Grenzen des Schutzes der Vertraulichkeit in IT-Systemen

Prof. Dr. Hannes Federrath
Sicherheit in verteilten Systemen (SVS)
http://svs.informatik.uni-hamburg.de/

Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

Dresden, 17. Juli 2013

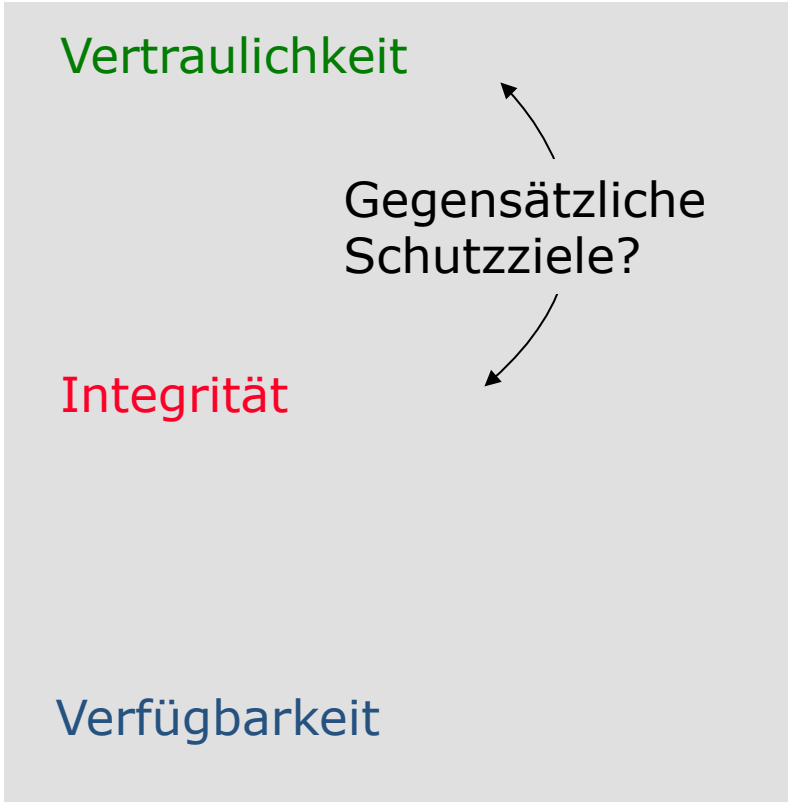
Gliederung des Vortrages

- Schutzziele
- Mehrseitige Sicherheit
- Vertraulichkeit
  - Verfahren und Algorithmen
- Beobachtungen zum Monotonieverhalten
- Fallbeispiele
  - One-Time-Pad
  - DC-Netz und Schnittmengenangriffe
  - Umkodierende Mixe und praktische Verkettungsangriffe
- Schlussbemerkungen

Schutzziele

Voydock, Kent 1983

- Klassische IT-Sicherheit berücksichtigt im Wesentlichen Risiken, die durch *regelwidriges Verhalten* in IT-Systemen entstehen.



unbefugter Informationsgewinn

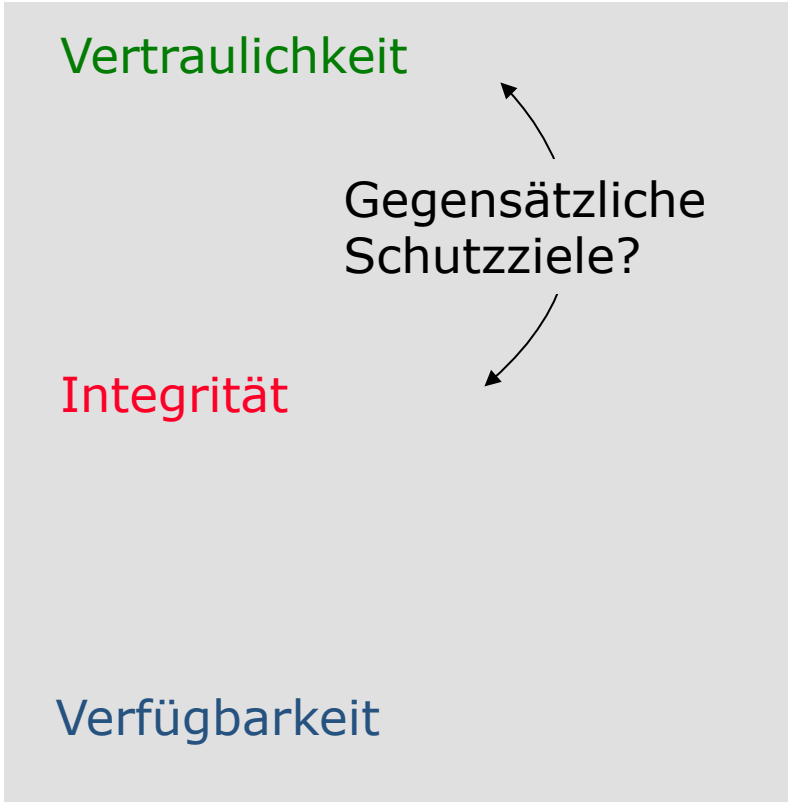
unbefugte Modifikation

unbefugte Beeinträchtigung der Funktionalität

Mehrseitige Sicherheit

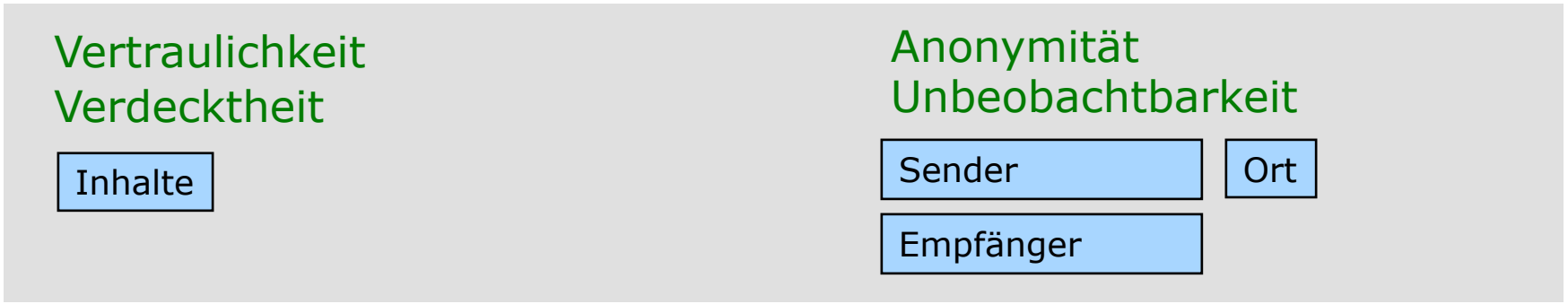
Müller et. al. 1997

- Mehrseitige Sicherheit bedeutet die Einbeziehung der Schutzinteressen aller Beteiligten sowie das Austragen daraus resultierender Schutzkonflikte.



- Voraussetzung
  - regelwidriges Verhalten hält Systeme und Nutzer schadlos
- Ziel
  - gegensätzliche Sicherheitsinteressen werden erkannt, Lösungen ausgehandelt und durchgesetzt

Vertraulichkeit: Schutzziele und Angreifermodell



- Outsider
  - Abhören auf Kommunikationsleitungen
  - Verkehrsanalysen

- Insider
  - Netzbetreiber oder bösartige Mitarbeiter (Verkehrsprofile)
  - Staatliche Organisationen (insb. fremde)

Vertraulichkeit: Verfahren und Algorithmen

Verfahren

Algorithmen

Inhaltsdaten

Vertraulichkeit

Verschlüsselung

Inhalte

DES, 3-DES, OTP, IDEA, AES, RSA, ElGamal, …

Verdecktheit

Steganographie

Inhalte + Existenz

F5, …

Verkehrsdaten

Anonymität Unbeobachtbarkeit

Sender

Ort

Empfänger

Web-Anonymisierer, Remailer, anonyme Zahlungssysteme

Pseudonyme, Proxies, umkodierende Mixe, DC Netz, Private Information Retrieval, …

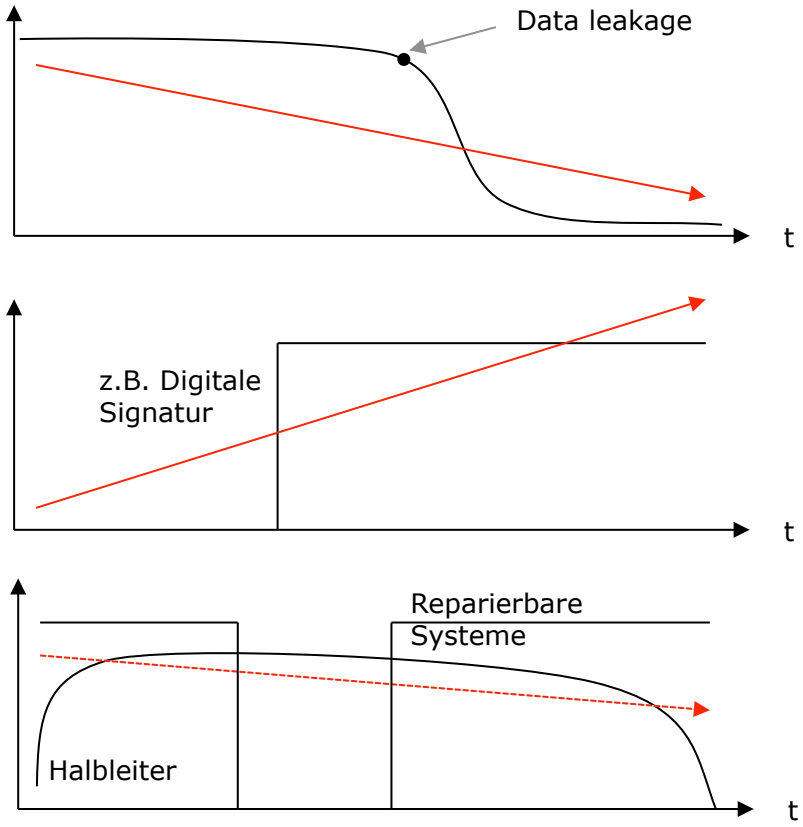
Beobachtungen zum Monotonieverhalten

- Das Monotonieverhalten von Schutzzielen gibt Hinweise auf die Prioritäten bei der Umsetzung von Schutzzielen und das praktisch erreichbare Schutzniveau.

