

Seminar

IT Sicherheit

Remailer: Typ I bis III

Eingereicht am:

14. November 2015

Eingereicht von:

Mervyn McCreight

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
List of Listings	IV
1 Grundlagen	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zeitstrahl der Entwicklung	1
2 Typ-I Remailer	2
2.1 Cypherpunk	2
2.2 Mix Netzwerke	2
2.3 Nachrichtenaustausch	2
2.4 Analyse	4
2.4.1 Sicherheit	4
2.4.2 Zuverlässigkeit	4
3 Typ-II Remailer	5
3.1 Motivation	5
3.2 Funktionsweise	5
3.2.1 Chunks	6
3.2.2 Pool	6
3.2.3 Signatur	7
3.2.4 Identifikation	7
3.3 Sicherheitsanalyse	7
4 Nym Server	9
4.1 Motivation	9
4.2 Umsetzung mit Hilfe von Typ-I Remailern	9
5 Typ-III Remailer	10
5.1 Funktionsweise	10
5.1.1 SURBs	10
5.1.2 Nachrichten	10
5.1.3 Verzeichnissserver	11
5.2 Ablauf	11
5.3 Sicherheitsanalyse	11
6 Zusammenfassung	12
6.1 aktueller Stellenwert der einzelnen Typen	12
Literaturverzeichnis	13

Abbildungsverzeichnis

2.1	Exemplarische Nachrichtenübertragung mit Cypherpunk-Remailern	3
3.1	Exemplarische Nachrichtenübertragung mit Mixmaster-Remailern	6

List of Listings

1

Grundlagen

1.1 Motivation

1.2 Zeitstrahl der Entwicklung

2

Typ-I Remailer

Ca. 1994 beschloss eine Interessensgruppe mit dem Namen "Cypherpunk", das Prinzip eines Remailers aufzugreifen und zu verbessern und entwickelten das Cypherpunk-Remailer Protokoll. Dieses wird als Typ-I Remailer klassifiziert. Ziel der Entwicklung war es, die Unsicherheiten des Typ-0 Remailer zu beseitigen. Anders als bei dem Typ-0 Remailer, der ein pseudonymisierender Remailer ist, handelt es sich bei dem Typ-I Remailer um einen anonymisierenden Remailer. Das Ziel einer Anonymisierung ist das Verändern personenbezogener Daten in der Art, dass es unmöglich ist diese Daten einer Person zuzuordnen.¹ Die Anonymisierung bezieht sich in diesem Fall auf den Absender, sodass es das Ziel ist, jede Information über den Absender der Nachricht zu verstecken². Folgerichtig bietet ein anonymisierender Remailer deutlich mehr Geheimnisschutz als ein pseudonymisierender Remailer.

2.1 Cypherpunk

2.2 Mix Netzwerke

Die technische Umsetzung des Cypherpunk-Remailers wurde sehr stark von der Idee der Mix Netzwerke von David Chaum beeinflusst. Ein Mix-Netzwerk ermöglicht anonyme Kommunikation innerhalb eines Netzwerkes. Ziel ist unter anderem, dass der Empfänger gegenüber dem Sender verborgen bleibt³. Ein Mix-Netzwerk besteht aus einer beliebig großen Menge an Mixen M . Ein Mix in einem Mix-Netzwerk ist üblicherweise ein Server, der von beliebigen Personen betrieben werden kann. Ein Mix fungiert in einem Mix-Netzwerk als Nachrichtenübermittler. Er versendet empfangene Nachrichten in der Form weiter, sodass sie nicht mehr auf angenommene Nachrichten zurückzuführen sind. Durch diese Eigenschaft wird Senderanonymität gewährleistet.

