

# Sicherheit und Privatheit von Push-Notification-Services für mobile Apps

Chantal Bruns  
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg  
chantal.bruns@smail.inf.h-brs.de

Issam Hbib  
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg  
issam.hbib@smail.inf.h-brs.de

Robert Bargon  
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg  
robert.bargon@smail.inf.h-brs.de

## ABSTRACT

In dieser wissenschaftlichen Arbeit wurde untersucht, wie oft Push Notification von App Entwicklern benutzt wird. Dabei kam heraus, dass sichere Push Notification im medizinischen Bereich am meisten benutzt wurden, aber die Anzahl im Vergleich zur Gesamtanzahl überprüfter Apps dennoch ernüchternd ist.

## CCS CONCEPTS

• **Security and privacy** → **Domain-specific security and privacy architectures.**

## KEYWORDS

push notifications, encryption, cloud messaging services

## 1 INTRODUCTION

Push Notification ist ein unerlässlicher Teil der heutigen Apps. Sei es Nutzer\*innen über neue Nachrichten einer Chat App zu benachrichtigen oder auf eine überfällige Periode hinzuweisen, Ihre Benutzung ist vielfältig und birgt damit auch Risiken, da sie private Daten beinhalten können.

Im folgenden wird untersucht, ob von den Entwicklern sichergestellt wird, dass der Inhalt der Push Notifications nicht von unberechtigten Entitäten mitgelesen werden kann.

## 2 GRUNDLAGEN VON PUSH-BENACHRICHTIGUNGEN

### 2.1 Was ist Firebase?

Firebase ist eine Entwicklungsplattform, mit welcher es möglich ist Apps (mobil und webbasiert) in der Google Cloud Plattform zu entwickeln. Es bietet durch verschiedene Services, den Entwicklern die Möglichkeit die App-Entwicklung zu beschleunigen und die Stabilität und Leistung zu überwachen. Darunter auch die Push-Notifications, welche im Folgenden genauer erläutert werden [20].

### 2.2 Typischer Push-Notification-Flow

Um die Funktionalität der Push-Benachrichtigungen herzustellen, werden die SDK-APIs der mobilen Plattform z.B. Apple iOS oder Android, verwendet, um sich damit bei einem Cloud-Messaging-Anbieter registrieren zu können. Dazu gehören Apple Push Notification Service (APNs) für iOS und Firebase Cloud Messaging (FCM) für Android. Zuerst sendet der Cloud-Messaging-Anbieter ein Push-Token, welches wie eine Adresse funktioniert, mit dem es möglich ist das Gerät und die mobile App als Empfänger der Nachricht zu identifizieren. Daraufhin wird das Push-Token von der mobilen App an den Server einer Customer-Engagement-Plattform gesendet, denn das Push-Token muss dem Server bekannt sein, um

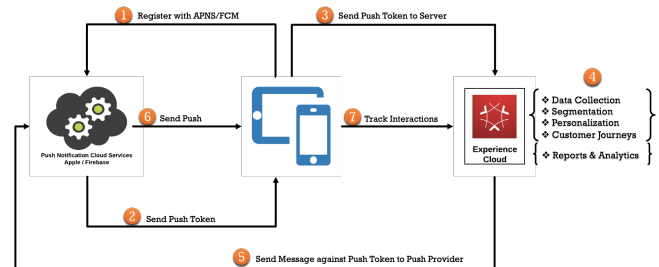


Figure 1: Push Notification Flow von Anshika Agarwal (<https://medium.com/adobetech/securing-push-notifications-in-mobile-apps-a23b6c20139e>).

eine Push-Benachrichtigung an den Empfänger senden zu können. Die Sicherheit, dass die personalisierten Inhalte nur vom beabsichtigten Benutzer empfangen werden, ist durch die Eins-zu-Eins Zuordnung zwischen dem Push-Token und der Kennung des Benutzers vom System gewährleistet. Der Remote-Server sammelt die Nutzerdaten und Interaktionen und gibt den App-Entwicklern die Möglichkeit z.B. den Nachrichteninhalte so zu personalisieren, dass er auf die Nutzungsmuster und -attribute der Kunden angepasst ist. Die personalisierte Nachricht wird an das Push-Token gebunden und vom Remote-Server an den Cloud-Messaging-Dienst der mobilen Plattform gesendet. Der Nachrichteninhalte wird dann vom Cloud-Messaging-Dienst an das richtige Gerät und die mobile App gesendet und dann anschließend als Benachrichtigung angezeigt [1].

