

# UNERFREULICH AUSKUNFTSFREUDIG – DAS INTERNET-ADRESSBUCH BEDROHT UNSERE PRIVATSPHÄRE\*

DR. DOMINIK HERRMANN

Spätestens seit den Enthüllungen von Edward Snowden fragen sich Politiker und Bürger: Wer kann uns im Internet überwachen und wie schützen wir uns davor? Die Dissertation befeuert diese Diskussion mit neuen Erkenntnissen. Im Fokus der Arbeit steht das Domain Name System (DNS). Es fungiert als Internet-Adressbuch und übersetzt die leicht zu merkenden Domains in IP-Adressen. Die Dissertation zeigt, dass es im DNS weitreichende Überwachungsmöglichkeiten gibt, die bislang sträflich vernachlässigt worden sind. Insbesondere wird ein Verfahren zum verhaltensbasierten Tracking vorgestellt, mit dem die Aktivitäten von Internetnutzern unbemerkt über längere Zeiträume verfolgt werden können. Einerseits wird dadurch die Privatsphäre vieler Internetnutzer bedroht, andererseits könnten daraus nützliche Werkzeuge für die Strafverfolgung entstehen. Weiterhin werden in der Dissertation neue Datenschutz-Techniken vorgeschlagen, die sicherer und benutzerfreundlicher sind als die bisherigen Ansätze.

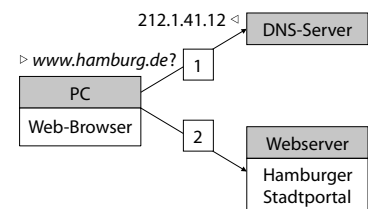
Nirgendwo ist unsere Privatsphäre so verletzlich wie im Internet. Das Domain Name System (DNS) ist ein Internetdienst, den man sich wie ein großes Adressbuch vorstellen kann. Jedes Mal, wenn man eine Internetseite besucht, schlägt der Browser den Domainnamen der Seite (z. B. *www.hamburg.de*) im DNS nach. Er benötigt nämlich die IP-Adresse (derzeit 212.1.41.12), um die Internetseite vom jeweiligen Webserver abzurufen. Dazu kontaktiert der Browser spezielle DNS-Server (sog. *rekursive Name-server*). Üblicherweise stellt jeder Internetanbieter (z. B. T-Online) seinen Kunden einen solchen DNS-Server zur Verfügung. Inwiefern stellt das eine Bedrohung für die Privatsphäre dar? Der Internetanbieter kann den Datenverkehr seiner Kunden doch ohnehin vollständig überwachen; dass er die DNS-Anfragen seiner Kunden sehen kann, ist also kein Problem. So wurde bisher argumentiert und genau deswegen wurden die Beobachtungsmöglichkeiten auf den DNS-Servern bislang weitgehend vernachlässigt.

## *Relevanz der Ergebnisse angesichts aktueller Entwicklungen*

Die mangelnde Vertraulichkeit der Namensauflösung gewinnt allerdings erheblich an Bedeutung. Dies lässt sich an drei aktuellen Entwicklungen festmachen, die im Folgenden erläutert werden.

Zum einen zeichnet sich ein Trend zur **Zentralisierung der Namensauflösung** ab. Seit etwa fünf Jahren bieten auch internationale Konzerne wie Google, OpenDNS und Symantec kostenlose DNS-Server an. Diese Angebote trumpfen mit überzeugenden Vorzügen auf, etwa geringer Verzögerung und hoher Ausfallsicherheit. Zudem haben sie bereits zur Erhaltung der Meinungsfreiheit beigetragen. So hat die türkische Regierung im Frühling 2014 zwar den Kommunikationsdienst Twitter mittels einer DNS-Sperre unzugänglich gemacht. Davon ließen sich die Bürger jedoch nicht beirren. Sie hebelten die Sperre aus, indem sie auf den DNS-Server von Google

\* Dieser Text (<http://dhgo.to/diss10>) fasst ausgewählte Ergebnisse der Dissertation „Beobachtungsmöglichkeiten im Domain Name System: Angriffe auf die Privatsphäre und Techniken zum Selbstschutz“ (<http://d-nb.info/1051341248>) zusammen. Eine allgemein verständliche Zusammenfassung ist unter <http://dhgo.to/diss4> abrufbar.



umstiegen, der über die leicht zu merkende IP-Adresse 8.8.8.8 erreichbar ist. Später gab die Regierung nach und hob die Blockade wieder auf.

