.inf 11

DAS INFORMATIK-MAGAZIN
HERBST 2025

GESELLSCHAFT
FÜR INFORMATIK

Es kommt von oben

Was Drohnen für die Cybersicherheit bedeuten

INF.GI.DE ISSN 2940-0694

```
with open(["source"
                "science"
 print("let's talk")
```

", "access", ']) as wide:

Christine Regitz, Präsidentin der Gesellschaft für Informatik e. V.

Jetzt mal ganz ehrlich: Wie offen sind Sie für Neues? Wie gerne teilen Sie Ihr Wissen, Ihre Daten, Ihren Code mit anderen? Schon klar, das sind keine Fragen, die sich so einfach beantworten lassen und viele Nachfragen mit sich ziehen.

Genau diesen widmen wir uns dieses Jahr auf unserer Jahrestagung unter dem Motto „The Wide Open: Offenheit von Source bis Science". Dabei wollen wir explizit auch auf die vielen Grauzonen blicken, die es in diesem Themenfeld gibt: Wo hat Offenheit ihre Grenzen? Welche Voraussetzungen braucht sie? Ich freue mich auf die Gespräche, die sich in den Workshops, auf den Panels und beim Kaffee zwischendurch ergeben.

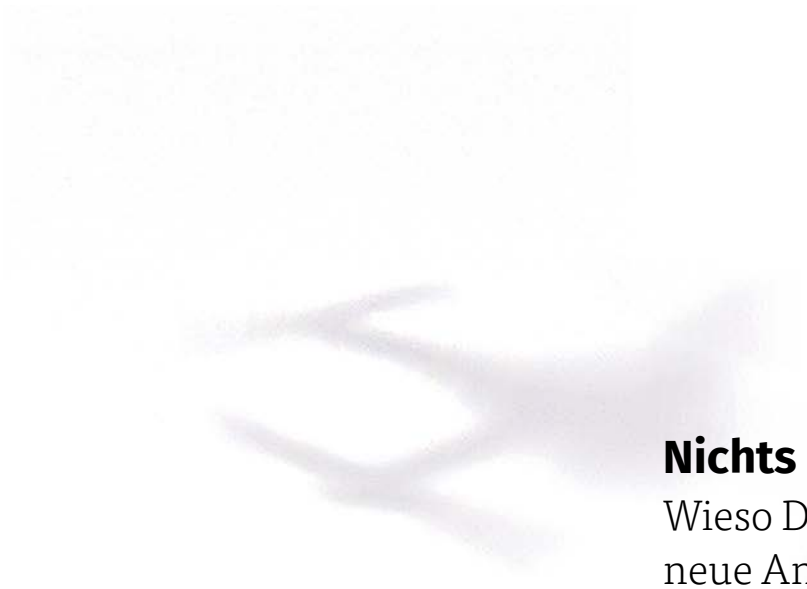
Mit Grauzonen beschäftigt sich übrigens auch diese Ausgabe unseres Magazins: In einem Fachartikel beleuchtet GI-Mitglied Volker Skwarek, welche neuen Sicherheitsrisiken Drohnen mit sich bringen – trotz all des Potenzials, das ihnen zugesprochen wird. → S. 12

Um ein Thema, das definitiv immer zu heftigen Diskussionen führt, dreht sich unser Doppelinterview: Marlena Müller und Florian Oelmaier haben mit unserer Redakteurin über digitale Souveränität gesprochen. Spannend ist dabei auch die Perspektive, die gerade junge Menschen auf die Abhängigkeit von großen Konzernen mitbringen. → S. 8

Ebenfalls Gegenstand großer Diskussionen waren damals die ethischen Leitlinien, die sich die GI unter Anleitung unserer Fachgruppe Informatik und Ethik gegeben hat. Aber sind diese noch aktuell? Oder brauchen sie angesichts der jüngsten Entwicklungen in der KI-Forschung ein Update? Das haben sich einige Mitglieder der Fachgruppe genauer angeschaut. → S. 21

Ansonsten hat diese Ausgabe mal wieder die ganze Spanne von Theorie bis Praxis der Informatik parat. Tauchen Sie ein in die Details des Dijkstra-Algorithmus – oder fragen Sie Ihr Gewissen, wie es zu Videoüberwachung im Naturschutzgebiet steht!

Ich wünsche Ihnen eine Lektüre, die Ihnen neue Blickwinkel eröffnet!
Ihre Christine Regitz



1

Nichts Gutes kommt von oben

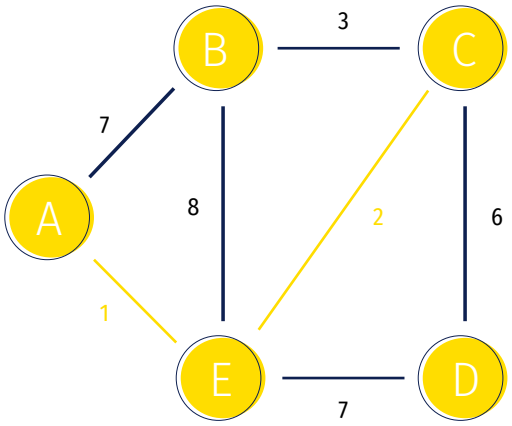
Wieso Drohnen ganz
neue Anforderungen an die
IT-Sicherheit stellen

8

Hin und weg von digitaler Souveränität

Eine Diskussion über technische Möglichkeiten und politischen Willen

2



24

Ohne Umwege

An ihm führt kein Weg vorbei: der Dijkstra-Algorithmus

Ihr Thema hier?
Wir freuen uns auf Ideen und Vorschläge unter *redaktion@gi.de!*

ZUR WAHL

Im Oktober steht die Vorstands- und Präsidiumswahl 2025 der GI an: Für den Vorstand kandidieren Prof. Dr. Martin R. Wolf als Präsident sowie Prof. Dr. Nadine Bergner, Prof. Dr. Friedrich Steimann und und Dr. Katharina Weitz als Vizes. Im Präsidium sind sechs Plätze neu zu besetzen. Unter der Leitung von Carolin Neumann hat die zuständige Findungskommission eine Liste Interessierter für die Amtszeit 2026–2028 zusammengestellt. Diese wird der Ordentlichen Mitgliederversammlung am 16. September in Potsdam zur Verabschiedung vorgelegt. Ab Mitte Oktober bis zum 5. Dezember, 12 Uhr, ist die elektronische Wahl geöffnet. Briefwahlunterlagen können nach Erhalt des Wahlbriefes angefordert.

Alle Infos unter: *gi.de/wahlen*

Diese Personen stehen für das Präsidium zur Wahl:

Clarissa Sabrina Arlinghaus, *Universität Bielefeld*

Dipl.-Inform. Thomas Bendig, *Bundesministerium für Digitales und Staatsmodernisierung, Berlin*

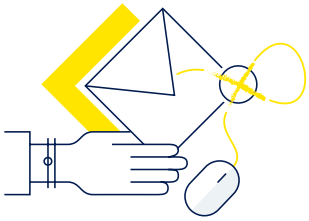
Andreas Chemnitz, *infoteam SoftwareAG, Bubenreuth*

Bettina Finzel, *Universität Bamberg*

Deborah Luz Fleischhut, *Hochschule Bielefeld/ Deloitte Wirtschaftsprüfungsgesellschaft GmbH*

Dr. rer. nat. Andreas Grillenberger, *TU Dresden*

Dr. rer. nat. Oliver Karras, *TIB – Leibniz Information Centre for Science and Technology*



Dipl.-Inf. Edna Kropp, *Vier GmbH, Berlin*

Mareike Lisker, *HTW Berlin*

Christian M. Mzyk, *WAITS Software- und Prozessberatungsgesellschaft mbH, Köln*

Dr. Hans-Joachim Popp, *BwConsulting GmbH, Köln*

Dr.-Ing. Harald Schöning, *Software GmbH, Darmstadt*

Dr. Aleksandra Sowa, *Bonn*

Prof. Dr. Zeynep Tuncer, *Duale Hochschule Baden-Württemberg, Mannheim*

Dr. rer. nat. Martin Weigele, *Bonn*

UNENDLICHE WEITEN

Junge Menschen haben einen ganz eigenen Blick auf unseren Planeten. Satelliten auch. Diese beiden Perspektiven bringt der Climate Data Entrepreneurial Club zusammen. Am 11. und 12. Oktober können Jugendliche wieder an einem Hackathon in Berlin teilnehmen, sich mit Satellitendaten und KI auseinandersetzen und dabei eigene Projekte und neue Lösungen für die Folgen des Klimawandels entwickeln.

In dem zweitägigen Workshop arbeiten sie zusammen mit Expert*innen aus Informatik, Geoinformation und Pädagogik an realen Herausforderungen. Der Fokus liegt dabei klar auf der Frage, wie sich Klimadaten nutzen lassen, um innovative und nachhaltige Lösungen für unsere Zukunft zu finden.

Anmeldung:
cdec.io/hackathon2025

NEU IN DER DIGITALEN BIBLIOTHEK

Die Reihe an Beiträgen, die in der Digitalen Bibliothek der GI online zu lesen sind, wächst stetig. Kürzlich ergänzt oder veröffentlicht wurden die folgenden Sammlungen:

FACHGRUPPE FRAUEN UND INFORMATIK (2025)
Band 49 – Frauen machen Informatik
inf.gi.de/fui-band29

MENSCH UND COMPUTER (2025)
Workshopband MuC 2025
inf.gi.de/muc-2025

DANIEL LOSCH, SIMONE OPEL (HRSG.) (2025)
Nachwuchskonferenz der Didaktik in der Informatik (NakoDI)
inf.gi.de/nakodi

Alle Beiträge finden Sie in der Digitalen Bibliothek der GI, die allen Mitgliedern kostenlos zur Verfügung steht. Wir laden ein zum Stöbern:
dl.gi.de

WIE KANN ICH DIR HELFEN?

Large Language Models (LLMs) wie ChatGPT werden mit enormen Datenmengen trainiert, die häufig personenbezogene Daten beinhalten. Die Bundesbeauftragte für Datenschutz (BfDI) will die datenschutzrechtlichen Herausforderungen bei der Entwicklung, dem Training und der Nutzung solcher Modelle adressieren. Zu diesem Zweck hat sie in einem Konsultationsverfahren Expertise von Stakeholdern eingeholt. Auch die GI hat sich mit einer Stellungnahme beteiligt. Als Stimme der Informatik hält sie fest, dass ein anonymes LLM aktuell technisch nicht möglich ist und es dringend klare Regelungen für LLM-Anbieter sowie Aufklärungsangebote für Nutzer*innen braucht.

inf.gi.de/stellungsnahme-llm

SAVE THE DATES

Für GI-Mitglieder ist der Kalender immer voller Highlights: Vier davon haben wir hier für Sie zusammengestellt.

25.–26. September
BIOSIG 2025
Zum 24. Mal veranstaltet die GI-Fachgruppe BIOSIG eine internationale Konferenz rund um biometrische Anwendungen.
DARMSTADT

9.–10. Oktober
HerCAREER
Vertreter*innen des Common Grounds Forum bringen sich mit mehreren Sessions in das Programm des Karriere-Events ein.
MÜNCHEN

13.–14. November
ecoCompute
Die Konferenz will den ökologischen Fußabdruck von Hardware und Software in den Fokus stellen – und die Frage, wie wir diesen verringern.
BERLIN

20.–21. November
PVM2025
Die gemeinsame Tagung „Projektmanagement und Vorgehensmodelle“ beschäftigt sich mit Post-Agilität, Resilienz und Transformation.
HAMELN

Alle weiteren Infos und Events der GI finden Sie in unserem Veranstaltungskalender: *gi.de/aktuelles/veranstaltungen*

Hin und weg *von digitaler Souveränität*

INTERVIEW Rika Baack

Technische Abhängigkeiten sind fest verankert in Hochschulen, Firmen und in den Köpfen vieler. Im Interview sprechen Informatikstudentin Marlena Müller und CTO Florian Oelmaier über die Kluft zwischen technischen Möglichkeiten und politischem Willen zu größerer Unabhängigkeit.