### 2.3 Firebase Cloud Messaging für Android

Um FCM-basierte Push-Benachrichtigungen in einer Android-App zu implementieren, werden eine mobile App, eine Verbindung zum FCM-Server und ein Push-Server eines Drittanbieters benötigt. Zuerst muss Firebase zu dem Android-App-Projekt hinzugefügt werden. Danach ist es erforderlich sich bei FCM zu registrieren, um das FCM-Registrierungstoken zu erhalten. Um dann anschließend eine Verbindung mit den FCM-Servern herzustellen, muss das FCM-Token in der Android-App konfiguriert werden. Nun wird ein Push-Server eines Drittanbieters benötigt, damit Benachrichtigungen von der mobilen App an den FCM-Server gesendet werden können. Hierfür wird oftmals der Google Play Store verwendet, der die Einrichtung mit den Google Play-Diensten APK erfordert. Es können aber auch Push-Benachrichtigungsserver eines Drittanbieters verwendet werden [9].

## 2.4 Push-Notifications für Apple

Für iOS funktionieren Push-Notifications ähnlich wie bei Android mit dem Unterschied, dass die App mit dem Apple Push Notification Service kommuniziert. Hierfür wird ein Apple Push Notification Authentication Key für den Apple Developer Account benötigt. Zuerst fordert iOS ein Gerätetoken vom Apple Push Notification Service (APNs) an. Danach empfängt die iOS-App das Token, mit welchem Push-Benachrichtigungen an die identifizierte Anwendung gesendet werden. Zum Schluss sendet der Server einer Customer-Engagement-Plattform die Benachrichtigung an den APNs und dann identifiziert der APNs das iOS-Gerät und die iOS-App, an die die Benachrichtigung gesendet werden soll [7].

## 3 SICHERE PUSH-NOTIFICATIONS

### 3.1 Grundlagen von sicheren Push Notifications

Wenn eine Benachrichtigung eines App-Anbieters über einen Messaging Dienst wie FCM zum Endgerät gelangen soll, ist die Kommunikation zwischen Entwickler und Messaging Dienst, sowie die Kommunikation zwischen Messaging Dienst und Endgerät durch TLS verschlüsselt, jedoch wird der eigentliche Inhalt der Benachrichtigungen in Klartext übermittelt [11]. So handelt es sich dabei nicht um eine Ende-zu-Ende Verschlüsselung zwischen App und Entwickler und der Inhalt der Nachricht kann von beispielsweise Google mitgelesen werden. Google selbst empfiehlt die Nutzung von Bibliotheken von Drittanbietern, unter anderem das hauseigene Capillary [8].

Apple hingegen bietet das `UNNotificationServiceExtension` Objekt an, womit verschlüsselte Push-Notifications von der App entschlüsselt werden können. Dabei muss der versendete Notification Payload den Json Key „mutable-content“ mit dem Wert 1 beinhalten, damit das `UNNotificationServiceExtension` Objekt die verschlüsselte Notification entschlüsselt, bevor dessen Inhalt im Gerät angezeigt wird [6][5].

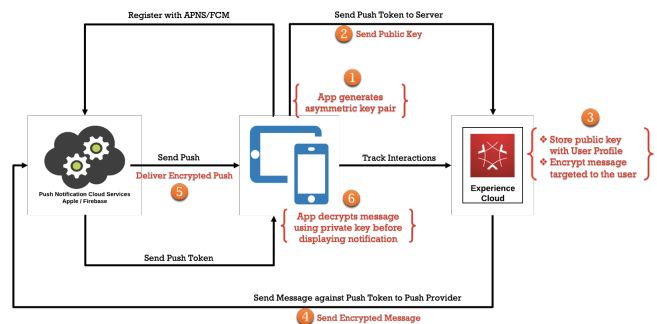
Bedenklich ist die Tatsache, dass alle Benachrichtigung einer Person zugeordnet werden können und die Anbieter dieser Messaging Dienste meist US-amerikanische Firmen sind, welche beispielsweise Daten an Behörden weiterreichen müssten, falls gefordert [13].