Vertraulichkeit

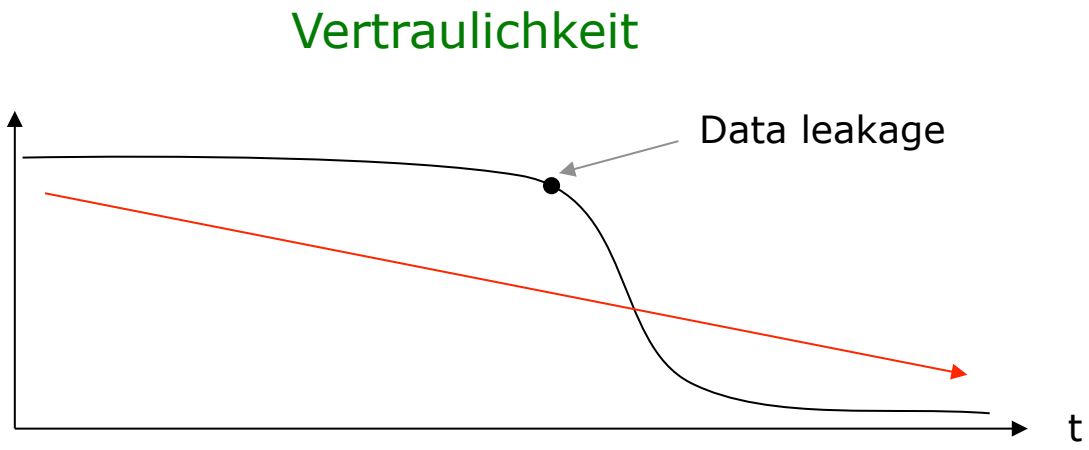
Integrität

Verfügbarkeit



Beobachtungen zum Monotonieverhalten

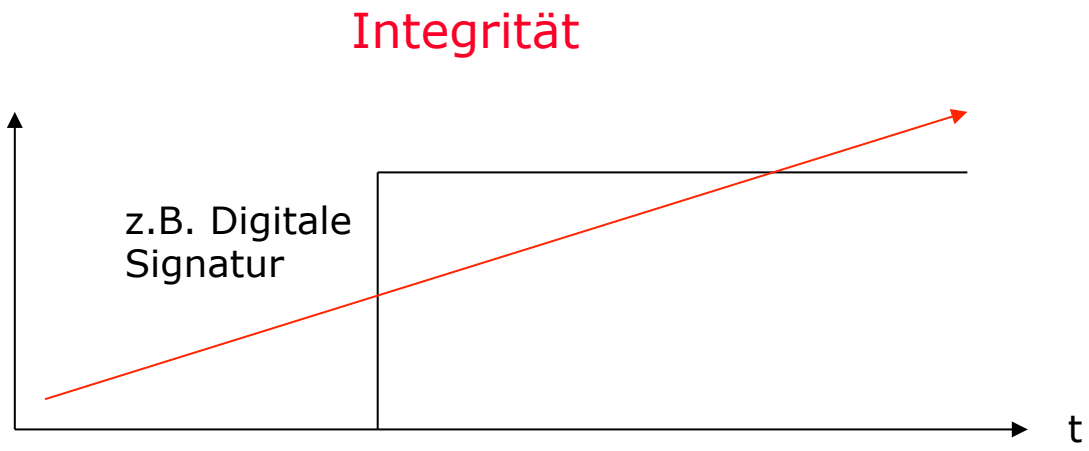
- Vertraulichkeit, Verdecktheit, Anonymität und Unbeobachtbarkeit können nur geringer werden.



Sensible Daten müssen besonders sorgsam und mit hoher Priorisierung geschützt werden.

Beobachtungen zum Monotonieverhalten

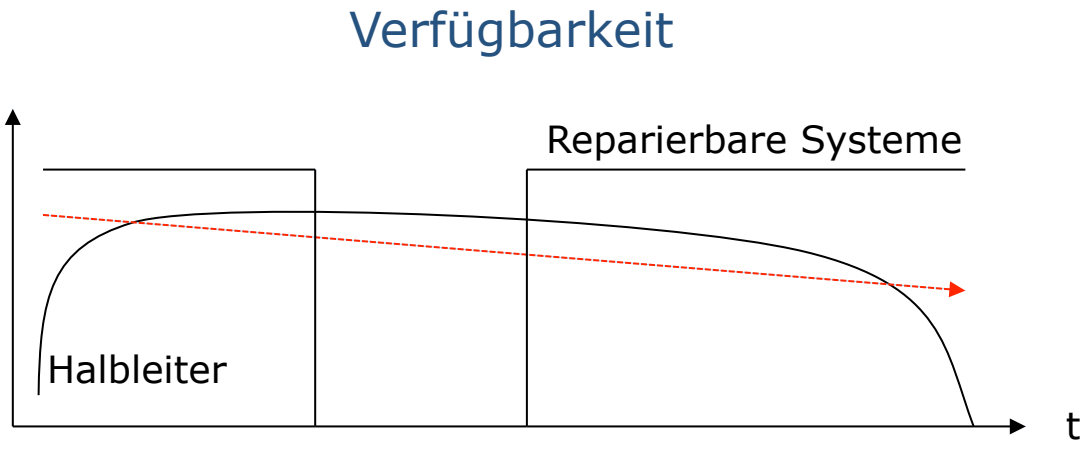
- Integrität, Zurechenbarkeit und Rechtsverbindlichkeit können nur größer werden.



Ist einmal die Authentizität von Daten (auf technischer Ebene) festgestellt, geht sie nicht mehr verloren.

Beobachtungen zum Monotonieverhalten

- Verfügbarkeit und Erreichbarkeit verhalten nicht monoton (häufig unstetig und doch langfristig meist regressiv).



Es sind stets nur probabilistische Aussagen zur Verfügbarkeit möglich.

Grenzen der Vertraulichkeit

- Monotonie der Vertraulichkeit: Vertraulichkeit, Verdecktheit, Anonymität und Unbeobachtbarkeit können nur geringer werden.

Vertraulichkeit
Verdecktheit

Inhalte

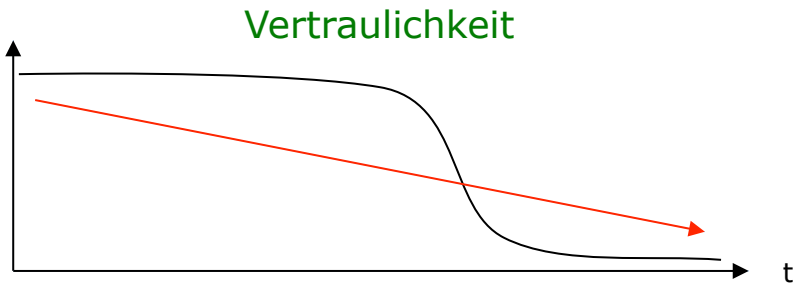
Anonymität
Unbeobachtbarkeit

Sender

Ort

Empfänger

- Fallbeispiele
  - One-Time-Pad
  - DC-Netz und Schnittmengenangriffe
  - Umkodierende Mixe und praktische Verkettungsangriffe

