iOS-Sicherheit

iOS 12.3

Mai 2019

Inhalt

Einleitung

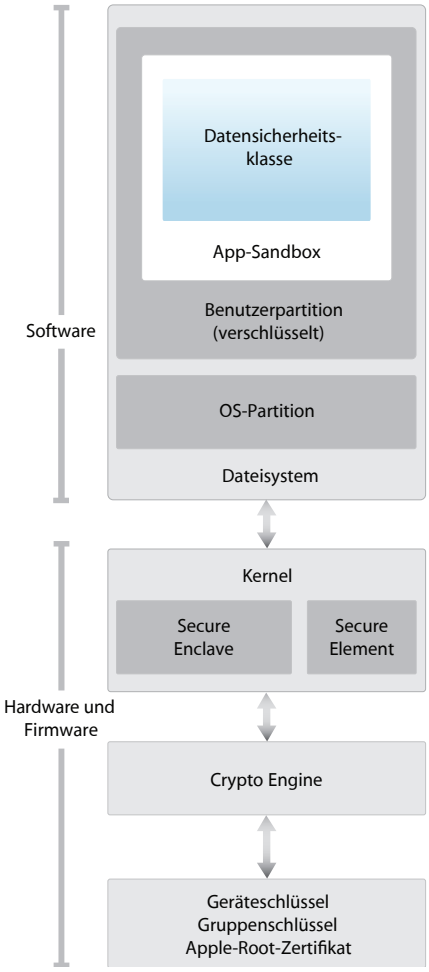


Diagramm der Sicherheitsarchitektur von iOS mit einem grafischen Überblick über die verschiedenen Technologien, auf die in diesem Dokument näher eingegangen wird

Apple hat bei der Entwicklung der iOS-Plattform die Sicherheit in den Mittelpunkt gestellt. Dank jahrzehntelanger Erfahrung konnten wir eine völlig neue Architektur entwickeln, um die beste mobile Plattform aller Zeiten zu erstellen. Wir haben dabei auch an die Sicherheitsrisiken der Desktopumgebung gedacht und uns bei iOS für ein vollkommen neues Sicherheitskonzept entschieden. Wir haben innovative Funktionen entwickelt und eingebaut, mit denen die mobile Sicherheit optimiert und das gesamte System standardmäßig geschützt ist. iOS ist deshalb ein großer Entwicklungssprung für die Sicherheit bei Mobilgeräten.

Alle iOS-Geräte verbinden Software, Hardware und Dienste, die gezielt für die Zusammenarbeit entwickelt wurden und so maximale Sicherheit und eine transparente Benutzererfahrung bieten. iOS schützt nicht nur das Gerät und die gespeicherten Daten, sondern das gesamte Ökosystem, also alles, was Benutzer lokal, in Netzwerken und mit wichtigen Internetdiensten machen.

iOS und iOS-Geräte bieten modernste Sicherheitsfunktionen, die außerdem sehr benutzerfreundlich sind. Viele dieser Funktionen sind standardmäßig aktiviert, sodass IT-Abteilungen keine umfangreiche Konfiguration durchführen müssen. Zentrale Sicherheitsfunktionen, z. B. die Geräteverschlüsselung, können nicht konfiguriert werden, sodass Benutzer sie nicht versehentlich deaktivieren können. Andere Funktionen wie Face ID optimieren die Benutzererfahrung, da das Gerät hiermit einfacher und noch intuitiver genutzt werden kann.

Dieses Dokument enthält ausführliche Informationen darüber, wie unsere Sicherheitstechnik und -funktionen in der iOS-Plattform implementiert sind. Darüber hinaus hilft das Dokument Organisationen dabei, die Sicherheitstechniken und -funktionen der iOS-Plattform mit ihren eigenen Richtlinien und Verfahren zu kombinieren, damit ihre spezifischen Sicherheitsanforderungen erfüllt werden.

Das Dokument ist in die folgenden Themenbereiche unterteilt:

- **Systemsicherheit:** Die integrierte und sichere Software und Hardware, die die Plattform von iPhone, iPad und iPod touch bilden
- **Verschlüsselung und Datensicherheit:** Architektur und Design, die Benutzerdaten schützen, falls das Gerät verloren oder gestohlen wird oder unbefugte Personen versuchen, es zu verwenden oder zu modifizieren
- **Sicherheit in Apps:** Systeme, die dafür sorgen, dass Apps sicher und ohne Gefährdung der Plattformintegrität ausgeführt werden können
- **Netzwerksicherheit:** Netzwerkprotokolle nach Industriestandards, die eine sichere Authentifizierung und die Verschlüsselung von Daten bei der Übertragung ermöglichen
- **Apple Pay:** Implementierung sicherer Zahlungen durch Apple
- **Internetdienste:** Netzwerkbasierte Infrastruktur von Apple für Nachrichten, Synchronisation und Backup
- **Verwaltung von Benutzerpasswörtern:** Passworteinschränkungen und Zugriff auf Passwörter von anderen autorisierten Quellen
- **Gerätesteuerungen:** Methoden, die die Verwaltung von iOS-Geräten erlauben, eine unbefugte Verwendung der Geräte verhindern und das Fernlöschen ermöglichen, falls das Gerät verloren oder gestohlen wurde
- **Datenschutzeinstellungen:** Möglichkeiten von iOS zum Steuern des Zugriffs auf Ortungsdienste und Benutzerdaten
- **Sicherheitszertifizierungen und -programme:** Informationen über ISO-Zertifizierungen, Kryptografische Validierung, Zertifizierung nach Common Criteria und Commercial Solutions for Classified (CSfC)

Systemsicherheit

Die Systemsicherheit wurde so konzipiert, dass alle Kernkomponenten, sowohl Software als auch Hardware aller iOS-Geräte, sicher sind. Dazu gehören der Startvorgang, Softwareaktualisierungen und die Architektur „Secure Enclave". Diese Architektur ist von zentraler Bedeutung für die Sicherheit in iOS, ohne dabei die Benutzerfreundlichkeit zu beeinträchtigen.

Die enge Integration von Hardware, Software und Diensten auf iOS-Geräten sorgt dafür, dass alle Systemkomponenten vertrauenswürdig sind und dass das System als Ganzes validiert wird. Vom ersten Systemstart über die Softwareaktualisierungen für iOS bis zu Apps anderer Anbieter wird jeder einzelne Schritt analysiert und sehr genau geprüft, damit Hardware und Software perfekt zusammenarbeiten und die verfügbaren Ressourcen optimal genutzt werden.

Sicherer Startvorgang

Jeder einzelne Schritt des Startvorgangs enthält kryptografisch von Apple signierte Komponenten, um die Integrität zu gewährleisten. Erst nach Verifizierung der „Chain of Trust" wird mit dem nächsten Schritt fortgefahren. Zu den signierten Komponenten gehören Bootloader, Kernel, Kernel-Erweiterungen und Baseband-Firmware. Dieser sichere Startvorgang sorgt dafür, dass die unteren Software-Ebenen nicht unbefugt manipuliert werden können.

Wenn ein iOS-Gerät eingeschaltet wird, führt der Anwendungsprozessor sofort Code aus dem Festspeicher, **Boot-ROM** genannt, aus. Dieser unveränderliche Code, Hardware-Vertrauensanker genannt, wird bei der Herstellung des Chips festgelegt und ist implizit vertrauenswürdig. Der Boot-ROM-Code enthält den öffentlichen Schlüssel der Apple-Root-Zertifizierungsstelle, mit dem überprüft wird, ob der **iBoot**-Bootloader von Apple signiert wurde, bevor er geladen werden darf. Das ist der erste Schritt in der Chain of Trust, bei der jeder Schritt überprüft, ob der nächste Schritt von Apple signiert wurde. Bei Beendigung seiner Aufgaben prüft und führt iBoot den iOS-Kernel aus. Bei Geräten mit einem Prozessor der Reihe A9 oder einer früheren A-Reihe lädt und prüft der Boot-ROM einen zusätzlichen **Low-Level-Bootloader (LLB)**, der wiederum iBoot lädt und überprüft.

Ein Fehler beim Laden oder Überprüfen der folgenden Angaben wird abhängig von der Hardware unterschiedlich gehandhabt:

- **Boot-ROM kann LLB nicht laden (ältere Geräte):** DFU-Modus
- **LLB oder iBoot:** Wiederherstellungsmodus

In beiden Fällen muss das Gerät per USB mit iTunes verbunden und auf die Werksvoreinstellungen zurückgesetzt werden.

Das **Boot Progress Register (BPR)** wird von der Secure Enclave verwendet, um den Zugriff auf Benutzerdaten in verschiedenen Modi einzuschränken; es wird aktualisiert, bevor die folgenden Modi aktiviert werden:

- **DFU-Modus:** Vom Boot-ROM auf Geräten mit einem A12 SoC festgelegt
- **Wiederherstellungsmodus:** Von iBoot auf Geräten mit Apple-Prozessoren der Reihe Apple A10, Apple S2 und neueren **System on Chip (SoCs)** festgelegt

Weitere Informationen dazu sind im Abschnitt „Verschlüsselung und Datensicherheit" in diesem Dokument zu finden.

Bei Geräten mit Zugriff auf das Mobilfunknetz verwendet das Baseband-Subsystem einen ähnlichen Prozess für sicheres Booten mit signierter Software und Schlüsseln, die vom Baseband-Prozessor überprüft wurden.

Der „Secure Enclave"-Coprozessor nutzt ebenfalls einen sicheren Startvorgang, um zu überprüfen, ob seine Software von Apple überprüft und signiert wurde. Näheres enthält der Abschnitt „Secure Enclave" in diesem Dokument.

Weitere Informationen zum manuellen Aufrufen des Wiederherstellungsmodus unter: https://support.apple.com/HT201263

Autorisierung der Systemsoftware

Apple veröffentlicht in regelmäßigen Abständen Softwareaktualisierungen, die neu auftretende Sicherheitsbedenken behandeln oder neue Funktionen enthalten. Diese Aktualisierungen werden gleichzeitig für alle unterstützten Geräte bereitgestellt. Benutzer erhalten auf ihrem iOS-Gerät und über iTunes eine Mitteilung zu der iOS-Aktualisierung. Die Aktualisierungen werden drahtlos bereitgestellt, um Sicherheitslücken so schnell wie möglich schließen zu können.

Der zuvor beschriebene Startvorgang sorgt mit dafür, dass nur von Apple signierter Code auf den Geräten installiert werden kann. Damit Geräte nicht auf alte Betriebssystemversionen ohne neuere Sicherheitsaktualisierungen zurückgesetzt werden können, verwendet iOS einen Prozess namens Systemsoftwareautorisierung. Wenn iOS auf eine ältere Version zurückgesetzt werden könnte, könnte ein Angreifer, der in den Besitz eines iOS-Geräts gelangt, es auf eine ältere Version von iOS zurücksetzen und Sicherheitslücken ausnutzen, die in neueren Versionen geschlossen wurden.

Bei Geräten mit Secure Enclave nutzt der „Secure Enclave"-Coprozessor ebenfalls die Autorisierung der Systemsoftware, um die Herkunft und Unverfälschtheit der Software sicherzustellen und die Installation eines älteren Betriebssystems zu verhindern. Informationen hierzu sind im Abschnitt „Secure Enclave" in diesem Dokument zu finden.

iOS-Softwareaktualisierungen können über iTunes oder drahtlos „Over The Air" (OTA) auf dem Gerät installiert werden. Über iTunes wird eine vollständige Kopie von iOS geladen und installiert. OTA-Softwareaktualisierungen laden anstelle des vollständigen Betriebssystems nur die für die Aktualisierungen benötigten Komponenten, wodurch die Netzwerkeffizienz verbessert wird. Außerdem können Softwareaktualisierungen auf einem Mac mit macOS High Sierra und aktiviertem Inhaltscaching zwischengespeichert werden, damit iOS-Geräte die erforderliche Aktualisierung nicht erneut über das Internet laden müssen. Sie müssen allerdings immer noch eine Verbindung zu Apple-Servern herstellen, um den Aktualisierungsprozess abzuschließen.

Bei der Aktualisierung von iOS stellt iTunes (bzw. bei einer OTA-Softwareaktualisierung das Gerät selbst) eine Verbindung mit dem Apple-Server für die Installationsautorisierung her und sendet eine Liste kryptografischer Kennzahlen für jeden Teil des Installationspakets, der installiert werden soll (z. B. iBoot, der Kernel und das OS-Image), einen Anti-Replay-Zufallswert (Nonce) und die **eindeutige Kennung des Geräts (ECID)**.

Der Autorisierungsserver vergleicht die Liste der Kennzahlen mit den Versionen, deren Installation erlaubt ist, und fügt bei einem Treffer die ECID zu den Kennzahlen hinzu und signiert das Ergebnis. Der Server überträgt beim Aktualisierungsvorgang einen kompletten signierten Datensatz an das Gerät. Mit der hinzugefügten ECID wird die Autorisierung für das anfragende Gerät „personalisiert". Indem nur bekannte Kennzahlen autorisiert und signiert werden, stellt der Server sicher, dass die Aktualisierung genau wie von Apple bereitgestellt durchgeführt wird.

Die „Chain-of-Trust"-Evaluierung beim Start überprüft, ob die Signatur von Apple stammt und ob die Kennzahl des von der Festplatte geladenen Objekts in Kombination mit der ECID des Geräts von der Signatur abgedeckt wird. Mit diesen Schritten wird sichergestellt, dass die Autorisierung gerätespezifisch ist und dass keine alte iOS-Version von einem Gerät auf ein anderes kopiert werden kann. Die Nonce verhindert, dass ein Angreifer die Antwort des Servers sichern und sie dafür verwenden kann, ein Gerät zu manipulieren oder die Systemsoftware anderweitig zu verändern.

Secure Enclave

Die Secure Enclave ist ein Coprozessor, der innerhalb des System on Chip (SoC) integriert ist. Sie nutzt einen verschlüsselten Speicher und verfügt über einen Hardwarezufallsgenerator. Die Secure Enclave stellt sämtliche Verfahren für die Schlüsselverwaltung zur **Datensicherheit** bereit und garantiert auch dann den Schutz der Daten, wenn der Kernel beeinträchtigt wurde. Die Kommunikation zwischen der Secure Enclave und dem Anwendungsprozessor findet isoliert in einem Interrupt-gesteuerten Postfach und Shared-Memory-Datenpuffern statt.

Die Secure Enclave umfasst einen dedizierten Secure Enclave Boot-ROM. Ähnlich wie der Boot-ROM des Anwendungsprozessors ist auch der Boot-ROM der Secure Enclave unveränderlicher Code, der den Hardware-Vertrauensanker für die Secure Enclave einrichtet.

Die Secure Enclave führt ein Secure Enclave OS aus, das auf einer Apple-spezifischen Version des L4-Mikrokernels basiert. Dieses Secure Enclave OS wird von Apple signiert, vom Secure Enclave Boot-ROM verifiziert und über einen personalisierten Softwareaktualisierungsprozess aktualisiert.

Wenn das Gerät startet, wird ein temporärer Speicherschutzschlüssel vom Secure Enclave Boot-ROM erstellt, der mit der UID des Geräts verknüpft ist und verwendet wird, um den Teil des Speicherplatzes des Geräts für die Secure Enclave zu verschlüsseln. Der Speicher der Secure Enclave wird auch mit dem Speicherschutzschlüssel authentifiziert; ausgenommen hiervon ist der Apple A7-Prozessor. Beim A11-Prozessor (und neuer) und S4-SOCs wird eine Integritätsstruktur verwendet, um ein Replay des sicherheitskritischen Secure Enclave-Speichers zu verhindern, die durch den Speicherschutzschlüssel und die Nonces authentifiziert wird, die im SRAM auf dem Chip gespeichert sind.

Von der Secure Enclave im Dateisystem gespeicherte Daten werden mit einem Schlüssel verschlüsselt, der mit der UID und einem Anti-Replay-Zähler verknüpft ist. Der Anti-Replay-Zähler wird in einem **integrierten Schaltkreis (IC)** des dedizierten nicht flüchtigen Speichers gespeichert.

Auf Geräten mit A12- und S4-SoCs wird die Secure Enclave mit einem integrierten Schaltkreis (IC) zur sicheren Speicherung gekoppelt, um den Anti-Replay-Zähler zuverlässig zu schützen. Dieser Secure-Storage-IC wird mit unveränderlichem ROM-Code, einem Hardwarezufallszahlengenerator, Cryptography Engines und Schutz vor physischer Manipulation ausgestattet. Um Zähler lesen und aktualisieren zu können, nutzen die Secure Enclave und der Storage-IC ein sicheres Protokoll, das für den exklusiven Zugriff auf die Zähler sorgt.

Anti-Replay-Dienste in Secure Enclave werden verwendet, um Daten über Ereignisse zu widerrufen, die Anti-Replay-Grenzen markieren. Dazu gehören unter anderem:

- Code ändern
- Touch ID oder Face ID aktivieren/deaktivieren
- Touch ID-Fingerabdruck hinzufügen/löschen
- Face ID zurücksetzen
- Apple Pay-Karte hinzufügen/entfernen
- Inhalte & Einstellungen löschen

Die Secure Enclave ist auch zuständig für die Verarbeitung des Fingerabdrucks und der Gesichtsdaten der Touch ID- und Face ID-Sensoren. Sie bestimmt, ob es eine Übereinstimmung gibt, und ermöglicht anschließend den Zugriff oder Kauf im Namen des Benutzers.

OS-Integritätsschutz

Kernel-Integritätsschutz

Nachdem der iOS-Kernel die Initialisierung abgeschlossen hat, wird der Kernel-Integritätsschutz (KIP) aktiviert, um Veränderungen des Kernel und des Treibercodes zu verhindern. Der **Speichercontroller** stellt eine geschützte Region im physischen Speicher bereit, die von **iBoot** zum Laden von Kernel und Kernel-Erweiterungen verwendet wird. Nach dem Startprozess blockiert der Speichercontroller Schreibzugriffe auf die geschützte Region im physischen Speicher. Darüber hinaus wird die MMU (Memory Management Unit) des Anwendungsprozessors so konfiguriert, dass das Mapping von privilegiertem Code vom physischen Speicher außerhalb der geschützten Speicherregion verhindert wird und dass schreibbare Mappings des physischen Speichers innerhalb der Kernel-Speicherregion verhindert werden.
Die zur Aktivierung des KIP verwendete Hardware wird nach Beendigung des Startprozesses gesperrt, um eine Neukonfiguration zu verhindern. KIP wird auf SoCs ab A10 und S4 unterstützt.

System-Coprozessor-Integritätsschutz

System-Coprozessoren sind CPUs, die sich auf demselben SoC wie der Anwendungsprozessor befinden. System-Coprozessoren dienen einem bestimmten Zweck und der iOS-Kernel delegiert viele Aufgaben an sie. Hier einige Beispiele:

- Secure Enclave
- Bildsensorprozessor
- Bewegungscoprozessor

Da die Coprozessor-Firmware zahlreiche kritische Systemaufgaben erledigt, spielt ihre Sicherheit eine zentrale Rolle für die Sicherheit des gesamten Systems.

Der System-Coprozessor-Integritätsschutz (SCIP) nutzt einen ähnlichen Mechanismus wie der Kernel-Integritätsschutz, um Änderungen an der Coprozessor-Firmware zu verhindern. Während des Starts lädt iBoot die Firmware jedes Coprozessors in eine geschützte Speicherregion, die eigens dafür reserviert und von der KIP-Region getrennt ist. iBoot konfiguriert die MMUs jedes Prozessors, um Folgendes zu verhindern:

- Ausführbare Mappings außerhalb des entsprechenden Teils der geschützten Speicherregion
- Verhindern von schreibbaren Mappings innerhalb des entsprechenden Teils der geschützten Speicherregion

Das Secure Enclave-Betriebssystem ist für die Konfiguration des SCIP der Secure Enclave während des Starts zuständig.
Die zur Aktivierung des SCIP verwendete Hardware wird nach Beendigung des Startvorgangs gesperrt, um eine Neukonfiguration zu verhindern. SCIP wird auf A12- und S4-SoCs und höher unterstützt.

Pointer Authentication Codes

Pointer Authentication Codes (PACs) sollen davor schützen, dass Fehler, die den Speicher modifizieren, ausgenutzt werden können. Systemsoftware und integrierte Apps verwenden PAC, um Änderungen an Funktionszeigern und Rückgabeadressen (Codezeigern) zu verhindern. Dies trägt dazu bei, viele Angriffe deutlich zu erschweren. Beispielsweise versucht ein ROP-Angriff (Return Oriented Programming) durch die Manipulation der auf dem Stack abgelegten Funktionsrückgabeadressen das Gerät zu verleiten, vorhandenen Code auf bösartige Weise auszuführen.

PAC wird auf A12- und S4-SoCs unterstützt.

Touch ID

Touch ID ist das Fingerabdrucksensorsystem, mit dem ein sicherer Zugriff auf das iPhone und iPad schneller und einfacher möglich ist. Diese Technologie liest Fingerabdruckdaten aus jedem beliebigen Winkel und erfasst den Fingerabdruck des Benutzers nach und nach immer genauer. Dabei erweitert der Sensor die Fingerabdruckdarstellung, wenn bei jeder Nutzung zusätzliche überlappende Knoten identifiziert werden.

Face ID

Apple-Geräte, die über Face ID verfügen, lassen sich mit einem einfachen Blick sicher entsperren. Das TrueDepth-Kamerasystem bietet eine intuitive und sichere Authentifizierung, die modernste Technologien verwendet, um die Geometrie deines Gesichts präzise zu erfassen. Face ID verwendet neuronale Netzwerke, um die Blickrichtung zu erkennen, den Abgleich auszuführen und Betrug zu verhindern, damit das Gerät mit einem Blick entsperrt werden kann. Face ID passt sich automatisch an Änderungen in deinem Aussehen an und schützt deine Privatsphäre und die Sicherheit deiner biometrischen Daten.

Touch ID, Face ID und Codes

Um Touch ID oder Face ID zu verwenden, muss das Gerät so eingerichtet werden, dass zum Entsperren ein Code benötigt wird. Wenn Touch ID oder Face ID eine erfolgreiche Übereinstimmung erkennen, wird das Gerät entsperrt, ohne dass nach dem Code für das Gerät gefragt wird. Das vereinfacht die Verwendung längerer, komplexerer Codes, da diese weniger häufig eingegeben werden müssen. Touch ID und Face ID ersetzen den Code nicht, sondern ermöglichen einen erleichterten Zugriff auf das Gerät innerhalb ausgeklügelter Grenzen und Zeitbeschränkungen. Dies ist wichtig, da ein sicherer Code die Grundlage dafür bildet, wie das iOS-Gerät die Daten kryptografisch schützt.

Dein Code kann jederzeit anstelle von Touch ID oder Face ID verwendet werden. Für die folgenden Aktionen ist jedoch immer die Eingabe des Codes statt der biometrischen Authentifizierung erforderlich:

- Aktualisieren der Software.
- Löschen des Geräts.
- Anzeigen oder Ändern von Codeeinstellungen.
- Installieren von iOS-Konfigurationsprofilen.

Ein Code ist ebenfalls erforderlich, wenn sich das Gerät in einem der folgenden Zustände befindet:

- Das Gerät wurde gerade eingeschaltet oder neu gestartet.
- Das Gerät wurde seit über 48 Stunden nicht mehr entsperrt.
- Der Code wurde innerhalb der letzten 156 Stunden (6,5 Tage) nicht zum Entsperren des Geräts verwendet und das Gerät innerhalb der letzten vier Stunden nicht biometrisch entsperrt.
- Das Gerät wurde per Fernzugriff gesperrt.
- Nach fünf fehlgeschlagenen biometrischen Abgleichsversuchen.
- Nach dem Starten der Abschaltung oder eines Notrufs.

Wenn Touch ID oder Face ID aktiviert ist, wird das Gerät sofort gesperrt, wenn auf die Seitentaste gedrückt wird. Außerdem wird das Gerät immer gesperrt, wenn der Ruhezustand aktiviert wird. Touch ID und Face ID benötigen einen erfolgreichen Abgleich (oder optional den Code), um den Ruhezustand zu beenden.

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine beliebige andere Person das iPhone entsperrt, liegt ungefähr bei 1:50.000 mit Touch ID oder bei 1:1.000.000 mit Face ID. Diese Wahrscheinlichkeit steigt bei mehreren registrierten Fingerabdrücken (bis zu 1:10.000 mit fünf Fingerabdrücken) oder Aussehen (bis zu 1:500.000 bei zwei Aussehen). Als zusätzlichen Schutz lassen Touch ID und Face ID nur fünf fehlgeschlagene Abgleichsversuche zu, bevor ein Code erforderlich ist, um Zugriff auf das Gerät zu erhalten. Die Wahrscheinlichkeit einer falschen Übereinstimmung bei Face ID weicht bei Zwillingen und Geschwistern, die dir ähnlich sehen, und bei Kindern unter 13 Jahren ab, weil ihre individuellen Gesichtszüge möglicherweise noch nicht voll ausgeprägt sind. Wenn aus diesem Grund Bedenken bestehen, empfiehlt Apple die Verwendung eines Codes für die Authentifizierung.

Sicherheit mit Touch ID

Der Fingerabdrucksensor ist nur aktiv, wenn der kapazitive Berührungssensor in dem Edelstahlring, der die Home-Taste umgibt, eine Fingerberührung erkennt, wodurch wiederum der Fingerabdruckscanner ausgelöst und das Ergebnis anschließend an Secure Enclave gesendet wird. Die Kommunikation zwischen dem Prozessor und dem Touch ID-Sensor findet über einen SPI-Bus (Serial Peripheral Interface) statt. Der Prozessor leitet die Daten an die Secure Enclave weiter, kann sie aber nicht auslesen. Sie werden mit einem Sitzungsschlüssel verschlüsselt und authentifiziert, der mit einem gemeinsamen Schlüssel ausgehandelt wird, welcher für jeden Touch ID-Sensor und die zugehörige Secure Enclave bei der Fertigung festgelegt wird. Der gemeinsame Schlüssel ist sicher, zufällig und für jeden Touch ID-Sensor unterschiedlich. Beim Austausch des Sitzungsschlüssels wird AES **Key Wrapping** verwendet, bei dem beide Seiten einen zufälligen Schlüssel bereitstellen, aus denen der Sitzungsschlüssel erstellt wird und der die AES-CCM-Transportverschlüsselung nutzt.

Das Rasterscanbild wird vorübergehend im verschlüsselten Speicher innerhalb der Secure Enclave gespeichert und für die Analyse vektorisiert und anschließend wieder verworfen. Bei der Analyse wird der **Verlauf der subkutanen Papillarleisten abgebildet**. Dabei handelt es sich um ein verlustbehaftetes Verfahren, bei dem Details, die zur Rekonstruktion des Fingerabdrucks des Benutzers benötigt würden, nicht gespeichert werden. Man erhält ein Abbild miteinander verbundener Knoten ohne personenbezogene Daten in verschlüsselter Form, das nur von der Secure Enclave gelesen werden kann. Diese Daten werden ausschließlich auf dem Gerät gesichert. Sie werden nicht an Apple gesendet und sind nicht Teil einer Gerätesicherung.

Sicherheit mit Face ID

Face ID wurde entwickelt, um anhand der Blickrichtung zu erkennen, dass eine Interaktion mit dem Gerät erfolgen soll, um eine zuverlässige Authentifizierung mit einer niedrigen Fehlerrate beim Abgleich zu bieten und digitaler oder physischer Manipulation entgegenzuwirken.

Die TrueDepth-Kamera sucht automatisch nach dem Gesicht, wenn durch Anheben oder durch Tippen auf den Bildschirm der Ruhezustand von Apple-Geräten beendet wird, die über die Face ID-Funktion verfügen, wenn diese Geräte versuchen, dich zur Anzeige einer eingehenden Benachrichtigung zu authentifizieren, oder wenn eine unterstützte App eine Face ID-Authentifizierung anfordert. Wenn ein Gesicht erkannt wird, bestätigt Face ID die Absicht zum Entsperren des Geräts, indem erkannt wird, ob die Augen geöffnet sind und deine Aufmerksamkeit auf das Gerät gerichtet ist. Für den behindertengerechten Zugriff ist die Funktion deaktiviert, wenn VoiceOver aktiviert ist; und sie kann bei Bedarf auch separat deaktiviert werden.

Nachdem ein auf das Gerät gerichtetes Gesicht bestätigt wurde, projiziert und liest die TrueDepth-Kamera mehr als 30.000 Infrarotpunkte, um eine Tiefendarstellung und ein 2D-Infrarotbild des Gesichts zu erstellen. Diese Daten werden verwendet, um eine Reihe von 2D-Bildern und Tiefendarstellungen zu erstellen, die digital signiert und an Secure Enclave gesendet werden. Als Gegenmaßnahme gegen digitale und physische Manipulation erstellt die TrueDepth-Kamera eine zufällige Reihenfolge der 2D-Bilder und Tiefendarstellungen und projiziert ein gerätespezifisches Zufallsmuster. Ein Teil der neuronalen Engine des A11 und neuerer SoCs, der mit Secure Enclave geschützt ist, wandelt die Daten in eine mathematische Darstellung um und vergleicht diese Daten mit den registrierten Gesichtsdaten. Die registrierten Gesichtsdaten wiederum sind selbst eine mathematische Darstellung des Gesichts in einer Vielzahl von Posen.

Der Gesichtsabgleich in Secure Enclave wird mit neuronalen Netzwerken durchgeführt, die speziell für diesen Zweck trainiert wurden. Wir haben die neuronalen Netzwerke für den Gesichtsabgleich mit über einer Milliarde Bildern entwickelt, einschließlich IR- und Tiefenbilder, die mit dem Einverständnis der Teilnehmer an Studien erfasst wurden. Apple hat mit Teilnehmern auf der ganzen Welt zusammengearbeitet, um eine repräsentative Personengruppe abzudecken, die sich in Geschlecht, Alter, Herkunft und anderen Faktoren unterscheiden. Die Studien wurden bei Bedarf verbessert, um einen hohen Grad an Genauigkeit für unterschiedliche Benutzer sicherzustellen. Face ID funktioniert mit Hüten, Halstüchern, Brillen, Kontaktlinsen und vielen Sonnenbrillen. Außerdem funktioniert es drinnen, draußen und sogar bei völliger Dunkelheit. Ein zusätzliches neuronales Netzwerk, das trainiert wurde, um Manipulationen zu erkennen, schützt vor Versuchen, das iPhone X mit Fotos oder Masken zu entsperren.

Face ID-Daten (einschließlich mathematischer Darstellungen des Gesichts) werden verschlüsselt und sind nur für Secure Enclave verfügbar. Diese Daten werden ausschließlich auf dem Gerät gesichert. Sie werden nicht an Apple gesendet und sind nicht Teil einer Gerätesicherung. Die folgenden Face ID-Daten werden im Normalbetrieb gesichert und nur zur Verwendung durch Secure Enclave verschlüsselt:

- Die mathematische Darstellung des Gesichts, die bei der Registrierung berechnet wurde.
- Die mathematische Darstellung des Gesichts, die bei einem Versuch berechnet wurde, das Gerät zu entsperren, wenn Face ID diese als hilfreich für die Verbesserung eines zukünftigen Abgleichs einstuft.

Bilder des Gesichts, die im Normalbetrieb erfasst werden, werden nicht gesichert, sondern sofort nach der Berechnung der mathematischen Darstellung für die Registrierung oder einen Vergleich mit den registrierten Face ID-Daten verworfen.

Entsperren eines iOS-Geräts mit Touch ID oder Face ID

Wenn Touch ID oder Face ID deaktiviert ist und ein Gerät gesperrt wird, werden die Schlüssel für die Datensicherheitsklasse „Vollständiger Schutz", die in der Secure Enclave gespeichert sind, verworfen. Die Dateien und die Objekte des **Schlüsselbunds** dieser Klasse sind erst wieder verfügbar, wenn das Gerät durch Eingabe des Codes wieder entsperrt wird.

Bei aktivierter Touch ID oder Face ID werden die Schlüssel nicht verworfen, wenn das Gerät gesperrt wird, sondern stattdessen mit einem Schlüssel verpackt, der an das Touch ID- oder Face ID-Teilsystem in der Secure Enclave übergeben wird. Wenn der Abgleich beim Versuch, das Gerät zu entsperren, erfolgreich ist, stellt das Gerät den Schlüssel zum Entpacken der Datensicherheitsschlüssel bereit und das Gerät wird entsperrt. Dieses Verfahren bietet zusätzlichen Schutz, da die Teilsysteme „Datensicherheit" und „Touch ID" oder „Face ID" zusammenarbeiten müssen, damit das Gerät entsperrt werden kann.

Wenn das Gerät neu gestartet wird, sind die erforderlichen Schlüssel zum Entsperren des Geräts mit Touch ID oder Face ID verloren; sie werden von Secure Enclave verworfen, nachdem eine beliebige Bedingung erfüllt ist, die eine Eingabe des Codes erfordert (zum Beispiel, nachdem das Gerät 48 Stunden nicht entsperrt wurde oder nach fünf fehlgeschlagenen Abgleichsversuchen).

Zur Verbesserung der Leistung beim Entsperren und zur Kompensation natürlicher Veränderungen im Gesicht und Aussehen verbessert Face ID die gespeicherte mathematische Darstellung im Laufe der Zeit. Bei einem erfolgreichen Entsperren verwendet Face ID die neu berechnete mathematische Darstellung (sofern sie eine ausreichende Qualität hat) möglicherweise für eine begrenzte Anzahl weiterer Entsperrvorgänge, bevor die Daten verworfen werden. Wenn Face ID dich nicht erkennt, die Abgleichqualität aber über einem bestimmten Schwellenwert liegt, und der Code direkt nach dem fehlgeschlagenen Versuch eingegeben wird, erstellt Face ID im Gegenzug eine weitere Aufnahme und verbessert die registrierten Face ID-Daten mit der neu berechneten mathematischen Darstellung. Die neuen Face ID-Daten werden verworfen, wenn du damit nicht mehr abgeglichen werden kannst, oder nach einer begrenzten Anzahl von Entsperrvorgängen. Mit diesen Verbesserungsprozessen kann Face ID sich an deutliche Änderungen der Gesichtsbehaarung oder des Makeups anpassen und gleichzeitig falsche Zugriffe minimieren.

Touch ID, Face ID und Apple Pay

Touch ID und Face ID lassen sich auch mit Apple Pay verwenden, um einfach und sicher in Geschäften, Apps und im Web einzukaufen. Weitere Informationen zu Touch ID und Apple Pay sind im Abschnitt „Apple Pay" in diesem Dokument zu finden.

Um eine Zahlung im Geschäft mit Face ID zu autorisieren, muss zuerst deine Zahlungsabsicht mit einem Doppelklick auf die Seitentaste bestätigt werden. Danach ist eine Authentifizierung mit Face ID durchzuführen, bevor du dein iPhone X in die Nähe des kontaktlosen Zahlungsterminals hältst. Wenn nach der Face ID-Authentifizierung eine andere Apple Pay-Zahlungsmethode ausgewählt werden soll, musst du dich erneut authentifizieren, allerdings nicht noch einmal die Seitentaste doppelklicken.

Für eine Zahlung in Apps und im Web wird die Zahlungsabsicht mit einem Doppelklick der Seitentaste bestätigt. Danach erfolgt die Authentifizierung mit Face ID, um die Zahlung zu autorisieren. Wenn die Apple Pay-Transaktion nicht innerhalb von 30 Sekunden nach dem Doppelklick auf die Seitentaste abgeschlossen ist, muss die Zahlungsabsicht noch einmal mit einem Doppelklick bestätigt werden.

Face ID-Diagnose

Face ID-Daten verbleiben immer auf dem Gerät und werden nie in iCloud oder an einem anderen Ort gesichert. Nur wenn AppleCare Face ID-Diagnosedaten zur Unterstützung bereitgestellt werden sollen, werden diese Informationen von deinem Gerät übertragen. Das Aktivieren der Face ID-Diagnose erfordert eine digital signierte Autorisierung von Apple, ähnlich wie beim Personalisierungsprozess bei einer Softwareaktualisierung. Nach der Autorisierung kann die Face ID-Diagnose aktiviert und der Konfigurationsprozess in den Einstellungen auf Geräten mit Face ID-Unterstützung gestartet werden.

Als Teil der Konfiguration der Face ID-Diagnose wird die vorhandene Face ID-Registrierung gelöscht und muss danach erneut erfolgen. Geräte mit Face ID-Unterstützung beginnen mit der Aufnahme von Face ID-Bildern, die bei Authentifizierungsversuchen in den kommenden 10 Tagen erfasst werden. Anschließend stoppen die Geräte automatisch das Speichern der Bilder. Die Face ID-Diagnose sendet nicht automatisch Daten an Apple. Die Registrierung kann überprüft und bestätigt sowie die in den Face ID-Diagnosedaten enthaltenen Bilder entsperrt werden (einschließlich Bilder für fehlgeschlagene und erfolgreiche Registrierungen und Entsperrungen). Diese Diagnosedaten werden im Diagnosemodus gesammelt, bevor sie an Apple gesendet werden. Die Face ID-Diagnose lädt nur von dir zugelassene Face ID-Diagnosebilder hoch. Die Daten werden vor dem Ladevorgang verschlüsselt und auf dem Gerät gelöscht, unmittelbar nachdem der Upload abgeschlossen ist. Abgelehnte Bilder werden sofort gelöscht.