2.3 Nachrichtenaustausch

Einige Konzepte des Mix-Netzwerkes wurden aufgegriffen um den Typ-I Remailer zu entwickeln. Die wichtigsten Aspekte sind das Verschleiern des Nachrichtenweges durch das Senden über beliebige Knoten eines Netzwerkes, sowie die schichtenweise Verschlüsselung einer Nachricht⁴. Zur Verschlüsselung der Nachrichten wird das PGP-Verfahren verwendet. Es handelt sich hierbei um ein Public-Key Verfahren, sodass ein Schlüsselpaar bestehend aus privatem und öffentlichem Schlüssel benötigt wird. Nachrichten, die über das Typ-1 Remailer Protokoll versendet werden sollen, durchlaufen dementsprechend mehrere Remailer. Möchte Alice eine Nachricht N an Bob übermitteln, sucht sie sich aus

¹vgl. § 3 Abs. 6 BDSG

²vgl. S. 151 [HF13]

³In Mix Netzwerken bleibt zusätzlich noch der Empfänger dem Sender unbekannt. Diese Eigenschaft ist für die weitere Betrachtung dieser Ausarbeitung jedoch nicht wesentlich und wird dementsprechend nicht betrachtet.

⁴vgl. S. 84 [SS13]

einer gegebenen Menge von Cypherpunk-Remailern eine endliche Teilmenge $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ an Remailern aus, über die die Nachricht Schritt für Schritt an Bob übertragen wird. Jeder Remailer verfügt für die PGP-Verschlüsselung über je einen öffentlichen Schlüssel E_C und einen privaten Schlüssel D_C . Im Folgenden wird eine Nachricht N , die mit einem öffentlichen Schlüssel E_x verschlüsselt wurde, als $E_x(N)$ bezeichnet. Für die selektierte Teilmenge an Remailern definiert Alice eine Routingreihenfolge $A = (A_1, A_2, \dots, A_n, A_{Bob})$. Der letzte Eintrag A_{Bob} ist notwendig, da der letzte Remailer in der Kette die Nachricht letztendlich an Bob übermitteln muss. Alice verschlüsselt nun ihre Nachricht zusammen mit den entsprechenden Routing-Informationen nacheinander mit den öffentlichen Schlüsseln E_{C_x} der selektierten Remailer, in rückwärtiger Reihenfolge der Routingordnung, beginnend mit dem letzten Remailer C_n (schichtenweise Verschlüsselung):

$$N' = (A_1, E_{C_1}(A_2, E_{C_2}(\dots(A_n, E_{C_n}(A_{Bob}, E_{Bob}(N)))) \quad (2.1)$$

Anschließend initialisiert sie das Versenden der Nachricht, indem sie N' an C_1 schickt.

Eine Nachricht, die einen Typ-1 Remailer erreicht, enthält so, nach Entschlüsselung mit Hilfe des eigenen privaten Schlüssels D_C , folgende Informationen:

- eine Adresse A_i
- eine (verschlüsselte) Nachricht $E_j(\dots)$

Der Adressinformation A_i entnimmt der Remailer, an wen die Nachricht $E_j(\dots)$ weitergeleitet werden soll. Vor dem Weiterleiten der Nachricht modifiziert der Remailer den Header der Nachricht in der Art, dass unkenntlich gemacht wird von wem er diese Nachricht empfangen hat. Essentiell ist, dass ein Remailer durch die Adressinformation A nur den die Adresse des direkten Nachfolgers erhält. Außer Alice ist niemandem der vollständige Pfad des Nachrichtenverlaufs durch das Remailer-Netzwerk bekannt. Auf diese Weise wird verhindert, dass der Betreiber eines solchen Remailers in der Lage ist die Anonymisierung des Absenders zu kompromittieren. Dieses Verfahren wird fortgeführt, bis die Nachricht über den letzten Remailer C_n der Routingordnung den eigentlichen Empfänger Bob erreicht ⁵.

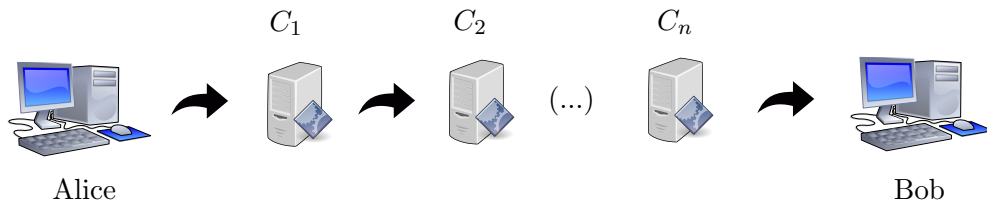


Abbildung 2.1: Exemplarische Nachrichtenübertragung mit Cypherpunk-Remailern

Als Absender ist Bob nun lediglich die Adresse des Remailers C_n bekannt. Der ursprüngliche Absender der Nachricht Alice bleibt verborgen. Auf diese Weise ist es Bob in diesem Protokoll allerdings nicht möglich, einem Absender einer Nachricht eine Antwort zu schicken.