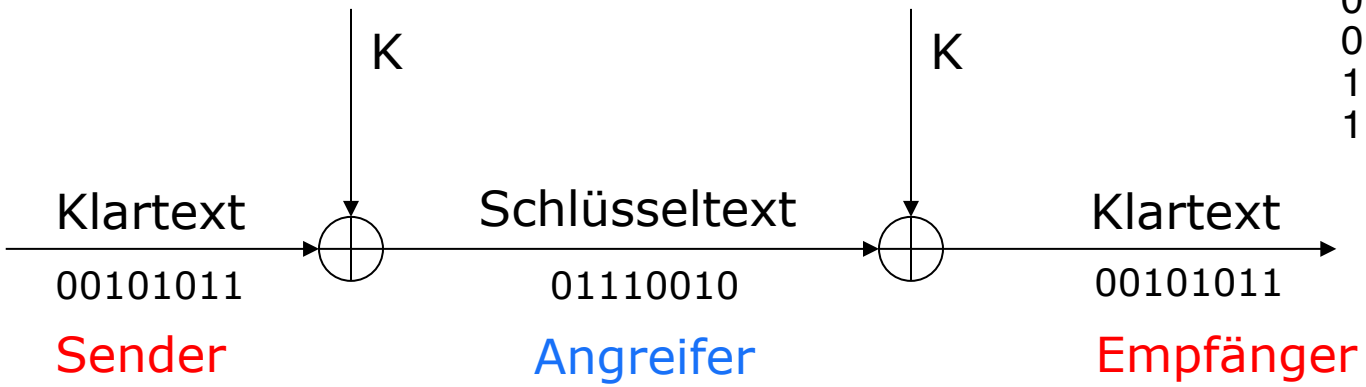


One-Time-Pad (mod 2)

Inhalte

- Randbedingungen
  - Jedes Schlüsselbit darf nur einmal verwendet werden
  - Bits von K sind zufällig und unabhängig
  - Schlüssel genauso lang wie Klartext
- Erreichbare Sicherheit
  - Angreifer kann alle Varianten durchrechnen, erhält dadurch aber keine zusätzliche Information über den Klartext
  - Wahrscheinlichkeit, den Klartext richtig zu erraten, verändert sich durch die Beobachtung des Schlüsseltextes nicht

X	⊕	K	=	S
0		0		0
0		1		1
1		0		1
1		1		0



One-Time-Pad (mod 2)

Inhalte

- Randbedingungen
  - Jedes Schlüsselbit darf nur einmal verwendet werden
  - Bits von K sind zufällig und unabhängig
  - Schlüssel genauso lang wie Klartext
- Erreichbare Sicherheit
  - Angreifer kann alle Varianten durchrechnen, erhält dadurch aber keine zusätzliche Information über den Klartext
  - Wahrscheinlichkeit, den Klartext richtig zu erraten, verändert sich durch die Beobachtung des Schlüsseltextes nicht

Informationstheoretische Sicherheit

  - Nicht im Modell: Angreifer erfährt: Länge des Klartextes

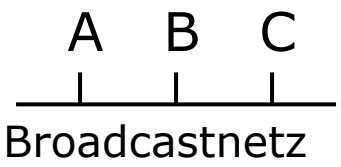
01110010

Länge l

- Randbedingungen
  - Jedes Schlüsselbit darf nur einmal verwendet werden
  - Bits von K sind zufällig und unabhängig
  - Schlüssel genauso lang wie Klartext
  - Rundenbasiertes Protokoll

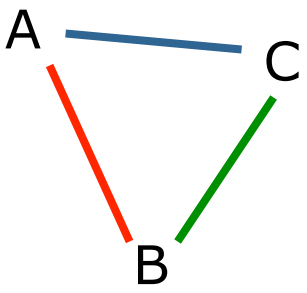
Sender

X	⊕ K	= S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



Broadcastnetz

Schlüsselgraph



Echte Nachricht von A	00110101
Schlüssel mit B	00101011
Schlüssel mit C	00110110
Summe	00101000

A sendet 00101000

Leere Nachricht von B	00000000
Schlüssel mit A	00101011
Schlüssel mit C	01101111
Summe	01000100

B sendet 01000100

Leere Nachricht von C	00000000
Schlüssel mit A	00110110
Schlüssel mit B	01101111
Summe	01011001

C sendet 01011001

Summe = Echte Nachricht von A 00110101

DC-Netz

- Randbedingungen
  - Jedes Schlüsselbit darf nur einmal verwendet werden
  - Bits von K sind zufällig und unabhängig
  - Schlüssel genauso lang wie Klartext
  - Rundenbasiertes Protokoll
- Erreichbare Sicherheit
  - Perfekte Unbeobachtbarkeit des Sendens
  - Jede Nachricht ist innerhalb der Teilnehmer unbeobachtbar, die durch zusammenhängenden Schlüsselgraph bilden.

Sender

Informationstheoretische Sicherheit

  - Nicht im Modell: Wechselnde Benutzergruppen ermöglichen Schnittmengenangriffe

DC Netz und Schnittmengenangriffe

- Angreifer beobachtet:
  - zu t_1 Nachrichten von 3 Sendern A,B,C an 3 Empfänger S,T,U
  - zu t_2 Nachrichten von 3 Sendern C,D,E an 3 Empfänger T,V,W

Sender

t_1: {A,B,C} → {S,T,U}
t_2: {C,D,E} → {T,V,W}

X → Y bedeutet: Jeweils ein Teilnehmer aus der Menge X kommuniziert mit genau einem Teilnehmer aus der Menge Y.

- Schnittmengenbildung:

{A,B,C}∩{C,D,E} → {S,T,U}∩{T,V,W} = {C} → {T}

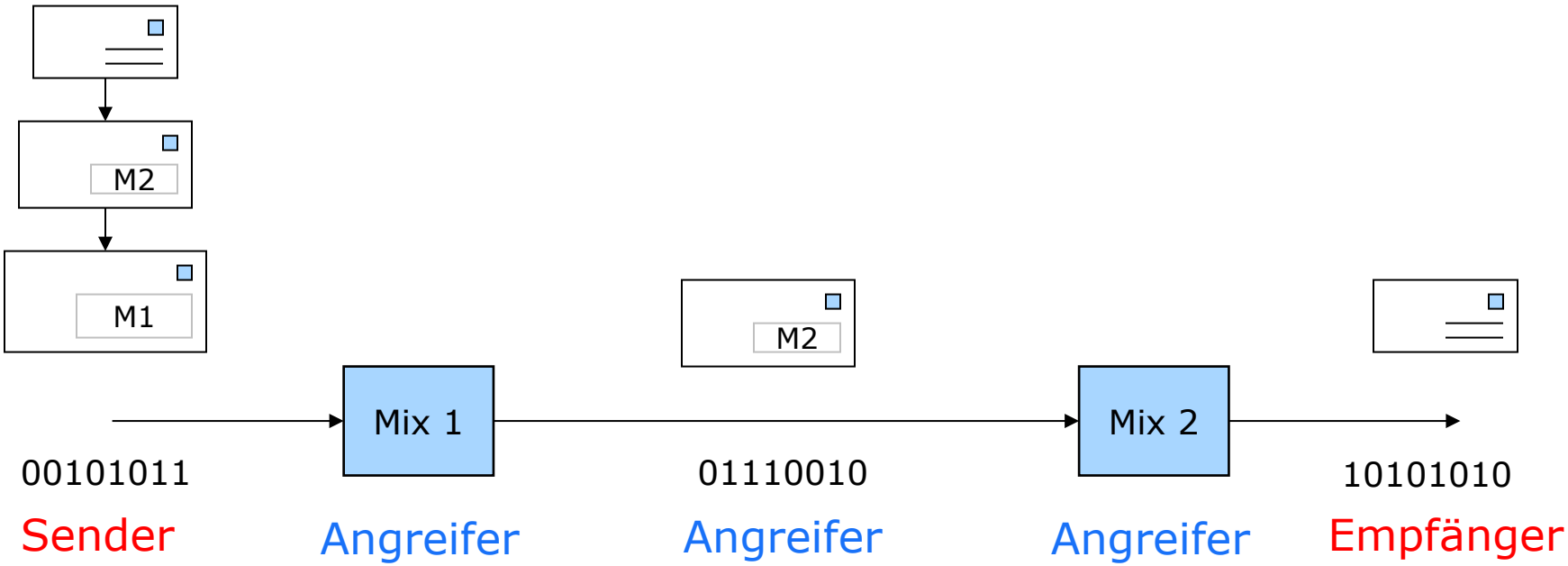
- Interpretation:
  - reduzierte Anonymitätsgruppe {C,T}
  - Wenn T angreift, weiß T sofort, dass C der Sender ist

Umkodierende Mixe

Chaum, 1981

- Grundidee:
  - Nachrichten in einem »Schub« sammeln, Wiederholungen ignorieren, umkodieren, umsortieren, gemeinsam ausgeben.
- Randbedingungen
  - Alle Nachrichten haben die gleiche Länge.
  - Mehr als einen Mix verwenden.
  - Wenigstens ein Mix darf nicht angreifen.