Wird die Face ID-Diagnosesitzung nicht abgeschlossen, indem die Bilder geprüft und bestätigte Bilder hochgeladen werden, wird die Face ID-Diagnose automatisch nach 40 Tagen beendet und alle Diagnosebilder werden vom Gerät gelöscht. Die Face ID-Diagnose kann auch jederzeit deaktiviert werden. In diesem Fall werden alle lokalen Bilder sofort gelöscht und keine Face ID-Daten mit Apple geteilt.

Andere Verwendungen für Touch ID und Face ID

Apps anderer Anbieter können vom System bereitgestellte APIs verwenden, um den Benutzer aufzufordern, sich mit Touch ID, Face ID oder einem Code zu authentifizieren. Apps, die Touch ID unterstützen, unterstützen ohne jegliche Änderungen automatisch auch Face ID. Wenn Touch ID oder Face ID verwendet wird, wird die App nur benachrichtigt, ob die Authentifizierung erfolgreich war, sie kann aber nicht auf Touch ID, Face ID oder die mit dem registrierten Benutzer verbundenen Daten zugreifen. Objekte im Schlüsselbund können ebenfalls mit Touch ID oder Face ID so geschützt werden, dass sie über die Secure Enclave nur mit einem erfolgreichen Abgleich oder dem Code für das Gerät freigegeben werden können. App-Entwicklern stehen APIs zur Verfügung, um zu prüfen, ob der Benutzer einen Code festgelegt hat, bevor Objekte im Schlüsselbund mit Touch ID, Face ID oder einem Code entsperrt werden müssen. App-Entwickler haben folgende Möglichkeiten:

- Sie können vorgeben, dass API-Operationen für die Authentifizierung weder auf das Passwort einer App noch auf den Code für das Gerät zurückgreifen. Sie können abfragen, ob ein Benutzer registriert ist, und somit Touch ID oder Face ID als zweiten Faktor in sicherheitskritischen Apps verwenden.
- Sie können ECC-Schlüssel in Secure Enclave generieren und verwenden, die durch Touch ID oder Face ID geschützt werden können. Operationen mit diesen Schlüsseln erfolgen stets in der Secure Enclave, nachdem diese die Nutzung autorisiert hat.

Touch ID oder Face ID kann auch so konfiguriert werden, dass damit Käufe im iTunes Store, im App Store oder auf Apple Books bestätigt werden können, ohne das Passwort für deine Apple-ID einzugeben. Bei iOS 11 (oder neuer) werden durch Touch ID und Face ID geschützte ECC-Schlüssel der Secure Enclave verwendet, um einen Kauf durch Signieren der Store-Anfrage zu autorisieren.

Verschlüsselung und Datensicherheit

Inhalte & Einstellungen löschen Mit der Option „Alle Inhalte & Einstellungen löschen“ in den Einstellungen werden alle Schlüssel im Effaceable Storage gelöscht. Dadurch kann nicht mehr auf die kryptografischen Benutzerdaten auf dem Gerät zugegriffen werden. Dies ist daher die beste Methode, um sicherzustellen, dass alle persönlichen Informationen auf einem Gerät gelöscht werden, bevor es weitergegeben oder zur Wartung gebracht wird.

Achtung: Die Option „Alle Inhalte & Einstellungen löschen“ sollte nur verwendet werden, wenn das Gerät gesichert wurde, da es nicht möglich ist, die gelöschten Daten wiederherzustellen.

Der sichere Startvorgang, die Code-Signierung und die Sicherheit für Laufzeitprozesse tragen alle dazu bei, dass nur vertrauenswürdige Codes und Apps auf dem Gerät ausgeführt werden können. iOS besitzt weitere Funktionen zur Verschlüsselung und Datensicherheit, die selbst dann die Benutzerdaten schützen, wenn andere Teile der Sicherheitsinfrastruktur kompromittiert wurden (zum Beispiel auf einem Gerät mit nicht autorisierten Veränderungen). Das hat entscheidende Vorteile für Benutzer und IT-Administratoren, schützt zu jeder Zeit persönliche und Firmendaten und bietet die Möglichkeit, Geräte bei Diebstahl oder Verlust per Fernzugriff vollständig zu löschen.

Funktionen für die Hardwaresicherheit

Auf mobilen Geräten sind Geschwindigkeit und Energieeffizienz von entscheidender Bedeutung. Verschlüsselungsvorgänge sind komplex und können zu Problemen bei der Leistung oder Batterielebensdauer führen, wenn diese Prioritäten bei der Entwicklung und Implementierung nicht berücksichtigt werden.

In jedem iOS-Gerät ist eine dedizierte AES-256 Crypto Engine im DMA-Pfad zwischen dem Flash-Speicher und dem Hauptspeicher vorhanden, was eine höchst effiziente Dateiverschlüsselung ermöglicht. Bei A9-Prozessoren oder Prozessoren einer neueren A-Reihe befindet sich das Subsystem des Flash-Speichers auf einem isolierten Bus, der nur über die DMA Crypto Engine auf den Speicher zugreifen kann, in dem die Benutzerdaten enthalten sind.

Die einzigartigen **IDs des Geräts (UIDs)** und **Gruppen-IDs (GID)** bestehen aus AES-256-Bit-Schlüsseln, die während der Herstellung in den Anwendungsprozessor und die Secure Enclave eingebrannt (UID) bzw. kompiliert (GID) werden. Keine Software oder Firmware kann diese direkt auslesen. Lediglich die Ergebnisse der Verschlüsselungs- oder Entschlüsselungsoperationen von den dedizierten AES-Engines können gelesen werden. Die AES-Engines wurden mit der UID oder GID als Schlüssel im Silizium implementiert. Der Anwendungsprozessor und die Secure Enclave verfügen jeweils über eine eigene UID und GID. UID und GID der Secure Enclave können nur von der dedizierten AES-Engine für die Secure Enclave verwendet werden. Auf die UID und die GID kann auch nicht über **Joint Test Action Group (JTAG)** oder andere Debugging-Schnittstellen zugegriffen werden.

Jede Secure Enclave (ausgenommen Apple A8 und früheren SoCs) generiert bei der Fertigung ihre eigene UID (Unique ID). Weil die UID für jedes Gerät einzigartig ist und ausschließlich innerhalb der Secure Enclave generiert wird, anstatt in einem Fertigungssystem außerhalb des Geräts, können Apple oder seine Lieferanten nicht auf die UID zugreifen und sie auch nicht speichern.

Software, die in Secure Enclave ausgeführt wird, nutzt die Vorteile der UID, um gerätespezifische Geheimnisse zu schützen. Durch die UID können Daten kryptografisch an ein bestimmtes Gerät gebunden werden. So enthält beispielsweise die Schlüsselhierarchie, die das Dateisystem schützt, die UID. Werden die Speicherchips physisch von einem Gerät auf ein anderes bewegt, kann nicht auf die Dateien zugegriffen werden. Die UID hat keinerlei Verbindung zu anderen Kennungen auf dem Gerät.

Die GID wird auf allen Prozessoren einer Geräteklasse (zum Beispiel alle Geräte mit dem Apple A8-Prozessor) gemeinsam genutzt.

Außer UID und GID werden alle anderen kryptografischen Schlüssel vom Zufallszahlengenerator (RNG) des Systems mit einem auf CTR_DRGB-Quellencode basierenden Algorithmus generiert. Die dafür erforderliche Systementropie wird beim Starten aus Zeitabweichungen und nach abgeschlossenem Startvorgang zusätzlich aus dem Interrupt-Timing erzeugt. In der Secure Enclave erzeugte Schlüssel verwenden den eigenen echten Hardwarezufallszahlengenerator, der auf mehreren Ringoszillatoren basiert und mit CTR_DRBG nachbearbeitet wird.

Das sichere Löschen gespeicherter Schlüssel ist genauso wichtig wie deren Erstellung. Dies ist beim Flash-Speicher eine besondere Herausforderung, da aufgrund der auf Wear-Leveling ausgelegten Architektur möglicherweise mehrere Kopien der Daten gelöscht werden müssen. Um dieses Problem zu beheben, bieten iOS-Geräte eine Funktion zum sicheren Löschen von Daten namens **Effaceable Storage** (direkt gelöschter Speicher). Mit dieser Funktion erfolgt ein Zugriff auf die zugrunde liegende Speichertechnologie (beispielsweise NAND), um direkt eine kleine Anzahl von Blöcken auf einer sehr niedrigen Ebene anzusteuern und zu löschen.

Express-Karten mit Energiereserve

Wenn iOS nicht läuft, weil das iPhone aufgeladen werden muss, enthält die Batterie möglicherweise noch genügend Energie, um Express-Kartentransaktionen auszuführen.

Unterstützte iPhone-Geräte unterstützen diese Funktion automatisch für:

- Eine ÖPNV-Karte, die als Express-ÖPNV-Karte ausgewiesen ist
- Studentenausweise, bei denen der Expressmodus aktiviert ist

Durch Drücken der Seitentaste wird das Symbol für Batterietiefstand sowie Text angezeigt, der darauf hinweist, dass Express-Karten verwendet werden können. Der NFC-Controller führt Express-Kartentransaktionen unter den gleichen Bedingungen durch wie bei laufendem iOS. Allerdings wird nur durch eine haptische Benachrichtigung auf Transaktionen hingewiesen. Es wird keine sichtbare Benachrichtigung angezeigt.

Diese Funktion ist nicht verfügbar, wenn ein von einem Standardbenutzer ausgelöster Abschaltvorgang ausgeführt wird.

Datensicherheit

Zusätzlich zu den in iOS-Geräten eingebauten Funktionen zur Hardwareverschlüsselung verwendet Apple Funktionen für die Datensicherheit, um die im Flash-Speicher des Geräts abgelegten Daten noch effektiver zu schützen. Die Datensicherheit ermöglicht es einem Gerät, auf übliche Ereignisse wie eingehende Telefonanrufe zu reagieren, und erlaubt zugleich einen hohen Verschlüsselungsstandard für die Benutzerdaten. Wichtige systemeigene Apps wie Nachrichten, Mail, Kalender, Kontakte, Fotos oder Daten aus der App „Health“ verwenden standardmäßig Datensicherheitsfunktionen. Apps anderer Anbieter, die unter iOS 7 (oder neuer) installiert wurden, erhalten diesen Schutz automatisch.

Datensicherheit wird durch die Erzeugung und Verwaltung einer Hierarchie von Schlüsseln implementiert. Sie baut auf den Technologien zur Hardwareverschlüsselung auf, die in jedes iOS-Gerät integriert sind. Der Datenschutz wird mit einem pro Datei erzeugten Schlüssel gesteuert, wobei jede Datei einer Klasse zugeordnet wird; der Zugriff wird dadurch bestimmt, ob die Klassenschlüssel entsperrt wurden. Durch die Einführung des Apple-Dateisystems (Apple File System, APFS) kann das Dateisystem die Schlüssel anhand der jeweiligen Länge weiter unterteilen (Teile einer Datei können verschiedene Schlüssel haben).

Architektur – Überblick

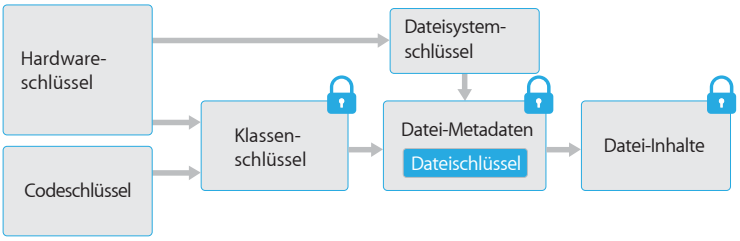
Jedes Mal, wenn eine Datei in der Datenpartition erstellt wird, erzeugt die Datensicherheit einen neuen 256-Bit-Schlüssel (den pro Datei erzeugten Schlüssel) und übergibt diesen an die Hardware-AES-Engine. Diese verwendet den Schlüssel zum Verschlüsseln der Datei, wenn diese mit dem AES-XTS-Modus in den Flash-Speicher geschrieben wird. Auf Geräten mit einem A7-, S2- oder S3-SoC wird AES-CBC verwendet. Der Initialisierungsvektor wird anhand des Block-Offsets in der Datei berechnet und mit dem SHA-1 Hash des **pro Datei erzeugten Schlüssels** verschlüsselt.

Der pro Datei (oder pro Länge) erzeugte Schlüssel wird mit einem von mehreren Klassenschlüsseln sicher verpackt. Der ausgewählte Schlüssel richtet sich nach den Umständen, unter denen die Datei zugänglich sein soll. Das sichere Verpacken wird immer mit NIST AES Key Wrapping, gemäß RFC 3394, durchgeführt. Dieser geschützte Schlüssel wird wiederum in den Metadaten der Datei gespeichert.

Geräte mit dem Apple-Dateisystemformat können das Klonen von Dateien (Kopien ohne Aufwand durch Copy-on-Write-Technologie (COW)) unterstützen. Wenn eine Datei geklont wird, wird jeder Hälfte des Klons ein neuer Schlüssel zum Akzeptieren von eingehenden Schreibanforderungen zugeordnet, damit neue Daten mit einem neuen Schlüssel auf die Datenträger geschrieben werden. Mit der Zeit setzt sich die Datei aus verschiedenen Längen (oder Fragmenten) zusammen, die jeweils auf eigene Schlüssel verweisen. Alle Teile, aus denen sich eine Datei zusammensetzt, werden jedoch durch denselben Klassenschlüssel geschützt.

Wird eine Datei geöffnet, werden ihre Metadaten mit dem **Dateisystemschlüssel** entschlüsselt, wodurch der pro Datei erzeugte Schlüssel und ein Vermerk, mit welcher Klasse sie geschützt ist, entpackt werden. Der pro Datei (oder pro Länge) erzeugte Schlüssel wird mit dem Klassenschlüssel entpackt und dann an die Hardware-AES-Engine gesendet, die die Datei beim Lesen aus dem Flash-Speicher entschlüsselt. Die gesamte Verarbeitung des verpackten Dateischlüssels erfolgt innerhalb der Secure Enclave; der Dateischlüssel wird zu keinem Zeitpunkt gegenüber dem Anwendungsprozessor offen gelegt. Während des Starts handelt die Secure Enclave einen temporären Schlüssel mit der AES-Engine aus. Schlüssel einer Datei, die innerhalb der Secure Enclave entschlüsselt werden, werden mit diesem temporären Schlüssel neu verschlüsselt und erst in dieser Form an den Anwendungsprozessor zurück gesendet.

Die Metadaten für alle Dateien des Dateisystems werden mit einem Zufallsschlüssel verschlüsselt, der erzeugt wird, wenn iOS das erste Mal installiert oder das Gerät von einem Benutzer vollständig gelöscht wird. Auf Geräten, die das Apple-Dateisystem unterstützen, wird der Metaschlüssel des Dateisystems mit dem UID-Schlüssel von Secure Enclave für den Langzeitspeicher verschlüsselt. Genau wie die Schlüssel pro Datei (oder pro Länge) wird der Metaschlüssel dem Anwendungsprozessor nie direkt offen gelegt; Secure Enclave stellt stattdessen eine temporäre Version pro Bootvorgang bereit. Wenn er gespeichert wird, wird der verschlüsselte Dateisystemschlüssel zusätzlich mit einem „auslöschbaren Schlüssel" verschlüsselt, der im Effaceable Storage gespeichert ist. Dieser Schlüssel sorgt nicht für zusätzliche Vertraulichkeit der Daten. Stattdessen ist er so konzipiert, dass er auf Wunsch schnell gelöscht werden kann (durch den Benutzer mit der Option „Inhalte & Einstellungen löschen" oder durch einen Benutzer oder Administrator, der einen Befehl zum Fernlöschen in einer MDM-Lösung, in Exchange ActiveSync oder iCloud absendet). Wird der Schlüssel auf diese Weise gelöscht, werden alle Dateien kryptografisch unzugänglich gemacht.



Der Inhalt einer Datei kann mit einem oder mehreren pro Datei (oder pro Länge) erzeugten Schlüsseln verschlüsselt werden, die mit einem Klassenschlüssel verpackt und in den Metadaten der Datei gespeichert werden, die wiederum mit dem Dateisystemschlüssel verschlüsselt sind. Der Klassenschlüssel wird mit der UID der Hardware und bei manchen Klassen mit dem Code des Benutzers geschützt. Diese Hierarchie bietet gleichzeitig Flexibilität und Effizienz. Wird beispielsweise die Klasse einer Datei geändert, muss nur der pro Datei erzeugte Schlüssel neu verpackt werden. Bei Änderung des Codes wird nur der Klassenschlüssel neu verpackt.

Gerätecodes

Durch das Einrichten eines Gerätecodes aktiviert der Benutzer automatisch die Datensicherheit. iOS unterstützt Gerätecodes, die aus sechs oder vier Ziffern bestehen, und alphanumerische Gerätecodes beliebiger Länge. Zusätzlich zum Entsperren des Geräts stellt der Gerätecode die Entropie für bestimmte Verschlüsselungscodes zur Verfügung. Das bedeutet, dass ein Angreifer, der ein Gerät in seinem Besitz hat, ohne den Gerätecode nicht auf Daten bestimmter Sicherheitsklassen zugreifen kann.

Erwägungen zum Gerätecode
Wenn ein langes Passwort eingegeben wird, das nur aus Ziffern besteht, wird auf dem Sperrbildschirm ein numerisches Tastenfeld anstelle der vollständigen Tastatur angezeigt. Ein längerer Gerätecode, der nur aus Ziffern besteht, kann einfacher einzugeben sein als ein kürzerer alphanumerischer Gerätecode und bietet ähnlich hohe Sicherheit.

Der Gerätecode ist mit der UID des Geräts verknüpft, sodass Brute-Force-Angriffe direkt auf dem anvisierten Gerät durchgeführt werden müssen. Ein Zähler für die Anzahl der Wiederholungen sorgt dafür, dass mehr Zeit für jeden einzelnen Versuch benötigt wird. Dieser Zähler wurde so kalibriert, dass für einen Versuch etwa 80 Millisekunden benötigt werden. Das bedeutet, dass es über fünfeinhalb Jahre dauern würde, alle sechsstelligen alphanumerischen Gerätecodes mit Kleinbuchstaben und Zahlen auszuprobieren.

Verzögerungen zwischen Codeeingabeversuchen

Versuche	Erzwungene Verzögerung
1–4	keine
5	1 Minute
6	5 Minuten
7–8	15 Minuten
9	1 Stunde

Je sicherer ein Benutzercode ist, desto sicherer ist auch der Verschlüsselungscode. Touch ID und Face ID können dazu verwendet werden, diese Situation zu verbessern, da der Benutzer so einen sehr viel stärkeren Gerätecode einrichten kann, als normalerweise praktisch wäre. Dadurch wird effektiv die Entropie erhöht, mit der die für den Datenschutz verwendeten Verschlüsselungsschlüssel geschützt werden, ohne dass die Benutzerfreundlichkeit leidet, wenn iOS-Geräte mehrmals täglich entsperrt werden müssen.

Um Brute-Force-Codeangriffe noch besser abzuwehren, werden zunehmende zeitliche Verzögerungen eingesetzt, wenn ein ungültiger Gerätecode auf dem Sperrbildschirm eingegeben wurde. Wird „Daten löschen" im Bereich „Einstellungen" > „Touch ID & Code" aktiviert, wird nach zehn aufeinander folgenden Fehlversuchen, den Code einzugeben, das Gerät automatisch gelöscht. Aufeinander folgende Versuche mit demselben falschen Code werden auf die Höchstgrenze nicht angerechnet. Diese Einstellung ist auch als Verwaltungsrichtlinie über eine MDM-Lösung, die diese Funktion unterstützt, und Exchange ActiveSync verfügbar, und die maximal zulässige Anzahl von Fehleingaben kann zudem verringert werden.

Bei Geräten mit einer Secure Enclave werden die Verzögerungen durch den Coprozessor der Secure Enclave erzwungen. Wird das Gerät während einer zeitlich fixierten Verzögerung neu gestartet, wird die Verzögerung dennoch durchgesetzt und der Timer auf den Anfang des aktuellen Verzögerungsintervalls zurückgesetzt.

DFU-Modus aufrufen (Device Firmware Upgrade)
Die Wiederherstellung eines Geräts, das sich im DFU-Modus befindet, stellt wieder einen bekannten sicheren Zustand her mit der Gewissheit, dass ausschließlich unveränderter und von Apple signierter Code vorhanden ist. Der DFU-Modus kann manuell aufgerufen werden.

Verbinde das Gerät zuerst über ein USB-Kabel mit einem Computer.

Gehe dann abhängig von deinem Gerät wie folgt vor:

iPhone X (oder neuer), iPhone 8 oder iPhone 8 Plus. Drücke kurz die Taste „Lauter". Drücke kurz die Taste „Leiser". Halte die Seitentaste gedrückt und drücke dann die Taste „Leiser" erneut. Lasse nach 5 Sekunden die Seitentaste los. Halte die Taste „Leiser" weiterhin gedrückt, bis ein schwarzer Bildschirm angezeigt wird.

iPhone 7 oder iPhone 7 Plus. Halte gleichzeitig die Seitentaste und die Taste „Leiser" gedrückt. Lasse nach 8 Sekunden die Seitentaste los. Halte die Taste „Leiser" weiterhin gedrückt, bis ein schwarzer Bildschirm angezeigt wird.

iPhone 6s (und älter), iPad oder iPod touch. Halte gleichzeitig die Home-Taste und die Taste oben (bzw. an der Seite) gedrückt. Lasse nach 5 Sekunden die Taste oben (bzw. an der Seite) los. Halte die Home-Taste weiterhin gedrückt, bis ein schwarzer Bildschirm angezeigt wird.

Apple TV. Schließe das Gerät mit einem Mikro-USB-Kabel an deinen Computer an und erzwinge einen Neustart des Geräts, indem du die Tasten „Menu" und „Leiser" gleichzeitig für 6 bis 7 Sekunden drückst. Drücke sofort nach dem Neustart die Tasten „Menu" und „Wiedergabe" gleichzeitig, bis du eine Nachricht in iTunes siehst, die besagt, dass ein Apple TV im Wiederherstellungsmodus erkannt wurde.

Hinweis: Wenn auf dem Gerät der DFU-Modus aktiv ist, bleibt der Bildschirm schwarz. Wenn das Apple-Logo angezeigt wird, wurde die Seitentaste oder der Ein-/Ausschalter zu lange gehalten. Wurde auf dem Gerät der Wiederherstellungsmodus erfolgreich aktiviert, ist der Bildschirm schwarz und iTunes zeigt diese Nachricht an: „iTunes hat ein (iPad, iPhone oder iPod touch) im Wiederherstellungsmodus erkannt. Du musst dieses (iPad, iPhone oder iPod touch) wiederherstellen, bevor es mit iTunes verwendet werden kann."

Zur Steigerung der Sicherheit bei gleichzeitigem Erhalt der Bedienbarkeit sind Touch ID, Face ID oder eine Codeeingabe zur Aktivierung von Datenverbindungen über die Lightning-, USB- oder Smart Connector-Schnittstelle erforderlich, wenn kürzlich keine Datenverbindung hergestellt wurde. Hierdurch wird die Angriffsfläche für physisch angeschlossene Geräte wie schädliche Ladegeräte reduziert und zugleich die Nutzung von Zubehör innerhalb angemessener Zeitbeschränkungen ermöglicht. Ist seit dem Sperren des iOS-Geräts oder seit dem Beenden der Datenverbindung eines Zubehörs mehr als eine Stunde vergangen, muss das Gerät erst wieder entsperrt werden, um neue Datenverbindungen zuzulassen. Während dieser Stunde werden nur Datenverbindungen von Zubehör zugelassen, das zuvor mit dem entsperrten Gerät verbunden war. Versuche von einem unbekannten Zubehör, eine Datenverbinung in diesem Zeitraum herzustellen, führen solange zum Deaktivieren aller Datenverbindungen über Lightning, USB und Smart Connector, bis das Gerät erneut entsperrt wird.

Dieser Zeitraum von einer Stunde:

- Stellt sicher, dass Personen, die häufig Verbindungen zu einem Mac oder PC, zu Zubehör oder Kabelverbindungen zu CarPlay nutzen, nicht jedes Mal ihren Code eingeben müssen, wenn sie ihr Gerät anschließen.
- Ist erforderlich, da das Ökosystem der Zubehörgeräte keine kryptografisch zuverlässige Möglichkeit bietet, Zubehör zu identifizieren, bevor eine Datenverbindung hergestellt wird.

Sind mehr als drei Tage vergangen, seit eine Datenverbindung mit einem Zubehör hergestellt wurde, verweigert das Gerät neue Datenverbindungen, unmittelbar nachdem es gesperrt wurde. Für Benutzer, die solches Zubehör eher selten verwenden, soll auf diese Weise der Schutz erhöht werden. Datenverbindungen über Lightning, USB und Smart Connector werden auch deaktiviert, wenn sich das Gerät in einem Status befindet, in dem es einen Code zur erneuten Aktivierung der biometrischen Authentifizierung erfordert.

DFU- und Wiederherstellungsmodus

Auf Geräten mit Apple A10-, A11- und S3-SoCs ist es nicht möglich, im Wiederherstellungsmodus auf Klassenschlüssel zuzugreifen, die durch den Code des Benutzers geschützt sind. Die A12- und S4-SoCs weiten diesen Schutz auf den DFU-Modus aus.

Die AES-Engine der Secure Enclave ist mit sperrbaren Software-Seed-Bits ausgestattet. Werden Schlüssel von der UID erstellt, werden diese Seed-Bits in die KDF (Key Derivation Function) integriert, um zusätzliche Schlüsselhierarchien zu erzeugen.

Beginnend mit Apple A10- und S3-SoCs wird ein Seed-Bit dafür reserviert, vom Code des Benutzers geschützte Schlüssel zu unterscheiden. Das Seed-Bit wird für Schlüssel gesetzt, die den Code des Benutzers erfordern (einschließlich Datensicherheitsschlüssel der Klasse A, Klasse B und Klasse C), und für Schlüssel gelöscht, die keinen Benutzercode erfordern (einschließlich der Metaschlüssel des Dateisystems und der Schlüssel der Klasse D).

Auf A12-SoCs sperrt der Boot-ROM der Secure Enclave das Code-Seed-Bit, wenn der Anwendungsprozessor in den DFU-Modus oder Wiederherstellungsmodus übergegangen ist. Ist das Code-Seed-Bit gesperrt, wird kein Vorgang zugelassen, durch den es geändert würde. Auf diese Weise wird der Zugriff auf Daten verhindert, die durch den Code des Benutzers geschützt werden.

Auf Apple A10-, A11-, S3- und S4-SoCs wird das Code-Seed-Bit durch das Secure Enclave OS gesperrt, wenn sich das Gerät im Wiederherstellungsmodus befindet. Boot-ROM und OS der Secure Enclave überprüfen beide das Boot Progress Register (BPR), um den aktuellen Modus sicher zu bestimmen.

Datensicherheitsklassen

Wird eine neue Datei auf einem iOS-Gerät erzeugt, so wird dieser Datei von der App, die sie erzeugt, eine Klasse zugewiesen. Jede Klasse verwendet unterschiedliche Richtlinien, um zu bestimmen, wann auf die Daten zugegriffen werden kann. Die grundlegenden Klassen und Richtlinien werden im Folgenden beschrieben.

Vollständiger Schutz

`(NSFileProtectionComplete)`: Der Klassenschlüssel wird mit einem Schlüssel geschützt, der aus dem Code des Benutzers und der UID des Geräts abgeleitet wird. Kurz nachdem ein Benutzer ein Gerät sperrt (10 Sekunden, wenn die Einstellung „Passwort erforderlich" auf „Sofort" festgelegt ist), wird der entschlüsselte Klassenschlüssel verworfen, damit auf alle Daten in dieser Klasse erst wieder zugegriffen werden kann, wenn der Benutzer erneut den Code eingibt oder das Gerät mit Touch ID oder Face ID entsperrt.

Geschützt, außer wenn offen

`(NSFileProtectionCompleteUnlessOpen)`: Möglicherweise müssen einige Dateien geschrieben werden, während das Gerät gesperrt ist. Ein gutes Beispiel sind E-Mail-Anhänge, die im Hintergrund geladen werden. Dieses Verhalten wird durch die Verschlüsselung mit asymmetrischen elliptischen Kurven (ECDH über Curve25519) erreicht. Der übliche Schlüssel pro Datei wird durch einen Schlüssel geschützt, der mit Einweg-Diffie-Hellman-Schlüsselaustausch abgeleitet wird, das in der NIST SP 800-56A beschrieben ist.

Der temporäre öffentliche Schlüssel für den Austausch wird zusammen mit dem verpackten, pro Datei erzeugten Schlüssel gespeichert. Hierfür wird die KDF (Concatenation Key Derivation Function, anerkannte Alternative 1) verwendet, wie unter 5.8.1 der NIST SP 800-56A beschrieben. Die Algorithmus-ID wird weggelassen. Als temporäre bzw. statisch öffentliche Schlüssel werden PartyUInfo und PartyVInfo verwendet. Als Hash-Funktion wird SHA-256 verwendet. Sobald die Datei geschlossen wird, wird der pro Datei erzeugte Schlüssel aus dem Speicher gelöscht. Um die Datei erneut öffnen zu können, wird das Shared Secret mit dem privaten Schlüssel der Klasse „Geschützt, außer wenn offen" und dem temporären öffentlichen Schlüssel der Datei neu erstellt. Diese werden verwendet, um den pro Datei erzeugten Schlüssel zu entpacken, mit dem wiederum die Datei entschlüsselt wird.

Geschützt bis zur ersten Benutzerauthentifizierung

`(NSFileProtectionCompleteUntilFirstUserAuthentication)`: Diese Klasse verhält sich wie der vollständige Schutz, allerdings mit dem Unterschied, dass der entschlüsselte Klassenschlüssel beim Sperren des Geräts nicht aus dem Speicher gelöscht wird. Der Schutz dieser Klasse ist mit der vollständigen Festplattenverschlüsselung auf Desktopcomputern vergleichbar. Daten werden so vor Angriffen geschützt, die einen Neustart beinhalten. Dies ist die Standardklasse für Apps von Drittanbietern, die keiner anderen Datensicherheitsklasse zugewiesen wurden.

Kein Schutz

`(NSFileProtectionNone)`: Dieser Klassenschlüssel wird nur mit der UID geschützt und im Effaceable Storage gespeichert. Da alle Schlüssel zum Entschlüsseln von Dateien dieser Klasse auf dem Gerät gespeichert werden, bietet diese Verschlüsselung nur den Vorteil einer schnellen Fernlöschung. Wenn einer Datei keine Datensicherheitsklasse zugewiesen wird, wird sie dennoch in verschlüsselter Form gespeichert (wie alle Daten auf einem iOS-Gerät).

Komponenten eines Objekts im Schlüsselbund
Neben der Zugangsgruppe enthält jedes Schlüsselbundelement administrative Metadaten (z. B. Zeitstempel wie „Erstellt" und „Zuletzt aktualisiert").

Außerdem enthalten sie SHA-1 Hashwerte der bei der Abfrage eines Objekts verwendeten Attribute (z. B. Name des Accounts oder Servers), damit eine Suche auch ohne Entschlüsselung der einzelnen Objekte möglich ist. Und schließlich enthalten sie auch Verschlüsselungsdaten, u. a.:

- Versionsnummer
- Daten der Zugriffssteuerungslisten (ACL)
- Einen Wert, der die Sicherheitsklasse des Objekts angibt
- Den pro Datei erzeugten Schlüssel, der mit dem Sicherheitsklassenschlüssel verschlüsselt wurde
- Das Verzeichnis der Attribute, die das Objekt beschreiben (wie an „SecItemAdd" weitergeben), als binäre plist codiert und mit dem pro Datei erzeugten Schlüssel verschlüsselt werden

Als Verschlüsselung wird AES-256 im GCM-Modus (Galois/Counter Mode) verwendet; die Zugriffsgruppe ist in den Attributen enthalten und wird mit dem GMAC-Tag geschützt, das bei der Verschlüsselung errechnet wird.

Schlüssel der Datenschutzklasse

Klasse A	Vollständiger Schutz	(NSFileProtectionComplete)
Klasse B	Geschützt, außer wenn offen	(NSFileProtectionCompleteUnlessOpen)
Klasse C	Geschützt bis zur ersten Benutzerauthentifizierung	(NSFileProtectionCompleteUntilFirstUserAuthentication)
Klasse D	Kein Schutz	(NSFileProtectionNone)

Sicherheit von Schlüsselbunddaten

Viele Apps müssen Passwörter und andere kurze, aber vertrauliche Datensätze (z. B. Schlüssel und Anmelde-Tokens) verarbeiten. Der iOS-Schlüsselbund stellt eine sichere Methode zum Speichern dieser Elemente zur Verfügung.

Schlüsselbundobjekte werden anhand von zwei AES-256-GCM-Schlüsseln, einem Tabellenschlüssel (Metadaten) und einem Zeilenschlüssel (Secret-Key) verschlüsselt. Schlüsselmetadaten (alle anderen Attribute als kSecValue) werden zum schnellen Suchen mit dem Metadatenschlüssel verschlüsselt, während der geheime Wert (kSecValueData) mit dem geheimen Schlüssel (Secret-Key) verschlüsselt wird. Der Metadatenschlüssel wird vom Prozessor der Secure Enclave geschützt, aber im Anwendungsspeicher zwischengespeichert, um schnelle Abfragen des Schlüsselbunds zuzulassen. Der Geheimschlüssel erfordert immer einen Durchlauf durch den Secure Enclave-Prozessor.

Der Schlüsselbund ist als SQLite-Datenbank implementiert, die im Dateisystem gespeichert wird. Die Datenbank existiert nur einmal im System. Der *securityd*-Daemon legt fest, auf welche Schlüsselbundelemente ein Prozess oder eine App zugreifen kann. Zugriffe auf die APIs des Schlüsselbunds resultieren in Anfragen an den Daemon, der wiederum die Berechtigungen „keychain-access-groups", „application-identifier" und „application-group" abfragt. Anstatt den Zugriff auf einen einzelnen Prozess einzuschränken, ermöglichen es Zugriffsgruppen, Schlüsselbundeinträge zwischen Apps zu teilen.

Schlüsselbundeinträge können nur zwischen Apps desselben Entwicklers gemeinsam genutzt werden. Apps anderer Anbieter werden angewiesen, Zugriffsgruppen mit einem Präfix zu verwenden, das ihnen durch das Apple-Entwicklerprogramm über Anwendungsgruppen zugewiesen wurde. Das Präfix-Erfordernis und die Einzigartigkeit der Anwendungsgruppe werden über die Codesignierung, die **Bereitstellungsprofile** und das Apple-Entwicklerprogramm sichergestellt.

Die Schlüsselbunddaten werden mit einer Klassenstruktur geschützt, die der Klassenstruktur beim Schutz der Dateidaten ähnelt. Diese Klassen weisen ähnliche Verhaltensweisen wie die Datei-Datensicherheitsklassen auf, verwenden aber separate Schlüssel und sind Bestandteil von APIs, die unterschiedlich benannt sind.

Verfügbarkeit	Schutz von Dateien	Schutz von Schlüsselbunddaten
Wenn entsperrt	NSFileProtectionComplete	kSecAttrAccessibleWhenUnlocked
Wenn gesperrt	NSFileProtectionCompleteUnlessOpen	Nicht verfügbar
Nach erstem Entsperren	NSFileProtectionCompleteUntilFirstUserAuthentication	kSecAttrAccessibleAfterFirstUnlock
Immer	NSFileProtectionNone	kSecAttrAccessibleAlways
Code aktiviert	Nicht verfügbar	kSecAttrAccessible WhenPasscodeSetThisDeviceOnly

Apps, die Hintergrundaktualisierungsdienste nutzen, können `kSecAttrAccessibleAfterFirstUnlock` für Schlüsselbundobjekte nutzen, auf die bei Hintergrundaktualisierungen zugegriffen werden muss.

Die Klasse `kSecAttrAccessibleWhenPasscodeSetThisDeviceOnly` verhält sich ähnlich wie die Klasse `kSecAttrAccessibleWhenUnlocked`, ist aber nur verfügbar, wenn das Gerät mit einem Gerätecode konfiguriert wurde. Diese Klasse existiert nur im System-**Keybag**; sie:

- wird nicht mit dem iCloud-Schlüsselbund synchronisiert,
- wird nicht gesichert,
- wird nicht in Escrow-Keybags integriert.

Wenn der Gerätecode entfernt oder zurückgesetzt wird, werden diese Objekte unbrauchbar, da die Klassenschlüssel verworfen werden.

Andere Schlüsselbundklassen besitzen ein „Nur dieses Gerät"-Gegenstück, das immer mit der UID geschützt wird, wenn eine Kopie bei der Sicherung des Geräts erstellt wird. Dadurch wird es bei der Wiederherstellung auf einem anderen Gerät nutzlos. Apple hat Sicherheit und Benutzerfreundlichkeit sorgfältig abgewogen und Schlüsselbundklassen gewählt, die von der Art der zu sichernden Informationen abhängen und davon, wann iOS auf sie zugreifen muss. Ein VPN-Zertifikat muss zum Beispiel immer verfügbar sein, damit das Gerät eine permanente Verbindung besitzt, wird aber als „nicht-migrierend" klassifiziert, kann also nicht auf ein anderes Gerät übertragen werden.

