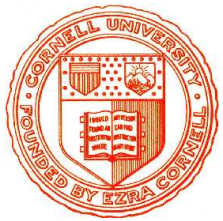
Kryptographie und Komplexität

Wintersemester 2015/16



Christoph Kreitz

kreitz@cs.uni-potsdam.de

http://cs.uni-potsdam.de/krypto-ws1516

1. Wozu Kryptographie?
2. Einfache Verschlüsselungsverfahren
3. Anforderungen an moderne Verfahren
4. Organisation der Lehrveranstaltung

Worum geht es?

- **Information ist die Grundlage unseres Alltags**
  - Eine Gesellschaft ohne ständigen Zugriff auf Informationen ist nicht mehr denkbar
    - EC karte, Kreditkarte, Online Banking, Online Store, Ebay, ...
    - E-mail, Smartphones, Facebook, Instagram, ...
    - Öffentliche Verwaltung, Gesundheitsakten, Leistungsübersicht, ...
  - Die Nachfrage nach neuen Formen von Informationsaustausch wächst
    - Cloud Computing, Online Voting, ...
    - Electronic Cash, elektronische Gesundheitskarte
    - Car2Car Kommunikation, automatische Flugverkehrskontrolle, ...
- **Informationen müssen gelagert werden**
  - Papierakten und -zettel, SIM Karte, Festplatte, Cloud, ...
- **Informationen müssen übertragen werden**
  - Internet, e-mail Kommunikation, Mobilfunk, CD/DVD (Kurier), ...

In einer idealen Welt wäre das alles ganz einfach

Wozu braucht man Kryptographie?

Vertrauliche Informationen müssen geschützt werden

- **Nicht jede Art von Information soll öffentlich sein**
  - Zugriffsdaten für Computer, PIN für Bankkonto oder Handy, ...
  - Private emails oder SMS, persönliche Krankheitsgeschichte, ...
  - Betriebs- oder militärische Geheimnisse, ...
- **Es gibt ständig Mißbrauch von Daten / Kommunikation**
  - Kreditkartenbetrug, EC Diebstahl, Wirtschaftsspionage, ...
  - Offenlegen persönlicher Informationen, peinlicher Facebookbilder, ...
  - Überwachung von Telephonverbindungen, Bewegungsprofile, ...
  - Zerstörung von Daten durch Computerviren, Terrorismus, ...
  - Unerwünschte Fernsteuerung von Autos, Flugzeugen, ...
- **Die Welt ist nicht so sicher, wie es scheint**
  - Forscherteam übernimmt Kontrolle einer Militärdrone (Juni 2012)
  - Heartbleed-Bug erzeugt Lücke in 'sicheren' Internet-Verbindungen (2014)
  - CarShark kontrolliert Auto-CanBus, Bremsen, Tachometer, Lenkung, ... über OBD-Port (2010), GPS (März 2015), Internet (Juli 2015)

Kryptographie kann Informationen schützen

$\kappa\rho\upsilon\pi\tau o\varsigma$ = geheim $\gamma\rho\alpha\varphi\epsilon\iota\nu$ = schreiben

- **Verschlüsselung macht Informationen unkenntlich**
  - Unbefugte Personen können verschlüsselte Daten nicht lesen
  - Berechtigte können versteckte Information leicht wiederherstellen
  - Ermöglicht sichere Lagerung und Übertragung von Informationen
- **Kommunikationsszenario ist einfach aber wirkungsvoll**
  - Sender und Empfänger einigen sich auf Verfahren und Schlüssel
  - Absender chiffriert Klartext mit Schlüssel und schickt Schlüsseltext auf ungeschütztem Kanal
  - Empfänger verwendet Schlüssel, um Klartext zu rekonstruieren
- **Kryptographie ist seit langem bewährt**
  - Verschlüsselte Informationen sind sicher:
    Ohne den Schlüssel können Unbefugte den Klartext nicht rekonstruieren
  - Nur der Schlüssel muß geheim bleiben
    Geheimhaltung des Verfahrens liefert keine zusätzliche Sicherheit mehr

Einfache Verfahren waren lange sicher genug

- **Verschiebechiffren** (Julius Cäsar, 60 v Chr.)
  - Zyklische Verschiebung der Buchstaben im Alphabet
    Angriff: Ausprobieren aller Möglichkeiten
- **Affine Chiffre** (ca. 1500)
  - Multiplikation der Buchstabenposition und anschließendes Verschieben
    Ausprobieren aller Möglichkeiten ist möglich aber sehr aufwendig
  - Angriff: Häufigkeitsanalyse und Lösen linearer Gleichungssysteme
- **Allgemeine Substitutionschiffre**
  - Austausch von Buchstaben mithilfe einer Ersetzungstabelle
    Ausprobieren aller Möglichkeiten undurchführbar
  - Angriff: statistische Analysen (sehr aufwendig)
- **Verschiebe Textblöcke mit Schlüsselwort** (Vigenere ca. 1550)
  - Leichtere Ver-/Entschlüsselung als Substitutionschiffre
  - Angriff: Kasiski Test (1863!) und Häufigkeitsanalysen

Nur gute Mathematiker konnten Chiffrierungen brechen

...und wenn die Chiffrierung noch komplexer wird?