Kommunikationsbeziehung

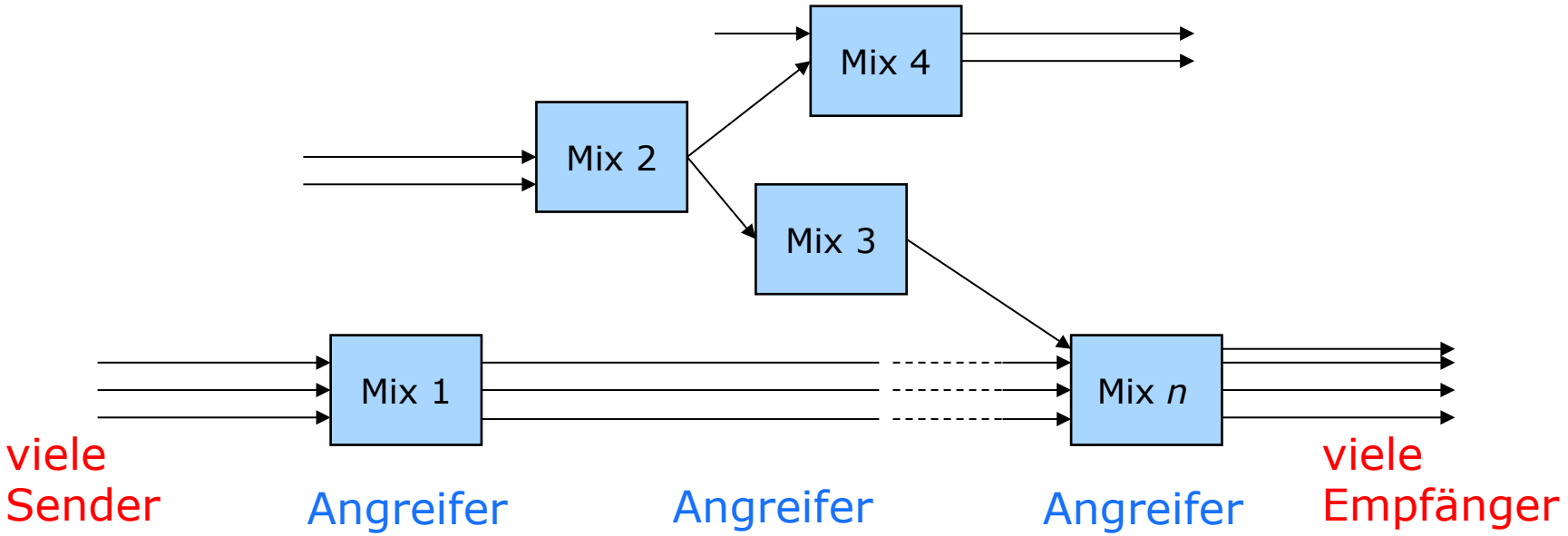


Umkodierende Mixe

Chaum, 1981

- Grundidee:
  - Nachrichten in einem »Schub« sammeln, Wiederholungen ignorieren, umkodieren, umsortieren, gemeinsam ausgeben.
- Randbedingungen
  - Alle Nachrichten haben die gleiche Länge.
  - Mehr als einen Mix verwenden.
  - Wenigstens ein Mix darf nicht angreifen.

Kommunikationsbeziehung



Umkodierende Mixe und praktische Verkettungsangriffe

- Grundidee:
  - Nachrichten in einem »Schub« sammeln, Wiederholungen ignorieren, umkodieren, umsortieren, gemeinsam ausgeben.

Kommunikationsbeziehung

- Randbedingungen
  - Alle Nachrichten haben die gleiche Länge.
  - Mehr als einen Mix verwenden.
  - Wenigstens ein Mix darf nicht angreifen.
- Erreichbare Sicherheit
  - Unverkettbarkeit der Kommunikationsbeziehung gegen Insider und Outsider; solange kryptographische Verfahren nicht gebrochen sind:

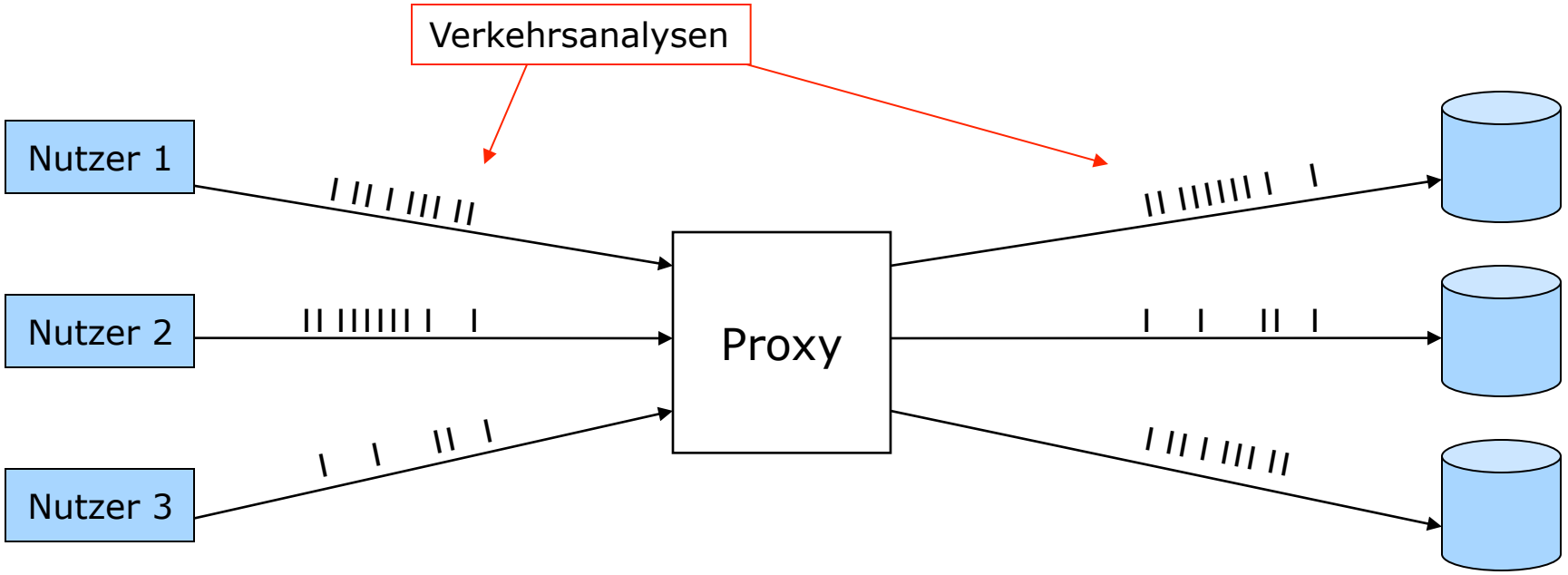
Komplexitätstheoretische Sicherheit

  - Nicht im Modell: Schutz durch Dummy Traffic
  - Schlimmer noch: schlechte Skalierbarkeit führt zu praktisch schwächer implementierten Verfahren

Proxies: Outsider

- Erreichbare Sicherheit (Outsider)
  - trotz Verschlüsselung:
    - kein Schutz gegen Verkehrsanalysen
      - Verkettung über Nachrichtenlängen
      - zeitliche Verkettung

