

Rich Communication Services als Nachfolger der SMS

David Olbertz
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Sankt-Augustin, Germany
davidolbertz@gmail.com

Abstract—Der Abstract wurde noch nicht verfasst.

Index Terms—Diese, index, terms, existieren, noch, nicht

I. EINLEITUNG

Heutzutage ist das Smartphone ein wichtiger Bestandteil des Alltags. Es ermöglicht unter anderem die Kommunikation über große Distanzen hinweg, egal ob im privaten oder beruflichen Umfeld.

Zur Kommunikation existiert neben der Telefonie der altbekannte Short Message Service (SMS), welcher es ermöglicht, einfache Kurznachrichten zu versenden. Allerdings wird diese Kommunikationsmethode mittlerweile immer weniger genutzt und wurde größtenteils durch Over-the-Top Instant Messenger, welche deutlich mehr Funktionalitäten bieten, wie z.B. Gruppenchats und das Teilen von Medien. Zusätzlich sind Nachrichten meist Ende-zu-Ende-Verschlüsselt und das Senden ist gebührenfrei [1]. Dieser Trend bewog die GSM Association dazu, einen neuen moderneren Kommunikationsstandard zu entwickeln, welcher ähnliche Funktionen wie die Over-the-Top Instant Messenger bieten. Anders ist, dass es von Mobilfunkbetreibern anstatt von einem großen Unternehmen betrieben wird und dadurch auf fast allen Endgeräten verfügbar ist [2], [3].

Ziel dieser Seminararbeit ist, Rich Communication Services (RCS) als Nachfolger der SMS zu betrachten. Dazu werden zuerst die aktuell gängigen Technologien behandelt und anschließend auf RCS im Detail eingegangen. Neben der Definition und Funktionsweise werden auch weitere Aspekte, wie die Vor- und Nachteile der RCS, dargestellt. Dabei werden auch die Eigenschaften von RCS mit denen von SMS verglichen, wobei besonders in heutigen Zeiten die Sicherheit eine große Rolle spielt.

II. ENTWICKLUNG

A. Short Message Service

Der Short Message Service, kurz SMS, ist seit den späten 1990er Jahren im Einsatz [4]. Dafür wurde der Global System for Mobile Communications Standard etabliert, welcher von dem European Telecommunications Standards Institute entwickelt wurde [13]. SMS erlaubt es Nutzern mittels eines Mobiltelefons kurze Textnachrichten an andere Personen zu verschicken, unabhängig von der Distanz [4]. Die Nachrichten können standardmäßig in der 7-Bit-Kodierung eine Länge von 160 Zeichen haben. Das SMS Protokoll besteht aus 4

Schichten, die alle Informationen zum Versenden, wie unter anderem den Empfänger und der Nachrichteninhalte selbst, enthalten. Zu den Schichten gehört der Application Layer, Transfer Layer, Relay Layer und Link Layer [13].

Damit Nachrichten überhaupt über große Distanzen versendet und empfangen werden können, wird eine gewisse Infrastruktur für den Mobilfunk benötigt. Das Mobilfunknetz besteht aus Basisstationen, mit denen sich die Endgeräte drahtlos verbinden können, und aus Short Message Service Centers (SMSC), welche die versendeten Nachrichten an den korrekten Empfänger weiterleiten [4]. Falls der Empfänger aus irgendeinem Grund nicht erreichbar ist und die Nachricht nicht zugestellt werden kann, wird sie im SMSC temporär gespeichert. Sobald der Empfänger wieder erreichbar ist, wird die Nachricht endgültig zugestellt und aus dem SMSC gelöscht [13]. Während der Übermittlung der Nachricht ist der Bereich zwischen dem Endgerät und der Basisstation verschlüsselt, innerhalb des Mobilfunknetzes allerdings nicht mehr [4]. Es besteht also die Möglichkeit, dass der Mobilfunknetzbetreiber die Nachrichten auslesen kann.