Im Jahr 2013 beantworteten allein die DNS-Server von Google schon mehr als 150 Mrd. Anfragen pro Tag. Studien schätzen, dass bereits 3 % der Nutzer zu einem der neuen Anbieter gewechselt sind. Auch in Deutschland erfreuen sie sich zunehmender Beliebtheit. Sie werden immer wieder von der Presse empfohlen, etwa von Spiegel Online oder der Fachzeitschrift c't.

Angesichts dessen stellt sich die Frage, welche Informationen die neuen DNS-Anbieter über ihre Nutzer gewinnen können, inwiefern die Nutzer solcher Angebote Nachteile befürchten müssen, und wie man sich als Nutzer vor neugierigen Blicken des Betreibers schützen kann. Diese Fragen werden in der Dissertation beantwortet. Die gewonnen Erkenntnisse sind zum einen also zunächst einmal ganz unmittelbar für diejenigen Nutzer von Bedeutung, die nicht mehr den DNS-Server ihres Internetanbieters verwenden. Darüber hinaus profitieren Forscher und Entwickler von den Ergebnissen der Dissertation, da sie dadurch benutzerfreundlichere und wirksamere datenschutzfreundliche Lösungen zum Zugriff auf DNS-Server entwickeln können.

Zweitens sind wir einer zunehmenden **Überwachung unseres Verhaltens durch die Werbewirtschaft** ausgesetzt. Praktisch alle großen Webseiten finanzieren sich durch Werbeanzeigen, die von sogenannten Werbenetzen vermarktet werden. Werbenetze sind darauf spezialisiert, jedem Besucher genau die Anzeigen zu präsentieren, die zu seinen Interessen passen. Bisher werden die Nutzer dazu mit einer eindeutigen Tracking-Nummer markiert, die in einem „Cookie“ im Browser abgespeichert wird. Inzwischen ziehen einige Werbenetze zur Wiedererkennung auch weitere Merkmale heran, anhand derer sich ein Rechner einzigartig identifizieren lässt, etwa die Liste der installierten Schriftarten (sog. Browser-Fingerprinting). Beide Techniken erlauben es, einen Nutzer auf seinen Streifzügen durch das Internet zu verfolgen und ein entsprechendes Interessenprofil anzulegen. Allerdings funktioniert diese Form der Überwachung schon heute nicht mehr zuverlässig. Den Browser-Herstellern ist nämlich inzwischen daran gelegen, die Privatsphäre ihrer Nutzer zu schützen. So nehmen einige Browser, etwa der Safari-Browser, schon heute keine Tracking-Cookies mehr an. Werbetreibende reagieren auf diese Entwicklung, indem sie auf andere Tracking-Techniken ausweichen.

Die Dissertation zeigt auf, wie sich Nutzer durch die Auswertung ihrer DNS-Anfragen wiedererkennen lassen. Werbenetze könnten in Zukunft also DNS-basierte Tracking-Techniken einsetzen, um die Aktivitäten von Nutzern zu verfolgen. Insbesondere das Unternehmen Google ist hier in einer guten Ausgangsposition, da es nicht nur einen öffentlichen DNS-Server anbietet, sondern auch das derzeit größte Werbenetz „DoubleClick“ betreibt.

Hervorzuheben sind hierbei zwei Aspekte. Erstens kann grundsätzlich *jedes* Werbenetz die verhaltensbasierte Tracking-Technik einsetzen, um Nutzer anhand ihres Surfverhaltens zu verfolgen. Zweitens ist verhaltensbasiertes Tracking für Außenstehende überhaupt nicht mehr erkennbar. Dadurch stellt es eine erhebliche Verletzung der informationellen Selbstbestimmung dar.

Die Ergebnisse betreffen Nutzer neuer DNS-Angebote und erlauben die Entwicklung benutzerfreundlicherer Techniken zum Selbstschutz.

Die Ergebnisse der Dissertation betreffen also nicht nur die Nutzer neuer DNS-Anbieter, sondern uns alle. Sie machen deutlich, wie schwer es schon heute ist, sich im Internet mit technischen Mitteln vor unerwünschter Beobachtung zu schützen. Erschwerend kommt hinzu, dass alle staatlichen Bestrebungen, die privatwirtschaftliche Überwachung zu regulieren (vgl. die sog. Cookie-Richtlinie der Europäischen Union) und insbesondere die Sanktionierung von Verstößen gegen die geltenden Datenschutzgesetze natürlich ins Leere laufen, wenn der Einsatz einer Tracking-Technik überhaupt nicht nachweisbar ist.