Um den Inhalt von Push-Benachrichtigungen vor den Messaging Diensten zu schützen, muss der App-Anbieter sich also selbst um eine Ende-zu-Ende-Verschlüsselung kümmern.

Dies kann besonders wichtig sein, wenn es sich um Benachrichtigungen handelt, welche sensible Personen Informationen enthalten. Wenn es sich um Benachrichtigungen von Instant Messaging Diensten handelt, oder sensiblere Daten von Banking Apps oder vergleichbarem, ist eine Verschlüsselung der Inhalte besonders erstrebenswert.

Eine solche Ende-zu-Ende-Verschlüsselung lässt sich über eine asymmetrische Verschlüsselung realisieren, wobei das Endgerät das Schlüsselpaar erzeugt und den öffentlichen Schlüssel an den Entwickler schickt und dabei den Messaging Dienst außen vor lässt. Dabei muss man nicht die Funktionsweise des Messaging Dienstes einschränken und kann vorhandene Technologien weiter nutzen.

## 3.2 Beispiel eines sicheren Notification Flow



**Figure 2: Sicherer Push Notification Flow von Anshika Agarwal** (<https://medium.com/adobetech/securing-push-notifications-in-mobile-apps-a23b6c20139e>).

Nachfolgend wird das Beispiel eines sicheren Notification Flow erläutert [1].

1. Der Anwender erzeugt auf seinem Endgerät automatisiert ein Schlüsselpaar, bestehend aus einem öffentlichen und einem privaten Schlüssel.
2. Der öffentliche Schlüssel wird dem Entwickler nun über einen direkten Kommunikationsweg übermittelt.
3. Der Entwickler speichert nun diesen Schlüssel und verknüpft ihn lokal mit dem Messaging Dienst Identifier für das spezifische Endgerät. Nun ist er in der Lage mit dem öffentlichen Schlüssel seine ausgehenden Benachrichtigungen zu verschlüsseln.
4. Die verschlüsselte Benachrichtigung wird nun dem Messaging Dienst übermittelt, welcher diese, für ihn unlesbare Nachricht, an das Endgerät übermittelt.
5. Das Endgerät kann bei Erhalt der Benachrichtigung, durch seinen lokal gespeicherten privaten Schlüssel den Inhalt entschlüsseln und die Benachrichtigung kann dem Nutzer angezeigt werden.

### 3.3 Umsetzung in Open Source Projekten

Capillary ist eine Bibliothek von Google, welche Drittanbieter, eine Ende-zu-Ende Verschlüsselung über Firebase Cloud Messaging ermöglicht [11]. Unter anderem bietet sie die Schlüsselgeneration als auch Registrierung der erstellten asymmetrischen Schlüssel mit dem Developer Application Server, der die Benachrichtigungen verschlüsselt über Firebase an die App mit Capillary versendet. Zudem bietet Capillary die Entschlüsselung und Verschlüsselung der Notification clientseitig in der App als auch serverseitig an.

Capillary bietet noch weitere Funktionen, wie zum Beispiel, dass ein gestohlenes Endgerät die Möglichkeit der Entschlüsselung noch eingehender Benachrichtigungen entzogen werden kann.

Die Popularität dieser Bibliothek scheint, gemessen anhand der ungefähr 450 Github Stars Stand Dezember 2021, eingeschränkt. Der letzte Commit war im Dezember 2018, womit das Projekt verlassen aussieht.

Eine weitere Möglichkeit verschlüsselte Notifications zu senden, besteht über das Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP). XMPP selbst ist ein Standard der Internet Engineering Task Force

(IETF), welcher Technologien wie instant messaging, Push Notifications, voice und video calls über XML ermöglicht [21][18]. Dieser Standard definiert zudem die End-zu-End Verschlüsselung als auch Signierung von versendeten Objekten. Dies kann verwendet werden, um Push Notifications zu verschlüsseln [16].