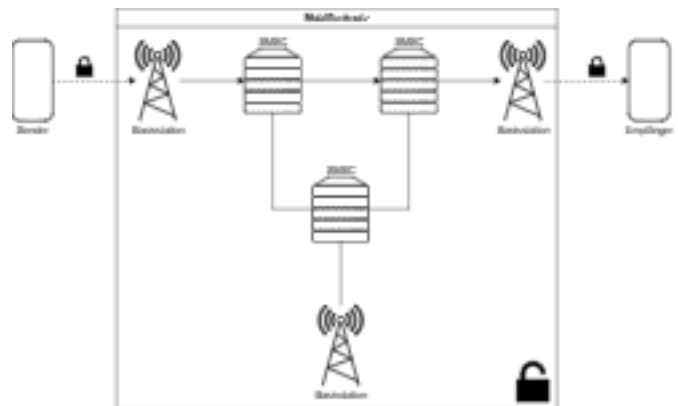


Fig. 1. Beispiel Mobilfunknetz

External Short Message Entities (ESME) sind ebenfalls Bestandteil des Netzes und werden meist von Unternehmen genutzt. Verwendungszweck dafür ist das Senden und Empfangen einer großen Menge an Nachrichten. Dies wird z.B. für das Versenden von One-Time-Passworts oder Notfallmeldungen genutzt. ESMEs fungieren also als Schnittstelle und erlauben so einen direkten Zugriff auf die SMSCs oder verkaufen den Zugriff an Dritte weiter. Es existieren zum Beispiel Systeme,

die einzelne Telefonnummern auf einer Website öffentlich zugänglich machen, damit Nutzer ohne Angabe persönlicher Daten darüber Nachrichten empfangen kann. Das wird teilweise noch weiter getrieben, sodass es Dienste gibt, bei denen man ganz einfach an Telefonnummern kommt, mit denen auch Nachrichten versendet werden können. Da hier wieder keine Angaben persönlicher Daten notwendig sind, werden solche Nummern oft für Betrugszwecke ausgenutzt. Nicht zuletzt sollte aus Sicht des Datenschutzes beachtet werden, dass die gesendeten und empfangenen Nachrichten eventuell für längere Zeit von ESMEs gespeichert werden [4].

...

SIM Swap Attack: Der Angreifer kann sich bei dem Mobilfunkanbieter melden und sich als das Opfer ausgeben. Er kann behaupten, seine SIM Karte verloren zu haben, um eine Ersatz-SIM zu erhalten. So kann er dann die SMS Nachrichten abfangen und zum Beispiel an One-Time-Passwörter gelangen, um sich in Accounts des Opfers einzuloggen [4].

B. Over-the-Top Instant Messenger

- jeder Nutzer muss Client installieren

[2]

...

Ein populäres Beispiel für einen OTT Messenger ist WhatsApp. WhatsApp wurde ursprünglich 2009 als eigenständiges Unternehmen gegründet und ist seit 2014 Teil von Meta Platforms Inc [5]. Früher war die Nutzung des Dienstes mit einem kostenpflichtigen Abo verbunden, ist allerdings mittlerweile vollständig kostenlos nutzbar [6].

Der WhatsApp Messenger bietet zahlreiche Funktionen an, die über einfache Textnachrichten hinaus gehen. Es ist möglich, verschiedene Arten von Medien zu versenden, wie unter anderem Fotos, Videos, Audio und Dokumente. Weitere Nachrichtentypen, wie Live-Standort und Kontaktdaten sind ebenfalls vorhanden. Auf Nachrichten kann mit Emojis reagiert werden. Für sensiblere Nachrichten gibt es die Möglichkeit, selbstlöschende Nachrichten zu aktivieren, welche nach einer voreingestellten Zeit oder nach einmaligem anschauen automatisch gelöscht werden [7]. Damit die Sicherheit und Privatsphäre der Nutzer gewährleistet sind, sind alle Nachrichten Ende-zu-Ende-Verschlüsselt und können nur auf den entsprechenden Endgeräten der Nutzer entschlüsselt werden. Der komplette Nachrichtenverkehr wird über die WhatsApp-Server abgewickelt [8]. Gruppenchats erlauben die Kommunikation mit mehreren Personen gleichzeitig. Die Telefonie-Funktion beinhaltet den Videoanruf, welcher Live-Videos von den teilnehmenden Personen übertragen. Während dem Anruf kann man weiterhin auf die Chats zurückgehen und wie gewohnt parallel nutzen [7]. Wer WhatsApp gerade nicht auf einem mobilen Endgerät nutzen möchte, kann auf WhatsApp Web oder WhatsApp Desktop ausweichen, um den Dienst auch auf anderen Plattformen wie Desktop-PCs zu nutzen. Die Verknüpfung des Accounts findet über das Scannen eines QR-Codes statt [7], [8].