Drittens lässt sich ein zunehmendes Interesse an der **Auswertung von Verkehrsdaten** („Metadaten“) erkennen – nicht nur bei Nachrichtendiensten, sondern auch bei polizeilichen Ermittlungsbehörden. DNS-Server stellen einen bislang unterschätzten, jedoch vielversprechenden Beobachtungspunkt dar. Im Gegensatz zur Aufzeichnung und Auswertung des gesamten Datenverkehrs, was der sprichwörtlichen Suche nach der Nadel im Heuhaufen gleicht, stellt die Aufzeichnung und Auswertung der DNS-Anfragen wesentlich geringere Ressourcenanforderungen. Der Anteil des DNS-Datenverkehrs am übertragenen Gesamtvolumen beträgt nur etwa 0,05 %. Aus den aufgezeichneten DNS-Anfragen gehen genau die Informationen hervor, die für forensischen Untersuchungen von Interesse sind: die IP-Adresse eines Nutzers, der angefragte Domainname und der Zeitpunkt der Anfrage. Darüber hinaus ließen sich durch Beschlagnahme von DNS-Protokollen, die von den Anbietern üblicherweise für einige Zeit zur Störungserkennung aufbewahrt werden, auch *nachträglich* noch Informationen über die Internetaktivitäten eines Verdächtigen gewinnen. Zudem könnten sich auch Datenschützer mit der forensischen Auswertung der DNS-Anfragen arrangieren. Anstelle über die Einrichtung zusätzlicher Überwachungsmaßnahmen, etwa einer allgemeinen Vorratsdatenspeicherung, nachzudenken, wäre es besser, erst einmal die bereits existierenden Informationsquellen auszuschöpfen.

Allerdings besteht bei der Auswertung von DNS-Anfragen ein gewisses Risiko von Fehlinterpretationen. Die Tatsache, dass ein Nutzer einen Domainnamen aufgelöst hat, muss nämlich nicht zwangsläufig bedeuten, dass er auch zugehörige Webseite abgerufen hat. Bei unsachgemäßer Interpretation könnte es also zur Verfolgung unschuldiger Nutzer kommen. In der Dissertation wird daher nicht nur aufgezeigt, wie bei der Auswertung vorzugehen ist, sondern auch wie aussagekräftig die dabei gewonnenen Informationen sind.

ZUSAMMENGEFASST besteht die Bedeutung der vorliegenden Dissertation einerseits darin, auf neue Beobachtungsmöglichkeiten aufmerksam zu machen, die unsere Privatsphäre im Internet bedrohen, und zum anderen darin, gestaltungsorientiert Techniken zum Schutz vor unerwünschter Überwachung vorzuschlagen. Die Arbeit wurde mit dem Dissertationspreis 2014 der Gesellschaft für Informatik, dem Wissenschaftspreis der Gesellschaft für Datenschutz und Datensicherheit sowie dem CAST/GI-Promotionspreis 2014 ausgezeichnet.

Die Ergebnisse betreffen uns alle. Die Effektivität staatlicher Regulierung ist zu hinterfragen.

Die Ergebnisse sind auch für Ermittlungsbehörden nützlich, etwa zur Aufklärung und Prävention von Straftaten.

### Was können DNS-Server über ihre Nutzer herausfinden?

Zunächst wird in der Dissertation der Frage nachgegangen, inwiefern ein DNS-Anbieter anhand der aufgelösten Domains nachvollziehen kann, welche Webseiten ein Nutzer abrufen. Das ist nämlich gar nicht ohne weiteres möglich.

Der Anbieter steht dabei vor zwei Herausforderungen. Erstens kommt beim DNS-Server *nur* der Domainname an, also nicht die vollständige Adresse der besuchten Seite. Bei bestimmten Webseiten, etwa *http://de.wikipedia.org/wiki/Alkoholkrankheit*, ist allerdings gerade die URL problematisch, wohingegen die Domain an sich (*de.wikipedia.org*) vergleichsweise unverfänglich ist. Zweitens stimmen die abgerufenen Webseiten nicht mit den beobachtbaren Domains überein, d. h. aus der Beobachtung einer DNS-Anfrage für eine bestimmte Domain (z. B. *www.anonyme-alkoholiker.de*) kann der Anbieter nicht unbedingt schlussfolgern, dass ein Nutzer auch die zugehörige Webseite besucht hat. Beim Abruf einer Webseite stellt ein Web-Browser nämlich häufig mehr als eine DNS-Anfrage, typischerweise werden zwischen zehn und 20 Domains aufgelöst. Diese zwei Probleme erschweren die Bestimmung der besuchten Webseiten erheblich.