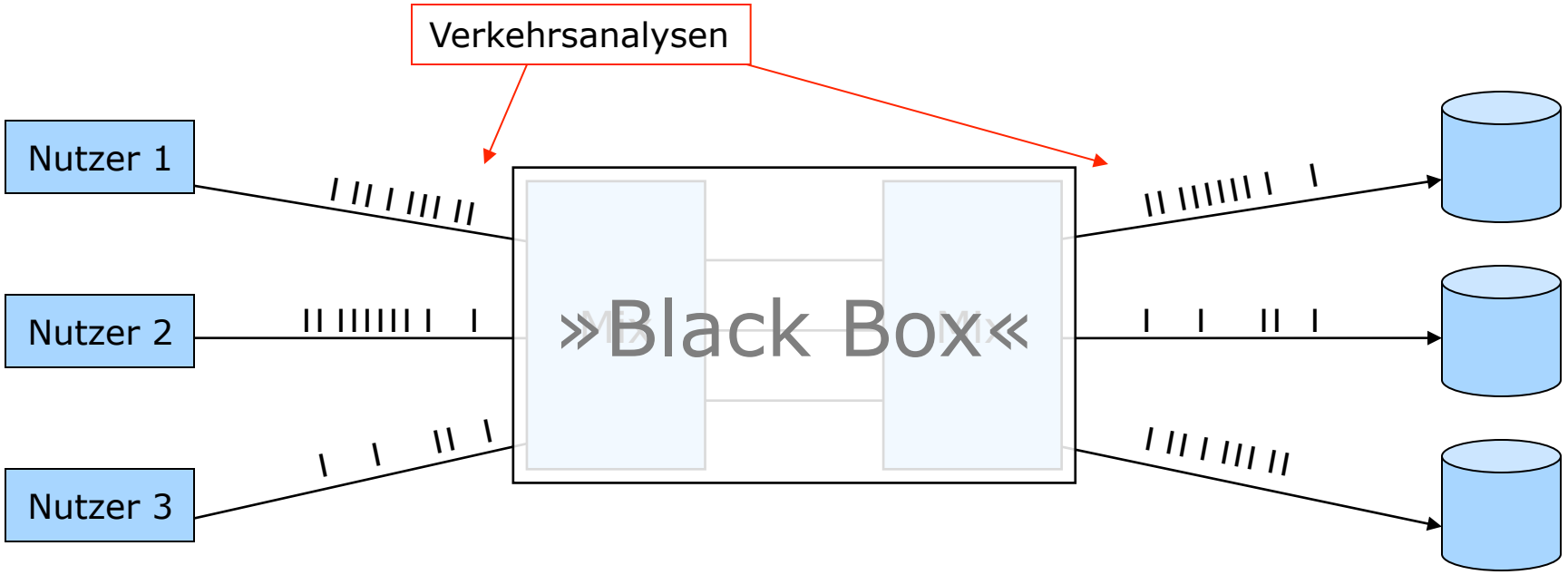
Kommunikationsbeziehung



Umkodierende Mixe und praktische Verkettungsangriffe

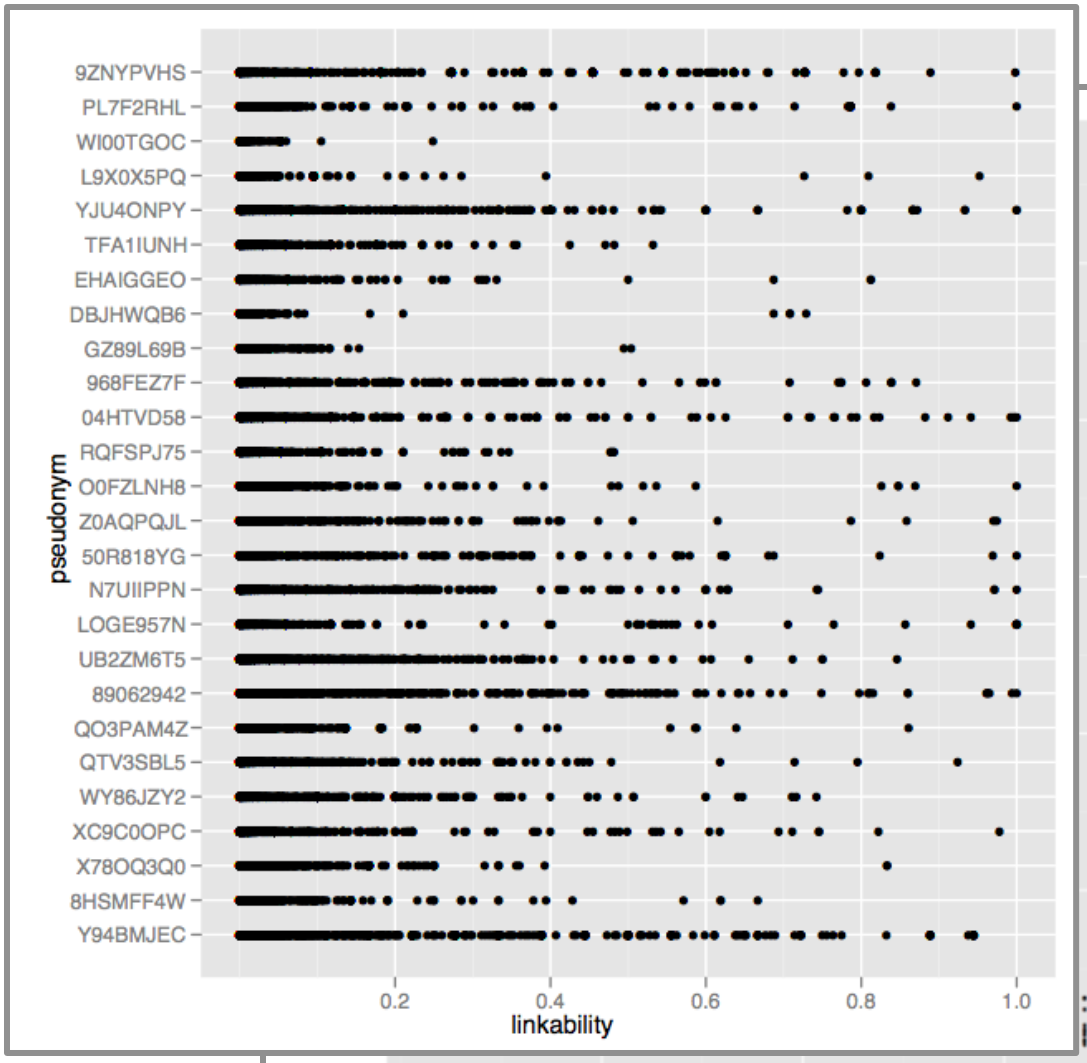
- Erreichbare Sicherheit
  - für einzelne Runde: perfekt (atomare Betrachtung)
  - über längere Zeit und mit Kontextinformation
    - Abhängigkeit vom Benutzerverhalten
    - Abhängigkeit von Verkehrssituation
- Beachte: Angreifer ist stets gleich stark

Kommunikationsbeziehung



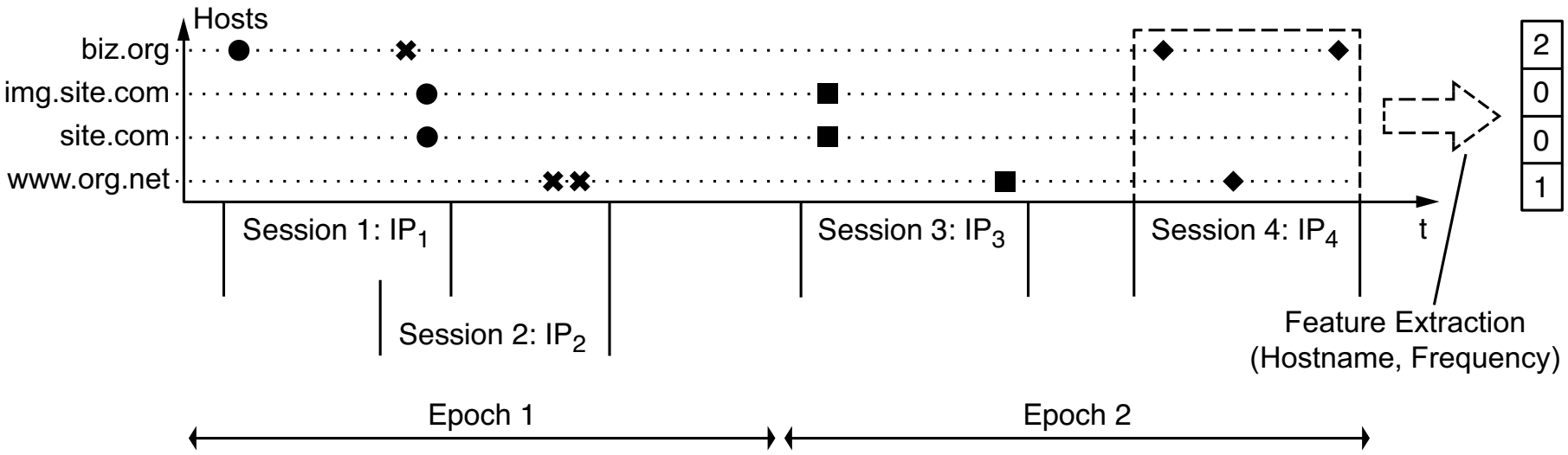
Website- und DNS-Fingerprinting

Gerber 2009



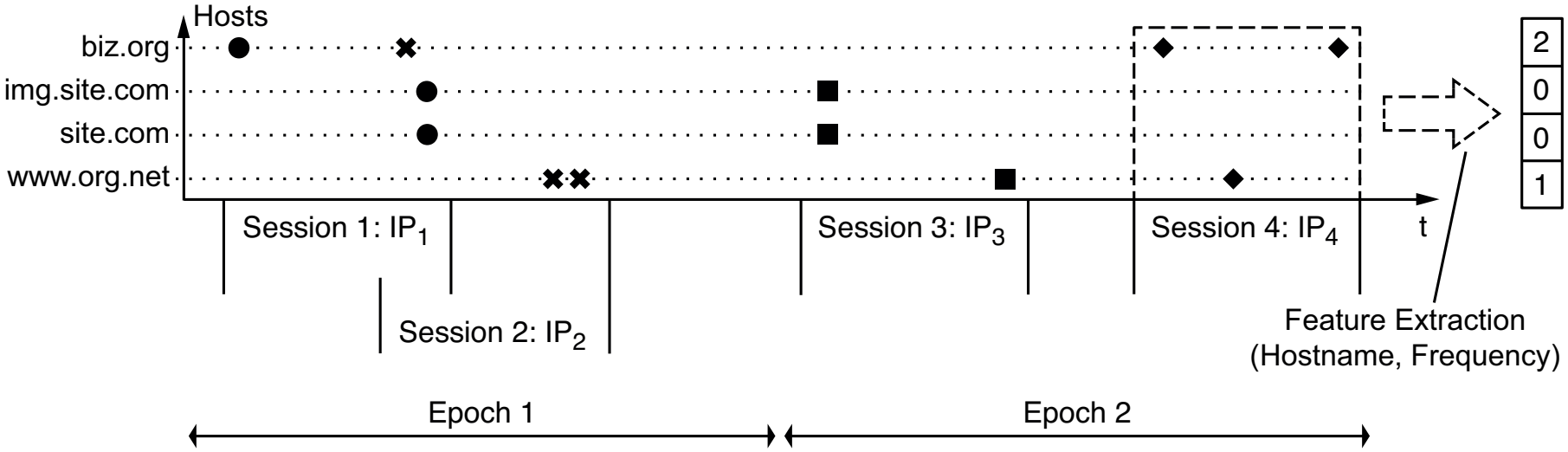
Praktischer Verkettungsangriff auf DNS Black Box

- Annahme
  - Benutzer wechseln täglich ihre IP-Adresse (t=24h)
- Hypothese
  - Nutzer können anhand der Menge der angefragten Hostnamen innerhalb einer Session wiedererkannt werden