Mit WhatsApp Business ist es möglich, dass Nutzer mit Unternehmen kommunizieren können. Dies kann für z.B.

Support, aber auch automatisierte Chatbots genutzt werden. Allerdings muss bedacht werden, dass nicht alle Unternehmen direkt über WhatsApp Business kommunizieren, sondern mittels eines Dienstes Dritter über die WhatsApp API. Dadurch ist die Ende-zu-Ende-Verschlüsselung nicht mehr vollständig gewährleistet [8].

III. RICH COMMUNICATION SERVICES

A. Definition

Seit dem Aufstieg von OTT sinkt die Nutzung von klassischen Kommunikationsarten wie SMS. Laut einer Statistik der Bundesnetzagentur ist die Nutzung von SMS im Jahr 2015 bereits um 41 % gesunken [1]. 2008 veröffentlichte die "Groupe Speciale Mobile Association" (GSMA) die erste Version des Universal Profiles, welche die Funktionen der Rich Communication Services (RCS) definiert [9]. Zu den Grundideen gehört unter anderem die Verknüpfung verschiedener Dienste, wie das Nachrichtenschreiben, die Kontakte-App und die Kontakte-App. Außerdem sollen die Funktionen nativ im Betriebssystem implementiert sein. Für die Implementierung sind die Entwickler des Betriebssystems bzw. der Gerätehersteller zuständig. Beispiel dafür ist die Android-Implementierung in Google Messages [10]. Seit 2024 ist RCS auch auf iOS-Geräten über iMessage verfügbar [11]. Alternativ gibt es die Möglichkeit, RCS-Funktionalität durch das Installieren einer dafür entwickelten App zu erhalten [3].

B. Funktionen

Die Funktionen von RCS sind grundsätzlich in drei Kategorien eingeteilt: "Enriched Messaging", "Enriched Calling" und "Enriched Phonebook" [3], [9].

Beim "Enriched Messaging" gibt es das klassische "1-to-1 Messaging", sprich den Nachrichtenaustausch zwischen zwei Personen, wie man es auch von SMS kennt. Dazu kommt die Möglichkeit, in Gruppenchats mit mehreren Personen gleichzeitig miteinander zu kommunizieren. Innerhalb der Chats ist es möglich, Dateien zu versenden. Dabei kann jeder Dateityp verschickt werden. Bestimmte Dateiformate werden im Chat besonders dargestellt, wie z.B. der Standort mit Kartenvorschau, direkt im Chat abspielbare Audio-Dateien und animierte GIFs. Bilder und Videos werden ebenfalls gesondert abgebildet. Nach dem Senden von Dateien kann deren Übermittlungsstatus eingesehen werden. Dadurch kann geprüft werden, ob eine Datei korrekt versendet wurde oder ob der Transfer noch aussteht oder sogar fehlgeschlagen ist. Für eine persönlichere Kommunikation können Nutzer, anstatt Textnachrichten zu schreiben, auch Sprachnachrichten direkt in der App aufnehmen und verschicken. Ebenso ist es möglich, den aktuellen Standort mit anderen zu teilen. Bei jeder verschickten Nachricht kann der Absender sehen, ob diese angekommen ist und bereits vom Empfänger gelesen wurde. Außerdem sieht der Chatteilnehmer in Echtzeit, wenn der Gesprächspartner gerade eine Nachricht am Eintippen ist.

Mit "Enriched Calling" kann man während einem Anruf unter anderem einen Dateitransfer durchführen. Dies

ermöglicht Videoanrufe, bei denen die Teilnehmer live die Aufnahme ihrer Kamera teilen können [3].

Die Idee beim "Enriched Phonebook" war, dass Nutzer sich ihr eigenes Profil einrichten können, welches er mit Informationen über sich selbst füllen kann. Dazu würden zum Beispiel Name, Profilbild oder auch eine kurze Statusmeldung gehören. Das Profil wäre für seine Kontakte sichtbar. Allerdings ist das Enriched Phonebook aktuell nicht Teil des Universal Profiles der GSMA [3], [9].

RCS bietet auch kommerzielle Funktionen, die an Unternehmen gerichtet sind. Anstatt nur mit Personen zu interagieren, existiert die Möglichkeit, mit Diensten zu kommunizieren. Dazu gehören Chatbots, wie z.B. die Integration von Gemini in Google Messages [12], Chats zum Empfangen von 2FA-Codes oder auch Support. Diese Unternehmenskontakte beinhalten in deren Profil zusätzlich Informationen zum Chatbot bzw. zum Unternehmen [3].