Welche Ziele gehören zum Begriff der digitalen Souveränität? Und wie steht es dabei um Deutschland?

MARLENA MÜLLER Im allgemeinen Verständnis geht es um Unabhängigkeit von ausländischen Softwareprodukten, insbesondere von Cloud-Produkten. Für mich sollte es noch viel mehr darum gehen, dass diese Unabhängigkeit, die vertraglich zugesichert ist, auch in der Realität wirklich vorhanden sein muss. Es geht nicht, dass man von amerikanischen Cloud-Anbietern unabhängig sein möchte und dann bei europäischen Cloud-Anbietern wieder in die gleichen Abhängigkeitsfallen tappt. Man muss auf unterschiedliche Hoster setzen, auf Software, die man selber besitzt oder von der man Äquivalente von anderen Anbietern erhalten kann.

FLORIAN OELMAIER Ich frage mich, ob Sicherheit auch dazugehört. Diese Fremdherrschaft über die IT kann nicht nur von Anbietern, sondern auch von Angreifern kommen. Und was passiert, wenn der Konzern selbst mir zwar alles zusichert, aber dann von der Regierung angewiesen wird, das doch nicht zuzulassen? Diese Freedom of Choice, die Marlena in den Vordergrund rückt, bringt mir nichts, wenn ich keine signifikante Alternative habe. Heute kann ich mich entscheiden, ob ich zu Amazon, Google oder Microsoft gehe. Tolle Freedom of Choice. Office-IT wie von Microsoft wollen Firmen möglichst

Das wachsende Risiko politischer Einflussnahme erleichtert es, Menschen von digitaler Souveränität zu überzeugen. Eher kein Grund zur Freude …

> ***„Es ist der Konsens, dass es auf gar keinen Fall so weitergehen kann, wie es aktuell läuft. Und wenn man wenig fordert, wird noch weniger umgesetzt.“***
>
> MARLENA MÜLLER

kostengünstig kaufen und sie wollen damit keinen Ärger haben. Ich habe aktuell für einen Mittelständler keine echte Alternative, die ihm das so einfach bietet. Bis wir sie entwickelt haben, müssen wir die großen amerikanischen Dienstleister verpflichten, unsere europäische Vorstellung von digitaler Souveränität wirklich umzusetzen.

Und wie das?

FO Die klassische Forderung ist, dass 30 Prozent der Commits im Source-Code, also bestätigende Freischaltungen von Änderungen, aus Europa kommen. In Europa soll nicht nur die Software betrieben werden, sondern auch ein Repository existieren, sodass die Software hier gelagert und kompiliert wird. Der Nebeneffekt dieser Anforderungen wäre, dass die Produkte der großen Konzerne teurer werden, was die Gründung von europäischen Alternativen erleichtert.

MM Wie, meinst du, kann man das überhaupt rechtlich umsetzen, dass wir Microsoft dazu verpflichten, entsprechende Kapazitäten in Europa sicherzustellen, die auch ausreichend unabhängig sind? Wenn wir uns anschauen, was in der Vergangenheit schon passiert ist – dass der Chefjustiziar von Microsoft Frankreich gesagt hat, sie könnten sich rechtlich gar nicht vor Zugriffen der US-Justiz schützen –, dann sehen wir, dass das so nicht funktioniert.

FO Die Alternative wäre, so zu handeln wie China: Dort dürfen Hyperscaler, also große Tech-Anbieter, nur ohne amerikanische Kontrolle agieren. Sie müssen ein Joint Venture machen mit einem Unternehmen in China, den Regeln der Zensur folgen und vieles mehr. So funktionieren die Skalierungsvorteile der amerikanischen Tech-Konzerne nicht mehr. Das ist ein Drohpotenzial, das wir haben. Rein technisch gesehen könnten wir über entsprechende Zertifizierungen, zum Beispiel die C5-Zertifizierung des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik oder die EU-Cloud-Zertifizierung, festlegen, dass etwa 30 Prozent der Entwicklerkapazität für eine Cloud in Europa liegen sollen. In Wirklichkeit wären Microsoft, Amazon und Google darüber gar nicht so unglücklich, glaube ich. Sie wollen nicht abhängig von einer Presidential Order aus den USA sein. Es sind ja ihre Kunden, mit denen es dann Ärger gibt.

MM Jetzt ist die Frage: Warum tut Microsoft das nicht schon, wenn es im eigenen Interesse ist?

FO Ja, auch in der EU würde man für solche Maßnahmen gerade keine Einigkeit bekommen. Tatsache ist, wir werden nicht daran vorbeikommen. Microsoft und die Office-IT interessieren mich nur peripher. Ob unsere Waffensysteme ohne amerikanische Software und unsere Medizintechnik ohne amerikanische und chinesische Software und Hardware funktionieren – das sind die Fragen, die wirklich etwas ausmachen. Ab dem Zeitpunkt, ab dem ich jemanden nicht mehr operieren kann oder meine Verteidigung in den Händen von fremden Mächten ist, wird das Spiel schwierig.

*Großunternehmen den Rücken kehren und Neues entwickeln – ist das etwas, das jungen Informatiker*innen etwas leichter fällt?*

MM Schulen und Hochschulen sind schon ein großer Faktor, etwas zu bewegen. Dort lernen Menschen, wie sie einen Computer bedienen. Damals an meiner Schule hatten wir

> **„Am Ende des Tages ist es in der Wirtschaft so: Je mehr das Risiko steigt, desto mehr Geld wird die Wirtschaft haben, es zu adressieren."**
> FLORIAN OELMAIER

keine Microsoft-Lizenz, weil sich die Schule das nicht leisten konnte, und deswegen haben wir mit LibreOffice gearbeitet. Ich kann mit Stolz sagen, dass ich noch nie eine PowerPoint-Präsentation gehalten habe, weil ich die Software noch nie bedient habe. Wenn wir den Jüngeren zeigen, dass es auch andere Software gibt, führt das dazu, dass sie viel flexibler werden: in dem, was sie nutzen – und in dem, was sie können. Dass sie sich fragen, welche Software für ihren Use Case die beste ist. Langfristig gesehen kann entsprechend in Firmen ankommen, dass man nicht immer auf den Platzhirsch setzen muss.

FO In meiner Generation muss ich nicht groß dafür kämpfen, dass digitale Souveränität wichtig und eine Notwendigkeit für Europa ist. Ich muss aber den Kampf führen, dass eine Veränderung trotzdem modern sein soll und es nicht einfach zurück in die Vergangenheit gehen sollte – von wegen: „Früher war alles besser."

MM Im Rahmen der Konferenz der deutschsprachigen Informatikfachschaften haben wir unsere Resolution veröffentlicht, in der wir Hochschulen und Studierendenschaften auffordern, sich mehr mit dem Thema zu befassen und mehr Open-Source-Software oder wenigstens in Europa gehostete Software von europäischen Firmen zu nutzen. Mit diesen Forderungen gehen wir natürlich relativ weit. Es ist der Konsens, dass es auf gar keinen Fall so weitergehen kann, wie es aktuell läuft. Und wenn man wenig fordert, wird noch weniger umgesetzt.

Sind die Awareness und das Verständnis für digitale Souveränität gestiegen?

MM Für mich wird zu wenig über die Nutzung von Social Media gesprochen. Sei es Mastodon, das Fediverse oder Ähnliches – es muss mehr Awareness dafür geben, dass man an Social Media teilnehmen kann, ohne auf Plattformen zurückzugreifen, die nicht vor politischer Einflussnahme geschützt sind.

FO Wobei man durchaus politisch von den entsprechenden Diensten fordern könnte, dass sie 100 Prozent Interoperabilität herstellen, andere Clients zulassen oder einen über verschiedene Technologien und Server verteilten Messengerdienst schaffen. Auch das wäre technisch kein Hexenwerk. In der Wirtschaft steht es um die Awareness wie im Privaten mit Versicherungen. Zunehmend lassen Firmen sich ihr Risiko beziffern: Welche Ereignisse wären es, die sie treffen könnten? In welchem Umfang? Aber dann nennen wir ihnen den Preis, um das Risiko zu minimieren, und da sagen die meisten Firmen: „Jetzt kenne ich das Risiko und gehe über zur Akzeptanz." Für digitale Souveränität haben sie erst dann Geld, wenn ihnen ein Dienst abgeschaltet wird. Seit Trump gewählt wurde, ist das Thema allerdings deutlich attraktiver geworden. Am Ende des Tages ist es in der Wirtschaft so: Je mehr das Risiko steigt, desto mehr Geld wird die Wirtschaft haben, es zu adressieren.

MM Auch die Politik, die Zivilgesellschaft und Organisationen bespielen das Thema seitdem wesentlich mehr und effizienter. Es ist schade, dass das ein Faktor sein muss.

Wie kann man trotz der aktuellen ökonomischen Nachteile mit Souveränitätszielen überzeugen?

FO Es gibt drei Stellschrauben. Zuerst muss das Risiko größer werden. Darum kümmert sich Trump. Außerdem müssen die Alternativlösungen kostengünstiger werden. Dafür muss es einerseits teurer werden, die Erstlösung in Amerika einzukaufen. Je mehr Anforderungen die großen Tech-Konzerne in puncto digitale Souveränität erfüllen müssen, desto stärker wird das umgelegt auf den Preis. Auf der anderen Seite sind wir als Informatik-Community gefragt. Wir müssen anfangen, coole, kluge Open-Source-Lösungen zu bauen, die für Unternehmen und in Schulen leicht einsetzbar und funktional sind. Damit wären sie in einer Betrachtung

Marlena Müller und Florian Oelmaier sind sich einig: Wir müssen weg von digitalen Abhängigkeiten. Über den Weg dahin lässt sich allerdings diskutieren.

Marlena Müller
hat neben ihrem Informatikstudium an der Universität Paderborn noch ein Mathematikstudium begonnen und engagiert sich in der studentischen Selbstverwaltung. Neben der Teilnahme an Ausschüssen und Gremien an der Universität ist sie seit 2024 ständiger Gast im GI-Präsidium als Vertreterin der Konferenz der Informatikfachschaften und arbeitet in unterschiedlichen Arbeitsgruppen des GI-Präsidiums mit.

Florian Oelmaier
ist CTO und Leiter der Security Group des IT-Unternehmens IS4IT. Er ist Mitglied im Expertenrat Cybersicherheit des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), Autor sowie Initiator und Mitgründer der MCTTP, einer internationalen Cybersicherheitskonferenz.

der Total Cost of Ownership nicht so viel teurer. Diese Stellschrauben müssen wir alle drei gleichzeitig drehen.

MM Ich denke, es gibt noch eine dreieinhalbe Stellschraube mehr. Man muss den Menschen auch beibringen, dass es Alternativen gibt, und die mentale Bereitschaft fördern, zu diesen zu wechseln.

Woher kommt dieses Festhalten an großen Konzernen?

FO Das passiert nicht aus heiterem Himmel. Abo-Modelle sind das Nonplusultra. Es wird gefragt, wie viele Benutzer eine Firma an sich bindet. Je mehr es sind, desto mehr ist sie wert. Solange jedes Start-up versucht, ein Modell aufzubauen, das genau das schafft, werden immer drei neue nachziehen, sobald wir eines unter Kontrolle haben. Dieses Modell ist aus Sicht der Informatik ungesund.

MM Jetzt mal ganz frech gefragt – ist deiner Meinung nach die Abschaffung des Kapitalismus die Lösung?

FO Nein, aus meiner Sicht haben wir noch kein besseres Wirtschaftsmodell. Aber der Kampf um digitale Souveränität ist auch ein Kampf von Europa um sein Modell, um seinen Weg in der Welt. Der heißt eben nicht China und auch nicht Amerika, sondern liegt dazwischen.

MM Jemand hat ja mal gesagt, dass es keine technischen Probleme gibt, sondern nur politische. Man kann es als Vorteil sehen, dass Technologie und technisches Wissen verteilt sind, weil das auch politische Vorteile mit sich bringt. Wenn man von anderen Ländern abhängig ist, führt man keinen Krieg mit ihnen. Zumindest solange sie vernünftig geführt werden. Da muss man wieder gesellschaftspolitische Fragen stellen: Was wollen wir? Wollen wir unabhängig sein von dem Rest der Welt? Oder wollen wir uns mit Absicht abhängig machen, um Einheit zwischen den Menschen zu fördern?