Bei von iOS erstellten Schlüsselbundobjekten wird der folgende Klassenschutz erzwungen:

Objekt	Zugänglich
WLAN-Passwörter	Nach erstem Entsperren
Mail-Accounts	Nach erstem Entsperren
Exchange-Accounts	Nach erstem Entsperren
VPN-Passwörter	Nach erstem Entsperren
LDAP, CalDAV, CardDAV	Nach erstem Entsperren
Account-Token für soziale Netzwerke	Nach erstem Entsperren
Schlüssel für Handoff-Ankündigungen	Nach erstem Entsperren
iCloud Token	Nach erstem Entsperren
Homeshare-Passwörter	Wenn entsperrt
Safari-Passwörter	Wenn entsperrt
Safari-Lesezeichen	Wenn entsperrt
iTunes-Backup	Wenn entsperrt, nicht-migrierend
VPN-Zertifikate	Immer, nicht-migrierend
Bluetooth®-Schlüssel	Immer, nicht-migrierend
Apple Push-Benachrichtigungsdienst-Token (APNS)	Immer, nicht-migrierend
iCloud-Zertifikate und privater Schlüssel	Immer, nicht-migrierend
iMessage-Schlüssel	Immer, nicht-migrierend
Von einem Konfigurationsprofil installierte Zertifikate und private Schlüssel	Immer, nicht-migrierend
SIM-PIN	Immer, nicht-migrierend
Token für „Mein iPhone suchen"	Immer
Voicemail	Immer

Schlüsselbundzugriffssteuerung

Schlüsselbunde können Zugriffssteuerungslisten (ACLs) verwenden, um Richtlinien für Zugriffs- und Authentifizierungsanforderungen festzulegen. Objekte können Bedingungen festlegen, bei denen der Benutzer sich per Touch ID oder Face ID oder durch Eingabe des Gerätecodes authentifizieren muss, um auf sie zugreifen zu können. Der Zugriff auf Objekte kann auch eingeschränkt werden, indem festgelegt wird, dass die Touch ID- oder Face ID-Registrierung nicht geändert wurde, seit das Objekt hinzugefügt wurde. Mit dieser Einschränkung lässt sich verhindern, dass ein Angreifer seinen eigenen Fingerabdruck hinzufügt, um so auf ein Objekt im Schlüsselbund zuzugreifen. ACLs werden in der Secure Enclave evaluiert und nur dann an den Kernel weitergegeben, wenn die angegebenen Einschränkungen erfüllt sind.

Keybags

Die Schlüssel sowohl für Datei- als auch für Schlüsselbund-Datenschutzklassen werden in Keybags gesammelt und verwaltet. iOS verwendet die folgenden Keybags: User, Device, Backup, Escrow und iCloud Backup.

Im **User-Keybag** werden die verpackten Klassenschlüssel gespeichert, die im normalen Betrieb des Geräts verwendet werden. Wenn beispielsweise ein Gerätecode eingegeben wird, wird der Schlüssel `NSFileProtectionComplete` aus dem User-Keybag geladen und entpackt. Es handelt sich um eine binäre Eigenschaftsliste (.plist-Datei), die in der Klasse „Kein Schutz" gespeichert ist und deren Inhalte mit einem Schlüssel aus dem Effaceable Storage verschlüsselt werden. Dieser Schlüssel wird jedes Mal, wenn der Besitzer seinen Code ändert, gelöscht und neu erzeugt, um den Keybags Folgenlosigkeit (Forward Secrecy) zu verleihen. Die Kernel-Extension `AppleKeyStore` verwaltet den User-Keybag und über sie kann der Status für die Sperre des Geräts abgerufen werden. Sie meldet nur dann, dass das Gerät entsperrt ist, wenn auf alle Klassenschlüssel im User-Keybag zugegriffen werden kann und sie erfolgreich entpackt wurden.

Im **Device-Keybag** werden die verpackten Klassenschlüssel gespeichert, die für Operationen mit gerätespezifischen Daten verwendet werden. iOS-Geräte, die für die gemeinsame Nutzung konfiguriert sind, benötigen manchmal Zugriff auf Anmeldedaten, bevor sich ein Benutzer angemeldet hat. Dies erfordert einen Keybag, der nicht mit dem Code eines Benutzers geschützt ist. Eine kryptografische Trennung von benutzerbasierten Dateisysteminhalten wird von iOS nicht unterstützt; das heißt, das System verwendet Klassenschlüssel aus dem Device-Keybag, um pro Datei erzeugte Schlüssel zu verpacken. Der Schlüsselbund verwendet hingegen Klassenschlüssel des User-Keybag, um Objekte im Schlüsselbund des Benutzers zu schützen. Bei iOS-Geräten, die für die Nutzung durch einen einzigen Benutzer konfiguriert sind (Standardkonfiguration), sind Device-Keybag und User-Keybag identisch und mit dem Code des Benutzers geschützt.

Der **Backup-Keybag** wird erstellt, wenn iTunes ein verschlüsseltes Backup erstellt und auf dem Computer speichert, auf dem das Gerät gesichert wird. Es wird ein neuer Keybag mit neuen Schlüsseln erstellt und die gesicherten Daten werden mit diesen neuen Schlüsseln erneut verschlüsselt. Wie zuvor beschrieben bleiben nicht-migrierende Schlüsselbundobjekte mit dem von der UID abgeleiteten Schlüssel verpackt, sodass sie auf dem Gerät, von dem sie ursprünglich gesichert wurden, wiederhergestellt werden können, von anderen Geräten aus aber nicht auf sie zugegriffen werden kann.

Der Keybag wird mit dem in iTunes festgelegten Passwort geschützt, das 10 Millionen Iterationen der PBKDF2 durchläuft. Trotz dieses Zählers wird keine Verknüpfung mit einem bestimmten Gerät hergestellt, sodass theoretisch ein Brute-Force-Angriff von mehreren Computern gleichzeitig aus auf den Backup-Keybag ausgeführt werden könnte. Dieser Bedrohung kann mit einem hinreichend sicheren Passwort entgegengewirkt werden.

Wenn ein Benutzer ein iTunes-Backup nicht verschlüsseln lässt, werden die Backup-Dateien unabhängig von ihrer Datenschutzklasse nicht verschlüsselt, der Schlüsselbund wird aber weiterhin mit einem von der UID abgeleiteten Schlüssel geschützt. Aus diesem Grund können Schlüsselbundobjekte nur auf ein neues Gerät migriert werden, wenn ein Backup-Passwort festgelegt wurde.

Der **Escrow-Keybag** wird zum Synchronisieren von iTunes und für MDM (Mobile Device Management) verwendet. Mit diesem Keybag kann iTunes sichern und synchronisieren, ohne dass der Benutzer einen Code eingeben muss; außerdem ermöglicht er es einer MDM-Lösung, den Code eines Benutzers per Fernzugriff zu löschen. Er wird auf dem Computer gespeichert, der zum Synchronisieren von iTunes verwendet wird, oder in der MDM-Lösung, die das Gerät per Fernzugriff verwaltet.

Der Escrow-Keybag verbessert die Benutzerfreundlichkeit beim Synchronisieren von Geräten, wobei potenziell auf Daten aller Klassen zugegriffen werden muss. Wenn ein mit einem Code gesperrtes Gerät das erste Mal mit iTunes verbunden wird, muss der Benutzer einen Code eingeben. Das Gerät erstellt daraufhin einen Escrow-Keybag, der mit einem neu erzeugten Schlüssel geschützt wird und dieselben Klassenschlüssel enthält, die auf dem Gerät verwendet werden. Der Escrow-Keybag und der Schlüssel, mit dem er geschützt wird, werden zwischen dem Gerät und dem Host/Server aufgeteilt, wobei den auf dem Gerät gespeicherten Daten die Klasse „Geschützt bis zur ersten Benutzerauthentifizierung“ zugewiesen wird. Aus diesem Grund muss der Code für das Gerät das erste Mal nach einem Neustart eingegeben werden, bevor der Benutzer ein iTunes-Backup erstellen kann.

Bei OTA-Softwareaktualisierungen (Over-The-Air) wird der Benutzer vor dem Starten der Aktualisierung nach seinem Code gefragt. Auf dieser Basis wird in einer sicheren Umgebung ein nur einmal nutzbares Token erstellt, das nach dem Aktualisieren zum Entsperren des User-Keybag verwendet wird. Dieses Token kann nicht generiert werden, ohne dass der Code des Benutzers eingegeben wird. Wird der Code des Benutzers geändert, wird ein zuvor erstelltes Token hinfällig.

Einmal nutzbare Tokens für das Entsperren können für die beaufsichtigte und auch die unbeaufsichtigte Installation einer Softwareaktualisierung verwendet werden. Diese Token werden mithilfe eines Codes verschlüsselt, der aus dem aktuellen Wert eines monotonen Zählers in der Secure Enclave, der UUID des Keybag und der UID der Secure Enclave gebildet wird.

Erhöht sich in der Secure Enclave der Wert des Zählers für die einmal nutzbaren Token zum Entsperren, verliert ein ggf. vorhandenes Token seine Gültigkeit. Der Wert des Zählers erhöht sich, wenn ein Token verwendet wird, wenn ein Gerät nach einem Neustart erstmals entsperrt wird, wenn eine Softwareaktualisierung (durch den Benutzer oder das System) abgebrochen wird oder wenn der richtlinienspezifische Timer für das Token abläuft.

Ein einmal nutzbares Token, das zum Entsperren nach einer beaufsichtigten Softwareaktualisierung verwendet wird, verliert nach 20 Minuten seine Gültigkeit. Ein solches Token wird aus der Secure Enclave exportiert und im Effaceable Storage gespeichert. Ein richtlinienspezifischer Timer veranlasst, dass der Wert des Zählers erhöht wird, wenn das Gerät nicht innerhalb von 20 Minuten neu gebootet wird.

Unbeaufsichtigte Softwareaktualisierungen werden ausgeführt, wenn das System erkennt, dass eine Aktualisierung verfügbar ist, und folgende Situation vorliegt:

- In iOS 12 (oder neuer) sind automatische Aktualisierungen konfiguriert.

  oder

- Der Benutzer wählt „Später installieren“, wenn ihm das Vorhandensein der Aktualisierung mitgeteilt wird.

Wenn der Benutzer seinen Code eingibt, wird ein einmal nutzbares Token zum Entsperren generiert, das bis zu 8 Stunden in der Secure Enclave gültig ist. Ist die Aktualisierung noch nicht erfolgt, wird dieses einmal nutzbare Entsperrungs-Token bei jedem Sperren vernichtet und bei jedem nachfolgenden Entsperren wiederhergestellt. Durch jedes Entsperren wird das 8-Stunden-Fenster erneut gestartet.

Nach 8 Stunden entwertet ein richtlinienspezifischer Timer das einmal nutzbare Entsperrungs-Token.

Der **iCloud-Backup-Keybag** ist dem Backup-Keybag ähnlich. Alle Klassenschlüssel in diesem Keybag sind asymmetrisch (es wird Curve25519 verwendet, wie bei der Datenschutzklasse „Geschützt außer wenn offen“), sodass iCloud-Backups im Hintergrund durchgeführt werden können. Bei allen Datenschutzklassen außer „Kein Schutz“ werden die verschlüsselten Daten des Geräts gelesen und an iCloud gesendet. Die entsprechenden Klassenschlüssel werden mit den iCloud-Schlüsseln geschützt. Die Klassenschlüssel des Schlüsselbunds werden mit einem Schlüssel verpackt, der von der UID abgeleitet wird, wie bei einem nicht verschlüsselten iTunes-Backup. Ein asymmetrischer Keybag wird ebenfalls für das Backup in der Schlüsselbundwiederherstellung des iCloud-Schlüsselbunds verwendet.

Sicherheit in Apps

Apps sind die kritischen Elemente einer modernen Sicherheitsarchitektur für Mobilgeräte. Apps bieten dem Benutzer fantastische Produktivitätsgewinne, haben aber auch das Potenzial, die Systemsicherheit, die Stabilität und die Benutzerdaten zu gefährden, wenn mit ihnen nicht richtig umgegangen wird.

Aus diesem Grund bietet iOS mehrere Sicherheitsebenen, mit denen sichergestellt wird, dass Apps signiert und überprüft wurden und zum Schutz der Benutzerdaten Sandboxing verwenden. Diese Elemente bieten eine stabile, sichere Plattform für Apps und ermöglichen es Tausenden von Entwicklern, Hunderttausende Apps für iOS zu entwickeln, ohne dass die Systemintegrität beeinträchtigt wird. Benutzer können mit ihrem iOS-Gerät auf diese Apps zugreifen, ohne unnötig Angst vor Viren, Malware oder nicht autorisierten Attacken haben zu müssen.

App-Codesignierung

Nachdem der iOS-Kernel gestartet wurde, bestimmt er, welche Benutzerprozesse und Apps ausgeführt werden dürfen. Um sicherzustellen, dass alle Apps von bekannten und genehmigten Quellen stammen und nicht manipuliert wurden, muss der gesamte ausführbare Code für iOS mit einem von Apple ausgegebenem Zertifikat signiert worden sein. Die ab Werk auf dem Gerät vorhandenen Apps (z. B. Mail und Safari) wurden von Apple signiert. Apps von anderen Anbietern müssen ebenfalls vom Entwickler mit einem von Apple ausgegebenen Zertifikat validiert und signiert werden. Die zwingende Codesignierung weitet das „Chain of Trust"-Konzept vom Betriebssystem auf Apps aus und verhindert, dass Apps anderer Anbieter nicht signierten Code ausführen oder Code verwenden, der sich selbst ändert.

Um Apps auf iOS-Geräten entwickeln und installieren zu können, müssen sich Entwickler bei Apple registrieren und dem Apple-Entwicklerprogramm beitreten. Vor der Ausgabe des Zertifikats überprüft Apple die Identität jedes Entwicklers (Einzelpersonen oder Unternehmen). Mit diesem Zertifikat können Entwickler Apps signieren und sie zur Verteilung an den App Store senden. Alle Apps im App Store wurden also von identifizierbaren Personen oder Organisationen eingereicht, was für Entwickler schädlicher Apps als Abschreckung dient. Außerdem werden sie von Apple auf eine korrekte Funktionsweise überprüft, um sicherzustellen, dass sie keine offensichtlichen Bugs oder andere Probleme enthalten. Zusätzlich zu den bereits beschriebenen Technologien können Benutzer dank dieses Kurationsverfahrens auf die Qualität der gekauften Apps vertrauen.

Mit iOS können Entwickler Frameworks in ihre Apps integrieren, die von der jeweiligen App selbst oder von in der App integrierten Erweiterungen genutzt werden können. Um das System und andere Apps davor zu schützen, dass Code aus anderen Apps in ihrem Adressbereich ausgeführt wird, führt das System eine Validierung der Codesignatur für alle dynamischen Bibliotheken durch, auf die ein Prozess beim Start zugreift. Diese Überprüfung erfolgt über die Team-ID, die aus einem von Apple ausgegebenem Zertifikat extrahiert wird. Bei einer Team-ID handelt es sich um eine zehnstellige alphanumerische Zeichenfolge, z. B. 1A2B3C4D5E. Ein Programm kann auf jede Plattformbibliothek, die auf dem System vorinstalliert ist, und auf jede Bibliothek mit derselben Team-ID in der Codesignatur wie der eigentliche ausführbare Code zugreifen. Da der auf dem System vorinstallierte Code keine Team-ID besitzt, kann er nur auf Bibliotheken zugreifen, die ebenfalls auf dem System vorinstalliert sind.

Unternehmen haben auch die Möglichkeit, firmeninterne Apps zur Verwendung im Unternehmen zu entwickeln und sie an die Mitarbeiter zu verteilen. Unternehmen und Entwickler können sich mit einer D-U-N-S-Nummer für das Apple Developer Enterprise Program (ADEP) bewerben. Apple genehmigt Bewerbungsanträge nach Prüfung der Identität und Eignung der Bewerber. Tritt eine Organisation dem ADEP bei, kann sie sich für die Ausstellung eines Bereitstellungsprofils registrieren, mit dem firmeninterne Apps auf autorisierten Geräten ausgeführt werden können. Benutzer müssen das Bereitstellungsprofil installieren, um firmeninterne Apps ausführen zu können. Dadurch wird sichergestellt, dass nur die Benutzer in einer Organisation die Apps auf ihre iOS-Geräte laden können, die dazu berechtigt sein sollen. Über MDM installierte Apps sind implizit vertrauenswürdig, da die Beziehung zwischen der Organisation und dem Gerät bereits etabliert ist. In allen anderen Fällen müssen die Benutzer das Bereitstellungsprofil der App in den Einstellungen bestätigen. Organisationen können es Benutzern verwehren, Apps zu bestätigen, die von unbekannten Entwicklern stammen. Beim erstmaligen Starten einer Unternehmens-App muss das Gerät daher die positive Bestätigung durch Apple einholen, dass die App ausgeführt werden darf.

Anders als andere mobile Plattformen erlaubt iOS es seinen Benutzern nicht, potenziell schädliche, unsignierte Apps von Websites zu installieren oder nicht vertrauenswürdigen Code auszuführen. Während der Laufzeit wird die Codesignatur aller ausführbaren Speicherseiten überprüft, wenn sie geladen werden, um sicherzustellen, dass die App seit der Installation oder letzten Aktualisierung nicht modifiziert wurde.

Sicherheit von Laufzeitprozessen

Nachdem überprüft wurde, dass die App aus einer vertrauenswürdigen Quelle stammt, setzt iOS Sicherheitsmaßnahmen durch, welche derart entwickelt wurden, um zu verhindern, dass andere Apps oder der Rest des Systems gefährdet werden.

Apps anderer Anbieter werden in einer Sandbox ausgeführt, damit sie keine Änderungen am Gerät vornehmen oder auf Dateien zugreifen können, die von anderen Apps gespeichert wurden. Dadurch können Apps keine von anderen Apps gespeicherten Informationen abrufen oder verändern. Jede App verfügt über ein eigenes Home-Verzeichnis für die dazugehörigen Dateien, das bei der Installation der App zufällig ausgewählt wird. Wenn eine App eines anderen Anbieters auf Informationen zugreifen muss, die ihr nicht zugeordnet sind, kann sie das nur über Dienste tun, die explizit von iOS bereitgestellt werden.

Systemdateien und Ressourcen werden ebenfalls von den Apps des Benutzers abgeschirmt. Der Großteil von iOS und alle Apps anderer Anbieter werden über den nicht privilegierten Benutzer „mobile“ ausgeführt. Die gesamte Betriebssystempartition ist nur für den Lesezugriff aktiviert. Nicht notwendige Tools, wie etwa Dienste für die entfernte Anmeldung, gehören nicht zur Systemsoftware und die APIs lassen es nicht zu, dass Apps ihre eigenen Privilegien erhöhen, um andere Apps oder iOS zu verändern.

Der Zugriff auf Benutzerinformationen und Funktionen wie iCloud und die Erweiterbarkeit durch Apps anderer Anbieter wird über festgelegte Berechtigungen gesteuert. Berechtigungen sind Schlüssel/Wert-Paare, die zusammen mit einer App signiert werden und die eine Authentifizierung über Laufzeitfaktoren wie die UNIX-Benutzerkennung hinaus ermöglichen. Da die Berechtigungen digital signiert sind, können sie nicht verändert werden. Berechtigungen werden in großem Umfang von System-Apps und Daemons zur Durchführung bestimmter privilegierter Vorgänge verwendet, die andernfalls als Root ausgeführt werden müssten. Dadurch wird die Gefahr einer Privilegienerhöhung durch eine beschädigte System-App oder einen Daemon reduziert.

Außerdem können Apps nur über vom System bereitgestellte APIs die Hintergrundverarbeitung verwenden. Dadurch können Apps ohne Leistungseinbußen oder dramatische Beeinträchtigung der Batterielebensdauer weiterarbeiten.

Die **Speicherverwürfelung (Address Space Layout Randomization, ASLR)** schützt davor, dass Fehler, die den Speicher modifizieren, ausgenutzt werden können. Integrierte Apps nutzen ASLR, um sicherzustellen, dass beim Start alle Speicherbereiche zufällig vergeben werden. Die zufällige Anordnung der Speicheradressen von ausführbarem Code, den Systembibliotheken (System Libraries) und den zugehörigen Programmelementen verringert die Wahrscheinlichkeit vieler komplexer Exploits. Ein „return-to-libc"-Angriff versucht beispielsweise, durch die Manipulation der Speicheradressen von Stack- und System-Libraries ein Gerät zum Ausführen von Schadcode zu zwingen. Werden diese Bibliotheken zufällig platziert, erschwert dies den Angriff deutlich, insbesondere wenn sich dieser gegen mehrere Geräte richtet. Xcode, die Entwicklerumgebung für iOS, kompiliert Programme anderer Anbieter automatisch mit aktivierter ASLR-Unterstützung.

Zusätzlichen Schutz bietet die ARM-Funktion „Execute Never" (XN), die Speicherseiten als nicht-ausführbar kennzeichnet. Speicherseiten, die als beschreibbar und ausführbar gekennzeichnet sind, können von Apps nur unter streng kontrollierten Bedingungen verwendet werden: Der Kernel überprüft, ob die Apple vorbehaltene Berechtigung „dynamic code signing" vorhanden ist. Selbst dann kann nur ein einziger mmap-Aufruf genutzt werden, um eine ausführbare und beschreibbare Seite anzufordern, die eine zufällige Adresse erhält. Safari verwendet diese Funktion für seinen JavaScript JIT Compiler.

Erweiterungen

In iOS können Apps mithilfe von Erweiterungen Funktionen für andere Apps bereitstellen. Erweiterungen sind signierte, ausführbare Binärdateien für einen speziellen Zweck, die in eine App verpackt wurden. Das System erkennt Erweiterungen automatisch bei der Installation und stellt sie anderen Apps über ein Abgleichsystem zur Verfügung.

Ein Systembereich, der Erweiterungen unterstützt, wird Erweiterungspunkt (Extension Point) genannt. Jeder Erweiterungspunkt stellt APIs bereit und setzt die Richtlinien für den Bereich durch. Das System legt anhand der jeweiligen Abgleichregeln des Erweiterungspunkts fest, welche Erweiterungen zur Verfügung stehen. Das System startet Erweiterungsprozesse bei Bedarf und verwaltet ihren Lebenszyklus automatisch. Berechtigungen können dafür verwendet werden, die Verfügbarkeit von Erweiterungen für bestimmte System-Apps einzuschränken. Das Widget für die Tagesansicht erscheint beispielsweise nur in der Mitteilungszentrale und eine Freigabeerweiterung ist nur im Bereich „Freigabe" verfügbar. Die Erweiterungspunkte sind das Widget „Tagesansicht", die Freigabe, Eigene Aktionen, Bildbearbeitung, Document Provider und eigene Tastatur.

Erweiterungen werden in ihrem eigenen Adressbereich ausgeführt. Die Kommunikation zwischen einer Erweiterung und der App, die sie aktiviert hat, verwendet Interprozesskommunikation, die vom System-Framework vermittelt wird. Sie können nicht auf die Dateien oder Speicherbereiche der anderen Seite zugreifen. Erweiterungen sind voneinander, von der App, die sie enthält, und von anderen Apps, die sie verwenden, abgeschirmt. Sie werden genau wie alle anderen Apps anderer Anbieter in einer Sandbox ausgeführt und ihr Container ist nicht derselbe Container wie der der App. Sie teilen sich jedoch den Zugriff auf die Datenschutzeinstellungen mit der App, die sie enthält. Wenn also ein Benutzer einer App Zugriff auf die Kontakte erlaubt, so wird dieser Zugriff auch an die in der App integrierten Erweiterungen weitergereicht, aber nicht an Erweiterungen, die in der App aktiviert werden.

Eigene Tastaturen stellen eine Sonderform der Erweiterung dar, da sie vom Benutzer für das gesamte System aktiviert werden. Nach der Aktivierung wird eine Tastaturerweiterung für alle Textfelder verwendet, außer für die Eingabe des Codes und verschlüsselte Textfelder. Um die Übertragung von Benutzerdaten einzuschränken, werden eigene Tastaturen standardmäßig in einer besonders eingeschränkten Sandbox ausgeführt. Diese Sandbox blockiert den Zugriff auf das Netzwerk, auf Dienste, die Netzwerkoperationen stellvertretend für den Prozess ausführen, und auf APIs, die es der Erweiterung erlauben würden, Eingabedaten aufzuzeichnen. Entwickler eigener Tastaturen können anfordern, dass ihre Erweiterung Open Access erhält, mit dem das System nach Bestätigung durch den Benutzer die Erweiterung in der Standardsandbox ausführt.

Bei Geräten, die in einer MDM-Lösung registriert sind, folgen Dokument- und Tastaturerweiterungen der Regel „Verwaltetes Öffnen" (Managed Open In). Die MDM-Lösung kann beispielsweise verhindern, dass ein Benutzer ein Dokument aus einer verwalteten App in einen nicht verwalteten Document Provider exportiert oder eine nicht verwaltete Tastatur in einer verwalteten App verwendet. Außerdem können Entwickler festlegen, dass in ihrer App keine Tastaturerweiterungen anderer Anbieter verwendet werden dürfen.

App-Gruppen

Apps und Erweiterungen eines bestimmten Entwickleraccounts können Inhalte gemeinsam verwenden, wenn sie als Teil einer App-Gruppe konfiguriert sind. Der Entwickler muss die entsprechenden Gruppen im Apple-Entwicklerportal erstellen und die gewünschte Gruppe mit Apps und Erweiterungen hinzufügen. Apps, die einer App-Gruppe zugewiesen wurden, haben Zugriff auf Folgendes:

- Einen geteilten Datenträgercontainer als Speicher, der auf dem Gerät bleibt, solange mindestens eine App aus der Gruppe installiert ist
- Geteilte Einstellungen
- Geteilte Schlüsselbundobjekte

Das Apple-Entwicklerportal garantiert, dass App-Gruppen-IDs im gesamten Ökosystem eindeutig sind.

Sicherheit von Daten in Apps

Das iOS Software Development Kit (SDK) bietet ein API-Komplettpaket, mit dem externe und interne Entwickler Datensicherheit ganz einfach übernehmen können und das für maximale Sicherheit in ihren Apps sorgt. Diese Datensicherheit ist für Datei- und Datenbank-APIs verfügbar, wie z. B. NSFileManager, CoreData, NSData oder SQLite.

Die Mail-Datenbank (inklusive Anhänge), verwaltete Bücher, Safari-Lesezeichen, App-Start-Images und Ortsdaten werden ebenfalls durch Verschlüsselung gesichert; verwendet werden hierfür Schlüssel, die mit dem Code des Benutzers für das Gerät geschützt werden. Kalender (ohne Anhänge), Kontakte, Erinnerungen, Notizen, Nachrichten und Fotos verwenden die Datensicherheitsberechtigung „Geschützt bis zur ersten Benutzerauthentifizierung".

Vom Benutzer installierte Apps, die keine bestimmte Datensicherheitsklasse besitzen, werden standardmäßig der Klasse „Geschützt bis zur ersten Benutzerauthentifizierung" zugeordnet.

Zubehör

Das Lizenzprogramm „Made for iPhone, iPad and iPod touch“ (MFi) bietet geprüften Zubehörherstellern Zugriff auf das „iPod Accessories Protocol“ (iAP) und die notwendigen unterstützten Hardwarekomponenten.

Wenn ein MFi-Zubehör über einen Lightning-Anschluss oder über Bluetooth eine Verbindung zu einem iOS-Gerät herstellen will, muss das Zubehör beweisen, dass es von Apple autorisiert wurde, indem es mit einem Zertifikat von Apple antwortet, das dann vom Gerät überprüft wird. Das Gerät sendet anschließend eine Anfrage, auf die das Zubehör eine signierte Antwort senden muss. Dieses Verfahren wird vollständig von einem maßgeschneiderten integrierten Schaltkreis (Integrated Circuit, IC) durchgeführt, den Apple zugelassenen Zubehörherstellern zur Verfügung stellt, und ist für das Zubehör selbst transparent.

Zubehör kann Zugriff auf unterschiedliche Übertragungsarten und Funktionen anfordern, zum Beispiel Zugriff auf digitale Audiostreams über das Lightning-Kabel oder Ortsinformationen über Bluetooth. Ein IC (integrierter Schaltkreis) für die Authentifizierung sorgt dafür, dass nur genehmigtes Zubehör vollständigen Zugriff auf das Gerät erhält. Wenn ein Zubehör keine Authentifizierung unterstützt, erhält es nur Zugriff auf analoge Audiosignale und in begrenztem Umfang auf serielle Audiowiedergabesteuerung (UART).

AirPlay verwendet ebenfalls den IC für die Authentifizierung, um zu überprüfen, ob der Empfänger von Apple zugelassen wurde. AirPlay-Audiostreams und CarPlay-Videostreams nutzen das MFi-SAP (Sicherheitsverbindungsprotokoll, *Secure Association Protocol*), mit dem die Kommunikation zwischen dem Zubehör und dem Gerät mit AES-128 im CTR-Modus verschlüsselt wird. Temporäre Schlüssel werden per ECDH-Schlüsselaustausch (Curve25519) ausgetauscht und mit dem 1024-Bit RSA-Schlüssel des ICs für die Authentifizierung als Teil des Station-to-Station-Protokolls signiert.

HomeKit

HomeKit bietet eine Infrastruktur zur Hausautomatisierung, die Sicherheitsmerkmale von iCloud und von iOS nutzt, um private Daten zu schützen und zu synchronisieren, ohne dass Apple darauf zugreifen kann.

HomeKit-Identität

Die HomeKit-Identität und die Sicherheit basieren auf einem öffentlich/privaten Ed25519-Schlüsselpaar. Auf dem iOS-Gerät wird für jeden HomeKit-Benutzer ein Ed25519-Schlüsselpaar erzeugt, das seine HomeKit-Identität darstellt. Es wird für die Kommunikation zwischen iOS-Geräten und/oder Zubehör verwendet.

Die Schlüssel werden im Schlüsselbund gespeichert und sind nur in verschlüsselten Backups des Schlüsselbunds enthalten. Die Schlüssel werden mit dem iCloud-Schlüsselbund (sofern verfügbar) geräteübergreifend synchronisiert. HomePod und Apple TV empfangen Schlüssel über „Antippen für die Konfiguration“ oder den unten beschriebenen Konfigurationsmodus. Schlüssel werden von einem iPhone via Apple IDS (Identity Service) mit einer gekoppelten Apple Watch geteilt.

Kommunikation mit HomeKit-Zubehör

HomeKit-Zubehörgeräte erstellen ihr eigenes Ed25519-Schlüsselpaar für die Kommunikation mit iOS-Geräten. Wenn das Zubehör auf die Werkseinstellungen zurückgesetzt wird, wird ein neues Schlüsselpaar generiert.

Um eine Verbindung zwischen einem iOS-Gerät und HomeKit-Zubehör herzustellen, werden die Schlüssel über das sichere 3072-Bit-Protokoll „Secure Remote Password“ ausgetauscht, wofür ein achtstelliger Code des Zubehörherstellers verwendet wird, der vom Benutzer auf dem iOS-Gerät eingegeben und dann

anschließend per CHACHA20-POLY1305 AEAD mit von HKDF-SHA-512 abgeleiteten Schlüsseln verschlüsselt wird. Die MFi-Zertifizierung des Zubehörs wird bei der Konfiguration ebenfalls überprüft. Zubehör ohne MFi-Chip kann Unterstützung für die Softwareautorisierung in iOS 11.3 (oder neuer) integrieren.

Wenn das iOS-Gerät und das HomeKit-Zubehör bei der Verwendung kommunizieren, authentifizieren sie sich gegenseitig über die zuvor ausgetauschten Schlüssel. Jede Sitzung wird über ein Station-to-Station-Protokoll hergestellt und mit von HKDF-SHA-512 abgeleiteten Schlüsseln verschlüsselt, die auf für diese Sitzung erzeugten Curve25519-Schlüsseln basieren. Dies gilt sowohl für IP-basiertes Zubehör als auch für Bluetooth Low Energy-Zubehör.

Für Bluetooth Low Energy-Geräte, die Broadcast-Benachrichtigungen unterstützen, wird das Zubehör durch ein gekoppeltes iOS-Gerät über eine sichere Sitzung mit einem Broadcast-Verschlüsselungsschlüssel ausgestattet. Dieser Schlüssel wird verwendet, um die Daten über Statusänderungen auf den Zubehörgeräten zu verschlüsseln, die über die Bluetooth Low Energy-Ankündigungen benachrichtigt werden. Der Broadcast-Verschlüsselungsschlüssel ist ein über HKDF-SHA-512 abgeleiteter Schlüssel und die Daten werden anhand des CHACHA20-POLY1305 AEAD-Algorithmus (Authenticated Encryption with Associated Data) verschlüsselt. Der Broadcast-Verschlüsselungsschlüssel wird regelmäßig vom iOS-Gerät geändert und via iCloud mit anderen Geräten synchronisiert (wie im nachfolgenden Abschnitt „Geräte- und benutzerübergreifende Datensynchronisierung“ beschrieben).

Lokaler Datenspeicher

HomeKit speichert Daten über das Haus, Zubehör, Szenen und Benutzer auf dem iOS-Gerät des Benutzers. Diese gespeicherten Daten werden mit Schlüsseln verschlüsselt, die von den Schlüsseln der HomeKit-Identität und einer zufälligen Nonce abgeleitet werden. Zudem werden HomeKit-Daten mit der Datensicherheitsklasse „Geschützt bis zur ersten Benutzerauthentifizierung“ geschützt. HomeKit-Daten werden nur in verschlüsselten Backups gesichert, sodass sie z. B. nicht in unverschlüsselten iTunes-Backups enthalten sind.

Geräte- und benutzerübergreifende Datensynchronisierung

Die HomeKit-Daten können mit iCloud und dem iCloud-Schlüsselbund für die iOS-Geräte eines Benutzers synchronisiert werden. Die HomeKit-Daten werden bei der Synchronisation mit Schlüsseln verschlüsselt, die von der HomeKit-Identität und einer zufälligen Nonce abgeleitet werden. Diese Daten werden bei der Synchronisation als nicht einsehbare Daten synchronisiert. Die aktuellen Daten werden für die Synchronisation in iCloud gespeichert, dort aber nicht verwendet. Da die Verschlüsselung mit Codes erfolgt, die nur auf den iOS-Geräten des Benutzers verfügbar sind, kann auf den Inhalt weder bei der Übertragung noch in iCloud zugegriffen werden.

Die HomeKit-Daten werden auch für mehrere Benutzer im selben Haus synchronisiert. Dieses Verfahren verwendet dieselbe Authentifizierung und Verschlüsselung wie zwischen iOS-Geräten und HomeKit-Zubehör. Die Authentifizierung basiert auf öffentlichen Ed25519-Schlüsseln, die zwischen den Geräten ausgetauscht werden, wenn einem Haus ein Benutzer hinzugefügt wird. Wurde dem Haus ein neuer Benutzer hinzugefügt, wird jede weitere Kommunikation mit dem Station-to-Station-Protokoll und für die Sitzung erzeugten Schlüsseln authentifiziert und verschlüsselt.

Der Benutzer, der die häusliche Umgebung in HomeKit angelegt hat, oder ein anderer Benutzer mit Bearbeitungsrechten kann neue Benutzer hinzufügen. Der Eigentümer des Geräts konfiguriert das Zubehör mit dem öffentlichen Schlüssel des neuen Benutzers, sodass das Zubehör den neuen Benutzer authentifizieren und Befehle von ihm empfangen kann. Wenn ein Benutzer mit Bearbeitungsrechten einen neuen Benutzer hinzufügt, wird der Vorgang an einen privaten Hub delegiert, der das Verfahren abschließt.

Die Bereitstellung des Apple TV für die Verwendung mit HomeKit erfolgt automatisch, wenn der Benutzer sich bei iCloud anmeldet. Für den iCloud-Account muss die Zwei-Faktor-Authentifizierung aktiviert sein. Das Apple TV und der Eigentümer des Geräts tauschen temporäre öffentliche Ed25519-Schlüssel via iCloud aus. Wenn sich der Eigentümer des Geräts und das Apple TV in demselben lokalen Netzwerk befinden, werden die temporären Schlüssel verwendet, um eine Verbindung über das lokale Netzwerk mittels Station-to-Station-Protokoll und für die Sitzung erzeugten Schlüsseln zu schützen. Dieses Verfahren verwendet dieselbe Authentifizierung und Verschlüsselung wie zwischen iOS-Geräten und HomeKit-Zubehör. Über diese sichere lokale Verbindung überträgt das Gerät des Eigentümers die öffentlich/privaten Ed25519-Schlüsselpaare des Benutzers an das Apple TV. Diese Schlüssel werden dann verwendet, um die Kommunikation zwischen dem Apple TV und dem HomeKit-Zubehör zu schützen und auch zwischen dem Apple TV und anderen iOS-Geräten, die Teil des HomeKit-Hauses sind.

Wenn ein Benutzer nicht mehrere Geräte verwendet und sich weigert, weiteren Benutzern Zugriff auf sein Haus zu gewähren, werden die HomeKit-Daten nicht in iCloud gesichert.

Hausdaten und Apps

Der Zugriff von Apps auf die Hausdaten wird in den Datenschutzeinstellungen des Benutzers festgelegt. Benutzer werden gefragt, ob Zugriff gewährt werden soll, wenn Apps Hausdaten abfragen wollen, ähnlich wie bei Kontakten, Fotos und anderen iOS-Datenquellen. Stimmt der Benutzer zu, können Apps auf Zimmernamen, Zubehörnamen, Zubehörstandorte und weitere Informationen zugreifen, die in der HomeKit-Entwicklerdokumentation unter folgender Adresse beschrieben werden: https://developer.apple.com/homekit/.