C. Technik

Damit möglichst alle Funktionen von RCS reibungslos funktionieren, müssen sich die Mobilfunk-Operatoren auf eine gängige Implementierung einigen. Um dies zu erreichen haben sich 2011 mehrere große Unternehmen, darunter die Deutsche Telekom, Telefonica und Vodafone angekündigt, einen Zusammenschluss zu bilden und eine gemeinsame RCS-Implementierung, auch RCS-e (Rich Communication Services enhanced) genannt, zu definieren [2].

Da aber trotz solchen Maßnahmen immer noch Implementierungsverschiedenheiten existieren können, existiert die "Capability Discovery"-Funktion. Sie dient dazu, den Clients zu zeigen, welche RCS-Funktionen verfügbar sind. Damit eine Funktion verfügbar ist, muss sie bei beiden Clients implementiert sein bzw. vom Mobilfunkanbieter unterstützt werden. Falls die Funktionen verfügbar sind, werden sie automatisch aktiviert. Falls dies nicht der Fall sein sollte, wird dem Nutzer angeboten, seine Nachricht alternativ als SMS zu verschicken [3]. Dabei entscheidet der "Unified Composer", ob die Nachricht als SMS oder MMS (bei Mediendateien) verschickt werden muss [9].

- über 4G / 5G / WiFi
- Authentifizierung mit One-Time-Password OTP und IMSI (International Mobile Subscriber Identity)
- IMSI ist eine private ID auf der SIM
- OTP zur Verifizierung wird unsichtbar als SMS verschickt und automatisch vom System geladen
- Keyserver für den Schlüsselaustausch der Ende-zu-Ende-Verschlüsselung
- Media Server für das Zwischenspeichern der verschickten Dateien

[15]

D. Sicherheit

Um sich bei RCS zu authentifizieren, gibt es je nach Plattform unterschiedliche Methoden. Auf mobilen Endgeräten wird meist die SIM-basierte Authentifizierung genutzt, sprich eine Anmeldung über die Telefonnummer. Auf anderen

Geräten ohne SIM Karte werden andere Möglichkeiten für die Anmeldung genutzt, wie z.B. der Login mit Nutzernamen und Passwort oder die Verknüpfung mit dem mobilen Endgerät über das Einscannen eines QR-Codes [3].

...

Alle Nachrichten sind während der Übertragung durch gängige Protokolle, wie TLS und IPSec, verschlüsselt [3]. Falls beide Nutzer Google Messages verwenden, sind die Nachrichten zusätzlich Ende-zu-Ende-Verschlüsselt. Diese Funktion funktioniert allerdings auch nur in diesem Fall, da die GSMA keine offizielle Implementierung definiert hat. Dadurch ist dies nicht plattformübergreifend verfügbar [14].

IV. VORTEILE VON RCS

Rich Communication Services bieten zahlreiche Vorteile, die es von herkömmlichen SMS-Diensten und teilweise auch OTT Messengern abheben.

Um einen Instant Messenger wie z.B. WhatsApp zu nutzen, muss zuerst der entsprechende Client in Form einer App heruntergeladen und auf dem Gerät installiert werden. Zusätzlich ist noch eine Einrichtung der App erforderlich, um sie auch nutzen zu können [2], [15].

Im Gegensatz dazu muss für die Nutzung von RCS nicht viel vom Nutzer selbst getan werden, da es direkt im Betriebssystem integriert ist. Solange es unterstützt wird, wird RCS automatisch im Hintergrund konfiguriert. Der Nutzer kann direkt die Standard-Nachrichten-App des Betriebssystems öffnen und Nachrichten schreiben (solange der Gesprächspartner ebenfalls RCS unterstützt) [2], [15].

Während das Versenden einer SMS meist eine kleine Gebühr kostet (0,09 €, Telekom MagentaMobil Prepaid [16]), fallen bei RCS keine Zusatzkosten an (0,00 €, Telekom MagentaMobil Prepaid [17]).

