch bei solchen tiefenbeschränkten Suchen erweist sich der Alpha-Beta-Beschnitt des Suchbaums als äußerst effizient.

Unsere Minimax-, Negamax- und Alpha-Beta-Suchen führen die Tiefe aus einem anderen Grund mit: Es gibt Stellungen, wo der Computer sonst komisch reagiert, was Sie auch bei vielen Online-Implementierungen von Minimax beobachten können. Angenommen, Sie spielen eine Partie gegen den Computer und setzen als startender Spieler das Kreuz in die Mitte. Der Computer geht danach immer in die Ecke, denn es ist die einzige Möglichkeit, durch einen Fehler des Gegners doch noch zu gewinnen. Anschließend setzen Sie das Kreuz rechts neben Ihr erstes. Der Computer blockiert Ihren nahenden Sieg und danach spielen Sie absichtlich einen schlech-

ten Zug, indem Sie das Feld unten rechts anklicken. Anstatt jetzt in der Stellung

```

0 | |
-----
0 | X | X
-----
  | | X
    
```

einfach unten links einen Kreis zu setzen und damit zu gewinnen, spielt der Computer Folgendes:

```

0 | | 0
-----
0 | X | X
-----
  | | X
    
```

Der Computer gewinnt immer noch, aber es ist, als würde er in einer Stellung mit Matt in eins doch lieber das Matt in drei spielen. Das liegt daran, dass zwei mögliche Zweige des Spielbaums gewinnen und der Computer den Zug wählt, der links zuerst im Baum auftritt, denn so wurde er programmiert.

Das Mitführen der zusätzlichen Variable `depth` verhindert solch ein Verhalten,

denn der `score` sinkt dadurch mit zunehmender Tiefe. Somit bevorzugt der Computer nicht den Zug, den er bei gleichen Gewinnchancen als ersten auserkoren hat, sondern den, der bei einer bestimmten Stellung früher zum Gewinn führt.

Fazit

Nutzen Sie gerne unseren Code im GitHub-Repository, um andere Spiele mit Computergegnern zu versehen oder einfach um ein bisschen Tic-Tac-Toe zu dadeln. Wir haben auch einen zufällig spielenden Computergegner implementiert, damit man auch mal gewinnt. Oder Sie erweitern den Code um weitere Verfahren wie die Monte-Carlo-Baumsuche. So oder so, viel Erfolg! *(wid@ct.de) ct*

Literatur

- [1] Pit Noack, Fang das Wollknäuel, Spiele programmieren mit Python und Pygame, c't 14/2018, S. 136
- [2] Pit Noack, Pythonkätzchen in Aktion, Spiele programmieren mit Python und Pygame, Teil 2, c't 17/2018, S. 128

GitHub-Repository, Comic, Video und weiterführendes Material: ct.de/ypaq

Alpha-Beta-Suche

An der Startposition hat Alpha den Wert Minus unendlich ($-\infty$), den schlechtesten Wert für O, und Beta den Wert Plus unendlich ($+\infty$), den schlechtesten Wert für X. Nun geht die Suche den ganz linken Zweig hinab bis zum ersten Ergebnis -1 . Hier würde der menschliche Spieler gewinnen, die Suche fährt mit dem nächsten Blatt fort und erhält ein Unentschieden (0). Alpha bekommt nun das Maximum aus beiden Ergebnissen. Beta bleibt unverändert, da ja gerade der Computer als maximierender Spieler einen Zug gemacht hat.

Da die Alpha-Beta-Suche alles abgelaufen hat, kehrt Minimax zur nächsthöheren Ebene zurück. Dabei wird Beta zu 0, weil 0 kleiner als das ursprüngliche $+\infty$ ist. Danach betritt die Suche einen neuen Zweig und durchläuft ihn bis nach ganz unten zum Wert $+1$ (Computer gewinnt). Weil $+1$ größer als das bisherige $-\infty$ in Alpha ist, wird Alpha nun $+1$. Zum ersten Mal ist Beta kleiner als Alpha.

Der Mensch ist gerade am Zug und würde diese Route nicht einschlagen, denn damit verliert er, wohingegen der andere Zweig ihm ein Unentschieden garantiert. Die Alpha-Beta-Suche braucht den Zweig also nicht mehr weiter zu erforschen, weil der optimal spielende Mensch die schlechte Option nicht wählen würde.

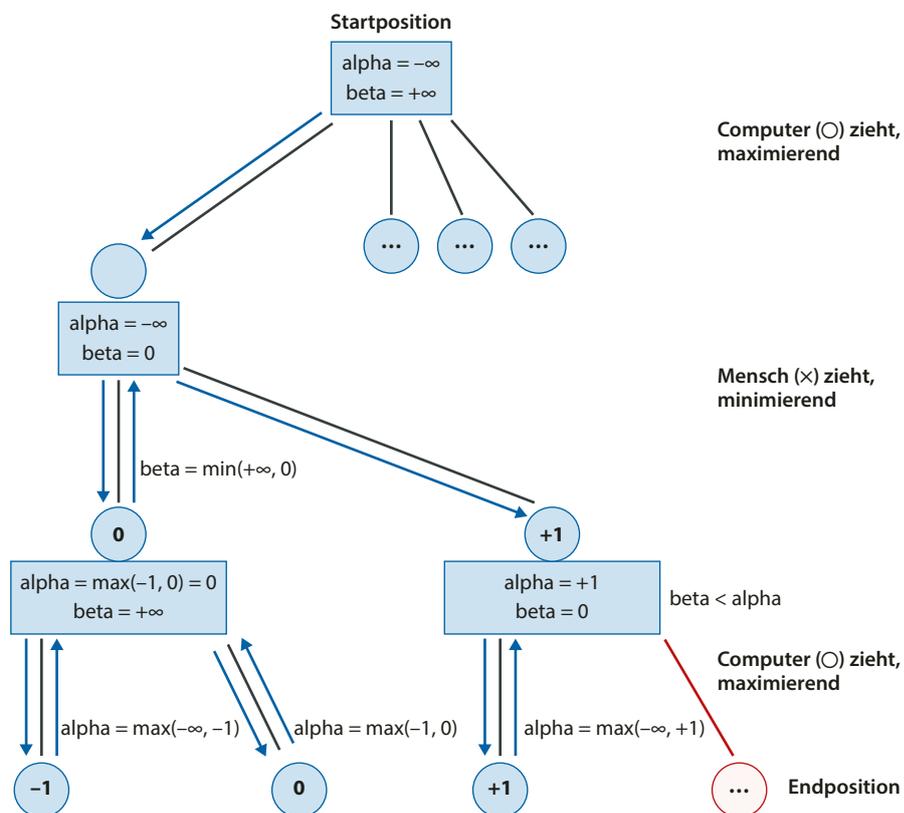




Bild: KI, Collage ct

Der rechte Weg

Von JavaScript zu TypeScript: bequemer und fehlerärmer programmieren

Eine der großen Schwächen von JavaScript ist die dynamische Typisierung, weil sie das Verständnis, das Debuggen und das Refaktorisieren des Codes erschwert. Doch das muss nicht sein: mit TypeScript.

Von Oliver Lau

Wenn ich eine Anwendung für den Browser oder für die JavaScript-Laufzeitumgebung Node.js programmieren will, bin ich auf JavaScript festgenagelt, oder? Radio Eriwan antwortet: Im Prinzip ja, aber ...

Browser und Node.js verarbeiten zwar nur JavaScript, Sie können aber trotzdem in einer viel besseren Sprache dafür programmieren, und zwar in TypeScript. Sie ist eine Obermenge von JavaScript, mit Elementen, die die Typ-

sicherheit Ihres Codes drastisch verbessern. Obermenge heißt: Jedes JavaScript-Programm ist ein gültiges TypeScript-Programm. Typsicherheit heißt: Eine Variable behält ihren ihr bei der Definition

zugewiesenen Typ; aus einem String kann ohne explizite Typkonvertierung nicht einfach eine Zahl werden oder umgekehrt. Man

kann einer Funktion, die ein Argument bestimmten Typs erwartet, nicht einfach ein Argument anderen Typs mitgeben,



ohne dass der Compiler das anprangert. Viele Programmierfehler können damit erst gar nicht entstehen. Wichtiger noch: Sie fallen nicht erst unangenehm während der Laufzeit auf. Und weil moderne Entwicklungsumgebungen wie das kostenlose Visual Studio Code Ihnen mit Hinweisen und Eingabehilfen besser zur Seite stehen können, wenn sie Typen von Variablen, Argumenten und Rückgabewerten nicht erraten müssen, sondern kennen, profitieren Sie bereits beim Eintippen Ihres Codes von Typsicherheit.

Apropos Eintippen: Das können Sie sich sparen, denn die folgenden Code-Schnipsel finden Sie in einem GitHub-Repository, das wir für diesen Artikel angelegt haben (siehe ct.de/yrq4).

Der TypeScript-Compiler übersetzt den TypeScript-Code in JavaScript-Code. Erst der JavaScript-Code ist ohne Weiteres im Browser oder in Node.js lauffähig.

Loslegen

Da der TypeScript-Compiler ein JavaScript-Programm ist, müssen Sie zu seiner Inbetriebnahme zunächst Node.js installieren, das es zum Download für Windows, Linux und macOS bei nodejs.org gibt (Download via ct.de/yrq4).

Sie können auch Ihren plattformspezifischen Paketmanager für die Installation bemühen. Unter Windows genügt die Eingabe von `winget install -e --id OpenJS.NodeJS` in einer Eingabeaufforderung mit Administratorrechten. Auf Ubuntu-ähnlichen Linuxen tippen Sie `sudo apt install nodejs npm`. Mac-User sind mit einer Installation via Homebrew gut beraten: `brew install node npm`.

`npm` ist der Node Package Manager. Ihn verwenden Sie, um Pakete für Node.js zu installieren. Der TypeScript-Compiler ist

ein solches Paket, das `npm install -g tsc` unabhängig vom Betriebssystem auf den Rechner holt.

Danach sollte die Eingabe von `tsc -v` in der Eingabekonzole die Version des Compilers ausgeben und Sie sind bereit für Ihr erstes Programmchen (siehe [add.ts](https://ct.de/yrq4)):

```
function add(a, b) {
  return a + b;
}
let result = add(5, "Hallo");
console.log(result);
```

Wenn Sie nun mit

```
tsc add.ts
node add.js
```

das TypeScript-Programm in ein JavaScript-Programm mit dem Namen `add.js` übersetzen und per Node.js ausführen, erscheint auf der Konsole:

```
5Hallo
```

Der `+`-Operator wird in diesem Fall also nicht, wie es der Programmierer wahrscheinlich beabsichtigt hatte, auf zwei Zahlen angewendet. Stattdessen werden die Typen der Operatoren so zurechtgebogen, wie es am sinnvollsten ist. Sinnvoll ist in diesem Fall, aus der `5` einen String zu machen, weil sich ein String wie `"Hallo"` umgekehrt nicht in eine Zahl wandeln lässt. Das gilt auch für einen String wie `"4"`, sodass `5 + "4"` nicht etwa `9`, sondern `"54"` ergibt.

Erforschen Sie das der sogenannten erzwungenen Typumwandlung (engl. `type coercion`) zugrunde liegende Regelwerk spaßeshalber mal mit anderen Ausdrücken in der Eingabeaufforderung von `node`:

ct kompakt

- Wer in JavaScript programmiert, muss mit den Schwächen der Sprache leben, etwa der dynamischen Typisierung.
- TypeScript beseitigt diese Schwäche und ergänzt JavaScript mit vielen Annehmlichkeiten.
- Ein Compiler übersetzt TypeScript-Programme nach JavaScript, damit der Code im Browser oder in Node.js laufen kann.

```
true + 5 // 6
true + "5" // "true5"
null + true // 1
"1" - 2 // -1
"3" - "1" // 2
```

Wenn Sie sich nun fragen, wo denn die Vorteile von TypeScript liegen, wenn Probleme erst beim Ausführen offenbar werden: Der obige Schnipsel mit der Addierfunktion ist noch gar kein Programm, das sich der Spezialitäten von TypeScript bedient, sondern ist nur ein Beleg dafür, dass jedes gültige JavaScript-Programm auch ein gültiges TypeScript-Programm ist.

Damit ein waschechtes TypeScript-Programm daraus wird, öffnen Sie Ihre Entwicklungsumgebung und erweitern die Funktion `add()` wie folgt mit Typnotationen (siehe [add2.ts](https://ct.de/yrq4) im Repository):

```
function add(a: number, b: number):
    number {
  return a + b;
}
```

Darin besagen die beiden `number` in den Klammern, dass die Parameter von diesem Typ sein müssen, also eine Zahl. Das dritte `number` definiert den Typ des Rückgabewerts. Da der zweite Parameter ein String ist, beschwert sich der Compiler mit der Fehlermeldung, dass `"Hallo"` einem Parameter vom Typ `number` nicht zugewiesen werden könne:

```
add2.ts:4:21 - error TS2345: Argument
of type 'string' is not assignable to
parameter of type 'number'.
```

```
4 let result = add(5, "Hallo");
    ~~~~~
```



Fährt man mit der Maus über einen Bezeichner wie `TransferableLevelData`, blendet Visual Studio Code ein Pop-up mit der Definition des Typs ein.

Trotz dieser Fehlermeldung entsteht auf `tsc add2.ts` hin JavaScript-Code in der Datei `add2.js`. Der ist identisch zu dem aus dem ersten Beispiel in `add.js`. Wenn Sie das nicht wollen, etwa um nicht versehentlich den entstandenen Code weiterzuverwenden, rufen Sie `tsc` mit der Option `--noEmitOnError` auf:

```
tsc --noEmitOnError add2.ts
```

Es gibt noch viele andere Schalter, um das Verhalten von `tsc` zu beeinflussen (siehe `tsc --help`). Die allein wären schon ein langes Kapitel in einem TypeScript-Buch wert; darum hier jetzt weiter mit den Features von TypeScript.

Typen

Funktionen können wie im obigen Beispiel nicht nur Werte vom Typ `number` zurückgeben, sondern auch von jedem anderen, etwa `string`, `boolean`, `object` oder `symbol`. Auch `void` und `never` sind möglich:

```
function print(msg: string): void {
  console.info(msg);
}
function byebye(msg: string): never {
  throw new Error(msg);
}
```

`void` zeigt an, dass die Funktion nichts zurückgibt, `never`, dass sie niemals etwas zurückgeben kann, weil sie in einer Endlosschleife läuft oder wie im obigen Code-schnipsel eine Ausnahme auslöst.

Ein Typ kann auch eine Auswahl von Typen darstellen, zum Beispiel einen `String`, ein `String-Array` oder eine `Zahl` (siehe `err.ts`):

```
type ErrorMessage = string
  | string[]
  | number;
let err1: ErrorMessage = 404;
let err2: ErrorMessage = [
  "404", "Not Found"];
let err3: ErrorMessage = "Not Found";
console.log(err1, err2, err3);
```

Das führt zur Ausgabe:

```
404 [ '404', 'Not Found' ] Not Found
```

Variablen vom Typ `object` sollten Sie vermeiden. Denn es kann ja alles Mögliche in einem `object` stecken und Typsicherheit soll schließlich gewährleisten, dass ein Programm nicht mit beliebigen Daten

hantiert, sondern nur mit sauber definierten. Noch schlimmer ist nur noch `any`, das für jedweden Typ steht, womit Sie wieder bei JavaScript wären.

Das Folgende definiert einen Typ `Point`, der ein Objekt mit zwei numerischen Feldern `x` und `y` beschreibt (`point.ts`):

```
type Point = {
  x: number;
  y: number;
};
function euclidean(
  p1: Point, p2: Point): number {
  return Math.sqrt(
    Math.pow(p1.x - p2.x, 2) +
    Math.pow(p1.y - p2.y, 2));
}
let a: Vec2 = { x: 2, y: -3 };
let b: Vec2 = { x: 5, y: 2 };
console.log(euclidean(a, b)); // 5
```

Versuchte man, der Funktion `euclidean()` irgendetwas zu übergeben, das nicht der Definition eines `Point` entspricht, würde das der TypeScript-Compiler anprangern.

Wenn man sich Feldnamen wie `x` und `y` sparen will, kann man die Koordinaten auch als `tuple` definieren:

```
type Point = [number, number];
```

Das geht auch mit unterschiedlichen Typen:

```
type Book = [string, string, number];
let book: Book = [
  "George Orwell",
  "1984",
  1949];
```

Wer nicht aufpasst, hat so aber schnell ein Buch-Objekt angelegt, bei dem Titel und Autor vertauscht sind. Aussagekräftiger und deshalb zu bevorzugen sind Objekte, bei denen der Feldname Auskunft über den Inhalt gibt.

Besser also, man wendet sich wie im Beispiel davor zusammengesetzten Objekten zu. Die erlauben auch, dass Teile davon optional sind, zum Beispiel der Untertitel eines Buchs, gekennzeichnet durch ein Fragezeichen hinter dem Feldnamen:

```
type Book = {
  title: string;
  subtitle?: string;
  author: string;
  year: number;
};
```

Ein Objekt dieses `Book`-Typs legt man wie folgt an:

```
let book: Book = {
  title: "1984",
  author: "George Orwell",
  year: 1949,
};
```

Schnittstellen ...

Nun stellen Sie sich vor, dass eine externe Bibliothek `Book` definiert. Sie haben damit keinen Einfluss auf die ursprüngliche Definition des Typs. Sie können einen Typ aber erweitern, zum Beispiel mit einer Funktion, die das Buch veröffentlicht. Dazu verknüpfen Sie `Book` per `&` mit der gewünschten Definition, etwa folgendermaßen:

```
type PrintableBook = Book & {
  publish(): void;
}
```

Ein Buch vom Typ `PrintableBook` muss damit nicht nur die in `Book` definierten Felder enthalten, sondern auch die Funktion `publish()` implementieren, damit der TypeScript-Compiler nicht schimpft:

```
let book: PrintableBook = {
  title: "1984",
  author: "George Orwell",
  year: 1949,
  publish: function () {
    console.error(
      "not implemented yet");
  }
};
book.publish();
console.log(book);
```

Führt man dieses Programm aus, erscheint auf der Konsole `not implemented yet`.

Man kann auf diese Weise zwar einen Typ erweitern, aber es entsteht ein neuer dabei, im Beispiel `PrintableBook`. Wenn der Entwickler einer Bibliothek, die `Book` zur Verfügung stellt, vorausahnt, dass Anwender seiner Bibliothek `Book` für eigene Zwecke erweitern wollen, tut er gut daran, nicht mit `type` einen Typ zu definieren, sondern mit `interface` eine Schnittstelle:

```
interface Book {
  title: string;
  subtitle?: string;
  author: string;
  year: number;
}
```

Der Vorteil dabei ist, dass man Schnittstellen erweitern kann, ohne dass ein neuer Typ entsteht. Das vermeidet Redundanz und vereinfacht den Code. Um die Schnittstelle `Book` um `publish()` zu erweitern, schreibt man:

```
interface Book {
  publish(): void;
}
```

Wann immer der Compiler auf ein neues Interface `Book` trifft, fügt er bereits bestehende Definitionen mit der neuen zusammen. Auf diese Weise kann man Code über mehrere Dateien verteilen und damit für Ordnung sorgen.