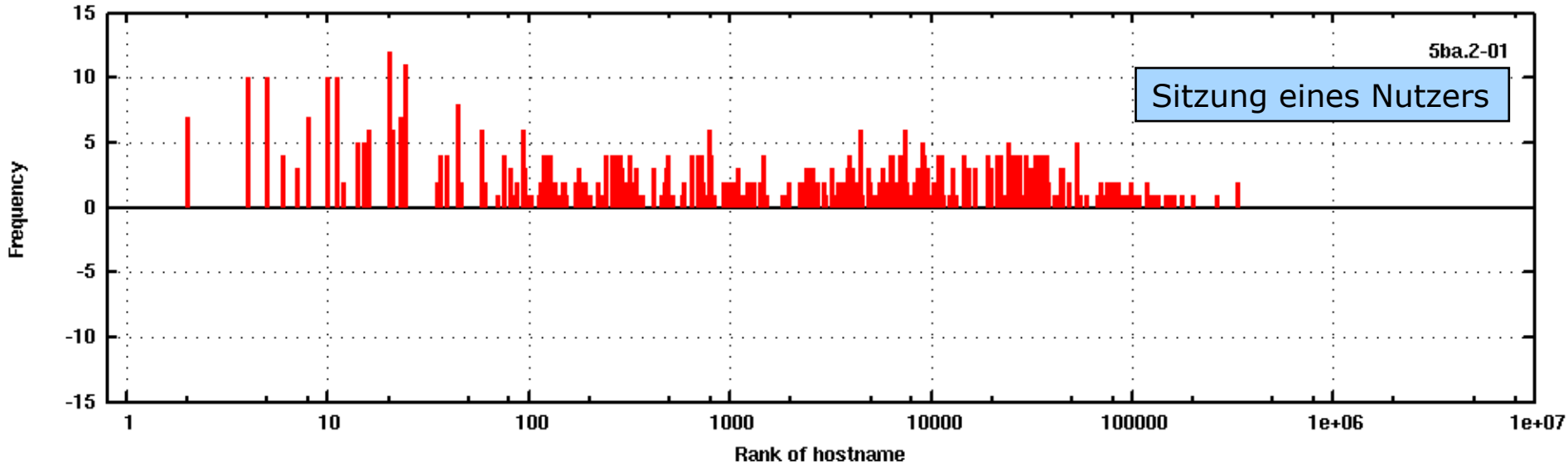
Praktischer Verkettungsangriff auf DNS Black Box

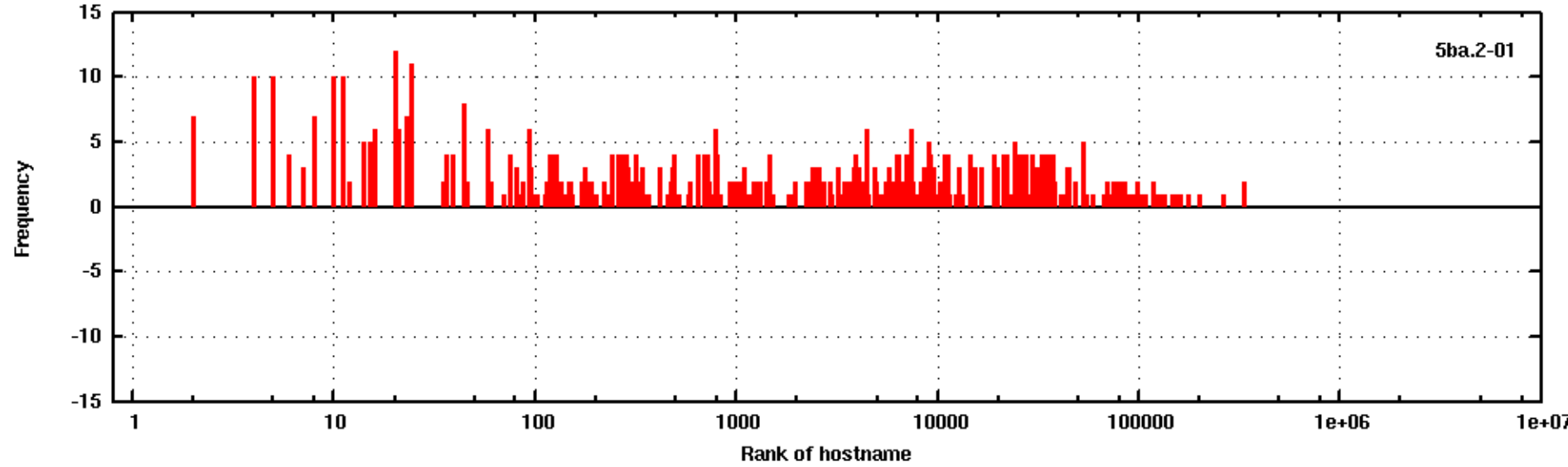
- Annahme
  - Benutzer wechseln täglich ihre IP-Adresse (t=24h)
- Hypothese
  - Nutzer können anhand der Menge der angefragten Hostnamen innerhalb einer Session wiedererkannt werden



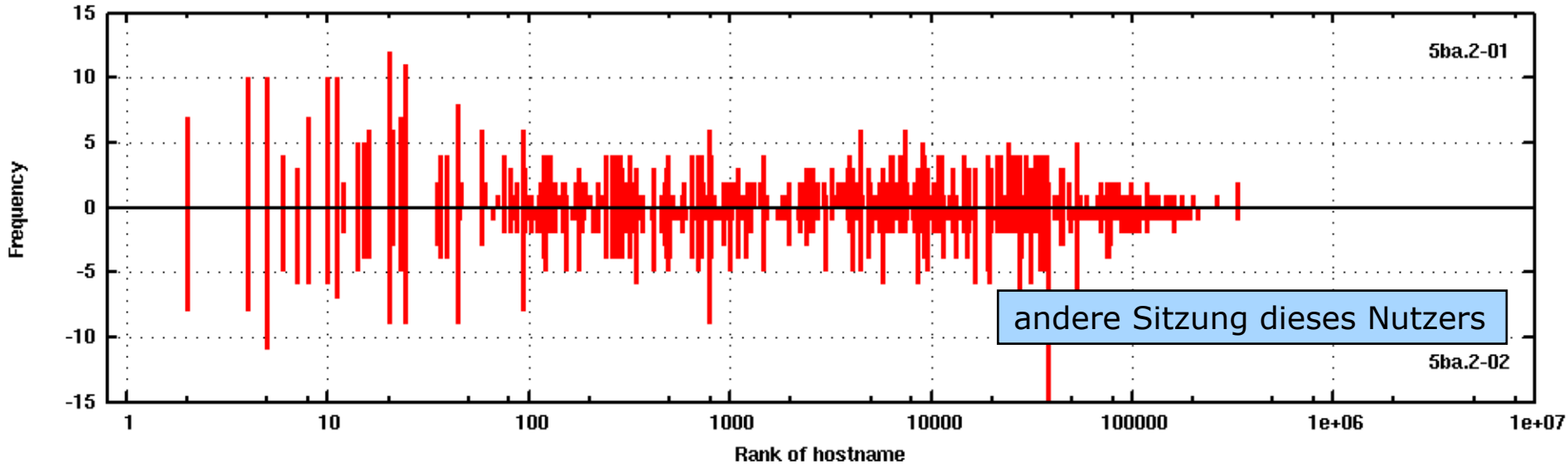
- Datenlage
  - DNS-Anfragen (hostnames) von 4153 Nutzern mit statischen IP-Adressen; Simulation Adresswechsel durch Black Box (t=24h)

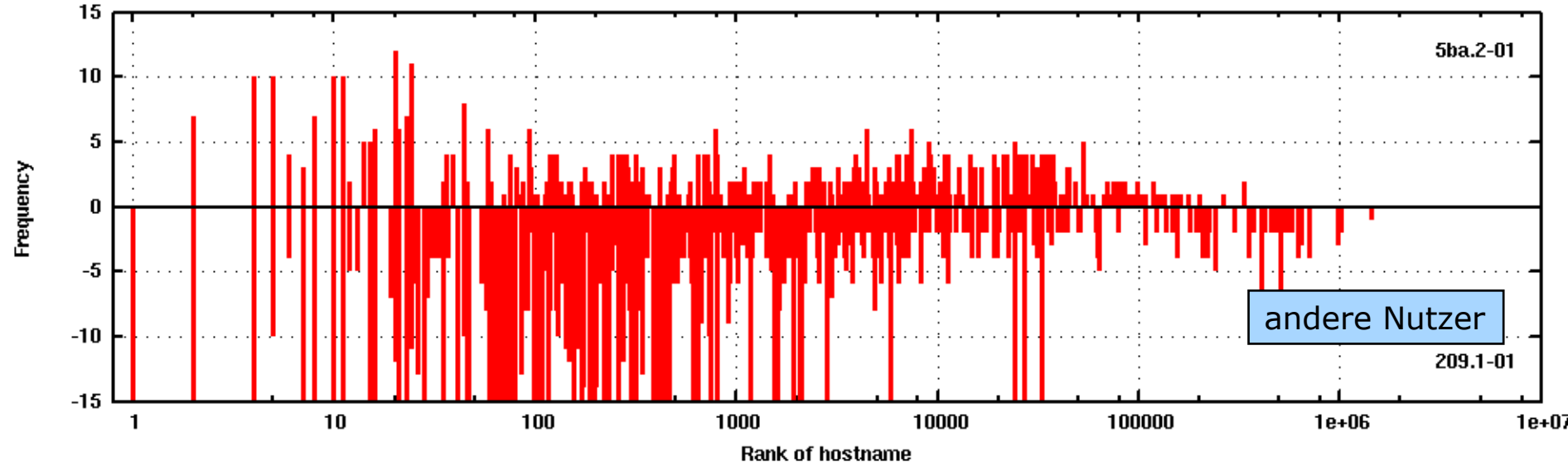
Praktischer Verkettungsangriff auf DNS Black Box