Mit dem in der Dissertation entwickelten **Website-Fingerprinting-Verfahren** lassen sich diese Probleme allerdings überwinden. Die durchgeführten Analysen zeigen, dass viele Webseiten ein so charakteristisches DNS-Abrufmuster erzeugen, dass sich ihr Abruf daran mehr oder weniger zweifelsfrei erkennen lässt. Der DNS-Anbieter könnte eine Datenbank anlegen, in der die Abrufmuster aller für ihn interessanten Webseiten enthalten sind. Um die von einem Nutzer besuchten Webseiten zu bestimmen, müsste der Anbieter die Anfragen des Nutzers dann lediglich mit den Abrufmustern in seiner Datenbank abgleichen. Welche Erfolgsaussichten dieser Ansatz hat, wurde in der Dissertation genauer untersucht.

So stellte sich heraus, dass Reihenfolge und Zeitabstände zwischen den einzelnen DNS-Anfragen außen vor bleiben sollten, um die Robustheit der Erkennung zu erhöhen. Das Abrufmuster der Webseite *www.magersucht.de* ist beispielsweise die Menge {*www.amazon.de*, *www.essfrust.de*, *www.essstoerungen-frankfurt.de*, *www.magersucht.de*, *www.telefonseelsorge.de*}; das Abrufmuster des o. g. Wikipedia-Eintrags zu „Alkoholkrankheit“ enthält mehr als 30 Domains (u. a. *de.wikipedia.org*, *bits.wikimedia.org*, *counsellingresource.com*, *www.spiegel.de*, *www.stadt-und-gemeinde.de* und *w210.ub.uni-tuebingen.de*).

Dieser Ansatz ist durchaus vielversprechend. Von den 5000 beliebtesten Wikipedia-Einträgen hatten im Versuch 98,9 % ein einzigartiges Abrufmuster – ihr Abruf wäre für den DNS-Server also sehr wahrscheinlich erkennbar. Auch in weiteren Untersuchungen mit 5000 zufällig ausgewählten Wikipedia-Einträgen, 6200 News-Beiträgen von *www.heise.de* und den Homepages von 100 000 populären Webseiten waren bei der überwiegenden Mehrheit der Seiten einzigartige Abrufmuster zu beobachten.

Aber wieso ist es ein Problem, dass der DNS-Server herausfinden kann, welche Webseiten seine Nutzer abrufen? Weil Nutzern daraus erhebliche Nachteile entstehen können, die sie gar nicht bemerken. Anhand der besuchten Webseiten lassen sich mitunter Geschlecht, Alter, Beruf und

Gefahr der Diskriminierung

die aktuellen Interessen eines Nutzers erschließen. „Diese Rückschlüsse können zutreffend sein oder vollkommen abwegig“, erläutert Peter Schaar, ehemaliger Bundesdatenschutzbeauftragter, in einem Interview auf *welt.de*, „aber diese Informationen wären mit hoher Wahrscheinlichkeit für den Anbieter einer Berufsunfähigkeitsversicherung, die Sie vielleicht gerne abschließen würden, von großem Interesse. Der könnte Ihnen deswegen vielleicht einen Vertrag verweigern oder höhere Beiträge verlangen.“

ABGESEHEN DAVON kann ein DNS-Anbieter auch auf die **von einem Nutzer eingesetzten Anwendungen** schließen. Viele Anwendungen verraten sich bei der Suche nach Updates (z. B. *windowsupdate.com*, *su3.mcaffee.com*, *aus3.mozilla.org*). Auf diese Anfragen ist der DNS-Anbieter jedoch nicht unbedingt angewiesen: Da der genaue Ablauf der Namensauflösung nicht präzise festgelegt ist, haben sich unterschiedliche Varianten etabliert. Charakteristisch ist z. B. die Zeitspanne, die ein System auf einen DNS-Server höchstens wartet, bevor es seine DNS-Anfrage erneut übermittelt. Die in der Dissertation vorgestellten Untersuchungen zeigen, dass sich gängige Betriebssysteme und Web-Browser daran gut unterscheiden lassen.

Anhand der DNS-Anfragen lassen sich also detaillierte Informationen über die Betriebsumgebung eines Nutzers gewinnen. Dies ist insofern beunruhigend, da dieses Wissen die Vorbereitung gezielter Angriffe (sog. „targeted attacks“) erleichtert, bei denen dem Opfer Schadsoftware untergeschoben wird. Wenn diese Schadsoftware genau auf die vorhandene Infrastruktur des Opfers abgestimmt ist, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Angriff erfolgreich ist. Sie kann dann nämlich Sicherheitsmechanismen wie Virens Scanner oder Firewalls umgehen.