⁵vgl. S. 72-77 [Kub07]

2.4 Analyse

2.4.1 Sicherheit

Auf den ersten Blick vielversprechend wirkend, sind die Cypherpunk-Remailer bei einer genaueren Betrachtung jedoch nicht sicher⁶. Geht man davon aus, dass es einem potentiellen Angreifer Eve möglich ist, den verursachten Traffic zu analysieren, ist es Eve möglich den Pfad einer Nachricht zu verfolgen (Traffic-Analyse). Dass dies möglich ist, hat im Wesentlichen zwei Gründe:

- Ein Remailer ändert die Größe einer Nachricht nur minimal.
- Ein Remailer leitet die Nachricht nach Empfang sofort weiter.

Das nur geringfügige Ändern der Nachrichtengröße (lediglich die Routing-Informationen entfallen), ermöglicht eine Zurordnung zwischen eingehenden und ausgehenden Nachrichten. Das sofortige Weiterleiten der Nachricht erleichtert diese Zuordnung ebenfalls. Diese Eigenschaften genügen Eve möglicherweise, den Verlauf einer Nachricht anhand des Sendzeitpunkts und der Größe zu verfolgen.

Ein weiterer Aspekt ist, dass ein Cypherpunk-Remailer nicht erkennt, ob eine Nachricht, die er empfängt, von ihm bereits empfangen und bearbeitet wurde. Das ermöglicht Replay-Angriffe, bei denen eine Eve eine Nachricht, die sie von Alice abgefangen hat, beliebig häufig in das Remailer-Netzwerk einspielt, um den Nachrichtenverlauf zu analysieren und so auf den Empfänger der Nachricht zu schließen.

2.4.2 Zuverlässigkeit

Der gewählte Aufbau des Cypherpunk-Remailer Protokolls führt außerdem dazu, dass eine ein Absender einer Nachricht nie weiß, ob der Empfänger die Nachricht tatsächlich empfangen hat. Ist einer der gewählten Remailer, über den die Nachricht weitergeleitet werden soll, defekt, oder nicht zu den anderen Remailern kompatibel, bricht die Übertragungskette an dieser Stelle und die Nachricht wird nicht zugestellt. Dadurch, dass zu dem Zeitpunkt der Kette weder Sender noch Empfänger bekannt sind, ist es nicht möglich das Fehlverhalten zu signalisieren.

⁶sicher insofern, dass die Anonymität eines Absenders gewährleistet wird.

3

Typ-II Remailer

3.1 Motivation

Das Mixmaster-Remailer Protokoll ist seit 1995 verfügbar. Die Motivation und gleichzeitig das Ziel der Entwicklung der Typ-II Remailer war, die Schwächen der Typ-I-Remailer Generation zu beseitigen. Die wesentlichen Konzepte zur Umsetzung und Verbesserung wurden von Lance Cottrell in seiner Ausarbeitung "Mixmaster and remailer attacks" erarbeitet. In dieser legt er die Schwächen der Cypherpunk-Remailer offen und analysiert, wodurch diese entstehen, und stellt konkrete Vorschläge dar, wie die vorhandenen Sicherheitslücken möglicherweise zu umgehen sind. So erörtert er unter Anderem, dass und aus welchem Grund Cypherpunk-Remailer nicht zuverlässig verhindern, dass eine Verbindung zwischen eingehenden und ausgehenden Nachrichten an einem Knoten im Remailer-Netzwerk hergestellt werden kann¹. Damit entwarf und implementierte Lance Cottrell das erste Design des Mixmaster Protokolls².