FO Ich bin nicht gegen Abhängigkeiten von anderen. Deutschland ist ein vernetztes und exportorientiertes Land. Globalisierung darf kein Schrecken für uns sein. Aber ich will, dass diese Abhängigkeiten wechselseitig sind und nicht einseitig. I

Nichts Gutes kommt von oben

TEXT Volker Skwarek

Für die meisten Menschen ist eine Cyberattacke etwas, das im eigenen Postfach oder Netzwerk lauert. Doch was vielen nicht bewusst ist: Durch Drohnen können solche Angriffe heute auch über unseren Köpfen oder vor unserem Fenster passieren.

Drohnen: Errungenschaften der Technik, die nicht nur regelmäßig über, sondern mittlerweile auch in unseren Köpfen schwirren. In einer Vielzahl von Anwendungen sind sie längst fest etabliert: Sie transportieren Pakete, überwachen Wälder bei Brandgefahr oder liefern spektakuläre Luftaufnahmen bei Open-Air-Events. Wie bei jeder technologischen Innovation

bringt der vermehrte Einsatz von Drohnen jedoch auch eine Reihe an Herausforderungen mit sich. Und Cyber(un)sicherheit steht in diesem Fall ganz oben auf der Liste.

Luftfahrtrechtlich als UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) bezeichnet, sind Drohnen unbemannte Fluggeräte, die entweder autonom fliegen oder ferngesteuert werden. Ausgestattet mit Kameras und Sensoren können sie zahlreiche Aufgaben übernehmen, die sich üblicherweise mit Überwachung oder Dokumentation befassen. Für jede davon gibt es inzwischen spezialisierte Drohnen sowie die entsprechenden Konfigurationen. Aber unabhängig davon, ob es sich um eine Drohne für Filmaufnahmen, eine militärische Drohne oder eine Do-it-yourself-Version im 3D-Druck handelt: Jede Drohne stellt ein potenzielles Risiko für einen Cyberangriff dar – und kann dabei sowohl Werkzeug als auch Ziel des Angriffs sein.

Die Schattenseite der Freiheit

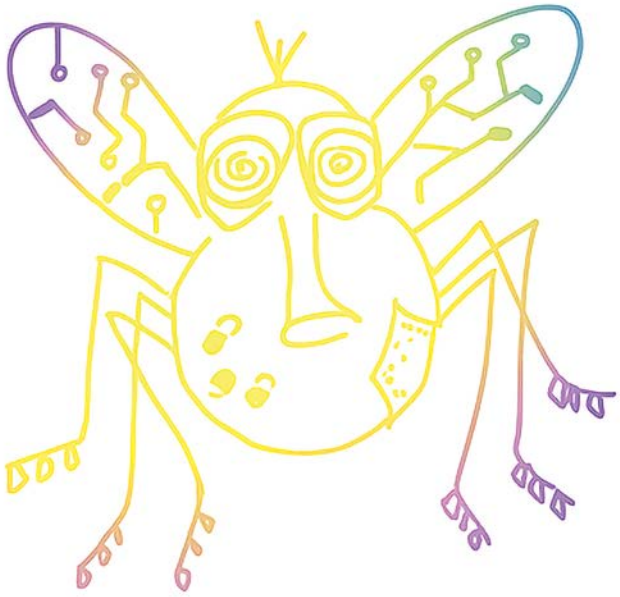
Drohnen sind inzwischen in einem breiten Spektrum und einer großen Preisspanne verfügbar. Sie sind oft sehr einfach zu steuern, klein und relativ unauffällig. Während sie im Flug einfach Grenzen überwinden und dadurch viele neue Möglichkeiten und Anwendungsfälle eröffnen, ziehen sie auch unweigerlich die Aufmerksamkeit von Cyberkriminellen auf sich. Denn die oben erwähnten Vorteile machen Drohnen auch zu äußerst attraktiven Begleitern für Cyberangriffe in sensiblen Bereichen, die ohne sie nicht zugänglich wären.

Doch wer nutzt Drohnen für Cyberangriffe? Und mit welcher Motivation wird ein solcher Cyberangriff ausgeführt? Auch wenn es sicher nicht eindeutig differenzierbar ist, so lassen sich verschiedene Kategorien von Angreifenden nach Mitteln und Zielen unterscheiden.

Da sind zum einen die sogenannten Skriptkiddies: Diese Personengruppe, zumeist Menschen mit wenig Informatikkenntnissen, hat eingeschränkte technische und finanzielle Möglichkeiten und probiert beispielsweise publizierte Konzepte aus. Drohnen setzen sie eher als Mittel zum Zweck ein, ohne vorsätzlich ein Ziel zu verfolgen, das die IT-Sicherheit verletzt. Dazu gehört beispielsweise das Ausspähen von WiFi mit dem Versuch, in diese Netzwerke einzudringen.

Auch Cyberaktivist*innen setzen bereits vermehrt Drohnen ein. Diese Personengruppe agiert eher einzeln als organisiert und verfolgt ein weiterführendes, in der Regel übergeordnetes Ziel. Dabei werden bekannte Techniken und Schwachstellen kombiniert und weiterentwickelt. Es bestehen finanzielle Grenzen, die aber deutlich höher sind als die der Skriptkiddies. Zudem besteht in dieser Kategorie von Angreifenden ein umfangreicheres Wissen, etwa darüber, wie man Drohnen selbst baut oder so umbaut, dass sie sich optimal für den geplanten Angriff eignen.

So können Überwachungen im optischen oder Infrarotbereich für Social-Engineering-Angriffe durchgeführt oder auch optische und Laser- oder Radarscans von Liegenschaften zur Schwachstellenanalyse durchgeführt werden. Zudem können zusätzliche WiFi-Accesspoints als Man-in-the-Middle abgesetzt werden, um so Datenverkehr mitzuhören, abzufangen oder sogar im Namen des Absenders zu manipulieren. Aktivistische Gruppen verfolgen damit oft das Ziel, Daten und Informationen zu stehlen



Die humorvollen Illustrationen von Anne Vogt sind fester Bestandteil jeder Folge des Podcasts „Die Sicherheits_lücke".

und für die aktivistischen Zwecke als Druckmittel einzusetzen. Eher selten besteht die Absicht, sich monetär zu bereichern.

Im Gegensatz zu Cyberaktivist*innen verfügen Cyberkriminelle, eine weitere Gruppe, die vom Einsatz von Drohnen profitieren kann, zusätzlich über große finanzielle Mittel, sodass ihre Angriffe nicht an materiellen Grenzen scheitern. Diese Gruppe ist in der Lage, sich zahlreiche Drohnen mit unterschiedlichen Eigenschaften und Nutzlasten zu beschaffen und diese in Mehrpilotensystemen für komplexe Aufgaben und Manöver zu steuern. Allerdings steht für Wirtschaftskriminelle der Return on Invest im Vordergrund. Somit sind bei den meisten Angriffen das Ausspähen und Stehlen von Daten, das Vorbereiten von physischen Einbrüchen, Cyberspionage und Erpressung zu erwarten.

Eine besonders schwer zu greifende Gruppe sind die „State Actors", also Angreifende, die im Auftrag von Regierungen und Staaten agieren. Sie nutzen ähnliche Mittel wie Cyberkriminelle, handeln jedoch eher nicht aus finanziellen Interessen. Für sie gilt, andere Gesellschafts- und Wirtschaftssysteme zu destabilisieren. Dabei sind Umfang und Art der eingesetzten Mittel von untergeordneter Bedeutung, wenn der Zweck sie aus Sicht der Handelnden rechtfertigt. State Actors geht es bei Cyberangriffen durch Drohnen oft eher um nachrichtendienstliche Analysen: Längerfristiges Mitschneiden verschlüsselter Kommunikation über WiFi, sogenanntes IMSI-Scanning der SIM-Karten von Mobiltelefonen an verschiedenen Orten, um Bewegungsmuster und sogar Wohnorte von Personen zu bestimmen, oder der Einsatz von höchstauflösenden Kameras und Richtmikrofonen, um Bildschirme und Gespräche auszuspähen: eine ausgezeichnete Grundlage, um weitere Cyberoperationen zu starten.

Vielseitige Angriffe

Welche Gruppe sie auch einsetzt: Fest steht, dass Cyberangriffe durch Drohnen an Komplexität gewinnen. Etablierte Abwehrmaßnahmen wie ein Zaun oder eine Mauer lassen sich damit mühelos überwinden, der physische Angriffsraum wird erweitert und die Geschwindigkeit, in der Angriffe ausgeführt werden, erhöht sich. Für Firmen bedeutet das, dass die Absicherung ihres Geländes auch den Luftraum und womöglich das Umfeld miteinbeziehen muss.

Darüber hinaus ermöglicht die hohe Geschwindigkeit einer Drohne Cyberangriffe auf Orte und Räume, an denen man sich bisher in relativer Sicherheit wiegen konnte. Beispielsweise werden dadurch Angriffe auf WiFi-Systeme in einem vermeintlich physisch sicher abgegrenzten Raum möglich, indem in einem einzigen, schnellen Überflug Netzwerke, Authentifikationsverfahren oder Bluetoothgeräte lokalisiert und mitgeschnitten werden, um Sicherheitslücken zu finden.

Aus diesen Überlegungen lässt sich der Charakter der zu erwartenden Cyberangriffe ableiten: Die hohe Mobilität, die geringe Größe sowie die

Möglichkeit zum Transport leichter Nutzlasten prädestiniert Drohnen dafür, Angriffe vorzubereiten und durchzuführen. Methoden, die dabei mittlerweile bekannt sind, sind etwa das Erstellen von (3D-)Geländeplänen oder das Ausspähen von vorhandenen und angefragten drahtlosen Netzwerken sowie von Bluetooth-Verbindungen, insbesondere zu Druckern und anderen schlecht gesicherten Geräten des Internet of Things. Auch das Scannen von Netzwerken über ungesicherte Zugangspunkte oder das Ausstrahlen eines Netzwerks und Accesspoints wird durch Drohnen sehr viel einfacher. Zudem ermöglichen sie es, den Funkverkehr drahtloser Mäuse und Tastaturen mitzuschneiden sowie Personen, Dokumente und Bildschirme zu fotografieren oder zu filmen.

Die zu erwartenden Angriffe zeichnen sich also durch eine Mischung aus unerwarteter Nähe, Höhe, Position und Geschwindigkeit aus. Die konkreten Angriffsvektoren sind dabei vielfältig: von Social Engineering über Man-in-the-Middle-Angriffe, um Netzwerke zu kompromittieren, bis hin zum Ausnutzen bekannter Sicherheitslücken durch spezialisierte Tools.

Eine gute Verteidigung …

… gibt es leider nicht. In unserer mehrteiligen Podcast-Serie haben wir uns mit dem Thema auseinandergesetzt und herausgearbeitet, dass der beste Schutz darin besteht, über präventive Angriffe wie Red-Teaming und Pentesting herauszufinden, wo Schwachstellen gegenüber Drohnen bestehen. Und darin, sich beim Schutz von IT, Ressourcen und Gelände nicht auf die physische Unerreichbarkeit zu verlassen. Drohnenangriffe zu erkennen und abzuwehren, ist aufgrund der geringen Größe und hohen Geschwindigkeit oft ein aussichtsloses Unterfangen. Selbstverteidigungsmaßnahmen wie Zerstörung, Hacking oder Abschuss lassen sich juristisch – wenn überhaupt – nur für den konkreten Einzelfall abschätzen. Grundsätzlich müsste die Polizei informiert werden und eingreifen. Dafür laufen Drohnenangriffe aber zu schnell ab. Zudem verfügt die Polizei selbst kaum über wirksame Maßnahmen.