Gefahr für die IT-Sicherheit

### *Lassen sich Nutzer anhand ihres Verhaltens wiedererkennen?*

Wenn ein DNS-Server lediglich beobachten könnte, dass man gerade dabei ist, eine bestimmte Webseite abzurufen, wäre das Risiko für die eigene Privatsphäre relativ überschaubar. Besonders aussagekräftige Interessen- und Nutzungsprofile entstehen allerdings, wenn ein DNS-Anbieter die Aktivitäten eines Nutzers über Tage hinweg verfolgen kann. Dann treten nämlich wiederkehrende Muster zu Tage, anhand derer der Anbieter auf das soziale Umfeld, Gewohnheiten und Krankheiten eines Nutzers schließen könnte – genau deswegen geht vielen Menschen das eingangs erwähnte Tracking durch Werbenetze zu weit.

Zum Glück ist eine solch langfristige Überwachung bei den meisten Nutzern aber gar nicht möglich. Viele Internetprovider vergeben schließlich sogenannte „dynamische IP-Adressen“, d. h. ihre Kunden sind jeden Tag unter einer anderen IP-Adresse online. Aus Sicht des Datenschutzes sind dynamische IP-Adressen sehr zu begrüßen. Der DNS-Server verliert diese Nutzer bei jedem Wechsel der IP-Adresse nämlich aus den Augen. Gleiches gilt auch für Werbenetze, wenn man die im Browser die Cookies löscht (und der Browser keinen einzigartigen Fingerabdruck hat). Zumindest dachte man das bisher.

Die Dissertation zeigt, dass diese Einschätzung wohl revidiert werden muss. In der Dissertation wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem ein DNS-

Bisher dachte man, dass dynamische IP-Adressen und das Löschen der Browser-Cookies der Überwachung Grenzen setzen – das stimmt aber nicht mehr.

Anbieter oder ein Werbenetz einen Nutzer trotz wechselnder IP-Adresse (und ggf. gelöschter Cookies) wiedererkennen kann. Das Verfahren basiert auf der Annahme, dass jeder Nutzer beim Surfen seinen Interessen und Vorlieben nachgeht, und dass jeder Nutzer eine einzigartige Kombination von Interessen und Vorlieben hat.

Das **verhaltensbasierte Verkettungsverfahren** funktioniert wie folgt: Der DNS-Anbieter sammelt fortlaufend die Domains aller Webseiten, die alle Nutzer (identifiziert durch ihre jeweilige IP-Adresse) innerhalb eines Tages auflösen. Die besuchten Webseiten und die Anzahl der Anfragen, die auf jede Webseite entfallen, werden abgespeichert. Sie stellen den Fingerabdruck eines Nutzers dar, also das, was auf unseren Fingerkuppen Schleifen, Wirbel und Minuzien sind. Ein Auszug aus einem solchen Fingerabdruck könnte etwa lauten: „Nutzer ‚371241‘ war am 01.03.2015 insgesamt 12 Mal auf [www.google.com](http://www.google.com), neun Mal auf [www.hamburg.de](http://www.hamburg.de), zwei Mal auf [intranet.lufthansa.com](http://intranet.lufthansa.com) und ein Mal auf [www.bundestag.de](http://www.bundestag.de)“.

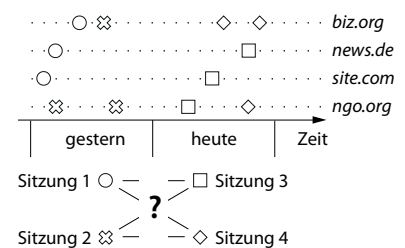
Nehmen wir an, dass Nutzer 371241 in seiner nächsten Internetsitzung am 02.03.2015 unter eine andere IP-Adresse hat, er zwischenzeitlich alle Tracking-Cookies gelöscht hat, und dass sein Browser keinen einzigartigen Fingerabdruck besitzt. Eigentlich sollten DNS-Server oder Werbenetze in diesem Fall keine Verbindung zwischen der aktuellen Sitzung und der vorherigen Sitzung von Nutzer 371241 herstellen können. Durch verhaltensbasierte Verkettung könnte ihnen das allerdings trotzdem gelingen. Dazu müssen sie lediglich die Webseiten und Anfragehäufigkeiten aus der aktuellen Sitzung des Nutzers mit allen Fingerabdrücken in ihrer Datenbank vergleichen. Für den Vergleich bieten sich bewährte Algorithmen aus dem Data-Mining an. In der Dissertation kommt u. a. ein Naive-Bayes-Klassifikator zum Einsatz, der häufig in Spam-Filtern eingesetzt wird, um vollautomatisch E-Mails mit unerwünschter Werbung auszusortieren.