3.2 Funktionsweise

Das Mixmaster-Remailer Protokoll basiert, analog zum Cypherpunk-Remailer Protokoll, auf einem Netzwerk von Remailern, ähnlich einem Chaum'schen Mix-Netzwerk. Das Verfahren, nach dem eine Nachricht die verschiedenen Knoten des Netzwerks traversiert, bleibt größtenteils identisch. Auch hier wird ein asymmetrisches Verschlüsselungsverfahren verwendet, auf Basis dessen eine Nachricht entsprechend der öffentlichen Schlüssel der Remailer schichtenweise verschlüsselt wird. Hierbei muss der Pfad einer Nachricht im Netzwerk beim schichtenweisen Verschlüsseln der Nachricht bereits bekannt sein. Weiterhin manipuliert ein Remailer nach dem Empfangen und Entschlüsseln einer Nachricht den Nachrichtenheader, um den Absender der Nachricht unkenntlich zu machen. Auf diese Weise wird jede Art von absenderbezogenen Informationen entfernt und die Nachricht anonymisiert.

Bisher sind alle Schritte identisch dem Cypherpunk-Remailer Protokoll. Um die Schwächen der Typ-I Remailer zu entfernen, benötigte es der Einführung zusätzlicher Sicherheitsmaßnahmen, die im Folgenden erläutert werden.

Da die Aufbereitung einer Nachricht für das Mixmaster-Remailer Protokoll durch die zusätzlich eingeführten Sicherheitsmechanismen sehr komplex geworden ist, existiert Client-Software für das Mixmaster-Remailer Protokoll, die das Vorbereiten einer Nachricht für einen Anwender übernehmen. Da Mixmaster-Remailer nur noch Nachrichten akzeptieren, die genau dem spezifizierten Protokoll entsprechen, ist die Verwendung einer Client-Software notwendig. Möchte Alice nun eine Nachricht über Mixmaster-Remailer an Bob senden, muss sie anders als bei Cypherpunk-Remailern die Vorarbeit nicht manuell durchführen. Stattdessen verwendet sie die Client-Software.

¹vgl. S. 276 [Ora01]

²vgl. [mix08] - zuletzt aufgerufen am 17.10.2015

3.2.1 Chunks

Im Mixmaster-Remailer Protokoll werden Nachrichten in gleichgroße Blöcke ³ aufgeteilt (beispielsweise 20 kB groß). Entstehen dabei ein oder mehrere Blöcke, die nicht die gewünschte Größe haben, werden diese mit zufällig generierten Daten aufgefüllt. Anstelle der vollständigen Nachricht werden nun die verschiedenen gleichgroßen Blöcke einer Nachricht über das Remailer-Netzwerk verteilt. Zusammengehörende Blöcke müssen hierbei nicht zwangsweise den selben Pfad durch das Netzwerk nehmen. Es ist sogar vorteilhaft, wenn die Blöcke möglichst über unterschiedliche Remailer in dem Netzwerk verteilt werden. Wichtig ist jedoch, dass der letzte Remailer, der die Nachricht schlussendlich an den ursprünglichen Empfänger überträgt, für alle Blöcke einer Nachricht identisch ist. Nur dieser letzte Remailer ist dazu in der Lage, die vollständige Nachricht wiederherzustellen, sofern er alle der Nachricht zugehörigen Blöcke empfangen hat. Anschließend leitet er die Nachricht an Empfänger weiter.

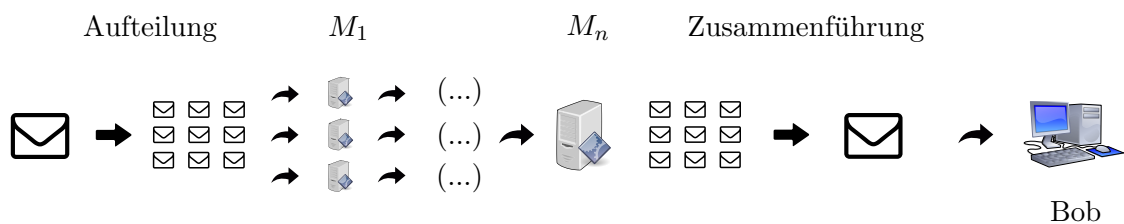


Abbildung 3.1: Exemplarische Nachrichtenübertragung mit Mixmaster-Remailern

Dieses gesamte Verfahren sorgt dafür, dass eine Nachricht nicht mehr anhand ihrer Größe durch das Remailer-Netzwerk verfolgt werden kann. Alle Nachrichten, die innerhalb des Remailer-Netzwerks übertragen werden, sind von gleicher Größe und für einen potentiellen Angreifer Eve identisch. Eine Zuordnung ist auf diese Art und Weise nicht mehr möglich.