HomeKit und Siri

Siri kann verwendet werden, um Zubehör abzufragen und zu steuern und Szenen zu aktivieren. Minimale Informationen zur Konfiguration des Hauses werden anonym an Siri gesendet, um Namen von Zimmern, Zubehör oder Szenen bereitzustellen, die für die Erkennung von Befehlen erforderlich sind. Audiodaten, die an Siri gesendet werden, können bestimmtes Zubehör oder Befehle enthalten. Die Siri-Daten werden aber keiner anderen Apple-Funktion wie HomeKit zugeordnet. Weitere Informationen dazu sind unter „Siri“ im Abschnitt „Internetdienste“ dieses Dokuments zu finden.

HomeKit-IP-Kameras

IP-Kameras in HomeKit senden Video- und Audiostreams direkt an das iOS-Gerät im lokalen Netzwerk, das auf den Stream zugreift. Die Streams werden auf dem iOS-Gerät und in der IP-Kamera mit zufällig generierten Schlüsseln verschlüsselt, die über die sichere HomeKit-Sitzung mit der Kamera ausgetauscht werden. Wenn sich das iOS-Gerät nicht im lokalen Netzwerk befindet, werden die verschlüsselten Streams über den privaten Hub an das iOS-Gerät weitergeleitet. Der private Hub entschlüsselt die Streams nicht, sondern funktioniert nur als Umleitung zwischen dem iOS-Gerät und der IP-Kamera. Wenn eine App dem Benutzer das Video der HomeKit-IP-Kamera anzeigt, gibt HomeKit die Videobilder sicher über einen separaten Systemprozess wieder, damit die App nicht auf den Videostream zugreifen oder diesen speichern kann. Außerdem dürfen Apps keine Bildschirmfotos aus diesem Stream speichern.

iCloud Remote-Zugriff für HomeKit-Zubehör

Das HomeKit-Zubehör kann die Verbindung zu iCloud direkt herstellen, sodass iOS-Geräte in der Lage sind, das Zubehör auch in Situationen zu kontrollieren, wenn keine Bluetooth- oder keine WLAN-Kommunikation möglich ist.

Beim Design des iCloud Remote-Zugriffs wurde sorgsam darauf geachtet, dass das Zubehör gesteuert werden kann und Benachrichtigungen gesendet werden können, ohne dass Apple gegenüber offen gelegt wird, um welche Art Zubehör es sich im Einzelfall handelt oder welche Befehle und Benachrichtigungen gesendet werden. HomeKit sendet beim iCloud Remote-Zugriff keine Informationen über die häusliche Umgebung.

Wenn ein Benutzer einen Befehl per iCloud Remote-Zugriff sendet, werden das Zubehör und das iOS-Gerät wechselseitig authentifiziert und die Daten auf die gleiche Weise verschlüsselt, wie dies bei lokalen Verbindungen geschieht. Der kommunizierte Inhalt wird verschlüsselt und ist für Apple nicht sichtbar. Die Adressierung über iCloud basiert auf den iCloud-Kennungen, die im Zuge des Konfigurationsprozesses registriert werden.

Zubehör, das den iCloud Remote-Zugriff unterstützt, wird beim jeweiligen Konfigurationsprozess bereitgestellt. Der Prozess der Bereitstellung beginnt in dem Moment, in dem sich der Benutzer bei iCloud anmeldet. Das iOS-Gerät sendet daraufhin eine Anfrage an das Zubehör, die das Zubehör signieren muss. Hierfür wird der Apple-Authentifizierungsprozessor (Authentication Coprocessor) verwendet, der in jedes „Built for HomeKit"-Zubehör eingebaut ist. Das Zubehör generiert zudem ECC-Schlüssel (Elliptische-Kurven-Schlüssel) auf Basis von prime256v1. Der öffentliche Schlüssel wird zusammen mit der signierten Anfrage und dem X.509-Zertifikat des Authentifizierungsprozessors an das iOS-Gerät gesendet. Diese Informationen werden verwendet, um vom iCloud-Bereitstellungsserver ein Zertifikat für das Zubehör anzufordern. Das Zertifikat wird vom Zubehör gespeichert; es enthält aber keinerlei identifizierende Informationen über das Zubehör selbst, sondern nur die Information, dass das Zubehör die Zugriffsberechtigung für den iCloud Remote-Zugriff für HomeKit hat. Das iOS-Gerät, das die Bereitstellung übernimmt, sendet zusätzlich einen Behälter (Bag) an das Zubehör, der die URLs und die sonstigen Informationen enthält, die notwendig sind, um die Verbindung zum iCloud Remote Access Server herzustellen. Hierbei handelt es sich nicht um Informationen, die für einen Benutzer oder ein Zubehör spezifisch sind.

Für jedes Zubehör wird auf dem iCloud Remote Access Server die Liste der jeweils berechtigten Benutzer registriert. Dabei handelt es sich um die Benutzer, die von der Person, die das Zubehör der häuslichen Umgebung hinzugefügt hat, zum Steuern des Zubehörs berechtigt wurden. Diese Benutzer erhalten vom iCloud-Server eine Kennung und können einem iCloud-Account zugewiesen werden, damit Benachrichtigungen und Antworten vom Zubehör zugestellt werden können. Auf ähnliche Weise erhält auch das Zubehör von iCloud ausgestellte Kennungen; diese Kennungen sind aber „blickdicht", das heißt, sie geben keinerlei Informationen über das Zubehör selbst preis.

Wenn ein Zubehör die Verbindung zum iCloud Remote Access Server für HomeKit herstellt, weist es sich mit einem Zertifikat und einer Karte (Pass) aus. Diese Karte stammt von einem anderen iCloud-Server und sie wird nicht für jedes Zubehör als eindeutiges, einzigartiges Attribut generiert. In die Anforderung auf die Zuteilung einer solchen Karte bindet das Zubehör den Namen des Herstellers, das Modell und die Firmware-Version ein. Diese Anforderung enthält aber keinerlei Informationen, die Rückschlüsse auf den Benutzer oder die häusliche Umgebung erlauben. Die Verbindung zu dem Server, der die Karten ausgibt, wird aus Gründen des Datenschutzes nicht authentifiziert.

Die Verbindung zwischen dem Zubehör und dem iCloud Remote Access Server erfolgt auf der Basis von HTTP/2 und ist abgesichert durch TLS 1.2 mit AES-128-GCM und SHA-256. Das Zubehör erhält seine Verbindung zum iCloud Remote Access Server aufrecht, um an dieses Zubehör gerichtete Nachrichten empfangen und seinerseits Antworten und Benachrichtigungen an das iOS-Gerät senden zu können.

HomeKit TV Remote-Zubehör

HomeKit TV Remote-Zubehörgeräte anderer Anbieter stellen HID-Ereignisse und Siri-Audio für ein zugeordnetes Apple TV bereit, das über die App „Home“ hinzugefügt wird. Die HID-Ereignisse werden über die sichere Sitzung zwischen Apple TV und der Remote-Fernbedienung gesendet. Eine Siri-fähige TV Remote-Fernbedienung sendet Audiodaten an Apple TV, wenn der Benutzer das Mikrofon auf der Remote-Fernbedienung explizit mit einer speziellen Siri-Taste aktiviert. Die Audio-Frames werden über eine dedizierte lokale Netzwerkverbindung zwischen Apple TV und Remote-Fernbedienung direkt an Apple TV gesendet. Die lokale Netzwerkverbindung wird mit einem pro Sitzung abgeleiteten HKDF-SHA-512-Schlüsselpaar verschlüsselt, das über die HomeKit-Sitzung zwischen Apple TV und TV Remote-Fernbedienung ausgehandelt wird. Das HomeKit entschlüsselt die Audio-Frames auf Apple TV und leitet sie an die App „Siri“ weiter, wo diese mit denselben Sicherheitsmechanismen behandelt werden wie alle Siri-Audioeingaben.

SiriKit

Siri nutzt den Mechanismus für iOS-Erweiterungen, um mit Apps anderer Anbieter zu kommunizieren. Siri hat zwar Zugriff auf iOS-Kontakte und den aktuellen Standort des Geräts, prüft aber dennoch die Berechtigung zum Zugriff auf geschützte iOS-Benutzerdaten der App, die die Erweiterung enthält, um festzustellen, ob die App Zugriff hat, bevor ihr diese Informationen bereitgestellt werden. Siri übergibt nur relevante Fragmente des Texts in der ursprünglichen Benutzeranfrage an die Erweiterung. Wenn die App keinen Zugriff auf iOS-Kontakte hat, würde Siri beispielsweise keine Beziehung in einer Benutzeranfrage auflösen wie „Sende meiner Mutter 10 Euro mit „Zahlungs-App““. In diesem Fall würde die App der Erweiterung nur „Mutter“ durch das Fragment der sprachlichen Äußerung sehen, das an sie übergeben wird. Hat die App jedoch Zugriff auf iOS-Kontakte, würde sie die iOS-Kontaktinformationen für die Mutter des Benutzers erhalten. Wenn im Haupttext der Nachricht auf einen Kontakt Bezug genommen wird, etwa „Erzähle meiner Mutter über „Nachrichten-App“, mein Bruder ist super“, würde Siri „mein Bruder“ nicht auflösen, unabhängig von den TTCs der App. Von der App präsentierte Inhalte können an den Server gesendet werden, damit Siri das von einem Benutzer in der App verwendete Vokabular versteht.

Bei Aussagen wie „Rufe mit <App-Name> ein Taxi für die Fahrt zum Haus meiner Mutter“, bei denen für die Anfrage Standortinformationen aus den Benutzerkontakten abgerufen werden müssen, stellt Siri diese Informationen der App-Erweiterung nur für diese Anfrage zur Verfügung, unabhängig vom Zugriff der App auf Orte oder Kontakte.

Siri erlaubt zur Laufzeit, dass die SiriKit-fähige App eine Reihe eigener Wörter bereitstellt, die für dieses Exemplar der App spezifisch sind. Diese eigenen Wörter sind mit der im Abschnitt „Siri“ in diesem Dokument beschriebenen zufälligen Kennung verknüpft und haben denselben Lebenszyklus.

HealthKit

HealthKit speichert und sammelt Daten von Gesundheits- und Fitness-Apps mit entsprechender Erlaubnis des Benutzers. HealthKit arbeitet direkt mit Gesundheits- und Fitnessgeräten zusammen, z. B. mit kompatiblen BLE-Herzfrequenzmessgeräten (Bluetooth Low Energy) und dem Motion-Coprozessor, der in viele iOS-Geräte integriert ist.

Gesundheitsdaten

HealthKit ermöglicht es den Benutzern, ihre Gesundheitsdaten von Quellen wie Apps, Geräten und Gesundheitseinrichtungen zu speichern und zu sammeln. Diese Daten werden mit der Datensicherheitsklasse „Geschützt, außer wenn offen" gespeichert. Zehn Minuten, nachdem das Gerät gesperrt wird, wird der Zugriff auf die Daten aufgehoben und die Daten werden wieder zugänglich, wenn der Benutzer das nächste Mal seinen Code eingibt oder Touch ID bzw. Face ID zum Entsperren des Geräts verwendet.

HealthKit sammelt auch Verwaltungsdaten, wie Zugriffsrechte für Apps, Namen der mit HealthKit verbundenen Geräte und Planungsinformationen, die verwendet werden, um Apps zu starten, wenn neue Daten verfügbar werden. Diese Daten werden mit der Datensicherheitsklasse „Geschützt bis zur ersten Benutzerauthentifizierung" gespeichert.

In temporären Journal-Dateien werden die Gesundheitsdatensätze gespeichert, die erzeugt werden, wenn das Gerät gesperrt ist, z. B. wenn der Benutzer trainiert. Diese Daten werden mit der Datensicherheitsklasse „Geschützt, außer wenn offen" gespeichert. Wenn das Gerät entsperrt wird, werden die temporären Journal-Dateien in die Hauptdatenbank für Gesundheitsdaten importiert und anschließend gelöscht.

Gesundheitsdaten können in iCloud gespeichert werden. Für die End-to-End-Verschlüsselung von Gesundheitsdaten sind iOS 12 (oder neuer) und die Zwei-Faktor-Authentifizierung erforderlich. Andernfalls werden deine Daten zwar beim Speichern oder Übertragen verschlüsselt, es erfolgt jedoch keine End-to-End-Verschlüsselung. Nach dem Aktivieren der Zwei-Faktor-Authentifizierung und Aktualisieren auf iOS 12 (oder neuer) werden deine Gesundheitsdaten für die End-to-End-Verschlüsselung migriert.

Wenn du dein Gerät über iTunes gesichert hast, werden Gesundheitsdaten nur dann gesichert, wenn das Backup verschlüsselt ist.

Klinische Gesundheitseinträge

Die Benutzer können sich innerhalb der App „Health" bei unterstützten Gesundheitssystemen anmelden, um eine Kopie ihrer klinischen Gesundheitseinträge abzurufen. Wenn ein Benutzer mit einem Gesundheitssystem verbunden wird, muss er sich mit OAuth 2 Client-Anmeldedaten authentifizieren. Steht die Verbindung, werden die Gesundheitseinträge über eine mittels TLS v1.2 geschützte Verbindung direkt von der Gesundheitseinrichtung heruntergeladen. Nach dem Download werden die Gesundheitseinträge zusammen mit anderen Health-Daten sicher gespeichert.

Datenintegrität

Die in der Datenbank gespeicherten Daten enthalten Metadaten, um die Herkunft der Datensätze zurückverfolgen zu können. Zu diesen Metadaten gehört eine App-Kennung, die anzeigt, welche App den Datensatz gespeichert hat. Außerdem kann ein optionales Metadatenobjekt eine digital signierte Kopie des Datensatzes enthalten. Diese Kopie dient der Datenintegrität für Datensätze, die von einem vertrauenswürdigen Gerät erzeugt wurden. Das für die digitale Signatur verwendete Format ist Cryptographic Message Syntax (CMS), wie in IETF RFC 5652 festgelegt.

Zugriff durch Apps anderer Anbieter

Der Zugriff auf die HealthKit-API wird über Berechtigungen gesteuert und Apps müssen sich an Einschränkungen für die Verwendung der Daten halten. Zum Beispiel dürfen Apps Gesundheitsdaten nicht zu Werbezwecken verwenden. Apps müssen dem Benutzer auch eine Datenschutzrichtlinie bereitstellen, die beschreibt, wie die Gesundheitsdaten verwendet werden.

Der Zugriff von Apps auf die Gesundheitsdaten wird in den Datenschutzeinstellungen des Benutzers festgelegt. Benutzer werden gefragt, ob Zugriff gewährt werden soll, wenn Apps Gesundheitsdaten abfragen wollen, ähnlich wie bei Kontakten, Fotos und anderen iOS-Datenquellen. Aber bei Gesundheitsdaten werden Lese- und Schreibzugriff und Zugriff auf die einzelnen Arten von Gesundheitsdaten getrennt voneinander gewährt. Die Benutzer können die erteilten Zugriffsrechte auf Gesundheitsdaten unter „Quellen" in der Health-App einsehen und widerrufen.

Apps mit Schreibzugriff können auch die von ihnen geschriebenen Daten lesen. Apps mit Lesezugriff können von anderen Apps geschriebene Daten lesen. Apps können aber nicht den Zugriff anderer Apps auf die Daten bestimmen. Außerdem können Apps nicht überprüfen, ob sie Lesezugriff auf Gesundheitsdaten haben. Apps ohne Lesezugriff erhalten keine Antworten auf ihre Anfragen, genau wie bei einer leeren Datenbank. So können die Apps keine Informationen über die Gesundheit des Benutzers davon ableiten, welche Datenarten geschrieben werden.

Notfallpass

Die App „Health" bietet dem Benutzer die Möglichkeit, ein Formular für den Notfallpass mit Informationen auszufüllen, die bei einem Notfall wichtig sein können. Diese Informationen werden manuell eingegeben bzw. aktualisiert und nicht mit den Daten in den Gesundheitsdatenbanken synchronisiert.

Die Informationen zum Notfallpass werden durch Tippen auf die Taste „Notfall" im Sperrbildschirm angezeigt. Die Informationen werden mit der Datensicherheitsklasse „Kein Schutz" auf dem Gerät gespeichert, sie sind also auch ohne Eingabe des Gerätecodes zugänglich. Das Einrichten eines Notfallpasses ist optional und ermöglicht es dem Benutzer, selbst zwischen Sicherheit und Datenschutz abzuwägen. Diese Daten werden im iCloud-Backup gesichert und nicht mit CloudKit zwischen Geräten synchronisiert.

ReplayKit

ReplayKit ist ein Framework, das es Entwicklern ermöglicht, ihre Apps mit Funktionen zur Aufzeichnung und Live-Übertragung auszustatten. Darüber hinaus ermöglicht es Benutzern, ihren Aufnahmen und Übertragungen mit der Frontkamera und dem Mikrofon des Geräts Kommentare hinzuzufügen.

Filmaufnahme

Das Aufnehmen eines Films umfasst verschiedene Sicherheitsstufen:

- **Berechtigungsfenster:** Vor dem Beginn der Aufnahme fordert ReplayKit den Benutzer in einem Hinweisfenster auf, zu bestätigen, dass der Bildschirm, das Mikrofon und die Frontkamera aufgezeichnet werden sollen. Dieser Hinweis erscheint einmal pro App-Prozess. Wenn die App länger als acht Minuten im Hintergrund bleibt, wird der Hinweis erneut angezeigt.
- **Bildschirm- und Audioaufzeichnung:** Bildschirm- und Audioaufzeichnungen erfolgen außerhalb des App-Prozesses im ReplayKit-Daemon *replayd*. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass der aufgezeichnete Inhalt für den App-Prozess stets unzugänglich bleibt.
- **Filmerstellung und -sicherung:** Die Filmdatei wird in ein Verzeichnis geschrieben, das ausschließlich für ReplayKit-Subsysteme zugänglich ist und zu dem Apps keinerlei Zugang haben. Dadurch wird verhindert, dass Aufnahmen ohne Einwilligung des Benutzers von Dritten verwendet werden können.
- **Vorschau und Freigabe durch den Endbenutzer:** Mit der von ReplayKit bereitgestellten Benutzeroberfläche kann der Benutzer den Film in einer Vorschau ansehen und ihn mit anderen teilen. Die Benutzeroberfläche wird außerhalb des Prozesses über die Infrastruktur für iOS-Erweiterungen angezeigt und hat Zugriff auf die generierte Filmdatei.

Übertragung

- **Bildschirm- und Audioaufzeichnung:** Der Mechanismus der Bildschirm- und Audioaufzeichnung während der Übertragung ist identisch mit der Filmaufnahme und erfolgt im *replayd*-Daemon.
- **Erweiterungen für die Übertragung:** Damit Dienste anderer Anbieter an der ReplayKit-Übertragung teilnehmen können, müssen sie zwei neue Erweiterungen erstellen, die mit dem Endpunkt com.apple.broadcast-services konfiguriert wurden:
  - Eine UI-Erweiterung, die es dem Benutzer ermöglicht, seine Übertragung einzurichten.
  - Eine Upload-Erweiterung für das Hochladen von Video- und Audiodaten an die Back-End-Server des Dienstes.

  Durch die Architektur wird sichergestellt, dass die bereitstellenden Apps keinerlei Rechte an den übertragenen Video- und Audioinhalten haben – nur ReplayKit und die Broadcast-Erweiterungen des anderen Anbieters erhalten Zugriff.
- **Auswahl des Übertragungsdienstes:** Für die Auswahl des zu verwendenden Übertragungsdienstes stellt ReplayKit einen View-Controller (ähnlich dem UIActivityViewController) bereit, den der Entwickler in seiner App präsentieren kann. Der View-Controller wird mit der UIRemoteViewController SPI implementiert und ist eine Erweiterung, die sich innerhalb des ReplayKit-Frameworks befindet. Sie läuft außerhalb des Prozesses der bereitstellenden App.
- **Auswahl des Systemübertragungsdienstes:** Dies ermöglicht es den Benutzern, Systemübertragungen direkt aus der App zu starten und dabei die gleiche systemdefinierte Benutzeroberfläche zu verwenden, die über das Kontrollzentrum zugänglich ist. Die Benutzeroberfläche wird mit der UIRemoteViewController SPI implementiert und ist eine Erweiterung, die sich innerhalb des ReplayKit-Frameworks befindet. Sie läuft außerhalb des Prozesses der bereitstellenden App.
- **Upload-Erweiterung:** Die Upload-Erweiterung wird von Übertragungsdiensten anderer Anbieter implementiert, um die Video- und Audioinhalte während der Übertragung zu verarbeiten. Diese Erweiterung kann zwischen zwei Optionen für den Empfang der Inhalte wählen:
  - Kleine codierte MP4-Clips
  - Uncodierte RAW-Sample-Puffer
    - **Handhabung von MP4-Clips:** Bei diesem Handhabungsmodus werden vom *replayd*-Daemon kleine codierte MP4-Clips generiert und an einem privaten Speicherort abgelegt, der nur für die ReplayKit-Subsysteme zugänglich ist. Nachdem ein Filmclip generiert wurde, gibt der *replayd*-Daemon seine Speicherposition über die NSExtension-Anfrage SPI (XPC-basiert) an die Upload-Erweiterung des anderen Anbieters weiter. Der *replayd*-Daemon generiert außerdem ein einmal nutzbares Sandbox-Token, das ebenfalls an die Upload-Erweiterung weitergegeben wird und der Erweiterung während der Erweiterungsanfrage Zugriff auf diesen bestimmten Filmclip gewährt.
    - **Handhabung des Sample-Puffers:** Während dieses Handhabungsmodus werden Video- und Audiodaten serialisiert und über eine direkte XPC-Verbindung in Echtzeit an die Upload-Erweiterung des anderen Anbieters übergeben. Die Videodaten werden codiert, indem das IOSurface-Objekt aus dem Video-Sample-Puffer extrahiert, als XPC-Objekt sicher codiert, via XPC an die Erweiterung des anderen Anbieters gesendet und dann wieder sicher in ein IOSurface-Objekt decodiert wird.

Geschützte Notizen

Die App „Notizen“ bietet eine Funktion für geschützte Notizen, mit welcher Benutzer den Inhalt bestimmter Notizen schützen können. Geschützte Notizen werden mit einem vom Benutzer bereitgestellten Passwort verschlüsselt, das zum Anzeigen der Notizen in iOS, macOS und auf der iCloud-Website erforderlich ist.

Beim Schützen einer Notiz wird aus dem Passwort des Benutzers mittels PBKDF2 und SHA256 ein 16-Byte-Schlüssel abgeleitet. Der Inhalt der Notiz wird mit AES-GCM verschlüsselt. Neue Einträge werden in Core Data und CloudKit erstellt, um die verschlüsselte Notiz, das Tag und den Initialisierungsvektor zu speichern, und die Originaleinträge der Notiz werden gelöscht. Die verschlüsselten Daten werden nicht an gleicher Stelle geschrieben. Anhänge werden in gleicher Weise verschlüsselt. Zu den unterstützten Anhängen gehören Bilder, Skizzen, Tabellen, Karten und Websites. Notizen mit anderen Arten von Anhängen können nicht verschlüsselt werden. Es ist außerdem nicht möglich, zu geschützten Notizen Anhangsformate hinzuzufügen, die nicht unterstützt werden.

Wenn ein Benutzer zum Anzeigen oder zum Erstellen einer geschützten Notiz das Passwort erfolgreich eingibt, öffnet die Notizen-App eine sichere Sitzung. Solange diese Sitzung aktiv ist, muss der Benutzer das Passwort nicht eingeben oder Touch ID bzw. Face ID verwenden, um andere Notizen anzuzeigen oder zu schützen. Falls einige Notizen ein anderes Passwort verwenden, gilt die sichere Sitzung nur für die Notizen, die mit dem aktuellen Passwort geschützt sind. Die sichere Sitzung wird in folgenden Situationen geschlossen:

- Der Benutzer tippt in der App „Notizen“ auf die Taste „Jetzt sperren“.
- Die App „Notizen“ wird länger als drei Minuten in den Hintergrund geschoben.
- Das Gerät wird gesperrt.

Benutzer, die das Passwort vergessen haben, können geschützte Notizen dennoch anzeigen oder weitere Notizen schützen, wenn sie Touch ID oder Face ID auf ihren Geräten aktiviert haben. Nach drei erfolglosen Eingabeversuchen zeigt die Notizen-App zudem eine vom Benutzer bereitgestellte Passwort-Merkhilfe an. Der Benutzer muss das aktuelle Passwort kennen, um es ändern zu können.

Benutzer können das Passwort zurücksetzen, falls sie das aktuelle Passwort vergessen haben. Dadurch können sie zwar neue geschützte Notizen mit einem neuen Passwort erstellen, aber keine zuvor geschützten Notizen sehen. Zuvor geschützte Notizen können weiterhin angezeigt werden, wenn sich der Benutzer wieder an das alte Passwort erinnert. Zum Zurücksetzen des Passworts ist das Passwort für den iCloud-Account des Benutzers erforderlich.

Geteilte Notizen

Notizen können mit anderen geteilt werden. Geteilte Notizen sind nicht durchgehend (End-to-End) verschlüsselt. Apple verwendet den mit CloudKit verschlüsselten Datentyp für Texte oder Anhänge, die der Benutzer in einer Notiz hinzufügt. Medien werden immer mit einem Schlüssel aus dem Datensatz CKRecord verschlüsselt. Metadaten wie Erstellungs- und Änderungsdatum werden nicht verschlüsselt. CloudKit verwaltet den Prozess, durch den Teilnehmer die Daten der jeweils anderen Teilnehmer verschlüsseln/entschlüsseln können.

Apple Watch

Apple Watch verwendet für iOS entwickelte Sicherheitsfunktionen und -technologien zum Schutz der Daten auf dem Gerät und der Kommunikation mit einem gekoppelten iPhone und dem Internet. Zu diesen Technologien gehören der Datenschutz und die Schlüsselbundzugriffssteuerung. Der Gerätecode des Benutzers ist auch mit der UID des Geräts verknüpft, um einen Schlüssel zur Verschlüsselung zu erstellen.

Die Kopplung der Apple Watch mit dem iPhone ist durch einen Out-of-Band-Prozess (OOB) gesichert, bei dem öffentliche Schlüssel ausgetauscht werden. Anschließend werden die BLE-Link Shared Secrets (Bluetooth Low Energy) ausgetauscht. Auf der Apple Watch wird ein animiertes Muster angezeigt, das von der Kamera des iPhone aufgenommen wird. Das Muster enthält ein codiertes Secret, das für die BLE 4.1-Out-of-Band-Kopplung verwendet wird. Als Ersatzfunktion zur Kopplung (falls erforderlich) wird die Eingabe eines BLE-Schlüssels verwendet.

Sobald die Bluetooth Low Energy-Sitzung aufgebaut und mit dem strengsten in der Bluetooth Core Specification verfügbaren Sicherheitsprotokoll verschlüsselt wurde, tauschen Apple Watch und iPhone in einem Prozess, der vom Apple IDS (Identity Service) angepasst wurde, Schlüssel aus (wie unter „iMessage" im Abschnitt „Internetdienste" dieses Dokuments beschrieben). Nach dem Austauschen der Schlüssel wird der Schlüssel der Bluetooth-Sitzung verworfen und die Kommunikation zwischen Apple Watch und iPhone wird mit IDS verschlüsselt, wobei die Bluetooth-, WLAN- und Mobilfunk-Links eine zusätzliche Verschlüsselungsebene bereitstellen. Die Low Energy Bluetooth-Adresse wird in 15-Minuten-Intervallen geändert, um das Risiko zu reduzieren, dass der Datenverkehr kompromittiert wird.

Zur Unterstützung von Apps, die Daten streamen, erfolgt die Verschlüsselung mithilfe der Methoden, die unter „FaceTime" im Abschnitt „Internetdienste" dieses Dokuments beschrieben werden. Hierzu wird der vom gekoppelten iPhone bereitgestellte IDS-Dienst oder eine direkte Internetverbindung verwendet.

Die Apple Watch implementiert eine hardwarebasierte Speicherverschlüsselung und einen klassenbasierten Schutz von Dateien und Schlüsselbundobjekten. Näheres hierzu sind im Abschnitt über die Verschlüsselung und Sicherheit von Daten in diesem Dokument zu finden. Ferner werden zugriffsgesteuerte Keybags für Schlüsselbundobjekte verwendet. Die für die Kommunikation zwischen Apple Watch und iPhone verwendeten Schlüssel sind durch einen klassenbasierten Schutz gesichert.

Wenn sich die Apple Watch außerhalb der Bluetooth-Reichweite befindet, kann alternativ eine WLAN- oder Mobilfunk-Verbindung verwendet werden. Die Apple Watch stellt automatisch eine Verbindung zu WLANs her, mit denen sich zuvor das gekoppelte iPhone verbunden hat und dessen Anmeldedaten mit der Apple Watch synchronisiert wurden, während sich beide Geräte in Reichweite befanden. Das Verhalten „Automatisch verbinden" kann dann im Abschnitt „WLAN" in der App „Einstellungen" der Apple Watch auf Netzwerkbasis konfiguriert werden. WLANs, zu denen von keinem der Geräte zuvor eine Verbindung hergestellt wurde, können im Abschnitt „WLAN" in der App „Einstellungen" der Apple Watch manuell verbunden werden.

Befinden sich Apple Watch und iPhone außerhalb der Reichweite, stellt die Apple Watch direkt eine Verbindung zu iCloud und Gmail-Servern her, um Mail abzurufen, statt Mail-Daten mit dem gekoppelten iPhone über das Internet zu synchronisieren. Bei Gmail-Accounts muss sich der Benutzer im Abschnitt „Mail" der App „Watch" auf dem iPhone bei Google authentifizieren. Das von Google empfangene OAuth-Token wird in verschlüsseltem Format über den Apple IDS (Identity Service) an die Apple Watch gesendet und kann dann zum Abrufen von Mail verwendet werden. Dieses OAuth-Token wird nicht vom gekoppelten iPhone für die Konnektivität mit dem Gmail-Server verwendet.

Die Apple Watch kann durch Drücken der Seitentaste manuell gesperrt werden. Außerdem wird das Gerät automatisch gesperrt, kurz nachdem der Benutzer es vom Handgelenk abgenommen hat – es sei denn, die Handgelenkserkennung wurde deaktiviert. Wenn die Apple Watch gesperrt ist, kann Apple Pay nur verwendet werden, nachdem der Code der Uhr eingegeben wurde. Die Handgelenkserkennung wird mit der App „Apple Watch" auf dem iPhone ausgeschaltet. Diese Einstellung kann mithilfe einer MDM-Lösung (Mobile Device Management) erzwungen werden.

Sofern die Uhr getragen wird, kann sie auch mit dem gekoppelten iPhone entsperrt werden. Dies geschieht, indem eine Verbindung hergestellt wird, die durch die beim Koppeln eingerichteten Schlüssel authentifiziert wird. Das iPhone sendet dann den Schlüssel, den die Uhr zum Entsperren der Schlüssel für den Datenschutz verwendet. Der Gerätecode der Uhr ist dem iPhone nicht bekannt und wird auch nicht übermittelt. Diese Funktion kann mit der App „Apple Watch" auf dem iPhone deaktiviert werden.

Die Apple Watch kann jeweils nur mit einem iPhone gekoppelt werden. Das iPhone kommuniziert Anweisungen zum Löschen aller Inhalte und Daten von der Apple Watch, wenn die Koppelung aufgehoben wird.

Die Apple Watch kann für eine Aktualisierung der Systemsoftware in derselben Nacht konfiguriert werden. Weitere Informationen dazu, wie der Apple Watch-Code gespeichert wird, um während der Aktualisierung verwendet zu werden, sind im Abschnitt „Keybags" in diesem Dokument zu finden.

Wird „Mein iPhone suchen" auf dem gekoppelten iPhone eingeschaltet, kann automatisch auch die Aktivierungssperre auf der Apple Watch verwendet werden. Die Aktivierungssperre erschwert unbefugten Personen den Verkauf oder die Verwendung einer Apple Watch, die verloren oder gestohlen wurde. Die Aktivierungssperre bewirkt, dass die Apple-ID des Benutzers und das Passwort eingegeben werden müssen, um die Kopplung aufzuheben, die Daten zu löschen oder die Apple Watch neu zu aktivieren.

Netzwerksicherheit

Zusätzlich zu den integrierten Sicherheitsmaßnahmen, die Apple zum Schutz der auf dem iOS-Gerät gespeicherten Daten verwendet, gibt es viele Netzwerksicherheitsmaßnahmen, die Organisationen ergreifen können, damit Informationen bei der Übertragung an und von einem iOS-Gerät sicher bleiben.

Mobile Benutzer müssen von überall auf der Welt auf Unternehmensnetzwerke zugreifen können. Daher muss sichergestellt werden, dass sie über die entsprechenden Zugriffsrechte verfügen und ihre Daten während der Übertragung zuverlässig geschützt sind. Entwickler können die von iOS verwendeten Standardnetzwerkprotokolle für authentifizierte, autorisierte und verschlüsselte Kommunikation einsetzen. iOS nutzt bewährte Technologien und die aktuellen Standards sowohl für WLAN als auch für Mobilfunk-Datenverbindungen, um diese Sicherheitsziele zu erreichen.

Auf anderen Plattformen wird Firewall-Software benötigt, um die Kommunikations-Ports vor Angreifern zu schützen. iOS-Geräte benötigen keine zusätzliche Firewall-Software, da die Angriffsfläche durch die Beschränkung der Listening-Ports und das Entfernen unnötiger Netzwerkdienstprogramme wie Telnet, Shells oder Webserver reduziert wird.

TLS

iOS unterstützt Transport Layer Security (TLS 1.0, TLS 1.1, TLS 1.2, TLS 1.3) und DTLS. Es unterstützt AES-128 und AES-256 und bevorzugt Cipher-Suites mit Perfect Forward Secrecy. Safari, Kalender, Mail und weitere Internetprogramme verwenden dieses Protokoll automatisch, um die verschlüsselte Datenübertragung zwischen dem Gerät und Netzwerkdiensten sicherzustellen. High-Level-APIs (wie CFNetwork) erleichtern es Entwicklern, TLS für ihre Apps zu verwenden; im Gegensatz dazu bieten Low-Level-APIs (wie Network.framework) präzise Einstellungsmöglichkeiten. CFNetwork lässt SSLv3 nicht zu, und Apps wie Safari, die vom WebKit Gebrauch machen, ist es verwehrt, eine SSLv3-Verbindung herzustellen.

In iOS 11 (oder neuer) und macOS High Sierra (oder neuer) können SHA-1-Zertifikate nicht mehr für TLS-Verbindungen verwendet werden, wenn der Benutzer sie nicht als vertrauenswürdig einstuft. Zertifikate mit RSA-Schlüsseln mit weniger als 2048 Bit sind ebenfalls nicht zulässig. Die RC4-Cipher-Suite für die symmetrische Verschlüsselung findet in iOS 10 und macOS Sierra keine Anwendung. Standardmäßig sind RC4-Cipher-Suites auf TLS-Clients oder -Servern, die mit SecureTransport APIs implementiert wurden, nicht aktiviert und können keine Verbindung herstellen, wenn es sich bei RC4 um die einzige verfügbare Cipher-Suite handelt. Dienste oder Apps, die RC4 erfordern, sollten für die Verwendung von modernen, sicheren Cipher-Suites aktualisiert werden, um ein höheres Maß an Sicherheit zu erzielen. In iOS 12.1 müssen Zertifikate, die nach dem 15. Oktober 2018 von einem vom System als vertrauenswürdig eingestuften Root-Zertifikat ausgegeben wurden, in einem vertrauenswürdigen CT-Protokoll (Certificate Transparency) registriert sein, damit TLS-Verbindungen zugelassen werden. In iOS 12.2 ist TLS 1.3 standardmäßig für Network.framework und NSURLSession APIs aktiviert. TLS-Clients, die SecureTransport APIs verwenden, können TLS 1.3 nicht verwenden.

Transportsicherheit für Apps

App Transport Security umfasst Anforderungen für Standardverbindungen, um bei Verwendung von NSURLConnection-, CFURL- oder NSURLSession-APIs sicherzustellen, dass von den Apps die besten Verfahren für sichere Verbindungen eingehalten werden. Standardmäßig beschränkt App Transport Security die Cipher-Auswahl ausschließlich auf solche Cipher-Suites, die Forward Secrecy bereitstellen, insbesondere ECDHE_ECDSA_AES und ECDHE_RSA_AES im GCM- oder CBC-Modus. Apps sind in der Lage, die Forward Secrecy-Erfordernis pro Domain zu deaktivieren. In diesem Fall wird RSA_AES zur Gruppe der verfügbaren Ciphers hinzugefügt.

Server müssen TLS 1.2 und Forward Secrecy unterstützen und Zertifikate müssen auf der Basis von SHA-256 (oder neuer) validiert und signiert sein, wobei ein 2048-Bit-RSA-Schlüssel oder ein 256-Bit-ECC-Schlüssel (elliptischer Kurven-Schlüssel) die Mindestanforderung darstellt.

Netzwerkverbindungen, die diese Anforderungen nicht erfüllen, kommen nicht zustande, es sei denn, die App setzt die in App Transport Security definierten Anforderungen für die Transportsicherheit außer Kraft. Ungültige Zertifikate führen in jedem Fall zu einem nicht behebbaren Fehler (Hard Failure) und zum Nichtzustandekommen der Verbindung. App Transport Security wird automatisch auf alle Apps angewendet, die für iOS 9 (oder neuer) kompiliert werden.