Damit der Klassifikator Nutzer 371241 anhand seines Verhaltens wiedererkennen kann, müssen sich dessen Sitzungen zum einen von den Sitzungen der anderen Nutzer ausreichend stark unterscheiden. Das allein reicht jedoch nicht. Die eigentlich interessante Frage ist, ob wir unsere Interessen und Vorlieben so regelmäßig im Internet ausleben, dass wir daran jeden Tag wiedererkannt werden können.

Diese Fragestellung wurde in einer umfangreichen Studie untersucht. Dazu wurden in Kooperation mit dem Rechenzentrum der Universität Regensburg die DNS-Anfragen von Angestellten und Studierenden über einen Zeitraum von fünf Monaten protokolliert. Zum Schutz der Privatsphäre wurden die IP-Adressen der Nutzer durch statische Pseudonyme ersetzt. Da im Campus-Netz jedem Nutzer immer dieselbe IP-Adresse zugewiesen wurde, konnten die Vorhersagen des entwickelten Verkettungsverfahrens mit der tatsächlichen Zuordnung verglichen werden.

Mit diesem Datensatz wurden zahlreiche Experimente unter realitätsnahen Bedingungen durchgeführt. Die Wiedererkennung gelingt nicht immer, aber überraschend häufig. In einem der Experimente wird beispielsweise eine Konstellation mit mehr als 3800 Studenten über einen Zeitraum von zwei Monaten betrachtet. Dabei wird ein DNS-Anbieter simuliert, der die verhaltensbasierte Verkettung nutzt, um die Sitzungen aller Studenten von einem Tag auf den nächsten zu verknüpfen. Im Mittel wäre ihm dies in

Welche Sitzungen gehören zum selben Nutzer?



Der Mensch – ein Gewohnheitstier?

86% der Fälle gelungen. Bei knapp 14% der Studenten hätte er sogar alle Sitzungen korrekt miteinander verbunden. Auch bei größeren Nutzergruppen gelingt die Verknüpfung der Sitzungen noch erstaunlich gut. In einem Experiment mit mehr als 12 000 Nutzern wurde zum Beispiel noch eine Genauigkeit von 76% erreicht.

Täglich wechselnde IP-Adressen schützen demnach weitaus schlechter vor Langzeit-Überwachung als bislang angenommen.

UNKLAR BLEIBT ALLERDINGS, wie gut die Verkettung bei *normalen* Werbenetzen funktionieren würde, also bei Werbenetzen, die (im Unterschied zu Google) keinen eigenen DNS-Server betreiben. Eine genaue Prognose ist anhand des zur Verfügung stehenden DNS-Datensatzes nicht möglich. Normale Werbenetze sehen schließlich nur die Anfragen für Webseiten, auf denen sie ihre Werbung vermarkten.

Die Großen der Branche sind allerdings auf nahezu jeder beliebten Webseite vertreten – und das könnte in der Praxis durchaus ausreichen, um Nutzer wiederzuerkennen: Im Experiment sank die Genauigkeit nämlich nur um sechs Prozentpunkte, wenn dem Klassifikator – anstelle sämtlicher DNS-Anfragen – nur die die Anfragen für die 500 beliebtesten Domains zur Verfügung standen. Betroffen sind also nicht nur Nutzer, die besonders seltene Webseiten besuchen. Erkennbar ist man offenbar auch dann, wenn man nur im Mainstream schwimmt.

### *Wie schützen wir uns vor der Überwachung durch DNS-Server?*

Da nicht davon auszugehen ist, dass das DNS auf absehbare Zeit von einem datenschutzfreundlicheren Namensdienst abgelöst wird, bleibt den Nutzern lediglich die Möglichkeit, Techniken zum Selbstschutz einzusetzen. Zunächst denkt man hier natürlich an die bereits existierenden Techniken. Alle in der Praxis verfügbaren Lösungen weisen aber unangenehme Einschränkungen auf. So taucht man zwar in der Masse unter, wenn man einen Anonymisierer wie Tor und einen restriktiv konfigurierten Browser verwendet; allerdings funktionieren einige Webseiten dann nicht mehr ordnungsgemäß und die Ladezeiten steigen erheblich.

Zhao und Kollegen haben vorgeschlagen, die aufzulösenden Domainnamen durch einige zufällig gewählte Dummy-Anfragen zu verschleiern. Die Dissertation zeigt, dass dieses Range-Query-Verfahren weit weniger Schutz bietet als bislang angenommen. Bei 9 Dummys kann ein findiger DNS-Anbieter bis zu 94 % der untersuchten Seiten erkennen, bei 99 Dummys immerhin noch 91 %. Wie kommt es zu dieser überraschend hohen Genauigkeit?