Daher bleibt die Empfehlung, Drohnen in der Bewertung des Cyberrisikos zu berücksichtigen und ausreichende Präventivmaßnahmen zu ergreifen – beispielsweise auch durch die Lage kritischer Räume, die Orientierung von Schreibtischen und Monitoren zu Fenstern oder Handlungsempfehlungen an die Mitarbeitenden im Fall einer Drohnensichtung. I

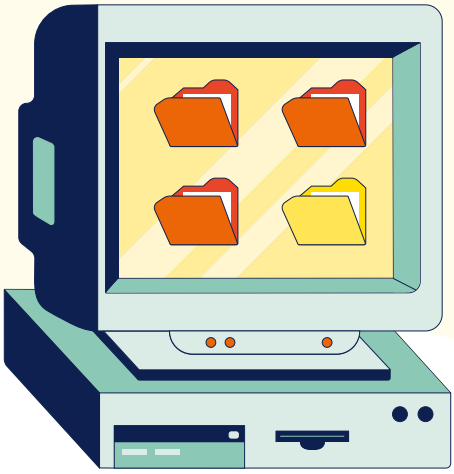
Die Sicherheits_lücke

… ist ein Podcast der Hamburg Open Online University (HOOU), der IT-Sicherheit greifbar macht und fundierte Inhalte mit unterhaltsamen Gesprächen verbindet. Prof. Dr. Volker Skwarek (HAW Hamburg) spricht gemeinsam mit Monina Schwarz (Landesamt für Sicherheit in der Informationstechnik Bayern) und Prof. Dr. Ingo Timm (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz und Universität Trier) über aktuelle Risiken, technologische Trends und gesellschaftliche Herausforderungen.
sicherheitsluecke.fm

Über den Autor

Volker Skwarek ist seit 2014 Professor für Technische Informatik an der HAW Hamburg und leitet das Forschungs- und Transferzentrum CyberSec. Dort forschen er und seine wissenschaftlichen Mitarbeiter an Methoden der Kodierung von Identitäten, Netzwerkabsicherung, Access-Control-Mechanismen insbesondere für Anwendungen der kritischen Infrastruktur. Bei der Gesellschaft für Informatik engagiert er sich als stellvertretender Sprecher der Fachgruppe Netzwerksicherheit (NetSec) und organisiert die Konferenz GI Sicherheit 2026 in Hamburg. Sein Text ist in Zusammenarbeit mit Monina Schwarz, Ingo Timm sowie Christian Friedrich entstanden, mit denen er seit Januar 2025 den Podcast „Die Sicherheits_lücke“ produziert. Dort wurde das Thema auch in mehreren Episoden aufgegriffen.

Wide *open*



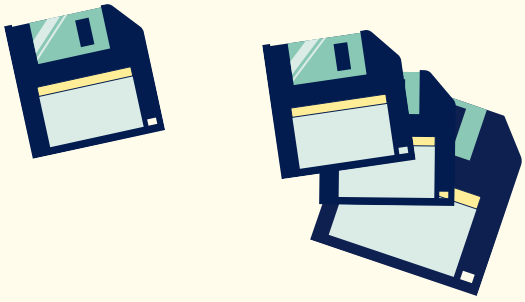
RECHERCHE UND TEXT Esther Blondel und Paul Reinelt

Ob in der Wirtschaft, in Behörden oder im Privaten – die Nutzung von Open Source wächst rasant. Dabei spielt nicht nur der Kostenvorteil eine entscheidende Rolle, sondern auch Interoperabilität, die große Auswahl an Open-Source-Software (OSS) und das damit verbundene Sicherheitsversprechen: Offen zugänglicher Code ermöglicht es, Fehler leichter zu entdecken und zu beheben. Auf den entsprechenden Plattformen steigt die Zahl der Beiträge Jahr für Jahr. Doch wie ist die Community überhaupt entstanden? Welche Länder treiben den Trend besonders voran? Und wie groß ist der wirtschaftliche Beitrag wirklich?

Freiheit im Code:
Die Open-Source-Geschichte

1991

Der 21-jährige Linus Torvalds trug 1991 den Kernel, den zentralen Bestandteil des Betriebssystems, zur Entwicklung von GNU/Linux bei, ein sehr leistungsfähiges Betriebssystem für eine Vielzahl von Plattformen und das Paradebeispiel für ein erfolgreiches Open-Source-Projekt – im Einsatz etwa auf den Servern des Deutschen Bundestags.



1998

Christine Peterson erfand den Begriff im Februar 1998.

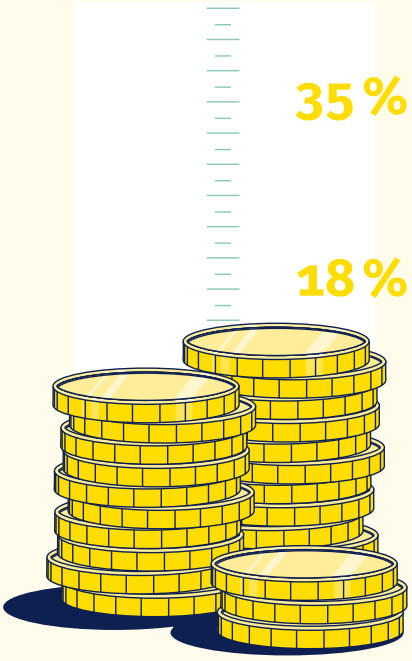
1997

Das Label Open Source wurde in Strategie-Sessions mit mehreren Personen aus der damaligen Free- und Open-Source-Szene Ende 1997 und Anfang 1998 entwickelt.

1998

1998 wird die Open Source Initiative (OSI) von Bruce Perens und Eric S. Raymond gegründet, um die Definition von Open Source zu standardisieren und Softwareprodukte unter diesem Label zu fördern.

Einstellungen von Privatwirtschaft und Behörden
(Bitkom Research, 2023)



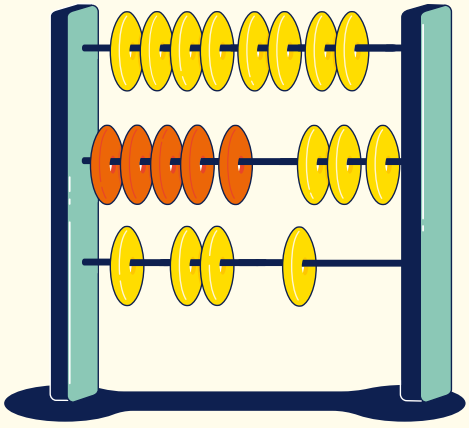
35 % der Unternehmen sehen die Kosteneinsparung als wichtigstes Argument für Open Source.

18 % der Behörden halten geringere Kosten für den größten Vorteil. Zudem sehen Behörden die große Auswahl an OSS-Komponenten (11 %), den Zugriff auf den Quellcode (11 %) und die Unterstützung offener Standards (10 %) als Vorteile.

Wirtschaftliches Potenzial
(Europäische Kommission, 2021)

95 Mrd. Euro

Zwischen 65 und 95 Milliarden Euro trägt Open Source zur Wirtschaftskraft der EU bei.



15 Mrd. Euro

pro Jahr: So hoch wird der wirtschaftliche Beitrag von Open Source für Deutschland geschätzt.

30 Mio. Commits

wurden bis 2018 veröffentlicht – das entsprach damals einer Personalinvestition von fast einer Milliarde Euro.

Digitale Souveränität und Open Source
(Digital Sovereignty Index, 2025)

64,5

Finnland erreicht auf dem Index mit 64,5 von 100 Punkten den ersten Platz und setzt stark auf eigene Open-Source-Projekte.

53,8

Deutschland folgt auf Platz zwei mit 53,8 Punkten, vor allem durch unabhängige Cloud- und Kollaborationstools wie Nextcloud oder LibreOffice.

16,3

Der EU-Durchschnitt liegt deutlich niedriger bei 16,3 Punkten, was die großen Unterschiede innerhalb Europas zeigt.

7,01 & 6,49

Am unteren Ende: Italien (6,49) und Spanien (7,01) – Länder, die digital gut vernetzt sind, aber beim Einsatz souveräner Open-Source-Lösungen stark hinterherhinken.

Open for more?
Alle Quellen sowie weitere spannende Zahlen, zum Beispiel zum Thema Diversität in der OS-Community, finden Sie unter:
inf.gi.de/wide-open

How to *Festival*

INSIDERTIPPS Alexandra Resch

Halten Sie dieses Magazin direkt auf dem INFORMATIK FESTIVAL in Potsdam in den Händen? Oder planen Sie, nächstes Jahr in Dresden dabei zu sein? Wir haben einen kleinen Guide zusammengestellt, um sicherzustellen, dass Sie das meiste von unserer Jahrestagung haben.

But first … coffee.
Der erste Tag auf einer großen Konferenz kann oft ganz schön kräftezehrend sein. Aber wenn das Event-Team der Berliner Geschäftsstelle eine Veranstaltung organisiert, ist eines sicher: Es wird ausgezeichneten Kaffee geben. Bonus: Wenn der Barista mal etwas länger braucht, entstehen in der Schlange oft die interessantesten Gespräche.

Hauptbühne geht immer.
Neben den zahlreichen Workshops lädt das Programmkomitee des INFORMATIK FESTIVALS jedes Jahr eine interessante Mischung aus Speaker*innen dazu ein, ihre Perspektive auf das Jahresthema einzubringen. 2025 sind unter anderem Digitalminister Dr. Karsten Wildberger, Saskia Esken MdB und Luise Kranich vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik dabei.

Wichtig: Nachfragen. Und Mitreden.
Was die Informatik-Community so besonders macht, ist ihre Fähigkeit, Dinge kritisch zu hinterfragen und an den richtigen Stellen über den Tellerrand zu schauen. Wir möchten Sie ermutigen: Tun Sie das auch in den Sessions des Festivals. So kommt eine offene Diskussion zustande, die alle Teilnehmenden zum Nachdenken anregt und auch Perspektiven einbindet, die ansonsten vielleicht nicht berücksichtigt werden.

Deep Dives und Diskussionen
Für viele sind die Workshops das eigentliche Highlight des Festivals. Hier kommen Communitys zusammen, die sich mit sehr konkreten Themen befassen – aber auch Menschen, die Neues lernen und mitdiskutieren wollen.

Junge GI knows best.
Halten Sie auf jeden Fall Ausschau nach den Vertreter*innen der Jungen GI! Denn für ihre erste Festival Night hat das Team unserer Studierendenvertretung ein großartiges Programm zusammengestellt: von Science Slam über Silent Reading bis Retrogaming. Herzlich willkommen sind alle mit etwas Neugier auf neue Dinge – aus jeder Generation!

Modische Statements setzen
Mit der Merch-Kollektion der GI zeigen Sie nicht nur, dass Sie Stil, sondern auch künstlerisches Gespür haben. Frieder Nake gilt als einer der Begründer moderner Computerkunst und seine Werke werden weltweit ausgestellt. Am GI-Stand finden Sie Ihren perfekten Fit – wie man ihn am besten stylt, kann Ihnen GI-Präsidentin Christine Regitz verraten.

Für GI-Insider und alle, die es werden wollen
Am offiziellen Stand der Gesellschaft für Informatik erfahren Sie, warum wir uns als die Stimme der Informatik bezeichnen, welche neuen Goodies wir uns ausgedacht haben – und welche Vorteile eine Mitgliedschaft mit sich bringt. Wer sich für ein stärkeres Engagement im Verein interessiert, kann zudem bei unseren Workshops zur Mitgliedergewinnung vorbeischauen:

Dienstag, 11:00 – 12:15 Uhr
Haus 6, Seminarraum 14

Freitag, 11:00 – 12:15 Uhr
Haus 6, Seminarraum 24

Kein Event mehr verpassen
Mit unserem Event-Newsletter „Save the dates“ bleiben Sie immer auf dem Laufenden, was die Veranstaltungen unserer Fachgruppen und Regionalgruppen angeht. Vom Online-Seminar bis zur dreitägigen Konferenz ist alles dabei. Hier anmelden:
gi.de/event-newsletter

Update *für die Ethik?*

TEXT Carsten Trinitis, Stefan Ullrich, Christina B. Class, Otto Obert, Gudrun Schiedermeier und Debora Weber-Wulff

New tools, new rules? Ist es nötig, die ethischen Leitlinien der Gesellschaft für Informatik in Zeiten generativer KI zu überarbeiten? Eine Bestandsaufnahme.