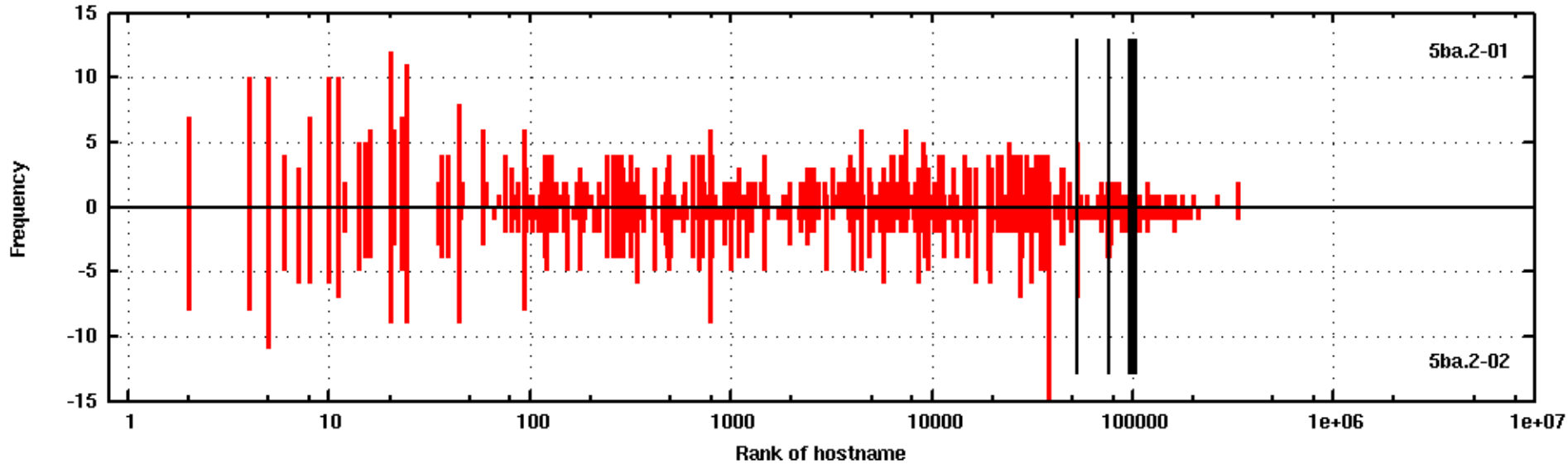


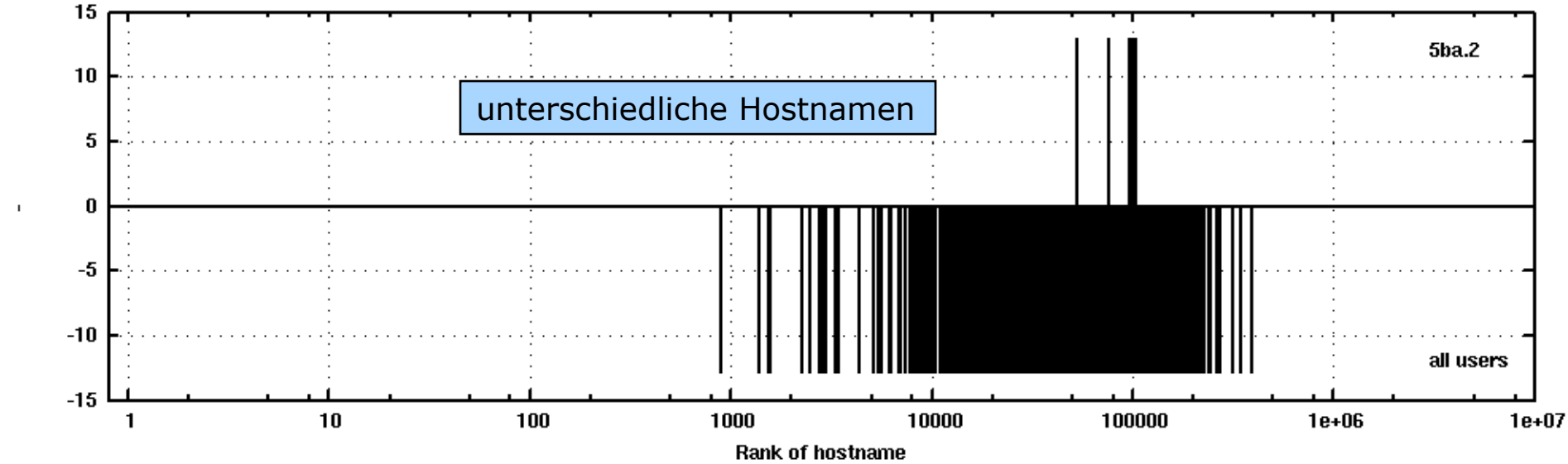
Praktischer Verkettungsangriff auf DNS Black Box





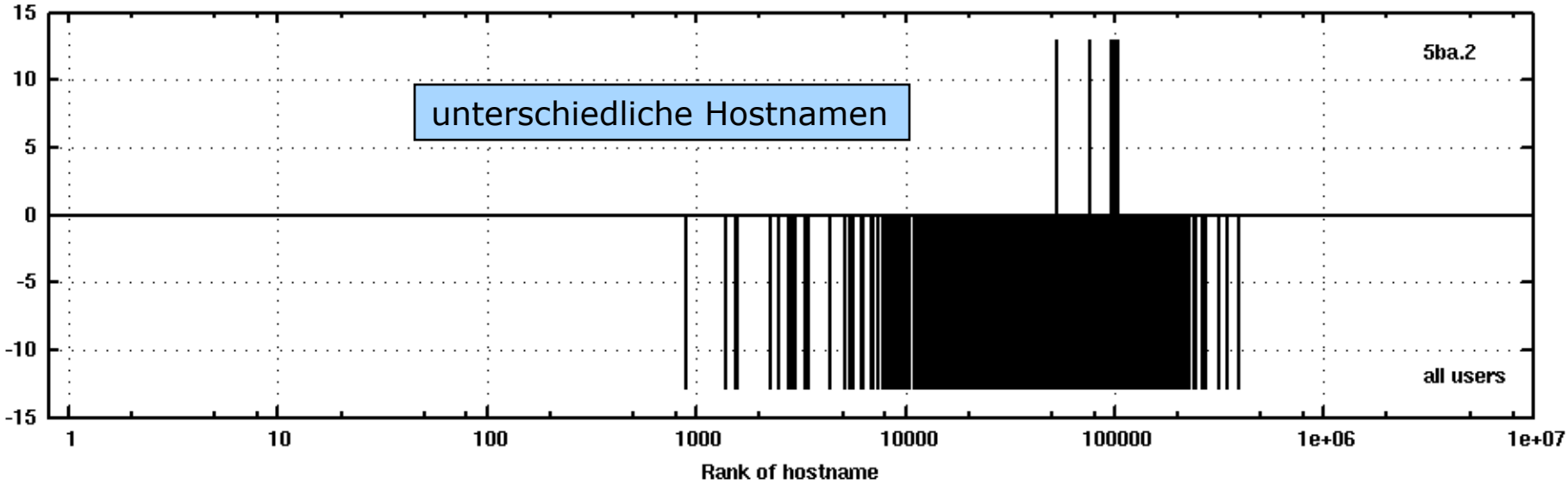
Praktischer Verkettungsangriff auf DNS Black Box





Praktischer Verkettungsangriff auf DNS Black Box

- Ergebnis mit t=24h
  - Bis zu 88 Prozent der Nutzer werden (wenigstens einmal) korrekt wiedererkannt (t=24).
  - Bis zu 35 Prozent der Nutzer sind ununterbrochen verkettbar (alle Sessions).
- Interessant
  - Mit t=1h halbiert sich jeweils die Erkennungsrate.