Der DNS-Anbieter wendet lediglich das oben vorgestellte Website-Fingerprinting-Verfahren an. Wenn die Dummy-Domains zufällig ausgewählt werden, ist es relativ unwahrscheinlich, dass dabei ein vollständiges Abrufmuster irgendeiner anderen Webseite entsteht. Neben dem vollständig vorhandenen (tatsächlichen) Abrufmuster treten daher lediglich zahlreiche unvollständige Abrufmuster auf, die der Anbieter leicht ausschließen kann.

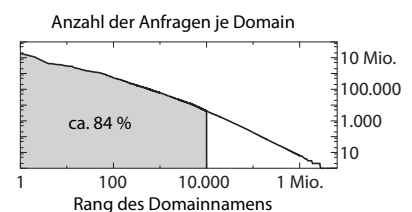
Auf Basis dieser Erkenntnis wurde in der Dissertation ein verbessertes Range-Query-Verfahren vorgeschlagen, das die Dummy-Domains so

auswählt, dass stets **vollständige Dummy-Abrufmuster** entstehen. Es bietet zwar wirksamen Schutz vor Website-Fingerprinting, sein Einsatz gestaltet sich allerdings vergleichsweise aufwändig. Hier sind weitere Untersuchungen nötig, um die Praktikabilität zu verbessern.

EINEN ANDEREN ANSATZ verfolgt der in der Dissertation entwickelte **DNS-MIX-Anonymitätsdienst**. Hier werden nicht die beabsichtigten Domains verschleiert, sondern die *Identität der Teilnehmer*. Als Basis des Dienstes fungiert eine Mix-Kaskade, die eine anonyme Namensauflösung ermöglicht. Die Besonderheit des DNSMIX-Dienstes ist jedoch der sog. **Push-Dienst**, welcher die IP-Adressen aller häufig aufgelösten Domains unverlangt an alle mit dem Dienst verbundenen Teilnehmer übermittelt – diese Domains können die Nutzer dann völlig autonom, also für Außenstehende unbeobachtbar, auflösen. Dazu muss der Push-Dienst kontinuierlich überprüfen, ob sich die IP-Adressen der betreffenden Domains geändert haben.

Wäre ein solcher Push-Dienst überhaupt praktikabel? Ist der Aufwand für die Aktualisierung nicht viel zu groß? Um diese Fragen zu beantworten, wurden im Rahmen der Dissertation Untersuchungen mit dem DNS-Datenverkehr von 2000 Nutzern durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass der Großteil der DNS-Anfragen einer relativ kleinen Menge von Domains gilt.

Als guter Kompromiss zwischen Kosten und Nutzen hat sich die Fokussierung auf die 10 000 am häufigsten angefragten Domains erwiesen. Wenn diese vom Push-Dienst an die Nutzer übermittelt werden, können die Nutzer im Mittel mehr als 80 % ihrer Anfragen einsparen. Da sich die IP-Adressen dieser Domains nur vergleichsweise selten ändern werden für die kontinuierliche Übermittlung nur etwa 0,8 KB/s je Nutzer benötigt. Den Großteil der Namensauflösung können die Nutzer somit verzögerungsfrei und für Außenstehende völlig unbeobachtbar abwickeln. Die übrigen Anfragen lösen sie verschlüsselt über die Mix-Kaskade auf. Die Antwortzeiten waren dabei im Mittel mit 0,17 s deutlich niedriger als bei Tor.



### *Lässt sich verhaltensbasierte Verkettung komfortabel verhindern?*

Wirksamer Schutz vor jeglicher Beobachtung durch den DNS-Server ist also grundsätzlich umsetzbar, allerdings immer mit Aufwand verbunden. Die Nutzer müssten zumindest eine zusätzliche Software, z. B. den DNSMIX-Client, auf ihren Rechnern installieren. Viele Nutzer sind dazu allerdings nicht bereit.

Erfreulicherweise deuten die Ergebnisse der Dissertation darauf hin, dass es zumindest eine benutzerfreundliche Möglichkeit gibt, die verhaltensbasierte Verkettung von Sitzungen zu verhindern. Dazu muss die **Sitzungsdauer verkürzt werden**. Die verhaltensbasierte Verkettung kann dadurch erheblich erschwert werden: Bei stündlichem Wechsel der IP-Adresse waren beispielsweise nur noch 55 % der aufeinanderfolgenden Sitzungen verkettbar; wird die IP-Adresse alle 5 Minuten gewechselt, sinkt die Genauigkeit auf 31%. Enthalten die Sitzungen also nur wenige Aktivitäten und wechselt man konsequent in kurzen Intervallen die eigene IP-Adresse, verliert sich die Spur relativ schnell im Sande.