## 4 PROTOTYP

### 4.1 Herausforderung

Der erste Ansatz war die Push Notifications auf der Netzwerkebene zu analysieren, aber durch die Tatsache, dass die Pakete TLS verschlüsselt sind, wie wir in unserer späteren Recherche herausgefunden haben, kamen wir auf die Idee, uns die Apps direkt anzuschauen. Zunächst war die Herausforderung, die aktuelle Version einer App aus einer sicheren Quelle herunterzuladen. Dazu diente das Fork vom Python Projekt GooglePlayAPI von TheZ3ro [19]. Danach ergab sich die Frage, wie man generell eine App in APK-Form analysieren kann. Der für uns logische Schritt war demnach die App mit Jadx [17] zu dekompile und darauf Stringabgleiche durchzuführen. In den ersten Testläufen innerhalb einer virtuellen Maschine wurden Performane-Einbußen festgestellt, da Jadx für das Dekompilieren einer einzelnen App mehrere Minuten brauchen könnte, was bei einer Liste von vielen hunderten Apps viele Stunden in Anspruch nehmen könnte, sodass sich die weitere Frage ergab, wie man den ganzen Prozess effizienter gestalten kann und warum man überhaupt eine App dekompile. Als Antwort auf die zweite Frage stellten wir fest, dass das Dekompilieren einer App dazu gedacht ist, den Code Flow dieser App in menschlich-lesbarer Form darzustellen, allerdings benötigt unser Analyse-Skript keinen menschlich-lesbaren Code, sondern führt Stringabgleiche mit statischen Werten durch, die sich auch in der Rohform einer entpackten App finden lassen, wodurch der Prozess effizienter wird, da das Entpacken weniger Zeit in Anspruch nimmt als das Dekompilieren und somit die Antwort auf die erste Frage ist.

Zudem stellte sich die Frage welche Apps analysiert werden sollten. Dabei konnten wir herausfinden, dass Google Play hochgeladene Apps in bestimmte Kategorien unterteilt, sodass sich für uns die Idee ergab, eine bestimmte Anzahl an Apps je Kategorie zu analysieren und miteinander zu vergleichen. Wir haben uns für die Kategorien „Health\_And\_Fitness“, „Medical“ und „Communication“ entschieden, da Apps in diesen Bereichen oft mit privaten Daten in Kontakt treten können. Danach stellte sich die Herausforderung wie man eine entsprechende Liste scrapen kann. Hierbei wurde zunächst versucht dies über den Browser zu realisieren, aber die Google Play Seite des Browser zeigt nur eine geringe Anzahl Apps pro Kategorie an. Daraufhin wurde versucht mittels Dekompilierung der Google Play App und Hooking mit Frida [15] an die Daten zu gelangen, was sich als komplex erwies. Während der Recherche trafen wir auf die Seite „androidrank.org“, welche aktuelle Top 500 App Listen pro Kategorie anzeigt.

### 4.2 Problematik der Analyse

Eine Ende-zu-Ende Verschlüsselung kann von einem Entwickler unterschiedlich implementiert werden, sodass eine automatische Überprüfung kompliziert wäre, da manche Apps zum Beispiel obfuskiert werden können. Unsere Suche bezieht sich jedoch nur auf

den Stringabgleich der Bibliotheksnamen, was die Analyse vereinfacht und dennoch eine erste grobe Momentaufnahme liefert.

### 4.3 Umsetzung

Im Rahmen des Projektes sollte überprüft werden, wie oft unsichere Push Notifications in Apps benutzt wurden. Hierfür wurden nur Android Apps betrachtet. Zu den Analysekriterien gehört die Benutzung von „NotificationCompat“ [12] mit Hilfe von einem Stringabgleich, welche zu den Android Schnittstellen gehört und das Senden von Push Nachrichten ermöglicht, sowie auf „onMessageReceived“ [10], welche benutzt wird, um Push Notification von Firebase zu empfangen. Wenn diese vorhanden sind, wird davon ausgegangen, dass eine App Notifications abschicken kann als auch von Firebase empfangen kann, dann wird auf die nächsten beiden Analysekriterien geachtet. Die dritten und vierten Analysekriterien untersuchen die Apps auch mit einem Stringabgleich nach den beiden Strings „Capillary“ und „XMPP“. Ist der String „Capillary“ vorhanden, so wird davon ausgegangen, dass die App Capillary unterstützt, da diese Bibliothek zum Zweck der End-zu-End Verschlüsselung von Push Notifications erstellt wurde. Ist der String „XMPP“ vorhanden, so kann nicht zwingend davon ausgegangen werden, dass eine End-zu-End Verschlüsselung unterstützt wird, da die Ende-zu-Ende Verschlüsselung im Standard nur als optionales Feature definiert wurde.