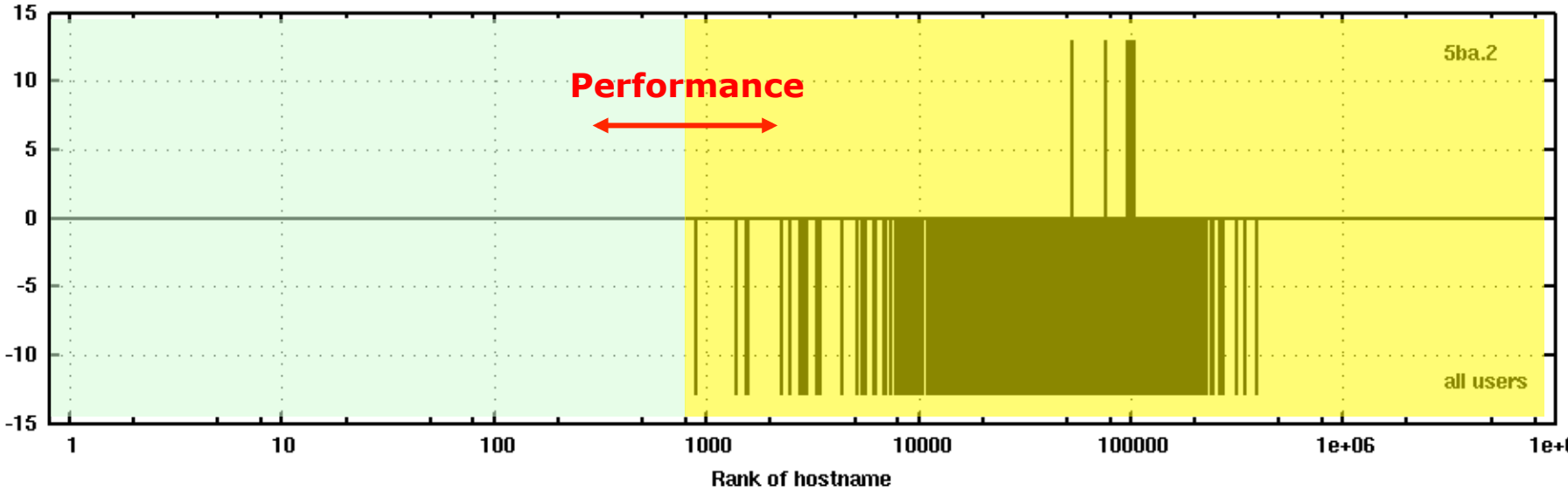
Praktischer Verkettungsangriff auf DNS Black Box

- Zipf's law:
  - Eine geringe Anzahl von Sites erzeugt den Großteil des Datenverkehrs

- Idee:

Populärste DNS-Anfragen werden vorab per Broadcast übermittelt (perfekte Unbeobachtbarkeit)

Andere DNS-Anfragen werden über umkodierende Mixe (inkl. Dummy Traffic!) abgefragt.

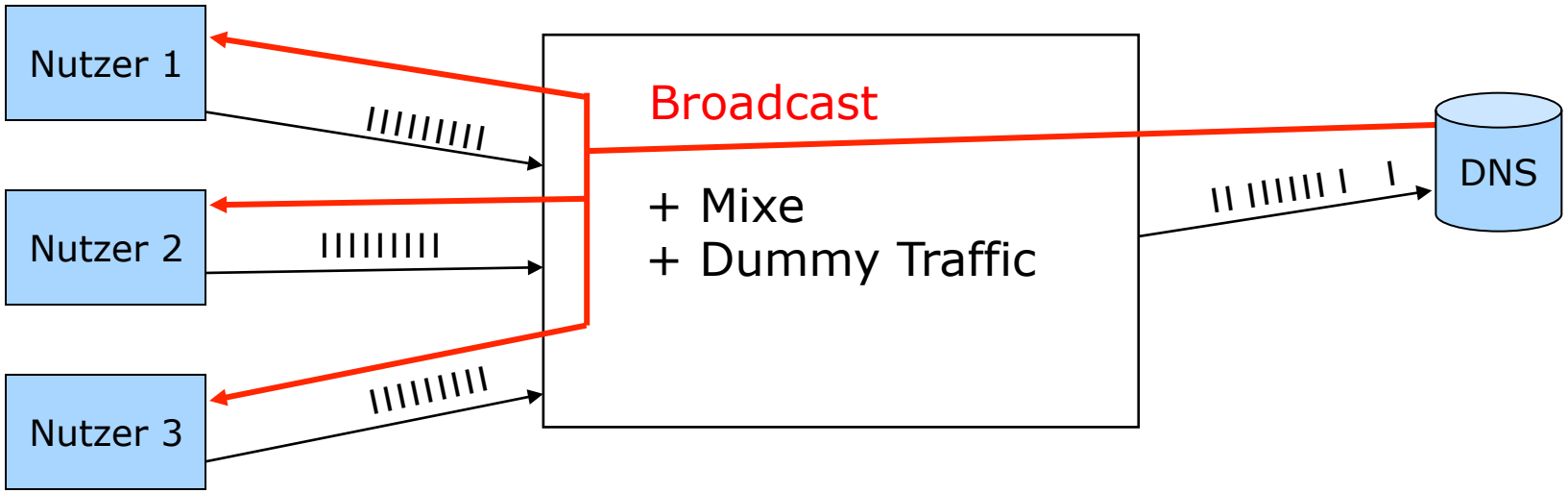


Praktische Unbeobachtbarkeit von DNS

- Mehr als ein Verfahren nutzen

Kommunikationsbeziehung

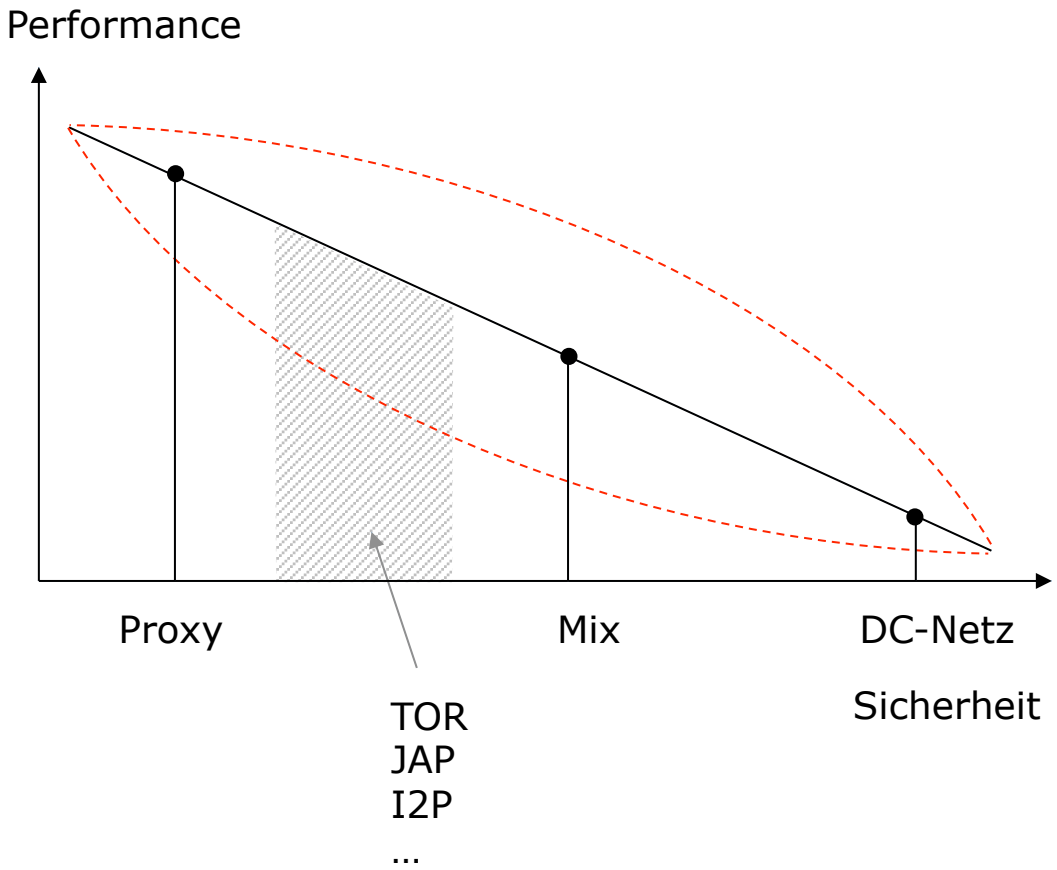
  - Populärste DNS-Anfragen werden vorab per Broadcast übermittelt (perfekte Unbeobachtbarkeit)
  - Andere DNS-Anfragen werden über umkodierende Mixe (inkl. Dummy Traffic!) abgefragt.



Tradeoff zwischen Sicherheit und Performance

- Messbarkeit
  - analytisch
  - simulativ
- Wo liegt das
  - technische
  - normative
  - soziale

  Optimum?
- Welche sinnvollen Kombinationen der Verfahren existieren?



- Ist das überhaupt ein Tradeoff?
  - Wenig Benutzer = geringe Anonymität

Tradeoff zwischen Sicherheit und Performance

- Messbarkeit
  - analytisch
  - simulativ
- Wo liegt das
  - technische
  - normative
  - soziale

  Optimum?
- Welche sinnvollen Kombinationen der Verfahren existieren?
- Ist das überhaupt ein Tradeoff?
  - Wenig Benutzer = geringe Anonymität

http://svs.informatik.uni-hamburg.de/gmix/

Prof. Dr. Hannes Federrath
FB Informatik, AB SVS
Universität Hamburg
Vogt-Kölln-Straße 30
D-22527 Hamburg

E-Mail federrath@informatik.uni-hamburg.de

Telefon +49 40 42883 2358

http://svs.informatik.uni-hamburg.de

Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG