Universität Karlsruhe (TH)
Forschungsuniversität • gegründet 1825

Vorlesung

Datenschutz und Privatheit in vernetzten Informationssystemen

Kapitel 4: Datenschutz im Internet
Teil 2: Verbergen der IP-Adresse

Erik Buchmann
buchmann@ipd.uka.de

Agenda für heute

- Einführung
- Mixe nach Chaum
- JAP
- TOR
- Freenet

Problem: IP-Adresse

- Rechner kommunizieren im Internet über IP-Adressen
- Im Internet kann jeder
  - besuchte Webserver,
  - jeder Router “unterwegs”,
  - der Internet-Zugangsprovider,
  - Dienste wie Proxies, Firewalls, Caches

  ermitteln,
  - dass eine Kommunikation stattgefunden hat,
  - wer die Kommunikationspartner waren,
  - welcher Art diese Kommunikation war, und
  - den Inhalt (unverschlüsselter) Kommunikation.

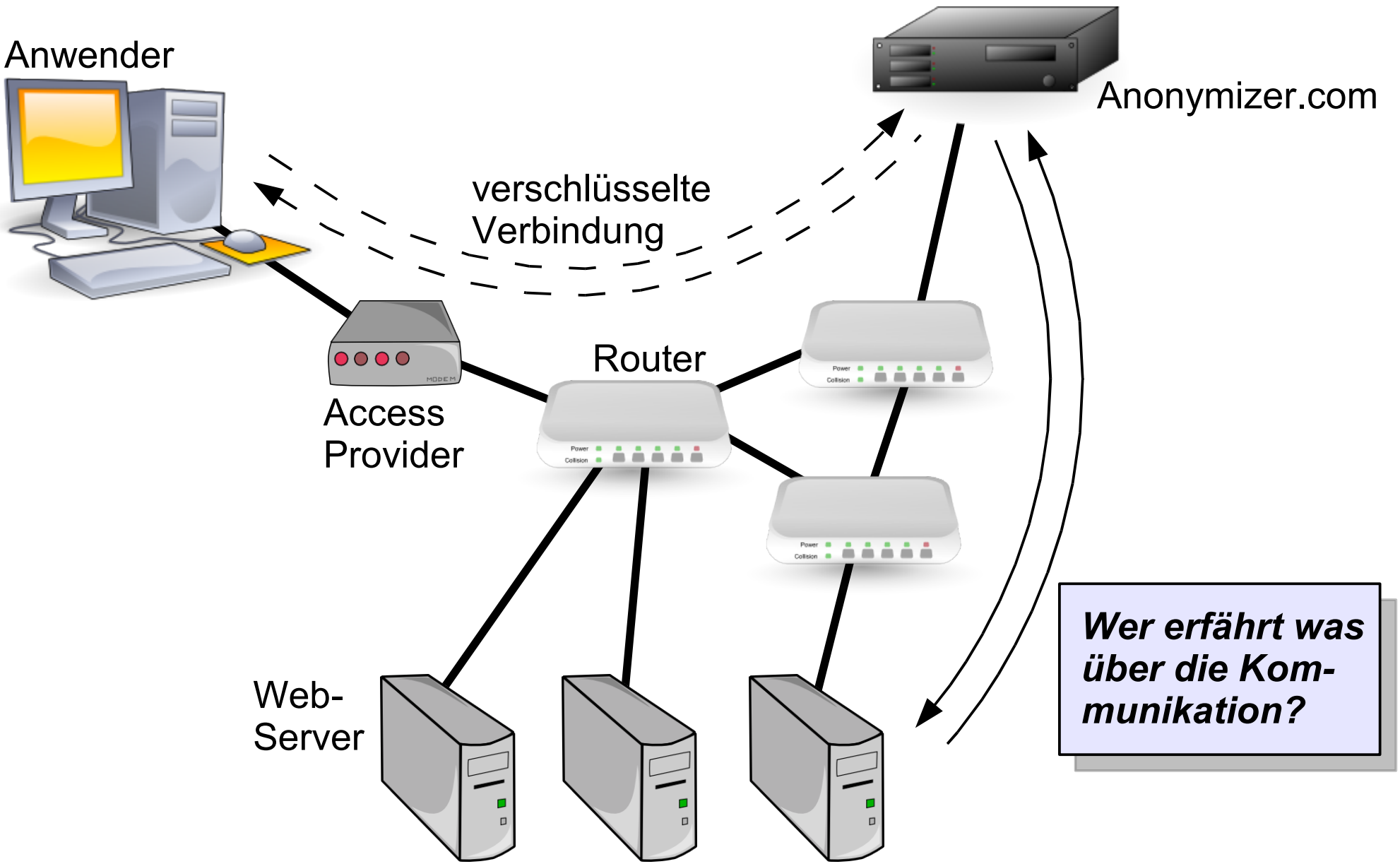
Angreifermodell

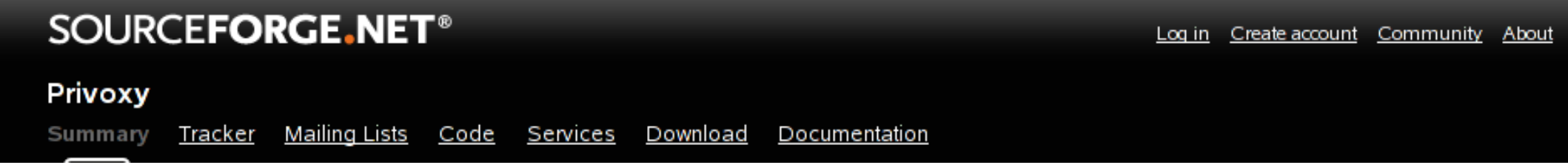
- schwache Angreifer
  - betreibt Webserver, Router, oder Analysedienst (vgl. Web-Bugs)
  - kann Informationen von wenigen ausgewählten Rechnern zusammenführen
- starker Angreifer
  - z.B. Geheimdienst mit starken Ressourcen, Betreiber eines Internet-Backbones
  - kann sehr große Teile der Internet-Kommunikation belauschen

Anonymität bei schwachen Angreifern

- Trusted third Party, z.B. http://www.anonymizer.com
  - leitet eingehende Verbindungen unter der eigenen IP-Adresse weiter
  - löscht Cookies, identifizierende Attribute, Referer etc.

Anonymizer.com





Privoxy

- Privacy-Proxie zum selber-aufsetzen
  - d.h., benötigt einen Rechner, um darauf die Software zu installieren
- Leistet dasselbe wie Anonymizer.com
  - Cookie-Management
  - Filter zum säubern von HTTP-Headern (Referer, Browser-Informationen, etc.)
  - Filter zum entfernen von Web-Bugs, Scripten
- Open Source, http://www.privoxy.org/

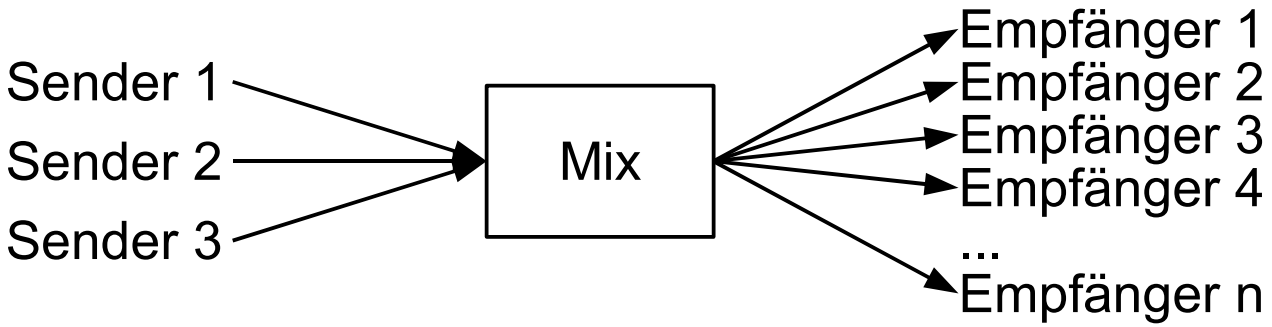
Anonymität bei starken Angreifern

- Es werden gebraucht:
  - starke **Public-Key-Verschlüsselung**
  - möglichst **viele unabhängige Rechner**, welche Nachrichten für den Nutzer weiterleiten
- Idee:
  - Nutzer verbinden sich nicht direkt mit dem Server, sondern über mehrere Zwischenstationen
  - Kommunikation zwischen zwei Stationen erfolgt verschlüsselt
  - Anfragen eines Nutzers werden zwischen den Anfragen anderer Nutzer versteckt
- Ansätze im folgenden: JAP, TOR

Grundlagen: Mixe und Mix-Kaskaden

Mixe

- D. Chaum: *Untraceable Electronic Mail*, Comm. ACM'81
- Mix vermittelt zwischen vielen Sendern und Empfängern



  - verschlüsselte Nachrichten,
  - kryptografische Transformation im Mix,
    Eingabe-Nachricht != Ausgabenachricht
    (nächste Folie)
  - weiterleiten zum Ziel (oder weiterem Mix)
    in zufälliger Reihenfolge (nicht Eingangsreihenfolge!)

Verschlüsselung in Mix-Kaskaden

- Symbole:
  - K öffentlicher Schüssel
  - R Zufallszeichenfolge
  - A Adresse der nächsten Station
- Arbeitsweise eines Mix:
  - Mix n erhält
    $K_n(R_n, K_{n-1}(R_{n-1}, K_{n-2}(R_{n-2} \ldots Msg, A_0 \ldots A_{n-2}), A_{n-1}), A_n)$
  - mit K_n verschlüsselte Nachricht auspacken,
    R_n löschen, Adresse A_n lesen
  - sendet $K_{n-1}(R_{n-1}, K_{n-2}(R_{n-2} \ldots Msg, A_0 \ldots A_{n-2}), A_{n-1})$ an A_n
- Letzter Mix sendet Msg direkt an Adressaten A_0

Entschlüsselung in Mix-Kaskaden

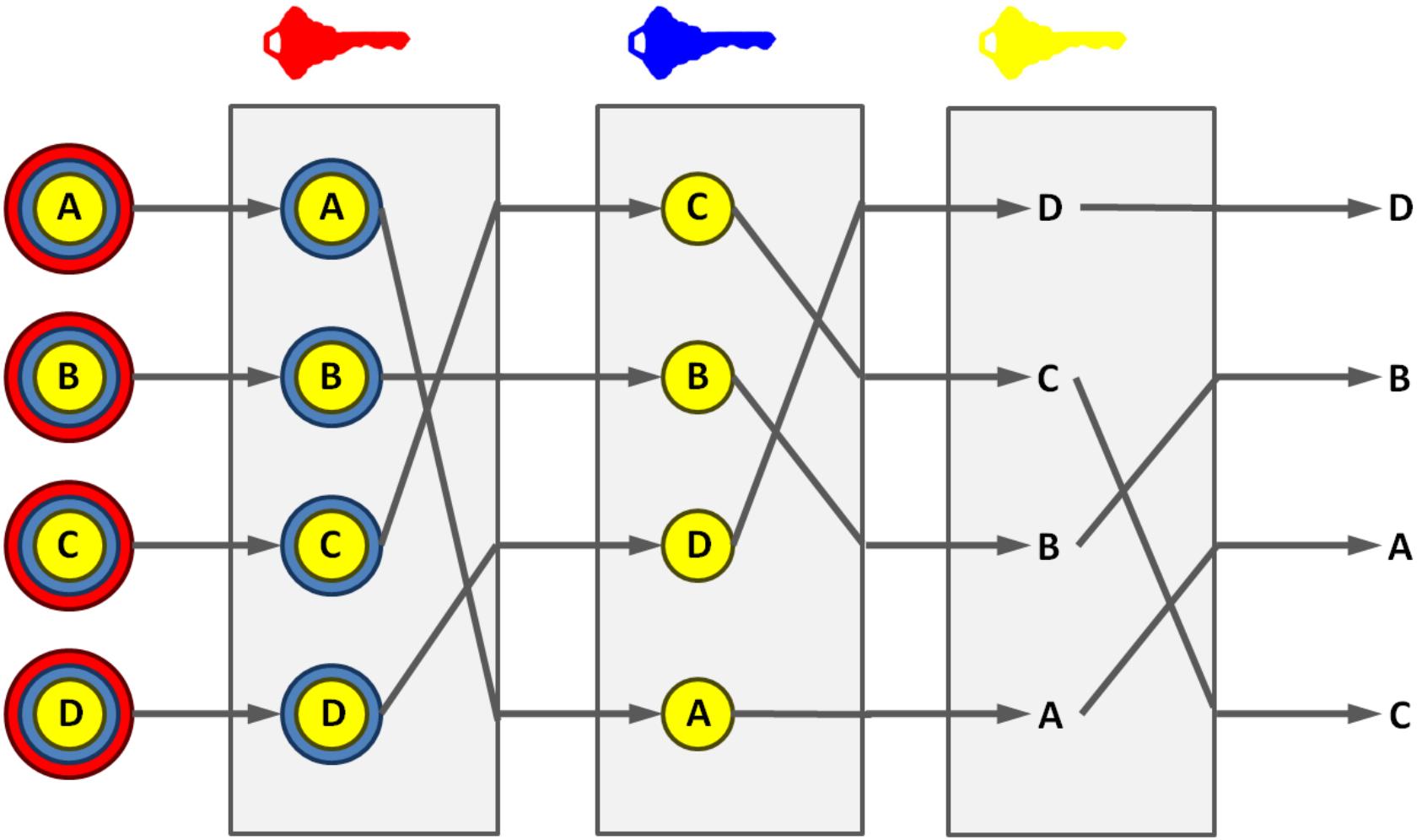


Bild: Wikimedia CC

Was ist mit der Antwort?

- Empfänger soll nicht den Absender feststellen, muss aber trotzdem antworten können
- Prinzip: Adresse für Antwort verschlüsselt mitsenden, R dient jeweils als Schlüssel für die Antwort
  - Absender X, Einmalschlüssel K_X, Empfänger Y Antwortadresse $K_1(R_1, A_X)$, K_X wird mitgesendet
    - Y kann Adresse A_X nicht entschlüsseln, sondern nur der letzte Mix in der Kaskade
  - Mix 1 erhält von Y Antwort $K_1(R_1, A_X)$, $K_X(R_0, Msg)$ und sendet $R_1(K_X(R_0, Msg))$ an A_X
  - Verfahren lässt sich ebenfalls kaskadieren

Fazit

- Nur öffentliche Informationen werden übertragen
  - Absender muss kennen:
    - öffentliche Schlüssel $K_0 ... K_n$ aller Mixe
  - Jeder Mix m kennt
    - eigenen privaten Schlüssel K^{-1}_m

- Aber: einige ungelöste *praktische* Probleme, z.B.
  - Public-Key-Verschlüsselung ist *langsam*
  - statistische Angriffe über die Zahl der ein- und ausgehenden Pakete je Mix
  - Replay-Angriffe (Wiedereinspielen von gültigen Paketen)

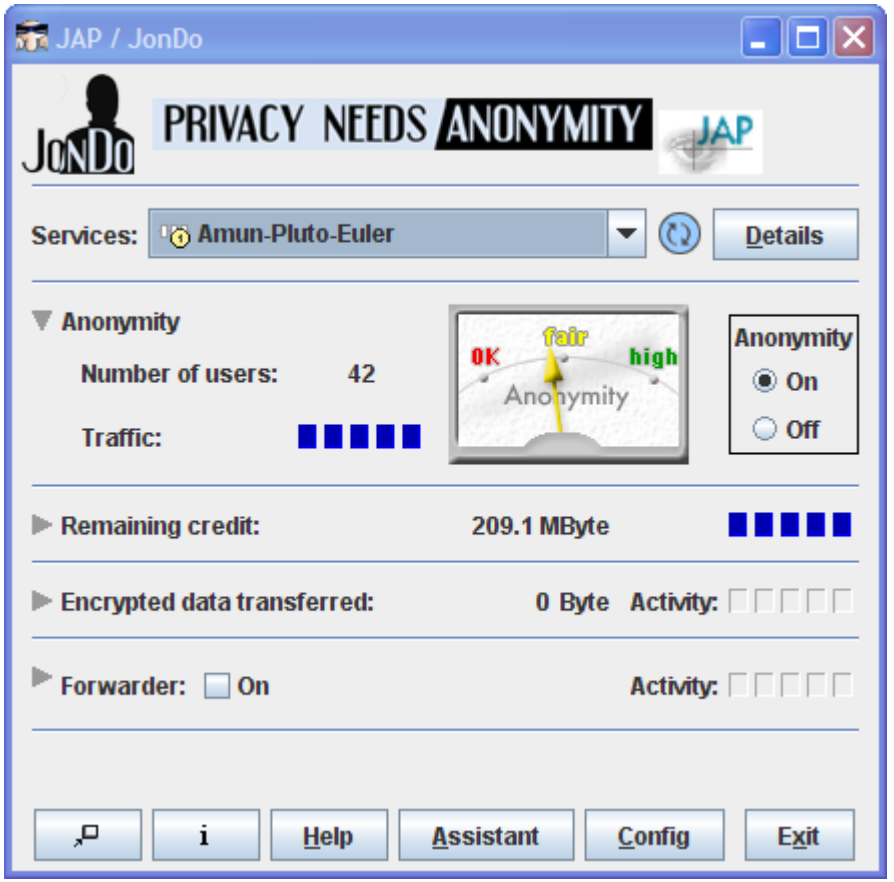
Verschleierung der IP-Adresse mit JAP

JAP Anon Proxy

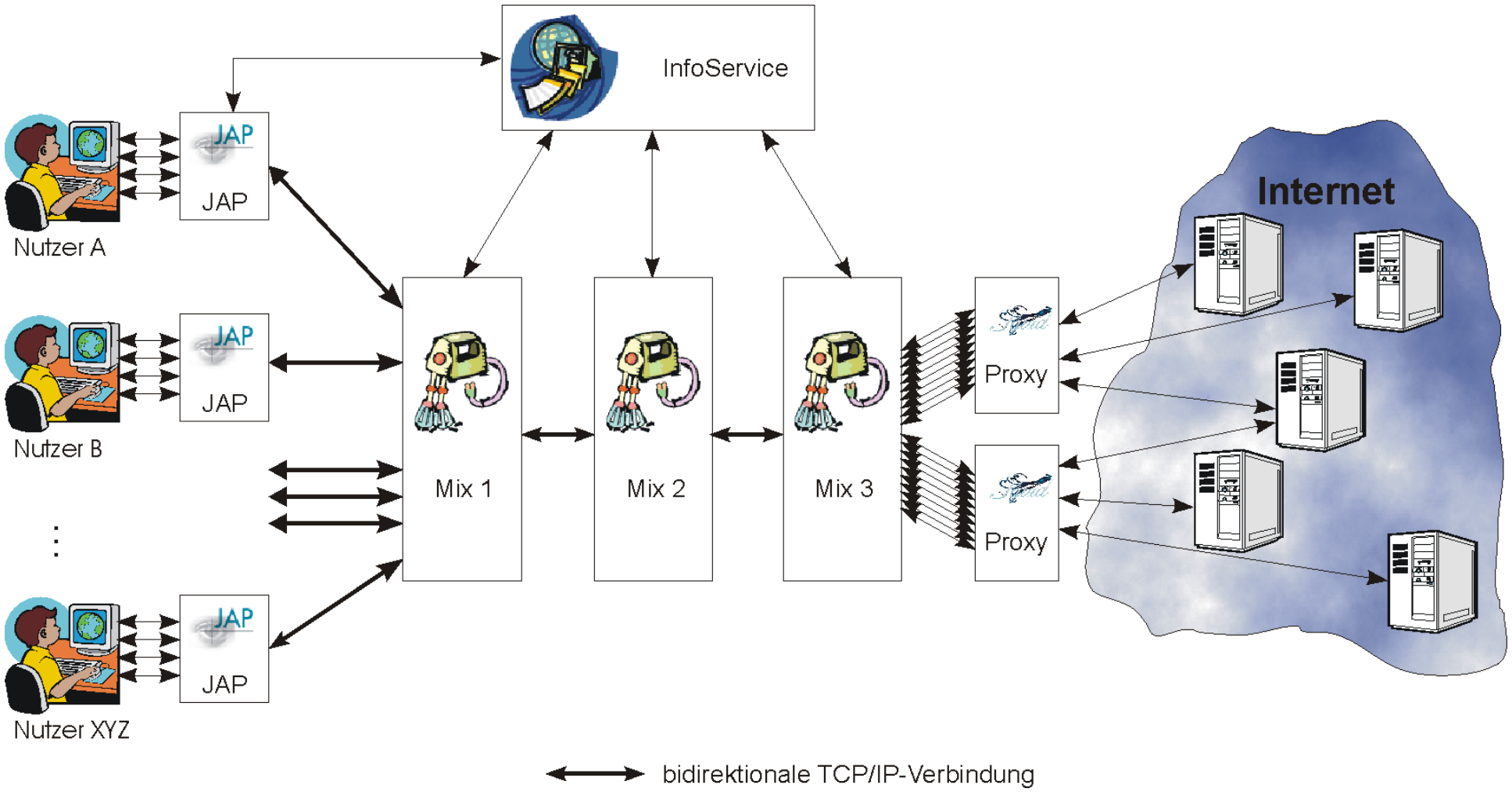
- Entwickelt seit 2000 vom AN.ON-Projekt
  - Uni Regensburg, TU Dresden, gefördert mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
  - http://anon.inf.tu-dresden.de
- Ziele:
  - Senderanonymität beim Abruf von Webseiten *(Anm.: Unterschied zu TOR o.ä., welche die gesamte Internet-Kommunikation verschlüsseln können)*
  - Einfache Benutzbarkeit; leichte Installation, Konfiguration und Bedienung
  - Dienstgüte; sowohl bzgl. Netzparametern (Durchsatz, Latenzzeit etc.) als auch Sicherheit (Anonymität)

JAP Anon Proxy

- Im Gegensatz zu Chaum **feste Kanäle** mit **symmetrischer Verschlüsselung**
  → Problem mit der Rücksendeadresse entfällt, symm. Verschlüsselung ist effizienter als Public-Key
- grafische Client-Komponente
  - Proxy im Webbrowser
- Zusätzlich: Info-Service informiert über Schlüssel und aktive Mixe



Architektur von JAP

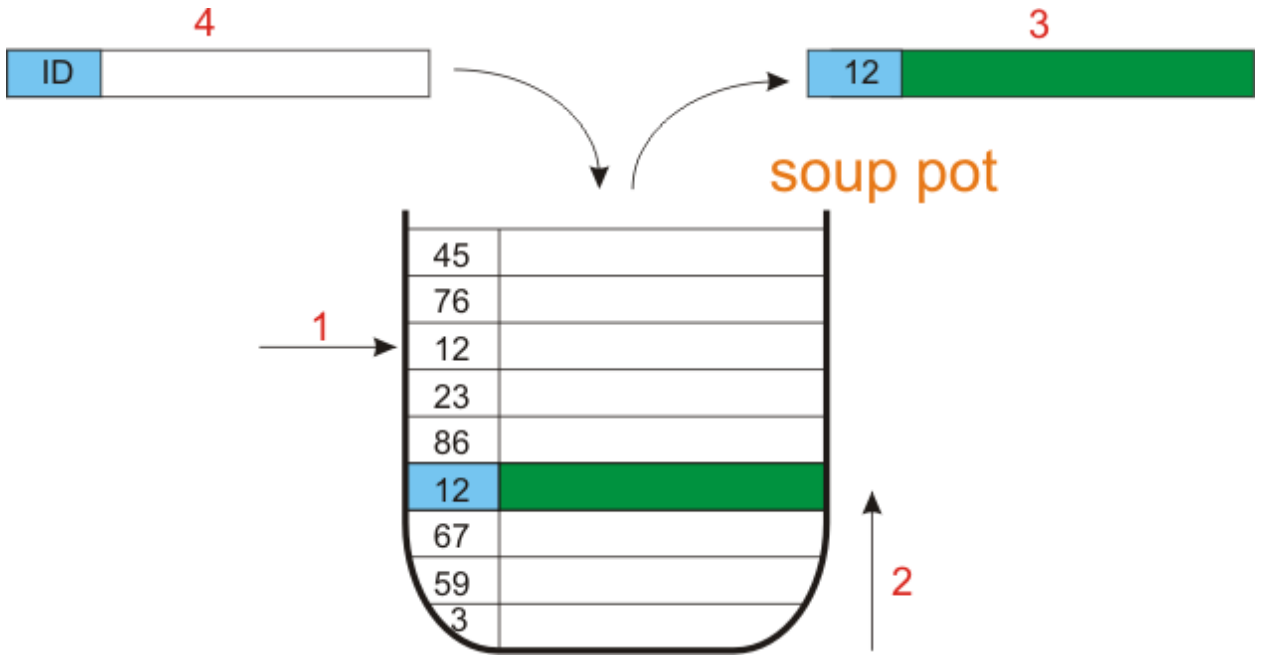


Quelle: S. Köpsell, http://anon.inf.tu-dresden.de

Mix-Kanäle

- Statische Verbindung zwischen zwei Kommunikationsendpunkten über mehrere Mixe hinweg
  - Verbindungsorientierter Vollduplex-Betrieb *(Gegensatz zu paketorientiert bei Chaum)*
  - vom Sender einer Nachricht initiiert
- Sicherheitsfeatures
  - Datenstrom wird auf mehrere MIX-Pakte aufgeteilt, die alle gleich groß sind (auffüllen mit Zufallszahlen)
  - Zufällige Pakete an beliebige Empfänger, um Zuordnung zu verhindern
  - Symmetrische Verschlüsselung; (langsame) Public-Key-Verschlüsselung für Aushandeln der Public-Key-Schlüssel

Umsortieren von Paketen: Mix-Pool

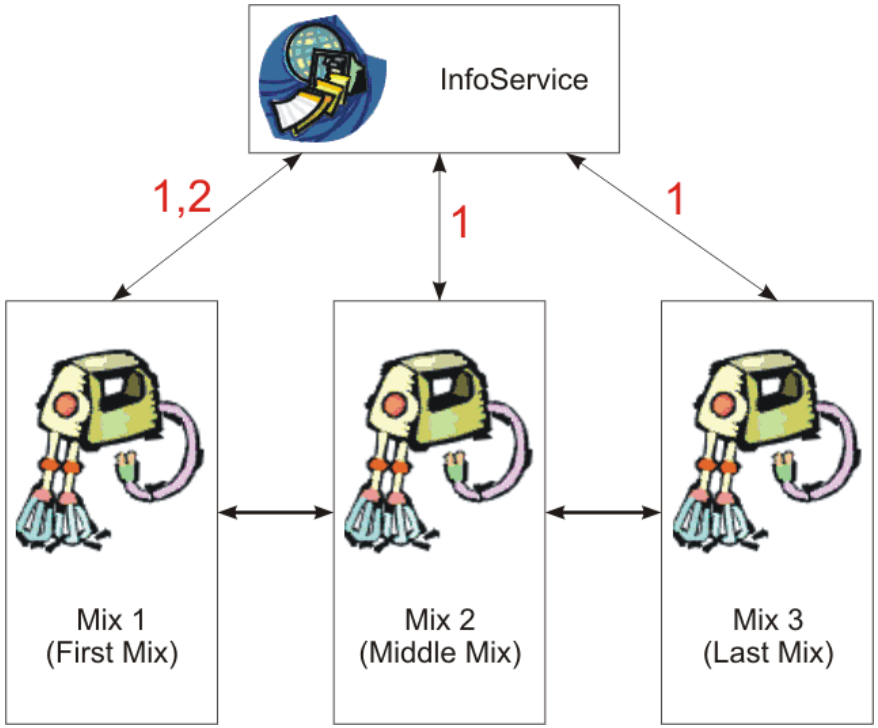


- Eintreffen eines MixPaketes:
  1. Zufällige Auswahl eines MixPaketes (hat *Kanal-ID*)
  2. Suchen nach dem ältesten MixPaket mit *Kanal-ID* im Pool
  3. Ausgabe des MixPaketes
  4. Hinzufügen des empfangenen MixPaketes

Quelle: S. Köpsell, http://anon.inf.tu-dresden.de

Kommunikation mit dem Info-Service (1/2)

1. jeder Mix sendet Informationen über sich alle 10 Minuten an den InfoService (Name, Betreiber, Standort etc.)
2. erster Mix einer Kaskade sendet Statusinformationen (Benutzer, gemixte Pakete) jede Minute an InfoService

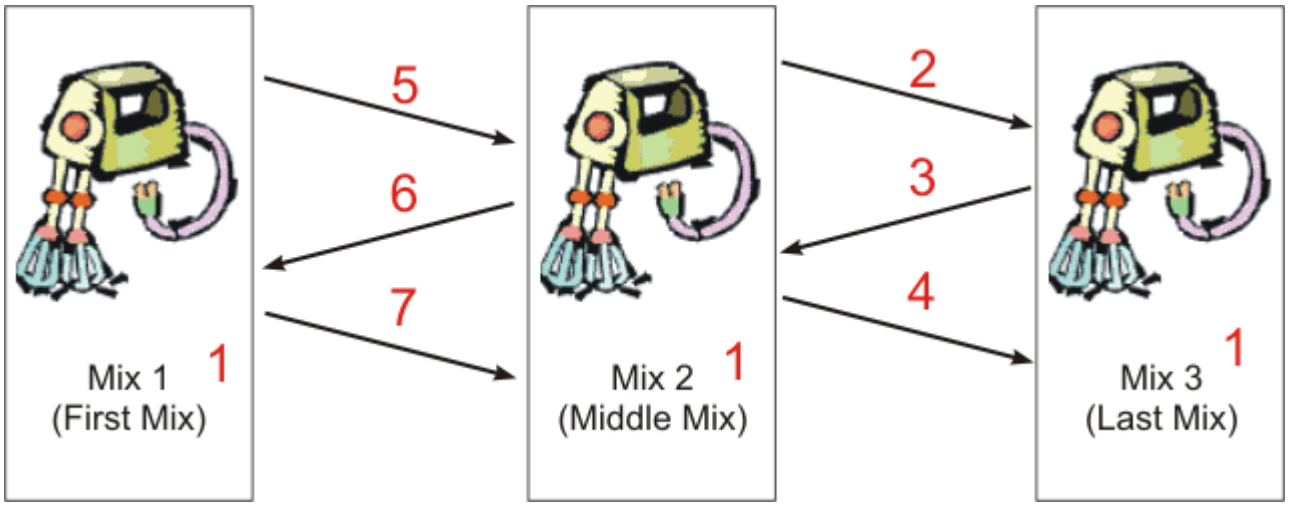


Quelle: S. Köpsell, http://anon.inf.tu-dresden.de

Kommunikation mit dem Info-Service (2/2)

- Infoservice informiert über
  - Status-Daten zum Mix
  - Mix-Betreiber
  - aufgebaute Mix-Kaskaden
- Dient als Verzeichnis:
  - Auslieferung der JAP-Software
  - Verzeichnis der aktiven Mixe
  - Verzeichnis der öffentlichen Schlüssel
- JAP funktioniert generell aber auch ohne
  - jedenfalls sofern der Nutzer selbst Adresse und Schlüssel vom ersten Mix in einer Kaskade kennt

Starten einer Mix-Kaskade



1. Mix wird gestartet
2. Mix 2 verbindet sich zu Mix 3
3. Mix 3 sendet öffentlichen Schlüssel
4. Mix 2 sendet symmetrischen Schlüssel (verschlüsselt und signiert)
5. Mix 1 verbindet sich zu Mix 2
6. Mix 2 sendet seinen öffentlichen Schlüssel (signiert von Mix2) und den von Mix 3 (signiert von Mix 3)
7. Mix 1 sendet symmetrischen Schlüssel (verschlüsselt und signiert)

Quelle: S. Köpsell, http://anon.inf.tu-dresden.de

Verbindungsaufnahme mit einer Kaskade

1. Client etabliert TCP/IP-Verbindung zum ersten Mix einer Kaskade
2. Mix sendet signierte Liste mit je einem Eintrag pro Mix der Kaskade an Client:
   - XML Struktur, jeder Eintrag enthält:
     - öffentlichen RSA Schlüssel des Mixes
     - ID des Mixes
     - Signatur geleistet von Mix
3. Client sendet symmetrischen Schlüssel für Verbindung JAP ↔ erstem Mix der Kaskade an Mix (verschlüsselt mit öffentlichem Schlüssel des Mix)
4. Verbindung kann benutzt werden

Die JAP-Mixe

- Wenigstens 3 Mixe für JAP notwendig
- Daten vom 17.5.2010, 11 Uhr morgens:

Name	Nutzer	Verkehr	Pakete
Dresden-Dresden	2304	55 (normal)	803,592,373
Fondue-Uranus-SecureInternet7	31	18 (wenig)	28,774,278
Koelsch-Behrens-SecureInternet	60	22 (wenig)	58,264,904
Grolsch-Benda-SecureInternet3	44	100 (hoch)	71,154,629
SurfSky-SpeedPartner-PPartei	44	27 (wenig)	47,511,309
SpeedPartner-ULD	1181	63 (hoch)	113,378,188
New Mix Protocol (JAP00.10.070)	1040	55 (normal)	408,820,104
Zeitwort-Speedpartner-GalaxyConsult	28	100 (hoch)	2,663,438
Euklid-Rose-ExarKun	30	100 (hoch)	4,447,211
Locke-Goose-SecureInternet4	48	100 (hoch)	36,622,868

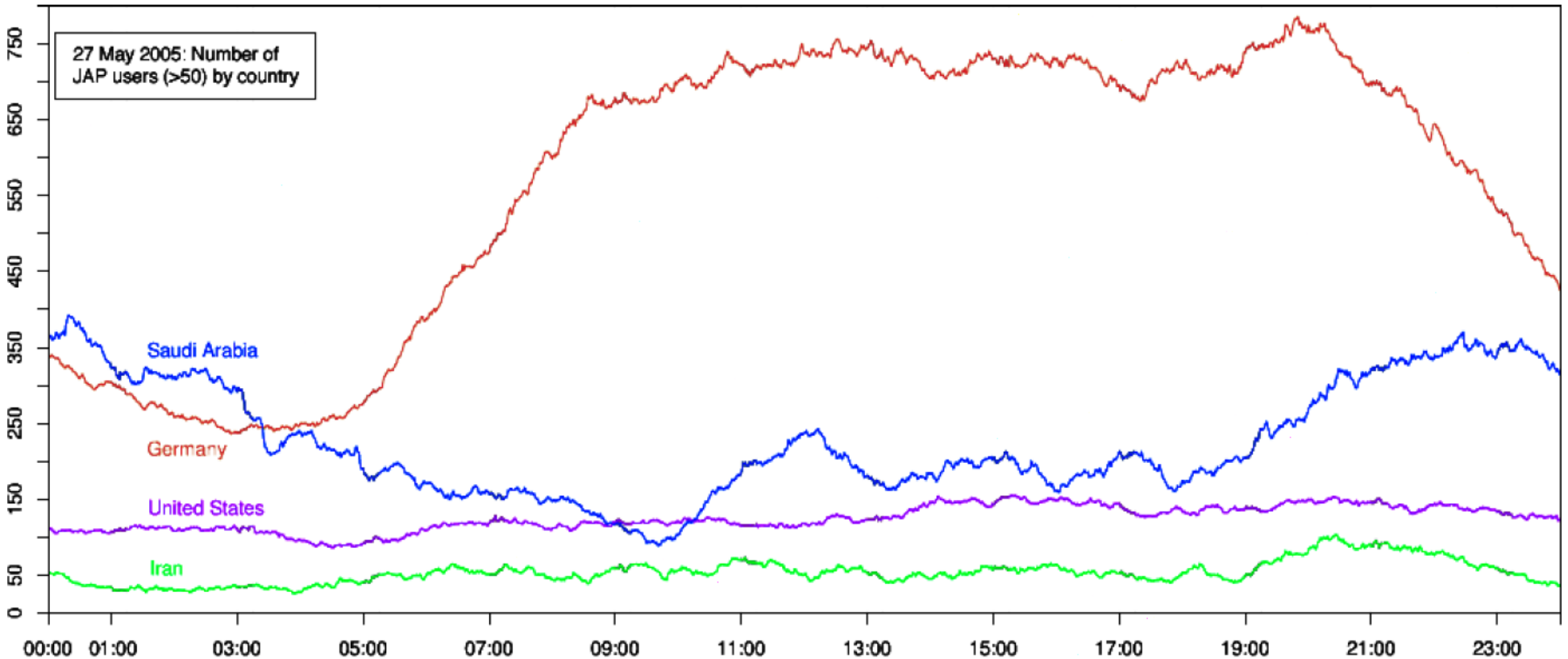
Mix-Betreiber

- Mix-Betreiber gibt eine Selbstverpflichtung ab
  - keine Logfiles über die in JAP transportierten Verbindungen speichern
    (Anm.: aber Logfiles für eigene Verbindungen, vgl. Vorratsdatenspeicherung)
  - kein Datenaustausch mit anderen Mix-Betreibern

- Solange nicht alle Betreiber einer Mix-Kaskade miteinander kooperieren, ist Anonymität sichergestellt
  - jedenfalls wenn der Benutzer keine Fehler macht

Wer sind die Nutzer von JAP?

- Europa 60%
  Asien 27%
  USA 12%
  Rest 1%



Quelle: http://anon.inf.tu-dresden.de

Und wie verhalten sie sich?

- Anfragen von Strafverfolgern und Privatpersonen zwecks Rückverfolgung einer IP-Adresse

Jahr	Anfragen gesamt	Anfragen von Strafverfolgungs-behörden	Anfragen von Privatpersonen	
2001	13	7	6	Projektstart
2002	40	15	25	
2003	58	21	37	
2004	61	38	23	
2005	42	27	15	
2006	7	4	3	Bis 31. März 2006

Quelle: https://www.datenschutzzentrum.de/projekte/anon

Grenzen des Ansatzes

- Verschleiert nur die IP-Adresse
  - Cookies, Identifizierung durch Quasi-Identifier in Suchmaschinen- oder Formulardaten möglich
    - Aufmerksamkeit, Kenntnisse vom Nutzer gefordert
- Statische Kaskaden
  - Wenn Angreifer errät, welche Kaskade eine Zielperson nutzt, genügt der Angriff von 3 Rechnern
- Beschränkt auf Webseiten-Zugriff
  - allerdings eher aus Performanz-Gründen; kein Problem des Konzepts
- Performanz, Verfügbarkeit
  - Mix-Server einer Kaskade sind Single Point of Failure und Bottleneck für viele Nutzer

Vorratsdatenspeicherung und JAP

- 01.01.2009: Vorratsdatenspeicherung (§113a TKG)
  - Speicherung von Verkehrsdaten (nicht: Inhalte)
- Umgesetzt in JAP
  - der erste Mix speichert IP-Adresse, Zeit, Kanalnummer zum nächsten Mix
  - mittlere Mixe speichern eingehende und ausgehende Kanalnummern, Zeit
  - ausgehende Mixe speichern die eingehende Kanalnummer, Zeit, Portadresse im Internet
- Nicht gespeichert: URL, IP des kontaktierten Servers
  → *Behörden müssten Daten von Webserver und allen Mixen einer Kaskade kombinieren; es genügt ein Mix im Ausland*

Verschleierung der IP-Adresse mit TOR

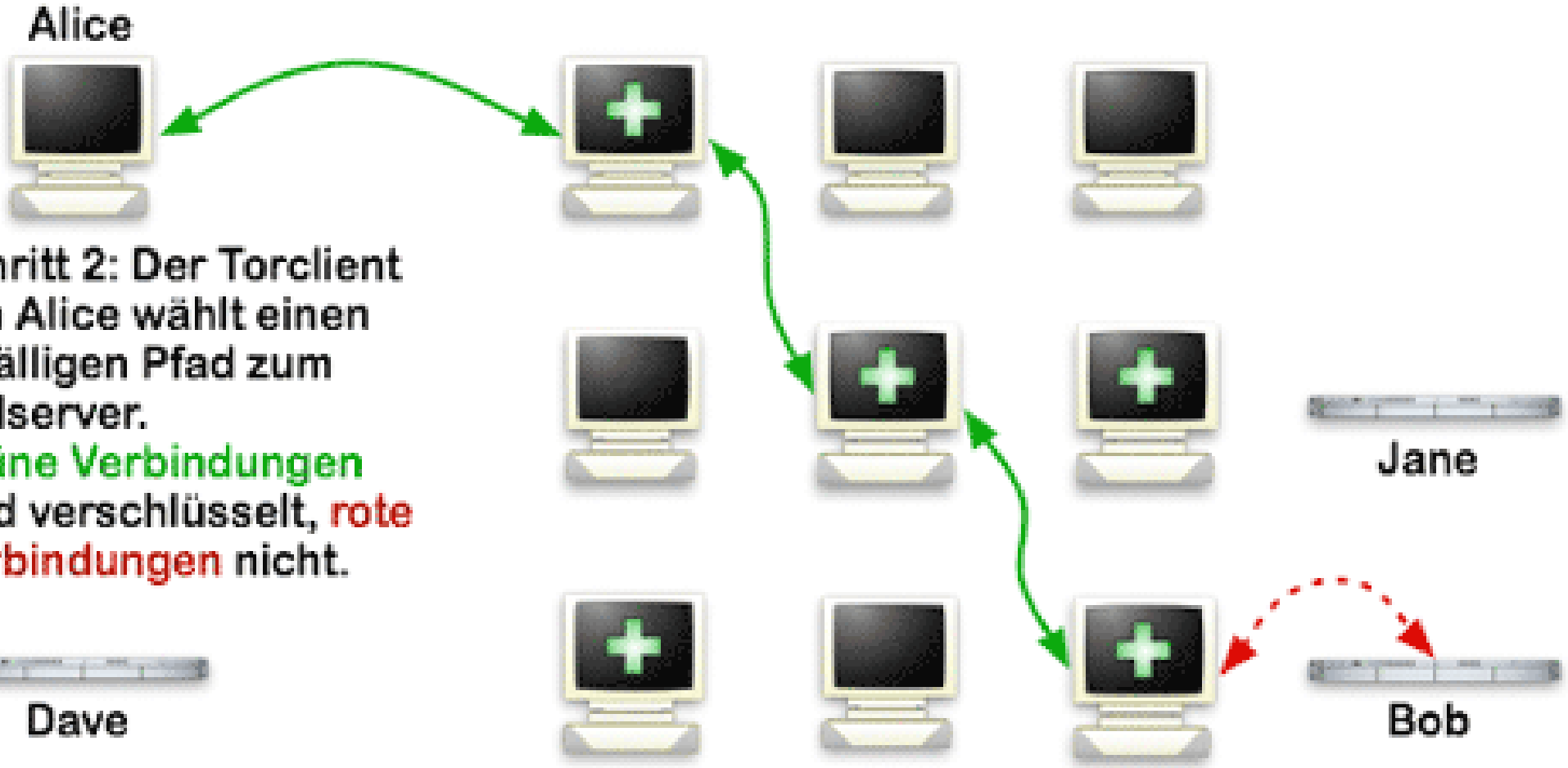
TOR

- Projekt der Electronic Frontier Foundation, entwickelt etwa ab 2004
- Im Vergleich zu JAP modernerer Ansatz
  - *Onion-Routing* (nichts anderes als das Mix-Modell)
  - Hidden Services: Anonyme Serveradressen!
  - Unterstützt beliebige TCP-basierte Protokolle
    - http, P2P-Protokolle oder ICQ
  - Zufällige Verbindungen für jede Netzwerkverbindung
    - d.h. Kanal wird neu gewählt, sobald Server die Verbindung schließt.
    - von der Browserimplementierung abhängig, ggf. wird jedes Bild und jede HTML-Seite scheinbar von anderem Rechner angefordert
    - keine statischen Mix-Kaskaden

Wie Tor funktioniert: 1

Quelle: http://www.torproject.org

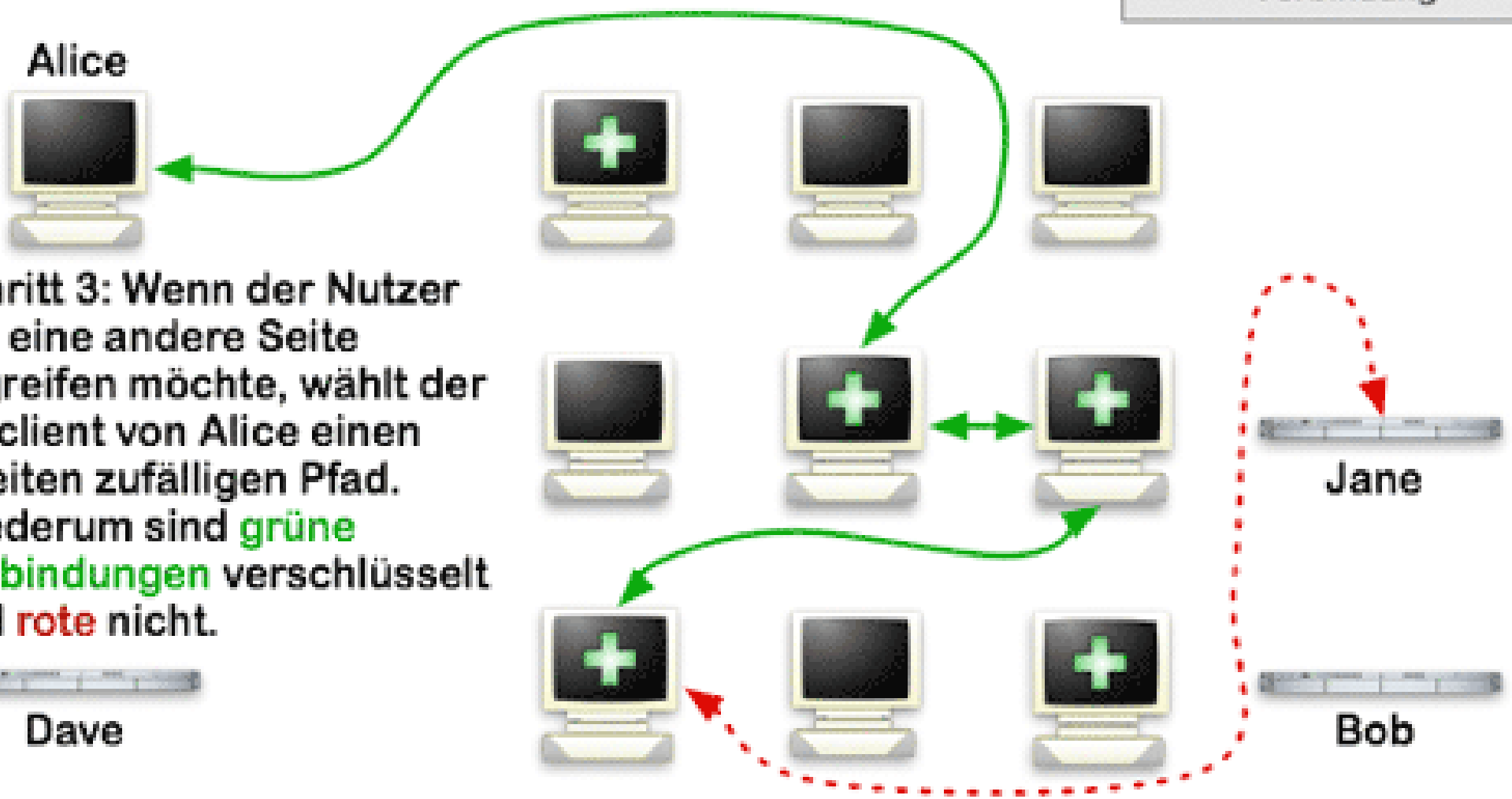
Wie Tor funktioniert: 2



Schritt 2: Der Torclient von Alice wählt einen zufälligen Pfad zum Zielserver.
Grüne Verbindungen sind verschlüsselt, rote Verbindungen nicht.

Quelle: http://www.torproject.org

Wie Tor funktioniert: 3

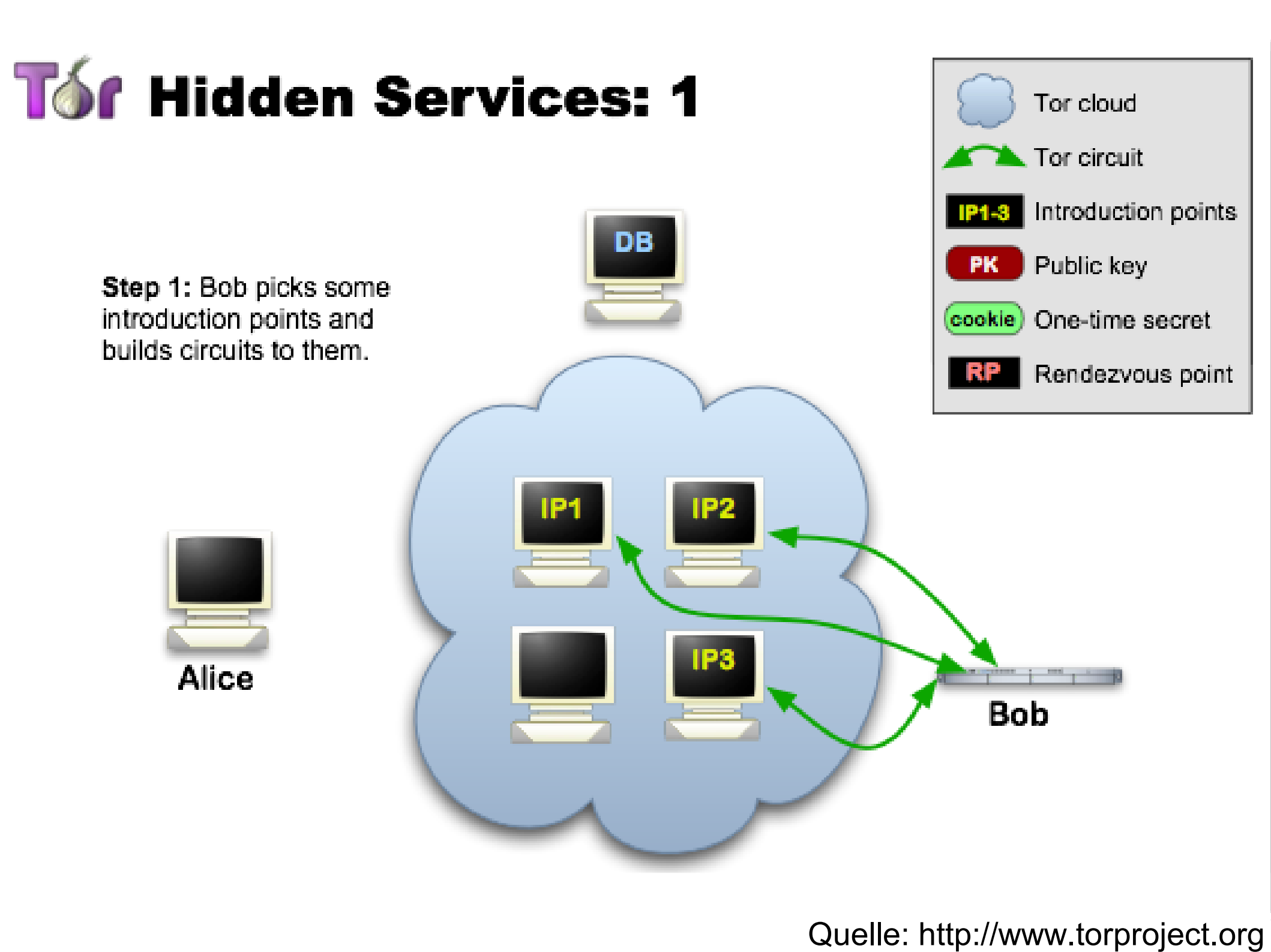


Quelle: http://www.torproject.org

Hidden Services

- Idee: Server (z.B. Blogs, News etc.) anbieten, ohne die eigene Identität preiszugeben
  - herkömmliches WWW: whois-Anfrage verrät Betreiber
- Funktionsweise:
  - einige TOR-Knoten als Introduction Points, die Verbindungen zum Server herstellen
    - TOR-Knoten kennen IP-Adresse vom Server nicht, da über TOR verborgen
  - Descriptor auf Verzeichnisserver, der Public Keys und Introduction Points enthält
  - über Descriptor können TOR-Nutzer anonyme Verbindung zum Server aufbauen

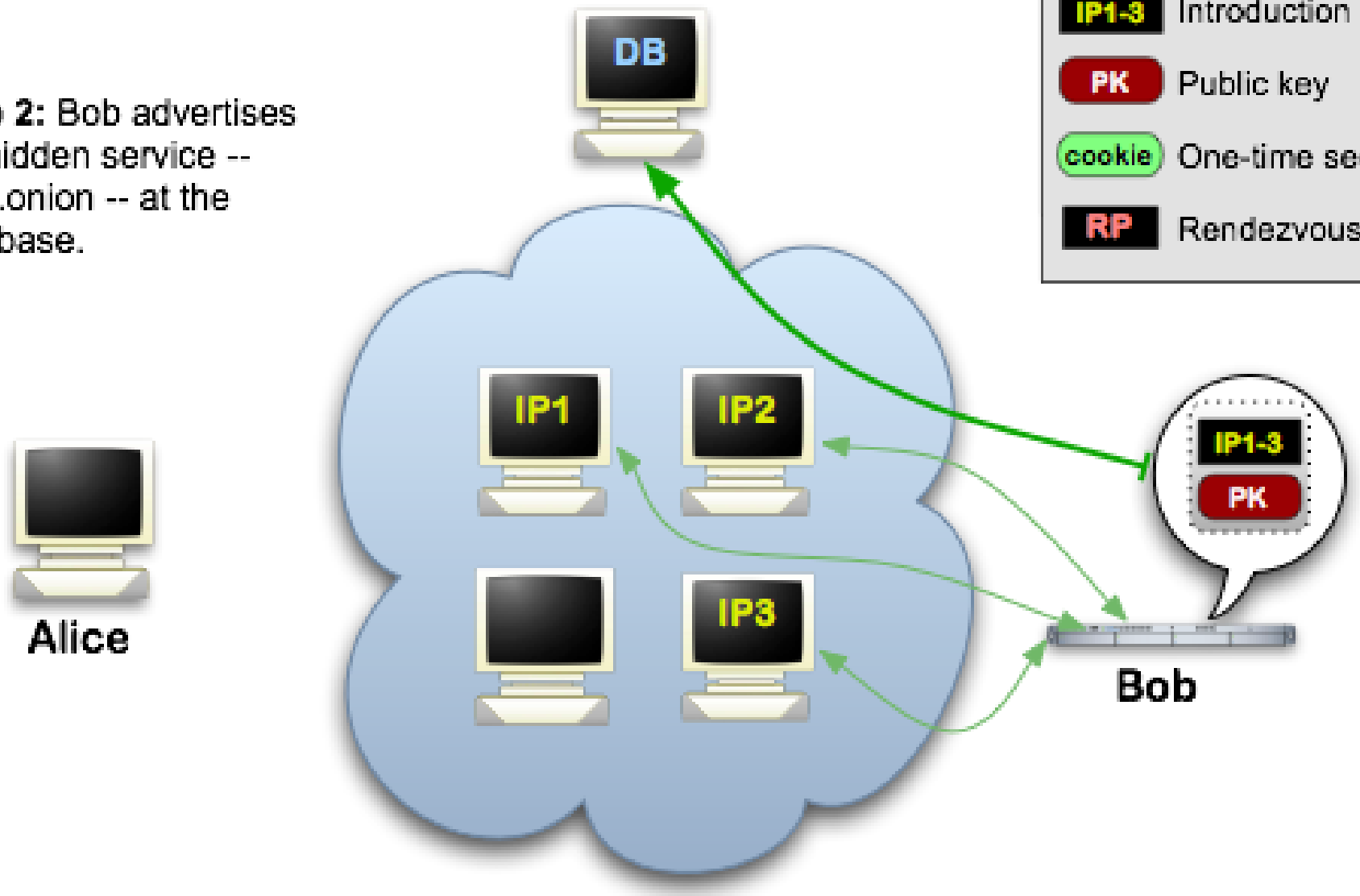
Hidden Services: 1



Quelle: http://www.torproject.org

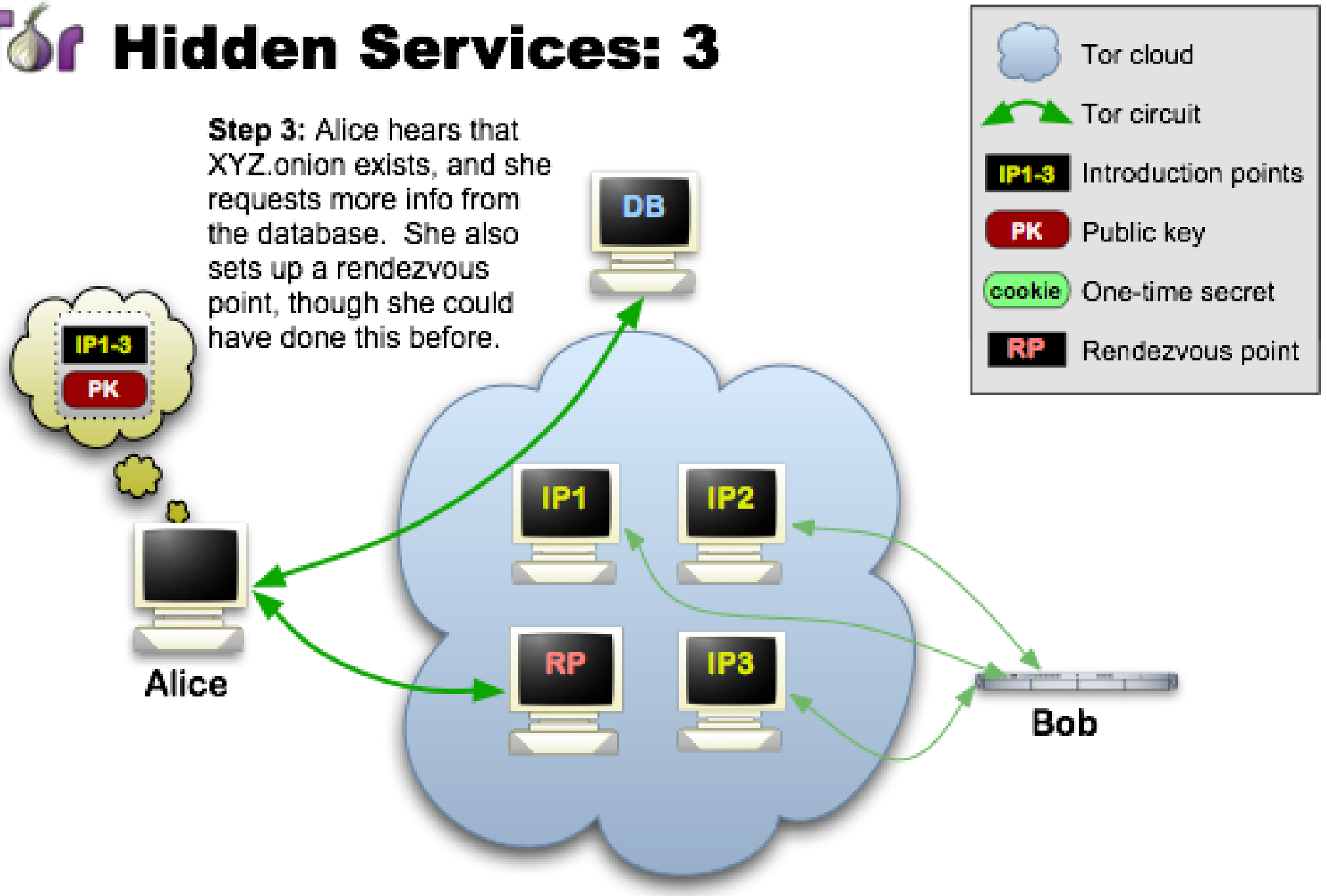
Hidden Services: 2

Step 2: Bob advertises his hidden service -- XYZ.onion -- at the database.



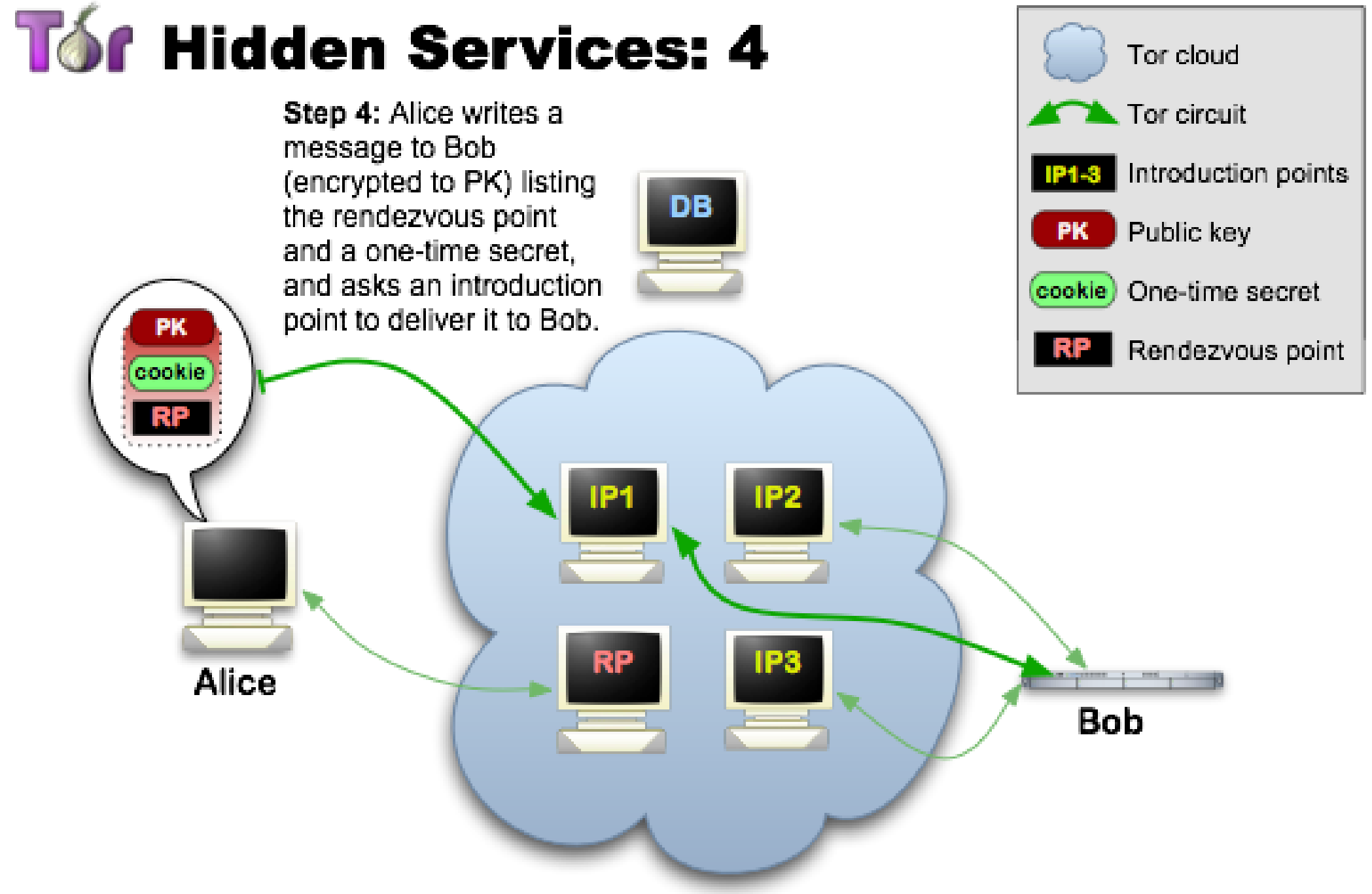
Quelle: http://www.torproject.org

Tor Hidden Services: 3



Quelle: http://www.torproject.org

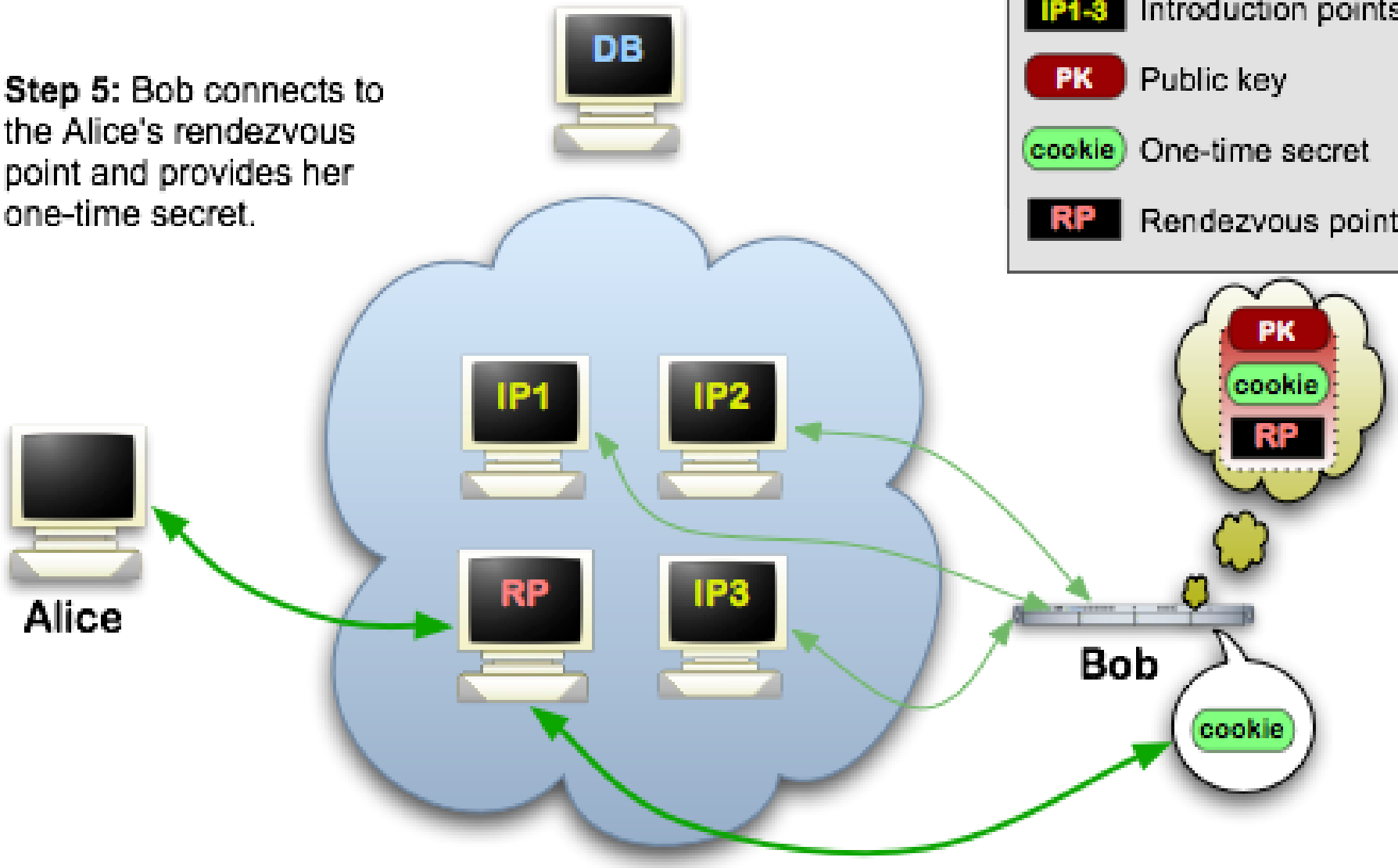
Tor Hidden Services: 4



Quelle: http://www.torproject.org

Hidden Services: 5

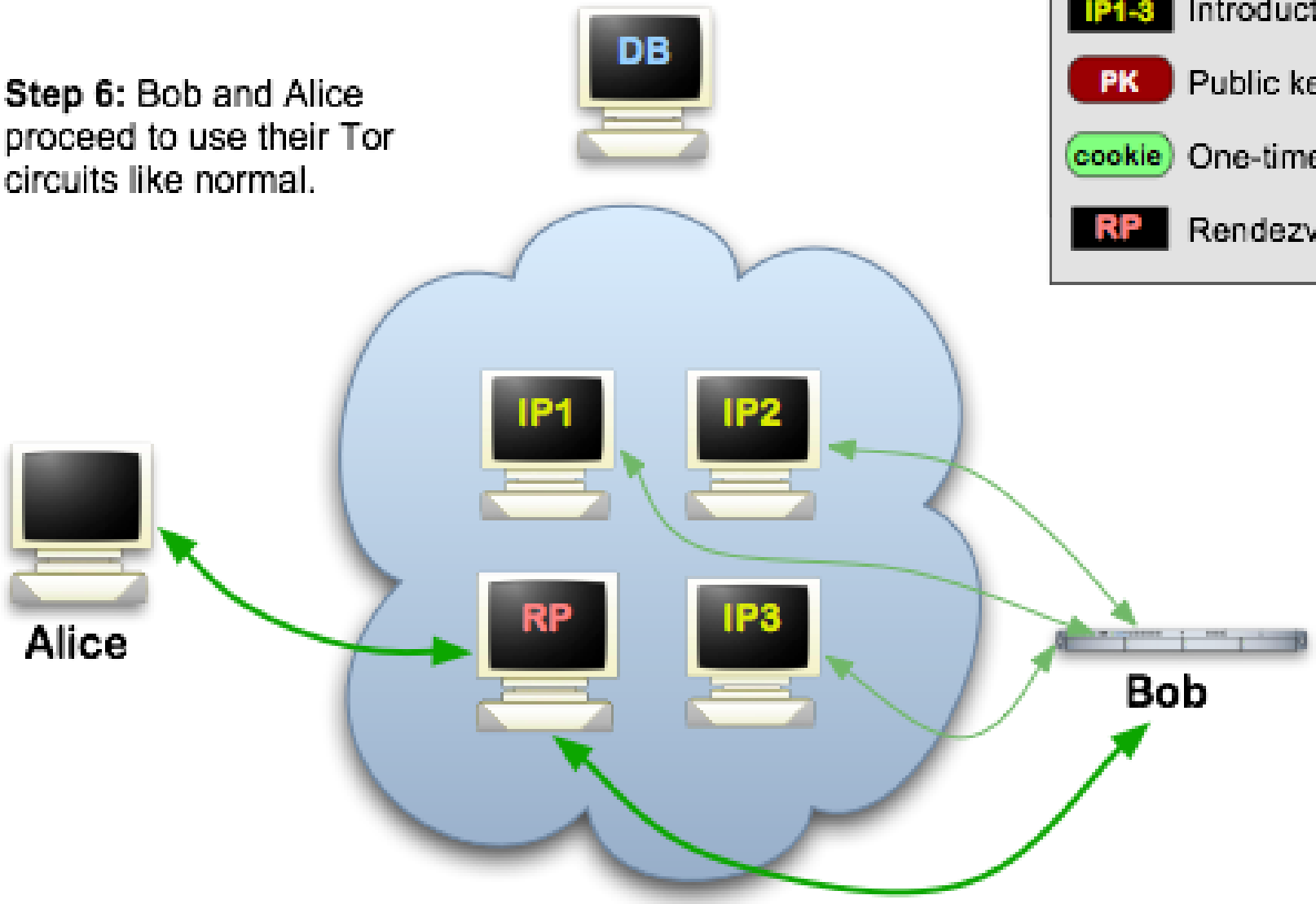
Step 5: Bob connects to the Alice's rendezvous point and provides her one-time secret.

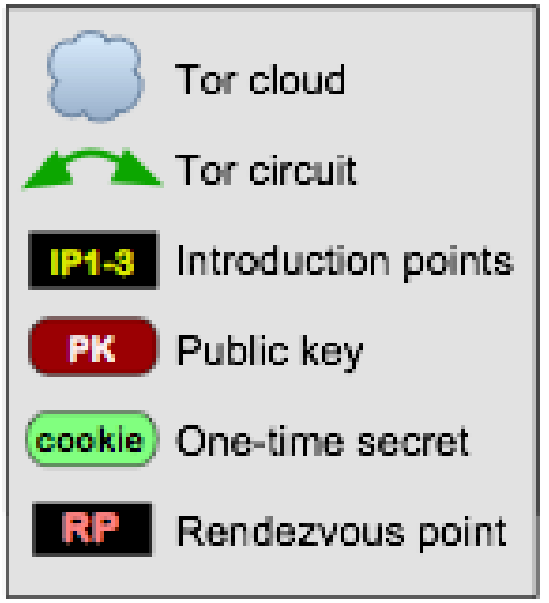


Quelle: http://www.torproject.org

Hidden Services: 6

Step 6: Bob and Alice proceed to use their Tor circuits like normal.





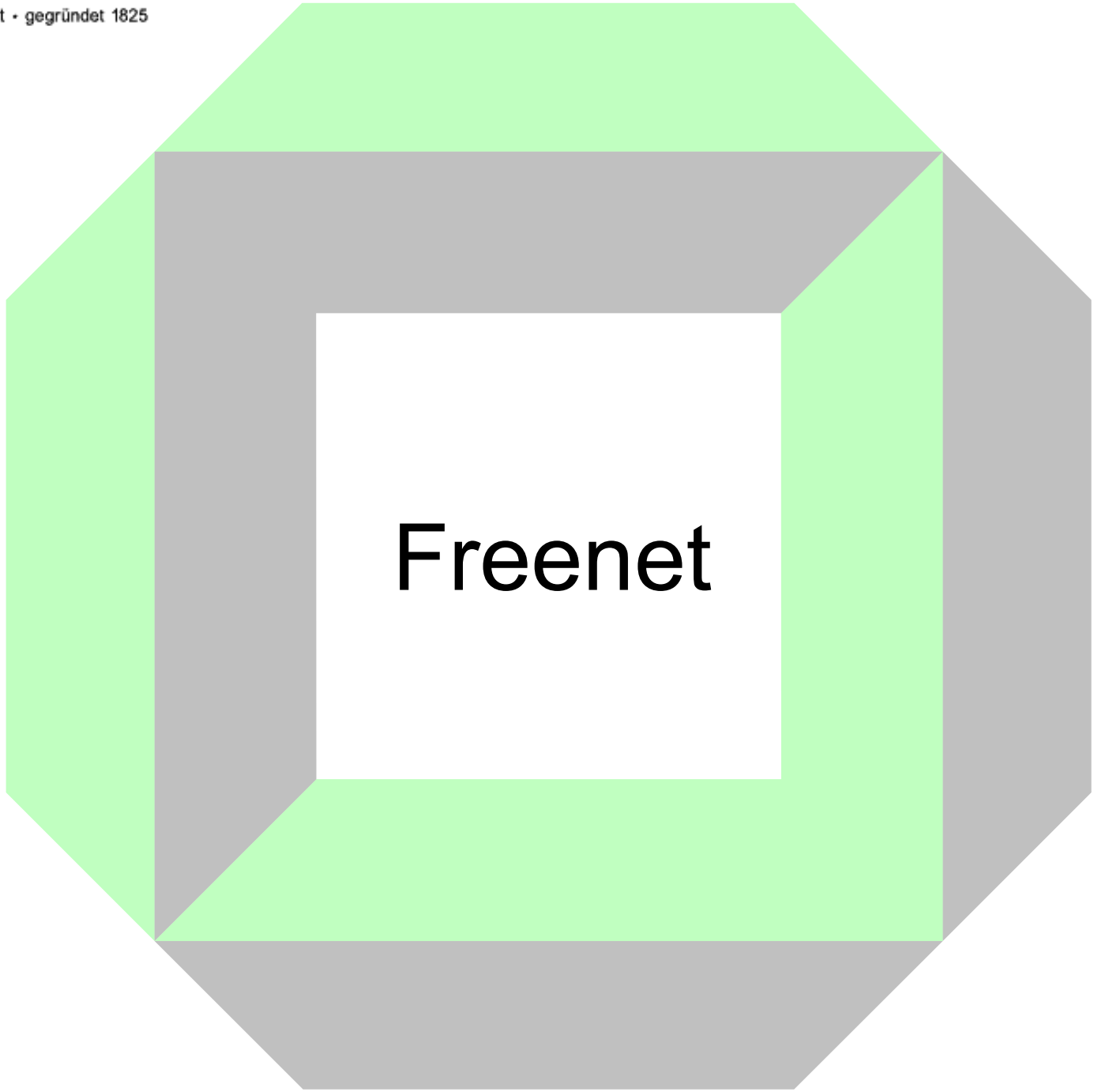
Quelle: http://www.torproject.org

Zahlen zu TOR

- Zahlen von 2007, Quelle: http://www.heise.de
  - ca. 700 TOR-Knoten, welche die Verschlüsselung und den Weitertransport übernehmen
  - ca. 250 Exit-Knoten mit mehr als 20kB/s, die Daten ins Internet weiterleiten
  - Performanz bei DSL (1024kBit/s Downstream)
    - ohne TOR: Downloadgeschwindigkeit 112kB/s
    - mit TOR: Downloadgeschwindigkeit 15kB/s

Grenzen des Ansatzes

- Ebenso wie bei JAP:
  - Datenspuren auf verschiedenen 'logischen Ebenen'; IP-Adresse ist nicht alles
    - Web-Bugs, Cookies, Scripte etc. können den Nutzer identifizieren
- einige praktische Probleme
  - einschleusen von TOR-Knoten mit sehr vielen freien Ressourcen (oder Manipulation dieser Angaben), diese werden vom Netz bevorzugt genutzt
    - durch Kontrolle weniger Rechner große Teile des Verkehrs *vollständig* belauschen
  - TCP-Zeitstempel werden von jedem Betriebssystem anders gesetzt, hängen von der Rechnerhardware ab
    - statistische Angriffe möglich

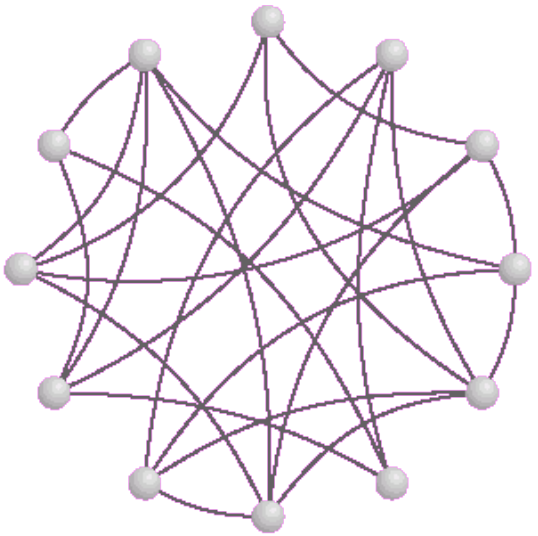

Freenet

Freenet

- Ziel: **anonymer Datenaustausch, Zensurresistenz**
  - TOR Hidden Services: es existiert immernoch ein Server im Netz, der Daten speichert und einer Person zugeordnet ist
  - Freenet: *Abstreitbarkeit* für Informationsanbieter
    - Daten anonym und verteilt speichern, Peer-to-Peer Ansatz
    - keine Quelle, die man vom Netz nehmen könnte → Löschung und Zensur unmöglich
- entwickelt seit 2000, Open Source http://freenetproject.org
- *seit 2008 "Darknet" Feature, direkte Kommunikation nur mit vertrauenswürdigen Knoten*

Das Peer-to-Peer Modell

- viele *unabhängige* Knoten
- jeder Knoten kennt einige ausgewählte (strukturierte P2P-Systeme) oder zufällige (unstrukturierte Systeme) andere Knoten
  - lokales, unvollst. Wissen über Netzwerktopologie
- jeder Knoten leitet Nachrichten an einen anderen weiter, der in der Netzwerktopologie näher am Ziel ist
  - Small-World-Eigenschaft
    (vgl. Milgram-Experiment '69
    6 degrees of separation)



Freenet-Architektur

- Jeder Knoten speichert
  - Daten
  - Routing-Tabelle mit ausgewählten Knoten
    - IP-Adresse und gespeicherte Daten des Knotens
- Daten werden über ortsunabhängige Schlüssel referenziert
  - Daten dürfen zwischen den Knoten “umziehen”
- Anfragen nach diesen Schlüsseln werden über Ketten von Freenet-Knoten weitergeleitet
  - Verschlüsselung zwischen den Knoten
  - Routing-Topologie lernt über die Zeit

Referenzierung über Schlüssel

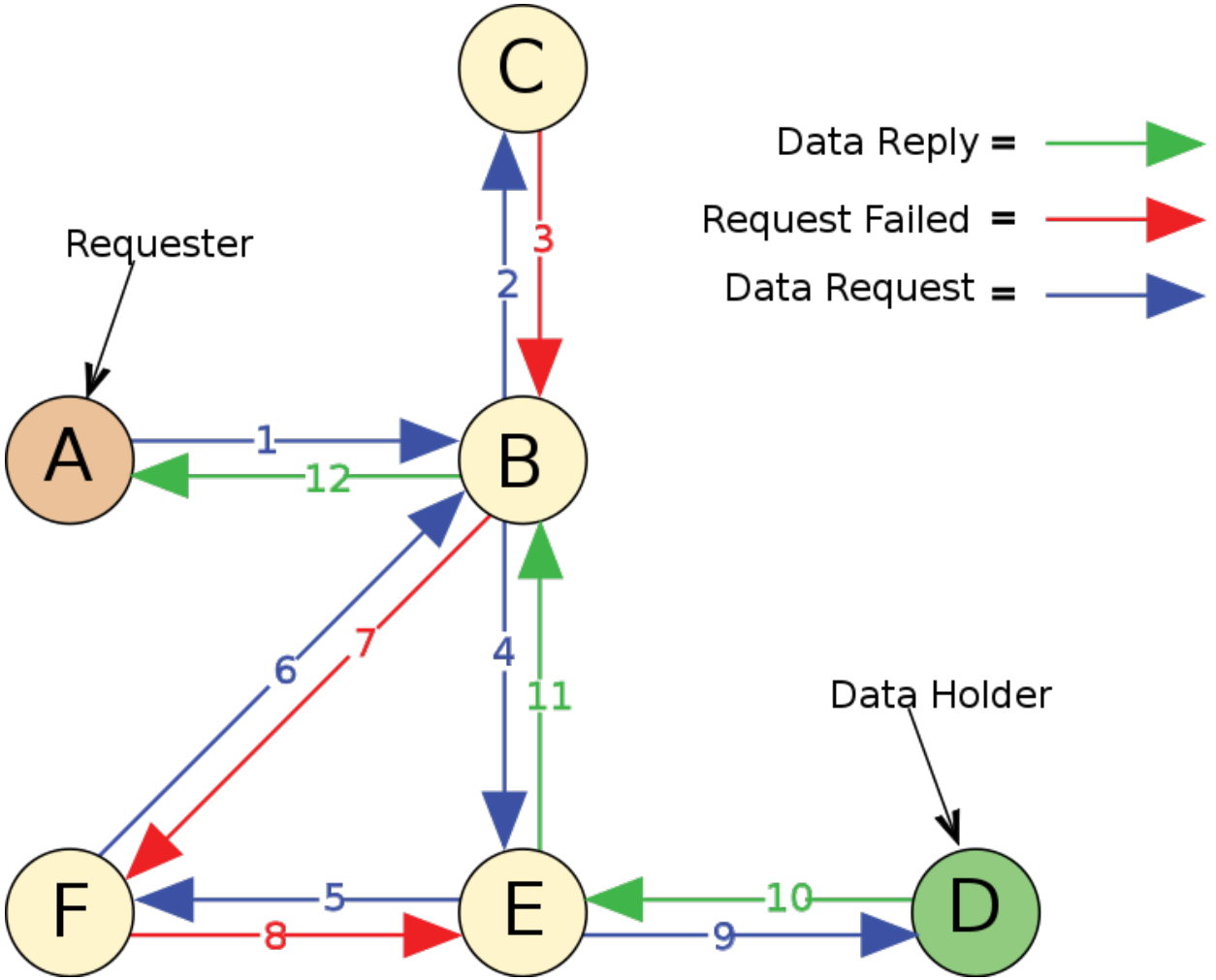
- Zwei relevante Schlüsseltypen
  (keyword-signed keys sind nicht mehr im Einsatz)
  - **Content-hash key**, krypt. Signatur der Daten
    - vergleichbar mit Inodes im Dateisystem
  - **Signed-subspace key**, Namespaces, in denen jeder lesen, aber nur der Ersteller schreiben kann
    - vergleichbar mit Datei- und Verzeichnisnamen
- Verbreitung der Schlüssel als Lesezeichen, in öffentlichen Directories oder über Freenet-Suchmaschinen

Daten abrufen (1/2)

1. Schlüssel beschaffen
2. Anfrage mit Schlüssel an einen Freenet-Knoten senden
3. Knoten erhält Anfragen
   - merken, von wem die Nachricht kam
   - zum Schlüssel passende Daten lokal gespeichert?
     - Ja: Antwort zurücksenden
     - Nein: Anfrage an den Knoten senden, dessen Schlüsselbereiche dem gesuchten Schlüssel am ähnlichsten sind (*nächste Folie*)
4. Knoten leitet Antwort zurück
   - ggf. Daten im eigenen Repository zwischenspeichern, anderen mitteilen, dass er nun diese Daten kennt
   - ggf. Routingtabelle updaten

Daten abrufen (2/2)

- Query Routing in Freenet: Hillclimbing + Backtracking



Anonymität in Freenet

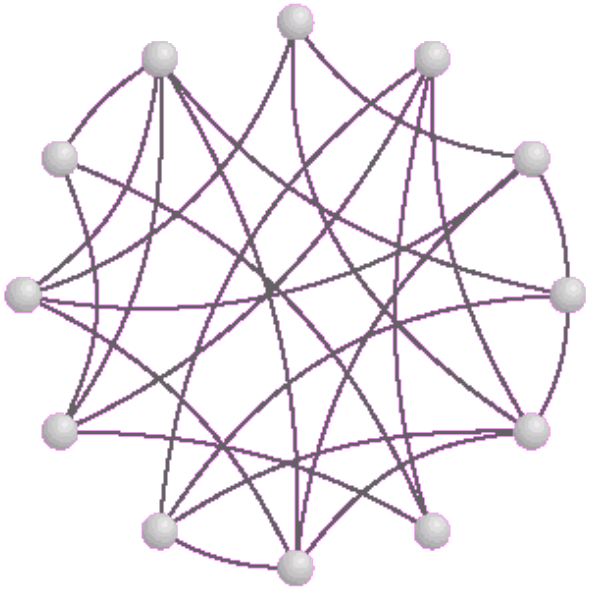
- Anfrager bleibt anonym
  - Nachricht sucht sich ihr Ziel anhand Schlüssel selbst,
  - Verbindungen nur jeweils zwischen zwei Knoten,
  - dem Schlüssel ist nicht anzusehen, was er bezeichnet
- Ersteller der Daten bleibt anonym
  - Daten werden durch ihre Schlüssel adressiert, und an beliebiger Stelle ins Freenet eingespeist
- Zensurresistenz
  - Daten können prinzipiell an beliebigen Stellen gespeichert werden
  - beliebte Daten häufig in den Caches der Knoten
  - Daten werden nur verschlüsselt abgespeichert, d.h. Freenet-Betreiber weiß nicht welche Daten er hostet

Das Darknet-Feature in Freenet

- Grundsätzliches Problem in allen anonymen Netzen: das Einschleusen von manipulierten Knoten
  - mit wenigen Rechnern/Ressourcen gezielt angreifen, wenn “die richtigen Stellen” in der Netztopologie bekannt/erraten
- Darknet
  - abgeschlossenes, privates Friend-to-Friend-Netzwerk
  - keine Kommunikation mit unbekannten Knoten, daher Einschleusen erschwert
  - Herausforderung: trotzdem ein verbundenes Netzwerk schaffen

Umsetzung von Darknet

- Routingtabellen werden nicht mehr selbstlernend von den Knoten angelegt, sondern von Hand
  - Betreiber kennen sich
- Implementierung eines strukturierten Overlays in Form eines Ringes, auf das Schlüssel im Interval [0,1] abgebildet werden
- Knoten können Plätze im Ring tauschen
  - es bilden sich Cluster von Knoten, die
    - effizient kommunizieren und
    - ähnliche Daten speichern

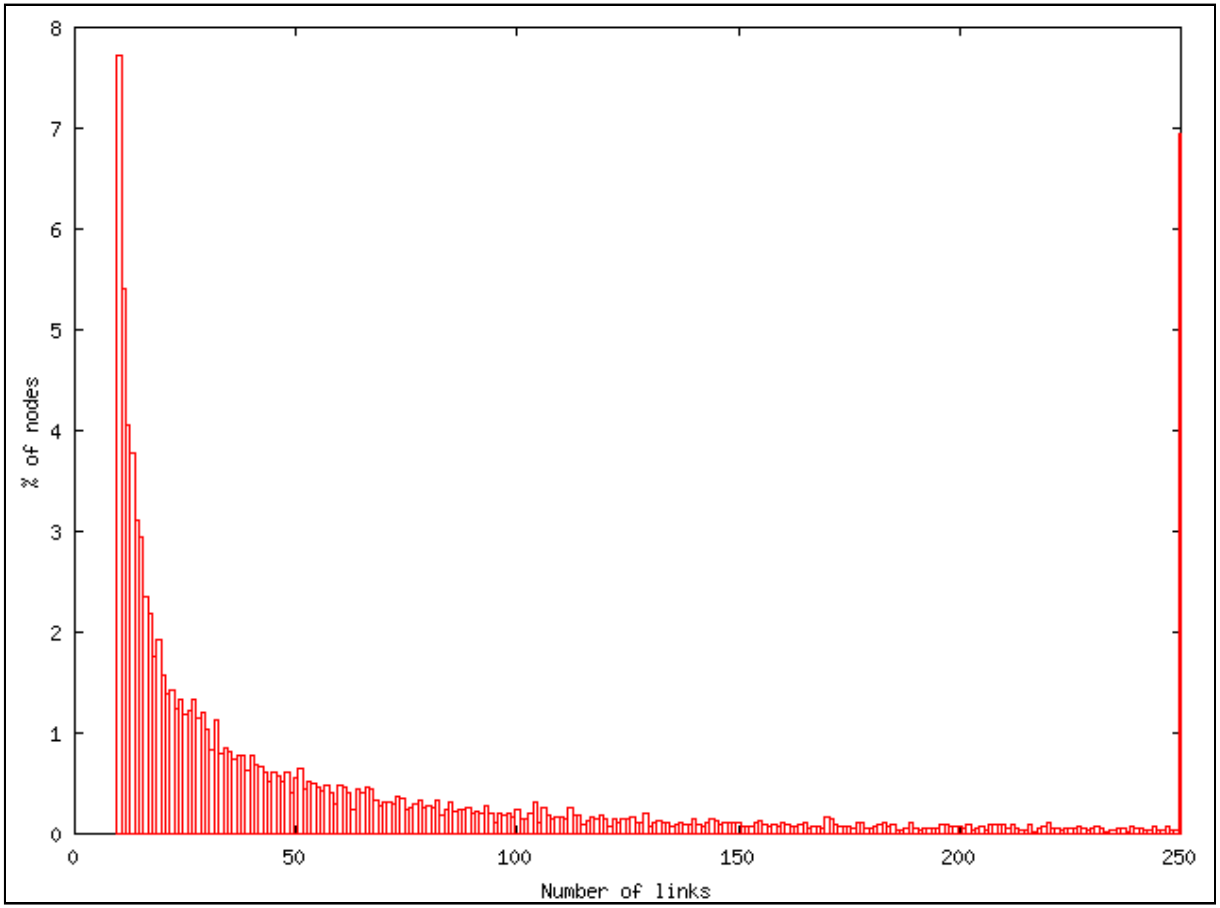


Grenzen des Ansatzes (1/2)

- Keine Garantien
  - Routing-Verfahren kann Daten nicht finden, obwohl sie im Netz gespeichert sind
  - selten gesuchte Daten können verschwinden (Least-Recently-Used-Ansatz)
  - der erste gefragte Knoten kann gleichzeitig Ersteller und Speicherort der Daten sein
    → erfährt unmittelbar, wer etwas wissen will
- Skalierbarkeit bzg. Zahl der Knoten, Pfadlänge
  - Small-World-Ansatz ist wenig effizient; strukturierte P2P-Systeme wären besser
    → Darknet-Erweiterung löst das Problem teilweise
- Darknet erfordert, andere Darknet-Nutzer zu kennen

Grenzen des Ansatzes (2/2)

- Skalenfreies Netz, einige wenige Knoten wichtiger als andere → Angriffspunkte!



Quelle: Topics in Reliable Distributed Computing, Yoav Levy 2004

Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Datenspuren im Internet
  - auf Rechner des Nutzers, Internet-Anbieter, Weiterleiter, (Web-, DNS-, sonstige) Server, P2P, Analysedienste von Dritten
  - basieren auf Log-Informationen des HTTP-Protokolls Cookies, Web-Bugs
- Bisher betrachtete Dienste und Protokolle
  - WWW, TCP/IP
- Bisher betrachtete Datenschutzansätze
  - P3P, JAP, TOR, Freenet

Literatur

[1] Roger Dingledine et al.: *Tor: The Second-Generation Onion Router*, Proceedings of the SSYM 2004
http://freehaven.net/tor/tor-design.pdf

[2] Ian Clarke et al.; *Freenet: A Distributed Anonymous Information Storage and Retrieval System*, LNCS 2009
http://citeseer.ist.psu.edu/old/clarke00freenet.html