... implementieren

Schnittstellen bieten sich nicht nur an, um Objekte eines bestimmten Typs zu erzeugen, sondern vor allem auch, um Klassen zu definieren, die bestimmte Voraussetzungen erfüllen sollen. Im Umgang mit Objekten ist es häufig sinnvoll, dass sie sich serialisieren und ausgeben lassen. Im TypeScript-Code könnte das wie folgt aussehen (`contract.ts`):

```
interface Printable {
  print(): void;
}
interface Serializable {
  serialize(): string;
}
class Document implements Printable,
  Serializable {
  title: string;
  content: string;
  constructor(content: string) {
    this.content = content;
  }
  print() {
    console.log(
      this.title, this.content);
  }
  serialize() {
    return JSON.stringify({
      title: this.title,
      content: this.content
    });
  }
}
```

Wenn etwas `Printable` ist, dann muss es die Funktion `print()` implementieren, und wenn etwas `Serializable` ist, die Funktion `serialize(): string`. Mit `implements Printable, Serializable` verpflichtet sich die Klasse `Document` nun, diese beiden Voraussetzungen zu erfüllen.

```
interface Printable {
  print(): void;
}
interface Serializable {
  serialize(): string;
}
// `MyDocument` verpflichtet sich, die Methoden
// `print()` und `serialize(): string` zu
// implementieren.
class MyDocument implements Printable, Serializable {
  content: string;
  constructor(content: string) {
    this.content = content;
  }
  print() {
    console.log(this.content);
  }
  serialize() {
    return JSON.stringify({
      content: this.content
    });
  }
}

// `MyReport` erbt von `MyDocument` und geht damit
// automatisch die Verpflichtung ein, `Serializable`
// und `Printable` zu implementieren.
class MyReport extends MyDocument {
  classified: boolean; // true, wenn Bericht geheim
  constructor(content: string, classified: boolean) {
    super(content);
    this.classified = classified;
  }
  print() {
    if (!this.classified) {
      console.log(this.content);
    }
  }
}

// Zwischenspeicher für Dokumente und Reports
let cache: (Serializable & Printable)[] = [];

let doc = new MyDocument("Ich bin ein Testdokument.");
let report = new MyReport("Ich bin geheim.", true);

// Obwohl `doc` und `cache` unterschiedlichen Typs sind,
// kann man sie gemeinsam in `cache` schieben, weil
// Elemente in `cache` nur die Voraussetzung erfüllen
// müssen, serialisierbar und druckbar zu sein.
cache.push(doc);
cache.push(report);
for (let item of cache) {
  item.print();
}

// Ausgabe:
// Ich bin ein Testdokument.
```

interface und extends: Schnittstellen tragen dazu bei, typsicheren Code zu schreiben. Vererbung hilft, Redundanzen zu vermeiden (siehe `contract.ts`).

Man könnte die Funktionen auch ohne diese Verpflichtung implementieren. Doch mit wird die Intention klarer. Und Code, der Document verwendet, kann sich darauf verlassen, dass diese Funktionen implementiert sind, denn wären sie es nicht, würde der Compiler eine Fehlermeldung ausgeben. Das kann man sich beispielsweise zunutze machen, um Objekte unterschiedlichen Typs in einem Array zu speichern (siehe Listing „interface und extends“).

Im Listing werden die Schnittstellen Printable und Serializable definiert; die Klasse MyDocument implementiert sie. Die Klasse MyReport erbt von MyDocument. Damit erspart man sich, die Funktion serialize() ein zweites Mal zu implementieren, denn durch die Vererbung steht sie automatisch auch in MyReport zur Verfügung. MyReport überschreibt allerdings die Methode print() mit einer eigenen Implementierung, weil print() als classified markierte Reports nicht ausgeben soll.

MyReport erbt von MyDocument außerdem die implements-Regel, die auch MyReport dazu verpflichtet, die Methoden serialize() und print() zu implementieren.

Ohne die implements-Regel könnte man in TypeScript Objekte von MyReport und MyDocument nicht typsicher in einem Array speichern. Mit der Regel jedoch schon, sofern man das Array so typisiert, dass es Objekte aufnehmen darf, die sowohl Serializable als auch Printable implementieren (siehe die mit let cache beginnende Zeile).

Da oder nicht da

TypeScript räumt mit einer weiteren JavaScript-Schwäche auf: der nur rudimentär vorhandenen Kapselung von Klassen-Methoden und -Eigenschaften. Zwar kann man sie seit ES2022 (ECMAScript, der JavaScript zugrundeliegende Standard) mit einem vorangestellten Doppelkreuz als privat und damit nicht von außen zugänglich markieren, aber schick ist das nicht:

```
class Demo {
  #iAmInvisible = 42;
  getValue() {
    return this.#iAmInvisible;
  }
}

const obj = new Demo();
console.log(obj.getValue());
console.log(obj.#iAmInvisible);
```

Das erste console.log() gibt erwartungsgemäß 42 aus, das zweite produziert einen Syntax-Fehler.

Einer älteren Konvention zufolge markiert man Methoden und Eigenschaften, die eine Klasse nur intern verwenden soll, mit einem vorangestellten Unterstrich, zum Beispiel _internalUseOnly. Zugriffe darauf von außerhalb der Klasse kreidet JavaScript aber nicht zur Laufzeit an.

TypeScript geht den sauberen Weg vieler anderer Sprachen wie C++, Java oder Swift: Was nur klassenintern zur Verfügung steht, wird als private gekennzeichnet, was darüber hinaus auch in daraus abgeleiteten Klassen verfügbar sein soll als protected. Und public besagt, dass der Zugriff von überall erlaubt ist. Es gilt public, wenn kein Zugriffsmodifizierer angegeben ist.

Obiges würde man in TypeScript also wie folgt formulieren:

```
class Demo {
  private iAmInvisible = 42;
  getValue() {
    return this.iAmInvisible;
  }
}

const obj = new Demo();
console.log(obj.getValue());
console.log(obj.iAmInvisible);
```

Der TypeScript-Compiler beschwert sich mit „Property 'iAmInvisible' is private and only accessible within class 'Demo'“.

Aufzählungen

JavaScript mangelt es auch an Aufzählungen (enumerations), die dafür prädestiniert sind, konstanten Werten sprechende Namen zu geben. TypeScript rüstet sie nach:

```
enum Status {
  Pending,
  InProgress,
  Completed,
  Failed,
}

console.log(Status.Completed);
```

Intern vergibt TypeScript für die gelisteten Namen von 0 an wachsende Werte, wie man im daraus entstehenden, trickreichen JavaScript-Code sieht:

```
var Status;
(function (Status) {
```

```
Status[Status["Pending"] = 0]
  = "Pending";
Status[Status["InProgress"] = 1]
  = "InProgress";
Status[Status["Completed"] = 2]
  = "Completed";
Status[Status["Failed"] = 3]
  = "Failed";
})(Status || (Status = {}));
```

Auf diese Weise entsteht in Status das folgende Objekt:

```
{
  '0': 'Pending',
  '1': 'InProgress',
  '2': 'Completed',
  '3': 'Failed',
  Pending: 0,
  InProgress: 1,
  Completed: 2,
  Failed: 3
}
```

Diese nachgeahmte Enumeration liefert auf Status.InProgress also nicht nur den eindeutigen Wert 1, sondern man bekommt auch gleich die Umkehrfunktion dazu, die auf Status[1] den String "InProgress" ausspuckt.

Aus alt wird neu

Das solls erst mal mit den wichtigsten Features in puncto Typisierung gewesen sein. Wenn wir Ihr Interesse an TypeScript geweckt haben, schreiben Sie uns gerne, ob wir auf weitere Aspekte eingehen sollen. Es gibt nämlich noch so viel mehr zu sagen, zum Beispiel über generische Programmierung, Dekoratoren oder das Handling von null und undefined.

Falls Sie mit dem Gedanken liebäugeln, eigene Projekte von JavaScript nach TypeScript zu portieren, zagen Sie nicht. Sie stehen damit vor keiner Herkulesaufgabe. Denn weil jedes gültige JavaScript-Programm ein gültiges TypeScript-Programm ist, müssen Sie Ihre Codebasis nicht in einem Rutsch umschreiben, sondern können das peu à peu tun. Viel Erfolg! (ola@ct.de) 

Literatur

[1] Oliver Lau, FAQ: Programmieren lernen, c't 10/2025, S. 162

Quellcode bei GitHub, TypeScript-Dokumentation: ct.de/yrq4



Life is
what you
Make:
it

Hannover

Maker Faire®

23.–24. Aug. 2025

Zeigt eure Projekte!

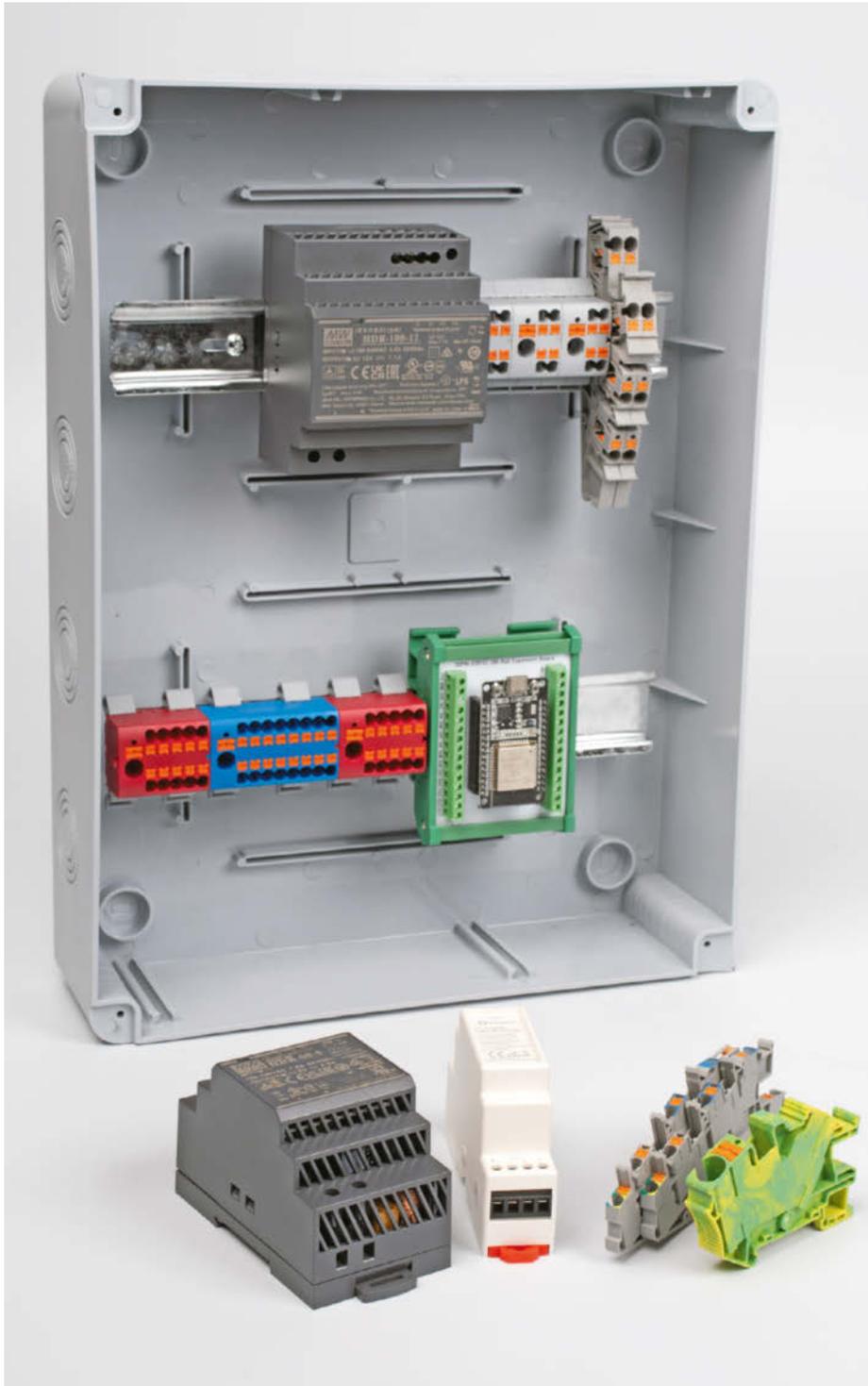
Private Maker, Bildungseinrichtungen, Makerspaces, offene Werkstätten, Vereine, uvm.

Wir haben für euch kostenfreie Standflächen.

Jetzt informieren und bewerben!

**Bewerbungsschluss
für Aussteller ist der
1. Juni 2025**

maker-faire.de/hannover



Bastelprojekte mit Raspberry Pis, ESPs oder anderen Mikrocontrollern können ziemlich dahingefuscht aussehen, wenn die Platinen offen herumliegen. Das ist bei Provisorien und kurzen Tests kein Drama. Doch Dauerinstallationen sollten Sie ordentlich anschließen – mit diesen Bauteilen gelingt's.

Von Andrijan Möcker

Eine Binsenweisheit lautet: Nichts hält länger als ein Provisorium. Elektronikbastler kennen das: Man macht mal eben das Controller-Platinchen für die adressierbare LED-Lichterkette, die helligkeitsgesteuerte Gartenbeleuchtung oder den überschussgeführten Heizstab im Warmwasserspeicher fertig und verdrahtet alles lose in irgendeinem Projektgehäuse oder einer Plastikdose – und ehe man sich versteht, ist ein Vierteljahr vergangen und der Kabelverhaue immer noch in Betrieb.

Wenn in solchen Installationen Fehler auftreten, führen diese im besten Fall nur zu einem Ausfall eines Komforts, an den man sich viel zu schnell gewöhnt hat. Im schlimmsten Fall kommt es aber zu durch Elektrizität ausgelösten Bränden oder Personenschäden. Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass die Hausratversicherung sich weigert, die Folgen des Pfusches zu bezahlen.

Die Lösung ist, sich das richtige Grundlagenwissen anzueignen, Elektronikprojekte für langfristigen Einsatz in Hutschienenverteilerkasten einzubauen, strukturiert zu verdrahten und regelmäßig zu kontrollieren. Im Folgenden zeigen wir, mit welchem Material Sie Bastelprojekte auf die Hutschiene bringen und was Sie benötigen, um die Verdrahtung sauber, sicher und nach aktuellen Standards zu erledigen.

Bitte beachten Sie den Kasten auf der gegenüberliegenden Seite, bevor Sie weiterlesen.

Hutschienenhalter & Break-out Boards

Das Mikrocontroller- beziehungsweise Single-Board-Computer-Platinchen ist das Herzstück jeder Installation. Die gängigsten Varianten – ESP8266, ESP32 und Raspberry Pi – auf die Schiene zu bekom-

Schicker Schrank!

Raspi, ESP & Co.: IoT-Bastelprojekte auf der Hutschiene installieren

men, ist meist kein Problem: Man hat so wohl bei hiesigen Anbietern als auch bei chinesischen Versandhändlern wie Ali-Express eine gute Auswahl an Hutschienenhalterungen.

Die beiden bei Bastlern beliebtesten WLAN-Mikrocontroller sind wohl der Espressif ESP8266 und sein Nachfolger ESP32. Für gängige ESP-Platinchen bekommt man beim Bastelbauteilehersteller eletechsup (AliExpress) Break-out Boards inklusive Hutschienenhaltung: Halter für ESP32-Platinchen mit 30 oder 38 Pins kosten rund 9 Euro pro Stück; Gleiches zahlt man für die beim ESP8266 übliche Bauform „NodeMCU“ mit 30 Pins.

Neben der vernünftigen Unterbringung haben die Halterungen noch einen weiteren großen Vorteil: Alle Pins werden in Schraubklemmen herausgeführt. Wer zuvor mit Jumper-Kabeln gearbeitet hat, weiß, wie leicht diese versehentlich abgezogen werden können. Wir haben für diesen Artikel eine Halterung für 30-beinige ESP32 bestellt und konnten flexible Kabel bis 1 mm² Querschnitt inklusive Aderendhülse verbinden. Das genügt reichlich für Spannungsversorgung und Signalleitungen – und ohne Schraubendreher löst sich kein Draht mehr.

Da sich bei den Herstellern von ESP-Boards mittlerweile ein gewisser Belegungsstandard etabliert hat, sind auch die Schraubklemmen beschriftet; nerviges

Abzählen auf der Platine und den Klemmen entfällt.

Wers lieber offline mag, findet bei eletechsup übrigens auch Hutschienenhalter für Arduinos. Alle erwähnten Halter finden Sie mit den Suchbegriffen „ESP din rail“ bei AliExpress.

Raspi on Rails

Bei unseren Recherchen für diesen Artikel konnten wir für den Raspi zwar keine simplen Break-out-Halter wie die für ESPs entdecken. Es gibt jedoch eine Reihe von Hutschienengehäusen, die das Einbauen von Hats (Hardware on top, alias „Shields“) noch zulassen, sowie passende GPIO-Hats, die die GPIOs an Schraubklemmen führen.

Rund 20 Euro zahlt man für das MPO01137 von Multicomp Pro, ein umschließendes Gehäuse für Pi 4, in dem die Platine mit der Oberseite zur Schiene sitzt. Laut Hersteller ist Platz für Hats; angeschlossene Kabel führt man durch Gehäuseöffnungen nach außen. Umständlich ist, dass man das Gehäuse für Arbeiten zerlegen muss.

Wer das nicht mag, kann auch die „DIN-Schienenhaltung“ von KKSBB für 12 Euro nutzen. Die Metallaufnahme hält den Pi fest an der Schiene, belässt ihn aber ansonsten relativ nackt, sodass man problemlos an Hats herankommt. Besitzer eines 3D-Druckers können eine ver-

c't kompakt

- ESPs, Raspberry Pis et cetera kann man mit passenden Haltern auf der Hutschiene montieren.
- Mit günstigen Halterungen kann man ESPs und Raspis in den Verteilerschrank bringen.
- Beim Schalten von größeren Lasten muss man besonders genau auf Datenblätter achten.

gleichbare Halterung auch selbst ausdrucken. Vorlagen gibt es unter anderem auf der Plattform Thingiverse (siehe ct.de/y8dq).

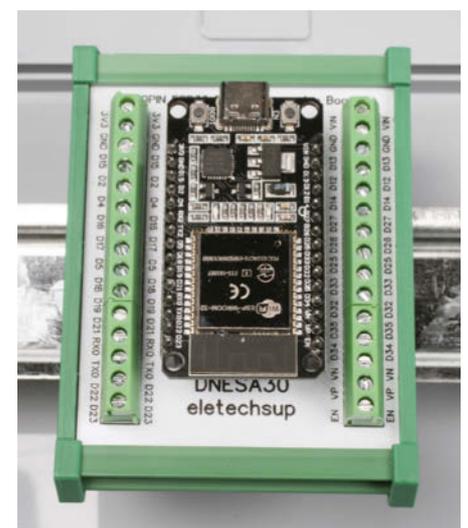
Passende GPIO-Hats mit Schraubklemmen gibt es etwa von Freenove oder GeekPi. Achten Sie bei der Auswahl besonders darauf, dass der Hat mit dem Raspberry Pi an mindestens zwei Punkten verschraubt werden kann. Es gibt auch Hats, die nur auf der Pinleiste des Raspis sitzen, und die hält mechanischen Belastungen nur begrenzt stand.