VPN

Die Einbindung sicherer Netzwerkdienste wie „Virtual Private Network" in iOS erfordert nur minimalen Einrichtungs- und Konfigurationsaufwand. iOS-Geräte arbeiten mit VPN-Servern, die die folgenden Protokolle und Authentifizierungsmethoden bieten:

- IKEv2/IPSec mit Authentifizierung per Shared Secret, RSA-Zertifikate, **ECDSA**-Zertifikate, EAP-MSCHAPv2 oder EAP-TLS
- SSL-VPN unter Verwendung der entsprechenden Client-App aus dem App Store
- Cisco IPSec mit Benutzerauthentifizierung per Passwort sowie die Systemauthentifizierung über gemeinsame geheime Schlüssel (Shared Secret) und Zertifikate
- L2TP/IPSec mit Benutzerauthentifizierung per MS-CHAPV2-Passwort sowie die Systemauthentifizierung über gemeinsame geheime Schlüssel (Shared Secret)

iOS unterstützt Folgendes:

- **VPN On Demand** für Netzwerke, die eine zertifikatsbasierte Authentifizierung verwenden. IT-Richtlinien legen über das verwendete VPN-Konfigurationsprofil fest, für welche Domains eine VPN-Verbindung benötigt wird.
- **Per App VPN** für VPN-Verbindungen, die noch detaillierter und präziser eingestellt werden können. Mit Mobile Device Management (MDM) kann eine Verbindung für jede verwaltete App und spezielle Domains in Safari bestimmt werden. So lässt sich sicherstellen, dass nur sichere Daten und keine privaten Daten des Benutzers in das Unternehmensnetzwerk hinein- und daraus hinausgelangen.
- **VPN always-on** für die Konfiguration von Geräten, die über eine MDM-Lösung (Mobile Device Management) verwaltet und mit Apple Configurator 2, Apple School Manager oder Apple Business Manager betreut werden. Auf diese Weise müssen die Benutzer die Sicherung über VPN nicht manuell aktivieren, wenn sie sich mit Mobilfunk- oder WLAN-Netzwerken verbinden. „VPN always-on" verleiht einer Organisation die uneingeschränkte Kontrolle über den Datenverkehr von Geräten, da der gesamte IP-Datenverkehr zurück zur Organisation getunnelt wird. Das Standard-Tunnelingprotokoll, IKEv2, schützt den Datenverkehr mit einer Datenverschlüsselung. Die Organisation kann den Datenverkehr von und an ihre Geräte überwachen und filtern, Daten im Netzwerk sichern und den Internetzugriff der Geräte beschränken.

WLAN

iOS unterstützt die Branchenstandards für WLAN-Protokolle, darunter WPA2 Enterprise, um authentifizierten Zugriff auf drahtlose Unternehmensnetzwerke bereitzustellen. WPA2 Enterprise nutzt die AES-128-Bit-Verschlüsselung und bietet damit den Benutzern die größte Sicherheit, dass ihre Daten geschützt bleiben, wenn sie Informationen über eine WLAN-Netzwerkverbindung senden und empfangen. Da iOS-Geräte den Standard 802.1X unterstützen, lassen sie sich in eine Vielzahl von RADIUS-Authentifizierungsumgebungen integrieren. iPhone und iPad unterstützen unter anderem folgende 802.1X-Identifizierungsverfahren für Funknetzwerke: EAP-TLS, EAP-TTLS, EAP-FAST, EAP-SIM, PEAPv0, PEAPv1 und LEAP.

Neben dem Schutz für Daten erweitert iOS den Schutz auf WPA2-Ebene auf Unicast- und Multicast-Management-Frames über den PMF-Service (Protected Management Frame), auf den in 802.11w Bezug genommen wird. PMF-Unterstützung ist auf dem iPhone 6 und iPad Air 2 (oder neuer) verfügbar.

iOS verwendet eine zufällige MAC-Adresse (Media Access Control) für WLAN-Scans, wenn keine Verbindung zu einem WLAN-Netzwerk besteht. Solche Scans könnten ausgeführt werden, um ein bevorzugtes WLAN-Netzwerk zu finden und eine Verbindung dazu herzustellen oder um Ortungsdienste für Apps zu unterstützen, die Geofences verwenden, etwa ortsbasierte Erinnerungen, oder zum Fixieren eines Standorts in der Apple-App „Karten“. Zu beachten ist, dass WLAN-Scans, die bei einem Verbindungsversuch zu einem bevorzugten WLAN-Netzwerk erfolgen, nicht zufällig sind.

iOS verwendet außerdem zufällige MAC-Adressen, wenn ePNO-Scans (enhanced Preferred Network Offload) durchgeführt werden, wenn ein Gerät nicht mit einem WLAN verbunden ist oder sich der Prozessor im Ruhezustand befindet. ePNO-Scans werden durchgeführt, wenn ein Gerät die Ortungsdienste für Apps verwendet, die Geofences nutzen (z. B. ortsbasierte Erinnerungen, die feststellen, ob das Gerät an einem bestimmten Ort ist).

Da sich die MAC-Adresse des Geräts ändert, wenn es von einem WLAN getrennt wird, kann sie nicht dafür verwendet werden, um über die passive Beobachtung des WLAN-Datenverkehrs ein Bewegungsprofil für ein Gerät zu erstellen, selbst wenn es mit dem Mobilfunknetz verbunden ist. Apple hat WLAN-Hersteller darüber informiert, dass iOS-WLAN-Scans eine zufällige MAC-Adresse verwenden und dass weder Apple noch der jeweilige Hersteller Aussagen darüber treffen können, welche zufälligen MAC-Adressen verwendet werden. Das iPhone 4s (oder früher) bietet keine Unterstützung für die Verwendung zufälliger MAC-Adressen in WLANs.

Auf dem iPhone 6s (oder neuer) ist die Eigenschaft „Verdeckt“ eines WLAN-Netzwerks bekannt und wird automatisch aktualisiert. Wenn die SSID (Service Set Identifier) eines WLAN-Netzwerks übertragen wird, sendet das iOS-Gerät mit der in der Anfrage enthaltenen SSID keinen Test mit. Dadurch wird verhindert, dass das Gerät den Netzwerknamen von nicht versteckten Netzwerken sendet.

Um das Gerät vor Lücken in der Firmware von Netzwerkprozessoren zu schützen, haben Netzwerkschnittstellen (einschließlich WLAN und Baseband) eingeschränkten Zugriff auf den Speicher des Anwendungsprozessors. Wenn USB oder SDIO verwendet werden, um auf den Netzwerkprozessor zuzugreifen, kann der Netzwerkprozessor keine DMA-Transaktionen (Direct Memory Access) mit dem Anwendungsprozessor starten. Wenn PCIe verwendet wird, befindet sich jeder Netzwerkprozessor auf einem eigenen isolierten PCIe-Bus. Der DMA-Zugriff des Netzwerkprozessors auf jedem PCIe-Bus wird durch eine IOMMU (I/O Memory Management Unit) auf Seiten im Speicher eingeschränkt, die Netzwerkpakete und Kontrollstrukturen enthalten.

Bluetooth

Die Bluetooth-Unterstützung in iOS bietet nützliche Funktionen ohne unnötig erhöhten Zugriff auf private Daten. iOS-Geräte unterstützen Verbindungen über Verschlüsselungsmodus 3, Sicherheitsmodus 4 und Servicelevel 1. iOS unterstützt die folgenden Bluetooth-Profile:

- Hands-Free Profile (HFP)
- Phone Book Access Profile (PBAP)
- Message Access Profile (MAP)
- Advanced Audio Distribution Profile (A2DP)
- Audio/Video Remote Control Profile (AVRCP)
- Personal Area Network Profile (PAN)
- Human Interface Device Profile (HID)

Die Unterstützung für diese Profile hängt vom jeweiligen Gerät ab.

Weitere Informationen unter:
https://support.apple.com/HT204387

Single-Sign-On

iOS unterstützt die Gesamtauthentifizierung (Single-Sign-On, SSO) für Unternehmensnetzwerke. SSO kann bei auf Kerberos basierenden Netzwerken verwendet werden, um Benutzer für Dienste, auf die sie zugreifen dürfen, zu authentifizieren. SSO kann für eine Reihe verschiedener Netzwerkaktivitäten verwendet werden, z. B. in sicheren Safari-Sitzungen oder in Apps anderer Anbieter. Die zertifikatsbasierte Authentifizierung (PKINIT) wird ebenfalls unterstützt.

Die Gesamtauthentifizierung in iOS nutzt SPNEGO-Token und das Protokoll HTTP Negotiate, um auf Kerberos basierende Authentifizierungsgateways und in Windows integrierte Authentifizierungssysteme, die Kerberos-Tickets unterstützen, verwenden zu können.
Die SSO-Unterstützung basiert auf dem Open-Source-Projekt Heimdal.

Es werden die folgenden Verschlüsselungsarten unterstützt:

- AES-128-CTS-HMAC-SHA1-96
- AES-256-CTS-HMAC-SHA1-96
- DES3-CBC-SHA1
- ARCFOUR-HMAC-MD5

Safari unterstützt die Gesamtauthentifizierung, und Apps anderer Anbieter, die die Standard-Netzwerk-APIs von iOS verwenden, können ebenfalls hierfür konfiguriert werden. Für die Konfiguration von SSO unterstützt iOS ein neues Konfigurationsprofil, das es MDM-Lösungen erlaubt, die notwendigen Einstellungen für die Gesamtauthentifizierung auf ein Gerät zu pushen. Dazu gehören auch Einstellungen zum Benutzerprinzipalnamen (d. h. der Benutzeraccount von Active Directory) und zum Kerberos Realm sowie Konfigurationen, die festlegen, welche Apps und Safari Web-URLs Single-Sign-On verwenden dürfen.

Integration

Integration nutzt Technologien wie iCloud, Bluetooth und WLAN, um es dem Benutzer zu ermöglichen, eine Aktivität von einem Gerät auf ein anderes zu übertragen, Telefonanrufe zu tätigen und zu empfangen, SMS zu senden und zu empfangen und die Internetverbindung über Mobilfunk gemeinsam zu nutzen.

Handoff

Mit Handoff kann der Benutzer automatisch alles, woran er auf einem Gerät arbeitet, an seine Macs oder iOS-Geräte in der Nähe übertragen. Mit Handoff kann der Benutzer das Gerät wechseln und sofort weiterarbeiten.

Meldet sich der Benutzer auf einem zweiten Handoff-fähigen Gerät bei iCloud an, wird zwischen den Geräten mittels Bluetooth Low Energy 4.2 eine Out-of-Band-Kopplung über APNS hergestellt. Die einzelnen Nachrichten werden ähnlich wie für iMessage verschlüsselt. Wenn die Geräte gekoppelt wurden, erstellt jedes von ihnen einen symmetrischen 256-Bit AES-Schlüssel, der im Schlüsselbund des Geräts gespeichert wird. Mit diesem Schlüssel können die Bluetooth Low Energy-Ankündigungen, die den anderen in iCloud gekoppelten Geräten die aktuelle Aktivität des Geräts mitteilen, verschlüsselt und authentifiziert werden, wobei zum Schutz vor Replay-Attacken AES-256 im GCM-Modus verwendet wird.

Wenn ein Gerät zum ersten Mal eine Ankündigung von einem neuen Schlüssel erhält, stellt es über Bluetooth Low Energy eine Verbindung zum Absender her und führt einen Schlüsselaustausch für die Verschlüsselung von Ankündigungen durch. Diese Verbindung wird mit der Standardverschlüsselung für Bluetooth Low Energy 4.2 gesichert und die einzelnen Nachrichten werden zusätzlich verschlüsselt. Die Verschlüsselung ähnelt damit der für iMessage. Unter bestimmten Umständen werden diese Nachrichten über den APNS (Apple-Dienst für Push-Benachrichtigungen) anstatt über Bluetooth Low Energy versendet. Die Payload der Aktivität wird genau wie eine iMessage geschützt und übertragen.

Handoff zwischen nativen Apps und Websites

Handoff ermöglicht es nativen iOS-Apps, Webseiten auf Domains, deren Eigentümer der Entwickler der App ist, fortzusetzen. Die Benutzeraktivität in der nativen App kann auch in einem Internetbrowser fortgesetzt werden.

Damit native Apps keine Websites fortsetzen können, deren Eigentümer nicht der Entwickler ist, muss die App belegen, dass sie die Web-Domain, die sie fortsetzen will, tatsächlich kontrolliert. Die Kontrolle über die Domain einer Website wird über die Methode für die gemeinsam genutzten Internetanmeldedaten überprüft. Weitere Informationen sind unter „App-Zugriff auf gesicherte Passwörter" im Abschnitt „Verwaltung von Benutzerpasswörtern" in diesem Dokument zu finden. Das System muss die Kontrolle der App über den Domain-Namen validieren, bevor sie Handoff für die Benutzeraktivität verwenden kann.

Ursprung für das Handoff einer Webseite kann jeder Browser sein, der die Handoff-APIs unterstützt. Wenn der Benutzer eine Webseite öffnet, kündigt das System den Domain-Namen der Webseite in den verschlüsselten Ankündigungsbytes für Handoff an. Nur die anderen Geräte des Benutzers können die Ankündigungsbytes entschlüsseln (wie zuvor in diesem Abschnitt beschrieben).

Auf dem Empfängergerät erkennt das System, dass eine installierte native App Handoff von dem angekündigten Domain-Namen annimmt, und zeigt das Symbol für die native App als Handoff-Option an. Wird sie gestartet, empfängt die App die vollständige URL und den Titel der Webseite. Es werden keine anderen Informationen vom Browser an die native App übertragen.

Demgegenüber kann eine native App eine Fallback-URL angeben, wenn auf dem Empfängergerät die native App nicht installiert ist. In diesem Fall zeigt das System den Standardbrowser des Benutzers als Handoff-Option an (wenn dieser Browser Handoff-APIs übernommen hat). Wird Handoff angefordert, öffnet der Browser die Fallback-URL, die die App gesendet hat. Die Fallback-URL ist nicht auf Domain-Namen beschränkt, deren Eigentümer der Entwickler der nativen App ist.

Handoff für größere Datenmengen

Zusätzlich zu der Grundfunktion von Handoff können manche Apps auch APIs zum Senden größerer Datenmengen über die von Apple entwickelte Peer-To-Peer-WLAN-Technologie (ähnlich wie AirDrop) senden. Beispielsweise verwendet Mail diese APIs, um das Handoff eines E-Mail-Entwurfs, einschließlich großer Anhänge, zu ermöglichen.

Nutzt eine App diese Funktion, wird der Austausch zwischen den Geräten wie bei Handoff gestartet (siehe oben). Nach dem Empfang der ersten Nutzerdaten über Bluetooth Low Energy startet das Empfängergerät eine neue Verbindung über WLAN. Über diese verschlüsselte Verbindung (TLS) werden die iCloud-Identitätszertifikate ausgetauscht. Die Identität in den Zertifikaten wird mit der Identität des Benutzers abgeglichen. Die nachfolgenden Nutzerdaten werden über diese verschlüsselte Verbindung gesendet, bis die Übertragung abgeschlossen ist.

Universelle Zwischenablage

Die universelle Zwischenablage nutzt Handoff für die sichere Übertragung der Inhalte der Zwischenablage zwischen Geräten. Dadurch ist es möglich, etwas auf einem Gerät zu kopieren und auf einem anderen Gerät einzufügen. Der Inhalt wird dabei auf gleiche Weise wie andere Handoff-Daten geschützt und standardmäßig mit der universellen Zwischenablage geteilt, es sei denn, der App-Entwickler lässt die Freigabe nicht zu.

Die Daten in der Zwischenablage sind für Apps zugänglich, unabhängig davon, ob der Benutzer die Zwischenablage in die App eingesetzt hat. Mit der universellen Zwischenablage wird dieser Datenzugriff auf Apps ausgeweitet, die auf anderen Geräten des Benutzers ausgeführt werden (wie bei der iCloud-Anmeldung festgelegt).

Automatisches Entsperren

Mac-Computer mit Unterstützung für das automatische Entsperren verwenden Bluetooth Low Energy und Peer-To-Peer-WLAN-Technologie, um der Apple Watch des Benutzers das sichere Entsperren des Mac zu erlauben. Jeder fähige Mac und jede fähige Apple Watch, der bzw. die einem iCloud-Account zugeordnet ist, muss die Zwei-Faktor-Authentifizierung (TFA) verwenden.

Wird eine Apple Watch zum Entsperren eines Mac aktiviert, wird mit Auto Unlock Identities ein sicherer Link erstellt. Der Mac erstellt ein zufälliges und nur einmal nutzbares Unlock Secret und überträgt dieses über den Link an die Apple Watch. Das Secret wird auf der Apple Watch gesichert und ist nur dann zugänglich, wenn die Apple Watch entsperrt ist (siehe „Datenschutzklassen" im Abschnitt „Verschlüsselung und Datensicherheit"). Das neue Secret kann nicht als Benutzerpasswort verwendet werden.

Während eines Entsperrens verwendet der Mac Bluetooth Low Energy, um eine Verbindung zur Apple Watch herzustellen. Zwischen den beiden Geräten wird ein sicherer Link hergestellt, wobei die gemeinsamen Schlüssel zum Einsatz kommen, die bei der ersten Aktivierung verwendet wurden. Mac und Apple Watch nutzen dann Peer-to-Peer-WLAN und einen sicheren Schlüssel, der vom sicheren Link stammt, um die Entfernung zwischen beiden Geräten zu bestimmen. Befinden sich die Geräte in Reichweite, wird der sichere Link verwendet, um das Pre-Shared Secret zum Entsperren des Mac zu übertragen. War der Entsperrungsvorgang erfolgreich, ersetzt der Mac das aktuelle Unlock Secret durch ein neues nur einmal nutzbares Unlock Secret und überträgt das neue Unlock Secret über den Link an die Apple Watch.

iPhone-Mobilanrufumleitung

Wenn ein Mac, iPad oder iPod touch des Benutzers dasselbe WLAN-Netzwerk wie sein iPhone verwendet, können über die Mobilfunkverbindung des iPhone Telefonanrufe gestartet oder empfangen werden. Für die Konfiguration müssen die Geräte mit demselben Apple-ID-Account bei iCloud und FaceTime angemeldet sein.

Bei einem eingehenden Anruf werden alle konfigurierten Geräte über den **Apple-Dienst für Push-Benachrichtigungen (APNs)** benachrichtigt, wobei für jede Benachrichtigung dieselbe End-To-End-Verschlüsselung wie für iMessage verwendet wird. Geräte im selben Netzwerk zeigen die Mitteilung für eingehende Anrufe an. Wird der Anruf entgegengenommen, werden die Audiodaten nahtlos über eine sichere Peer-To-Peer-Verbindung zwischen den beiden Geräten übertragen.

Wird ein Anruf auf einem Gerät entgegengenommen, wird das Klingeln von über iCloud gekoppelten Geräten in der Nähe durch eine kurze Ankündigung via Bluetooth Low Energy beendet. Die Ankündigungsbytes werden mit derselben Methode wie Handoff-Ankündigungen verschlüsselt.

Ausgehende Anrufe werden ebenfalls über den Apple-Dienst für Push-Benachrichtigungen umgeleitet und die Audiodaten werden in ähnlicher Weise über eine sichere Peer-To-Peer-Verbindung zwischen den Geräten übertragen.

Der Benutzer kann die Mobilanrufumleitung auf einem Gerät deaktivieren, indem er in den FaceTime-Einstellungen „iPhone-Mobilanrufe“ deaktiviert.

iPhone-Nachrichtenweiterleitung

Mit der Nachrichtenweiterleitung werden SMS vom iPhone automatisch auf die registrierten iPad-, iPod touch- und Mac-Geräte des Benutzers übertragen. Alle Geräte müssen beim Dienst „iMessage“ mit derselben Apple-ID angemeldet sein. Wenn die Nachrichtenweiterleitung und die Zwei-Faktor-Authentifizierung aktiviert sind, erfolgt die Registrierung auf Geräten im Circle of Trust eines Benutzers automatisch. Andernfalls wird die Registrierung für jedes Gerät bestätigt, indem ein vom iPhone erzeugter zufälliger sechsstelliger Code auf ihm eingegeben wird.

Sind die Geräte verknüpft, verschlüsselt das iPhone eingehende SMS und leitet sie an die anderen Geräte weiter, wobei die unter „iMessage“ in diesem Abschnitt dieses Dokuments beschriebenen Methoden verwendet werden. Die Antworten werden mit derselben Methode an das iPhone zurückgesendet, das die Antwort dann über den Mobilfunkanbieter als SMS verschickt. Die Nachrichtenweiterleitung kann in den Nachrichteneinstellungen aktiviert oder deaktiviert werden.

Instant-Hotspot

iOS-Geräte, die Instant-Hotspot unterstützen, verwenden Bluetooth Low Energy, um Geräte zu erkennen, die beim selben iCloud-Account angemeldet sind, und um mit ihnen zu kommunizieren. Kompatible Mac-Computer mit OS X Yosemite (oder neuer) verwenden dieselbe Technologie, um iOS-Geräte mit Instant-Hotspot zu erkennen und um mit ihnen zu kommunizieren.

Wenn der Benutzer auf dem iOS-Gerät die WLAN-Einstellungen eingibt, sendet das Gerät eine Bluetooth-Low-Energy-Ankündigung mit einer Kennung, die alle bei demselben iCloud-Account angemeldeten Geräte verwenden. Diese Kennung wird aus einer mit dem iCloud-Account verknüpften DSID (Destination Signaling Identifier) erzeugt und regelmäßig geändert. Wenn sich andere an demselben iCloud-Account angemeldeten Geräte in unmittelbarer Nähe befinden und den persönlichen Hotspot unterstützen, erkennen sie das Signal und signalisieren ihre Verfügbarkeit.

Wenn der Benutzer ein verfügbares Gerät als persönlichen Hotspot auswählt, wird eine Anfrage für die Aktivierung des persönlichen Hotspots an das Gerät gesendet. Die Anfrage wird über eine Verbindung gesendet, die die Bluetooth Low Energy-Standardverschlüsselung verwendet, und die Anfrage selbst wird ähnlich wie eine iMessage-Nachricht verschlüsselt. Das Gerät sendet dann über dieselbe Bluetooth Low Energy-Verbindung mit derselben nachrichtenspezifischen Verschlüsselung die Verbindungsinformationen für den persönlichen Hotspot.

Sicherheit bei AirDrop

iOS-Geräte mit AirDrop-Unterstützung verwenden Bluetooth Low Energy (BLE) und von Apple entwickelte Peer-To-Peer-WLAN-Technologien, um Dateien und Informationen auf Geräte in der Nähe zu senden, zu denen auch Mac-Computer mit AirDrop-Unterstützung und OS X 10.11 (oder neuer) gehören. Die Geräte kommunizieren direkt per WLAN-Funk miteinander, ohne dass eine Internetverbindung oder ein WLAN-Zugangspunkt benötigt wird.

Wenn sich ein Benutzer beim iCloud-Dienst anmeldet, wird auf dem Gerät eine 2048-Bit RSA-Identität gespeichert. Außerdem wird, wenn der Benutzer AirDrop aktiviert, eine Kurzversion der AirDrop-Hash-Identität erstellt, die auf den E-Mail-Adressen und Telefonnummern basiert, die mit der Apple-ID des Benutzers verknüpft sind.

Wenn ein Benutzer AirDrop für die Freigabe eines Objekts verwendet, sendet das sendende Gerät per Bluetooth Low Energy ein AirDrop-Signal aus, das die Kurzversion der AirDrop-Hash-Identität des Benutzers enthält. Andere Geräte, die sich in der unmittelbaren Umgebung und nicht im Ruhezustand befinden und bei denen AirDrop aktiviert ist, erkennen das Signal und antworten über Peer-To-Peer-WLAN, sodass das sendende Gerät die Identität der antwortenden Geräte erkennen kann.

AirDrop verwendet standardmäßig die Freigabeeinstellung „Nur Kontakte“. Benutzer können in AirDrop aber auch die Freigabe für „Alle“ auswählen oder die Funktion komplett deaktivieren. Im Modus „Nur Kontakte“ wird die empfangene Kurzversion der AirDrop-Hash-Identität mit den Personen in den Kontakten des empfangenden Geräts abgeglichen. Bei einem Treffer antwortet das empfangende Gerät über Peer-To-Peer-WLAN mit seinen Identitätsinformationen. Das sendende Gerät startet eine AirDrop-Verbindung über Peer-To-Peer-WLAN und das sendende Gerät verwendet diese Verbindung, um eine Langversion der Hash-Identität an das empfangende Gerät zu senden. Entspricht die Langversion der Hash-Identität einer bekannten Person in den Kontakten des Empfängers, antwortet dieser mit der Langversion seiner Hash-Identität. Anschließend werden Vorname und Foto (soweit in den Kontakten vorhanden) auf der AirDrop-Freigabeseite des Senders angezeigt.

In AirDrop bestimmt der Benutzer, für wen Inhalte freigegeben werden sollen. Der Sender startet eine verschlüsselte (TLS) Verbindung mit dem Empfänger, über die die iCloud-Identitätszertifikate ausgetauscht werden. Die Identität in den Zertifikaten wird mit den Kontakten der Benutzer abgeglichen. Anschließend wird der Empfänger gebeten, die eingehende Dateiübertragung von der identifizierten Person/dem identifizierten Gerät anzunehmen. Wenn mehrere Empfänger ausgewählt wurden, wird dieses Verfahren für jeden einzelnen wiederholt.

Im Modus „Alle“ wird dasselbe Verfahren verwendet. Wenn aber in den Kontakten kein Treffer gefunden wird, werden die Empfänger auf der AirDrop-Freigabeseite als Silhouette mit dem Namen des Geräts angezeigt, der unter „Systemeinstellungen“ > „Allgemein“ > „Über“ > „Name“ festgelegt ist.

Für Geräte und Apps, die mit einer Lösung für das Mobile Device Management (MDM) verwaltet werden, kann die Verwendung von AirDrop eingeschränkt werden.

WLAN-Passwortfreigabe

iOS-Geräte, die die WLAN-Passwortfreigabe unterstützen, verwenden ein AirDrop ähnliches Verfahren, um ein WLAN-Passwort zwischen zwei Geräten zu senden.

Wenn ein Benutzer ein WLAN-Netzwerk (Antragsteller) auswählt und nach dem WLAN-Passwort gefragt wird, startet das Apple-Gerät eine Bluetooth Low Energy-Ankündigung, die angibt, dass ein WLAN-Passwort erforderlich ist. Andere aktive Apple-Geräte in der Nähe, die das Passwort für das ausgewählte WLAN-Netzwerk haben, stellen eine Bluetooth Low Energy-Verbindung mit dem anfordernden Gerät her.

Das Gerät mit dem WLAN-Passwort (Aussteller) fordert die Kontaktinformationen des Antragstellers an und dieser muss seine Identität mit einem AirDrop ähnlichen Verfahren nachweisen. Nachdem die Identität nachgewiesen wurde, sendet der Aussteller dem Antragsteller den sicheren privaten Schlüssel mit 64 Zeichen, der unter anderem zum Beitritt zum Netzwerk verwendet werden kann.

Für Geräte und Apps, die mit einer Lösung für das Mobile Device Management (MDM) verwaltet werden, kann die Verwendung der WLAN-Passwortfreigabe eingeschränkt werden.

Apple Pay

Mit Apple Pay können Benutzer mit einem der unterstützten iOS-Geräte, mit der Apple Watch und mit dem Mac schnell, sicher und geheim in Geschäften, Apps und im Web in Safari bezahlen. Die Benutzer können auch Apple Pay-fähige ÖPNV-Karten zu Wallet hinzufügen Dies ist nicht nur praktisch, sondern bietet auch in Hard- und Software integrierte Sicherheit.

Apple Pay ist auch dafür ausgelegt, die persönlichen Daten des Nutzers zu schützen. Apple Pay sammelt keine Informationen über Transaktionen, die mit dem Benutzer verknüpft werden können. Die Transaktion findet zwischen dem Benutzer, dem Händler und dem Kartenaussteller statt.

Apple Pay-Komponenten

Secure Element: Secure Element ist ein zertifizierter Chip, der die Branchenstandards erfüllt und auf dem die Java Card-Plattform ausgeführt wird, die mit den Anforderungen für elektronische Zahlungen der Finanzbranche kompatibel ist.

NFC-Controller: Der NFC-Controller verarbeitet die NFC-Protokolle (Near Field Communication) und steuert die Kommunikation zwischen Anwendungsprozessor und Secure Element bzw. zwischen Secure Element und Kassenterminal.

Wallet: Wallet wird verwendet, um Kredit-, Debit- und Kundenkarten hinzuzufügen und zu verwalten und Zahlungen mit Apple Pay abzuwickeln. Der Benutzer kann in Wallet seine Karten sehen und möglicherweise auch vom Kartenaussteller bereitgestellte Zusatzinformationen (z. B. dessen Datenschutzrichtlinien, die letzten Zahlungen und weitere Informationen). Karten für Apple Pay können außerdem hier hinzugefügt werden:

- Im Systemassistenten und in den Einstellungen für iOS
- In der App „Watch“ für die Apple Watch
- Im Bereich „Wallet & Apple Pay“ in den Systemeinstellungen für den Mac.

Darüber hinaus können die Benutzer Wallet verwenden, um u. a. ÖPVN-Karten, Bonuskarten, Bordkarten, Eintrittskarten, Geschenkkarten, Studentenausweise hinzuzufügen und zu verwalten.

Secure Enclave: Auf einem iPhone, einem iPad und einer Apple Watch führt die Secure Enclave das Authentifizierungsverfahren durch und ermöglicht die Abwicklung der Zahlung.

Die Apple Watch muss entsperrt sein und der Benutzer muss die Seitentaste doppelklicken. Der Doppelklick wird erkannt und direkt ohne Umweg über den Anwendungsprozessor an das Secure Element oder die Secure Enclave (sofern verfügbar) weitergeleitet.

Apple Pay-Server: Die Apple Pay-Server verwalten die Konfiguration und Bereitstellung der Kredit-, Debit-, ÖPNV-Karten und Studentenausweise in Wallet und die im Secure Element gespeicherten DANs (Device Account Number). Sie kommunizieren sowohl mit dem Gerät als auch mit den Zahlungsservern der Kartenaussteller im Netzwerk. Die Apple Pay Server sind auch für die Neuverschlüsselung der Zahlungsdaten in den Apps zuständig.

So nutzt Apple Pay das Secure Element

Das Secure Element nutzt ein extra entwickeltes Applet zur Verwaltung von Apple Pay. Außerdem besitzt es Applets, die von den Zahlungsnetzwerken oder Kartenausstellern zertifiziert werden. Die Daten der Kredit-, Debit- oder Prepaid-Karte werden vom Zahlungsnetzwerk oder dem Kartenaussteller in verschlüsselter Form an diese Applets gesendet, wobei Schlüssel verwendet werden, die nur das Zahlungsnetzwerk oder der Kartenaussteller und die Sicherheits-Domain des Applets kennen. Diese Daten werden in den Applets gespeichert und mit den Sicherheitsfunktionen des Secure Element geschützt. Bei einer Transaktion kommuniziert das Terminal über den NFC-Controller und einen eigenen Hardware-Bus direkt mit dem Secure Element.

So nutzt Apple Pay den NFC-Controller

Als Tor zum Secure Element sorgt der NFC-Controller dafür, dass alle kontaktlosen Zahlungen über ein Kassenterminal in unmittelbarer Nähe des Geräts durchgeführt werden. Nur Zahlungsanfragen von Terminals in unmittelbarer Nähe werden vom NFC-Controller als kontaktlose Zahlungen markiert.

Nachdem eine Zahlung mit einer Kredit-, Debit- oder Prepaid-Karte (einschließlich Kundenkarten) vom Besitzer der Karte per Touch ID, Face ID oder Code oder auf einer entsperrten Apple Watch durch Doppelklicken auf die Seitentaste in der Secure Enclave autorisiert wurde, werden die kontaktlosen Antworten der Zahlungs-Applets im Secure Element über den Controller exklusiv an das NFC-Feld geleitet. Daher bleiben die Daten der Zahlungsanweisung für kontaktlose Zahlungstransaktionen im lokalen NFC-Feld und haben keinen Kontakt zum Anwendungsprozessor. Die Daten von Zahlungsanweisungen in Apps und im Web werden dagegen über den Anwendungsprozessor an den Apple Pay Server gesendet, allerdings nach Verschlüsselung durch das Secure Element.

Bereitstellung von Kredit-, Debit- und Prepaid-Karten

Wenn der Benutzer in Wallet eine Kredit-, Debit- oder Prepaid-Karte (Kundenkarten inbegriffen) hinzufügt, sendet Apple die Kartendaten zusammen mit anderen Informationen über den Benutzeraccount und das Gerät über eine sichere Verbindung an den jeweiligen Kartenaussteller oder den autorisierten Dienstanbieter des Kartenausstellers. Anhand dieser Informationen bestimmt der Kartenaussteller, ob die Karte für Wallet hinzugefügt werden kann.

Apple Pay verwendet zum Zweck der Kartenbereitstellung drei serverseitige Aufrufe, um mit dem Kartenaussteller oder dem Netzwerk zu kommunizieren: *Required Fields, Check Card* und *Link and Provision*. Der Kartenaussteller bzw. das Netzwerk verwendet diese Aufrufe, um Karten für Wallet zu verifizieren, zu bestätigen und hinzuzufügen. Diese Client-Server-Sitzungen werden mit TLS v1.2 verschlüsselt.

Die vollständige Kartennummer wird weder auf dem Gerät noch auf den Servern von Apple gespeichert. Stattdessen wird eine eindeutige Device Account Number erstellt, verschlüsselt und im Secure Element gespeichert. Diese eindeutige Device Account Number wird so verschlüsselt, dass Apple nicht darauf zugreifen kann. Diese Device Account Number ist eindeutig und unterscheidet sich von anderen Kredit- oder Debitkartennummern darin, dass der Kartenaussteller oder das Zahlungsnetzwerk verhindern kann, dass sie auf einer Magnetkarte, am Telefon oder auf Websites verwendet wird. Die Device Account Number im Secure Element ist von iOS und watchOS isoliert, wird nie auf den Apple-Servern gespeichert und nie in iCloud gesichert.

Karten zur Verwendung mit der Apple Watch werden für Apple Pay mit der App „Apple Watch" auf dem iPhone oder innerhalb der iPhone-App eines Kartenausstellers aktiviert. Um eine Karte zur Apple Watch hinzuzufügen, muss sich die Uhr im Bluetooth-Kommunikationsradius befinden. Karten, die speziell für die Verwendung mit der Apple Watch aktiviert wurden, haben eine eigene Device Account Number, die im Secure Element auf der Apple Watch gespeichert ist.

Wenn Kredit-, Debit- oder Prepaid-Karten (einschließlich Kundenkarten) hinzugefügt werden, erscheinen sie in einer Kartenliste im Systemassistenten auf Geräten, die bei demselben iCloud-Account angemeldet sind. Diese Karten verbleiben in dieser Liste, solange sie auf mindestens einem Gerät aktiv sind. Sieben Tage, nachdem die Karten von allen Geräten entfernt wurden, werden sie aus dieser Liste entfernt. Diese Funktion setzt voraus, dass die Zwei-Faktor-Authentifizierung in dem jeweiligen iCloud-Account aktiviert ist.

Kredit- oder Debitkarte manuell zu Apple Pay hinzuzufügen

Beim manuellen Hinzufügen einer Karte werden für den Bereitstellungsprozess der Name des Kartenhalters, die Kartennummer, das Ablaufdatum und die CVV-Nummer verwendet. Der Benutzer kann die Informationen in den Einstellungen, in der App „Wallet" oder in der App „Apple Watch" eintippen oder mithilfe der Kamera des Geräts erfassen. Wenn die Kamera die Karteninformationen erfasst, versucht Apple, Name, Kartennummer und Ablaufdatum einzugeben. Das Foto wird nicht auf dem Gerät oder in der Foto-Mediathek gespeichert. Nachdem alle Felder ausgefüllt wurden, überprüft der „Check Card"-Prozess alle Felder mit Ausnahme der CVV-Nummer. Sie werden verschlüsselt und an den Apple Pay-Server gesendet.

Wenn der „Check Card"-Prozess eine ID für die Geschäftsbedingungen umfasst, lädt Apple die Geschäftsbedingungen des jeweiligen Kartenausstellers und zeigt sie dem Benutzer an. Wenn der Benutzer die Geschäftsbedingungen annimmt, übergibt Apple die ID der Geschäftsbedingungen sowie die CVV an den „Link and Provision"-Prozess. Apple stellt als Teil des „Link and Provision"-Prozesses auch Informationen über das Gerät für den Kartenaussteller oder das Netzwerk bereit: u. a. Informationen über Aktivitäten deines iTunes- und App Store-Accounts (z. B. die Anzahl der Transaktionen in iTunes), Informationen über das Gerät (z. B. Telefonnummer, Name und Modell des Geräts sowie weitere für das Einrichten von Apple Pay erforderliche iOS-Geräte) und deinen ungefähren Standort zu der Zeit, zu der die Karte hinzugefügt wurde, sofern die Ortungsdienste aktiviert sind. Anhand dieser Informationen bestimmt der Kartenaussteller, ob die Karte für Apple Pay hinzugefügt werden kann.