Ein IP-Wechsel lässt sich schon heute bewerkstelligen, wenn man einen



Internetanbieter nutzt, der bei jeder Einwahl eine andere IP-Adresse vergibt. Eine Neueinwahl kann man durch eine Verbindungstrennung, also etwa durch das Ziehen des Telefonkabels, erzwingen. Besonders benutzerfreundlich ist das in der Tat allerdings nicht.

Mit Unterstützung des Internetproviders könnte der Adresswechsel in Zukunft allerdings automatisiert werden, also völlig ohne Zutun des Nutzers im Hintergrund stattfinden. Gerade die derzeit laufende Einführung von IPv6 bietet hier eine Chance, die Privatsphäre aller Internetnutzer besser zu schützen. Möglicherweise ließe sich der schnelle Adresswechsel auch bei den heutigen IPv4-Internetanschlüssen reibungslos durchführen. Hier sind noch weitere Untersuchungen erforderlich. Es laufen allerdings schon Gespräche mit einem Internetanbieter aus dem Saarland, der sich gut vorstellen kann, das Konzept umzusetzen und seinen DSL-Kunden anzubieten.

### *Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick*

Die Dissertation zeigt, dass Nameserver über bislang vernachlässigte Beobachtungsmöglichkeiten verfügen, welche die Privatsphäre der Nutzer bzw. die Sicherheit ihrer IT-Systeme bedrohen. Da Internetnutzer nicht erkennen können, ob und für welche Zwecke ihre DNS-Anfragen ausgewertet werden, wird dadurch ihr Recht auf informationelle Selbstbestimmung verletzt. Die Analyseverfahren haben allerdings den Charakter einer **Dual-Use-Technologie**, d. h. sie eignen sich auch für den verantwortungsvollen Einsatz im Rahmen der IT-Forensik. Ermittlungsbehörden können damit zukünftig z. B. die Internetaktivitäten von Verdächtigen besser nachvollziehen bzw. IT-Systeme, die bei Straftaten verwendet wurden, anhand der installierten Software einem Verdächtigen zuordnen.

Die Ergebnisse zur verhaltensbasierten Verkettung betreffen nicht nur Nutzer von DNS-Fremdanbietern – sie sind von grundsätzlicher Bedeutung für alle Internetnutzer. Da die Tracking-Cookies der Werbenetze heute von den meisten Web-Browsern nicht mehr akzeptiert werden, suchen Werbetreibende kontinuierlich nach neuen Techniken zur Überwachung des Nutzungsverhaltens. Es ist daher absehbar, dass Werbenetze in Zukunft zur Wiedererkennung von Nutzern auch das Surfverhalten der Nutzer heranziehen werden. Dieser Schritt stellt Datenschützer vor völlig neue Herausforderungen: Im Unterschied zu Tracking-Cookies oder Browser-Fingerprinting-Techniken ist der Einsatz des verhaltensbasierten Trackings auf den Endgeräten nämlich nicht nachweisbar, da es ausschließlich auf passiver Beobachtung beruht.

Die Ergebnisse der Dissertation sollen Internetanbieter, Software-Entwickler und Datenschutzbeauftragte für die Beobachtungsmöglichkeiten sensibilisieren, und langfristig die Entwicklung performanter und benutzerfreundlicher Techniken zur datenschutzfreundlichen Namensauflösung vorantreiben. Das in der Dissertation vorgestellte DNSMIX-Konzept zeigt, dass sich neben der kontinuierlichen Verbesserung generischer Anonymitätsdienste wie Tor auch die Erforschung dienstspezifischer Datenschutz-Techniken lohnen kann.

Viele Nutzer legen allerdings mehr Wert auf Komfort und Performanz

als auf den Schutz ihrer Daten. Die von Datenschützern ausgesprochene Empfehlung, zum Schutz der Privatsphäre auf potenziell problematische Innovationen – z. B. DNS-Prefetching oder DNS-Fremdanbieter – zu verzichten, verhallt bei diesen Nutzern ungehört. Vielversprechend sind daher insbesondere solche Lösungen, die ohne Komfort- und Performanzeinbußen nutzbar sind – etwa die Verkürzung der Sitzungsdauer, die praktisch ohne Zutun der Nutzer eingeführt werden könnte. Hier bieten sich gute Möglichkeiten der interdisziplinären Zusammenarbeit: Erste Gespräche mit den Landesdatenschutzbeauftragten verliefen vielversprechend und resultierten in der expliziten Empfehlung, dass Internetzugangsanbieter ihren Kunden stets mehrere nicht zusammenhängende IPv6-Präfixe zur Verfügung stellen sollten.