Wollen Sie ohnehin nur binäre Verbraucher schalten, ist das RPi Relay Board (B) von Waveshare spannend für Sie. Die Platine inklusive Hutschienenhalter kostet etwa 30 Euro und besitzt acht unabhängige



Platine mit der Oberseite zur Schiene sitzt. Laut Hersteller ist Platz für Hats; angeschlossene Kabel führt man

durch Gehäuseöffnungen nach außen.



Dieses Break-out Board von eletechsup führt alle Pins des ESP32 an Schraubklemmen heraus. Das erleichtert nicht nur das Anschließen, sondern stellt auch sicher, dass Kabel nicht versehentlich abgezogen werden können.

Sicherheitshinweise

Sobald das Bastelprojekt nicht nur mit Kleinspannung arbeitet, sondern 230 Volt im Spiel sind, ist Vorsicht angeraten: Die Niederspannungsanschlussverordnung (NAV) verbietet Ihnen das Errichten oder Abändern von elektrotechnischen Anlagen, sofern Sie nicht eine im Installateursverzeichnis Ihres Netzbetreibers eingetragene Fachkraft sind (§13 Abs. 2 NAV). Das Installieren eines Verteilerkastens mit Steuerungstechnik für Netzspannung ist eine solche Arbeit. Dieser Artikel trägt der Erkenntnis Rechnung, dass Bastler diese Vorschrift häufig bewusst missachten, und soll ohne Anspruch auf Vollständigkeit dazu beitragen, dass sie dabei wenigstens entsprechende Standards einhalten.

Dieser Artikel soll indes nicht zu unqualifizierten Elektroarbeiten anstiften: c't rät ausdrücklich davon ab, Elektroinstallationen selbst und ohne Hilfe einer Elektrofachkraft zu verrichten. Elektrizität beziehungsweise eine nicht fachgerecht ausgeführte elektrische Installation kann Sie und andere schwer verletzen oder töten sowie, etwa durch Brände, erhebliche Schäden anrichten.

Wir empfehlen, dass Interessierte sich vor Projektbeginn mehrere Wochen Zeit zur Aneignung der elektrotechnischen Grundlagen nehmen und einen Fachbetrieb suchen, der bereit ist, Installationen mit Eigenleistung zu prüfen und anzuschließen.



Bild: BerryBase

Die DIN-Schienenhalterung von KKSB befestigt einen Raspberry Pi im Verteilerkasten. Ergänzt man ihn um einen GPIO-Break-out-Hat mit Schraubkontakten, eliminiert man Jumperkabel als Fehlerquelle.

ge 10-Ampere-Relais – COM, NO und NC sind für jedes Relais ausgeführt.

Höhere Ansprüche an Qualität und Support erfüllt die italienische Firma Sferalabs mit dem schaltschranktauglichen Strato Pi Max aus der Strato-Pi-Serie. Er wartet mit industrietypischen 24-Volt-Ein- und -Ausgängen auf. Der Einstiegspreis liegt allerdings auch bei etwas über 400 Euro.

Netzteile

Hutschienennetzteile gibt es etwa von Popstar, Goobay oder Puls. Besonders beliebt bei Bastlern ist jedoch Mean Well. Dessen HDR-Serie ist speziell für den Einbau in Elektroverteiler gedacht und umfasst Netzteile mit 5, 12, 24 und 48 Volt Ausgangsspannung und 15, 30, 60, 100 und 150 Watt Ausgangsleistung.

MDR, DRA und NDR sind weitere Netzteilserien für die Schiene. Diese sind aber so tief, dass sie nur in Schaltschränke und nicht in Elektroverteiler passen. Schaltschränke bestehen aus offen liegenden Hutschienen, die von Verkabelungskäufen umgeben sind, haben aber anders als Elektroverteiler keine weitere Abdeckung mit Bedienöffnung vor den Bauteilen.

Wichtig für die Planung des Verteilers ist die Verlustleistung des Netzteils, also der Teil, der in Wärme aufgeht. Mean Well gibt etwa für das HDR-100-12 eine Effizienz von 88 Prozent und eine Spitzenleistung von 85,2 Watt an. Teilt man diese Spitzenleistung durch 0,88 erhält man die

aus dem Netz bezogene Leistung, etwa 96,8 Watt. Subtrahiert man die 85,2 Watt davon, erhält man die Verlustleistung bei Spitzenlast: 11,6 Watt.

Ob und wann diese Wärmeentwicklung problematisch ist, lässt sich schwer pauschal sagen: In kalten Winternächten, in denen das Netzteil im Außenbereich bunte Weihnachtsbeleuchtung versorgt, mögen sich 12 Watt Wärme einfach versenden. Im Sommer könnte das Gehäuse hingegen zur Mikrocontroller-Sauna werden. Schalten Sie indes nur 230-Volt-Verbraucher über einige Relais, haben Sie vermutlich nichts zu befürchten, wenn das Gehäuse im Schatten sitzt.

Wir empfehlen, Schaltkästen grundsätzlich im Schatten zu montieren und, sofern Sie größeren Wärmeverlust durch Leistungselektronik zu erwarten haben, eine Temperaturüberwachung. Die lässt sich etwa mit einem Dallas DS18B20 gut umsetzen, wenn Sie sowieso einen ESP oder einen Raspi im Gehäuse haben.

Schaltelemente

230-Volt-Verbraucher zu schalten, gehört zu den Smart-Home-Basics. Smarte Schaltsteckdosen gibt es allerlei, aber wer gerne bastelt, nimmt dafür auch schon mal eine Relaisplatine. Diese gibt es günstig mit vielen Relais und sie sind meist so vorbereitet, dass man die GPIOs von Arduinos, ESPs oder Raspis direkt verbinden kann.

Als Einsteiger kann man sich von solchen Relais schnell verwirren lassen: Häufig sind sie beispielsweise mit „10A 250VAC“ beschriftet, also 10 Ampere Nennstrom bei 250 Volt Wechselspannung.

Multipliziert man den Maximalstrom mit der europäischen effektiven Wechselspannung von 230 Volt, erhält man 2300 Voltampere – die Scheinleistung, die das Relais höchstens schalten darf. Unserer Erfahrung nach sollten Sie diese Angabe allerdings bei diesen, im Fachjargon „Miniaturrelais“ genannten Schaltbauteilen, als absolut grenzwertiges Maximum betrachten und nicht als das, was man beruhigt damit schalten kann.

In den meisten Relais-Datenblättern findet man nämlich kaum Hinweise darauf, ob diese 10 Ampere dauerhaft oder nur eine begrenzte Zeit durch das Relais fließen dürfen, auf welche Lastkategorie sich die Angabe bezieht und wo die Grenzen für kurzzeitig höhere Ströme liegen. Das wäre aber wichtig, denn das, was auf den Typenschildern der Geräte steht, die man gerne schalten möchte, ist häufig nur die Wirkleistung über längere Zeit.

Einschaltströme können leicht das Fünf- bis Zwanzigfache dieser Angabe sein; eine Gartenpumpe mit 1300 Watt (5,6 Ampere) durchschnittlicher Leistungsaufnahme benötigt möglicherweise für einige hundert Millisekunden 50 Ampere, also satte 11 Kilowatt, um die Trägheit beim Einschalten zu überwinden und ins Drehen zu kommen. LED-Treiber und andere Netzteile laden möglicherweise spannungsglättende Kondensatoren 10 bis 30 Millisekunden lang mit 20 bis 100 Ampere.

Das ist bei modernen Elektroverteilungen in dieser Kürze kein Problem und die absichtliche Trägheit von Leitungsschutzschaltern verhindert, dass der Kreis wegen Überlast abgeschaltet wird. In Mi-



Hutschienen-Netzteile wie diese von MeanWell gibt es günstig und mit typischen Gleichspannungen zwischen 5 und 48 Volt.

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
Tickets
sichern!

mastering-obs.de

Veranstalter



 dpunkt.verlag



// heise devSec()

Die Konferenz für sichere Softwareentwicklung

30. September und 1. Oktober 2025 • Regensburg

Sichere Software beginnt vor der ersten Zeile Code...

Die heise devSec ist das **Fortbildungs- und Networking-Event** für Softwareentwickler und Softwarearchitektinnen, die **Verantwortung tragen für die Sicherheit der Software.**

Jetzt
Frühbucher-
tickets
sichern!

heise-devsec.de

Veranstalter



 heise Security

 dpunkt.verlag



niaturrelais kann diese Stromstärke jedoch zu Einschaltfunken und kurzzeitig hohen Kontakttemperaturen führen – wer schon mal einen Funken beim Einstecken eines Netzteils und die anschließende leichte Verrußung beobachtet hat, weiß, was gemeint ist.

Ähnliches passiert bei induktiven Lasten, bei denen die Kurve des Wechselstroms der der Wechselspannung „hinterhereilt“. Das ist etwa bei Motoren der Fall – also auch bei unserer beispielhaften Gartenpumpe. Schaltet man das Relais während des Pumpbetriebs, entsteht zwischen den Kontakten ein Abrissfunke, dessen Hitze Kontaktmaterial abträgt und somit das Relais beschädigt.

Auf Dauer kann dieser Kontaktbrand beim Ein- und Ausschalten dann zum Risiko werden, denn er erzeugt einen Übergangswiderstand, der wiederum zu Verlustwärme führt und auch das Auslösen von Sicherungsautomaten verzögern oder sogar behindern kann. Mit billigen Miniaturrelais sollten Sie also höchstens kleinere Lasten von wenigen hundert Watt schalten, etwa Beleuchtungen.

Schütze

Um größere Lasten zu schalten, steuert man mit dem Miniaturrelais ein weiteres Schaltelement, das besser für hohe Ströme geeignet ist: ein Schütz. Schütze selbst benötigen nur wenige Watt im eingeschalteten Zustand, können also problemlos mit Miniaturrelais geschaltet werden.

Der große Vorteil gegenüber Miniaturrelais: Die Kontaktabstände von Schützen sind größer und sie besitzen eine Funkenlöschkammer, die die Abrissfunken „zerhackt“, sodass sie schneller und mit geringerer Abnutzung verlöschen.

Anders als bei den meisten Miniaturrelais schreiben die Hersteller von Schützen klar, was man damit schalten darf. Dazu gibt es in der DIN EN IEC 60947-1 (Norm für Niederspannungsschaltgeräte) die Gebrauchskategorien, die jeweils die Art der Last definieren. Relevant für Heimbastler sind die Kategorien AC-7a und AC-7b, die „schwach induktive Last für Haushalts- und ähnliche Anwendungen“ sowie „Motorlasten für Haushaltsanwendungen“ meinen (Wikipedia-Artikel: [ct.de/y8dq](https://de.wikipedia.org/wiki/AC-7a)).

Das ESB25-40N-06 etwa – ein Installationsschütz von ABB Stotz-Kontakt, das man für rund 20 Euro in vielen Baumärkten bekommt – kann AC-7a-Lasten bis 25 Ampere und AC-7b-Lasten bis 9 Ampere

schalten. Wichtig ist jedoch auch die Bemessungsbetriebsleistung, die beschreibt, welche Wirkleistung das Schütz tatsächlich schalten darf. In diesem Fall einphasig 1,3 kW, sodass die Gartenpumpe bereits grenzwertig ist. Wer auf Nummer sicher gehen möchte, greift dann zum nächst größeren Schütz; bei ABB wäre das das ESB40 mit 3,7 kW einphasiger Bemessungsbetriebsleistung für AC-7b-Lasten.

Beachten Sie auch, dass diese Limits nicht notwendigerweise pro Kontakt gelten, sondern über das ganze Schütz hinweg. Wie hoch das Limit für dreiphasige Nutzung ist, können Sie ebenfalls den Datenblättern entnehmen.

Schütze für unterschiedlichste Anwendungsfälle gibt es außer von ABB unter anderem auch von Hager, Finder, Eaton, Siemens oder Eltako. Achten Sie bei der Auswahl darauf, Installationsschütze zu nehmen und nicht solche für Schaltschränke; wie bei den Netzteilen sind manche davon zu tief, sodass sie an der Verteilerabdeckung anstoßen.

Schütze gibt es zudem als Öffner und als Schließer – haben Sie das bei der Auswahl im Blick.



Installationsschütze wie das ESB25-40N-06 von ABB sind wesentlich besser zum Schalten größerer Lasten geeignet als die Miniaturrelais aus dem Bastelbedarf. Dank Gebrauchskategorie erfährt man im Datenblatt genau, welche Leistung bei welcher Lastform geschaltet werden darf.

Kabel

Verteilergehäuse beziehungsweise die eingebauten Komponenten ordentlich zu verdrahten, erleichtert die Fehlersuche und macht das Projekt insgesamt ansehnlicher. Starrleiter, wie in Mantelleitungen (NYM-J) zur Festinstallation, sind dabei mittlerweile aus der Mode gekommen; der Elektriker verdrahtet heute mit feindrätiger Einzelader des Typs H05V-K und H07V-K. Sie erleichtert das Verlegen im Schrank und das Zusammenfassen der Kabel in Bündeln durch ihre Flexibilität erheblich.

H05V-K besitzt eine dünnere Isolierung, die zwar eine geringere Isolationsspannung von 300 beziehungsweise 500 Volt (gegen Erde, zwischen zwei Leitern) bedeutet, aber im Heimbereich völlig ausreicht. H07V-K (450/700 Volt) ist robuster und damit industrietauglich, ist aber oberhalb von 1 mm² Leiterquerschnitt mittlerweile auch außerhalb von rauen Umgebungen der Standard. Die meisten Elektrofachhändler verkaufen H05V-K nur bis 1,5 mm² oder sogar nur bis 1 mm² Leiterquerschnitt.

Beide Leitungstypen sind indes in allerhand Farben verfügbar, sodass man die Verwechslungsgefahr bei Installationen, in denen Steuersignale (zum Beispiel 3,3 oder 5 Volt), Kleinspannung (5, 12 oder 24 Volt) und Niederspannung mit 230 Volt in einem Kasten verwendet werden, drastisch reduzieren kann. Während Braun, Schwarz, Grau, Blau und Grün-Gelb (L1, L2, L3, N, PE) für Niederspannungsverteilung belegt sind, bieten sich etwa Rot und Weiß für Kleinspannung an. Orange, Violett und Rosa bleiben für Steuersignale.

Um feindrätige Einzelader sicher einzusetzen, benötigen Sie neben einer automatischen Abisolierzange mit einstellbarer Absetzlänge auch noch Aderendhülsen sowie eine passende Crimpzange. Aderendhülsen sind bei Kontakten unerlässlich, bei denen eine Schraube den Leiter in der Klemme fixiert – etwa bei günstigen Relaisplatinen. Sind die feinen Drähte nicht in eine Aderendhülse gequetscht, werden sie möglicherweise von der Schraube auseinandergedrückt, was den tatsächlichen Leiterquerschnitt in der Kontaktstelle reduziert.

In der Elektrikerszene ist bei Zangen zwar die Firma Knipex das Maß der Dinge, doch Bastler kommen auch mit günstigeren Sets weniger bekannter Marken zum Ziel. Sie können wahlweise manuelle Zan-

gen mit Backen für typische Leiterquerschnitte kaufen oder auch selbsteinstellende Zangen; Letztere sind deutlich komfortabler.

Das Verlöten von Litze, um sie für Schraubklemmen vorzubereiten, ist ein No-Go. Während der Draht im kalten Zustand fest unter der Schraube sitzen mag, kann er sich unter elektrischer Last stark erwärmen, was das Lötzinn weich werden lässt. Die Konsequenz ist Übergangswiderstand.

Reihenklemmen und Verteilerblöcke

Die im Kasten mit Einzelader errichtete Verdrahtung wird keinesfalls mit herumhängenden Hebel- oder gar Lüsterklemmen an die von außen herangeführten Kabel angeschlossen. Dafür nutzt der versierte Bastler Durchgangs-Reihenklemmen, die typischerweise auf der obersten Schiene platziert werden. Sie sind dünn, günstig und machen die Installation nicht nur ansehnlicher, sondern sparen auch weitere Verdrahtungsarbeit: Mithilfe von Brücken kann man etwa mehrere spannungsführende Abgänge auf ein Schütz legen und gleich alle ankommenden Nullleiter verbinden. Gleiches gilt für den Schutzleiter, den viele Dreistock-Reihenklemmen mit PE-Anschluss auf die Hutschiene legen, sodass keine Brücke nötig ist.

Reihenklemmen gibt es etwa von Phoenix Contact, Weidmüller, Wago oder Wieland; die einfachsten ab rund 90 Cent pro Stück. Die Auswahl ist riesig und die Details sind eine Wissenschaft für sich. Besonders wichtig, außer dem Leiterquerschnitt und dem Bemessungsstrom: die Anzahl der Etagen und die Anzahl der Anschlusspunkte pro Etage. Hat eine Reihenklammer nur eine Etage, sind alle Kontakte miteinander verbunden.

Weitere Informationen zu Reihenklemmen finden Sie verlinkt unter ct.de/y8dq.

Um schwebende Klemmen auch bei der Verdrahtung innerhalb des Kastens zu vermeiden, können Sie Verteilerblöcke (alias Verteilerklemmen) nutzen. Besonders umfangreich ist die PTFIX-Serie von Phoenix Contact; der Hersteller bietet dutzende Verteilerblöcke zur Hutschiene-montage in allerhand unterschiedlichen Farben, Leiterquerschnitten und mit unterschiedlich vielen Abgängen an. Wahlweise hat der Block auch einen Kontakt mit größerem Querschnitt, um viel Leistung auf kleinere Verbraucher zu verteilen.



Reihenklemmen wie diese von Phoenix Contact erlauben es, den Verteiler noch vor der Wandmontage vorzuverdrahten und dann nur noch ankommende Kabel anzuschließen.

Sowohl Reihenklemmen als auch Verteilerblöcke sind meist mit Federklemmen ausgestattet, wodurch Sie feindrähtige Leiter nicht mit Aderendhülsen bestücken müssen.

Verteilergehäuse

Dank vielfältiger Auswahl bei Onlinehändlern ist die Suche nach einem Verteilergehäuse leicht. Bevor Sie sich für eines entscheiden, sollten Sie jedoch Ihren Platzbedarf ermitteln. Der Elektriker plant den Kasten in sogenannten Teilungseinheiten (TE), einer Hilfseinheit aus dem Verteilungsbau. 1 TE entspricht 18 Millimetern, was genau der Breite eines modernen Leitungsschutzschalters entspricht.

Wer Wert auf lokale Hersteller legt, kann etwa bei f-tronic, Hager, Hensel oder Spelsberg Feuchtraum- oder Kleinverteiler mit unterschiedlichen Schutzgraden (IP) finden. Wenn es mehr ums Geld geht, können Sie auch bei Amazon oder eBay mit Suchbegriffen wie Kleinverteiler, Sicherungskasten oder Feuchtraumverteiler zum Ziel kommen.

Planen Sie die Installation im Außenbereich, aber im Schutz eines Carports, einer Gartenhütte oder eines Vordachs, genügt die Schutzklasse IP54 – Schutz gegen Staub und Spritzwasser. Exponiert an Außenwänden sollten Sie sich für IP65 entscheiden, was Schutz gegen Strahlwasser aus allen Richtungen impliziert.

Besitzt der von Ihnen ausgewählte Verteiler keinen Einführungsflansch mit Gumminippeln, müssen Sie noch Kabel-

verschraubungen einplanen. Diese schützen nicht nur vor dem Eindringen von Staub und Feuchtigkeit, sie bieten auch eine gewisse Zugentlastung. Geläufig sind M20, M25, M32 und M40; Details dazu, welche Bohrungen der von Ihnen gewählte Kasten hat, finden Sie im Datenblatt. Ein Tipp aus persönlicher Erfahrung: Gerade bei günstigen Verteilern brechen die Sollbruchstellen häufig nicht, wie sie sollen; nutzen Sie einen Stufenbohrer, um Risse durchs halbe Gehäuse zu vermeiden, wenn Sollbruchstellen gefühlt zu viel Gewalt verlangen.

Teurer, aber wertvoll

Die hier gezeigten Bauteile und Verdrahtungsoptionen erhöhen zweifelsohne den Preis der Bastelei: Halterungen, Schütze, Relais, Verteiler und Reihenklemmen – da kommt was zusammen. Doch wenn das Bastelprojekt zur Dauerinstallation wird, sollten Sie nicht sparen, sondern in eine saubere Ausführung investieren.

Das reduziert nicht nur die Wahrscheinlichkeit, dass überhaupt etwas passiert, erheblich. Im Schadensfall können Sie dank der Abnahme durch einen Elektriker beweisen, dass Sie Ihrer Sorgfaltspflicht nachgekommen sind. Zuletzt wird Ihnen der sauber aufgebaute, langlebige Verteiler bei Ihren regelmäßigen Kontrollen alle paar Monate eine befriedigende Freude machen, wie ein unübersichtlicher Kabelsalat es nie könnte. (amo@ct.de) **ct**

Links zu Produkten: ct.de/y8dq



Noch leiseres Kraftpaket

c't-Bauvorschlag Ryzen-9000-PC mit Radeon RX 9070

Die Grafikkarte für unseren High-End-Rechner aus c't 28/2024 gibt es nicht mehr zu kaufen. Wir haben eine gleich teure Alternative parat, die leiser und schneller ist.

Von Christian Hirsch

Zur Vorweihnachtszeit hatten wir neue c't-Bauvorschläge im Rahmen des optimalen PC veröffentlicht. Dazu gehört unter anderem der Ryzen-9000-PC in drei verschiedenen Varianten [1]. Die für die Gaming- und Gaming+Compute-Version empfohlene Grafikkarte GeForce RTX 4070 Super ist wegen des Generationswechsels bei Nvidia jedoch nicht mehr lieferbar. Weil die restliche Hardware immer noch topaktuell ist und zahlreiche Leser unseren Rechner jetzt oder in den kommenden Monaten nachbauen wollen, haben wir nach einer Alternative gesucht.

Die Wahl fiel dabei relativ schnell auf die AMD Radeon RX 9070, denn die GeForce-RTX-5000-Serie hat beziehungsweise hatte mit zahlreichen Schwierigkeiten wie mangelhafter Verfügbarkeit, geringem Leistungsplus und Treiberproblemen zu kämpfen. Im Vergleich zur im Dezember empfohlenen GeForce RTX 4070 Super kostet die von uns ausgewählte PowerColor-Karte mit 730 Euro ähnlich viel, bietet aber einige Vorteile. Sie tritt mit der gleichen Board-Power von 220 Watt an, sodass beim Netzteil und bei den Lüfterkurven keine Änderungen notwendig sind. Sie verwendet zwei herkömmliche achtpolige PEG-Stromstecker statt des empfindlichen 12V-2x6-Anschlusses aktueller GeForce-RTX-5000-Karten [2].

Radeon statt GeForce

Im Unterschied zur GeForce RTX 4070 spendiert AMD der Radeon RX 9070 16 statt 12 GByte lokalen Speicher, wovon nicht nur 3D-Spiele bei hohen Auflösungen, sondern auch KI-Anwendungen profitieren können. Bei der Auswahl der konkreten Grafikkarte haben wir darauf geachtet, dass sie möglichst leise arbeitet. Schlussendlich haben wir uns für die PowerColor Hellhound Radeon RX 9070 mit drei Lüftern entschieden, die bei geringer Last stoppen. Sie steuert wie die GeForce-Karte über 3 × DisplayPort und 1 × HDMI vier 4K-Displays gleichzeitig an. Verwendet man parallel die drei Monitoranschlüsse des Mainboards von der integrierten GPU der Ryzen-Prozessoren, lassen sich somit sieben Displays gleichzeitig am Ryzen-9000-PC betreiben.

Der Zusammenbau folgt größtenteils dem im Ursprungsartikel Beschriebenen. Im Unterschied dazu bestücken Sie das ATX-Netzteil nicht mit dem PCIe-5.0-Kabelstrang, sondern mit den beiden PCIe-Strängen. Am oberen Rand der PowerColor Hellhound Radeon RX 9070 gibt es zwei kleine Schalter. Damit die Karte schön leise arbeitet, müssen Sie den linken in die rechte Position schieben. Dann lädt die Grafikkarte das Silent-Lüfterprofil beim Start. Mit dem rechten Schalter können Sie die Beleuchtungseffekte ein- und ausschalten.

Kurz vor Schluss, wenn alle anderen Komponenten bereits fertig montiert sind, setzen Sie die Grafikkarte in den obersten PEG-Slot des Mainboards neben dem CPU-Kühler. Nach dem Festschrauben an der Slotblende an der Rückseite des Gehäuses kommen noch die beiden achtpoli-



Damit die Radeon-Grafikkarte schön leise arbeitet, muss der linke Schiebeshalter in der Silent-Position stehen.

gen Stromanschlüsse an die Grafikkarte. Fertig ist der Ryzen-9000-PC mit Radeon-RX-9070-Grafikkarte.

Leiser und schneller

Die alternative Grafikkartenempfehlung bringt in nahezu allen Disziplinen Vorteile. Im 3DMark Steel Nomad erreicht die Radeon-Karte eine um 25 Prozent höhere Grafikleistung als die ursprüngliche GeForce RTX 4070 Super. In 3D-Spielen machen sich die 16 statt 12 GByte Grafikspeicher vor allem bei hochauflösenden Monitoren bezahlt. Bei Cyberpunk 2077 liegt die Bildrate bei 4K-Auflösung ohne Raytracing um über 30 Prozent höher. Mit Raytracing reicht die Performance beider Karten für flüssiges Spielen bei Full HD. Die Bildrate liegt sowohl bei Cyberpunk 2077 als auch bei Stalker 2: Heart of Chernobyl über 60 fps. Auch im Flugsimulator 2024 geht es ruckelfrei durch die Wolken. In der Qualitätsstufe „Hoch“ erreicht die Radeon-Karte 40 bis 50 fps. Durch Zuschalten der Upscaling-Funktion FSR2 in der Einstellung „Qualität“ steigt die Bildrate ohne sichtbaren Qualitätsverlust um etwa 10 fps.

Mit der Radeon RX 9070 läuft der Ryzen-9000-PC beim Zocken noch etwas leiser als mit der GeForce RTX 4070 Super: Die Gaming-Variante mit dem Ryzen 7 9800X3D ist mit 0,2 Sone flüsterleise. Die Compute+Gaming-Variante mit

Leistungsvergleich Ryzen-9000-PC unter Windows 11: Leistungsaufnahme und Geräuschentwicklung

	Geräuschentwicklung: Leerlauf / 3D-Spiel [Sone]	Geräuschentwicklung: CPU-Last / Volllast CPU+GPU [Sone]	Leistungsaufnahme Leerlauf / 3D-Spiel [W]	Leistungsaufnahme: CPU-Last / Volllast CPU+GPU [W]
	◀ besser	◀ besser	◀ besser	◀ besser
Gaming: 9800X3D + RX 9070	▬ <0,1/0,2	▬ 0,7/1,8	▬ 52/325	▬ 210/429
Compute+Gaming: 9950X + RX 9070	▬ <0,1/0,4	▬ 0,7/1,8	▬ 54/350	▬ 316/512
zum Vergleich				
Gaming: 9800X3D + 4070 Super	▬ <0,1/0,5	▬ 0,7/1,8	▬ 51/363	▬ 207/433
Compute+Gaming: 9950X + 4070 Super	▬ <0,1/0,6	▬ 0,8/1,9	▬ 53/380	▬ 288/524

Leistungsvergleich Ryzen-9000-PC unter Windows 11: Benchmarks und 3D-Spiele

	3DMark Steel Nomad [Punkte]	Cyberpunk 2077, Ultra, RT, Full HD: P1 / Durchschnitt [fps]	Cyberpunk 2077, Ultra, 4K: P1 / Durchschnitt [fps]	Stalker 2: Heart of Chernobyl, RT, Episch, Full HD: P1 / Durchschnitt [fps]
	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶
Gaming: 9800X3D + RX 9070	▬ 5827	▬ 53/63	▬ 46/54	▬ 43/67
Compute+Gaming: 9950X + RX 9070	▬ 5828	▬ 53/62	▬ 46/54	▬ 36/63
zum Vergleich				
Gaming: 9800X3D + 4070 Super	▬ 4608	▬ 57/69	▬ 35/40	▬ 42/66
Compute+Gaming: 9950X + 4070 Super	▬ 4650	▬ 57/69	▬ 35/42	▬ 34/62

P1: Perzentil, 99 Prozent der Bildrate ist höher RT: mit Raytracing

dem 16-Kerner Ryzen 9 9950X erreicht beim Spielen mit 0,4 Sone ebenfalls die Note „sehr gut“. Im Leerlauf bleiben beide Konfigurationen wie gehabt unterhalb der Messgrenze unserer Schallmesskabine und sind aus einem halben Meter Entfernung auch in leisen Umgebungen akustisch nicht wahrnehmbar. Die übrigen Lautstärkemesswerte wie für CPU- und für Volllast ändern sich ebenfalls nicht.

Bei KI-Anwendungen ergibt sich ein etwas anderes Bild als bei 3D-Spielen. Nvidia verwendet das selbst entwickelte Framework CUDA, was auf die eigenen GPUs optimiert ist, die Radeons nutzen hingegen das offene ONNX-Format. Im Benchmark Procyon AI Image Generation mit Stable Diffusion schneidet die GeForce RTX 4070 Super deshalb rund 25 Prozent besser ab als die Radeon RX 9070. In allen anderen Anwendungen, die Berechnungen

ausschließlich auf dem Prozessor durchführen, gibt es keine Performance-Unterschiede zwischen den beiden GPUs.

Zum Schluss gibt es noch eine positive Nachricht für alle Leserinnen und Leser, die den Ryzen-9000-PC bereits im Einsatz haben: Mit dem kürzlich erschienenen Ubuntu 25.04 mit Kernel 6.14 funktioniert endlich der Ethernet-Chip Realtek RTL8125D, sodass der Rechner unter Linux nicht mehr nur per WLAN ins Internet kommt. (chh@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Christian Hirsch, Leises Kraftpaket, Bauvorschlag für einen leistungsfähigen High-End-PC für Gaming und Computing, c't 28/2024, S. 24
- [2] Christian Hirsch, Verschmorte Stromstecker bei GeForce RTX 5090, c't 6/2025, S. 45

Projektseite zum Bauvorschlag: ct.de/ycr7

Leistungsvergleich Ryzen-9000-PC unter Windows 11: Benchmarks und Anwendungen

	Cinebench 2024 1T [Punkte]	Cinebench 2024 MT [Punkte]	Blender 4.2.9 Classroom [s]	Procyon AI Image Generation (Stable Diffusion 1.5) [Punkte]	Handbrake 1.9.2, Fast 1080p30 [fps]	7-Zip 24.08 komprimieren [MByte/s]	PCMark 10 [Punkte]
	besser ▶	besser ▶	◀ besser	besser ▶	besser ▶	besser ▶	besser ▶
Gaming: 9800X3D + RX 9070	▬ 132	▬ 1318	▬ 252	▬ 2255	▬ 118	▬ 109	▬ 10589
Compute+Gaming: 9950X + RX 9070	▬ 134	▬ 2123	▬ 140	▬ 2243	▬ 159	▬ 165	▬ 10480
zum Vergleich							
Gaming: 9800X3D + 4070 Super	▬ 132	▬ 1318	▬ 250	▬ 2858	▬ 114	▬ 108	▬ 9916
Compute+Gaming: 9950X + 4070 Super	▬ 134	▬ 2123	▬ 142	▬ 2872	▬ 154	▬ 164	▬ 10248

Eng anliegend

Ultra-flache HDMI-Adapterkabel für Digitalkameras konfektionieren

Um Kompakt- oder Systemkameras für Selfies oder als Stream-Facecam von vorne zu bedienen, lässt sich das Display bei vielen Modellen seitlich ausklappen und nach vorne drehen. Doch dort sind auch die externen Anschlüsse, sodass das HDMI-Kabel das Display verdeckt. Mit einem selbst konfektionierten HDMI-Folienkabel haben Sie freie Sicht und schützen die HDMI-Buchse Ihrer Kamera vor Beschädigungen durch rohe Biegekräfte.

Von Mirko Dölle

Digitale Kompakt- und Systemkameras findet man nicht nur bei Hobbyfotografen, auch anspruchsvolle Live-Streamer bevorzugen solche mit optischem Zoom als Facecam. Sie sind in puncto Bildqualität den Webcams weit überlegen. Mangels Webcam-Funktion wird das Bild aber üblicherweise per HDMI von der Systemkamera in einen Framegrabber geleitet, auch Capture Card genannt, der als PCIe-Karte im Rechner steckt oder per USB angeschlossen ist.

Dabei verdeckt das HDMI-Kabel häufig das seitlich ausklappbare Display, denn üblicherweise befinden sich die Displayklappmechanik und die externen Anschlüsse allesamt auf der linken Seite – schließlich sind der Haltegriff und Auslöser rechts. Auch handelsübliche HDMI-Kabel mit Winkelstecker lösen das Problem nicht, da auch sie ein bis zwei Zentimeter aus dem HDMI-Anschluss hervorragen und damit ebenfalls im Bild zu sehen wären.

Flachstecker

Die Lösung kommt als besonders flacher HDMI-Stecker mit Folienkabelanschluss

aus dem Flugdrohnenzubehör. Dieser ragt nur etwa 3 bis 5 Millimeter aus dem HDMI-Anschluss der Kamera heraus, sodass die Sicht auf das Display frei bleibt. Allerdings gibt es keine einheitliche Adapterlösung für alle Systemkameras, Sie müssen für jede Kamera individuell ermitteln, welchen Stecker Sie benötigen.

Dabei bezeichnet „HDMI Typ A“ die allseits bekannten HDMI-Anschlüsse mit einer Steckerbreite von 14 Millimetern, wie man sie typischerweise an Monitoren, Grafikkarten und dem Raspberry Pi 1 bis 3 findet. Als „Typ C“ werden Mini-HDMI-Stecker mit einer Breite von gut 10 Millimetern bezeichnet, die auch der Raspberry Pi Zero benutzt. Mikro-HDMI (Typ D), wie man sie vom Raspberry Pi 4 und 5 kennt, sind nur knapp 6 Millimeter breit. Bei Kameras werden überwiegend die Typen A und D verwendet.

Genauso uneinheitlich ist, in welcher Ausrichtung die HDMI-Buchse in der Kamera angebracht ist und wie Sie das Folienkabel am besten am Kamerakörper entlangführen können. Im Drohnenzubehör gibt es Stecker aller Couleur: ge-

rade, um 90 Grad abgewinkelt, nach oben, unten, rechts oder links sowie Buchsen, an denen Sie ein herkömmliches HDMI-Kabel anschließen können.

Die Tabelle „HDMI-Adapter für Folienkabel“ zeigt die Adapter in allen verfügbaren Varianten. Die Bezeichnung setzt sich zusammen aus dem Typ, also A, C oder D, und der Form – und dafür verwenden die meisten Hersteller die gleiche Nomenklatur, die Sie aus den Spalten der Tabelle ablesen können. Der Stecker A1 etwa ist ein HDMI Typ A in gerader Ausführung, C4 eine Mini-HDMI-Buchse und D2 ein Winkelstecker, bei dem der Folienanschluss nach oben zeigt – was verwirrender Weise auch als „rechts gewinkelt“ bezeichnet wird. Besonders schwierig ist es, Stecker der Formen 5 und 6 zu finden.

Woher nehmen ...

Und damit wären wir bei des Pudels Kern angelangt: den Anbietern beziehungsweise den Bezugsquellen. Die meisten Stecker, bei Redaktionsschluss waren das die Modelle A1 bis A4, C1 bis C4 und D1 bis D4, bekommen Sie in Deutschland beim Elektronikspezialisten BerryBase. Suchen Sie nach „hdmi diy“, dann finden Sie die im Sortiment enthaltenen Stecker und Folienkabel. Orientieren Sie sich an der Abbildung, um die richtige Ausrichtung zu finden. Der Stecker für das Folienkabel befindet sich stets auf dem längeren Teil der Platine, der HDMI-Anschluss sitzt gegenüber. BerryBase möchte künftig auch die Modelle der Spalten 5 und 6 anbieten, wie wir auf Rückfrage erfuhren.



Weil sich die Anschlüsse der Kameras meist auf der gleichen Seite wie das Display-scharnier befinden, verdeckt das HDMI-Kabel mit seinem ausladenden Stecker (links) den interessantesten Teil des Bilds. Mit einem HDMI-Folienkabel (rechts) hingegen ist die Sicht frei.

HDMI-Adapter für Folienkabel



Die Alternative ist, die benötigten Stecker und Folienkabel beispielsweise über AliExpress direkt aus China zu importieren. Dabei sollten Sie als Suchbegriffe „hdmi fpv“ zusammen mit der Modellbezeichnung des Kamera-HDMI-Steckers benutzen, zum Beispiel „hdmi fpv d6“. Finden Sie damit kein entsprechend konfektioniertes Kabel, bekommen Sie mit „hdmi fpv“ eine Übersicht einzelner Stecker und Folienkabel, die Sie sich dann selbst zusammenstellen können. Bei den vermeintlich deutlich günstigeren Preisen sollten Sie aber beachten, dass zu den angezeigten Kosten noch etwa 8 Euro für Zoll hinzukommen können.

Der Zusammenbau des Verbindungskabels, sofern Sie kein konfektioniertes bestellt haben, ist leicht: Es handelt sich um Klemmanschlüsse, bei denen Sie zunächst den (meist dunkleren) Klemmkeil mit den Fingernägeln rund einen Millimeter weit bis

zum Anschlag herausziehen. Dann schieben Sie das Folienkabel mit den Kontakten nach oben bis zum Anschlag in den Stecker, sodass keine Kontakte mehr zu sehen sind, und drücken den Klemmkeil wiederum mit den Fingernägeln rechts und links fest, bis er vollständig eingeschoben ist.

Gut geschützt

Wenn Sie die gleiche Buchse für das Folienkabel verwenden, das auch in Ihrer Kamera steckt, können Sie Ihr vorhandenes Kabel problemlos weiterverwenden. Oder Sie nutzen die Gelegenheit, um mit einer A4-Buchse auf ein Standard-HDMI-A-Kabel zu wechseln. Wichtig ist, dass Sie in beiden Fällen für eine Zugentlastung des HDMI-Kabels am Stativ oder Kameragehäuse sorgen – denn bei zu großer Belastung rutscht das Folienkabel selbst bei vollständig geschlossenem Klemmkeil aus dem Stecker.

Das ist auch der zweite wichtige Anwendungsfall für ein HDMI-Folienkabel: Es schützt die HDMI-Buchse der Kamera vor Beschädigungen und Wackelkontakten. Davon sind vor allem Mikro-HDMI-Buchsen betroffen, da der HDMI-Stecker des Standard-Kabels bereits eine enorme Hebelwirkung entfaltet und die Buchse schlimmstenfalls samt Leiterbahnen von der Platine herunterreißt, wenn jemand über das Kabel stolpert oder irgendwo hängen bleibt. Mit einem Winkelstecker und Folienkabel, die kaum aus dem Kameragehäuse hervorragen, wirken weitaus geringere Kräfte. Der Worst Case bei einem HDMI-Folienkabel ist, dass das Kabel aus dem Klemmstecker rutscht und man es wieder einstecken muss.

(mid@ct.de) **ct**

Bezugsquellen: ct.de/ywec

ORDNUNG IM KOPF!

Wissensmanagement
leicht gemacht



**JETZT
CLEVERE TOOLS
KENNEN-
LERNEN!**

NEU im
heise shop!



[shop.heise.de/
ct-besserwissen25](http://shop.heise.de/ct-besserwissen25)

secIT 2025:

secIT 2025 stellt erneut Besucher- rekord auf



Auf der sechsten IT-Sicherheitsmesse von heise in Hannover trafen sich auch in diesem Jahr wieder tausende Besucher, um sich an Aussteller-Ständen zu informieren und ein ebenso abwechslungsreiches wie interessantes Vortragsprogramm anzusehen. Die Stimmung auf der Messe war wie gewohnt exzellent, sowohl unter Besuchern als auch unter den Ausstellern und vortragenden Experten.

Die sechste secIT by heise als Präsenzveranstaltung hat erneut einen Publikumsrekord für die IT-Sicherheitsmesse aufgestellt. 4.100 Besucher kamen in der dritten Märzwoche ins Hannover Congress Centrum, um sich über 80 Vorträge auf vier Bühnen anzusehen, an knapp 40 Workshops teilzunehmen und die Stände von 141 Ausstellern zu besuchen. Auf der mittlerweile schon legendären secIT-Party wurde bis spät in die Nacht zu Musik und Freibier am Party-Wagen von Hornet Security gefeiert und auch an den anderen Abenden fand rund um die Messe viel Networking unter IT-Sicherheitsexperten, Admins, Rechenzentrumsbetreibern und Vertretern von öffentlichen Einrichtungen von Bund, Ländern und Kommunen statt.

Vortragsprogramm ein voller Erfolg

Wie auch schon in den vergangenen Jahren lockte ein vollgepacktes Vortragsprogramm viele Besucher in die Messehallen. Die Vorträge waren fast ausnahmslos sehr gut besucht, nicht selten waren alle Zuschauerplätze vor den verschiedenen Bühnen voll besetzt. Und bei mehreren besonders beliebten Vorträgen, etwa als Nick Lorenz von seinen Abenteuern als Pentester bei der Infiltration der Sicherheitsvorkehrungen eines Flugplatzes erzähl-

te, waren auch sämtliche Plätze rund um die Bühne herum mit stehendem Publikum gefüllt. Besonderer Beliebtheit erfreute sich auch der Vortrag der Krypto-Experten Klaus Schmeh und Simon Ulmer mit einem Ausblick auf das, was unserer Gesellschaft blüht, wenn Quanten-Computer wirklich loslegen und anfangen, unsere aktuellen Krypto-Algorithmen zu knacken. In Sternenflotten-Uniform gaben sich die beiden viel Mühe, beim Thema Post-Quanten-Krypto die Science-Fiction von der Realität zu trennen. Fazit des Vortrags: Uns steht viel Arbeit bevor, aber immerhin gibt es Lösungen für das Problem und Quanten-Computer werden wohl nicht den Untergang unserer Zivilisation einläuten.

Großes Interesse weckten auch viele der Vorträge mit „KI“ im Titel. Auch hier wurde, in bester secIT-Tradition, vor allem handfestes Wissen vermittelt. Im Gegensatz zum sonst so oft bei diesem Themengebiet vorherrschenden Hype, beschäftigten sich viele dieser Vorträge vor allem damit, was praktisch mit Künstlicher Intelligenz machbar ist – aber es ging eben auch darum, wo die Grenzen sind. Als Nico Leidecker sich live auf der Bühne von einem KI-generierten Udo Lindenberg anrufen lies, um die Möglichkeiten beim Tele-

fon-Phishing mittels KI und Deepfakes zu demonstrieren, zeigte sich aber so mancher Zuschauer schon ziemlich begeistert von dem Potential der eingesetzten Software.

Die Abschlusskeynote der Konferenz erfreute sich wie immer eines regen Publikumsansturms. Volker Kozok, früher als Oberstleutnant bei der Bundeswehr für Cyberabwehr-Strategien zuständig, schaffte es hier, mit einem gewohnt kritischen Blick auf den Einsatz von KI unter anderem in Cyberangriffen, viele Messebesucher zu fesseln und vom verfrühten Abreisen am letzten Konferenztag abzuhalten. Am Messetag zuvor hatten sich viele Messebesucher vor der Green Stage eingefunden, um der Podiumsdiskussion zum Thema Women in Tech zu folgen.

Gute Stimmung in den Workshops

Eines der großen Themen auf der secIT 2025 war die Abwehr von Ransomware-Angriffen. Dieses Thema beschäftigt nach wie vor viele, vor allem kleine und mittelständische, Unternehmen. Gleich mehrere der ganztägigen Experten-Workshops am ersten Messetag beschäftigten sich deshalb mit diesem Thema. Trotz der durchaus schon mal ernsten Thematik tat die durchweg gute Stimmung in den Work-

shops ihr Übriges dazu, dass die Teilnehmer mit regem Interesse den Ausführungen der Experten folgen konnten und ermunterte so manchen dazu, einzelne Aspekte in Diskussionen zu vertiefen. Selbst ganztägige Veranstaltungen zu eher drögen Themen wie der EU-Cyber-Verordnung NIS-2 wurden so zu einem angenehmen Erlebnis.



Autor:
Fabian A. Scherschel,
Freelance Journalist
und Podcaster

Die Experten waren ausnahmslos auf der Höhe der Zeit in ihrem jeweiligen Themengebiet und vermittelten einen sehr guten Überblick über das jeweilige Thema. Ergänzt wurde dies in den meisten Workshops mit vielen praxisnahen Tipps und, wenn möglich, auf die jeweilige Situation der Zuhörer zurechtgeschnittene Lösungsmöglichkeiten für deren konkrete Probleme. Viele Teilnehmer zeigten sich nach den Workshops sehr zufrieden mit ihrer Teilnahme und dem so erlangten Wissen.

Mit dem Laufzettel auf Sticker-Jagd

An den Ständen der Aussteller herrschte eine ähnlich zufriedene Stimmung. Viele Vertreter von Firmen waren nicht das erste Mal auf der secIT vor Ort und zeigten sich dementsprechend zufrieden mit einer weiteren Ausgabe der Hannoveraner IT-Security-Messe. Besonders die familiäre Atmosphäre im Umgang mit den Messebesuchern wurde von vielen Partnern positiv hervorgehoben. Trotz der Tatsache, dass die Messe in den letzten Jahren deutlich gewachsen ist, sei man froh, immer noch so persönlich auf die Besucher eingehen zu können.

Einen Grund zum Besuch der vielfältigen Messestände lieferte nicht zuletzt die Security Challenge, bei der Besucher an 30 verschiedenen Aussteller-Ständen jeweils eine IT-Security-Frage richtig beantworten mussten, um einen Sticker auf ihren Security-Challenge-Laufzettel zu erhalten. Desto mehr Sticker ein Besucher gesammelt hatte, desto größer war später die Chance, bei zwei Verlosungen Preise wie eine Apple Watch oder eine

Nintendo Switch Spielekonsole zu gewinnen. Es verwunderte also wenig, dass man viele Besucher an den zwei Messetagen mit dem Laufzettel in der Hand die verschiedenen Stände abgrasen sah. Zusätzlich gab es an verschiedenen Messeständen auch noch Kleinigkeiten von den Partnern der Messe zu gewinnen und natürlich das eine oder

andere Goodie abzustauben.

Neben klassisch auf IT-Security-Messen vertretenen Ausstellern wie Anti-Viren-Herstellern, Anbietern von diversen Sicherheits-Lösungen und Beraterfirmen waren auf der secIT 2025 aber auch recht diverse Arbeitgeber vertreten, die neues Personal aus dem IT-Security-Bereich rekrutieren wollten. Besonders auffällig war hier der Bundesnachrichtendienst, mit einem Stand direkt neben dem der heise medien, mit dem griffigen Slogan: „Wir suchen Terroristen (m/w/d)“. Die dort am Stand erhältlichen BND-Stofftaschen waren ein begehrtes Mitbringsel, das so mancher Messebesucher über dem Arm nach Hause trug.

Ein kleiner Messe-Geheimtipp

An dieser Stelle möchten wir einen secIT-Geheimtipp für alle, die auch bei der nächsten Messe im Hotel direkt neben dem Hannover Congress Center nächtigen, loswerden. Denn es scheint, dass sich dies noch nicht unter genug Messebesuchern herumgesprochen hat: Es gibt einen Tunnel, der aus dem Kellergeschoss des Hotels direkt ins HCC führt. Auf diese Weise kommt man auch an kälteren März-Tagen

ohne Mantel vom Hotel zur Messe, was einem das Anstellen an der Garderobe erspart. Beim nächsten Mal also einfach mit dem Hotel-Fahrrad auf Etage -1 fahren und den Schildern in Richtung „Ausstellungsräume“ folgen.

Die secIT blickt in eine rosige Zukunft

Mit 141 Ausstellern, über 80 Vorträgen auf vier Bühnen, rund 40 Workshops und 37 Deep-Dive-Sessions war die secIT by heise im Jahr 2025 so vollgepackt wie nie in ihrem siebenjährigen Bestehen. Mit 4.100 Besuchern waren so viele Interessenten wie noch nie zuvor in Hannover vor Ort. Viele der Vorträge waren bis auf den letzten Platz besetzt. Das von den Redaktionen der c't und iX ausgewählte Vortragsprogramm fungierte wie auch in den vergangenen Jahren als kräftiger Publikumsmagnet.

Unsere auf der Messe gesammelten Impressionen sprechen dafür, dass eine secIT-Ausgabe im folgenden Jahr mindestens genauso beliebt sein wird. Die trotz der Größe der Messe sehr familiäre und gute Stimmung unter Besuchern, Ausstellern und Vortragenden Experten lässt darauf hoffen, dass auch im kommenden März wieder viele IT-Sicherheitsexperten in die heise-Hauptstadt nach Hannover pilgern werden, um sich über IT-Sicherheit, KI und die damit zusammenhängenden Herausforderungen für Firmen und Behörden auszutauschen. Wer die Messe in diesem Jahr verpasst hat, kann zuversichtlich sein, dass es auch 2026 wieder eine secIT geben wird – höchstwahrscheinlich größer und besser als je zuvor. Interessenten sollten sich den März des kommenden Jahres bereits jetzt im Kalender entsprechend vormerken.

Jetzt schon vormerken:

secIT by heise
HANNOVER 2026

18. bis 19. März 2026

© Copyright by heise Medien.

Tipps & Tricks

Sie fragen – wir antworten!

Balkonkraftwerk ohne Cloud

? Ich möchte mir ein Balkonkraftwerk anschaffen, aber möglichst unabhängig sein. Deshalb suche ich nach einem Wechselrichter, der sich ohne Cloud und ohne App betreiben lässt. Im Prinzip braucht so ein Gerät nach meinem Verständnis doch nur eine Ethernet-Schnittstelle und einen kleinen eingebauten Webserver: Dann ließe es sich an den vorhandenen Router anschließen und ich könnte die Daten einfach vom PC aus via Browser auslesen. Zugriffe von außerhalb der Wohnung sind unerwünscht. Können Sie mir ein passendes Gerät empfehlen?

! Es gibt durchaus Solarwechselrichter mit Ethernet-Schnittstelle und lokalem Webinterface – allerdings nur für große Anlagen. Balkonkraftwerke verwenden jedoch typischerweise im Außenbereich installierte Mikrowechselrichter; in dieser Produktkategorie ist uns kein Wechselrichter mit Ethernet-Schnittstelle bekannt, sondern nur proprietäre Funkschnittstellen.

Es gibt jedoch das Open-Source-Projekt OpenDTU (Data Transfer Unit), das die Funkschnittstellen von einigen Herstellern reverse-engineered hat. Viele Wechselrichter von Hoymiles sowie einige von Solenso, TSUN und E-Star werden unterstützt – eine Kompatibilitätsliste haben wir unter ct.de/y4eh verlinkt. OpenDTU läuft auf dem WLAN-Mikrocontroller ESP32 und spricht über ein separates Modem mit dem Wechselrichter. Die Daten kann man dann über ein lokales Webinterface abrufen. Fertige DTUs mit OpenDTU gibt es im Netz zu kaufen.

Da der ESP32 ein WLAN-Mikrocontroller ist, haben diese OpenDTUs häufig keine Ethernet-Schnittstelle. Mit einer Suche etwa auf der Webseite dtushop.de nach „DTU LAN“ lassen sich aber auch fertige Geräte mit Netzwerkbuchse entdecken.

Obacht: Achten Sie beim Kauf auf die im Angebot beschriebene Kompatibilität.

Die HM-Serie von Hoymiles nutzt ein anderes Modem als die Serien HMS und HMT. *(amo@ct.de)*

OpenDTU, Bezugsquelle für Geräte:
ct.de/y4eh

Opti-PC 2023 mit 256 GByte RAM

? Ich brauche für meine Anwendungen extrem viel RAM und nachdem nun die ersten DDR5-Module mit 64 GByte Kapazität verfügbar sind, würde ich gern meinen PC (den Opti-PC aus c't 26/2023, S. 26) damit aufrüsten. Ist er damit kompatibel?

! Das haben wir uns auch gefragt und es auch prompt mit zwei Crucial-UDIMM-Kits vom Typ CT64G56C46U5 (je 2 x 64 GByte DDR5-5600) ausprobiert – sowohl mit dem Opti-PC mit Ryzen 77800X3D als auch mit seinem Nachfolger und Ryzen 7 9800X3D aus c't 28/2024. Bei letzterem mit dem Motherboard Asus Prime X870-P Wifi und aktuellem BIOS 1022 gab es erwartungsgemäß keine Probleme.

Beim Bauvorschlag aus c't 26/2023 haben wir die darauf inzwischen aufgespielte BIOS-Version E7E26AMS.1G2 vom 29. August 2024 zunächst nicht aktualisiert. Zuerst war die Enttäuschung groß, da der Rechner auch nach mehreren Minuten in einer Bootschleife stecken blieb. Noch tiefer hingen unsere Mundwinkel, als dasselbe mit der aktuellen BIOS-Version E7E26AMS.1J0 vom 15. März 2025 passierte.

Geholfen hat schließlich, den Rechner erneut hart abzuschalten und kurz komplett stromlos zu machen. Beim darauf-

Fragen richten Sie bitte an

ct hotline@ct.de

f [c't Magazin](#)

X [@ctmagazin](#)

@ [ct_magazin](#)

@ [@ct_Magazin](#)

in [c't magazin](#)

Alle bisher in unserer Hotline veröffentlichten Tipps und Tricks finden Sie unter www.ct.de/hotline.

folgenden Neustart bootete er Windows 11 24H2, als ob er nie etwas anderes getan hätte. Sogar mit der zurückgespielten alten BIOS-Version 1G2 funktionierten dann die RAM-Module. Dennoch würden wir präventiv ein BIOS-Update empfehlen. Die abgespeicherten BIOS-Profile gehen durch das Update aber verloren und lassen sich auch aus einem Backup vom USB-Stick nicht wiederherstellen. Hier sollten Sie vorab manuell Ihre Änderungen protokollieren.

Die Geschwindigkeit hat das BIOS passend zur CPU-Spezifikation als DDR5-5200 eingestellt und auch beim Zustecken eines weiteren Kits für insgesamt 256 GByte Arbeitsspeicher auf DDR5-3600 gesenkt, was der Spezifikation des Ryzen-7-Prozessors für vier UDIMMs entspricht.

Beim Mischbetrieb mit einem 48-GByte-Kit aus dem Hause Corsair stießen wir jedoch auf Probleme. Denn dieses Kit bestand nicht aus JEDEC-Modulen,

Sogar mit dem alten (Beta-)BIOS 1G2 funktionierte die Bestückung mit 2 x 64 GByte und 2 x 48 GByte DDR5-RAM.

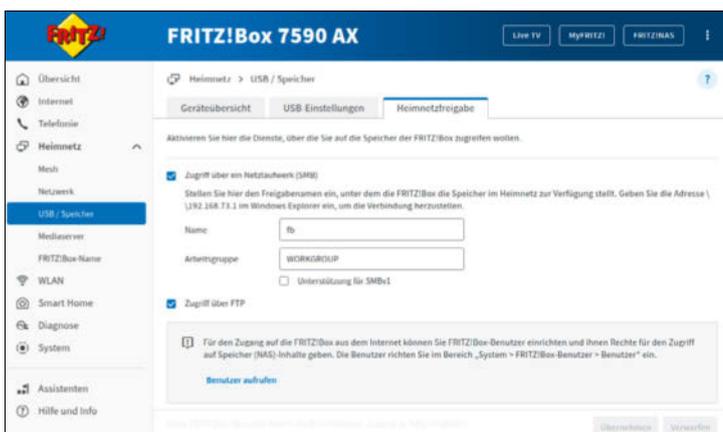


sondern war mit scharfen Latenzen und auf 1,25 Volt erhöhter Spannung für Über-takter gedacht. Mit zweimal 48 und zwei-mal 64 GByte funktionierte diese Kombi-nation nur, wenn wir die 48-GByte-Mod-ule in einem Kanal (also einem neben-einander liegenden Fassungs-pärchen) und die 64-GByte-Module im zweiten Kanal bündelten. Dabei geht etwas Performance verloren, da nur das kleinste gemeinsame Vielfache der Speichergrößen, hier also 192 von 224 GByte, im schnelleren Dual-Channel-Modus läuft. (csp@ct.de)

Kein SMB-Zugriff mehr auf Fritzbox-NAS

? In meinem Heimnetz habe ich eine ältere Fritzbox durch eine neue ersetzt. Nach dem Einspielen der zuvor gespeicherten Konfiguration auf dem neuen Router funktioniert auch alles – mit einer Ausnahme: Mit einer externen Festplatte am USB-Anschluss nutze ich die Box auch als kleines NAS. Über das Browser-Inter-face klappt der Dateizugriff nach manue-ller Aktivierung auch wieder, aber nicht der SMB-Zugriff von Linux und Windows aus, unter letzterem etwa mit `net use s: \\192.168.178.1\fritz.nas %PassWort% / user:ftpuser`. Hier bekomme ich nun die Fehlermeldung „System error 53 has oc-curred. The network path was not found.“ Was mache ich falsch?

