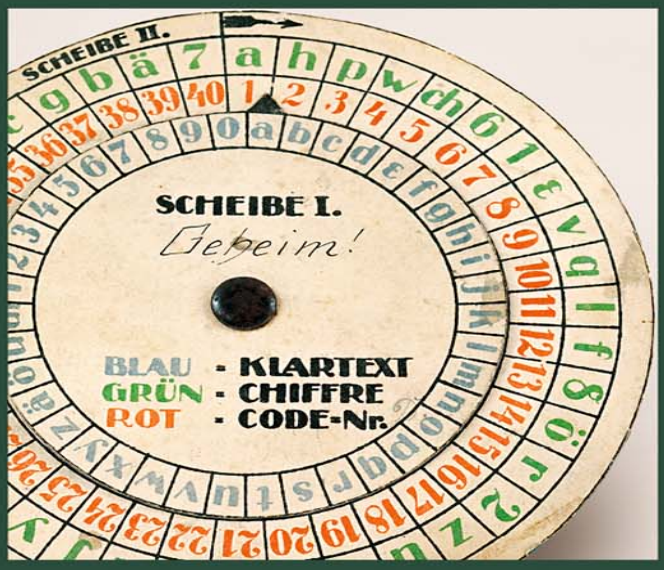
C.H.BECK WISSEN

Albrecht Beutelspacher

GEHEIMSPRACHEN UND KRYPTOGRAPHIE



Geschichte, Techniken, Anwendungen

Albrecht Beutelspacher

GEHEIMSPRACHEN UND KRYPTOGRAPHIE

Geschichte, Techniken, Anwendungen

C.H.Beck

C.H.BECK WISSEN

Zum Buch

Wer glaubt, Geheimsprachen und Geheimcodes seien bestenfalls für Agenten, der irrt. Fernbedienungen, Geldautomaten, Handys und Smartphones, Transaktionen im Internet, all dies und noch einiges mehr würde ohne Kryptographie nicht funktionieren. Das Buch bietet einen gut lesbaren, umfassenden Einblick in die Wissenschaft sowie in die vielfältigen Techniken des Ver- und Entschlüsselns und ihre zeitgenössischen Anwendungen.

Über den Autor

Albrecht Beutelspacher ist Professor em. für Diskrete Mathematik und Geometrie an der Universität Gießen sowie Gründungsdirektor des Mathematikums. Er ist Träger zahlreicher Auszeichnungen und Preise, darunter des Communicator-Preises des Stifterverbands für die Deutsche Wissenschaft (2000), des Deutschen IQ-Preises (2004) sowie des Hessischen Verdienstordens (2016). Er war maßgeblich an der Nummernkodierung der ab 1989 in Deutschland eingeführten neuen Geldscheine beteiligt.

Bei C.H.Beck sind von ihm lieferbar: Albrecht Beutelspachers Kleines Mathematikum. Die 101 wichtigsten Fragen und Antworten zur Mathematik (^{4}2016); Zahlen. Geschichte, Gesetze, Geheimnisse (^{3}2021); Wie man in eine Seifenblase schlüpft. Die Welt der Mathematik in 100 Experimenten (2015); Null, unendlich und die wilde 13. Die wichtigsten Zahlen und ihre Geschichten (^{5}2021); Das Geheimnis der zwölften Münze. Neue mathematische Knobeleien (2021).

Inhalt

I. Kryptographie: Geheimwissenschaft oder Wissenschaft von Geheimnissen?

Schon als kleines Kind machte ich erste Erfahrungen mit einer Geheimsprache. Wenn meine Eltern sich am Tisch über Dinge unterhielten, die uns Kinder «nichts angingen», so taten sie das auf Französisch. Wir rätselten und stellten phantastische Vermutungen an – die aber meiner Erinnerung nach nie der Wahrheit entsprachen.

Später entwickelten wir Kinder dann eigene Geheimsprachen und versuchten damit, unsere Kommunikation vor den Eltern zu schützen – vermutlich mit wenig Erfolg.

In der Tat assoziiert man mit den Begriffen «Kryptographie» oder «Verschlüsselung» Geheimschriften, Geheimsprachen, Geheimcodes, Geheimtinte – Dinge, die gemeinhin nur für Heranwachsende in einer bestimmten Entwicklungsphase interessant und wichtig sind.

Das Gegenteil ist richtig: Wir sind im täglichen Leben umgeben von kryptographischen Diensten und Mechanismen: Smartphones, Geldautomaten, Bitcoins – ohne Kryptographie würde das alles nicht funktionieren! Die Kryptographie ist eine beeindruckende Erfolgsstory.

Dabei war die Kryptographie jahrhundertelang, ja jahrtausendelang eine Wissenschaft, die sich ruhig entwickelte. Man wusste, was man zu tun hatte. Es gab klare Vorgaben, nämlich die diplomatischen und militärischen Nachrichten des eigenen Landes zu verschlüsseln und die entsprechenden Nachrichten der anderen zu «knacken». Natürlich ereignete sich dabei auch Aufregendes; dies hing in der Regel mit den politischen oder militärischen Ereignissen zusammen, die die Kryptologen durch ihre Arbeit beeinflusst haben. Es waren aber immer die gleichen Aufgaben, und die tägliche Arbeit bestand aus der typischen Mischung aus Stress und Langeweile –

eine Arbeit für geduldige Tüftler, die unter Ausschluss der Öffentlichkeit vollzogen wurde.

Das hat sich grundlegend geändert. Die Kryptographie hat in den letzten Jahrzehnten sowohl praktisch als auch theoretisch eine enorme Bedeutung erlangt, sie ist eine öffentliche Wissenschaft mit unglaublicher Dynamik – und politischen Konsequenzen geworden. Es gibt inzwischen so viele Tagungen über Kryptographie, dass kein einzelner Mensch sie mehr alle besuchen kann, es gibt viele Bücher, es gibt jede Menge wissenschaftliche Veröffentlichungen, ja es gibt Zeitschriften, die sich nur mit Kryptographie befassen. Dies hat mindestens die drei folgenden Gründe:

Die Rolle des Computers und des Internets. Dadurch, dass Nachrichten, also Texte, Daten, Bilder usw., elektronisch erzeugt, gespeichert, übermittelt, bearbeitet und verwaltet werden können, haben wir nicht nur unglaubliche Vorteile erzielt, sondern uns auch erhebliche Nachteile eingehandelt – jedenfalls wenn keine geeigneten Maßnahmen ergriffen werden. Einige Beispiele machen dies klar: Daten können kopiert, verändert, gelöscht werden, ohne dass dies Spuren hinterlässt. Daraus ergeben sich unüberschaubare wirtschaftliche Folgen (zum Beispiel unberechtigtes Kopieren von geheimen Unterlagen oder gar von elektronischem Geld), Beeinträchtigungen und Bedrohungen für die Gesellschaft (beispielsweise die Manipulation der Steuerungssoftware in Kernkraftwerken und Flughäfen) sowie Auswirkungen auf das Individuum («gläserner Mensch»). Die Kryptographie stellt Mittel bereit, um diesen Gefahren zu begegnen. Wenn Kryptographie von vornherein und richtig eingesetzt wird, dann muss man anschließend keine aufwendige Technologiefolgenabschätzung veranstalten; denn es treten in gewissem Sinne keine schädlichen Nebenwirkungen auf.

Bedeutung der Authentifikation (Nachweis der Echtheit). Die klassische Kryptographie beschäftigte sich ausschließlich mit Verschlüsselung, also der Verheimlichung von Nachrichten. Die moderne

Kryptographie hat zusätzlich ein ganz neues Themenfeld erobert, die Authentifikation. Dabei geht es nicht um Verheimlichung einer Nachricht, sondern darum, die Unversehrtheit, die Echtheit einer Nachricht zu garantieren. Dies spielt überall dort die entscheidende Rolle, wo Werte transferiert werden: Wenn man an einer Tankstelle oder in einem Geschäft mit «Karte und Geheimzahl» bezahlt, muss man sicher sein, dass der bestätigte Betrag nicht durch Manipulationen am Terminal oder im Netz verändert werden kann. Ein wesentlicher Teil der Entwicklungen der modernen Kryptographie zielt auf Authentifikation, insbesondere auf «digitale Signaturen».

Die Rolle der Mathematik. Die Entwicklung der modernen Kryptographie war nur möglich, weil sich die Kryptographie von einer «Kunst» zu einer Wissenschaft, genauer gesagt: zu einer mathematischen Wissenschaft, gemausert hat. Durch den Rückgriff auf mathematische Methoden und Strukturen haben kryptographische Systeme einen extrem hohen Grad an Vertrauenswürdigkeit erlangt. Das liegt auch an dem speziellen Charakter mathematischer Aussagen. Die Mathematik unterscheidet sich – in mehr oder weniger starkem Grad – von anderen Wissenschaften dadurch, dass in ihr eine Aussage nicht deshalb akzeptiert wird, weil sie empirisch verifiziert wurde oder weil die Experten diese für wahr halten oder weil nichts gegen sie spricht oder … Nein, die Mathematik hat einen rigorosen Wahrheitsbegriff: In ihr wird eine Aussage nur dann akzeptiert, wenn sie mit den strengen Regeln der Logik bewiesen wurde.

Das klingt zunächst abstrakt. Was das jedoch für die Kryptographie bedeutet und welche weitreichenden Folgen dies hat, wird klar, wenn wir Beispiele betrachten. Wenn ein Staat für den diplomatischen Verkehr ein Verschlüsselungssystem einsetzt, dessen Sicherheit mathematisch beweisbar ist, dann muss er sich nicht den Kopf darüber zerbrechen, was wäre, wenn dieses System doch geknackt würde. Umgekehrt, wenn «der Gegner» weiß, dass man ein solches System einsetzt, dann weiß er auch, dass mit

kryptologischen Methoden hier nichts auszurichten ist. Wir werden später sehen, dass es solche Systeme gibt – und warum sie, trotz ihrer anscheinend überwältigenden Vorteile, so wenig eingesetzt werden.