- **Verschiebung und Permutation in Textblöcken**
  - Verschlüsselung ist Linearkombinationen der Elemente im Klartextblock
    Immun gegen statistische Analysen und Brute-Force Attacken
  - Angriff: Abfangen von Klar-/Schlüsseltextpaaren + Matrixinvertierung
- **Strom-Chiffren**
  - Erzeuge beliebig lange Schlüssel aus Anfangsschlüssel + Nachricht
  - Nur zu brechen, wenn Verfahren zur Schlüsselerzeugung bekannt
- **One-Time Pad**
  - Schlüssel genauso groß wie Nachricht, einmalige Verwendung
  - **Nicht zu brechen**(!) ... aber wie soll der Schlüssel übermittelt werden?
- **Sicher bis zum Ende des zweiten Weltkriegs**
  - Effiziente Chiffrierung mithilfe von Verschlüsselungsmaschinen
  - Analyse einzelner(!) chiffrierter Texte dauerte oft Jahre
- **Der Computer hat alles verändert**
  - Maschinen, die Milliarden von Tests in wenigen Sekunden ausführen, können jede "mechanische" Chiffrierung in kurzer Zeit brechen

Moderne Kryptographie muss neu anfangen

Was sind die Ziele?

- **Sicherheit**
  - Schlüsseltext soll nicht von Unbefugten dechiffriert werden können auch wenn das Chiffrierverfahren bekannt ist
  - Absolute Sicherheit ist aber fast nicht erreichbar
  - Es reicht, daß die Chiffrierung nicht in akzeptabler Zeit zu brechen ist Praktisch reicht Sicherheit gegen alle bekannten Arten von Attacken
- **Flexibilität**
  - Verschlüsselung ist nicht nur etwas für Militär und Geheimdienste
  - Jeder muß mit jedem spontan sichere Verbindungen aufbauen können
- **Effiziente Ausführung**
  - Ver-/Entschlüsselung muß auch bei großen Datenmengen schnell sein
  - Verfahren muß auch auf Chipkarten o.ä. implementiert werden können

Sicherheit hat verschiedene Aspekte

- **Vertraulichkeit**
  - Unbefugte können keinen Zugriff auf Informationen bekommen
  - Erreichbar durch Verschlüsselung von Daten
- **Integrität**
  - Fälschung oder Manipulation von Informationen ist nicht möglich
  - Sichere Hashfunktionen ermöglichen Überprüfung von Veränderungen
- **Authentizität**
  - Eine Nachricht stammt garantiert vom angegebenen Sender
  - Möglich durch Verwendung von Paßwörtern und Identitätszertifikaten
- **Verbindlichkeit**
  - Absender kann Urheberschaft nicht nachträglich leugnen
  - Digitale Signaturen binden Nachricht an ihren Absender

Kryptographie kann Vertrauen schaffen

Nichts geht ohne gute theoretische Grundlagen

- **Sicherheit braucht gute Mathematik**
  - Statistik und Lineare Algebra überwinden einfache Chiffrierverfahren auch dann, wenn die Codierung relativ trickreich ist
    Mathematische Analysen offenbaren versteckte Regelmäßigkeiten
  - Zahlentheorie und Komplexitätstheorie ermöglichen neue Verfahren die nachweislich nicht in akzeptabler Zeit zu brechen sind
    (RSA: Potenzieren mit großen Zahlen modulo n, El Gamal, elliptische Kurven)
- **Flexibilität braucht gute Mathematik**
  - Zahlen- und Gruppentheorie ermöglichen asymmetrische Chiffrierung
    · Ver- und Entschlüsselung kann verschiedene Schlüssel benutzen
    · Ein Schlüssel kann gefahrlos veröffentlicht werden
- **Effizienz braucht gute Theorie**
  - Verschlüsselungsverfahren können durch Umstellungen auf der Basis mathematischer Gesetze erheblich beschleunigt werden
  - Sichere Schlüssel für viele Teilnehmer können schnell erzeugt werden

Beispiel: Public-Key Kryptographie mit RSA

Ältestes öffentliches Verfahren (Rivest, Shamir & Adleman, 1977)

- **Mathematisch einfaches Verschlüsselungsverfahren**
  - Behandelt Bitblöcke einer Nachricht als (sehr große) Zahlen
  - Verschlüsselung durch Potenzieren mit e modulo n: $\boldsymbol{e_K(x)} = x^e \bmod n$
  - Entschlüsselung durch Potenzieren mit d modulo n: $\boldsymbol{d_K(y)} = y^d \bmod n$
  - Dabei $n = p * q$ für große Primzahlen p, q
    und $d * e \; mod \; (p-1)(q-1) = 1$
  - Öffentlich bekannt sind $n := p * q$ und e, d, p und q bleiben geheim
- **Hohe Qualität wegen gutem theoretischen Fundament**
  - Korrektheit: Für $x<n=p*q$ gilt $\boldsymbol{(x^e)^d \bmod n = x}$ (Satz von Euler-Fermat)
  - Effizienz: Ver-/Entschlüsselung verwendet binäres Hornerschema
    Iteriertes Quadrieren und Multiplizieren modulo n
  - Sicherheit: Faktorisierung von Zahlen ist exponentiell in Anzahl der Bits

Themen dieser Veranstaltung

- **Kryptoanalyse einfacher Verschlüsselungssysteme**
  – Mathematische Methoden zum Brechen von Chiffrierverfahren
- **SPN Chiffren** (Nur kurze Übersicht)
  – Substitutions-Permutations Netzwerke, DES, AES
- **Public Key Kryptographie mit RSA**
  – Ver- /Entschlüsselung, Schlüsselerzeugung, Komplexität von Attacken
- **Kryptoverfahren auf Basis diskreter Logarithmen**
  – El Gamal Verfahren, Schlüsselerzeugung, Attacken
  – Chiffrierung mit Elliptischen Kurven
- **Jenseits von Vertraulichkeit** (Nur kurze Übersicht)
  – Protokolle für Hash, Signatur, Secret Sharing, Authentifikation
  – Public-Key Infrastrukturen und Anwendungen

Schwerpunkt: Krypto-Algorithmen und ihre Komplexität

Implementierungsaspekte spielen nur eine untergeordnete Rolle

Relevante Mathematik wird jeweils bei Bedarf vorgestellt

Lehrmaterialien

- **Folien der Vorlesung**
  - Im voraus auf dem Webserver erhältlich
- **Beispielprogramme für Demos und eigene Experimente**
  - Verwenden Programmiersprache OCaml (meist im Interpreter-Modus)
  - Werden gelegentlich auf dem Webserver aktualisiert
- **Wichtige Lehrbücher** (Themenauswahl/Reihenfolge etwas anders als in Vorlesung)
  - Douglas R. Stinson *Cryptography: Theory and Practice*
  - Johannes Buchmann, *Einführung in die Kryptographie*
  - Jörg Rothe, *Complexity Theory and Cryptology*
- **Hilfreiche Zusatzliteratur**
  - F.L Bauer, *Decrypted Secrets*
  - Richard Mollin, *An introduction to cryptography*,
  - O. Goldreich, *Foundations of Cryptography (2 volumes)*
  - A. Beutelspacher, H. Neumann, T. Schwarzpaul, *Kryptografie in Theorie und Praxis*
  - A. Beutelspacher, *Kryptologie*
  - M. Stamp, R. Low, *Applied Cryptanalysis: Breaking Ciphers in the real world*

Organisatorisches

- **Zuordnung: theoretische/angewandte Informatik**
- **Veranstaltungen**
  - Vorlesung (Mi 10:15–11:45 (1.02), Do 10:15–11:45 (1.02))
    - Präsentation der zentralen Konzepte / Ideen
    - Keine Vorlesung am 16./17.12.2015 und 6.1.2016
  - Sprechstunde (Fr 10:30–11:30 . . . und immer wenn die Türe offen ist)
    - Fachberatung / Klärung von Schwierigkeiten mit der Thematik
  - Übungsaufgaben (gelegentlich)
    - Anregung und Herausforderungen zum Selbsttraining
- **Empfohlene Vorkenntnisse:**
  - Gutes Verständnis von Mathematik / theoretischer Informatik
- **Erfolgskriterium: Abschlußklausur am 18. Februar 2016**
  - Mündliche Prüfung als Alternative (nur bei geringer Teilnehmerzahl)