### 4.4 Initialisierung

Zum Herunterladen der Apps wurde zunächst ein Google Account erstellt und dann das Fork vom Python Projekt GooglePlayAPI von TheZ3ro [19] benutzt, zudem musste das Requests Python Projekt auf die Version 2.20.0 herabgestuft werden, da eine höhere Version inkompatibel ist [14]. Als weiteres wurde ein eigenes Python Skript geschrieben, welches die GooglePlayAPI Bibliothek importiert und für den Login benutzt. Bei dem Login wird ein neues Gerät mit der Sprachumgebung, die Zeitzone und einem Gerätecodenamen mit dem benutzten Account initialisiert. Im Falle der Tests waren dies die Werte en\_US für ein Gerät im US-Amerikanischen Raum, die Zeitzone UTC und der Gerätecodenamen hero2lte, welches für das Samsung Galaxy S7 Edge steht. Nach dem erfolgreichen Login wird von Google ein Token generiert, welches von nun an anstelle des Logins zur Authentifizierung benutzt wird.

Nach dem Aufruf der Login Funktion des GooglePlayAPI Objekts, wird ein Logger für das LogFile initialisiert. In das LogFile geschrieben, werden entsprechende Counter für die Anzahl von Apps mit den Strings „Capillary“, „XMPP“ und für die Anzahl tatsächlich überprüfter Apps, da sich manche Apps nicht herunterladen lassen. Danach wird ein CSV Reader benutzt, um eine Datei auszulesen, die aus Application IDs der zu testenden Apps getrennt mit Zeilenumbrüchen besteht. Hierbei wurden aus der Seite „androidrank.org“ die Application IDs der Top 500 Apps der Bereiche „Health\_And\_Fitness“, „Medical“ und „Communication“ in entsprechende drei Dateien zusammengefasst, welche dem Skript zugefügt wurden [3][4][2].

### 4.5 Herunterladen und Analyse

Sobald die erste Application ID gelesen wurde, versucht das Skript die App in einen temporären Ordner herunterzuladen. Schlägt dies

fehl, wird die nächste App iteriert. Wurde die App erfolgreich heruntergeladen, wird diese zunächst mit dem unzip Befehl entpackt, dann wird daraufhin der Inhalt der entpackten App mit dem grep Befehl nach den oben genannten Kriterien überprüft und zuletzt die entsprechenden Counter erhöht, sowie die Application ID mit dem gefundenen Wert in die LogDatei geschrieben, falls die App Capillary und/oder XMPP benutzt.

## 5 ERGEBNISSE

### 5.1 Top 500 Communication Apps

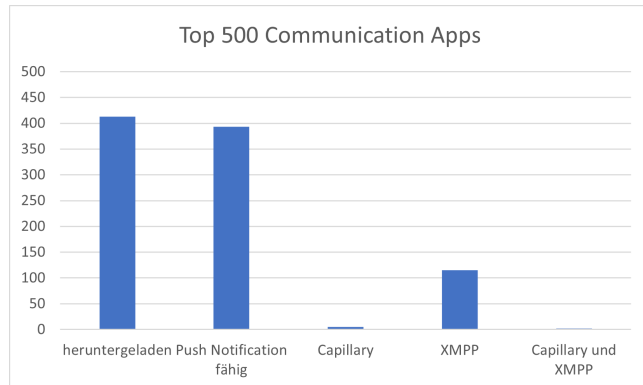


Figure 3: Top 500 Communication Apps.

Von 500 Apps wurden 413 heruntergeladen, 393 benutzen "NotificationCompat" oder "onMessageReceived" und sind somit in der Lage Push Notification abzuschicken sowie von Firebase zu empfangen. Davon benutzen 5 Apps Capillary, 115 Apps XMPP und 2 Apps benutzen beides.