Der Prozess „Link and Provision" löst zwei Ereignisse aus:

- Das Gerät beginnt mit dem Laden der Wallet-Kartendatei für die jeweilige Kredit- bzw. Debitkarte.
- Das Gerät bindet die Karte an das Secure Element.

Die Kartendatei enthält URLs zum Laden von Kartengrafiken, Metadaten zur Karte wie Kontaktinformationen, zugehörige App des Kartenausstellers und unterstützte Funktionen. Außerdem enthält sie den Kartenstatus, der Informationen darüber enthält, ob das Secure Element vollständig personalisiert wurde, ob die Karte aktuell durch den Kartenaussteller gesperrt ist oder ob eine zusätzliche Verifizierung nötig ist, bevor in Apple Pay mit dieser Karte gezahlt werden kann.

Kredit- oder Debitkarten, die für einen iTunes Store Account verwendet werden, zu Apple Pay hinzufügen

Bei Kredit- oder Debitkarten, die bereits für iTunes verwendet werden, muss der Benutzer das Passwort für seine Apple-ID erneut eingeben. Die Kreditkartennummer wird von iTunes abgerufen und der Prozess „Check Card" wird gestartet. Wenn die Karte für Apple Pay verwendet werden kann, lädt

das Gerät die Geschäftsbedingungen, zeigt sie an und übergibt die dazugehörige ID und den Kartensicherheitscode an den Prozess „Link and Provision". Für im iTunes-Account vorhandene Karten werden möglicherweise zusätzliche Überprüfungen durchgeführt.

Kredit- oder Debitkarten aus der App des Kartenausstellers zu Apple Pay hinzufügen

Wenn eine App für die Verwendung mit Apple Pay registriert wird, werden Schlüssel für die App und den Server des Kartenausstellers erstellt. Diese Schlüssel werden verwendet, um die Karteninformationen zu verschlüsseln, die an den Kartenaussteller gesendet werden. Auf diese Weise wird verhindert, dass diese Informationen vom iOS-Gerät gelesen werden. Der Datenfluss für die Bereitstellung ähnelt dem Datenfluss beim manuellen Hinzufügen von Karten (siehe oben). Die einzige Abweichung besteht darin, dass anstelle der CVV-Nummer ein nur einmal nutzbares Passwort verwendet wird.

Zusätzliche Überprüfung

Der Kartenaussteller kann festlegen, ob für eine Kredit- oder Debitkarte eine zusätzliche Überprüfung notwendig ist. Der Benutzer kann für die Überprüfung aus verschiedenen Methoden wählen, abhängig davon, welche vom Kartenaussteller angeboten werden, z. B. SMS, E-Mail, Anruf beim Kundendienst oder über eine App eines anderen Anbieters. Bei SMS- oder E-Mail-Nachrichten kann der Benutzer aus den beim Kartenaussteller hinterlegten Kontaktdaten auswählen. Es wird ein Code gesendet, der in der App „Wallet", in den Einstellungen oder in der App „Apple Watch" eingegeben werden muss. Beim Kundendienst oder bei der Überprüfung über eine App führt der Aussteller einen eigenen Kommunikationsprozess durch.

Autorisierung von Zahlungen

Auf Geräten mit einer Secure Enclave lässt das Secure Element eine Zahlung erst dann zu, wenn es die Autorisierung von der Secure Enclave erhalten hat. Auf dem iPhone oder iPad erfordert dies die Bestätigung, dass sich der Benutzer per Touch ID, Face ID oder Gerätecode authentifiziert hat. Die Standardmethode ist Touch ID oder Face ID, es kann aber auch jederzeit der Code verwendet werden. Der Code wird automatisch angeboten, wenn dreimal in Folge kein registrierter Fingerabdruck erkannt wurde oder zwei Versuche zum Gesichtsabgleich nicht erfolgreich waren; nach fünf Fehlversuchen muss der Code eingegeben werden. Der Code wird auch benötigt, wenn Touch ID oder Face ID nicht konfiguriert oder nicht für Apple Pay aktiviert wurden. Damit auf der Apple Watch eine Zahlung erfolgen kann, muss der Benutzer das Gerät mittels Code entsperren und einen Doppelklick auf die Seitentaste ausführen.

Die Kommunikation zwischen der Secure Enclave und dem Secure Element findet über eine serielle Schnittstelle statt, wobei das Secure Element mit dem NFC-Controller verbunden ist, der wiederum mit dem Anwendungsprozessor verbunden ist. Obwohl sie nicht direkt verbunden sind, können Secure Enclave und Secure Element über ein gemeinsames Schlüsselpaar, das bei der Fertigung festgelegt wird, sicher kommunizieren. Die Verschlüsselung und Authentifizierung der Kommunikation basiert auf AES, wobei beide Seiten zum Schutz vor Replay-Angriffen kryptografische Nonces verwenden. Der Kopplungsschlüssel wird in der Secure Enclave aus dem UID Schlüssel und der eindeutigen Kennung des Secure Element erzeugt. Der Kopplungsschlüssel wird dann bei der Fertigung von der Secure Enclave sicher an ein **Hardwaresicherheitsmodul (HSM)** übertragen, das die benötigten Schlüsselmaterialien besitzt, um den Kopplungsschlüssel mit dem Secure Element zu verknüpfen.

Wenn der Benutzer eine Transaktion autorisiert, sendet die Secure Enclave signierte Daten über die Art der Authentifizierung und Details zu der Transaktion (kontaktlos oder in Apps) zusammen mit einem Zufallswert für die Authentifizierung (AR) an das Secure Element. Der AR wird in der Secure Enclave erzeugt, wenn der Benutzer zum ersten Mal eine Kreditkarte hinzufügt, und bleibt erhalten, solange Apple Pay aktiviert ist. Er wird von Mechanismen der Secure Enclave für Verschlüsselung und Anti-Rollback geschützt. Er wird mithilfe des Kopplungsschlüssels sicher an das Secure Element übertragen. Bei Erhalt eines neuen AR-Werts löscht das Secure Element alle zuvor hinzugefügten Karten.

Dem Secure Element hinzugefügte Kredit-, Debit- und Prepaid-Karten können nur verwendet werden, wenn das Secure Element eine Autorisierung mit dem Kopplungsschlüssel und dem AR-Wert, die beim Hinzufügen der Karte verwendet wurden, erhält. Dadurch kann iOS die Secure Enclave anweisen, Karten unbrauchbar zu machen, indem sie ihre Kopie des AR unter den folgenden Umständen als ungültig kennzeichnet:

- Der Code ist deaktiviert.
- Der Benutzer meldet sich bei iCloud ab.
- Der Benutzer löscht alle Inhalte und Einstellungen.
- Das Gerät wird aus dem Wiederherstellungsmodus wiederhergestellt.

Bei der Apple Watch werden Karten unter den folgenden Umständen als ungültig kennzeichnet:

- Der Code für die Uhr wurde deaktiviert.
- Die Kopplung von Uhr und iPhone wurde aufgehoben.

Mit dem Kopplungsschlüssel und der Kopie des aktuellen AR-Werts überprüft das Secure Element die Autorisierung der Secure Enclave, bevor das Zahlungs-Applet die kontaktlose Zahlung abwickeln kann. Dieser Prozess gilt auch, wenn verschlüsselte Zahlungsdaten von einem Zahlungs-Applet bei Transaktionen in einer App abgerufen werden.

Transaktionsspezifischer dynamischer Sicherheitscode

Zahlungsvorgänge aus Zahlungs-Applets umfassen ein Zahlungskryptogramm zusammen mit einer Device Account Number. Dieses Kryptogramm, ein einmal nutzbarer Code, wird mit einem Transaktionszähler, der für jede neue Transaktion erhöht wird, und einem Schlüssel berechnet, der im Zahlungs-Applet während der Personalisierung bereitgestellt wird und dem Zahlungsnetzwerk und/oder dem Kartenaussteller bekannt ist. Abhängig vom Zahlungssystem werden auch andere Daten für die Berechnung verwendet, darunter:

- Eine Terminal Unpredictable Number im Falle einer NFC-Transaktion
- Eine Apple Pay Server-Nonce im Falle von Transaktionen innerhalb von Apps

Diese Sicherheitscodes werden an das Zahlungsnetzwerk und den Kartenaussteller weitergegeben, sodass beide die Transaktion überprüfen können. Die Länge dieser Sicherheitscodes hängen von der jeweiligen Transaktion ab.

Mit Kredit- und Debitkarten in Geschäften bezahlen

Wenn das iPhone eingeschaltet ist und ein NFC-Feld erkennt, bietet es dem Benutzer entweder die angeforderte Karte (sofern für diese Karte die automatische Auswahl aktiviert ist) oder alternativ die Standardkarte an, die in den Einstellungen festgelegt wurde. Der Benutzer kann auch die App „Wallet“ öffnen und eine Karte auswählen oder falls das Gerät gesperrt ist:

- Auf Geräten mit Touch ID zweimal auf die Home-Taste drücken
- Auf Geräten mit Face ID zweimal auf die Seitentaste drücken

Anschließend muss sich der Benutzer mit Touch ID, Face ID oder dem Code authentifizieren, bevor die Zahlungsinformationen übertragen werden. Wenn die Apple Watch nicht gesperrt ist, kann durch Doppelklicken auf die Seitentaste die Standardkarte zur Bezahlung aktiviert werden. Ohne Benutzerauthentifizierung werden keine Zahlungsinformationen gesendet.

Nach der Authentifizierung werden die Device Account Number und der transaktionsspezifische dynamische Sicherheitscode für die Zahlungsabwicklung verwendet. Weder Apple noch das Gerät des Benutzers sendet die vollständige Kartennummer an den Händler. Apple kann anonymisierte Informationen zur Zahlung erhalten, z. B. ungefähre Zeit und Ort der Transaktion, mit denen Apple Pay und andere Produkte und Dienste von Apple verbessert werden können.

Mit Kredit- und Debitkarten innerhalb von Apps bezahlen

Apple Pay kann auch für Zahlungen in iOS-Apps und in Apple Watch-Apps verwendet werden. Wenn der Benutzer in einer App mit Apple Pay zahlt, erhält Apple verschlüsselte Informationen zur Transaktion und sendet diese an den Entwickler oder Händler, nachdem sie erneut mit einem entwicklerspezifischen Schlüssel verschlüsselt wurden. Apple Pay speichert anonymisierte Informationen zu Transaktionen, wie den ungefähren Betrag. Diese Informationen können nicht mit dem Benutzer verknüpft werden und enthalten keine Angaben dazu, wofür der Benutzer gezahlt hat.

Wenn in einer App eine Apple Pay Transaktion gestartet wird, erhalten die Apple Pay Server die verschlüsselte Transaktion von dem Gerät, bevor sie an den Händler gesendet wird. Die Apple Pay Server verschlüsseln sie dann erneut mit einem händlerspezifischen Schlüssel, bevor sie die Transaktion weiterleiten.

Wenn eine App eine Zahlung anfordert, ruft sie eine API auf, um festzustellen, ob das Gerät Apple Pay unterstützt und der Benutzer Kredit- oder Debitkarten besitzt, mit denen auf einem vom Händler akzeptierten Zahlungsnetzwerk Zahlungen abgewickelt werden können. Die App fragt an, welche Informationen für die Transaktion benötigt werden, z. B. Rechnungs- und Lieferadresse oder Kontaktdaten. Danach ergeht an iOS die Aufforderung, die Apple Pay-Seite anzuzeigen, um Informationen für die App und andere benötigte Informationen abzufragen, z. B. welche Karte verwendet werden soll.

Zu diesem Zeitpunkt erhält die App die Adressdaten (Ort, Staat/Land und PLZ), um die Versandkosten berechnen zu können. Die App erhält erst dann alle Informationen, wenn der Benutzer die Zahlung mit Touch ID, Face ID oder dem Code bestätigt. Ist die Zahlung autorisiert, werden die Informationen der Apple Pay-Seite an den Händler übertragen.

Wenn der Benutzer eine Zahlung bestätigt, erfolgt ein Aufruf an die Apple Pay-Server, um eine kryptografische Nonce anzufordern, die eine ähnliche Funktion erfüllt, wie der vom NFC-Terminal gesendete Wert im Laden. Die Nonce wird zusammen mit anderen Daten zur Transaktion an das Secure Element weitergegeben, um die Zahlungsdaten zu erzeugen, die mit einem Apple Schlüssel verschlüsselt werden. Wenn die verschlüsselten Zahlungsdaten vom Secure Element ausgegeben werden, werden sie an die Apple Pay-Server weitergegeben, die die Daten entschlüsseln, die enthaltene Nonce mit der ursprünglich von den Apple Pay-Servern gesendeten Nonce abgleichen und die Zahlungsdaten mit dem Händlerschlüssel zu der Händler-ID erneut verschlüsseln. Sie werden anschließend an das Gerät zurückgegeben, das sie über die API an die App zurückgibt. Die App überträgt sie dann an das Händlersystem zur Bearbeitung. Der Händler kann nun die Zahlungsdaten mit seinem privaten Schlüssel zur Bearbeitung entschlüsseln. Dadurch und mit der Signatur der Server von Apple kann der Händler überprüfen, ob diese Transaktion für ihn bestimmt ist.

Die APIs benötigen eine Berechtigung, die die unterstützten Händler-IDs angibt. Eine App kann auch zusätzliche Daten an das Secure Element zum Signieren senden, zum Beispiel eine Bestellnummer oder Kundenidentität, sodass die Transaktionen keinem falschen Kunden zugeordnet werden können. Der App-Entwickler kann „applicationData" bei „PKPaymentRequest" angeben. Ein Hash-Wert dieser Daten wird dann mit den anderen Zahlungsdaten verschlüsselt. Der Händler muss nun überprüfen, ob sein „applicationData" Hash-Wert mit dem in den Zahlungsdaten übereinstimmt.

Mit Kredit- und Debitkarten im Web bezahlen

Apple Pay kann für Zahlungen auf Websites mit iOS-Geräten, Apple Watch und Mac verwendet werden. Apple Pay-Transaktionen können auch auf einem Mac begonnen und dann unter Verwendung desselben iCloud-Accounts auf einem iPhone oder einer Apple Watch, auf dem bzw. der Apple Pay aktiviert ist, abgeschlossen werden.

Apple Pay im Web setzt voraus, dass alle teilnehmenden Websites bei Apple registriert sind. Die Apple-Server validieren den Domain-Namen und geben ein TLS-Client-Zertifikat aus. Websites mit Apple Pay-Unterstützung müssen ihre Inhalte über HTTPS bereitstellen. Für jede Zahlungstransaktion müssen Websites mit dem von Apple ausgestellten TLS-Client-Zertifikat eine sichere und eindeutige Händlersitzung mit einem Apple-Server starten. Die Daten der Händlersitzung werden von Apple signiert. Nachdem die Signatur der Händlersitzung verifiziert wurde, kann eine Website abfragen, ob der Benutzer über ein Apple Pay-fähiges Gerät verfügt und ob eine Kredit-, Debit- oder Prepaid-Karte auf dem Gerät aktiviert ist. Eine Freigabe weiterer Details erfolgt nicht. Wenn der Benutzer seine Informationen nicht teilen möchte, kann er Apple Pay-Anfragen in den Datenschutzeinstellungen von Safari in iOS und macOS deaktivieren.

Nach der Validierung einer Händlersitzung sind alle Datenschutz- und Sicherheitsmaßnahmen identisch mit denen, die bei Zahlungsvorgängen des Benutzers innerhalb einer App gelten.

Beim Handoff vom Mac zum iPhone oder zur Apple Watch nutzt Apple Pay das End-to-End-verschlüsselte Apple IDS-Protokoll (Identity Service), um zahlungsrelevante Informationen zwischen dem Mac des Benutzers und dem autorisierenden Gerät zu übertragen. IDS nutzt die Geräteschlüssel des Benutzers für die Verschlüsselung, sodass kein anderes Gerät diese Informationen entschlüsseln kann. Diese Schlüssel stehen Apple nicht zur Verfügung. Die Geräteerkennung für Apple Pay-Handoff umfasst den Typ und die eindeutige Kennung der Kreditkarten des Benutzers sowie einige Metadaten. Die gerätespezifische Accountnummer der Karte des Benutzers wird nicht preisgegeben und verbleibt sicher auf dem iPhone oder der Apple Watch des Benutzers. Apple sorgt mit dem iCloud-Schlüsselbund für die sichere Übertragung der kürzlich verwendeten Kontakt-, Liefer- und Rechnungsadressen des Benutzers.

Nachdem der Benutzer die Zahlung per Touch ID, Face ID oder Code oder durch Doppelklicken auf die Seitentaste der Apple Watch autorisiert hat, wird ein für das Händlerzertifikat jeder Website verschlüsseltes Zahlungs-Token auf sichere Weise vom iPhone bzw. von der Apple Watch des Benutzers an seinen Mac übertragen und dann der Website des Händlers bereitgestellt.

Nur Geräte, die sich in unmittelbarer Nähe zueinander befinden, können eine Zahlung anfordern und abschließen. Die Nähe wird durch Bluetooth Low Energy-Ankündigungen bestimmt.

Kontaktlose Ausweise

Wallet unterstützt das VAS-Protokoll (Value Added Service) für die Übertragung von Daten von unterstützten Ausweisen an kompatible NFC-Terminals. Das VAS-Protokoll kann auf den kontaktlosen Terminals implementiert werden; für die Kommunikation mit den unterstützten Apple-Geräten wird NFC verwendet. Das VAS-Protokoll funktioniert nur über kurze Distanzen und kann verwendet werden, um kontaktlose Ausweise entweder unabhängig oder im Rahmen einer Apple Pay-Zahlung vorzulegen.

Wenn das Gerät in die Nähe des NFC-Terminals gehalten wird, beginnt das Terminal mit dem Empfang der Ausweisinformationen, indem es eine Anfrage für den Ausweis sendet. Ist der Benutzer im Besitz eines Ausweises mit der Kennung des jeweiligen Händlers, wird er aufgefordert, die Verwendung dieses Ausweises mittels Touch ID, Face ID oder Code zu autorisieren. Es wird ein Verschlüsselungscode für die Kartendaten generiert, mit dem dann die an das Terminal gesendeten Daten verschlüsselt werden. Basis für diesen Verschlüsselungscode sind die Ausweisinformationen, ein Zeitstempel und ein nur einmal nutzbarer ECDH P-256-Zufallscode.

Der Benutzer kann auch manuell einen Ausweis auswählen und mittels Touch ID, Face ID oder Code autorisieren, bevor er ihn dem NFC-Terminal des Händlers vorlegt.

Apple Pay Cash

In iOS 11.2 (oder neuer) und watchOS 4.2 (oder neuer) kann Apple Pay auf einem iPhone, iPad oder auf einer Apple Watch verwendet werden, um Geld an andere Benutzer zu senden bzw. von diesen zu empfangen oder anzufordern. Wenn ein Benutzer Geld empfängt, wird es zu einem Apple Pay Cash-Account hinzugefügt, auf den in Wallet oder unter „Einstellungen" > „Wallet & Apple Pay" auf allen berechtigten Geräten zugegriffen werden kann, auf denen sich der Benutzer mit seiner Apple-ID angemeldet hat.

Um Apple Pay Cash und Zahlungen zwischen Personen zu verwenden, muss ein Benutzer mit einem iCloud-Account auf einem Apple Pay Cash-fähigen Gerät angemeldet sein und die Zwei-Faktor-Authentifizierung im iCloud-Account eingerichtet haben.

Wird Apple Pay Cash eingerichtet, können dieselben Informationen, die beim Hinzufügen einer Kredit- oder Debitkarte eingegeben wurden, mit unserer Partnerbank Green Dot Bank und mit Apple Payments Inc. geteilt werden. Dies ist ein eigenes Tochterunternehmen, das zum Schutz deiner Privatsphäre gegründet wurde, in dem Informationen getrennt von den restlichen Apple-Funktionen gespeichert und verarbeitet werden und zwar so, dass sie in den restlichen Apple-Funktionen nicht bekannt sind. Die Informationen werden nur bei der Fehlerbehebung, zur Verhinderung von Betrug und zu Regulierungszwecken verwendet.

Geldanforderungen und -überweisungen zwischen Benutzern werden in der App „Nachrichten" oder über Siri gestartet. Wenn ein Benutzer versucht, Geld zu senden, wird in iMessage die Apple Pay-Seite angezeigt. Das Apple Pay Cash-Guthaben wird immer zuerst verwendet. Falls erforderlich, wird ein zusätzlicher Betrag von einer zweiten Kredit- oder Debitkarte abgebucht, die der Benutzer in Wallet hinzugefügt hat.

Die Apple Pay Cash-Karte in Wallet kann mit Apple Pay verwendet werden, um in Geschäften, in Apps und im Web zu bezahlen. Das Geld auf dem Apple Pay Cash-Konto kann auch auf ein Bankkonto überwiesen werden. Zusätzlich zum Geld, das von anderen Benutzern überwiesen wird, kann dem Apple Pay Cash-Konto auch Geld über eine Debit- oder Prepaid-Karte in Wallet hinzugefügt werden.

Nach dem Abschluss einer Transaktion speichert Apple Payments Inc. die Transaktionsdaten möglicherweise für die Fehlerbehebung, zur Verhinderung von Betrug und zu Regulierungszwecken. Die restlichen Apple-Funktionen wissen nicht, an wen oder von wem Geld gesendet wurde oder wo mit der Apple Pay Cash-Karte eingekauft wurde.

Wird Geld mit Apple Pay gesendet, einem Apple Pay Cash-Konto Geld hinzugefügt oder Geld auf ein Bankkonto überwiesen, wird ein Aufruf an die Apple Pay-Server gesendet, um eine kryptografische Nonce anzufordern, die dem Wert ähnelt, der in Apps für Apple Pay zurückgegeben wird. Die Nonce wird zusammen mit anderen Daten zur Transaktion an das Secure Element weitergegeben, um eine Zahlungssignatur zu erzeugen. Die Zahlungssignatur wird vom Secure Element an die Apple Pay-Server weitergeleitet. Die Apple Pay-Server überprüfen die Authentifizierung, Integrität und Korrektheit der Transaktion über die Zahlungssignatur und die Nonce. Anschließend wird die Geldüberweisung gestartet und über den Abschluss der Transaktion berichtet.

Umfasst die Transaktion eine Kredit- oder Debitkarte zum Hinzufügen von Geld zu Apple Pay Cash, zum Senden von Geld an einen anderen Benutzer oder zum Bereitstellen von zusätzlichem Geld, wenn das Apple Pay Cash-Guthaben nicht ausreicht, werden auch verschlüsselte Zahlungsdaten generiert und an die Apple Pay-Server gesendet. Diese sind den Daten ähnlich, die in Apps und auf Websites für Apple Pay verwendet werden.

Nachdem das Guthaben auf dem Apple Pay Cash-Konto einen bestimmten Betrag überschritten hat oder wenn ungewöhnliche Aktivitäten festgestellt werden, wird der Benutzer aufgefordert, seine Identität zu verifizieren. Bereitgestellte Informationen zum Verifizieren der Benutzeridentität, wie die Sozialversicherungsnummer oder Antworten auf Fragen (z. B. die Bestätigung des Namens einer Straße), werden sicher an den Apple-Partner übertragen und mit seinem Schlüssel verschlüsselt. Apple kann diese Daten nicht entschlüsseln.

ÖPNV-Karten

In China und Japan können Benutzer auf unterstützten iPhone- oder Apple Watch-Modellen unterstützte ÖPVN-Karten zu Wallet hinzufügen. Dazu werden entweder der Wert und der ÖPNV-Ausweis einer physischen Karte in die digitale Wallet-Darstellung übertragen oder es wird über die App des ÖPVN-Kartenausstellers eine neue ÖPVN-Karte in Wallet bereitgestellt. Nachdem ÖPNV-Karten zu Wallet hinzugefügt wurden, können die Benutzer öffentliche Verkehrsmittel nutzen, indem sie ihr iPhone oder ihre Apple Watch in die Nähe eines entsprechenden Lesegeräts des Verkehrsbetriebs halten. In Japan kann die Suica-Karte auch verwendet werden, um Zahlungen zu tätigen.

Hinzugefügte ÖPNV-Karten werden mit dem iCloud-Account eines Benutzers verknüpft. Wenn der Benutzer mehr als eine Karte in Wallet hinzufügt, können Apple oder der Nahverkehrsbetrieb die persönlichen Daten des Benutzers und die verknüpften Accountdaten möglicherweise zwischen Karten verbinden. MySuica-Karten können beispielsweise mit anonymen Suica-Karten verbunden werden. ÖPNV-Karten und Transaktionen werden durch eine Reihe von hierarchischen kryptografischen Schlüsseln geschützt.

Während der Übertragung des Guthabens von der physischen Karte in Wallet müssen Benutzer die identifizierenden Stellen der Kartenseriennummer eingeben. Benutzer müssen möglicherweise auch persönliche Informationen bereitstellen, um nachzuweisen, dass sie im Besitz der Karte sind. Beispielsweise müssen die Benutzer bei einer MySuica-Karte oder bei einer Suica-Karte, die einen ÖPNV-Ausweis enthält, auch ihr Geburtsdatum eingeben. Wird ein Ausweis von einem iPhone auf die Apple Watch übertragen, müssen beide Geräte online sein.

Das Guthaben kann über Beträge von einer Kredit- oder Prepaid-Karte in Wallet oder über die App des Nahverkehrsbetriebs aufgeladen werden. Die Sicherheit beim Aufladen des Guthabens mit Apple Pay wird im Abschnitt „Mit Kredit- und Debitkarten innerhalb von Apps bezahlen“ in diesem Dokument beschrieben.

Der Prozess zum Bereitstellen der ÖPNV-Karte in der App des Nahverkehrsbetriebs wird im Abschnitt „Kredit- oder Debitkarten aus der App des Kartenausstellers zu Apple Pay hinzufügen“ in diesem Dokument beschrieben.

Der Nahverkehrsbetrieb besitzt die kryptografischen Schlüssel, die erforderlich sind, um die physische Karte zu authentifizieren und die eingegeben Benutzerdaten zu überprüfen. Nach der Überprüfung kann das System eine Gerätekontonummer für Secure Element erstellen und den neu hinzugefügten Ausweis mit dem übertragenen Guthaben in Wallet aktivieren. Nachdem in Japan die Bereitstellung von der physischen Karte abgeschlossen ist, wird die physische Suica-Karte deaktiviert.

Zum Abschluss beider Arten der Bereitstellung wird das Guthaben der ÖPNV-Karte verschlüsselt und in einem spezifischen Applet im Secure Element gespeichert. Der Nahverkehrsbetrieb besitzt die Schlüssel, um kryptografische Operationen für Guthabentransaktionen mit den Kartendaten auszuführen.

Den Benutzern stehen standardmäßig die Vorteile von „Express-ÖPNV“ zur Verfügung, damit sie ohne Touch ID, Face ID oder einen Code zahlen oder den Nahverkehr nutzen können. Wenn der Expressmodus aktiviert ist, kann an kontaktlosen Kartenlesegeräten auf Informationen wie kürzlich besuchte Stationen, letzte Transaktionen und zusätzliche Fahrscheine zugegriffen werden. Benutzer können die Anforderung einer Autorisierung per Touch ID, Face ID oder Code in der Einstellung „Wallet & Apple Pay“ aktivieren, indem sie „Express-ÖPNV“ deaktivieren.

Wie bei anderen Apple Pay-Karten können Benutzer ÖPNV-Karten wie folgt sperren oder entfernen:

- Das Gerät mit „Mein iPhone suchen“ fernlöschen
- Modus „Verloren“ mit „Mein iPhone suchen“ aktivieren
- MDM-Fernlöschbefehl (Mobile Device Management) verwenden
- Alle Karten auf der Accountseite der Apple-ID entfernen
- Alle Karten auf iCloud.com entfernen
- Alle Karten in Wallet entfernen
- Die Karte in der App des Ausstellers entfernen

Die Apple Pay-Server fordern den Nahverkehrsbetrieb auf, diese Karten zu sperren oder zu deaktivieren. Wenn bei Suica-Karten die Geräte der Benutzer beim Löschversuch offline sind, können die Suica-Karten an einigen Terminals möglicherweise noch bis 0:01 Uhr JST am Folgetag genutzt werden. Wenn die Geräte der Benutzer offline sind, können ÖPNV-Karten in China weiterhin zur Nutzung verfügbar sein.

Wenn Benutzer ihre ÖPNV-Karten entfernen, kann das Guthaben erstattet werden, indem sie auf einem Gerät hinzugefügt werden, das mit derselben Apple-ID angemeldet ist.

Studentenausweise

In iOS 12 können Studenten, Lehrkräfte und Mitarbeiter teilnehmender Bildungseinrichtungen ihren Ausweis zu Wallet hinzufügen, um Zutritt zu Orten zu erhalten und überall dort zu zahlen, wo ihr Ausweis akzeptiert wird.

Mit einer App, die vom Aussteller des Ausweises oder von der teilnehmenden Bildungseinrichtung bereitgestellt wird, kann ein Benutzer seinen Ausweis zu Wallet hinzufügen. Hierbei ist der technische Vorgang mit dem identisch, der im Abschnitt „Kredit- oder Debitkarten aus der App des Kartenausstellers zu Apple Pay hinzufügen" weiter vorne in diesem Dokument beschrieben wird. Darüber hinaus müssen ausstellende Apps die Zwei-Faktor-Authentifizierung in den Accounts unterstützen, die den Zugriff auf ihre Ausweise schützen. Ein Ausweis kann auf maximal zwei unterstützten Apple-Geräten, die mit derselben Apple-ID angemeldet sind, gleichzeitig eingerichtet werden.

Wenn ein Studentenausweis zu Wallet hinzugefügt wird, wird standardmäßig der Expressmodus aktiviert. Studentenausweise im Expressmodus interagieren mit akzeptierenden Terminals, ohne dass eine Authentifizierung per Touch ID, Face ID oder Code erforderlich ist. Der Benutzer kann diese Funktion deaktivieren, indem er auf die Taste „Mehr" vorne auf dem Ausweis in Wallet tippt und den Expressmodus ausschaltet. Für eine erneute Aktivierung des Expressmodus sind Touch ID, Face ID oder der Code erforderlich.

Studentenausweise können wie folgt deaktiviert oder entfernt werden:

- Das Gerät mit „Mein iPhone suchen" fernlöschen
- Modus „Verloren" mit „Mein iPhone suchen" aktivieren
- MDM-Fernlöschbefehl (Mobile Device Management) verwenden
- Alle Karten auf der Accountseite der Apple-ID entfernen
- Alle Karten auf iCloud.com entfernen
- Alle Karten in Wallet entfernen
- Die Karte in der App des Ausstellers entfernen

Karten sperren, entfernen und löschen

Benutzer können Apple Pay auf iPhone, iPad und Apple Watch sperren, indem sie ihr Gerät über „Mein iPhone suchen" in den Modus „Verloren" versetzen. Karten können über „Mein iPhone suchen", über iCloud.com oder direkt auf den Geräten in der App „Wallet" aus Apple Pay entfernt und gelöscht werden. Bei einer Apple Watch lassen sich Karten mit den iCloud-Einstellungen, der App „Apple Watch" auf dem iPhone oder direkt auf der Watch entfernen. Die Möglichkeit, auf dem Gerät per Karte zu bezahlen, kann für Apple Pay vom Kartenaussteller oder dem Zahlungsnetzwerk gesperrt oder entfernt werden, auch wenn das Gerät offline und nicht mit einem Mobilfunk- oder WLAN-Netzwerk verbunden ist. Benutzer können sich auch an ihren Kartenaussteller wenden, um Karten für Apple Pay sperren oder entfernen zu lassen.

Wenn ein Benutzer das Gerät in „Mein iPhone suchen" mit „Inhalte & Einstellungen löschen" komplett löscht oder das Gerät im Wiederherstellungsmodus wiederherstellt, weist iOS das Secure Element an, alle Karten als gelöscht zu markieren. Dadurch werden die Karten sofort in Apple Pay unbrauchbar, bis die Apple Pay-Server angewiesen werden können, die Karten völlig aus dem Secure Element zu löschen. Unabhängig davon markiert die Secure Enclave den AR als ungültig, sodass keine weiteren Zahlungen für die registrierten Karten mehr autorisiert werden können. Wenn das Gerät online ist, kontaktiert es die Apple Pay-Server, um sicherzustellen, dass alle Karten im Secure Element gelöscht werden.

Internetdienste

Erstellen eines sicheren Passworts für die Apple-ID
Apple-IDs werden für die Anmeldung bei verschiedenen Diensten wie iCloud, FaceTime und iMessage verwendet. Alle Passwörter für neue Accounts müssen die folgenden Attribute aufweisen, damit das Passwort sicher ist:

- Mindestens acht Zeichen
- Mindestens ein Buchstabe
- Mindestens ein Großbuchstabe
- Mindestens eine Ziffer
- Maximal drei identische Zeichen hintereinander
- Darf nicht mit dem Accountnamen identisch sein

Apple hat eine Reihe zuverlässiger Dienste ins Leben gerufen, mit denen Benutzer ihre Geräte besser und produktiver nutzen können. Dazu zählen iMessage, FaceTime, Siri-Vorschläge, iCloud, iCloud-Backup und iCloud-Schlüsselbund.

Diese Internetdienste wurden mit denselben Sicherheitszielen entwickelt, die auf der gesamten iOS-Plattform gelten. Dazu zählen die sichere Verarbeitung von Daten, unabhängig davon, ob sie auf dem Gerät gespeichert sind oder über Funknetzwerke übertragen werden, der Schutz der privaten Daten des Benutzers sowie der Schutz vor unbefugten Zugriffen auf Daten und Dienste. Jeder Dienst verwendet eine eigene leistungsstarke Sicherheitsarchitektur, ohne dadurch insgesamt die Benutzerfreundlichkeit von iOS zu beeinträchtigen.

Apple-ID

Eine Apple-ID ist der Account, der verwendet wird, um sich bei verschiedenen Apple-Diensten wie iCloud, iMessage, FaceTime, iTunes Store, Apple Books, App Store und anderen anzumelden. Es ist wichtig, dass Benutzer ihre Apple-ID sicher aufbewahren, um einen unbefugten Zugriff auf den Account zu verhindern. Um den Benutzern dabei zu helfen, sichere Passwörter zu erstellen, schreibt Apple vor, dass sichere Passwörter mindestens achtstellig sein müssen, sowohl Buchstaben als auch Zahlen enthalten müssen, nicht mehr als dreimal in Folge das gleiche Zeichen aufweisen dürfen und nicht mit einem häufig genutzten Passwort übereinstimmen dürfen. Es wird Benutzern nachdrücklich empfohlen, über diese Richtlinien hinaus weitere Zeichen und Interpunktionszeichen hinzuzufügen, um ein noch sichereres Passwort zu erhalten. Apple verlangt außerdem, Antworten auf drei Sicherheitsfragen bereitzustellen, anhand derer die Identität eines Benutzers überprüft werden kann, wenn dieser Änderungen an seinen Accountdaten vornehmen oder ein vergessenes Passwort zurücksetzen will.

Apple sendet auch E-Mails und Push-Benachrichtigungen an Benutzer, wenn wichtige Änderungen am Account durchgeführt werden, z. B. wenn Passwort oder Rechnungsdaten geändert wurden oder die Apple-ID auf einem neuen Gerät für die Anmeldung verwendet wurde. Wenn Benutzern etwas verdächtig erscheint, sollten sie sofort das Passwort für ihre Apple-ID ändern.

Apple nutzt darüber hinaus eine Vielzahl von Richtlinien und Verfahren, die darauf abzielen, Benutzeraccounts zu schützen. Dazu gehören die Beschränkung der Eingabeversuche beim Anmelden oder Zurücksetzen des Passworts, eine aktive Betrugsüberwachung, um Angriffe sofort beim Auftreten zu entdecken, sowie regelmäßige Überprüfungen der Richtlinien, die es Apple ermöglichen, diese an neue Informationen anzupassen, die Auswirkungen auf die Sicherheit der Kunden haben könnten.

Zwei-Faktor-Authentifizierung

Um Benutzern dabei zu helfen, ihre Accounts noch besser zu sichern, bietet Apple eine Zwei-Faktor-Authentifizierung an – eine weitere Sicherheitsebene für Apple-IDs. Damit soll sichergestellt werden, dass nur der Accountinhaber auf den Account zugreifen kann, auch wenn eine andere Person das Passwort kennt.

Mit der Zwei-Faktor-Authentifizierung ist der Zugriff auf einen Benutzeraccount nur auf vertrauenswürdigen Geräten möglich, zum Beispiel auf dem iPhone, iPad oder Mac des Benutzers. Für die erste Anmeldung auf einem neuen Gerät sind zwei Informationen erforderlich: zum einen das Passwort der Apple-ID und zum anderen ein sechsstelliger Bestätigungscode, der automatisch auf den vertrauenswürdigen Geräten des Benutzers angezeigt oder an eine vertrauenswürdige Telefonnummer gesendet wird. Durch die Eingabe des Codes bestätigt der Benutzer, dass er diesem neuen Gerät vertraut und dass die Anmeldung sicher ist. Da ein Passwort allein nicht mehr ausreicht, um auf einen Benutzeraccount zuzugreifen, trägt die Zwei-Faktor-Authentifizierung dazu bei, die Sicherheit der Apple-ID des Benutzers und aller seiner bei Apple gespeicherten persönlichen Daten zu verbessern. Sie ist direkt in iOS, macOS, tvOS, watchOS und in die auf den Apple-Websites verwendeten Authentifizierungssysteme integriert.