3.2.2 Pool

Anders als bei den Cypherpunk-Remailern werden einkommende Nachrichten bei den Mixmaster-Remailern nicht sofort zum Zeitpunkt des Eintreffens weitergeleitet. Stattdessen speichert ein Mixmaster-Remailer seine einkommenden Nachrichten in einem Nachrichtenspeicher zwischen. Dieser Nachrichtenspeicher wird auch Nachrichtenpool genannt. In diesem werden einkommende Nachrichten gesammelt. Wichtig ist, dass die Reihenfolge der Nachrichtenspeicherung hierbei keinem festen Schema folgt. Einkommende Nachrichten werden in zufälliger Reihenfolge in dem Nachrichtenpool abgelegt. Für jeden Remailer ist ein Größenschwellwert für den Nachrichtenpool individuell konfigurierbar. Zu dem Zeitpunkt, an dem die Größe des Nachrichtenpools diesen Schwellwert übersteigt, werden in ihm befindlichen Nachrichten in zufälliger Reihenfolge an ihren entsprechenden Empfänger weitergeleitet.

(hier eventuell Grafik?)

Vorstellbar wäre nun, dass ein Remailer nie genügend Nachrichten empfängt um seinen Nachrichtenpool ausreichend zu füllen. Damit die bis dahin im Nachrichtenpool befindlichen Nachrichten nicht blockiert werden, wird nach Ablauf eines individuell festlegbaren Zeitintervalls, der Nachrichtenpool um zufällig generierte Pseudonachrichten erweitert, sodass der Größenschwellwert überschritten wird. Nun werden alle in ihm befindlichen Nachrichten, inklusive der Attrappen, weitergeleitet.

(hier eventuell Grafik?)

³auch "chunks"

Auf diese Weise ist es einem Angreifer Eve nicht mehr möglich eine Nachricht anhand der Zeit zu verfolgen. Eine Verbindung zwischen Empfangszeitpunkt und Absendezeitpunkt einer Nachricht an einem Remailer kann nicht hergestellt werden. Durch die gleichartigen Nachrichten⁴ ist es einem Angreifer zusätzlich nicht möglich, überhaupt eine Verbindung zwischen einer einkommenden und einer ausgehenden Nachricht herzustellen.

3.2.3 Signatur

Weiterhin wurde bei dem Mixmaster-Remailer das Überprüfen der Integrität einer im Remailer-Netzwerk verschickten Nachricht als zusätzlicher Sicherheitsmechanismus eingeführt. Hierfür wird in einem verschlüsselten Header der Nachricht eine Signatur übertragen. Durch das Überprüfen der Signatur ist es einem empfangenen Remailer möglich zu überprüfen ob eine Nachricht entweder abgefangen und manipuliert, oder vollständig fremdeingeführt worden ist. Auf diese Weise ist es einem theoretischen Angreifer Eve nicht mehr möglich, manipulierte Nachrichten in das Remailernetzwerk einzuspielen um das Verhalten auf diese Nachrichten zu analysieren.

3.2.4 Identifikation

Zusätzlich zur Signatur enthält eine Nachricht in einem weiteren verschlüsselten Header noch eine eindeutige Identifikation, üblicherweise eine Nummer. Über diese ID ist es einem Remailer möglich eine Nachricht eindeutig zu erkennen. Dadurch ist er in der Lage zu erkennen, ob er die selbe Nachricht mehrfach empfängt. Hat ein Mixmaster-Remailer eine Nachricht bereits einmal empfangen und sie so weit behandelt, dass er sie in seinem Nachrichtenpool ablegt, oder sogar weitergeleitet hat, wird er jede weitere Nachricht mit der selben Identifikation ignorieren. Durch das Einführen dieses Sicherheitsmechanismus hat Eve nicht mehr die Möglichkeit, die bei Cypherpunk-Remailern noch möglichen, Replay-Angriffe erfolgreich zu fahren. Fängt Eve eine Nachricht von Alice an einen Remailer ab, und versucht durch das mehrmalige Absenden der Nachricht an einen Remailer das Verhalten zu analysieren, schlägt dies fehl, da mehrfach gesendete Nachrichten ignoriert werden.