### 5.2 Top 500 Health and Fitness Apps

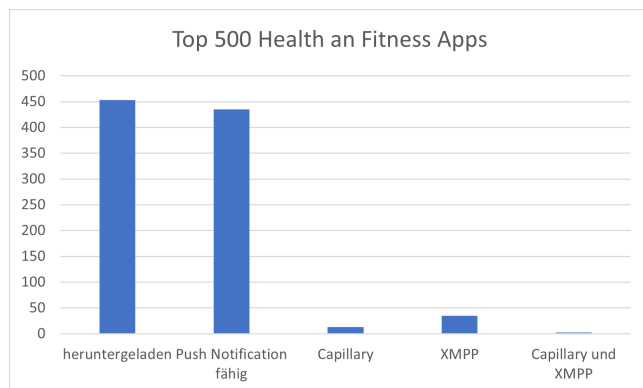


Figure 4: Top 500 Health and Fitness Apps.

Von 500 Apps wurden 453 heruntergeladen, 435 benutzen "NotificationCompat" oder "onMessageReceived" und sind somit in der Lage Push Notification abzuschicken sowie von Firebase zu empfangen. Davon benutzen 13 Apps Capillary, 35 Apps XMPP und 2 Apps benutzen beides.

### 5.3 Top 500 Medical Apps

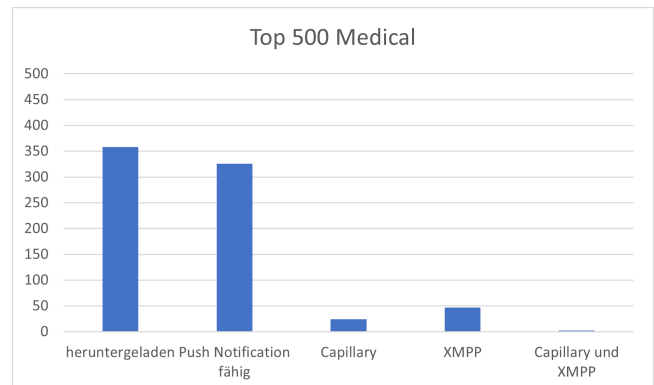


Figure 5: Top 500 Medical Apps.

Von 500 Apps wurden 358 heruntergeladen, 326 benutzen "NotificationCompat" oder "onMessageReceived" und sind somit in der Lage Push Notification abzuschicken sowie von Firebase zu empfangen. Davon benutzen 24 Apps Capillary, 47 Apps XMPP und 2 Apps benutzen beides.

### 5.4 Auswertung

Es fällt auf, dass Capillary im medizinischen Bereich mit 24 Apps am meisten vor kommt, während XMPP im Bereich der Kommunikation mit 110 Apps am meisten vor kommt. Generell sind die Zahlen niedrig. Allerdings sind die Zahlen mit Vorsicht zu genießen, da die Analyse nicht auf obskurierte Apps angepasst wurde, zudem wurde nicht überprüft, ob die Apps mit XMPP auch verschlüsselte Push Notifications unterstützen und zuletzt können manche der Apps eigene End-to-End Push Notification Lösungen benutzen.

### 5.5 Ausbaufähigkeit

Die Analysemethodik kann weiterhin ausgebaut werden, indem Lösungen für die oben genannten Probleme gefunden werden. Eine mögliche Lösung wäre einen Smali Parser zu entwickeln, der Zusammenhänge zwischen Android Schnittstellen ausfindig macht und somit eine mögliche Verschlüsselung von Push Notification anzeigen kann. Eine weitere mögliche Lösung könnte durch SSL Interception realisiert werden, indem der Verkehr zwischen der App und dem Push Notification Cloud Service analysiert wird.