Weitere Informationen zur Zwei-Faktor-Authentifizierung unter:
https://support.apple.com/HT204915

Zweistufige Überprüfung

Seit 2013 bietet Apple mit der *zweistufigen Überprüfung* bereits eine ähnliche Sicherheitsmethode an. Bei aktivierter zweistufiger Überprüfung muss die Identität des Benutzers mithilfe eines temporären Codes bestätigt werden, der an eines der vertrauenswürdigen Geräte gesendet wird, bevor von einem neuen Gerät aus die Apple-ID-Accountdaten geändert werden können, der Benutzer sich bei iCloud, iMessage, FaceTime oder Game Center anmelden oder Einkäufe im iTunes Store, in Apple Books oder im App Store tätigen kann. Die Benutzer erhalten zudem einen 14-stelligen Wiederherstellungsschlüssel zur sicheren Aufbewahrung für den Fall, dass sie ihr Passwort vergessen oder nicht mehr auf die vertrauenswürdigen Geräte zugreifen können. Obwohl die meisten neuen Benutzer zur Verwendung der Zwei-Faktor-Authentifizierung aufgefordert werden, gibt es immer noch einige Situationen, in denen stattdessen die zweistufige Überprüfung empfohlen wird.

Weitere Informationen zur zweistufigen Überprüfung für die Apple-ID unter:
https://support.apple.com/HT204152

Verwaltete Apple-IDs

Verwaltete Apple-IDs funktionieren ähnlich wie eine Apple-ID, befinden sich aber im Eigentum einer Bildungseinrichtung oder unterliegen deren Kontrolle. Die Einrichtung kann Passwörter zurücksetzen, die Kaufmöglichkeiten und Kommunikationsfunktionen wie FaceTime und Nachrichten einschränken und rollenbasierte Zugriffsrechte für Mitarbeiter, Lehrkräfte und Schüler festlegen.

Einige Apple-Dienste wie Apple Pay, iCloud-Schlüsselbund, HomeKit und die Funktion „Mein iPhone suchen“ sind für verwaltete Apple-IDs deaktiviert.

Weitere Informationen über verwaltete Apple-IDs unter:
https://help.apple.com/schoolmanager/#/tes78b477c81

Überprüfung verwalteter Apple-IDs

Verwaltete Apple-IDs unterstützen darüber hinaus Überprüfungen, sodass Bildungseinrichtungen gesetzliche Vorschriften und Datenschutzregelungen einhalten können. Den Accounts von Administratoren, Managern oder Lehrkräften können entsprechende Überprüfungsrechte für bestimmte verwaltete Apple-IDs zugewiesen werden. Die Prüfer können nur Accounts überwachen, die in der Hierarchie der Einrichtung unter ihnen stehen. Das heißt, Lehrkräfte können Schüler/Studenten überwachen, Manager können Lehrkräfte überprüfen und Administratoren können wiederum Manager, Lehrkräfte und Schüler/Studenten überprüfen.

Wenn mithilfe von Apple School Manager Überprüfungsanmeldedaten angefordert werden, wird ein spezieller Account angelegt, der nur auf die verwaltete Apple-ID zugreifen kann, für die eine Überprüfung angefragt wurde. Der Überprüfungszugriff läuft nach sieben Tagen ab. Während dieses Zeitraums kann der Prüfer die in iCloud- oder in CloudKit-fähigen Apps gespeicherten Inhalte des Benutzers lesen und Änderungen daran vornehmen. Alle Anfragen für einen solchen Überprüfungszugriff werden in Apple School Manager protokolliert. Die Protokolle zeigen den Namen des Prüfers, die Apple-ID, auf die der Prüfer Zugriff angefordert hat, die Uhrzeit der Anfrage und die Angabe, ob die Überprüfung stattgefunden hat oder nicht.

Weitere Informationen über das Überprüfen verwalteter Apple-IDs unter: https://help.apple.com/schoolmanager/#/tesd8fcbdd99

Verwaltete Apple-IDs und persönliche Geräte

Verwaltete Apple-IDs können auch mit persönlichen iOS-Geräten und Mac-Computern verwendet werden. Die Schüler/Studenten melden sich dazu bei iCloud mit der von der Einrichtung ausgegebenen verwalteten Apple-ID und einem zusätzlichen privaten Passwort an, das als zweite Stufe für die Zwei-Faktor-Authentifizierung der Apple-ID dient. Während der Verwendung einer verwalteten Apple-ID auf einem persönlichen Gerät ist der iCloud-Schlüsselbund nicht verfügbar und die Nutzung bestimmter Funktionen wie FaceTime oder Nachrichten kann eingeschränkt sein. Alle iCloud-Dokumente, die Schüler/Studenten erstellen, wenn sie angemeldet sind, können wie zuvor in diesem Abschnitt beschrieben überprüft werden.

iMessage

iMessage ist ein Messaging-Dienst für iOS-Geräte, Apple Watch und Mac-Computer, der Text und Anhänge wie Fotos, Kontakte und Standorte unterstützt. Nachrichten werden auf allen registrierten Geräten des Benutzers angezeigt, sodass ein Chat auf jedem beliebigen Gerät des Benutzers fortgesetzt werden kann. iMessage nutzt den Apple-Dienst für Push-Benachrichtigungen (Apple Push Notification Service – APNS) in vollem Umfang. Apple zeichnet keine Nachrichten oder Anhänge auf und der Inhalt wird mit einer End-to-End-Verschlüsselung geschützt, sodass nur Sender und Empfänger darauf zugreifen können. Apple kann die Daten nicht entschlüsseln.

Aktiviert ein Benutzer auf einem Gerät iMessage, erzeugt es zwei Schlüsselpaare für den Dienst: einen RSA 1280-Bit-Schlüssel für die Verschlüsselung und einen ECDSA 256-Bit-Schlüssel auf der NIST P-256-Kurve für die Signatur. Die privaten Schlüssel für alle Schlüsselpaare werden im Schlüsselbund des Geräts gespeichert und die öffentlichen Schlüssel werden an den Identitätsdienst von Apple (IDS) gesendet, wo sie mit der Telefonnummer oder E-Mail-Adresse des Benutzers und der Adresse des Geräts für den APNS verknüpft werden.

Wenn Benutzer zusätzliche Geräte für iMessage aktivieren, werden ihre Verschlüsselung und öffentlichen Schlüssel für die Signatur, APNS-Adressen und verknüpften Telefonnummern ebenfalls dem Verzeichnisdienst hinzugefügt. Benutzer können auch mehrere E-Mail-Adressen hinzufügen, die über den Link in einer Bestätigungsmail verifiziert werden. Telefonnummern werden über das Mobilfunknetz und die SIM-Karte verifiziert. Bei einigen Netzwerken muss eine SMS verwendet werden. (Dem Benutzer wird ein Bestätigungsdialog angezeigt, wenn die SMS nicht kostenfrei ist.) Eine Verifizierung der Telefonnummer kann neben iMessage für einige Systemdienste wie FaceTime und iCloud erforderlich sein. Außerdem zeigen alle registrierten Geräte eines Benutzers eine Warnung an, wenn ein neues Gerät, eine neue Telefonnummer oder eine neue E-Mail-Adresse hinzugefügt wird.

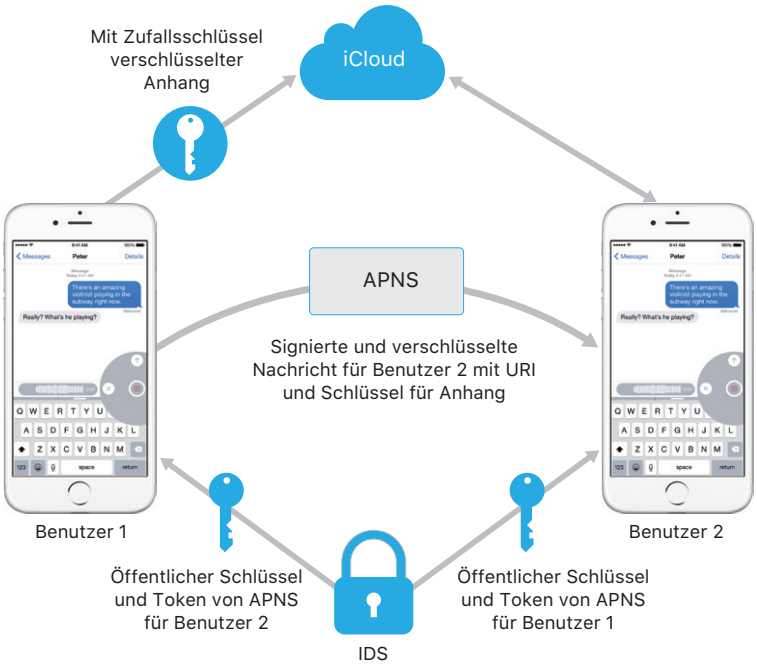
In iOS 12 (oder neuer) werden Nachrichten, die von unterschiedlichen – mit derselben Apple-ID verknüpften – Adressen gesendet werden, als eine Konversation auf den Geräten angezeigt, von denen sie empfangen werden. Ermöglicht wird dies durch eine Account-ID, die vom IDS abgerufen wird, zusammen mit den öffentlichen Schlüsseln und APNs-Adressen für eine E-Mail-Adresse oder Telefonnummer.

So sendet und empfängt iMessage Nachrichten

Benutzer können in iMessage eine neue Konversation starten, indem sie eine Adresse oder einen Namen eingeben. Wenn sie eine Telefonnummer oder eine E-Mail-Adresse eingeben, kontaktiert das Gerät den Verzeichnisdienst, um die öffentlichen Schlüssel und APNS-Adressen für alle mit dem Benutzer verknüpften Geräte abzurufen. Wenn der Benutzer einen Namen eingibt, sucht das Gerät zuerst in den Kontakten des Benutzers nach Telefonnummern und E-Mail-Adressen, die mit diesem Namen verknüpft sind, und ruft dann die öffentlichen Schlüssel und APNS-Adressen vom IDS ab.

Die vom Benutzer gesendeten Nachrichten werden für alle Geräte des Empfängers einzeln verschlüsselt. Die öffentlichen RSA-Schlüssel der Empfangsgeräte werden vom IDS abgerufen. Das Sendegerät erzeugt für jedes Empfangsgerät einen zufälligen 88-Bit-Wert und verwendet diesen als HMAC-SHA256-Schlüssel, um einen 40-Bit-Wert zu erstellen, der vom öffentlichen Schlüssel des Senders und Empfängers und vom Klartext abgeleitet wird. Durch Verketten des 88-Bit-Werts mit dem 40-Bit-Wert ergibt sich ein 128-Bit-Wert, der die Nachricht mittels AES im CTR-Modus verschlüsselt. Der 40-Bit-Wert wird auf Seiten des Empfängers verwendet, um die Integrität des entschlüsselten Klartexts zu überprüfen. Dieser pro Nachricht erzeugte AES-Schlüssel wird mit RSA-OAEP für den öffentlichen Schlüssel des Empfangsgeräts verschlüsselt. Die Kombination aus dem verschlüsselten Nachrichtentext und dem verschlüsselten Nachrichtenschlüssel wird mit SHA-1 Hash-codiert und der Hash wird mittels ECDSA mit dem privaten Signaturschlüssel des Sendegerät signiert. Die dadurch entstehenden Nachrichten, je eine pro Empfangsgerät, bestehen aus dem verschlüsselten Nachrichtentext, dem verschlüsselten Nachrichtenschlüssel und der digitalen Signatur des Senders. Sie werden dann an APNS zur Weitersendung übertragen. Metadaten wie der Zeitstempel und die Routing-Informationen des APNS werden nicht verschlüsselt. Die Kommunikation mit APNS wird über einen TLS-Kanal mit Forward Secrecy verschlüsselt.

APNS können nur Nachrichten weiterleiten, die bis zu 4 KB bzw. 16 KB (abhängig von der iOS Version) groß sind. Wenn der Nachrichtentext zu lang ist oder einen Anhang, z. B. ein Foto, enthält, wird der Anhang mit einem per AES im CTR-Modus zufällig erzeugten 256-Bit-Schlüssel verschlüsselt und in iCloud hochgeladen. Der AES-Schlüssel für den Anhang, sein **URI (Uniform Resource Identifier)** und ein SHA-1-Hash der verschlüsselten Form werden an den Empfänger als Inhalt der iMessage gesendet, wobei Vertraulichkeit und Integrität mit der normalen iMessage-Verschlüsselung geschützt werden, die im folgenden Diagramm gezeigt wird.



Bei Gruppenkonversationen wird dieser Prozess für jeden Empfänger und jedes Gerät wiederholt.

Auf der Empfängerseite erhält jedes Gerät eine Kopie der Nachricht vom APNS und ruft gegebenenfalls den Anhang aus iCloud ab. Die Telefonnummer oder E-Mail-Adresse des Absenders wird mit den Kontakten des Empfängers abgeglichen, sodass nach Möglichkeit ein Name angezeigt werden kann.

Wie bei allen Push-Benachrichtigungen wird die Nachricht nach der Zustellung beim APNS gelöscht. Im Gegensatz zu anderen APNS-Mitteilungen werden iMessage-Nachrichten in eine Warteliste eingefügt, wenn sich das Empfänger-Gerät im Offline-Modus befindet. Nachrichten werden derzeit für maximal 30 Tage gespeichert.

Geschäftschat

Geschäftschat ist ein Messaging-Dienst, der es Benutzern ermöglicht, mittels der App „Nachrichten" mit Unternehmen zu kommunizieren. Nur Benutzer können die Konversation starten und das Unternehmen empfängt eine „blickdichte" Kennung für den Benutzer. Das Unternehmen erhält weder die Telefonnummer oder E-Mail-Adresse des Nutzers, noch seine iCloud-Accountinformationen. Beim Chatten mit Apple empfängt Apple eine Geschäftschat-ID, die deiner Apple-ID zugeordnet ist. Die Benutzer behalten stets die Kontrolle darüber, ob sie kommunizieren wollen oder nicht. Wird eine Geschäftschat-Konversation gelöscht, wird sie aus der App „Nachrichten" des Benutzers entfernt und das Unternehmen wird daran gehindert, weitere Nachrichten an den Benutzer zu senden.

Nachrichten, die an das Unternehmen gesendet werden, werden zwischen dem Gerät des Benutzers und den Messaging-Servern von Apple individuell verschlüsselt. Die Apple Messaging-Server entschlüsseln diese Nachrichten und leiten sie via TLS an das Unternehmen weiter. Die Antworten des Unternehmens werden auf ähnliche Weise via TLS an die Apple-Messaging-Server gesendet, die die Nachricht an das Gerät des Benutzers dann erneut verschlüsseln. Wie bei iMessage werden Nachrichten maximal 30 Tage für die Zustellung an Geräte im Offline-Modus gespeichert.

FaceTime

FaceTime ist der Dienst für Video- und Audioanrufe von Apple. Für FaceTime-Anrufe wird, genau wie für iMessage, der APNS (Apple-Dienst für Push-Benachrichtigungen) zum Herstellen der Verbindung mit den registrierten Geräten des Benutzers verwendet. Die Audio/Video-Inhalte eines FaceTime-Anrufs werden mit einer End-to-End-Verschlüsselung geschützt, sodass nur Sender und Empfänger auf sie zugreifen können. Apple kann die Daten nicht entschlüsseln.

Die erste FaceTime-Verbindung wird über die Apple-Serverinfrastruktur hergestellt, die Datenpakete zwischen den registrierten Geräten der Benutzer weiterleitet. Die Geräte verifizieren ihre Identitätszertifikate und erstellen ein Shared Secret für jede Sitzung mittels APNS-Benachrichtigungen und STUN-Nachrichten (Session Traversal Utilities for NAT) über die weitergeleitete Verbindung. Das Shared Secret wird verwendet, um Sitzungsschlüssel für Medienkanäle abzuleiten, die über SRTP (Secure Real-time Transport Protocol) gestreamt werden. SRTP-Pakete werden mit AES-256 im Counter Mode und mit HMAC-SHA1 verschlüsselt. Falls möglich, verwendet FaceTime nach der ersten Verbindung und der Sicherheitskonfiguration STUN und ICE (Internet Connectivity Establishment) zum Erstellen einer Peer-to-Peer-Verbindung zwischen den Geräten.

Die Option „FaceTime-Gruppe“ erweitert FaceTime und unterstützt jetzt bis zu 33 Teilnehmer gleichzeitig. Wie bei den klassischen Eins-zu-Eins-FaceTime-Anrufen werden auch diese Anrufe zwischen den Geräten der eingeladenen Teilnehmer End-to-End-verschlüsselt. Während Infrastruktur und Design der Eins-zu-Eins-FaceTime-Anrufe zum Großteil weiterverwendet werden, bieten FaceTime-Gruppenanrufe einen neuen Verschlüsselungsmechanismus, der auf der von IDS bereitgestellten Authentizität aufgebaut ist. Dieses Protokoll bietet Forward Secrecy, was bedeutet, dass selbst bei Missbrauch eines Benutzergeräts die Inhalte früherer Anrufe nicht nach außen dringen. Sitzungsschlüssel werden via AES-SIV verpackt und mit einer ECIES-Konstruktion mit temporären P-256-ECDH-Schlüsseln an die Teilnehmer verteilt.

Wird eine neue Telefonnummer oder E-Mail-Adresse zu einem aktiven FaceTime-Gruppenanruf hinzugefügt, richten die aktiven Geräte neue Medienschlüssel ein und teilen zuvor verwendete Schlüssel niemals mit den zuletzt eingeladenen Geräten.

iCloud

iCloud speichert Kontakte, Kalender, Fotos, Dokumente und mehr für den Benutzer und synchronisiert die Daten geräteübergreifend. iCloud kann auch von Apps anderer Anbieter verwendet werden, um Dokumente und Schlüssel/Werte für App-Daten, wie vom Entwickler festgelegt, zu speichern und zu synchronisieren. Der Benutzer kann iCloud einrichten, indem er sich mit einer Apple-ID anmeldet und auswählt, welche Dienste er verwenden will. Funktionen von iCloud, z. B. „Mein Fotostream“, iCloud Drive und iCloud-Backup, können von IT-Administratoren über MDM-Konfigurationsprofile deaktiviert werden. Der Dienst behandelt alle Dateiinhalte identisch, als eine Ansammlung von Byte.

Jede Datei wird in einzelne Teile zerlegt, die von iCloud mit AES-128 und einem SHA-256 Schlüssel, der von den Inhalten der einzelnen Teile abgeleitet wird, verschlüsselt werden. Die Schlüssel und die Metadaten der Datei werden von Apple im iCloud-Account des Benutzers gespeichert. Die verschlüsselten Teile der Datei werden ohne die Schlüssel oder Informationen, über die der Benutzer identifiziert werden kann, mithilfe von Speicherdiensten von Apple und von anderen Anbietern wie Amazon Web Services oder Google Cloud Platform gespeichert. Diese Partner verfügen jedoch nicht über die Schlüssel, um deine auf deren Servern gespeicherten Daten zu entschlüsseln.

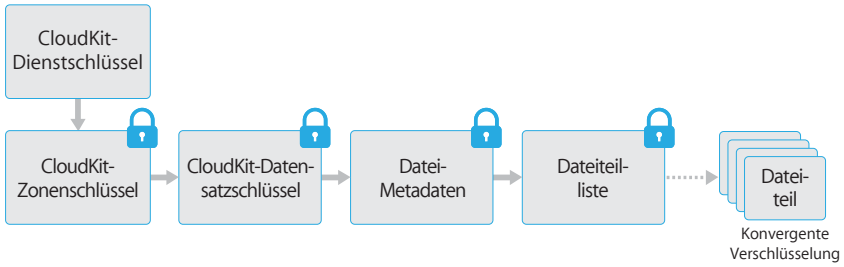
iCloud Drive

iCloud Drive führt accountbasierte Schlüssel ein, um in iCloud gespeicherte Dokumente zu schützen. Wie bei bestehenden iCloud-Diensten, werden die Inhalte der Datei aufgeteilt, verschlüsselt und in Diensten anderer Anbieter gespeichert. Die Schlüssel für die Dateiinhalte werden hingegen mit Datensatzschlüsseln verpackt, die zusammen mit den iCloud Drive-Metadaten gespeichert werden. Diese Datensatzschlüssel werden wiederum mit dem Serviceschlüssel des Benutzers für iCloud Drive geschützt, der zusammen mit dem iCloud-Account des Benutzers gespeichert wird. Benutzer können auf die Metadaten ihrer iCloud-Dokumente zugreifen, wenn sie sich in iCloud authentifiziert haben. Sie müssen jedoch auch den Serviceschlüssel für iCloud Drive besitzen, um die geschützten Teile des iCloud Drive-Speichers anzuzeigen.

CloudKit

CloudKit ermöglicht es Entwicklern von Apps, Schlüssel/Wert-Daten, strukturierte Daten und Medien in iCloud zu sichern. Der Zugriff auf CloudKit wird mit App-Berechtigungen gesteuert. CloudKit unterstützt sowohl öffentliche als auch private Datenbanken. Öffentliche Datenbanken werden von allen Kopien der App verwendet, meist für allgemeine Materialien, und nicht verschlüsselt. Private Datenbanken speichern die Daten des Benutzers.

Wie bei iCloud Drive verwendet CloudKit accountbasierte Schlüssel, um die Informationen zu sichern, die in der privaten Datenbank des Benutzers gespeichert werden. Die Daten werden, wie bei anderen iCloud-Diensten, aufgeteilt, verschlüsselt und mit Diensten anderer Anbieter gespeichert. CloudKit verwendet eine Schlüsselhierarchie, ähnlich wie die Sicherheit von Dateidaten. Die pro Datei erzeugten Schlüssel werden mit Schlüsseln der CloudKit-Datensatzeinträge verpackt. Diese Datensatzschlüssel werden wiederum von einem Schlüssel für den Bereich geschützt, der mit dem Schlüssel des Benutzers für den Dienst „CloudKit“ geschützt ist. Der Schlüssel für den Dienst „CloudKit“ wird im iCloud-Account des Benutzers gespeichert und ist erst dann verfügbar, wenn sich der Benutzer mit iCloud authentifiziert hat.



End-to-End-Verschlüsselung in CloudKit

Viele Apple-Dienste, die im Apple Support-Artikel „Sicherheitsüberblick – iCloud“ (https://support.apple.com/HT202303) aufgelistet sind, verwenden die End-to-End-Verschlüsselung mit einem CloudKit-Serviceschlüssel, der durch die Synchronisierung mit dem iCloud-Schlüsselbund geschützt ist. Die Schlüsselhierarchie für diese CloudKit-Container ist im iCloud-Schlüsselbund verankert und hat somit dieselben Sicherheitsmerkmale wie der iCloud-Schlüsselbund. Die Schlüssel sind nur auf den als vertrauenswürdig eingestuften Geräten des Benutzers und nicht für Apple oder einen anderen Anbieter verfügbar. Wenn der Zugriff auf die Daten des iCloud-Schlüsselbunds verloren geht (siehe Abschnitt „Escrow-Sicherheit“ weiter unten im Dokument), werden die Daten in CloudKit zurückgesetzt. Wenn Daten auf dem als vertrauenswürdig eingestuften lokalen Gerät verfügbar sind, werden sie erneut in CloudKit geladen.

Wiederherstellungsoptionen

Situation	Für den Benutzer verfügbare Wiederherstellungsoptionen für End-to-End-Verschlüsselung in CloudKit
Zugriff auf vertrauenswürdige Geräte	Möglichkeit der Datenwiederherstellung über ein vertrauenswürdiges Gerät oder die iCloud-Schlüsselbundwiederherstellung
Keine vertrauenswürdigen Geräte	Datenwiederherstellung nur via iCloud-Schlüsselbundwiederherstellung möglich

Situation	Für den Benutzer verfügbare Wiederherstellungsoptionen für Nachrichten in iCloud
iCloud-Backup ist aktiviert und Zugriff auf vertrauenswürdige Geräte	Möglichkeit der Datenwiederherstellung über iCloud-Backup, Zugriff auf ein vertrauenswürdiges Gerät oder die iCloud-Schlüsselbundwiederherstellung
iCloud-Backup ist aktiviert und kein Zugriff auf ein vertrauenswürdiges Gerät	Möglichkeit der Datenwiederherstellung über iCloud-Backup oder die iCloud-Schlüsselbundwiederherstellung
iCloud-Backup ist deaktiviert und Zugriff auf ein vertrauenswürdiges Gerät	Möglichkeit der Datenwiederherstellung über ein vertrauenswürdiges Gerät oder die iCloud-Schlüsselbundwiederherstellung
Backup ist deaktiviert und keine vertrauenswürdigen Geräte	Datenwiederherstellung nur via iCloud-Schlüsselbundwiederherstellung möglich

Die Funktion „Nachrichten in iCloud" verwendet die End-to-End-Verschlüsselung in CloudKit mit einem CloudKit-Serviceschlüssel, der durch die Synchronisierung mit dem iCloud-Schlüsselbund geschützt ist. Wenn der Benutzer iCloud-Backup aktiviert hat, wird der CloudKit-Serviceschlüssel, der für den Container „Nachrichten in iCloud" verwendet wird, in iCloud gesichert, damit der Benutzer seine Nachrichten auch dann wiederherstellen kann, wenn er den Zugriff auf den iCloud-Schlüsselbund und seine vertrauenswürdigen Geräte verloren hat. Dieser iCloud-Serviceschlüssel wird jedes Mal geändert, wenn der Benutzer iCloud-Backup deaktiviert.

iCloud-Backup

iCloud sichert auch Informationen, einschließlich Geräteeinstellungen, App-Daten, Fotos und Videos in „Aufnahmen" sowie Konversationen in der App „Nachrichten" täglich per WLAN. iCloud sichert Inhalte, indem sie verschlüsselt über das Internet gesendet und im verschlüsselten Format gespeichert werden. Zur Authentifizierung werden sichere Token verwendet. iCloud-Backup wird nur ausgeführt, wenn das Gerät gesperrt und mit einer Stromquelle verbunden ist und WLAN-Zugriff auf das Internet besteht. Aufgrund der in iOS verwendeten Verschlüsselung ist das System auf den Schutz der Daten ausgelegt. Es ermöglicht inkrementelle, unbeaufsichtigte Sicherungen und Wiederherstellungen.

iCloud sichert die folgenden Inhalte:

- Einträge für gekaufte Musik, Filme, TV-Sendungen, Apps und Bücher. Das iCloud-Backup eines Benutzers umfasst Informationen über gekaufte Inhalte, die auf dem iOS-Gerät des Benutzers vorhanden sind, nicht jedoch die gekauften Inhalte selbst. Wenn der Benutzer ein iCloud-Backup wiederherstellt, werden seine gekauften Inhalte automatisch aus dem iTunes Store, von Apple Books oder aus dem App Store geladen. Einige Arten von Inhalten werden nicht in allen Ländern und Regionen automatisch heruntergeladen und bereits getätigte Einkäufe sind möglicherweise nicht verfügbar, wenn sie zurückerstattet wurden oder im jeweiligen Store nicht mehr angeboten werden. Der vollständige Einkaufsverlauf ist der Apple-ID des Benutzers zugewiesen.
- Fotos und Videos auf iOS-Geräten des Benutzers. Zur Beachtung: Aktiviert ein Benutzer die iCloud-Fotomediathek auf seinem iOS-Gerät (iOS 8.1 oder neuer) oder Mac (OS X 10.10.3 oder neuer), sind seine Fotos und Videos bereits in iCloud gespeichert. Sie werden also nicht in das iCloud-Backup des Benutzers einbezogen.
- Kontakte, Kalender-Ereignisse, Erinnerungen und Notizen
- Geräteeinstellungen
- App-Daten
- Anrufliste und Klingeltöne
- Home-Bildschirm und Anordnung der Apps
- HomeKit-Konfiguration
- HealthKit-Daten
- Visual Voicemail-Passwort (erfordert die SIM-Karte, die während des Backups verwendet wurde)
- iMessage, Geschäftschat, Text- (SMS) und MMS-Nachrichten (erfordert die SIM-Karte, die während des Backups verwendet wurde)

  Hinweis: Wenn „Nachrichten in der Cloud" aktiviert ist, werden iMessage-, Geschäftschat-, Text- (SMS-) und MMS-Nachrichten aus dem vorhandenen iCloud-Backup des Benutzers entfernt und stattdessen in einem End-to-End-verschlüsselten CloudKit-Container für Nachrichten gespeichert. Das iCloud-Backup des Benutzers bewahrt einen Schlüssel für diesen Container auf.

Wenn der Benutzer iCloud-Backup deaktiviert, wird der Schlüssel dieses Containers geändert und der neue Schlüssel wird nur im iCloud-Schlüsselbund gespeichert (und ist für Apple und andere Anbieter nicht zugänglich). Neue Daten, die in den Container geschrieben werden, können nicht mit dem alten Container-Schlüssel entschlüsselt werden.

Wenn Dateien in Datensicherheitsklassen erstellt werden, auf die bei gesperrtem Gerät nicht zugegriffen werden kann, werden ihre pro Datei erzeugten Schlüssel mit den Klassenschlüsseln des iCloud-Backup-Keybags verschlüsselt. Die Dateien werden im ursprünglichen, verschlüsselten Zustand in iCloud gesichert. Dateien der Datensicherheitsklasse „Kein Schutz" werden bei der Übertragung verschlüsselt.

Der iCloud-Backup-Keybag enthält asymmetrische Schlüssel (Curve25519) für alle Datensicherheitsklassen, die zur Verschlüsselung der pro Datei erzeugten Schlüssel verwendet werden. Weitere Informationen zum Inhalt des Backup-Keybags und des iCloud-Backup-Keybags sind unter „Schutz von Schlüsselbunddaten" im Abschnitt „Verschlüsselung und Datensicherheit" in diesem Dokument zu finden.

Die Sicherungen werden im iCloud-Account des Benutzers gespeichert und bestehen aus einer Kopie der Dateien des Benutzers und dem iCloud Backup-Keybag. Der iCloud Backup-Keybag wird mit einem zufälligen Schlüssel geschützt, der mit den Sicherungen gespeichert wird. (Das iCloud-Passwort des Benutzers wird nicht für die Verschlüsselung eingesetzt, sodass bestehende Sicherungen bei einer Passwortänderung nicht ungültig werden.)

Die Schlüsselbund-Datenbank des Benutzers wird in iCloud gesichert, ist aber nach wie vor durch einen mit der UID verknüpften Schlüssel geschützt. Dadurch kann der Schlüsselbund auf dem Gerät, von dem er ursprünglich stammt, wiederhergestellt werden, und niemand außer dem Benutzer – noch nicht einmal Apple – kann die Objekte im Schlüsselbund des Benutzers lesen.

Bei der Wiederherstellung werden die gesicherten Dateien, der iCloud-Backup-Keybag und der Schlüssel für den Keybag vom iCloud-Account des Benutzers abgerufen. Der iCloud-Backup-Keybag wird mit seinem Schlüssel entschlüsselt; anschließend werden die pro Datei erzeugten Schlüssel im Keybag verwendet, um die Dateien in den Sicherungen zu entschlüsseln, die als neue Dateien auf das Dateisystem geschrieben und so gemäß ihrer Datensicherheitsklasse neu verschlüsselt werden.

iCloud-Schlüsselbund

Safari-Integration mit dem iCloud Schlüsselbund
Safari kann automatisch zufällige, kryptografisch sichere Zeichenfolgen als Passwörter für Websites erzeugen, die im Schlüsselbund gesichert und mit anderen Geräten synchronisiert werden. Schlüsselbundobjekte werden von einem Gerät über die Apple-Server auf ein anderes Gerät übertragen, werden dabei aber so verschlüsselt, dass weder Apple noch andere Geräte den Inhalt lesen können.

Mit dem iCloud-Schlüsselbund können Benutzer ihre Passwörter sicher zwischen iOS-Geräten und Mac-Computern synchronisieren, ohne die Informationen für Apple offenzulegen. Zusätzlich zu Datenschutz und Sicherheit waren Benutzerfreundlichkeit und Wiederherstellbarkeit eines Schlüsselbunds weitere Ziele, die sich nachhaltig auf Konzeption und Architektur des iCloud-Schlüsselbunds ausgewirkt haben. Der iCloud-Schlüsselbund umfasst zwei Dienste: Schlüsselbundsynchronisierung und Schlüsselbundwiederherstellung.

Apple hat den iCloud-Schlüsselbund und die Schlüsselbundwiederherstellung so konzipiert, dass die Passwörter selbst unter den folgenden Umständen sicher sind:

- Der iCloud-Account eines Benutzers wurde kompromittiert.
- iCloud wird von einem Angreifer von außen oder einem Mitarbeiter kompromittiert.
- Ein anderer Anbieter greift auf Benutzeraccounts zu.

Schlüsselbundsynchronisierung

Aktiviert ein Benutzer den iCloud-Schlüsselbund das erste Mal, richtet das Gerät einen „Circle of Trust" ein und erstellt für sich eine Synchronisationsidentität. Diese Synchronisationsidentität besteht aus einem privaten und einem öffentlichen Schlüssel. Der öffentliche Schlüssel dieser Synchronisationsidentität wird Teil des „Circle of Trust" und dieser wird zweimal signiert: zuerst mit dem privaten Schlüssel der Synchronisationsidentität und anschließend mittels asymmetrischer Elliptische-Kurven-Kryptografie (P-256) mit einem weiteren Schlüssel, der vom Passwort für den iCloud-Account des Benutzers abgeleitet wird. Außerdem werden im Circle die Parameter gespeichert, mit denen der Schlüssel aus dem Passwort für den iCloud-Account erstellt wurde (Salt und Iterationen).

Der signierte Circle wird in den iCloud-Schlüssel/Wert-Speicher gegeben. Er kann ohne das iCloud-Passwort nicht ausgelesen und ohne den privaten Schlüssel der Synchronisationsidentität der Mitglieder nicht gültig verändert werden.

Aktiviert der Benutzer den iCloud-Schlüsselbund auf einem anderen Gerät, sieht das neue Gerät in iCloud, dass der Benutzer einen Circle of Trust eingerichtet hat, zu dem es nicht gehört. Das Gerät erstellt ein Schlüsselpaar für die Synchronisationsidentität und beantragt anschließend die Aufnahme in den Circle. Das Ticket dafür besteht aus dem öffentlichen Schlüssel der Synchronisationsidentität und der Benutzer wird zur Bestätigung mit dem iCloud-Passwort aufgefordert. Die Parameter für die Elliptische-Kurven-Kryptografie werden von iCloud abgerufen. Anschließend wird aus ihnen ein Schlüssel erzeugt, mit dem das Ticket signiert wird. Schließlich wird das Ticket in iCloud gespeichert.

Sobald das erste Gerät das neue Ticket erkennt, zeigt es dem Benutzer eine Mitteilung, dass ein neues Gerät dem Circle of Trust beitreten möchte. Der Benutzer gibt sein iCloud-Passwort ein und das Ticket wird mit dem entsprechenden privaten Schlüssel verifiziert. Dadurch wird nachgewiesen, dass die Anfrage zur Aufnahme in den Circle mit dem iCloud-Passwort des Benutzers bestätigt wurde.

Wenn der Benutzer die Aufnahme des neuen Geräts bestätigt hat, fügt das erste Gerät den öffentlichen Schlüssel des neuen Mitglieds dem Circle hinzu und signiert erneut mit der Synchronisationsidentität und dem Schlüssel, der aus dem iCloud-Passwort des Benutzers abgeleitet wurde. Der neue Circle of Trust wird dann in iCloud gespeichert und dort analog vom neuen Mitglied signiert.

Der Circle besteht nun aus zwei Mitgliedern, von denen jedes den öffentlichen Schlüssel des anderen besitzt. Sie tauschen nun untereinander einzelne Schlüsselbundobjekte über den iCloud-Schlüssel/Wert-Speicher aus oder speichern sie bei Bedarf in CloudKit. Ist ein Objekt bei beiden vorhanden, wird das zuletzt geänderte Objekt synchronisiert. Wenn das andere Mitglied das gleiche Objekt besitzt und dieses zuletzt zum gleichen Zeitpunkt geändert wurde, wird das Objekt übersprungen. Jedes synchronisierte Objekt wird verschlüsselt. Es kann also nur von einem Gerät im Circle of Trust des Benutzers entschlüsselt werden. Weder andere Geräte noch Apple können es entschlüsseln.

Dieser Prozess wird für jedes neue Gerät im Circle wiederholt. Wenn z. B. ein drittes Gerät beitritt, erscheint die Bestätigungsmitteilung auf beiden anderen Geräten des Benutzers. Der Benutzer kann das Mitglied von einem der beiden anderen Geräte bestätigen. Werden neue Mitglieder hinzugefügt, synchronisieren sich alle Geräte mit diesem, damit alle Mitglieder dieselben Schlüsselbundobjekte verwenden.

Es wird jedoch nicht der gesamte Schlüsselbund synchronisiert. Einige Objekte sind gerätespezifisch, z. B. VPN-Identitäten, und sollten das Gerät nicht verlassen. Nur Objekte mit dem Attribut `kSecAttrSynchronizable` werden synchronisiert. Apple hat dieses Attribut für Safari-Benutzerdaten gesetzt (dazu gehören Benutzernamen, Passwörter und Kreditkartennummern), sowie für WLAN-Passwörter und HomeKit-Schlüssel.

Außerdem werden Schlüsselbundobjekte, die von Apps anderer Anbieter hinzugefügt wurden, standardmäßig nicht synchronisiert. Entwickler müssen das Attribut `kSecAttrSynchronizable` verwenden, wenn Objekte dem Schlüsselbund hinzugefügt werden sollen.