Ein anderes Beispiel ist vielleicht noch deutlicher. Seit Jahrhunderten gibt es einen ständigen Kampf zwischen den Notenbanken, die «fälschungssichere» Geldscheine und Münzen herstellen, und denjenigen, die trotz der angeblichen Fälschungssicherheit Geldscheine nachmachen und fälschen. Wenn es Geld gäbe, dessen Sicherheit auf kryptographischen Mechanismen beruht, und zwar auf solchen, deren Sicherheit mathematisch beweisbar ist, dann bestünde keine Gefahr der Geldfälschung mehr. Im vorletzten Kapitel werden wir ausführlich die Möglichkeit von elektronischem Geld diskutieren, dessen Sicherheit kryptologisch gewährleistet werden kann.

Die moderne Kryptographie ist keine Geheimwissenschaft, nichts, was nur im Verborgenen blüht, kein Tabu, das seine Kraft verliert, wenn es dem Licht der Öffentlichkeit ausgesetzt wird. Nein, die moderne Kryptographie ist eine Wissenschaft, die ihre Ergebnisse austauscht und öffentlich diskutiert.

Wenn wir das Wesen dieser Wissenschaft genauer bestimmen wollen, stoßen wir fast zwangsläufig auf den Begriff «Vertrauen». Nicht in dem Sinne einer Forderung, dass man zu dieser Wissenschaft oder zu ihren Ergebnissen Vertrauen haben müsse, sondern dergestalt, dass «Vertrauen» das Thema der Kryptographie ist. Wir beschreiben das nur scheinbar anders, wenn wir sagen: Kryptographie ist die Wissenschaft von den Geheimnissen.

Was soll das heißen? Stellen wir uns zwei Personen vor, die ein gemeinsames Geheimnis haben. Das kann ein gemeinsames Erlebnis, eine Erinnerung oder auch nur ein Wort sein. Die Tatsache des Geheimnisses impliziert, dass keiner der beiden dies an einen Dritten weitergibt. Dies wäre ein Vertrauensbruch. Die beiden Menschen vertrauen einander. Kurz: Ein gemeinsames Geheimnis setzt gegenseitiges Vertrauen voraus.

In der Kryptographie setzen wir den Akzent nur ein klein wenig anders: Gemeinsames Vertrauen wird durch ein gemeinsames Geheimnis repräsentiert. Kryptographie ist eine Wissenschaft, in der Vertrauen geschaffen und übertragen wird.

Die moderne Kryptographie lebt von der Entdeckung und der Diskussion scheinbar paradoxer Fragen.

Was kann man aus einem gemeinsamen Geheimnis machen? Angenommen, zwei Personen haben bereits ein gemeinsames Geheimnis, vielleicht ein geheimes Wort oder eine geheime Zahl, können sie daraus ein größeres Geheimnis machen («Aus wenig mach viel»)? Oder gilt ein «Erhaltungssatz für Geheimnisse»?

Wie können sich zwei Personen ein gemeinsames Geheimnis verschaffen? Sie können das, wenn sie eine vertrauliche Umgebung haben: Wenn sie alleine sind, können sie sich das Geheimnis zuflüstern, wenn sie dem Briefgeheimnis vertrauen, kann der eine dem anderen ein von ihm gewähltes Geheimnis zuschicken. Aber in diesen Fällen wird bereits ein Mechanismus zur Geheimhaltung vorausgesetzt. Wir fragen daher radikaler: Können sich zwei Personen auch ohne vertrauliche Umgebung ein gemeinsames Geheimnis verschaffen? Genauer gefragt: Können zwei Personen, die bislang noch nie einen Kontakt hatten, durch eine öffentliche Unterhaltung ein gemeinsames Geheimnis erhalten, ohne dass die mithörende Umgebung eine Chance hat, auf dieses Geheimnis zu kommen («Aus nichts mach etwas»)? Im Kapitel über PublicKey-Kryptographie werden wir diese Frage beantworten – positiv!

Kann man Vertrauen auch ohne gemeinsames Geheimnis übertragen? Nicht ohne Geheimnis, aber ohne gemeinsames Geheimnis!

Ein besonders wichtiger Aspekt ist der Nachweis der Identität einer Person. Ich beweise meine Identität dadurch, dass ich nachweise, ein bestimmtes Geheimnis zu haben. Es gibt einfache Methoden für einen solchen Nachweis: Ich kann zum Beispiel mein Geheimnis einfach übertragen – aber eine solche Methode hat viele Nachteile. Auch hier fragen wir radikal: Kann ich jemanden überzeugen, ein bestimmtes Geheimnis zu kennen, ohne ihm das Geringste zu verraten? Im Kapitel über Zero-Knowledge-Verfahren