## REFERENCES

- [1] Anshika Agarwal. 2021. *Securing Push Notifications in Mobile Apps*. Retrieved January 05, 2022 from <https://medium.com/adobetech/securing-push-notifications-in-mobile-apps-a23b6c20139e>
- [2] Androidrank. [n.d.]. *List of Android Most Popular Google Play Apps (Communication)*. Retrieved January 05, 2022 from <https://www.androidrank.org/android-most-popular-google-play-apps?category=COMMUNICATION>
- [3] Androidrank. [n.d.]. *List of Android Most Popular Google Play Apps (Health and Fitness)*. Retrieved January 05, 2022 from [https://www.androidrank.org/android-most-popular-google-play-apps?category=HEALTH\\_AND\\_FITNESS](https://www.androidrank.org/android-most-popular-google-play-apps?category=HEALTH_AND_FITNESS)
- [4] Androidrank. [n.d.]. *List of Android Most Popular Google Play Apps (Medical)*. Retrieved January 05, 2022 from <https://www.androidrank.org/android-most-popular-google-play-apps?category=MEDICAL>
- [5] Apple. [n.d.]. *Generating a Remote Notification*. Retrieved January 05, 2022 from [https://developer.apple.com/documentation/usernotifications/setting\\_up\\_a\\_remote\\_notification\\_server/generating\\_a\\_remote\\_notification](https://developer.apple.com/documentation/usernotifications/setting_up_a_remote_notification_server/generating_a_remote_notification)

- [6] Apple. [n.d.]. *Modifying Content in Newly Delivered Notifications*. Retrieved January 05, 2022 from [https://developer.apple.com/documentation/usernotifications/modifying\\_content\\_in\\_newly\\_delivered\\_notifications](https://developer.apple.com/documentation/usernotifications/modifying_content_in_newly_delivered_notifications)
- [7] Apple. 2018. *APNs Overview*. Retrieved January 05, 2022 from [https://developer.apple.com/library/archive/documentation/NetworkingInternet/Conceptual/RemoteNotificationsPG/APNSOverview.html#//apple\\_ref/doc/uid/TP40008194-CH8-SW1](https://developer.apple.com/library/archive/documentation/NetworkingInternet/Conceptual/RemoteNotificationsPG/APNSOverview.html#//apple_ref/doc/uid/TP40008194-CH8-SW1)
- [8] Firebase. 2021. *About FCM messages*. Retrieved January 05, 2022 from <https://firebase.google.com/docs/cloud-messaging/concept-options?hl=en>
- [9] Firebase. 2021. *Überblick über die FCM-Architektur*. Retrieved January 05, 2022 from <https://firebase.google.com/docs/cloud-messaging/fcm-architecture>
- [10] Firebase. 2022. *Receive messages in an Android app*. Retrieved January 06, 2022 from <https://firebase.google.com/docs/cloud-messaging/android/receive>
- [11] Google. 2018. *Capillary*. Retrieved January 05, 2022 from <https://github.com/google/capillary>
- [12] Google. 2022. *Create a Notification*. Retrieved January 06, 2022 from <https://developer.android.com/training/notify-user/build-notification>
- [13] Google. 2022. *Transparency report*. Retrieved January 06, 2022 from <https://transparencyreport.google.com/user-data/us-national-security?hl=de>
- [14] nosnikta10. 2021. *I am getting Bad authentication error*. Retrieved January 05, 2022 from <https://github.com/NoMore201/googleplay-api/issues/140#issuecomment-808863067>
- [15] oleavr. [n.d.]. *Dynamic instrumentation toolkit for developers, reverse-engineers, and security researchers*. Retrieved January 06, 2022 from <https://frida.re/>
- [16] P. Saint-Andre. 2004. *End-to-End Signing and Object Encryption for the Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP)*. Retrieved January 05, 2022 from <https://xmpp.org/rfcs/rfc3923.html>
- [17] Skylot. 2022. *jadx*. Retrieved January 06, 2022 from <https://github.com/skylot/jadx>
- [18] Kevin Smith and Lance Stout. 2020. *XEP-0357: Push Notifications*. Retrieved January 05, 2022 from <https://xmpp.org/extensions/xep-0357.html>
- [19] TheZ3ro. 2021. *googleplay-api*. Retrieved January 05, 2022 from <https://github.com/TheZ3ro/googleplay-api/tree/patch-1>
- [20] Marius (Team Cloud Infrastruktur von Cloudwuerdig). 2020. *SCHNELLER UND BESSERE APPS ENTWICKELN MIT FIREBASE*. Retrieved January 05, 2022 from <https://cloudwuerdig.com/schneller-und-bessere-apps-entwickeln-mit-firebase/>
- [21] XMPP. [n.d.]. *An Overview of XMPP*. Retrieved January 05, 2022 from <https://xmpp.org/about/technology-overview/>