Des Weiteren ist es möglich, RCS nicht nur auf einem Mobilgerät zu verwenden, wie es bei SMS der Fall ist. Aufgrund der Multi-Plattform-Funktionalität kann der Dienst auch über mehrere Geräte mit unterschiedlichen Plattformen genutzt werden, welche unter Umständen keine SIM Karte besitzen und nur über WiFi kommunizieren. So ist die Nutzung beispielsweise auch auf Laptops oder Tablets gewährleistet [2], [3].

Darüber hinaus verfügt RCS über viele moderne Funktionen, die man aus OTT Messengern kennt, wie zum Beispiel das Versenden von Dateien oder dem Standort [3], [7].

Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, Nachrichten nicht nur über das mobile Netz (4G / 5G) zu verschicken, sondern auch über WiFi [15]. Dadurch kann an einem Ort, der zwar keinen Empfang hat, aber einen WiFi-Hotspot anbietet, weiterhin der Dienst genutzt werden. Außerdem existiert für Nachrichten keine strikte Längenbegrenzung wie bei SMS, wodurch längere Texte problemlos verschickt werden können.

...

- bei Dual-SIM ist RCS mit beiden Karten gleichzeitig möglich

[3]

V. SCHWÄCHEN VON RCS

Trotz aller Vorteile und modernen Funktionen gibt es auch einige Schwächen, die bei RCS berücksichtigt werden sollten.

Da RCS im Gegensatz zu SMS über das Internet läuft, können keine Nachrichten im Hintergrund empfangen werden, wenn man an seinem Gerät Internet komplett ausgeschaltet hat.

Damit die Kommunikation auch über Ländergrenzen hinweg nahtlos funktionieren kann, müssen alle Mobilfunkanbieter zusammenarbeiten. Funktionen von RCS sind nur verfügbar, wenn sie bei allen Kontaktteilnehmern unterstützt werden. Dafür braucht es idealerweise eine standardisierte Implementierung von RCS. Ebenfalls müssen die Hersteller von Mobilgeräten zusammenarbeiten, diese Implementierung umzusetzen und die Verbreitung von RCS voranzutreiben [2].

• • •

Dadurch, dass die Authentifizierung bei RCS SIM-basiert stattfindet, kann die klassische "SIM Swap"-Attacke auch hier weiterhin ausgenutzt werden [4].

Obwohl zur Authentifizierung bei RCS eine Kombination aus der privaten International Mobile Subscriber Identity (IMSI) und einem One-Time-Password (OTT) genutzt wird, ist diese Methode nicht vollständig vor Angriffen geschützt. Angreifer können sich mittels einer Spoofing Attacke als einen anderen Nutzer ausgeben und deren RCS Account kompromittieren, unabhängig davon, ob die Opfer 4G, 5G oder WiFi nutzen. Handymodell und Betriebssystem des Geräts sind ebenfalls für die Attacke irrelevant. Das Hauptproblem bei dieser Authentifizierungsmethode ist, dass viele Mobilfunkanbieter nicht die komplette IMSI zum Authentifizieren nutzen, sondern nur einen kleinen Teil. Dieser Teil ist allerdings oft spezifisch zum Mobilfunkanbieter und kann über die Telefonnummer des Opfers leicht ermittelt werden. Zusätzlich können OTTs über eine mit Schadcode versetzten App abgefangen werden. Das OTT wird beim Authentifizieren bei RCS als unsichtbare SMS dem Opfer zugeschickt. Die App kann diese abgreifen und dem Angreifer übermitteln, ohne dass das Opfer was davon mitbekommt. Nachdem sowohl IMSI als auch OTT ermittelt wurden, kann sich der Angreifer per Spoofing als das Opfer ausgeben und sich bei RCS anmelden [15].

An sich stellt die Ende-zu-Ende-Verschlüsselung kein Hindernis bei der Initiierung einer Chat-Sitzung dar, aber es existiert auch eine Möglichkeit, diese auszuschalten. Diese Methode ist unter der Bezeichnung der "Downgrade" Attacke bekannt. Bei dieser gibt der Angreifer vor, die Ende-zu-Ende-Verschlüsselung nicht zu unterstützen. Wenn eine RCS-Funktion nicht bei beiden Geräten verfügbar ist, ist sie nicht nutzbar. Aus diesem Grund wird dann automatisch die Ende-zu-Ende-Verschlüsselung deaktiviert und der Angreifer kann die unverschlüsselten Nachrichten abfangen [15].

Eine weitere, komplexere Methode ermöglicht es, den Schlüssel für die Verschlüsselung über den Key Server auszutauschen. Dadurch wird der Chat des Opfers weiterhin als sicher und verschlüsselt angezeigt. Der Angreifer kann sich so komplett unbemerkt für den anderen Teilnehmer ausgeben [15].

Die modernen Chat-Funktionen können ebenfalls von Angreifern genutzt werden. Wenn sich der Angreifer als Chatteilnehmer ausgibt, kann er die andere Person dazu überreden, ihren Standort zu teilen, um z.B. den Wohnort des Opfers herauszufinden. Beim File Sharing Spam wird das Versenden von Dateien dafür ausgenutzt, konstant große Dateien zu verschicken. Der Empfänger-Client wird automatisch versuchen, alle parallel herunterzuladen, wodurch das Gerät eventuell überladen wird [15].

VI. FAZIT

...

REFERENCES

- [1] N. Wellmann, "Are OTT messaging and mobile telecommunication an interrelated market? An empirical analysis", *Telecommun. Policy*, Bd. 43, Nr. 9, Oktober 2019, doi: 10.1016/j.telpol.2019.101831.
- [2] M. Lin und J. Arenzana Arias, "Rich Communication Suite: The challenge and opportunity for MNOs", in 2011 15th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks, Okt. 2011, S. 187–190. doi: 10.1109/ICIN.2011.6081071.
- [3] GSMA, "RCS Universal Profile Service Definition Document". Zugegriffen: 06.11.2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/networks/wp-content/uploads/2019/10/RCC.71-v2.4.pdf>
- [4] B. Reaves, N. Scaife, D. Tian, L. Blue, P. Traynor, und K. R. B. Butler, "Sending Out an SMS: Characterizing the Security of the SMS Ecosystem with Public Gateways", in 2016 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), Mai 2016, S. 339–356. doi: 10.1109/SP.2016.28.
- [5] "Danke für 10 Jahre", WhatsApp.com. Zugegriffen: 4. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://blog.whatsapp.com/thank-you-for-10-years>
- [6] "WhatsApp kostenlos und nützlicher machen", WhatsApp.com. Zugegriffen: 4. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://blog.whatsapp.com/making-whats-app-free-and-more-useful>
- [7] "WhatsApp-Hilfebereich". Zugegriffen: 4. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://faq.whatsapp.com/>
- [8] WhatsApp, "WhatsApp Encryption Overview Technical White Paper". Zugegriffen: 4. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://faq.whatsapp.com/820124435853543#nachrichtenaustausch-mit-unternehmen>
- [9] K. Henry, Q. Liu, und S. Pasquereau, "Rich Communication Suite", in 2009 13th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks, Okt. 2009, S. 1–6. doi: 10.1109/ICIN.2009.5357089.
- [10] "RCS-Chats" in Google Messages aktivieren - Google Messages". Zugegriffen: 16. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://support.google.com/messages/answer/7189714?sjid=17429263824577998783-EU&hl=de>
- [11] "Was ist der Unterschied zwischen iMessage, RCS und SMS/MMS? - Apple Support (DE)", Apple Support. Zugegriffen: 16. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://support.apple.com/de-de/104972>
- [12] "Gemini in Google Messages verwenden - Google Messages". Zugegriffen: 16. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://support.google.com/messages/answer/14599070?hl=de>
- [13] J. Brown, B. Shipman, und R. Vetter, "SMS: The Short Message Service", *Computer*, Bd. 40, Nr. 12, S. 106–110, Dez. 2007, doi: 10.1109/MC.2007.440.
- [14] "So schützen wir die Vertraulichkeit von RCS-Chats - Google Messages". Zugegriffen: 23. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://support.google.com/messages/answer/9592174?sjid=2530033474497695451-EU&hl=de#zippy=%2Cchow-we-protect-your-data%2Cso-sch%2C3%2Bctzen-wir-ihre-daten>
- [15] J. Zhao, Q. Li, Z. Yuan, Z. Zhang, und S. Lu, "5G Messaging: System Insecurity and Defenses", in 2022 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS), Okt. 2022, S. 37–45. doi: 10.1109/CNS56114.2022.9947238.
- [16] "Preisliste MagentaMobil Prepaid". Zugegriffen: 29. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.telekom.de/dlp/agb/pdf/52943.pdf>

- [17] "Preisliste Zubuchoptionen Prepaid". Zugegriffen: 29. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.telekom.de/dlp/agb/pdf/53209.pdf>