Wie wollen wir als Gesellschaft für Informatik (GI) agieren? Auf welche Werte können wir uns verständigen? Diese Frage treibt den Verein schon seit Jahren um. Zuletzt überarbeitete die Fachgruppe Informatik und Ethik der GI 2017/2018 die ethischen Leitlinien der GI unter der Leitung von Stefan Ullrich, dem damaligen Sprecher der Fachgruppe. Um allen Interessierten eine Beteiligung zu ermöglichen, wurde eine Diskussionsseite eröffnet.

Etwa 150 Anregungen und Kommentare gingen ein, die in der Gruppe eingehend diskutiert wurden. Eine wichtige Frage war, ob in dieser aktualisierten Version der Leitlinien konkrete Techniken und Teilgebiete der Informatik wie etwa KI genannt werden sollen – man entschied sich klar dagegen. Konsens war, die Leitlinien allgemein zu halten. Man muss und sollte daher keine Technologie gesondert herausgreifen, um den allgemeinen Anspruch nicht zu verwässern.

Heute sind Diskussionen rund um KI, insbesondere in ihrer generativen Form, in allen Feuilletons und auf jeder Social-Media-Plattform zu verfolgen. Nur logisch also, auch die Leitlinien der GI einer erneuten Prüfung zu unterziehen und dabei die Fragen zu stellen, die sich speziell um den Einsatz und die Entwicklung von KI-Lösungen drehen. Wer sich mit der Geschichte der Informatik auseinandersetzt, weiß zudem, dass diese Fragen die Fachleute schon deutlich länger beschäftigt haben. Am Ende des Kapitels „Künstliche Intelligenz“ seines Buches „Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft“ schreibt Joseph Weizenbaum: „Der Schluß, der sich mir aufdrängt, ist hier, daß die

relevanten Probleme weder technischer noch mathematischer, sondern ethischer Natur sind. Sie können nicht dadurch gelöst werden, daß man Fragen stellt, die mit ‚können' beginnen. Die Grenzen in der Anwendung von Computern lassen sich letztlich nur als Sätze angeben, in denen das Wort ‚sollten' vorkommt."

Aktuell und anspruchsvoll wie eh und je

Bereits heute beinhalten die ethischen Leitlinien der GI viele Aspekte, die direkt auf KI-Systeme anwendbar sind. Schon in der Präambel verpflichten sich die Mitglieder der GI dazu, die Menschenwürde zu achten und zu schützen und das Recht auf informationelle Selbstbestimmung zu befördern. Bereits hieraus ergeben sich Fragen, die sich Informatikfachleute vor Entwicklung und Einsatz von IT-Systemen stellen müssen. Insbesondere dürfen diese soziotechnischen Systeme und aktuellen Entwicklungen nicht isoliert betrachtet werden, sondern mit Blick auf Einsatz und Auswirkungen auf Menschen und Umwelt.

ARTIKEL 1 fordert, sich den Stand von Wissenschaft und Technik anzueignen und zu berücksichtigen. Aus ARTIKEL 2 ergibt sich, „Auswirkungen von IT-Systemen im Anwendungsumfeld" zu beurteilen und „geeignete Lösungen" vorzuschlagen, daneben die „einschlägigen rechtlichen Regelungen" zu kennen und zu beachten, und die Bereitschaft, „das eigene und das gemeinschaftliche Handeln im gesellschaftlichen Diskurs kritisch zu hinterfragen und zu bewerten sowie die Grenzen der eigenen Urteilsfähigkeit zu erkennen".

ARTIKEL 10 fordert, „zur Verbesserung der lokalen und globalen Lebensbedingungen" beizutragen, „Verantwortung für die sozialen und gesellschaftlichen Auswirkungen" zu tragen und zu „sozial verträglicher und nachhaltiger Verwendung [von IT-Systemen]" beizutragen.

ARTIKEL 11 fordert dazu auf, „die von IT-Systemen Betroffenen an der Gestaltung dieser Systeme und deren Nutzungsbedingungen angemessen zu beteiligen. Dies gilt insbesondere für Systeme, die zur Beeinflussung, Kontrolle und Überwachung der Betroffenen verwendet werden können".

Wenn die Leitlinien auch technologieneutral gehalten sind, so werden im Hinblick auf KI neue Fragen aufgeworfen. „Von IT-Systemen betroffen" sind ausnahmslos alle, deren Daten im Internet gelandet sind, ob sie es wollten oder nicht, ohne jedoch ausreichende Möglichkeiten zur Mitgestaltung eingeräumt zu bekommen. Zudem droht ein Kontrollverlust durch Delegieren von Aufgaben an eine KI, deren interne Arbeitsweise möglicherweise nur noch von wenigen Fachleuten durchschaut wird. Die ethischen Leitlinien der GI verpflichten Informatikfachleute in diesem Fall, den Entwurf von KI-Systemen besonders aufmerksam zu beobachten, um zu verhindern, dass wichtige Entscheidungen automatisiert und ohne ausreichende menschliche Aufsicht getroffen werden.

Keine Checkliste

Klarer Schluss: Die ethischen Leitlinien der GI sind genauso spezifisch auf KI-Systeme anwendbar wie allgemein auf IT-Systeme auch. Sie sind keine Checkliste, sondern erfordern eine ständige Auseinandersetzung mit der Materie. Dazu sind umfassende Bildungs- und Informationsinitiativen nötig, die darauf abzielen, das Verständnis für KI und ihre Auswirkungen in der breiten Bevölkerung zu fördern. Die Werte hinter den Leitlinien und die geforderte Haltung geben eine klare Orientierung. Nun ist nur noch der eigene Mut erforderlich, um Systeme kritisch zu hinterfragen.

Im Feld der KI beobachten wir, dass auch solche Systeme entwickelt und mit Wagniskapital versorgt werden, die Menschen diskriminieren, entmündigen oder das soziale und menschliche Miteinander infrage stellen. Besonders Informatikfachleute sind daher dazu aufgerufen, „Stop!“ zu sagen zur Entwicklung von Systemen, die die Auswirkungen auf Mensch, Gesellschaft und Umwelt nicht beachten. Dies betrifft potenziell alle informationstechnischen Systeme – auch und gerade diejenigen, die auf KI basieren und deren zugrunde liegenden Techniken, Methoden und Lösungsstrategien erst noch entwickelt werden.

Machen Sie sich selbst ein Bild!
Hier gehts zu den Ethischen Leitlinien:
gi.de/ethische-leitlinien

Über die Autorinnen und Autoren

Carsten Trinitis ist Professor für Rechnerarchitektur und Betriebssysteme an der TU München, Campus Heilbronn und stellvertretender Sprecher der Fachgruppe Informatik und Ethik der GI.

Stefan Ullrich ist promovierter Informatiker und Philosoph, der sich kritisch mit den Auswirkungen der allgegenwärtigen informationstechnischen Systeme auf die Gesellschaft beschäftigt.

Christina B. Class ist seit 2017 Professorin für Informatik an der EAH Jena und stellvertretende Sprecherin des Fachbereichs Informatik und Gesellschaft der GI.

Otto Obert ist auf den Gebieten der Digitalethik und KI-Folgenabschätzung tätig – sowohl in seinen Ehrenämtern, etwa seit 1986 in der GI, als auch im Hauptberuf.

Gudrun Schiedermeier bietet neben der Mitarbeit in verschiedenen Fachgruppen der GI auch Seminare an der HAW Landshut zu KI und Ethik an.

Debora Weber-Wulff ist pensionierte Professorin für Medieninformatik und noch an der HTW Berlin aktiv.

Ohne *Umwege*

TEXT Thure Dührsen

*An ihm führt kein Weg vorbei: Der Dijkstra-Algorithmus ist ein absoluter Klassiker der Informatik. Warum das so ist, zeigt unser Autor an einem konkreten Fall, der die Leser*innen durch ganz Deutschland führt.*

Edsger W. Dijkstra wollte eigentlich theoretischer Physiker werden.[1] Erst ein Gespräch mit dem Mathematiker Adriaan van Wijngaarden lenkte ihn zur Informatik – einer Wissenschaft, die damals gerade erst im Entstehen war.
Und das ist gut so: Hätte er diesen Weg nicht eingeschlagen, müssten wir in der Informatik womöglich bis heute noch so manchen – zumindest gedanklichen – Umweg nehmen.
1956 entwickelte Dijkstra seinen Algorithmus, um auf einer stilisierten Landkarte den schnellsten Weg zwischen Städten zu berechnen, als anschauliche Demonstration für einen neuen Computer. Die Idee entstand beim Kaffeetrinken mit seiner Verlobten. Veröffentlicht wurde der Algorithmus 1959 in einem kurzen, aber wegweisenden Artikel. Heute zählt er zu den Klassikern der Informatik, alle Weiterentwicklungen des Single-Source Shortest Paths Routing berufen sich auf das, was

Dijkstra damals veröffentlicht hat. Grund genug, sich die Funktionsweise etwas genauer anzuschauen.

Stellen wir uns vor, wir möchten mit dem Zug von Berlin nach München reisen und kennen zwar die Verbindungen zwischen den Städten, aber nicht den besten Weg. Der Dijkstra-Algorithmus geht dieses Problem Schritt für Schritt an: Er beginnt in Berlin und sucht zunächst alle direkten *(Nachbar-)städte*, die ohne Zwischenhalt direkt erreichbar sind. Von dort aus erkundet er systematisch alle erreichbaren Orte, wobei er stets die aktuell kürzeste bekannte Strecke im Blick behält. So entsteht eine Art Suchbaum, dessen erkundeter Teil sich wie eine Wellenfront ausbreitet – bis schließlich München erreicht ist. Wie das konkret funktioniert, zeigen wir am Beispiel der Städte Berlin, Leipzig, Jena, Nürnberg, Augsburg und München – die Details finden Sie aus Platzgründen in der Online-Version: *inf.gi.de/dijkstra*

Die Eingabe für den Dijkstra-Algorithmus ist im einfachsten Fall ein ungerichteter, gewichteter *Graph*: eine Menge von *Knoten*, verbunden durch *Kanten*, die in Hin- und Rückrichtung zu jeweils gleichen *Kosten* (Entfernung, Reisezeit oder Ähnliches – solange es nur als eine Zahl dargestellt werden kann, die größer als 0 ist) durchlaufen werden können. Für die folgenden Beispiele betrachten wir die Reisezeit in Minuten.

Der erste Schritt ist somit die Auswahl der Stadt, in der die Reise beginnt. Der Dijkstra-Algorithmus bestimmt den kürzesten Weg nicht nur zu einer Stadt, sondern zu allen Städten, die im Graphen enthalten sind. (Die Leserin ist eingeladen, sich zu überlegen, welche Änderungen nötig sind, um den Ablauf an der richtigen Stelle abzubrechen, wenn tatsächlich nur der kürzeste Weg zu *einer* Stadt gesucht ist.)

Für jeden Knoten S im Graphen G, also jede Stadt, merken wir uns:

- `visited[S]`: ob S bereits besucht wurde (`true` oder `false`)
- `d[s]`: die derzeit kürzeste bekannte Distanz von `start` nach `S`
- `parent[S]`: den Vorgängerknoten von S auf einem solchen kürzesten Weg, sofern bekannt – ansonsten `unbestimmt`

Damit können wir den Algorithmus formulieren:

```
Dijkstra(G, start)
BEGIN
  // Initialisierung
  FOR ALL Knoten u in G DO
    markiere den Knoten u als unbesucht
    d[u] := unendlich
    parent[u] := unbestimmt
  ENDFOR
  d[start] := 0

  WHILE es unbesuchte Knoten gibt DO

    v := ein unbesuchter Knoten mit
         minimalem d[v]
    markiere den Knoten v als besucht

    FOR EACH Nachbar u von v DO
      L := Kosten, um von v nach
           u zu gelangen
      IF d[v] + L < d[u] THEN
        // kürzerer Weg von start nach u
        gefunden, führt über v
        d[u] := d[v] + L
        parent[u] := v
       // Vorgänger setzen
      ENDIF
    ENDFOR
  ENDWHILE
END
```

Die *Länge* eines kürzesten Weges vom Startknoten zu einem beliebigen anderen Knoten `ziel` können wir nun in der Liste `d` ablesen, es ist der Wert `d[ziel]`.

Den Weg selbst erhalten wir, indem wir die Liste der Vorgänger rückwärts durchlaufen.

```
BEGIN
  Pfad := leere Liste
  aktueller Knoten := ziel
  WHILE aktueller Knoten != unbestimmt DO
    Füge aktuellen Knoten am Anfang von
    Pfad ein
    aktueller Knoten := parent[aktueller
    Knoten]
  ENDWHILE

    Drucke Pfad aus
    Drucke d[ziel] aus
END
```

Dass der Dijkstra-Algorithmus stets vom selben Startpunkt ausgeht, ist für Anwendungen mit wechselnden Ausgangsorten, also zum Beispiel den klassischen Routenplaner, nicht ideal. Für feste Startorte, etwa einen Hafen, von dem aus Güter per Lkw verteilt werden, ist er dagegen gut geeignet.

Im Folgenden (siehe Tabelle) erweitern wir das Bahnhofsbeispiel: Bisher haben wir die Fahrzeit zwischen Städten betrachtet, aber dabei angenommen, dass keine Umstiege nötig sind. In der Realität ist das selten der Fall. Wer nicht gut zu Fuß ist, nimmt vielleicht lieber eine längere Reisezeit in Kauf, um seltener umsteigen zu müssen.

Auf der Fahrt von München nach Köln stehen die folgenden Linien zur Auswahl:

Linie A	*München → Augsburg*	*35*
	Augsburg → Ulm	*55*
	Ulm → Karlsruhe	*80*
	Karlsruhe → Koblenz	*150*
Linie B	*Regensburg → Ingolstadt*	*40*
	Ingolstadt → Nürnberg	*50*
	Nürnberg → Würzburg	*60*
	Würzburg → Gießen	*85*
	Gießen → Dortmund	*95*
Linie C	*Frankfurt → Mainz*	*35*
	Mainz → Koblenz	*60*
	Koblenz → Bonn	*60*
	Bonn → Köln	*20*
Linie D	*Koblenz → Frankfurt*	*60*
	Frankfurt → Bonn	*50*
Weitere	*Gießen → Frankfurt*	*55*
	Karlsruhe → Frankfurt	*70*
	Ulm → Mainz	*100*
	Ulm → Würzburg	*95*
	Ingolstadt → Augsburg	*70*

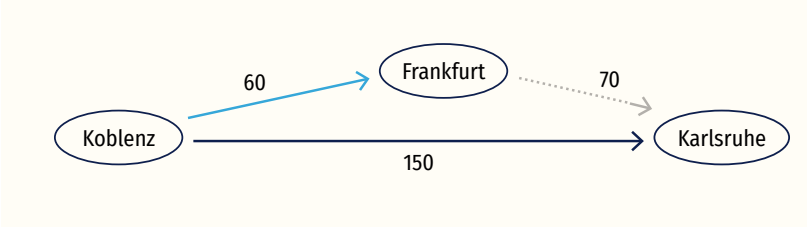
Als Beispiel betrachten wir Koblenz, Frankfurt, Karlsruhe.

Wenn wir die Linie A nutzen, kommen wir in 150 Minuten direkt von Koblenz nach Karlsruhe. Wir könnten aber auch über Frankfurt fahren (also in einen Zug der Linie D umsteigen). Das dauert in der Summe nur 130 Minuten.

Den Ablauf des Algorithmus mit nur drei Knoten – Koblenz, Frankfurt, Karlsruhe – spiele der Leser zur Übung selbst durch. Im Ergebnis würden wir, wie nach einem Blick auf die Grafik auf der folgenden Seite sofort zu erkennen, in Frankfurt umsteigen. Wie lässt sich das verhindern?

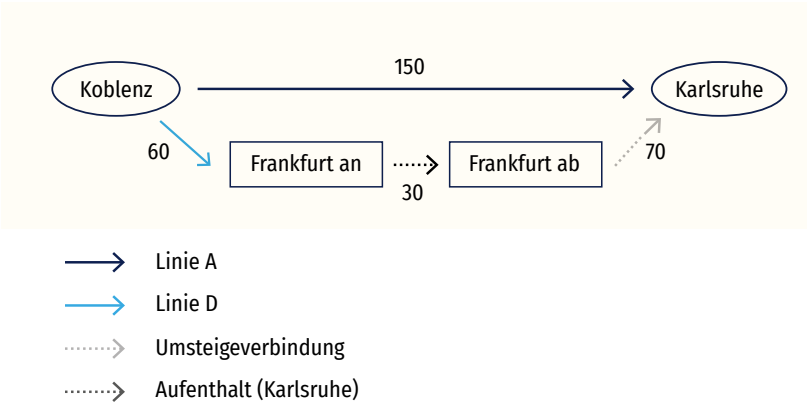
Der Algorithmus hat als einzige Informationen die Fahrtdauern zwischen den

Drei Knoten



Zunächst hat das Streckennetz nur drei Knoten.

Fünf Knoten



Je nach Dauer des dortigen Aufenthalts ist der Weg über Frankfurt mal ein Umweg und mal nicht.

Stationen. Er merkt sich zudem, welche Stationen er bereits besucht hat, und besucht diese nicht erneut.

Ein Ansatz besteht darin, in Frankfurt einen Aufenthalt künstlich in die Route aufzunehmen. Indem wir seine Dauer lang genug ansetzen, können wir das Umsteigen so unattraktiv machen, dass der Algorithmus eine Verbindung ohne Umsteigen bevorzugt. Dazu fügen wir zwei neue Knoten ein: Frankfurt an und Frankfurt ab. Zwischen ihnen fügen wir eine Kante ein, an die wir die Dauer des Aufenthalts schreiben. Zunächst wählen wir hier 10 Minuten. Die Kanten Koblenz → Frankfurt und Frankfurt → Karlsruhe entfernen wir, da der Algorithmus sonst stets die Verbindung ohne Aufenthalt wählen würde. Die Kante Koblenz → Karlsruhe bleibt bestehen, aber es gibt eine neue Kante Koblenz → Frankfurt, natürlich mit derselben Dauer wie vorher Koblenz → Frankfurt. Weiterhin gibt es eine neue Kante Frankfurt ab → Karlsruhe, mit derselben Dauer wie vorher Frankfurt → Karlsruhe. Der detaillierte Ablauf ist erneut online zu finden.

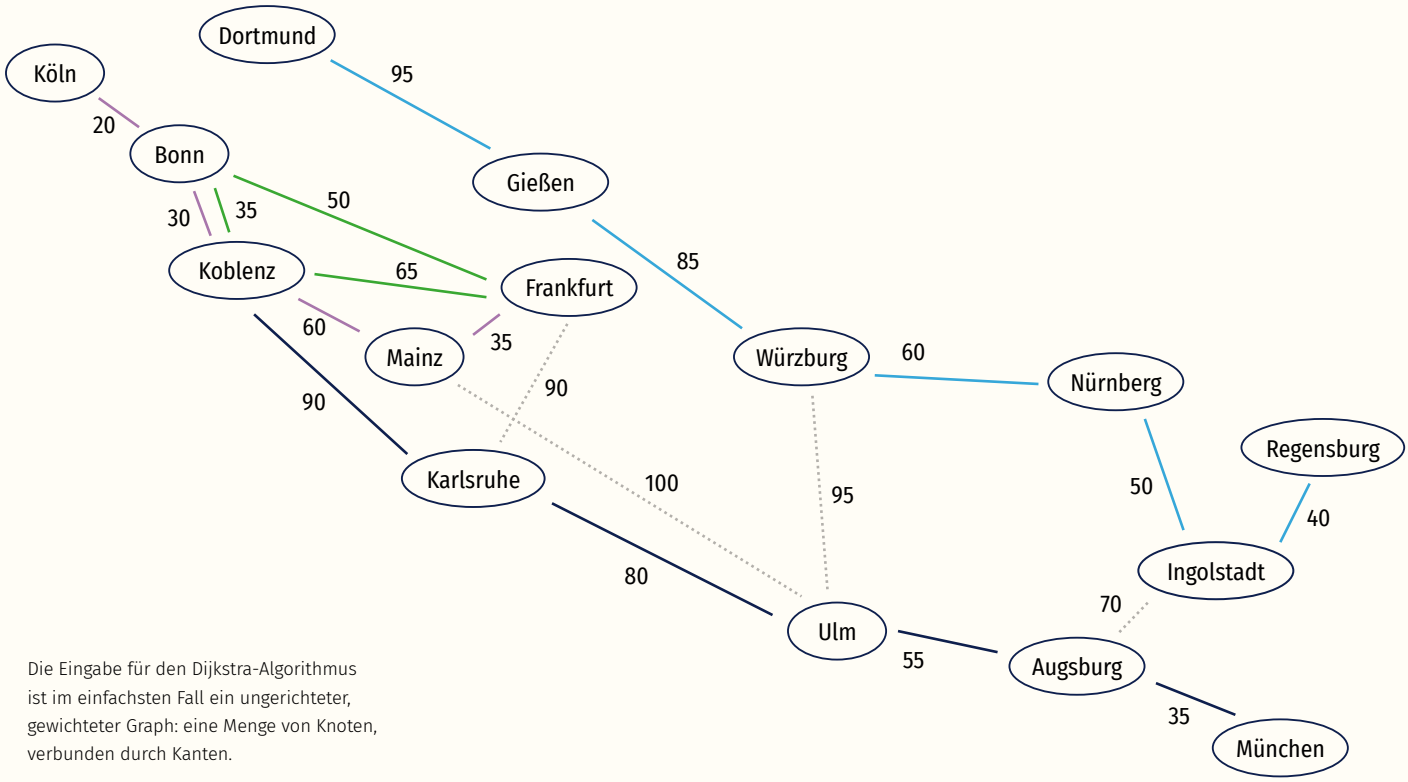
Der Algorithmus wählt also die Verbindung über Frankfurt. Trotz des dortigen Aufenthalts ist sie schneller als die Direktverbindung.

Jetzt erhöhen wir die Dauer des Aufenthalts in Frankfurt auf 30 Minuten. Nach dieser Änderung (Details online) sehen wir, dass die direkte Verbindung Koblenz → Karlsruhe gewählt wird.

Wer das Prinzip verstanden hat, ist eingeladen, es auf das große Liniennetz anzuwenden und sodann einen kürzesten Weg von München nach Köln zu finden. Hier hat man natürlich bei mehr als nur einem Bahnhof die Dauer des Aufenthalts zu wählen! Aufgrund der Vielzahl an infrage kommenden Möglichkeiten bieten wir keine Musterlösung an. Der Deep Dive bietet aber Gelegenheit, sich auszutoben!

Kürzlich ist es einem chinesischen Forschungsteam gelungen, den Dijkstra-Algorithmus erheblich zu verbessern. Ob diese neue Version sich tatsächlich durchsetzen wird, lässt sich noch nicht einschätzen. Fest steht jedoch schon heute, dass Beispiele wie in diesem Beitrag eine zentrale Botschaft vermitteln: Nicht selten ist Informatik die Lösung für alle, die auf der Suche nach neuen Wegen sind.

[1] https://www.cwi.nl/en/about/history/e-w-dijkstra-brilliant-colourful-and-opinionated/



Die Eingabe für den Dijkstra-Algorithmus ist im einfachsten Fall ein ungerichteter, gewichteter Graph: eine Menge von Knoten, verbunden durch Kanten.

Deep Dive

Für alle, die ohne Umwege noch tiefer ins Thema einsteigen wollen, hat der Autor online weitere Quellen zusammengestellt:
inf.gi.de/dijkstra

Über den Autor

Thure Dührsen studierte Informatik in Kiel mit den Schwerpunkten Theoretische Informatik und Mathematische Grundlagen. Berufliche Stationen führten ihn in die Erwachsenenbildung (u. a. zu Linux, Programmierung und Entwurf relationaler Datenbanken) sowie in den Bereich des Softwaretests. Der Schwerpunkt seiner Tätigkeit liegt heute im IT-Consulting, insbesondere in der Umsetzung von Projekten im Bereich der automatisierten Softwareverteilung, ergänzt durch Arbeiten in der technischen Redaktion.

Der Dijkstra-Algorithmus

gehört zur Klasse der sogenannten Greedy-Algorithmen und löst das Problem der kürzesten Pfade für einen gegebenen Startknoten. Grundidee dabei ist es, immer derjenigen Kante zu folgen, die den kürzesten Streckenabschnitt vom Knoten aus verspricht. Der Algorithmus galt bis Anfang dieses Jahres als „ungeschlagen“ bei der Bewältigung dieser Aufgabe. Wer jedoch große Graphen behandelt, mit Hunderttausenden von Kanten, kämpft um jede Millisekunde. Für solche Fälle wurde im April 2025 ein neuer Algorithmus für die sogenannten Single-Source Shortest Paths (SSSP) veröffentlicht (siehe Deep Dive).

Erholung *nur unter Aufsicht*

FALLBEISPIEL Dominik Pataky, Gudrun Schiedermeier

Mit Sensoren und Drohnen Waldbrände vermeiden? Das klingt erst mal nach einer großen Errungenschaft. Aber wenn die Technik plötzlich auch zur Überwachung von Menschen genutzt werden soll, flammen schnell Diskussionen auf.

Michael und Daana kommen aus einem Meeting. Sie sind begeistert, dass ihr Produkt zur Früherkennung von Waldbränden vom Nationalpark Eldertree Sanctuary als Gewinner ausgewählt wurde. Der Nationalpark beherbergt seltene und auch besonders alte Bäume und ist sowohl bei den Menschen in der Umgebung als auch bei Besucher*innen beliebt, die von weiter her anreisen. Ihr Produkt, ForestWatch.AI, war eines von vielen Bewerbungen für eine Ausschreibung des Nationalparks. Nun sind sie ein ganzes Stück weiter, ihre technologische Lösung in der Praxis einzusetzen.

Tatsächlich ist es nämlich so: Die meisten Waldbrände entstehen fahrlässig oder absichtlich durch Brandstiftung. Klima, Wetter und Trockenheit beeinflussen das Brandgeschehen, sind aber seltener die ursprünglichen Auslöser für Brandherde. Durch die Waldbrände und den damit verbundenen Waldverlust steigen die Treibhausgasemissionen weiter, was wiederum mehr Brände begünstigt und deren Kontrollierbarkeit erschwert. Nicht selten ist für eine Wiederaufforstung ein Zeitraum von mehreren Jahrzehnten notwendig. Deshalb sind eine frühzeitige Erkennung von Waldbränden und das rechtzeitige Löschen zwei kritische Maßnahmen zum Schutz der Wälder. Gleichzeitig wird der Bekämpfung von Brandstiftung eine hohe Priorität eingeräumt, sodass auch hier Lösungen gesucht und Mittel eingesetzt werden sollen.

Die beiden haben in ihrem Projektantrag eine Kombination aus verschiedenen Sensoren und Drohnen vorgeschlagen, die alle unterschiedliche Aufgaben erfüllen. Sie haben mit ForestWatch.AI ein Konzept entwickelt, mit dem ein Waldbrand frühzeitig erkannt und bekämpft werden kann, damit erst gar nicht große verheerende Waldbrände entstehen. Mit neuartigen Sensoren, die billig sind und sich fest montieren und breit im Gebiet verteilen lassen, können sie die Gaszusammensetzungen bei Rauchentwicklung erkennen und so die Brände schon früh bei der Entstehung orten. Die Sensoren können wartungsarm betrieben werden, sind sehr zuverlässig, versorgen sich über kleine Solarpanels mit Strom und sind außerdem mit einem langlebigen Akku ausgestattet.

Das Sensornetz wird von einem Schwarm Drohnen unterstützt. Diese sind ausgestattet mit Wärmebildkameras und überwachen das Gelände aus der Luft. Eine KI-Software steuert die Drohnen autonom mithilfe eines Geoinformationssystems, wie es bereits in der Agrarindustrie eingesetzt wird. Es führt die Daten aller Sensoren und der Kamerabilder zusammen, wertet sie aus und schickt – sobald ein Brandherd entdeckt wird – automatisch eine Meldung an das zentrale Brandbekämpfungssystem. In der Premiumversion von ForestWatch.AI kann das System bereitstehende Löschdrohnen, die mit einem Wassertank ausgestattet sind, zum Brandherd schicken. Gleichzeitig wird die nächstliegende Feuerwehr informiert. Dank hochpräziser Geodaten und Kamerabilder können die Einsatzkräfte zielgenau den Ort des Geschehens anfahren.

Daana ist zwar von ihrem Konzept überzeugt, aber auch noch skeptisch, was den Umfang des Einsatzes der Kameradrohnen angeht. Bisher haben sie das komplette ForestWatch.AI-System noch nicht im Einsatz gehabt und konnten daher noch keine längerfristigen Erkenntnisse sammeln. In der Bewerbungsphase haben die Verantwortlichen des Nationalparks jedoch auf den Einsatz von Wärmekamerabildern bestanden. Aus ihrer Sicht ist der alleinige Einsatz von Rauchsensoren

unzureichend, um die riesige Fläche des Nationalparks zu überwachen. Insbesondere müssen Fehlalarme so gut es geht reduziert werden, um keinen unnötigen Personaleinsatz auszulösen.

Michael findet das richtig und verteidigt den Einsatz der Drohnen. Zu Daanas Überraschung schlägt er jedoch ein weiteres, bisher nicht besprochenes Feature vor: „Wenn wir schon fliegende Kameras im Einsatz haben, können wir diese doch auch einsetzen, um mögliche Brandstifter zu erkennen. Wir wissen ja, dass die meisten Brände von Menschen verursacht werden. Vielleicht ist die Abschreckung wirksamer, wenn potenzielle Brandstifter wissen, dass es eine Kameraüberwachung gibt. Und wenn alles optimal läuft, können wir die Drohnen auch noch mit Fotokameras ausstatten und via Gesichtserkennungssoftware den Brandstifter erkennen und die Bilder der Polizei zur Verfügung stellen.“ Daana ist entsetzt: „Also, ich würde keinen Nationalpark besuchen, von dem ich weiß, dass ich dort ständig von Kameras überwacht werde. Was soll denn das für eine Erholung sein, wenn ich mich dauernd beobachtet fühle? Willst du vielleicht auch noch die Gespräche der Besucher aufzeichnen und mit KI auswerten, ob sie ein Verbrechen planen? Du spinnst ja! Komm mal wieder auf den Boden der Tatsachen. Zunächst müssen wir uns um die Sensoren kümmern. Solche, wie wir sie vorgeschlagen haben, gibt es in der Menge ja noch gar nicht. Verwende deine Energie mal lieber darauf.“

Allerdings lässt sich Michael von seiner Idee kaum abbringen: Wenn man mit der zusätzlichen Kameraüberwachung auch nur einen einzigen Waldbrand verhindern kann, sei das doch eine gute Sache, oder? I

Die Gewissensbits sind hypothetische, jedoch realistische Fallbeispiele. Mit ihnen will die Fachgruppe Informatik und Ethik einladen, über moralische und ethische Fragen rund um die Informatik nachzudenken und diese mit Freund*innen, Kolleg*innen oder Studierenden zu diskutieren. Meist gibt es auf diese Fragen keine einfachen Antworten – dazu sind die Fallbeispiele, wie auch die Realität, zu komplex. Im gemeinsamen Diskurs lässt sich aber üben, mögliche Probleme zu erkennen und als Gruppe zu einer Lösung zu gelangen: in einem demokratischen Aushandlungsprozess, wie er auch im Alltag erforderlich ist.

FRAGEN

*Rechtfertigt der Einsatz von Gesichtserkennungssoftware zur Erkennung von Verbrechen die Verletzung der Privatsphäre der Besucher*innen?*

Wie verhält sich die Auswirkung der erfolgreichen Waldbrandprävention gegenüber dem Ressourcenverbrauch von Sensoren, Drohnen und KI-Software?

Welche Maßnahmen sollten ergriffen werden, um die Zuverlässigkeit des noch unerprobten KI-Systems bei Fehlern bestmöglich zu steuern? Wie können Fehlalarme verhindert werden, wenn viele Teile des Systems autonom entscheiden?

*Ist es angemessen, einen Nationalpark mit Drohnen zu überwachen, um Schäden durch die Besucher*innen zu vermeiden?*

Gibt es besondere Aspekte beim Einsatz von Drohnen, die berücksichtigt werden müssten?

Sollte der Einsatz der Drohnen vielleicht besser an saisonale Bedingungen geknüpft sein, wie zum Beispiel die offizielle Einschätzung akuter Waldbrandgefahr?

Schafft der Einsatz von ForestWatch.AI eine Konkurrenzsituation zwischen Parkpersonal und KI? Oder ist es vielmehr eine Ergänzung und Entlastung des bisherigen Personals?

Wie würden Sie diese Fragen beantworten? Jetzt mitdiskutieren: *gewissensbits.gi.de*

Neues aus dem Nœrden
Der Nœrdman, ein Webcomic über Technik, Nerds und den Norden, ist fester Bestandteil der .inf-Redaktion.
noerdman.de

Ungleich macht gleich

REZENSION Denise Schmitz

Im Mathematikstudium tauchen früher oder später Hürden auf, die jede Person zum Straucheln bringen können. Zwei grundlegend verschiedene Studierende treffen in Alina Bronskys Roman „Pi mal Daumen" aufeinander. Sie bezwingen die Hürden gemeinsam – und entwickeln eine tiefe Verbundenheit zueinander.

Bereits auf der zweiten Seite von Alina Bronskys Roman „Pi mal Daumen" fängt die Geschichte alle Lesenden ein, die selbst Mathematikvorlesungen hinter sich gebracht haben. Denn wer von ihnen kennt nicht die Sprüche wie „Warten Sie ein paar Wochen. Dann sind wir wieder unter uns."

Der 16-jährige Hochbegabte Oscar Maria Wilhelm Graf von Ebersdorff zählt sich allerdings zu den Personen, die sich über solche Sprüche keinen Kopf machen müssen. Eher missbilligend schaut er sich stattdessen im Hörsaal um und fragt sich, wer wie lange durchhalten wird.

Neben Oscar setzt sich Moni Kosinsky, die sich mit ihrer quirligen Art direkt einen Platz im Herzen der Lesenden sichert. Mit ihren 53 Jahren, ihrer Tochter, drei Enkelkindern und zwei Nebenjobs ist Moni eine eher untypische Studentin. Kein Wunder also, dass Oscar ihr nur wenig Zeit im Studium vorhergesagt. Da er allerdings dennoch jemanden braucht, um gemeinsam seine Übungszettel abzugeben, bietet er ihr eine Zweckfreundschaft an.

Was Oscar nicht einkalkuliert: Zu Moni entwickelt sich eine tiefe Freundschaft und Verbundenheit, die sie beide auf eigene Weise durch das Studium trägt. In Moni steckt nämlich eine echte Durchhaltekünstlerin, die trotz einiger Schwierigkeiten ihr Ziel nicht aus den Augen verliert. Gleichzeitig erreicht Oscar einen Punkt im Studium, den viele kennen: Er zweifelt – und Moni kommt ihm mit viel Herz und Optimismus zu Hilfe.

Mit mathematischen Rätseln bringt Alina Bronsky alle informatikversierten Lesenden zum Schmunzeln und entfaltet auf tiefgründige Weise die Entwicklung zwei äußerst unterschiedlicher Figuren.

Alina Bronsky,
Pi mal Daumen
Kiepenheuer & Witsch, 2024

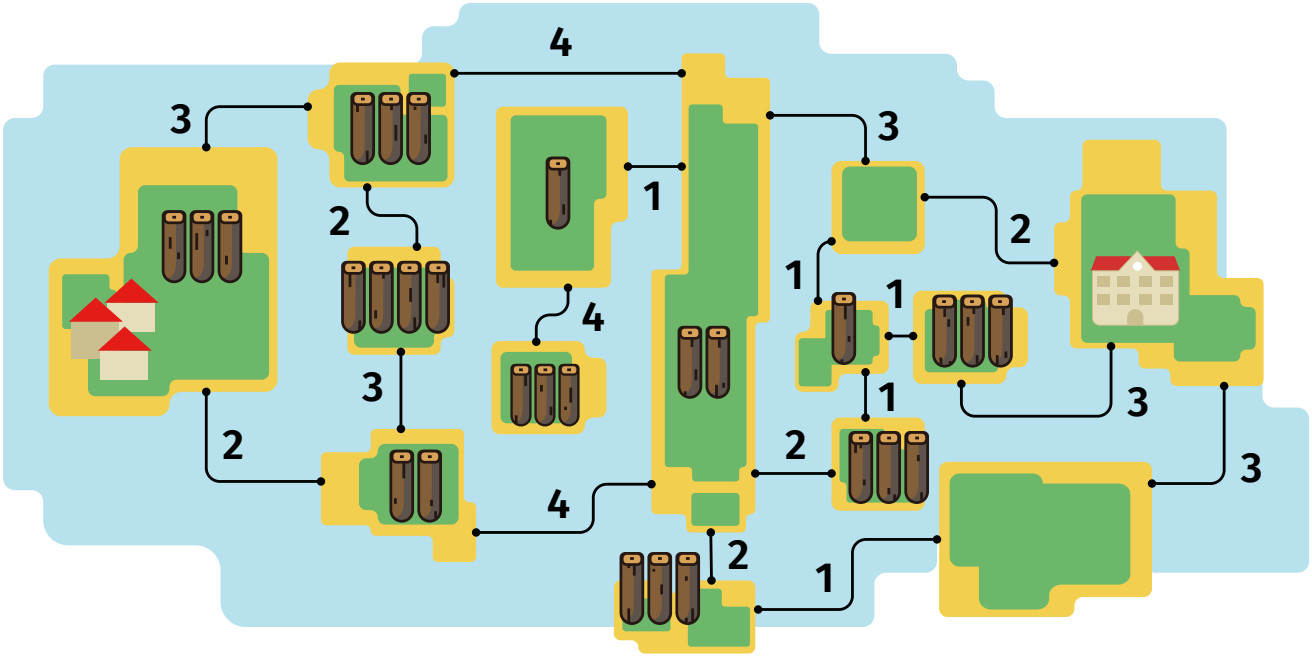
FEST VERWURZELT

Wälder spielen eine zentrale Rolle im Kampf gegen die Klimakrise. Deshalb ist es wichtig, sehr genau im Blick zu behalten, wie es ihnen geht und wie sie sich entwickeln. In einem Forschungsprojekt am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf haben Aldino Rizaldy, Sam Thiele und Sharad Kumar Gupta einen dreidimensionalen digitalen Zwilling eines echten Waldes in Sachsen-Anhalt erstellt. Anhand ausgeklügelter Algorithmen ist es möglich, einzelne Bäume detailliert zu analysieren. Das hilft unter anderem dabei, Biomasse-Schätzungen vorzunehmen, Arten zu kartieren und Kohlenstoffspeicherung nachzuvollziehen. Weil der Wald-Zwilling auch noch wunderschön aussieht, wurde er beim „Best Scientific Image Contest 2025“ von Helmholtz Imaging mit dem Participants‘ Choice Award ausgezeichnet. I

Inselhüpfen

TEXT Alexandra Resch

Mit Wolf, Schaf und Kohlkopf reisen ist doch was für Anfänger! Unsere Challenge erfordert nicht nur deutlich mehr Wasserüberquerungen, sondern auch mehr informatisches Denken.



Ein neuer Weg soll von der Insel ganz links bis zur Insel ganz rechts führen: Dafür braucht es neue Brücken. Bauingenieurin Zeynep macht sich an die Planung: Anhand der Karte kann sie sehen, wie viele Baumstämme es auf jeder Insel gibt – und wie viele sie braucht, um zwei der Inseln miteinander zu verbinden. Sobald eine Brücke steht, kann Zeynep weitere Baumstämme, die noch nicht genutzt wurden, darüber transportieren. Natürlich kann sie jeden Baumstamm aber nur einmal nutzen.

Zeynep beginnt ganz links und hat sich zum Ziel gesetzt, möglichst wenige Baumstämme zu nutzen. An welchen Linien soll sie ihre Brücken bauen, um dieses Ziel – und die Insel – zu erreichen?

Haben die Brücken getragen? Hier gehts zur Auflösung!
inf.gi.de/Inselhuepfen

Diese Challenge basiert auf einer Aufgabe des Wettbewerbs Informatik-Biber, bei dem Schüler*innen ihre Informatik-Skills testen können. Mehr über die Bundesweiten Informatikwettbewerbe unter: *bwinf.de*

GESELLSCHAFT
FÜR INFORMATIK

MITGLIEDERMAGAZIN DER
GESELLSCHAFT FÜR INFORMATIK E. V.
NR. 11

HERAUSGABE
Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)
Weydingerstraße 14–16, 10178 Berlin
Telefon +49 30 240 09-805

VERANTWORTLICH IM SINNE
DES PRESSERECHTS
Cornelia Winter

REDAKTION
Alexandra Resch (Ltg.),
Cornelia Winter, Michael Koch,
Rika Baack, Paul Reinelt,
Esther Blondel, Marieke
Petersen, Julian Dehne

AUTOR*INNEN
Christine Regitz, Rika Baack,
Volker Skwarek, Paul Reinelt,
Alexandra Resch, Carsten Trinitis,
Stefan Ullrich, Christina B. Class,
Otto Obert, Gudrun Schiedermeier,
Debora Weber-Wulff, Thure Dührsen,
Dominik Pataky, Denise Schmitz

FACHBEIRAT
Tanja Döring, Oliver Günther,
Dominik Herrmann, Christof Leng,
Friedmann Mattern, Judith Michael,
Andreas Oberweis, Edy Portmann,
Ralf Reussner, Stefanie Rinderle-Ma,
Ute Schmid, Dirk Taubner,
Wolfram Wingerath

GESTALTUNG, SATZ UND GRAFIK
Sven Lubenau (Ltg.), Florian Heinitz,
Lucas Crisólogo Oña

LEKTORAT
Dr. phil. Birgit Gottschalk

DRUCK
Klimaneutral gedruckt
auf Recyclingpapier bei
Spreedruck GmbH, Berlin

STAND
September 2025

BILDNACHWEISE
Cover: Sven Lubenau/KI, S. 3: Mike Auerbach,
S. 8: Darren Halstead/Unsplash, S. 11: privat,
S. 12: Krit_Suppaudom/Shutterstock,
S. 13–15: Anne Voigt, S. 16–17: Florian Heinitz,
Sven Lubenau, S. 18–20: Mike Auerbach,
S. 21–23: Florian Heinitz, S. 24: PHOTOGRAPHY
IS ON/Shutterstock S. 32: Jannis Stoppe &
Rolf Drechsler, Kiepenheuer & Witsch
S. 33: HZDR/Aldino Rizaldy, Sam Thiele,
Sharad Kumar Gupta, S. 34: Florian Heinitz

ISSN (Print) 2940-0694
ISSN (Online) 2940-0708

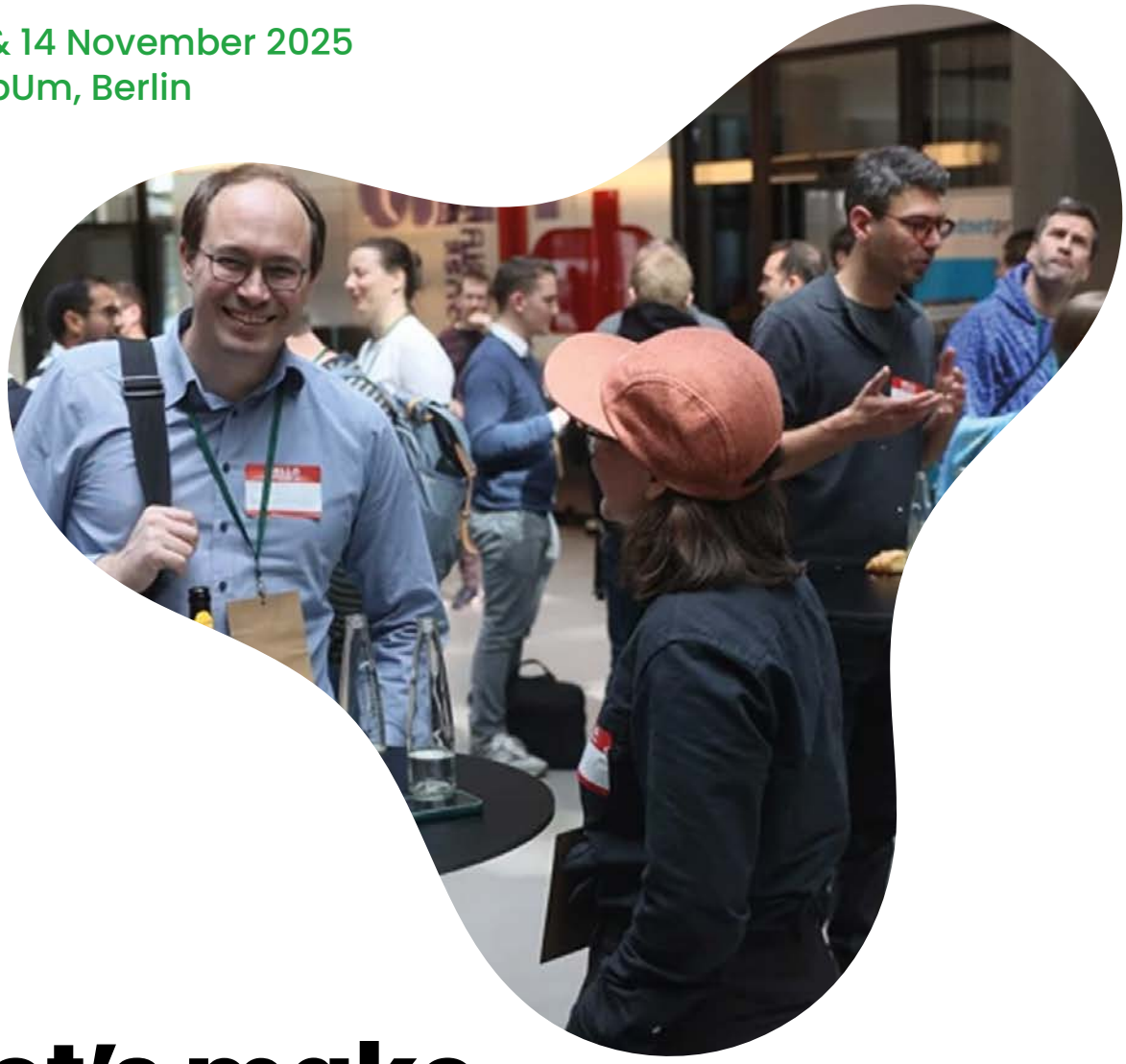
KONTAKT
Wir freuen uns immer über Feedback,
Anregungen und Ideen: Unter *redaktion@gi.de*
können Sie uns diese zukommen lassen und
auf Wunsch auch weitere Hefte bestellen.

/mas.to/@informatik
@informatik.bsky.social
/company/gesellschaft-fuer-informatik

Sie lesen lieber digital?
Alle Ausgaben finden Sie auch frei
zugänglich auf *inf.gi.de*.

ecoCompute conference

13 & 14 November 2025
@ bUm, Berlin



Let's make digital sustainable

The biggest engineering conference on *sustainability* in *hardware* and *software*

Wanna meet top experts and industry heads? Sign up here:
eco-compute.io

» Join us in November