3.3 Sicherheitsanalyse

Das Mixmaster-Remailer Protokoll gilt bis zum heutigen Tage als praktisch sicher. Diese Sicherheit spiegelt sich auch in der aktuellen Benutzung von Remailern wieder. Mixmaster-Remailer sind das bis dato am meisten verwendete Remailer-Protokoll.

Aus theoretischer Sicht sind aber auch Mixmaster-Remailer nicht in der Lage eine vollständige Anonymität zu garantieren. Eve ist es über eine Flooding-Attacke möglich, eine Nachricht vom Sender, durch das Remailer-Netzwerk bis zum Empfänger zu verfolgen. Dabei fängt Eve die Nachricht von Alice an den ersten Remailer-Netzwerkknoten ab und hält diese zurück. Anschließend überflutet⁵ das Remailer-Netzwerk solange mit eigenen Nachrichten, bis die Nachrichtenspeicher der einzelnen Remailer ausschließliche mit Eves Nachrichten gefüllt sind. Nun ist jeder Nachrichtenverkehr im Remailer-Netzwerk auf Nachrichten von Eve zurückzuführen. Eve ist in der Lage jede dieser Nachrichten als ihre zu identifizieren, da sie den Empfänger ihrer eigenen Nachricht kennt. Ist dieser Status erreicht, versendet Eve die von Alice abgefangene und zurückgehaltene Nachricht. Da Eve alle anderen Nachrichten im Remailer-Netzwerk kennt, ist sie in der Lage die Nachricht von Alice über das gesamte Netzwerk bis zum Empfänger Bob zu verfolgen. Eve muss nur auf eine Nachricht

⁴ gleichartig bezogen auf ihre Größe

⁵ daher der Name "Flooding-Attacke"

3 *Typ-II Remailer*

warten, die nicht an den Empfänger ihrer Nachricht versendet wird. Der Empfänger dieser Nachricht muss der Empfänger der Nachricht von Alice, also Bob, sein.

Ein Angriff dieser Art ist in der Praxis nicht umsetzbar, da davon auszugehen ist, dass Mixmaster-Remailer zu jeder Zeit auch von fremden Personen verwendet werden. Zusätzlich müsste Eve die individuellen Nachrichtenpuffergrößen aller Remailer kennen. Des weiteren müsste Eve mindestens alle Remailer des Nachrichtenpfades kennen. All diese Fakten zu erlangen ist für Eve in der Praxis kaum realisierbar. Dadurch ist es Eve zu keinem Zeitpunkt möglich den Status herzustellen, dass nur ihre Nachrichten in dem für Alice' Nachricht relevanten Teil des Remailer-Netzwerks vorhanden sind.

4

Nym Server

4.1 Motivation

4.2 Umsetzung mit Hilfe von Typ-I Remailern

5

Typ-III Remailer

- entscheidender Vorteil: Antworten auf anonyme Nachrichten (in keinem der anderen ANONYMEN Remailer Protokolle möglich (bei Typ-0 ging es, da Pseudonym). - hat das Typ-II Remailer Protokoll als Basis (baut darauf auf) - Weiterentwicklung dient nicht primär der Sicherheit (Mixmaster gilt schon als sehr sicher), sondern der generell der Funktionalität - wichtige Neuerungen: 1) Antworten auf anonyme Nachrichten, 2) Verschlüsselte Kommunikation zw. den Remailern (TLS statt SMTP, verhindert Abfangen von Nachrichten) 3) Einführung von zentralem Verzeichnisserver

5.1 Funktionsweise

5.1.1 SURBs

- Bob kann eigentlich nicht Antworten, da er Identität von Alice nicht kennt. - Dafür erstellt Alice SURB (single use reply block) und hängt ihn an Nachricht an (ist verschlüsselt). - enthält verschlüsselte E-Mail Adresse von Alice und Pfad durch das Remailer-Netzwerk zu Alice. - Empfänger kann SURB verwenden, um auf anonyme Nachricht zu antworten – Nachricht an SURB anhängen und an ersten Remailer des Remailerpades senden. - Verwendung nur ein mal möglich

5.1.2 Nachrichten

Typisierung

- Hinzunahme von Antworten benötigt Typisierung von Nachrichten. - 1) normale Nachricht 2) direkte Antwort über SURB 3) anonyme Antwort (Bob bleibt auch gegenüber Alice anonym).