! Wahrscheinlich passt der in Ihrem `net-Aufruf` verwendete Freigabename `fritz.nas` nicht zu dem, der in der Fritzbox unter „Heimnetz / USB/Speicher“ auf dem Reiter „Heimnetzfreigabe“ als Name hinterlegt ist. Schauen Sie dort einmal nach und tragen Sie gegebenenfalls einen neuen Freigabennamen ein oder ändern Sie den `net-Aufruf`. (ea@ct.de)



Fritzboxen ver-öffentlich-ten Windows-Frei-gaben ange-schlossener USB-Massen-speicher unter dem Namen, der in den USB/Speicher-Ein-stellungen unter „Heim-netz“ eingetra-gen ist.

Kurze URLs bei Reddit

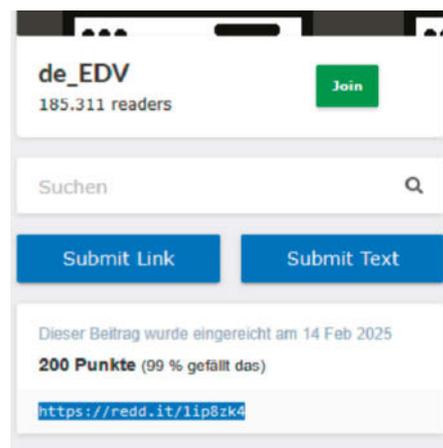
? Ich meine mich zu erinnern, dass es bei Reddit früher ein Feld gab, aus dem man eine verkürzte URL einer ange-zeigten Diskussion kopieren konnte, die sich dann bequem in eine Messenger-Nachricht einfügen oder zur Not auch aus-drucken und wieder abtippen ließ. Seit die Website ihr Layout geändert hat, finde ich diese Möglichkeit nicht mehr.

! Das Feld ist in Reddits neuem Layout nicht mehr vorhanden. Sie können aber die Darstellung der Website auf das alte Layout zurückschalten. Dazu klicken Sie nacheinander auf Ihr Benutzer-Icon ganz oben rechts, im erscheinenden Menü auf „Einstellungen“, oben auf der Einstel-lungen-Seite noch mal auf das Register „Einstellungen“ und schieben schließlich den Schalter neben „Standardmäßig Old Reddit verwenden“ auf „Ein“. Zurück gehts über den Link „Get New Reddit“ ganz oben links auf der (alten) Webseite.

Sie können eine Kurz-URL zu einer Diskussion aber auch von Hand erzeugen: Die gewöhnlichen, langen Adressen sind nach dem Schema „`https://www.reddit.com/r/<Subreddit>/comments/<Thread-ID>/<Überschrift>/`“ aufgebaut. Daraus wird die Kurz-URL „`https://redd.it/<ThreadID>`“ – wichtig: ohne „www“ und ohne „.com“. Zu der Diskussion unter `https://www.reddit.com/r/de_EDV/comments/lip8zk4/followup_zu_den_betru-gf%C3%A4llen_mit_gebrauchten/` führt also beispielsweise auch die kurze Adres-se `https://redd.it/lip8zk4`. (hos@ct.de)

Notebook laden per USB-C

? Mein Sohn hat sich Ende letzten Jahres ein Gaming-Notebook gekauft. We-

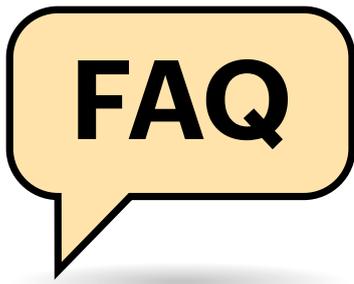


Ein Feld, aus dem man eine verkürzte URL zu einer Reddit-Diskussion kopieren kann, gibt es nur im alten Layout der Webseite.

gen der kurzen Akkulaufzeit möchte er das Notebook über eine starke Powerbank laden (25.000 mAh, 200 W). Das Note-book hat einen USB-C-Anschluss, aber darüber kann man es nicht laden. Daher wurde zusätzlich einer der USB-C-auf-Rundstecker-Adapter aus Ihrem Bericht in c't 8/2025 („USB-Power für alle“, S. 156) angeschafft. Mit diesem Adapter schwankt allerdings der Ladestrom, den die Power-bank anzeigt, durchgehend zwischen 1 und 5 Ampere. Ist dieses Verhalten nor-mal? Lohnt es sich, einen anderen Adapter auszuprobieren?

! Gaming-Notebooks haben anders als Arbeitsgeräte einen sehr hohen Leis-tungsbedarf, da meist nicht nur ein Prozes-sor mit größerem Energiehunger, sondern auch ein separater Grafikchip eingebaut ist. Schauen Sie mal auf das mitgelieferte Netz-teil des Notebooks, wie viel Leistung und besonders wie viel Strom es liefern kann.

Die USB-C-Adapter enthalten nur einen Power-Delivery-Triggerchip, der vom USB-Netzteil beziehungsweise der Powerbank 20 Volt anfordert und diese an das Notebook weiterreicht. Wie viel Strom dieses dann zieht, bleibt ihm selbst über-lassen. Maximal erlaubt sind 100 Watt, also bei 20 Volt höchstens 5 Ampere. Zieht das Notebook mehr, bricht die Spannung ein, das Notebook bekommt seine Lei-stung nicht und schaltet auf Akkustrom um. Wenn die Stromlast wegfällt, liefert die Powerbank aber wieder 20 Volt, das Note-book schaltet wieder um, überlastet erneut die Powerbank und so weiter. Ein anderer Adapter würde an dem Verhalten nichts ändern. (rop@ct.de)



Browser-Tabs im Griff

Der Urlaub will geplant, eine neue Waschmaschine gefunden werden. Und dann ist da noch ein gutes Dutzend spannender Web-Fundstücke, die man später lesen will. Schon drängt sich Tab an Tab, wo war noch mal das schicke Apartment? Die Tab-Management-Funktionen der Browser und zusätzliche Erweiterungen helfen dabei, den Überblick zu behalten.

Von Jo Bager

Tab-Hilfen

? Wie helfen mir die Browser bei der Tab-Verwaltung?

! Wir haben alle Tipps in dieser FAQ mit Brave, Chrome, Edge, Firefox, Opera, Safari und Vivaldi unter Windows und macOS getestet. Die Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Funktionen dieser Browser. Bei allen können Sie Tabs anheften (manchmal auch „anpinnen“ genannt), damit Sie sie nicht aus Versehen schließen. Haben Sie ein Tab nicht angeheftet und unvorsichtigerweise geschlossen, ist das auch kein Problem. Sie können es unter Windows mit der Tastenkombination Strg+Umschalt+T, unter macOS mit der Tastenkombination Cmd+Umschalt+T wieder herstellen.

Es kann schon mal passieren, dass eine Website auf einem Tab im Hintergrund Audioinhalte automatisch abspielt. Solche Störenfriede erkennen Sie an dem kleinen Lautsprecher-Icon, das alle Browser auf den jeweiligen Tab-Reitern ein-

blenden. Per Kontextmenü schalten Sie den Tab stumm.

Alle Browser bis auf Chrome zeigen auf Wunsch grafische Vorschauen der geöffneten Webseiten an. Damit findet man bestimmte Inhalte oft schneller wieder als mit dem Seitentitel im Tab-Reiter. Im Detail lösen die Browser diese Aufgabe unterschiedlich. Firefox zeigt Miniaturen an, wenn Sie mit der Maus über die Tab-Reiter fahren. Das macht Vivaldi auch. Er kann die Tab-Reiter auf Wunsch zudem mit permanenten kleinen Vorschauen aller geöffneten Tabs versehen. Opera überdeckt die aktuell angezeigte Website mit großen Vorschauen anderer Seiten, wenn Sie die Maus über deren Tab-Reiter bewegen. Safari präsentiert eine grafische Vorschau aller Tabs. Und bei Edge funktionieren die Vorschauen nur unter Windows.

Normalerweise sind die Tab-Reiter oberhalb des Browserfensters horizontal angeordnet. Alternativ platzieren alle Browser außer Chrome die Reiter auch vertikal neben dem Fenster. Diese Darstellungsform bietet mehr Raum für die

Titel der geöffneten Seiten, benötigt aber insgesamt mehr Platz. Alle Browser durchsuchen den Volltext der Titelzeile der Websites sämtlicher geöffneten Tabs, wenn Sie in der Adresszeile einen Suchbegriff eingeben. Sämtliche Browser helfen zudem, Ressourcen zu sparen, indem sie inaktive Tabs deaktivieren. Bei manchen Browsern müssen Sie diese Funktion einschalten, etwa bei Safari. Alle Browser synchronisieren geöffnete Tabs über mehrere Browser-Instanzen.

Tabs gruppieren

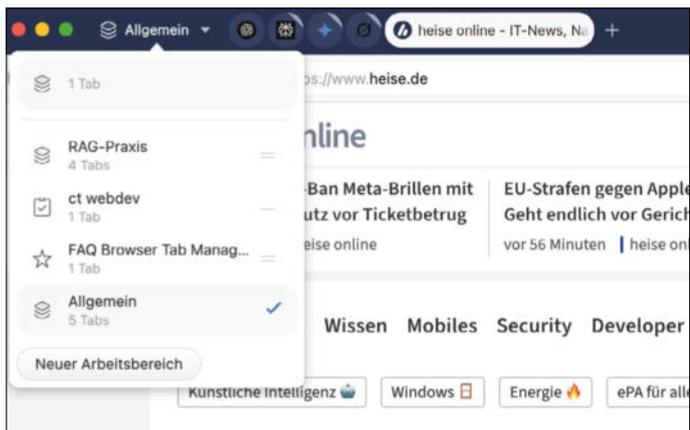
? Ich arbeite regelmäßig an mehreren Projekten, zu denen jeweils mehrere Browser-Tabs gehören. Da verliert man schnell den Überblick. Wie helfen mir Browser dabei?

! Mit Tab-Gruppen fassen Sie Seiten zusammen, die zu einem Projekt oder Thema gehören – etwa die Urlaubsrecherche. Alle Browser merken sich diese Tab-

Tab-Management im Browser

Browser	Brave	Chrome	Edge	Firefox	Opera	Safari	Vivaldi
Tabs anpinnen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
geschlossene Tabs wiederherstellen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
zeigt an, wenn Audio läuft / stummschalten	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
Tab-Vorschauen	✓	–	✓	✓	✓	✓	✓
vertikale Tab-Leiste	✓	–	✓	✓	✓	✓	✓
Tab-Suche: Überschriften / Volltext	✓/–	✓/–	✓/–	✓/–	✓/–	✓/–	✓/–
Deaktivierung inaktiver Tabs	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
geöffnete Tabs mit anderen Browser-Instanzen synchronisieren	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Browser speichert Tab-Gruppen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tab-Gruppen über mehrere Browser-Instanzen hinweg synchronisieren	✓	✓	✓	–	–	✓	–
mehrere Tabs kacheln	–	–	✓	–	–	–	✓
Seiten in Randleiste öffnen	–	✓	✓	–	✓	–	✓
periodisches Aktualisieren	–	–	–	–	–	–	✓

✓ vorhanden – nicht vorhanden



Angepinnte Tabs, Tab-Gruppen: nur zwei der Funktionen, mit denen Sie im Browser Ordnung halten können.

bereichen zuordnen. Sie entsprechen den Arbeitsbereichen von Vivaldi und sind für den mehrfachen, längerfristigen Einsatz gedachte Organisationseinheiten. Mit Operas agentischer KI namens Aria organisieren Sie Tabs zudem mit Sprachbefehlen, etwa in der Form „Pinne mir alle YouTube-Tabs an“ oder „Fasse mir alle Heise-Tabs zu einer Insel zusammen“.

Tab-Management per Add-on

? Mein Browser bietet die eine oder andere Tab-Funktion nicht, die für mich sehr nützlich wäre. Den Browser wechseln möchte ich aber auch nicht. Gibt es Erweiterungen, die mir helfen?

! Es gibt etliche Erweiterungen für das Tab-Management. Allerdings bieten viele davon nur Funktionen, die heute bei allen Browsern dazugehören – Tab-Gruppen etwa. Eine echte Bereicherung sind Toby und Workona. Sie können zum Beispiel Arbeitsbereiche synchronisieren, auch zwischen Chromium-Browsern wie Chrome, Edge oder Vivaldi und Firefox. Beide Erweiterungen gibt es als kostenlose Basisversionen, die in der Anzahl der Tabs oder Arbeitsgruppen beschränkt sind.

Alternative Bedienkonzepte

! Eine Reihe neuerer Browser integrieren das Tab-Management mit Arbeitsbereichen prominenter in ihre Bedienkonzepte. Wer vom Arbeiten in Workspaces überzeugt ist, der sollte einen Blick auf den Arc Browser oder den Zen Browser werfen. Bei beiden neuen Browsern sind Workspaces Kernbestandteil (bei Arc heißen sie Spaces). So bieten die Browser eine gute grafische Übersicht aller Arbeitsbereiche inklusive der zugehörigen Tabs. Beide speichern ihre Spaces nicht nur lokal, sondern synchronisieren sie auch über Geräte hinweg. Arc nutzt dazu einen eigenen Synchronisationsdienst auf seinen Servern, Zen den Synchronisationsdienst von Mozilla. So kann man seine Spaces unter mehreren Browser-Instanzen immer synchron halten. Beide Browser sind kostenlos. Während Arc auf der Chromium-Engine aufsetzt, liegt Zen die Browser-Engine von Firefox zugrunde. (jo@ct.de)

Gruppen, wenn Sie das Programm beenden, und stellen sie beim nächsten Programmstart wieder her. Nur Brave, Chrome, Edge und Safari synchronisieren Tab-Gruppen über mehrere Browser-Instanzen hinweg. Bei Edge speichern Sie Tabs dazu in sogenannten Sammlungen.

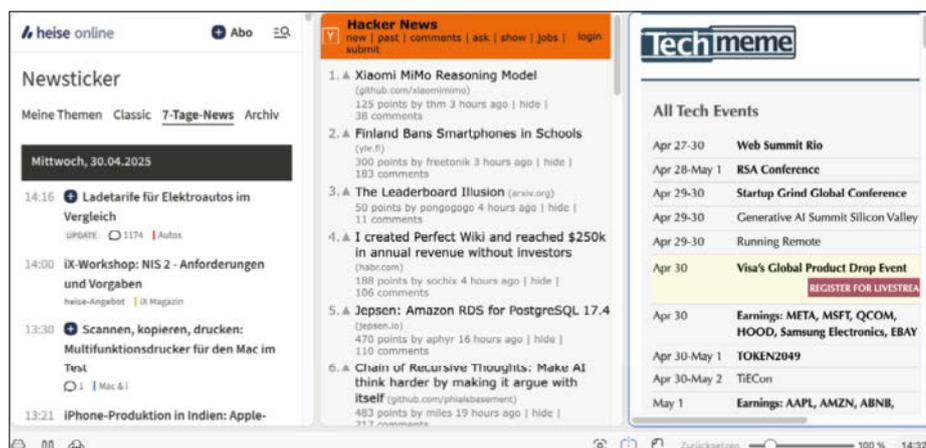
Über die Tab-Gruppen hinaus beherrschen die Browser noch viele weitere Darstellungsvarianten. So stellen Chrome, Edge, Opera sowie Vivaldi Seitenleisten bereit, in die Sie beliebige Websites verfrachten können (bei Opera benötigen Sie dafür noch eine spezielle Seitenleisten-Erweiterung). Damit können Sie Seiten, auf denen sich öfter etwas tut – etwa WhatsApp –, immer im Blick behalten. Edge kann zudem zwei Tabs parallel nebeneinander öffnen. Das ist zum Beispiel praktisch, wenn Sie Inhalte von einer Site zu einer anderen übertragen müssen.

Vivaldi ist diesbezüglich am vielseitigsten. So bietet der Browser drei Darstellungsmodi für die Tab-Reiter, die den knappen Platz in der Tab-Liste unterschiedlich ausschöpfen. In der kompakten

Variante etwa nimmt die gesamte Gruppe nur den Platz eines Tab-Reiters ein. Man kann aber ebenso eine zweireihige Variante wählen, in der die Tabs einer Gruppe eine eigene Tab-Reiter-Reihe belegen.

Der norwegische Browser erweitert das Tab-Management um sogenannte Arbeitsbereiche. Nutzt man einen Arbeitsbereich, blendet Vivaldi alle anderen Tabs vollständig aus. Die Tab-Leiste zeigt der Browser wahlweise vertikal ober- oder unterhalb oder horizontal rechts oder links des Browserfensters an. Alternativ bietet Vivaldi eine baumartige Ansicht der geöffneten Tabs in der Panel-Leiste. Außerdem kann er mehrere Tabs neben- oder übereinander kacheln. Er ist zudem der einzige der sieben Browser, der Tabs periodisch aktualisiert.

Bei Opera können Sie Tabs in sogenannte Inseln verfrachten. Das sind Ad-hoc-Gruppen, die helfen, viele geöffnete Tabs zu organisieren. Opera merkt sich diese Inseln beim Beenden und stellt sie nach dem Start wieder her. Tabs und Inseln lassen sich sogenannten Arbeits-



Vivaldi kann mehrere Websites nebeneinander darstellen.

Browser und Erweiterungen: ct.de/y8bf



Isabella Buck
Wissenschaftliches Schreiben mit KI
 VVK Verlag/utb, Konstanz 2025
 ISBN 978-3825263652
 242 Seiten, 23 €
 (PDF-/Epub-/Kindle-E-Book: 22 €)

KI-Boost für die Seminararbeit

Spezialisierte KI-Tools, aber auch allgemeine Sprachmodelle wie ChatGPT bieten sich an, um beim Verfassen einer Haus- oder Bachelor-Arbeit zu helfen. Wie angehende Wissenschaftler sie nutzen können und welche technischen, ethischen und datenschutzrechtlichen Regeln dabei zu beachten sind, erklärt dieser Ratgeber praxisnah und gut verständlich.

Längst haben Entwickler von KI-Tools Akademiker und alle, die es werden wollen, als Zielgruppe entdeckt. Für jeden Schritt des wissenschaftlichen Schreibens bieten sie spezielle Werkzeuge, von der Entwicklung einer Fragestellung über die Literaturrecherche, den Entwurf einer Gliederung und das Verfassen des Manuskripts bis zum abschließenden Feinschliff.

So hilft beispielsweise ein Recherchetool dabei, sich einen Überblick über den aktuellen wissenschaftlichen Diskurs zu verschaffen. Andere KI-Helfer bieten sich als Chatpartner an, um über den Inhalt eines Papers zu diskutieren. Sobald erste Textabschnitte ausformuliert sind, kann man sich von KI-Textprogrammen Feedback zu Formulierungen und Argumenten geben lassen. Alternativ können Textschaffende auch auf eine Standard-KI setzen, müssen diesen Systemen allerdings die gewünschten Inhalte mit den passenden Prompts entlocken.

Wie man auf dem einen oder dem anderen Weg zum Erfolg kommt, erklärt Isabella Buck im zentralen und umfangreichsten Kapitel ihres Buches anhand von zahlreichen Beispielen. Vorab geht es darum, wie generative KI grundsätzlich arbeitet und wie gute wissenschaftliche Praxis beim Einsatz von KI aussieht. Das Buch schließt mit der Diskussion von zehn Thesen dazu, wie KI den Schreibprozess künftig verändern wird. Zahlreiche Links zu relevanten Webseiten und ein umfangreicher Literaturanhang runden den Inhalt ab.

Der Ratgeber richtet sich an Studenten und Wissenschaftler aller Fachrichtungen, denen die Grundlagen des wissenschaftlichen Schreibens bereits vertraut sind. Sie erhalten ausreichend technischen Hintergrund zur generativen KI sowie alles nötige Handwerkszeug, um die vorgestellten Tools kompetent zu nutzen. Zudem motiviert die Lektüre zu eigenen Experimenten. Dass man dabei der KI nicht einfach das Ruder überlassen, sondern sie stets lediglich als Hilfsmittel sehen sollte, ist eine der zentralen Botschaften der Autorin. (dwi@ct.de)

Von null auf CTO

Trotz aller Wandlungen, denen das Softwaregeschäft unterworfen ist, bleiben Entwickler und Softwaremanager wichtige Akteure in allen Wirtschaftsbereichen. Gergely Orosz gibt wertvolle Hinweise für viele IT-bezogene Berufsfelder und Karrierephasen.

Der Autor hat viele Jahre im Softwarebusiness Erfahrungen gesammelt, unter anderem bei großen Arbeitgebern wie Microsoft und Uber. In seinem Newsletter „The Pragmatic Engineer“ gibt er Entwicklern und Softwarearchitekten schon lange vielerlei Ratschläge. Aus deren Essenz hat er ein umfangreiches Buch geschaffen, das so gut wie jeden Aspekt typischer Lebensläufe von Softwaregeschaffenden abdeckt. Er berücksichtigt dabei Unternehmen unterschiedlicher Größe und aus verschiedenen Domänen.

Dabei beschränkt sich Orosz nicht auf die üblichen Karrieretipps, sondern betrachtet alle Stufen einer Entwicklung und beleuchtet auch fragwürdige Randaspekte des Softwaregeschäfts. So erwähnt er beispielsweise auch, dass karrierebewusste Entwickler immer wieder dazu neigen, das Rad neu zu erfinden. Als Grund dafür vermutet der Autor den Gedanken daran, dass möglichst komplexe Projekte für die Beteiligten das meiste Beförderungspotenzial abzuwerfen pflegen.

Spätestens in den Kapiteln über Softwareentwicklung und -architektur kann Orosz nicht mehr verhehlen, dass er selbst so manche Zeile Code geschrieben hat. Er bewegt sich mit seinen Ratschlägen sehr nah am Arbeitsalltag, hat einiges zum Umgang mit Kollegen und Vorgesetzten zu sagen, aber auch zur Gestaltung der eigenen Arbeitsweise. Bei allem Pragmatismus findet er auch Raum fürs Grundsätzliche und erörtert beispielsweise professionelle Arbeitsethik.

Das Buch ist ein mächtiger Brocken, dessen Umfang zunächst abschreckend wirken kann. Orosz hat seinen Text aber lesefreundlich gestaltet; die Kapitel und Abschnitte sind kurz und größtenteils voneinander unabhängig. Dass die Lektüre so viele Berufssituationen beleuchtet, macht sie für Einsteiger und alte Hasen gleichermaßen interessant.

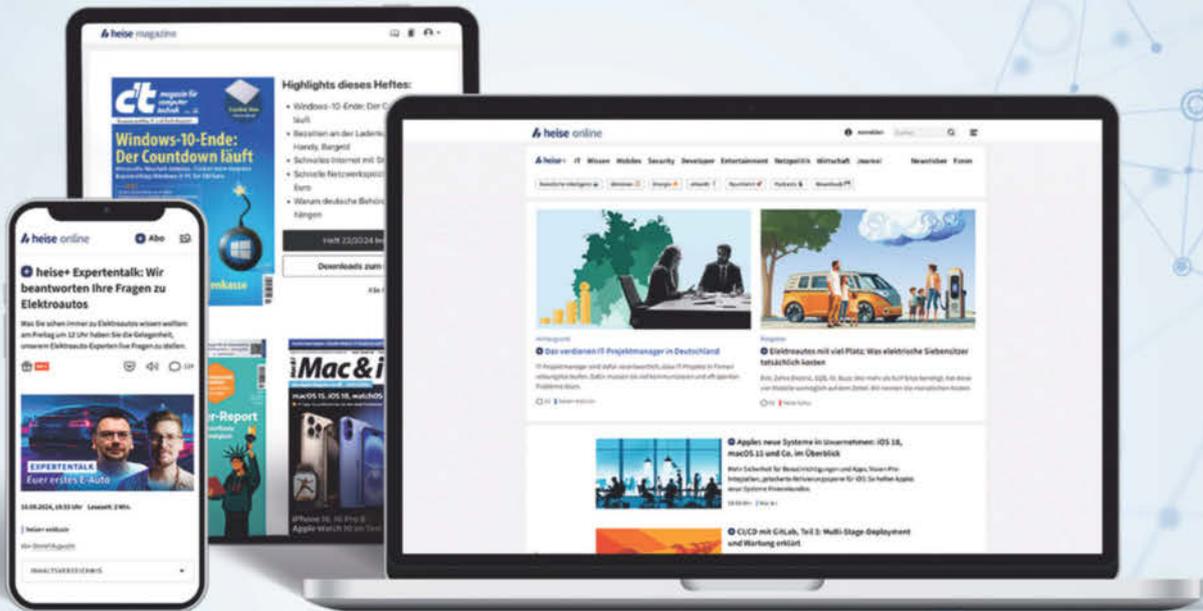
Die Eindeutschung ist gut gelungen. Obwohl der Autor sich spürbar am amerikanischen Markt orientiert, passen die meisten seiner Aussagen auch zur deutschen Unternehmenskultur. Online spendiert Orosz noch über 100 Seiten Bonuskapitel – die liegen allerdings nur auf Englisch vor. (Maik Schmidt/psz@ct.de)



Gergely Orosz
Guidebook für Software Engineers

Der Begleiter für alle Karrierestufen

O'Reilly, Heidelberg 2025 (der Buchverlag gehört wie c't zu heise medien)
 ISBN 978-3960092513
 468 Seiten, 40 €
 (als Bundle mit E-Book beim Verlag: 45 €;
 PDF-/Epub-/Kindle-E-Book allein: 40 €)



ct **Mac&i** **iX** **Make:** **ct** **Fotografie**

c't-Abonnenten
lesen bis zu
80%
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
- ✓ Alle Ausgaben der Magazine c't, iX, Mac & i, Make und c't Fotografie digital und als PDF verfügbar
- ✓ Wöchentlicher Newsletter mit allen Highlights und Empfehlungen
- ✓ Jederzeit kündbar

Jetzt bestellen unter

heiseplus.de/upgraden

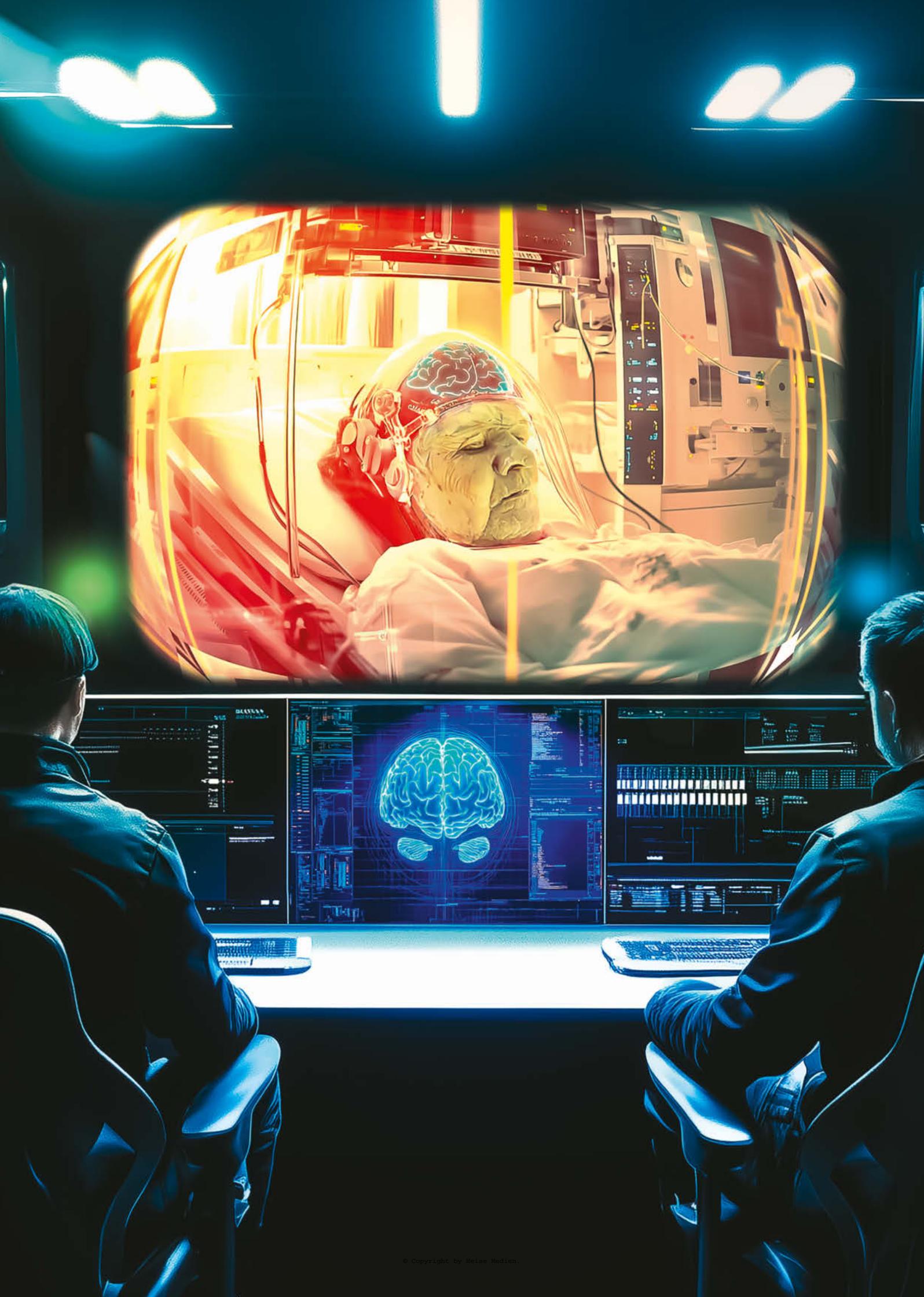
Oder einfach QR-Code scannen



✉ leserservice@heise.de ☎ 0511 / 647 22 888

Ein Angebot von: Heise Medien GmbH & Co. KG • Karl-Wiechert-Allee 10 • 30625 Hannover

© Copyright by Heise Medien.



AN DER GRENZE

VON KRIS BRYNN

Vom Studiopultplatz neben mir kam eine regelrechte Schimpfkanonade. „Sie imitiert. Sie imaginiert nicht. Shit, das Material ist völlig unbrauchbar.“

Von mir gab es keine Ausflüchte. Keinen Widerspruch. Er hatte recht. Was wir auf dem Display sahen, war eine simple Repräsentation des Realen. Wir aber waren auf eine Vision angewiesen. Etwas Nervenzerfetzendes. Den endgültigen Mindfuck. Irgendwas in der Art. Aber alles, was sie uns bis jetzt geliefert hatte, war kalter Kaffee. Und wenn das so weiterginge, wären wir geliefert.

„Siehst du, hier.“ Wütend schnellte sein Zeigefinger vor und deutete auf die ablaufende Bilderfolge. „Sie produziert korrekte Darstellungen. Wie im richtigen Leben. Wo zum Henker ist das Neue und Unbekannte, hä?“ Er wandte sich zur Glastrennwand, hinter der unsere Quelle in einer Art Klinikbett lag. „Wo, verdammt?“ „brüllte er den Spionspiegel an. „Wo hast du es versteckt, du blöde Kuh?“

„Jetzt beruhig dich mal, bitte“, sagte ich. „Es gibt keinen Grund, ausfallend zu werden. Hab ein bisschen Respekt vor der Quelle.“ Natürlich konnte sie seinen Ausbruch nicht hören, aber trotzdem war mir sein Ton unangenehm. „Bis wann müssen wir denn liefern?“ Im Grunde genommen war die Frage komplett überflüssig: Ich kannte das Zeitfenster genau, wollte es aber aus seinem Mund hören. Trotz allem besteht ja immer die Möglichkeit, dass man selbst falsch liegt.

„Na, morgen. Wann denn sonst?“

Oder man liegt eben goldrichtig.

„Scheiße“, murmelte ich.

Den Termin würden wir niemals einhalten. Nicht, wenn die Quelle weiterhin so hundsmiserabel lieferte. „Vielleicht kommt sie noch in die Gänge“, sagte ich und versuchte dabei, ein wenig Zuversicht in meine Stimme zu legen. „Oder wir versuchen, den Abgabezeitpunkt nach hinten zu schieben.“

„Keine Chance“, nahm er mir den Wind aus den Segeln. „Erstens kriegen wir das nie durch und zweitens ist sie uns zu dem Zeitpunkt wahrscheinlich schon abgekratzt. Dann bringt uns keine Verlängerung irgendwas.“

In den drei Jahren, in denen ich beim *Institut für kognitive Grenzüberschreitung* arbeitete, war mir eine solche Schlappe noch nicht passiert. Wenn wir den Auftrag in den Sand setzten, würde uns das finanziell an den Anfang zurück-

Was waren das für harmlose Zeiten, als Ekelprüfungen in Dschungelcamps noch Zuschauer anziehen konnten? Immer krasser, immer bizarrer und zugleich gnadenlos authentisch müssen gestreamte Eindrücke heute sein, damit sie ein zahlungskräftiges Publikum hinter dem Ofen hervorlocken.

werfen. Und momentan sah alles danach aus, dass sich unsere Befürchtung bewahrheiten würde: Gehen Sie zurück auf Start.

* * *

Grenzüberschreitung war keine unkomplizierte Sache; deswegen konnten wir für unsere Leistungen durchaus an-

spruchsvolle Preise verlangen. Wie alle Aufträge war auch dieser über ein Subunternehmen eingegangen. Die Kundschaft wollte anonym bleiben. Name, Adresse, Beruf, et cetera kannten wir nicht. Das Subunternehmen hatte betont, die Kundschaft habe „den Drang zum Unbekannten schon von Kindesbeinen an verspürt.“ Sie erwartete etwas Besonderes, Seltenes. Visionär eben. Einen Inhalt, der das Konzept von Realität durcheinanderwirbelt, negiert, ersetzt. Die Aufhebung von Grenzen.

Wünsche kann man haben. Dieser würde sich nur eben für den Kunden nicht erfüllen. Was bedeutete, dass wir ihm das exorbitante Entgelt zurückerstatten müssten und auf unseren eigenen Beschaffungs- und Arbeitskosten sitzen blieben. Hinzukommen würden noch die schlechten Rezensionen, die ich im Geiste jetzt schon vor mir sah. *Beschiss. Abzocke. Falsche Versprechungen. Finger weg von dieser Firma! Von wegen Snuff: Das ist Kindergartenzeug!*

**WÜNSCHE KANN MAN HABEN.
DIESER WÜRD SICH NUR EBEN
NICHT ERFÜLLEN.**

„Scheiße“, wiederholte ich. „Wir können uns wirklich keinen Fehlschlag leisten.“

„Was du nicht sagst.“ Mit einem tiefen Seufzer ließ er sich in den Schreibtischstuhl sinken. Hinter seinem Rücken flimmerten die Bilder der Quelle weiter über das Display. Alltagsszenen. Tägliche Routinen. Ab und zu ein Garten. Alles gepflegt, geordnet. Alles nett. In jeglicher Hinsicht wirklichkeitsgetreu. Keine psychedelischen Erlebnisse, son-

Über die Autorin

Hinter **Kris Brynn** verbirgt sich die mehrfach ausgezeichnete hauptberufliche Schriftstellerin Regine Bott (schreibkosmos.de), die in Krimi, Phantastik und Science-Fiction gleichermaßen heimisch ist und mit ihrer Familie in Kornwestheim bei Stuttgart lebt. 2023 errang sie den „Goldenen Stephan“ in der Kategorie „Bestes Hörbuch“ für ihren bei Knauer erschienenen Roman „A.R.T. – Coup zwischen den Sternen“, dessen Heldin Savoy Midthunder als Security-Spezialistin für Kunstauktionen im Weltall arbeitet. In der Kategorie „Bester deutschsprachiger Roman“ war dieses Buch 2023 auch für den Deutschen Science-Fiction-Preis und den Kurd-Laßwitz-Preis nominiert. „An der Grenze“ ist Kris Brynns erste c't-Story.



Bild: Regine Bott

dern Vorgänge wie aus einem Dokumentarfilm. Ein Zug fuhr über den Bildschirm. Ein auf einem Bahnsteig abgestellter Koffer erschien. Finger umfassten ein Ticket. Eine typische Reisemetapher der Übergangsphase. Wenn jetzt noch ein blöder Engel auftauchte, könnten wir endgültig einpacken.

Alles komplett für den Gully.

„Wie heißt es in unserer neuen Werbekampagne noch gleich?“ Er stieß ein heiseres Lachen aus.

„Betreten Sie Zonen des Nicht-Artikulierten“, betete ich herunter.

„Wir machen das Unsichtbare für Sie sichtbar“, ergänzte er den Slogan tonlos. „Ja, das können wir heute wohl knicken.“

WENN JETZT NOCH EIN BLÖDER ENGEL AUFTAUCHTE, KÖNNTEN WIR ENDGÜLTIG EINPACKEN.

Plötzlich kam mir eine Idee. Der Gedanke tauchte derart unerwartet auf, dass er mich mit einer unglaublichen Euphorie erfüllte. „Was, wenn wir Ersatz für die Quelle beschaffen?“

„Ersatz? Wo willst du den denn herbekommen?“ Er schnaubte. „Außerdem viel zu kurzfristig.“

Ich nickte und ließ es zu, dass mich erneut die Welle der Niedergeschlagenheit packte. „Du hast recht. Kriegen wir in der Zeit niemals hin. War nur so ein Einfall.“

„Eher Wunschenken eines Verzweifelten“, murmelte er. „Aber danke für deinen Input.“

Ich sah durch die Trennscheibe auf das Bett dahinter. Betrachtete die faltige Haut der Quelle. Ihren knochigen

Schädel, auf dem eine funktionelle Hirnscannerhaube saß. Ein KI-System setzte den Gehirnsan in Videobilder um. Verknüpfte neuronale Aktivitäten mit Farbe, Form und Textur.

Ich begutachtete die Altersflecken auf den Händen der Lieferantin, die bewegungslos auf der Decke ruhten. Dünne Finger, wie Spinnenbeine. Ich nahm ihren ausgezeherten Körper wahr, den man unter dem Bettzeug mehr erahnte als sah. Den schmalen Brustkorb, der sich fast unmerklich hob und senkte.

„Wie konnte das passieren?“, flüsterte ich. „Stand das Krankenhaus auf unseren Listen? Hat man ihr zu viel Morphin verabreicht? Irgendwas anderes, von dem wir nichts wissen?“

Zumindest die Namen der Spenderhäuser waren uns bekannt. In der Vergangenheit war es nicht vorgekommen, dass man uns Schrott geliefert hatte. Alles war stets reibungslos gelaufen. Nach dem Verbleib der sterbenden Personen, die plötzlich aus ihren Krankenzimmern verschwunden waren, hatte sich nie jemand erkundigt. Man hatte sie verkauft. An uns.

Die Dahinsiehenden waren Menschen, die niemand vermisste. Obdachlose, Drogenabhängige, Einsame. Ich deutete auf das Bett hinter dem Glas. „Wo haben wir sie denn her?“, wollte ich wissen.

Er nahm das Pad vom Schreibtisch und tippte darauf herum, zoomte in ein paar Einträge hinein. „Von der städtischen Klinik. Die hat bislang immer brauchbares Material geliefert. Medikation ist normal. Ich habe den Geschäftsführer mal kennengelernt, der Typ ist okay, steht total hinter unserem Konzept. Und außerdem verdienen die daran ja auch nicht gerade wenig. Kommt denen gerade recht, um die Finanzen des Gesundheitssystems steht es ja übel genug. Wir verschaffen ihnen Unabhängigkeit.“

„Die städtische Klinik“, driftete ich gedankenverloren ab. „Stimmt. Ich kann mich besonders gut an eine Quelle von dort erinnern. Ihr Output war großartig.“

„Welchen Auftrag meinst du?“

„Diese Schlacht im Labyrinth. Episch! Die Gegner sahen aus wie die apokalyptischen Reiter, düstere Stimmung, Nebel hing überall, ab und zu Farbschlieren, aufblitzende Formen in Neon. Das Ganze war krass verstörend. Der volle Horrortrip!“

„Das war die Sache mit der Ego-Perspektive, oder?“ Er grinste breit. „Genau. Ich weiß jetzt auch wieder, was du meinst.“

Für eine Weile berauschten wir uns an persönlichen Rückblicken. Damals. Die gute alte Zeit. Ausgezählte Boni. Bezahlter Extra-Urlaub all inclusive.

An diesem Punkt fiel mir noch etwas ein. „Was sagt denn die Anamnese unserer Quelle?“

Wieder tippte er. „Organversagen“, las er vor, nachdem er den Eintrag gefunden hatte. „Die Lieferantin ist 92.“

„Das könnte der Grund sein.“

„Ihr Alter? Verstehe ich nicht. Was hat denn das Alter damit zu tun?“

„Nein. Was ich meine, ist ... es fehlt der Konflikt.“ Es war nur eine vage Vermutung; tatsächlich hatte ich keine Ahnung von den medizinischen Abläufen ihres Sterbeprozesses. „Das geht alles zu friedlich ab. Weißt du, was ich meine?“

Langsam zeichnete sich Verständnis auf seinem Gesicht ab. „Alles klar. Du willst darauf hinaus, dass unser bisheriges Material meistens von Unfallopfern stammte.“

„Genau. Oder die Personen waren von Krebs zerfressen.“

„Schmerz spielt also eine große Rolle?“

„Er erzeugt womöglich einen ständigen Kampf, gegen den auch die Medikamente nichts ausrichten können“, fügte ich hinzu.

„DIESE SCHLACHT IM LABYRINTH. EPISCH! DIE GEGNER SAHEN AUS WIE DIE APOKALYPTISCHEN REITER.“

„Du willst also sagen, dass eine gute Story – unsere gute Story – Reibung braucht.“

„Nun ja. Unglück ist dramaturgisch eben sehr viel interessanter als eitel Sonnenschein“, gab ich zu bedenken. „Liest du lieber einen Friede-Freude-Eierkuchen-Roman oder bevorzugst du Kontroversen, Gegenspieler und Spannungsmomente?“

Als ein langgezogener Ton unsere Konversation über-tönte, kräuselte er resigniert die Lippen. „Shit. Sie ist tot. Und wir haben nur wertlosen Schrott. Was machen wir jetzt?“

Hilflos hoben sich meine Schultern. „Keinen Schimmer. Hast du eine unheilbare Krankheit und keinen Bock mehr? Ich glaube, du bist ein vielversprechender Lieferant.“

„Sehr witzig. Wie sieht es denn mit dir aus? Lust auf das allerletzte Abenteuer?“

„Haha.“ Ich musste tief durchatmen, bevor ich die nächste Frage stellte: „Wer teilt es unserem Auftraggeber mit?“

„Na, wer wohl? Glaubst du vielleicht, das würde die Geschäftsleitung übernehmen?“ Er stieß ein freudloses Lachen aus. „Das bleibt für uns. Und eins kann ich dir sagen: Wir sind am Arsch.“

* * *

Die Nacht war kurz gewesen. Stundenlang hatten wir alles zusammengesucht, was auf den Servern zu finden war. Alte Aufzeichnungen aus den Archiven gekitzelt und erfolgreiche Grenzüberschreitungen betrachtet, bei denen die sterbenden Gehirne die übliche neurale Ordnung nicht mehr halten konnten. Bei denen ansonsten sauber getrennte Signale verschiedener Hirnareale einander überlagert hatten. In den hintersten Ecken der Server hatten wir gekramt, bizarres Zeug gesichtet, geschnitten, zusammengestellt, Übergänge geschaffen, Schärfe angepasst, das Farbspektrum und die Lichtbeugung angeglichen. Das Wasserzeichen des Unternehmens hinzugefügt. Zeitstempel vereinheitlicht. Wir hatten, kurz gesagt, hemmungslos betrogen. Das Ergebnis allerdings hatte uns umgehauen.

Jetzt, zehn Stunden später, standen wir beide nach Übergabe der Datei an den Auftraggeber vor dem Eingang des Instituts, schüttelten einander die Hände und klopfen uns gegenseitig auf die Schultern.

Lächelnd wiederholte er das Bekenntnis der uns unbekannt Kundschaft, die „den Drang zum Unbekannten schon von Kindesbeinen an verspürt“ haben wollte, und setzte hinzu: „Wer auch immer diesen Wunsch geäußert hat, um wen es sich auch immer handelt: Die Person wird sich nicht mehr einkriegen vor Begeisterung.“

„Wir waren ziemlich gut“, gab ich ihm recht.

„Gut?“ Er warf die Hände in die Luft. „Jetzt sei mal nicht so zurückhaltend, Mann. Genial! Wir sind genial!“

Langsam schlenderten wir zur Bushaltestelle, quetschten uns durch die Menge der Wartenden, stellten uns vor den Schaukasten mit dem digitalen Fahrplan und plauderten weiter. Steckten die Köpfe zusammen und tuschelten. Schmückten unser Meisterwerk aus, lobten uns über den grünen Klee, bis er sagte: „Wir sollten vorbeugen.“

Von Weitem war der Bus zu sehen, der gerade um die Ecke bog.

„Vorbeugen? Was meinst du?“, fragte ich.

„Backups schaffen. Für Fälle wie diesen.“

Ich verstand es immer noch nicht.

„Wir sollten viel mehr Material sammeln und katalogisieren. Bilder, die wir bei Aufträgen zunächst nicht verwerten können. Zeug, das den Wünschen der Kundschaft gerade mal nicht entspricht, weil die bestimmte Anforderungen gestellt hat. Visionäre Sterbebefahrungen. Krasse Dinger. Abgefahrenes Zeug, verstehst du? Und zwar gezielt. Das, was auf den Servern noch an Restmaterial liegt, reicht nicht für einen zweiten Betrug, das haben wir doch jetzt gemerkt.“

Das stimmte. Wir hatten wirklich alles zusammengeklaut, was irgendwie zu gebrauchen war.

„Aber wie stellst du dir das vor?“, fragte ich. „Wir können doch keine Todeskandidaten entführen.“

„Hast du damit ein Problem?“

„Naja“, wich ich der direkten Frage aus. „Wir brauchen außerdem eine bestimmte Personengruppe, das ist uns jetzt ja auch klar geworden. Keine friedlich dahinschlummernde, die irgendwann mal still den Jordan überquert.“

Der Bus näherte sich der Haltestelle.

„Genau“, stimmte er mir zu. „Das hast du rasiermesserscharf erfasst. Und es geht einfacher, als du denkst.“

Ich sah seine Hand nicht kommen, spürte sie nur. Spürte den Druck auf meiner Brust, als er mich in Richtung Straße stieß und ich die Balance verlor. Sah in die Fahrerkabine des Busses, die vor Entsetzen geweiteten Augen der Frau am Steuer. Der Mund der Busfahrerin hatte sich zu einem Schrei geöffnet. Ihr Oberkörper ruckte vor und zurück, während sie erfolglos versuchte, mit einer Notbremsung das Unvermeidliche zu verhindern.

* * *

„Heißer Scheiß“, sagte er von seinem Studiopultplatz aus. „Verdammt heißer Scheiß.“ Er drehte sich zu seinem neuen Kollegen. „Das hebt unser Business auf einen völlig neuen Level! So macht man Kunden glücklich. Oder was meinst du?“

(psz@ct.de) **ct**

Hackern einen Schritt voraus

**M365 Security: Sicherer Einsatz der Microsoft-Cloud
im Unternehmen**

In unserem praxisorientierten Classroom erfahren Cloud-Administratoren, wie sie M365 schützen. Sie lernen M365 mit kostenlosen Tools, eingebauten Funktionen und Microsoft-Zusatzprodukten sicher zu konfigurieren.

**5 Tage
geballtes
Wissen**



> Jetzt Tickets sichern unter heise-academy.de





Eine Antwort weiter

Sie wollen wissen, was bei heise so alles passiert?

Dann abonnieren Sie jetzt unseren Verlagsnachrichten-Newsletter!

Jeden Monat erhalten Sie einen kleinen Einblick in den heise-Alltag und attraktive Angebote zu unseren Produkten und Veranstaltungen – direkt in Ihr Mail-Postfach.

QR-Code scannen und abonnieren



Fernstudium Robotik



Ihre Chance in einem schnell wachsenden Zukunftsmarkt. Aus- und Weiterbildung zum Roboter-Techniker und -Programmierer. Kostengünstiges und praxisgerechtes Studium ohne Vorkenntnisse. Beginn jederzeit.

NEU: Umweltschutz-Techniker, Netzwerk-Techniker, SPS-Techniker

Teststudium ohne Risiko. GRATIS-Infomappe gleich anfordern!

FERNSCHULE WEBER - seit 1959
Neerstedter Str. 8 - 26197 Großenkneten - Abt. F14
Telefon 0 44 87 / 263 - Telefax 0 44 87 / 264

www.fernschule-weber.de



ICH WARTENICHT AUF UPDATES. ICH PROGRAMMIERE SIE.

heise jobs

IT Tag

Die IT-Jobmesse in Nürnberg,
04. Juni 2025 | Meistersingerhalle

Das erwartet dich:

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

Die Veranstaltung ist kostenlos.

Jetzt anmelden



Unsere Partner



DDUX

Konferenz für Digital Design und UX Professionals
Dortmund • 25./26. Juni 2025

Digital Design. Verbindet.

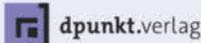
DD-UX bietet wertvolle Einblicke in die **neuesten Trends**, **praxisnahe Ansätze** und bewährte **Best Practices**, die du direkt in deinem Unternehmen umsetzen kannst. Erfahre, wie **Produktentwicklung**, **Technologiepoteziale** und **Gestaltung** zusammenwirken müssen, um digitale Produkte zu entwickeln, die die Erwartungen der User erfüllen.

Jetzt
Tickets
sichern!

Workshops am 27. Juni 2025

dd-ux.de

Veranstalter

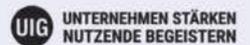


Kooperationspartner

Stadt Dortmund
Wirtschaftsförderung



VERBAND
DEUTSCHER
INDUSTRIE
DESIGNER



UNTERNEHMEN STÄRKEN
NUTZENDE BEGEISTERN

BEYOND IIoT

Konferenz für IIoT und Digitalisierung
Köln • 23. / 24. September 2025

Aus dem Programm:

- Zeitreihenanalyse neu gedacht
- Security im IIoT
- Plug-and-Play-Geräteintegration mit Web of Things
- Unified Namespace in Kombination mit KI-Agenten
- Der Cyber Resilience Act im Maschinenbau

Jetzt
**Frühbuecher-
tickets**
sichern!

beyond-iiot.de

Veranstalter



Inserenten*

AUDI AG, Ingolstadt	2
AVM Computersysteme Vertriebs GmbH, Berlin	180
Fernschule Weber, Großenkneten	171
Ford-Werke GmbH, Köln	29
IONOS SE, Montabaur	9
Kentix GmbH, Idar-Oberstein	73
mitp Verlags GmbH & Co. KG, Frechen	41
Pocketbook Readers GmbH, Radebeul	21
Rheinwerk Verlag GmbH, Bonn	23
SEH Computertechnik GmbH, Bielefeld	37
SIGS-DATACOM GmbH, Troisdorf	11
Thomas Krenn.com, Freyung	81
WIBU-SYSTEMS AG, Karlsruhe	33
Wiesemann & Theis GmbH, Wuppertal	75
WORTMANN AG, Hüllhorst	4, 5

Veranstaltungen

c't workshops	c't	12
betterCode	iX, dpunkt.verlag	53
Horizons #25 by heise	heise medien	57
Webinar Passkeye	heise academy	79
heise jobs IT Tag Köln	heise jobs	87
women in tech by heise	heise medien	89
GITEX	heise jobs	123
Webinar Jira verstehen und nutzen	c't webinar	141
Maker Faire Hannover	Make:	149
Mastering Observability/devSec	iX, dpunkt.verlag, heise security	153
secIT by heise digital	heise medien	160, 161
Academy classroom	heise academy	172
heise jobs IT Tag Nürnberg	heise jobs	173
DDUX/Beyond IoT	iX, dpunkt.verlag	174
Webinar KI Schreibwerkzeuge	c't webinar	176

* Die hier abgedruckten Seitenzahlen sind nicht verbindlich.
Redaktionelle Gründe können Änderungen erforderlich machen.

Im Praxiseinsatz

KI-Schreibwerkzeuge

ct
WEBINAR



Jetzt informieren:

webinare.heise.de/ki-schreibwerkzeuge

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: „E-Autos im Reichweiteinst“: Sven Hansen (*sha@ct.de*), „KI-Test: Wie Reasoning-Modelle schlussfolgern“: Jo Bager (*jo@ct.de*)

Chefredakteure: Torsten Beek (*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 Schüller (*jss@ct.de*), Kathrin Stoll (*kst@ct.de*), Keywan Tonekaboni (*ktn@ct.de*), Axel Vahldiek (*avx@ct.de*)

Ressort Hardware

Leitende Redakteure: Christof Windeck (*civ@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: Georgiy Belashov (*geb@ct.de*), Robin Brand (*rbr@ct.de*), Sven Hansen (*sha@ct.de*), Steffen Herget (*shi@ct.de*), Nico Jurrán (*nij@ct.de*), André Kramer (*akr@ct.de*), Michael Link (*mil@ct.de*), Urs Mansmann (*uma@ct.de*), Stefan Porteck (*spo@ct.de*), Tom Leon Zacharek (*tlz@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 (*piac@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 Ermert, 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, Schülpl, 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 35E5 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: aaynmonmewb2tjvgf7ym4t2726muprjvwckz2vhf2hbarbbz2ydm7oad.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 Altgefäll 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-tägig

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** 12/2025

Ab 30. Mai im Handel und auf ct.de



Bild: Moritz Reichartz

Desinfec't 2025

Wenn ein Trojaner Ihr Windows infiziert hat, sollten Sie den PC besser nicht mehr starten. Doch wie kommen Sie nun an wichtige Dateien? Das c't-Sicherheitstool Desinfec't bootet direkt von einem USB-Stick, ohne dass Windows gestartet wird. Damit untersuchen Sie Ihr System mit mehreren Virensclannern und bringen persönliche Daten in Sicherheit.



Neue Ehren für schlaue Uhren

Trotz des Fehlstarts der Smartwatch als Ablösung fürs Smartphone hat sich die Gattung als nützlicher Helfer etabliert. Aber nicht jedes Modell passt für jeden Anwendungsfall – unsere Tipps weisen Ihnen den Weg. Außerdem im ausführlichen Test: die Google Pixel, die Apple Watch sowie die Galaxy Watch von Samsung.

Mini-PCs vom Refurbisher

Gebrauchte Mini-PCs sind eine kostengünstige und umweltfreundliche Alternative zum Kauf eines neuen Geräts. Wir geben Ihnen Tipps, worauf Sie bei der Auswahl achten sollten. Im Test treten vier ältere, Windows-11-kompatible Kompaktrechner gegen einen aktuellen Mini-PC an.

Die Steuererklärung per Handy

Mit Smartphone-Apps für die Steuererklärung soll man die lästige Pflicht ruckzuck, gut angeleitet und lückenlos erledigen können. Wir nehmen solche Apps genauer unter die Lupe und prüfen, für wen sie eine Alternative zu Desktop-Programmen und Webdiensten darstellen.

Künstliche Intelligenz auf der Enterprise

Computer spielen in fast jeder Episode von Star Trek eine bedeutende Rolle, vom mächtigen Bordcomputer bis hin zur zerstörerischen KI. Die Serie spiegelt nicht nur gesellschaftliche Entwicklungen wider, sondern liefert auch eine Vorlage, wie die Menschheit mit neuen Technologien umgehen könnte.

Noch mehr
Heise-Know-how



c't Fotografie 03/25 jetzt im
Handel und auf heise-shop.de



Make: 2/25 jetzt im Handel
und auf heise-shop.de



Mac & i 2/2025 jetzt im
Handel und auf heise-shop.de

Freie Medien. **Starke** **Demokratie.** Unsere Verantwortung.

Ohne Journalismus wird aus Demokratie Willkür. Es gibt einen Überfluss an Informationen, aber ein Defizit an Einordnung.

Unabhängiger Journalismus stellt sich gegen autoritäre Politik, gegen Einflussnahme und Vereinnahmung. Unabhängiger Journalismus benennt Fakten und entlarvt Propaganda. Unabhängiger Journalismus kann erklären und einordnen.

Journalismus ist nicht frei von Fehlern. Aber gerade im Umgang mit Fehlern kann der Journalismus seine Glaubwürdigkeit durch Transparenz und Nachvollziehbarkeit unter Beweis stellen.

Wir können etwas gegen Desinformation und falsche Narrative tun und unsere Demokratie resilient machen. Halten wir die Gesellschaft zusammen!



Mehr erfahren



Eine Initiative von: **journalist** Das Magazin für Journalismus in Deutschland

W L A A A A A A A A
A A A A A A A A A A
A A A A A  A A A A
A A A A A A A A A A
A A A A A A A A A A
A A A A A A A A A A
A A A A A A A A A A
A  A A A A A A A A A A
A A A A A A A A A A
A A A A A A A A A A
A A A A A A A A  A A
A A A A A A A A A N

Vergrößern Sie Ihr WLAN. Mit Mesh!
[FRITZ.com/mesh](https://www.fritz.com/mesh)

FRITZ!