Ununterscheidbarkeit

- Nachrichten müssen nach außen hin Ununterscheidbar sein, damit Eve nicht über die Unterscheidung auf Rückschlüsse bzgl. des Nachrichtenverkehrs kommen kann (Nachrichtenflusstransparenz aus Mixmaster muss erhalten bleiben).

Aufbau

- Größe 32kB - besteht aus Header und Rest (Rest enthält eigentlichen Inhalt). - Pfad im Netzwerk wird in zwei Teile aufgeteilt -> also wird auch Header in zwei Teile aufgeteilt (primär erster Teil und sekundär zweiter Teil). - Pfad darf maximal 32 Remailer beinhalten. - Für jeden Remailer im Pfad enthält sowohl primärer, als auch Sekundärer Header einen (pro Remailer) Sub-Header, der Prüfsumme für den Rest des Headers enthält (um Integrität des Headers nachzuweisen). - SubHeader

beinhaltet noch: Master Secret für Erstellung von symm. Schlüssel für Verschlüsselung von Nachricht zum Übertragen (TLS) und Adresse des nächsten Remailers

- normale Nachrichten: primärer und sekundärer Header vom Absender befüllt (logisch) - direkte Antwort: sekundärer Header mit beliebigen Daten gefüllt (?) - anonyme Antwort: im sekundären Header ist SURB des Antworters (ursprünglicher Empfänger Bob).

5.1.3 Verzeichnissever

- Verzeichnis auf mehrere Server verteilt - alle VZ-Server werden ständig synchronisiert, sind also zueinander redundant - VZ-Server verifizieren sich gegenseitig, um Einführen von manipulierten VZ-Servern zu vermeiden. – soll ausfallsicherheit gewährleisten - informiert Benutzer über Status und Schlüssel der versch. Remailer im Netzwerk - jeder Remailer im Netzwerk registriert sich anfangs beim Verzeichnissever - Remailer aktualisiert VZ-Server laufend über Zustand und Schlüssel

5.2 Ablauf

- Alice besorgt sich vom VZ-Server alle benötigten Informationen (Status und Schlüssel), um Pfad auszuwählen. - Versenden und Verschlüsseln äquivalent zu Mixmaster. - Vor Weiterleitung überprüft Remailer Integrität der Nachricht (wie Mixmaster) - Dann baut Remailer verschlüsselte Verbindung (TLS) zum nächsten Remailer auf. – sym. Schlüssel dafür findet er in Header (Master Secret) - Dann Weiterleitung
- Verhalten beim Übergang zw. ersten Teil und zweiten Teil des Pfades (swap-Operation? genauer Herausfinden...)

5.3 Sicherheitsanalyse

- theoretisch sicherster Remailer - aber praktisch nicht nachzuweisen - da nie in den praktischen Einsatz gekommen (blieb im Beta-Stadium, wurde nie fertig entwickelt).

6

Zusammenfassung

6.1 aktueller Stellenwert der einzelnen Typen

Literaturverzeichnis

- [HF13] P. Horster and D. Fox. *Datenschutz und Datensicherheit: Konzepte, Realisierungen, Rechtliche Aspekte, Anwendungen*. DuD-Fachbeiträge. Vieweg+Teubner Verlag, 2013.
- [Kub07] J. Kubieziel. *Anonym im Netz: Techniken der digitalen Bewegungsfreiheit*. Open Source Press, 2007.
- [mix08] Mixmaster protocol manpage. <http://mixmaster.sourceforge.net/manpage.html>, 2008.
- [Ora01] A. Oram. *Peer-to-Peer: Harnessing the Power of Disruptive Technologies*. O'Reilly Media, 2001.
- [SS13] J. Samleben and S. Schumacher. *Informationstechnologie und Sicherheitspolitik: Wird der dritte Weltkrieg im Internet ausgetragen?* Books on Demand, 2013.