Schlüsselbundwiederherstellung

Die Schlüsselbundwiederherstellung ermöglicht es den Benutzern, ihren Schlüsselbund bei Apple treuhänderisch zu hinterlegen (escrow), ohne dass Apple die Passwörter und andere darin enthaltene Daten lesen kann. Auch wenn der Benutzer nur ein einzelnes Gerät hat, bietet die Schlüsselbundwiederherstellung Schutz vor möglichem Datenverlust. Das ist besonders wichtig, wenn Safari verwendet wird, um zufällige, sichere Passwörter für Webaccounts zu generieren, weil diese ausschließlich im Schlüsselbund aufgezeichnet werden.

Ein Eckpfeiler der Schlüsselbundwiederherstellung ist die sekundäre Authentifizierung und ein sicherer Treuhanddienst (escrow), der von Apple speziell für diese Funktion erstellt wurde. Der Schlüsselbund des Benutzers wird mit einem sicheren Code verschlüsselt, und der Treuhanddienst stellt nur dann eine Kopie des Schlüsselbunds bereit, wenn eine Reihe strikter Bedingungen erfüllt ist.

Wenn der iCloud-Schlüsselbund und die Zwei-Faktor-Authentifizierung für den Benutzeraccount aktiviert sind, wird der Code des Geräts verwendet, um einen hinterlegten (escrow) Schlüsselbund wiederherzustellen. Wenn die Zwei-Faktor-Authentifizierung nicht eingerichtet ist, wird der Benutzer gebeten, einen iCloud-Sicherheitscode zu erstellen, indem er einen sechsstelligen Code eingibt. Benutzer ohne Zwei-Faktor-Authentifizierung können aber auch eigene, längere Codes erstellen oder von ihren Geräten einen zufälligen kryptografischen Code erzeugen lassen, den sie selbst speichern.

Anschließend exportiert das iOS-Gerät eine Kopie des Schlüsselbunds des Benutzers wobei die Schlüssel in einem asymmetrischen Keybag verpackt werden und in den iCloud-Schlüssel/Wert-Speicher des Benutzers gelegt werden. Der Keybag wird mit dem iCloud-Sicherheitscode des Benutzers und dem öffentlichen Schlüssel des HSM-Clusters (Hardwaresicherheitsmodul) verpackt, der den Escrow-Eintrag speichert. Daraus setzt sich der iCloud Escrow-Eintrag des Benutzers zusammen.

Wenn der Benutzer sich dafür entscheidet, einen zufälligen kryptografischen Sicherheitscode anstelle eines eigenen oder eines vierstelligen Werts zu verwenden, wird kein Escrow-Eintrag benötigt. Stattdessen wird der zufällige Schlüssel direkt mit dem iCloud-Sicherheitscode verpackt.

Zusätzlich zum Erstellen des Sicherheitscodes muss der Benutzer eine Telefonnummer registrieren. Dies dient als zusätzliche Authentifizierungsebene bei der Schlüsselbundwiederherstellung. Der Benutzer erhält einen Code in einer SMS, der eingegeben werden muss, damit der Wiederherstellungsprozess fortgesetzt werden kann.

Escrow-Sicherheit

Mit der sicheren iCloud-Infrastruktur wird beim treuhänderischen Hinterlegen des Schlüsselbunds (Escrow) sichergestellt, dass nur autorisierte Benutzer und Geräte eine Wiederherstellung durchführen können. Hinter iCloud stehen HSM-Cluster, mit denen die Escrow-Einträge geschützt werden. Jedes besitzt einen Schlüssel, mit dem die geschützten Escrow-Einträge verschlüsselt werden, wie bereits in diesem Dokument beschrieben.

Um einen Schlüsselbund wiederherzustellen, muss sich der Benutzer mit seinem iCloud-Account, seinem Passwort und dem Code aus der an die registrierte Telefonnummer gesendeten SMS authentifizieren. Im Anschluss daran muss der Benutzer seinen iCloud-Sicherheitscode eingeben. Der HSM-Cluster überprüft

mit dem SRP-Protokoll (Secure Remote Password), ob der Benutzer den iCloud-Sicherheitscode kennt; der Code selbst wird nicht an Apple gesendet. Alle Bestandteile des Clusters verifizieren unabhängig voneinander, dass der Benutzer die maximale Anzahl zulässiger Versuche, die zum Abrufen des Eintrags zulässig sind, nicht überschritten hat (siehe nachfolgende Beschreibung). Wenn dies mehrheitlich bestätigt wird, entpackt der Cluster den Escrow-Eintrag und sendet ihn an das Gerät des Benutzers.

Anschließend verwendet das Gerät den iCloud-Sicherheitscode, um den zufälligen Schlüssel zu entpacken, mit dem der Schlüsselbund des Benutzers verschlüsselt wurde. Mit diesem Schlüssel wird der Schlüsselbund aus dem iCloud-Schlüssel/Wert-Speicher entschlüsselt und auf dem Gerät wiederhergestellt. Es sind maximal 10 Versuche zulässig, um einen Escrow-Eintrag zu authentifizieren und abzurufen. Nach mehreren fehlgeschlagenen Versuchen wird der Eintrag gesperrt und der Benutzer muss sich für zusätzliche Versuche an den Apple Support werden. Nach dem 10. fehlgeschlagenen Versuch löscht der HSM-Cluster den Escrow-Eintrag unwiderruflich. Dies bietet Schutz vor Brute-Force-Angriffen auf den Eintrag, wobei die Daten für den Schlüsselbund geopfert werden.

Diese Richtlinien sind in der HSM-Firmware codiert. Die Zugangskarten, mit denen die Firmware geändert werden kann, wurden zerstört. Alle Versuche, die Firmware zu ändern oder auf den privaten Schlüssel zuzugreifen, führen dazu, dass der HSM-Cluster den privaten Schlüssel löscht. In diesem Fall erhält der Eigentümer jedes mit dem Cluster geschützten Schlüsselbunds eine Mitteilung, dass der Escrow-Eintrag gelöscht wurde. Er kann sich dann erneut registrieren.

Siri

Benutzer können Siri einfach ansprechen, um E-Mails zu senden, Termine zu planen, Anrufe zu starten und mehr. Siri verwendet Spracherkennung, Sprachausgabe sowie ein Client-Server-Modell zur Beantwortung verschiedenster Anfragen. Bei den von Siri unterstützten Aufgaben wurde Wert darauf gelegt, dass möglichst wenig persönliche Daten genutzt und diese vollständig geschützt werden.

Wird Siri aktiviert, erstellt das Gerät zufällige Kennungen für die Verwendung mit der Spracherkennung und den Siri-Servern. Diese Kennungen werden nur in Siri zur Verbesserung des Dienstes verwendet. Wird Siri deaktiviert, erzeugt das Gerät eine neue zufällige Kennung, die bei der Reaktivierung von Siri verwendet wird.

Um die Funktionen von Siri nutzen zu können, sendet das Gerät bestimmte Benutzerinformationen an den Server. Dazu gehören Informationen zur Mediathek (Songtitel, Interpreten und Wiedergabelisten), die Namen der Erinnerungslisten und in den Kontakten definierte Namen und Beziehungen. Für die gesamte Kommunikation mit dem Server wird HTTPS verwendet.

Wenn Siri eine Sitzung startet, werden Vor- und Nachname des Benutzers (aus den Kontakten) zusammen mit dem ungefähren Standort an den Server gesendet. Dadurch kann Siri mit dem Namen und auf Fragen antworten, für die nur der ungefähre Standort, z. B. für das Wetter, benötigt wird.

Wird ein genauerer Standort benötigt, z. B. um Kinos in der Nähe zu finden, bittet der Server das Gerät um genauere Ortsdaten. Dies ist ein Beispiel dafür, wie Informationen standardmäßig nur dann an den Server gesendet werden, wenn es zur Bearbeitung der Anfrage des Benutzers notwendig ist. In jedem Fall werden die Sitzungsdaten nach 10 Minuten Inaktivität gelöscht.

Wenn eine Siri-Anfrage von der Apple Watch stammt, erstellt die Uhr eine eindeutige, zufällige Kennung, wie zuvor beschrieben. Statt die Benutzerinformationen erneut zu senden, sendet die Anfrage auch die Siri-Kennung für das gekoppelte iPhone, um eine Referenz auf diese Informationen bereitzustellen.

Eine Aufzeichnung der gesprochenen Wörter wird an den Spracherkennungsserver von Apple gesendet. Wenn nur etwas diktiert werden soll, wird der erkannte Text an das Gerät zurückgesendet. Ansonsten analysiert Siri den Text und kombiniert ihn gegebenenfalls mit Informationen über das mit dem Gerät verknüpfte Profil. Wenn die Anfrage z. B. „Sende meiner Mutter eine Nachricht" lautet, werden die aus den Kontakten geladenen Beziehungen und Namen verwendet. Der Befehl für die identifizierte Aktion wird anschließend an das Gerät zurückgesendet und dort ausgeführt.

Viele Funktionen von Siri werden unter der Steuerung des Servers auf dem Gerät ausgeführt. Wenn der Benutzer z. B. Siri bittet, eine erhaltene Nachricht vorzulesen, teilt der Server dem Gerät lediglich mit, dass es den Inhalt der ungelesenen Nachricht vorlesen soll. Inhalt und Absender der Nachricht werden nicht an den Server gesendet.

Die Sprachaufzeichnungen werden bis zu sechs Monate gespeichert, damit das Spracherkennungssystem sie verwenden kann, um den Benutzer besser zu verstehen. Nach sechs Monaten wird eine Kopie (ohne Kennung) gespeichert, die Apple bis zu 2 Jahre für die Verbesserung und Entwicklung von Siri nutzen kann. Ein kleiner Teil von Aufzeichnungen, Abschriften und zugehörigen Daten ohne Kennungen kann von Apple über diese 2 Jahre hinaus zur kontinuierlichen Verbesserung und Qualitätssicherung von Siri weiter verwendet werden. Außerdem können manche Aufnahmen, die sich auf Musik, Mannschaften oder Spieler, Unternehmen oder Sehenswürdigkeiten beziehen, ebenfalls zur Verbesserung von Siri gespeichert werden.

Siri kann außerdem mit der Sprachaktivierung im Freisprechmodus verwendet werden. Die Sprachkommandoerkennung wird lokal auf dem Gerät durchgeführt. In diesem Modus wird Siri nur aktiviert, wenn das eingehende Sprachmuster dem eingestellten Kommando genügend ähnlich ist. Wird das Kommando erkannt, wird das entsprechende Audiomaterial mit dem folgenden Siri-Befehl nach denselben Richtlinien wie für andere Sprachdaten aus Siri an den Spracherkennungsserver von Apple zur weiteren Bearbeitung gesendet.

Die Benutzer können Siri auch auf der Apple Watch verwenden, indem sie die Apple Watch dicht vor den Mund halten und einen Siri-Befehl sprechen. Siri wird auf diese Weise aktiviert, wenn die folgenden beiden Bedingungen erfüllt sind:

- Ein Modell für maschinelles Lernen auf dem Gerät erkennt die Akustik der menschlichen Sprache in der Nähe des Geräts.
- Ein zweites Modell für maschinelles Lernen auf dem Gerät identifiziert ein Bewegungsprofil und eine Geräteposition, die der Geste „Zum Sprechen anheben" entspricht.

Wird diese Kombination von Bewegung und Audio erkannt, wird das entsprechende Audiomaterial nach denselben Richtlinien wie für andere Sprachdaten aus Siri an den Spracherkennungsserver von Apple zur weiteren Bearbeitung gesendet.

Siri-Vorschläge

Siri-Vorschläge für Apps und Kurzbefehle werden mittels Maschinenlernen auf dem Gerät generiert. Es werden keine Daten an Apple übermittelt, außer Informationen (die nicht dazu genutzt werden können, um den Nutzer zu identifizieren) darüber, welche Signale nützliche Prädikatoren von Kurzbefehlen und App-Starts waren.

Kurzbefehle in Siri

Zu Siri hinzugefügte Kurzbefehle werden mit iCloud übergreifend über alle Apple-Geräte synchronisiert und mittels End-to-End-Verschlüsselung in CloudKit verschlüsselt. Die kurzen Phrasen, die Kurzbefehlen zugeordnet sind, werden mit dem Siri-Server zur Spracherkennung synchronisiert. Darüber hinaus wird ihnen die zufällige Siri-Kennung zugeordnet, die weiter vorne in diesem Abschnitt beschrieben wird. Die Inhalte der Kurzbefehle, die lokal in einem Datenspeicher abgelegt werden, sind für Apple nicht zugänglich.

App „Kurzbefehle"

Eigene Kurzbefehle in der App „Kurzbefehle" werden optional mit iCloud auf den Apple-Geräten synchronisiert. Kurzbefehle können auch via iCloud mit anderen Benutzern geteilt werden.

Eigene Kurzbefehle sind vielseitig und haben Ähnlichkeit mit Skripts oder Programmen. Kurzbefehle, die aus dem Internet geladen wurden, werden anhand eines Quarantänesystems isoliert. Der Benutzer wird gewarnt, wenn er das erste Mal versucht, den Kurzbefehl zu verwenden. Er hat dann die Möglichkeit, den Kurzbefehl zu prüfen, und erhält Informationen über die Quelle des Kurzbefehls.

Eigene Kurzbefehle können auch vom Benutzer angegebenen JavaScript-Code auf Websites in Safari ausführen, wenn sie von der Freigabeseite abgerufen werden. Aktualisierte Malware-Definitionen werden heruntergeladen, um bösartige Skripts zur Laufzeit zu identifizieren. Dies dient dem Schutz vor bösartigem JavaScript-Code, der z. B. den Benutzer zum Ausführen eines Skripts auf einer Social Media-Website verleitet und seine Daten erfasst. Wenn der Benutzer erstmals JavaScript-Code auf einer Domain ausführt, wird er aufgefordert, Kurzbefehlen, die JavaScript-Code enthalten, die Ausführung auf der aktuellen Webseite für diese Domain zu erlauben.

Safari-Vorschläge, Siri-Vorschläge in „Suchen", App „Nachschlagen", #images, App „News" und News-Widget in Ländern ohne die App „News"

Safari-Vorschläge, Siri-Vorschläge in „Suchen", „Nachschlagen", #images, App „News" und News-Widget in Ländern ohne App „News" präsentieren Benutzern Vorschläge, die über ihre Geräte hinausgehen und von Quellen stammen wie etwa Wikipedia, dem iTunes Store, lokalen Nachrichten, den Ergebnissen der App „Karten" und dem App Store. Diese Vorschläge werden bereits angeboten, bevor der Benutzer mit dem Schreiben beginnt.

Wenn ein Benutzer mit der Eingabe in der Safari-Adressleiste beginnt, Siri-Vorschläge in „Suchen" öffnet oder verwendet, die App „Nachschlagen" verwendet, #images öffnet, „Suchen" in der App „News" verwendet oder das News-Widget in Ländern ohne die App „News" verwendet, wird der folgende Kontext mit HTTPS verschlüsselt an Apple gesendet, um dem Benutzer relevante Ergebnisse anzuzeigen:

- Eine Kennung, die alle 15 Minuten geändert wird, um die Daten zu schützen
- Die Suchanfrage des Benutzers
- Die wahrscheinlichste vollständige Abfrage basierend auf dem Kontext und früheren Suchvorgängen im lokalen Zwischenspeicher

- Den ungefähren Standort des Geräts, sofern darauf die Ortungsdienste für ortsbasierte Vorschläge aktiviert sind. Wie stark der Standort verschleiert wird, ist abhängig von der ungefähren Benutzerdichte am Standort des Geräts. Beispielsweise erfolgt in ländlichen Gegenden, in denen Benutzer sich geografisch weiter auseinander befinden können, eine stärkere Verschleierung als in Innenstädten, wo sich mehr Benutzer auf engerem Raum aufhalten. Der Benutzer kann in den Systemeinstellungen festlegen, dass keine Ortsdaten an Apple gesendet werden sollen, indem er die Ortungsdienste für ortsbasierte Vorschläge deaktiviert. Wenn die Ortungsdienste deaktiviert sind, kann Apple den ungefähren Standort des Geräts aus der IP-Adresse des Geräts ableiten.
- Die Art des Geräts und ob die Suche in den Siri-Vorschlägen in „Suchen", Safari, „Nachschlagen", der App „News" oder der App „Nachrichten" erfolgt
- Die Art der Verbindung
- Informationen zu den drei zuletzt auf dem Gerät genutzten Apps (für zusätzlichen Kontext in der Suchanfrage). Es werden nur Apps aufgenommen, die in einer von Apple gepflegten Positivliste beliebter Apps aufgeführt sind und in den letzten drei Stunden verwendet wurden.
- Eine Liste beliebter Apps auf dem Gerät
- Regionale Sprache, Sprachumgebung und Einstellungen für die Eingabe
- Wenn das Gerät des Benutzers auf Dienste für Musik- oder Videoabonnements zugreifen kann, können Informationen wie Namen der Abonnementdienste und Arten der Abonnements an Apple gesendet werden. Accountname, Nummer und Passwort des Benutzers werden nicht an Apple gesendet.
- Eine zusammengefasste gesammelte Darstellung der Themen von Interesse

Wenn ein Benutzer ein Ergebnis auswählt oder die App verlässt, ohne ein Ergebnis ausgewählt zu haben, werden einige Informationen an Apple gesendet, um die Qualität künftiger Suchergebnisse zu verbessern. Diese Informationen sind lediglich mit derselben 15-Minuten-Sitzungskennung verknüpft, nicht mit einem bestimmten Benutzer. Das Feedback enthält einige der zuvor beschriebenen Kontextinformationen sowie u. a. folgende Informationen zur Interaktion:

- Die vergangene Zeit zwischen Interaktionen und über das Netzwerk gesendeten Suchanfragen
- Rangliste und Anzeigereihenfolge von Vorschlägen
- Die Kennung von Ergebnis und Aktion, die ausgewählt wurden, wenn es sich nicht um ein lokales Ergebnis handelt, oder die Kategorie des ausgewählten Ergebnisses, wenn das Ergebnis ein lokales Ergebnis ist
- Eine Markierung, die angibt, ob der Benutzer das Ergebnis ausgewählt hat

Apple speichert die Protokolle für Vorschläge mit Anfragen, Kontext und Feedback 18 Monate lang. Ein Teil der Protokolle wird bis zu fünf Jahre aufbewahrt, z. B. Anfragen, Sprachumgebung (Locale), Domain, ungefährer Standort und aggregierte Messwerte.

Unter bestimmten Umständen können Vorschläge Anfragen für häufige Wörter und Ausdrücke an einen qualifizierten Partner weiterleiten, um die Suchergebnisse des Partners erhalten und anzeigen zu können. Apple versieht die Anfragen mit einem Proxy, sodass Partner keine IP-Adressen der Benutzer und kein Feedback zur Suche erhalten. Die Kommunikation mit dem Partner wird mit HTTPS verschlüsselt. Für häufig auftretende Abfragen gibt Apple Stadt, Gerätetyp und Sprache des Clients als Suchkontext an den Partner weiter, um die Suchleistung zu optimieren.

Die folgenden Informationen werden ohne Sitzungskennung protokolliert, um die Leistung von Vorschlägen besser zu verstehen und geografisch sowie übergreifend über verschiedene Netzwerktypen zu optimieren:

- Unvollständige IP-Adresse (ohne das letzte Oktett bei IPv4-Adressen; ohne die letzten 80 Bit bei IPv6-Adressen)
- Der ungefähre Standort
- Die ungefähre Zeit der Anfrage
- Latenz/Transferrate
- Größe der Antwort
- Art der Verbindung
- Sprachumgebung
- Gerätetyp und die anfragende App

Intelligent Tracking Prevention in Safari

Intelligent Tracking Prevention oder ITP ist ein Bestandteil der datenschutzgerechten Standardrichtlinie für Cookies und Website-Daten von Safari. Dieser intelligente Tracking-Schutz schränkt den Zugriff auf Cookies und andere Website-Daten ein und trägt so dazu bei, Site-übergreifendes Tracking zu verhindern.

ITP sammelt statistische Daten zur Ressourcenlast (Bilder, Skripts usw.) sowie zu Benutzerinteraktionen wie Tippen und Texteingaben. Ein Modell für maschinelles Lernen wird auf dem Gerät zur Klassifizierung der Domain-Namen verwendet, die in der Lage sind, den Benutzer Site-übergreifend zu verfolgen. Als Basis dienen hierbei die erfassten statistischen Daten.

Wenn die Tracking-Fähigkeiten einer Domain erkannt und diese entsprechend klassifiziert werden, partitioniert ITP umgehend seine Cookies, wenn der Benutzer zuvor als erste Partei mit der Domain interagiert hat. Für klassifizierte Domains, mit denen der Benutzer noch nicht interagiert hat, blockiert ITP sofort deren Cookies. Zum Beispiel:

- video.example bietet einen werbefreien Abonnementdienst an und viele seiner Videos sind auf anderen Websites eingebettet.
- Ein Benutzer meldet sich zunächst bei video.example an und dann bei anderen Websites, die von video.example eingebettete Inhalte umfassen.
- ITP klassifiziert video.example als Website mit Tracking-Fähigkeiten und partitioniert deshalb seine Cookies.
- Wenn ein Benutzer newspaper.example besucht und diese Website eingebettete Inhalte von video.example enthält, handelt es sich bei den für video.example bereitgestellten Cookies um partitionierte Cookies, die speziell für video.example auf newspaper.example vorgesehen sind.

Eingebettete Inhalte von Drittanbietern bitten den Benutzer möglicherweise um Zugriff auf ihre Erstanbieter-Cookies mit der Storage Access API. Tippt oder klickt ein Benutzer auf eingebettete Drittanbieterinhalte, die die Storage Access API nutzen, fragt Safari den Benutzer in einem speziellen Fenster, ob er Dritten den Zugriff auf seine Cookies und Website-Daten erlauben will. Dies gibt dem Drittanbieter die Möglichkeit, sie auf der Erstanbieter-Domain zu verfolgen. Wählt der Benutzer „Erlauben", erhält der eingebettete Drittanbieterinhalt für die Dauer des Besuchs auf der Webseite Zugriff auf die Erstanbieter-Cookies. Bei nachfolgenden Besuchen erhält der eingebettete Drittanbieterinhalt Zugriff auf die Erstanbieter-Cookies, nachdem der Benutzer mit dem eingebetteten Inhalt interagiert und der Inhalt die Storage Access API aufgerufen hat. Da der Benutzer diesen Zugriff zuvor erlaubt hat, wird er nicht erneut gefragt.

Die Entscheidung des Benutzers bleibt für die Kombination aus Erst- und Drittanbieter erhalten und wird gelöscht, wenn der Benutzer seinen Safari-Verlauf löscht.

Vorhandene Cookies von Domains, deren Tracking-Fähigkeiten erkannt und die entsprechend klassifiziert wurden, werden bereinigt, wenn der Benutzer bei 30 Tagen aktiver Safari-Nutzung nicht mit der Domain interagiert hat – weder direkt noch über die Storage Access API. Nach 30 Tagen ohne Interaktion kann eine mit Tracking-Fähigkeiten klassifizierte Domain auch keine neuen Cookies setzen. Safari erlaubt in Drittanbieter-Kontexten niemals Zugriff auf andere Erstanbieter-Website-Daten.

Dadurch, dass ITP Erstanbieter- und Drittanbieter-Daten isoliert, trägt es dazu bei, die Nutzung von Cookies und Website-Daten für Site-übergreifendes Tracking zu verhindern. Apple hat keinen Zugriff darauf, für welche Domain-Namen ein bestimmtes Gerät Statistikdaten erfasst hat oder für welche es Tracking-Fähigkeiten klassifiziert hat.

Doch ITP blockiert nicht nur Drittanbieter-Cookies von Domains, deren Tracking-Fähigkeiten erkannt und die entsprechend klassifiziert wurden. ITP kürzt auch die HTTP-Referer-Informationen, die an als Tracking-fähig klassifizierte Drittanbieter-Domains gesendet werden, auf den Ursprung der Seite.

Verwaltung von Benutzerpasswörtern

Zahlreiche Funktionen von iOS machen es den Benutzern leicht, sich bei Apps und Websites von Drittanbietern, die Passwörter für die Authentifizierung verwenden, auf sichere und einfache Weise zu authentifizieren. Passwörter werden in einem speziellen Schlüsselbund zum automatischen Ausfüllen von Passwörtern gesichert. Dieser Schlüssel wird vom Benutzer gesteuert und kann unter „Einstellungen" > „Accounts & Passwörter" > „App- & Website-Passwörter" verwaltet werden. Ohne Einwilligung des Benutzers erhalten Apps keinen Zugriff auf den Schlüsselbund zum automatischen Ausfüllen von Passwörtern. Anmeldedaten, die im Schlüsselbund zum automatischen Ausfüllen von Passwörtern gesichert sind, werden geräteübergreifend mit dem iCloud-Schlüsselbund synchronisiert, sofern dieser aktiviert ist.

Der Passwort-Manager des iCloud-Schlüsselbunds und der Schlüsselbund zum automatischen Ausfüllen von Passwörtern bieten folgende Funktionen:

- Ausfüllen von Anmeldedaten in Apps und auf Websites
- Generieren starker Passwörter
- Sichern von Passwörtern in Apps und auf Websites in Safari
- Sicheres Teilen von Passwörtern mit den Kontakten des Benutzers
- Bereitstellen von Passwörtern für ein Apple TV in der Nähe, das Anmeldedaten anfordert

App-Zugriff auf gesicherte Passwörter

API für geteilte Web-Anmeldedaten

iOS-Apps können mit dem Schlüsselbund zum automatischen Ausfüllen von Passwörtern anhand der folgenden zwei APIs interagieren:

- `SecRequestSharedWebCredential`
- `SecAddSharedWebCredential`

Der Zugriff auf iOS-Apps wird nur gewährt, wenn sowohl der Entwickler der App als auch der Administrator der Website dies erlauben und der Benutzer zugestimmt hat. App-Entwickler können angeben, dass sie auf die von Safari gesicherten Passwörter zugreifen möchten, indem sie in ihre App eine Berechtigung einfügen. Diese Berechtigung umfasst den vollständig qualifizierten Domain-Namen verknüpfter Websites. Auf dem Server der Website muss sich eine Datei mit der eindeutigen Kennung der von Apple zugelassen Apps befinden.

Wird eine App mit der Berechtigung *com.apple.developer.associated-domains* installiert, stellt iOS eine TLS-Anfrage an alle aufgeführten Websites und fordert eine der folgenden Dateien an:

- apple-app-site-association
- .well-known/apple-app-site-association

Wenn in der Datei die Kennung der zu installierenden App aufgelistet ist, markiert iOS die Beziehung zwischen Website und App als vertrauenswürdig. Nur bei vertrauenswürdigen Beziehungen führen Aufrufe dieser beiden APIs zu einer Eingabeaufforderung für den Benutzer, der zustimmen muss, bevor Passwörter für die App freigegeben, aktualisiert oder gelöscht werden.

Automatisches Ausfüllen von Passwörtern für Apps

Unter iOS können Benutzer gespeicherte Benutzernamen und Passwörter in Felder mit Anmeldedaten in Apps eingeben, indem sie in der QuickType-Leiste der iOS-Tastatur auf eine Einverständnistaste tippen. Dabei wird derselbe App-Website-Zuordnungsmechanismus verwendet, den die Datei „apple-app-site-association" einsetzt, um Apps und Websites eng zu verbinden. Die Schnittstelle legt einer App keine Anmeldedaten offen, bis der Benutzer zustimmt, sie für die App freizugeben. Wenn iOS eine Website und eine App mit einer vertrauenswürdigen Verbindung markiert hat, schlägt die QuickType-Leiste automatisch Anmeldedaten vor, mit denen die App ausgefüllt wird. So können Benutzer in Safari gespeicherte Anmeldedaten für Apps mit demselben Sicherheitsmerkmalen offenlegen, ohne dass Apps eine API übernehmen müssen.

Wenn eine App und eine Website eine vertrauenswürdige Verbindung haben und ein Benutzer Anmeldedaten innerhalb einer App sendet, kann iOS den Benutzer auffordern, diese Anmeldedaten für spätere Zwecke im Schlüsselbund zum automatischen Ausfüllen von Passwörtern zu sichern.

Automatische starke Passwörter

Wenn der iCloud-Schlüsselbund aktiviert ist, erstellt iOS starke, zufällige und eindeutige Passwörter, wenn sich die Benutzer bei einer App oder einer Website in Safari anmelden oder dort ihre Passwörter ändern. Die Benutzer müssen sich gegen die Nutzung starker Passwörter entscheiden. Generierte Passwörter werden im Schlüsselbund gesichert und geräteübergreifend mit dem iCloud-Schlüsselbund synchronisiert, wenn dieser aktiviert ist.

Von iOS generierte Passwörter sind standardmäßig 20 Zeichen lang. Sie enthalten eine Ziffer, einen Großbuchstaben, zwei Bindestriche und 16 Kleinbuchstaben. Diese generierten Passwörter sind stark und umfassen eine Entropie mit 71 Bits.

iOS generiert Passwörter in Apps und in Safari und nutzt dabei als Basis eine Heuristik, die bestimmt, dass zum Erstellen eines Passworts ein Passwortfeld erforderlich ist. Erkennt die Heuristik einen Passwortkontext nicht als Kontext für die Passworterstellung, können App-Entwickler „UITextContentType.newPassword" für das Textfeld festlegen und Web-Entwickler können autocomplete=„new-password" in ihren <input>-Elementen festlegen.

Apps und Websites können iOS mit Regeln ausstatten, die sicherstellen, dass generierte Passwörter mit dem relevanten Dienst kompatibel sind. iOS generiert die stärksten Passwörter, die unter Einhaltung dieser Regeln möglich sind. Entwickler stellen diese Regeln mittels UITextInputPasswordRules oder dem passwordrules-Attribut in ihren <input>-Elementen bereit.

Senden von Passwörtern an andere Personen oder Geräte

AirDrop

Wenn iCloud aktiviert ist, können Benutzer gesicherte Anmeldedaten, darunter die Websites, für die sie gesichert wurden, den Benutzernamen und das zugehörige Passwort, via AirDrop an ein anderes Gerät übertragen. Die Übertragung von Anmeldedaten mit AirDrop erfolgt immer im Modus „Nur Kontakte", unabhängig von den Einstellungen des Benutzers. (Weitere Informationen sind unter „Sicherheit bei AirDrop" zu finden.) Die Anmeldedaten werden nach Einwilligung des Benutzers auf dem Empfängergerät im Schlüsselbund zum automatischen Ausfüllen von Passwörtern dieses Benutzers gespeichert.

Apple TV

Mit der Option zum automatischen Ausfüllen von Passwörtern werden Anmeldedaten in Apps auf Apple TV ausgefüllt. Sobald der Benutzer in tvOS ein Textfeld für den Benutzernamen oder das Passwort auswählt, stellt Apple TV eine „Autom. Ausfüllen"-Anfrage via Bluetooth Low Energy (BLE).

Ein in der Nähe befindliches iPhone zeigt dann eine Aufforderung an und lädt den Benutzer ein, Anmeldedaten mit Apple TV zu teilen. Wenn iPhone und Apple TV denselben iCloud-Account nutzen, wird die Kommunikation zwischen den beiden Geräten während des Vorgangs verschlüsselt. Ist das iPhone bei einem anderen iCloud-Account angemeldet als Apple TV gilt Folgendes:

- Ein PIN-Code wird verwendet, um eine verschlüsselte Verbindung aufzubauen.
- Das iPhone muss entsperrt sein und sich in unmittelbarer Nähe der mit diesem Apple TV gekoppelten Siri Remote-Fernbedienung befinden, um diese Aufforderung zu empfangen.

Nachdem die verschlüsselte Verbindung mit der Bluetooth LE-Link-Verschlüsselung hergestellt wurde, werden die Anmeldedaten an Apple TV gesendet und automatisch in die relevanten Textfelder der App eingesetzt.

Erweiterungen für Credential-Provider

Die Benutzer können ein konformes Drittanbieterprogramm als Credential-Provider (Anbieter von Anmeldedaten) für das automatische Ausfüllen in den Einstellungen unter „Accounts & Passwörter" festlegen. Dieser Mechanismus ist in Erweiterungen integriert. Die Credential-Provider-Erweiterung muss eine Darstellung für die Auswahl von Anmeldedaten bereitstellen. Optional kann sie auch iOS-Metadaten über gesicherte Anmeldedaten zur Verfügung stellen, sodass diese direkt in der QuickType-Leiste angeboten werden können. Diese Metadaten umfassen die Website der Anmeldedaten und den zugeordneten Benutzernamen, allerdings nicht das zugehörige Passwort. iOS kommuniziert mit den Erweiterungen, um das Passwort abzurufen, wenn der Benutzer es in einer App oder auf einer Website in Safari ausfüllen will. Die Metadaten für die Anmeldedaten werden in der Sandbox des Credential-Providers gespeichert und automatisch entfernt, wenn die zugehörige App gelöscht wird.

Gerätesteuerungen

iOS unterstützt flexible Sicherheitsrichtlinien und Konfigurationen, die einfach umgesetzt und verwaltet werden können. Dadurch können Organisationen interne Informationen schützen und sicherstellen, dass Mitarbeiter die Vorgaben der Organisation einhalten, selbst wenn sie ihre eigenen Geräte verwenden, z. B. im Rahmen eines BYOD-Programms („Bring Your Own Device“).

Organisationen können Methoden wie Codesicherheit, Konfigurationsprofile, Fernlöschung und MDM-Lösungen anderer Anbieter verwenden, um den Gerätebestand zu verwalten und Firmendaten zu schützen, selbst wenn Mitarbeiter über ihre persönlichen iOS-Geräte auf diese Daten zugreifen.

Codesicherheit

Der Gerätecode des Benutzers ist standardmäßig eine aus vier Ziffern bestehende PIN. Auf Geräten mit Touch ID oder Face ID muss der Gerätecode mindestens sechs Ziffern umfassen. Unter „Einstellungen“ > „Touch ID & Code“ kann ein Benutzer über die Option „Eigener alphanumerischer Code“ einen längeren, alphanumerischen Code festlegen. Längere und komplexere Codes sind schwerer zu erraten oder anzugreifen und werden empfohlen.

Administratoren können komplexe Codes und andere Richtlinien mit MDM oder Exchange ActiveSync durchsetzen oder von Benutzern verlangen, Konfigurationsprofile manuell zu installieren. Es gibt die folgenden Richtlinien für Codes:

- Einfachen Wert erlauben
- Alphanumerische Werte erforderlich
- Mindestlänge für Codes
- Mindestanzahl von komplexen Zeichen
- Maximale Gültigkeitsdauer für Codes
- Codeverlauf
- Timeout für die automatische Sperre
- Maximale Zeitgrenze für die Gerätesperre
- Maximale Anzahl Fehlversuche
- Touch ID oder Face ID erlauben

Administratoren finden Details zu den einzelnen Richtlinien unter: https://support.apple.com/guide/mdm/

Entwickler finden Details zu den einzelnen Richtlinien unter: https://developer.apple.com/business/documentation/Configuration-Profile-Reference.pdf

iOS-Kopplungsmodell

iOS verwendet ein Kopplungsmodell, um den Zugriff auf ein Gerät von einem Host-Computer zu steuern. Die Kopplung stellt über den Austausch der öffentlichen Schlüssel eine vertrauenswürdige Verbindung zwischen dem Gerät und dem verbundenen Host her. iOS verwendet diese vertrauenswürdige Verbindung, um zusätzliche Funktionen mit dem verbundenen Host (z. B. Synchronisation von Daten) zu aktivieren.

In iOS 9 können Dienste, die eine Kopplung erfordern, erst gestartet werden, nachdem die Gerätesperre durch den Benutzer aufgehoben wurde.

Darüber hinaus setzen unter iOS 10 (oder neuer) einige Dienste, wie etwa die Synchronisierung von Fotos, voraus, dass das Gerät entsperrt wird, damit der Vorgang gestartet werden kann.

In iOS 11 (oder neuer) werden Dienste nur gestartet, wenn das Gerät vor Kurzem entsperrt wurde.

Für die Kopplung muss der Benutzer das Gerät entsperren und die Anfrage des Hosts annehmen. In iOS 11 (oder neuer) muss der Benutzer außerdem den Code eingeben. Daraufhin tauschen Host und Gerät öffentliche 2048-Bit RSA-Schlüssel aus und sichern sie. Der Host erhält einen 256-Bit-Schlüssel, mit dem er den auf dem Gerät gespeicherten Escrow-Keybag entsperren kann (siehe „Escrow-Keybags“ im Abschnitt „Keybags“ in diesem Dokument). Die ausgetauschten Schlüssel werden zum Starten einer verschlüsselten SSL-Sitzung verwendet, die das Gerät benötigt, bevor es geschützte Daten an den Host senden oder einen Dienst starten kann (iTunes-Synchronisierung, Dateiübertragung, Xcode-Entwicklung usw.). Das Gerät benötigt eine Verbindung von dem Host über WLAN, um diese verschlüsselte Sitzung für die gesamte Kommunikation zu verwenden, es muss also zuvor über USB gekoppelt werden. Die Kopplung ermöglicht auch mehrere Diagnosefähigkeiten. In iOS 9 verfällt ein Datensatz für die Kopplung, wenn er länger als sechs Monate nicht verwendet wurde. Dieser Zeitrahmen wird in iOS 11 (oder neuer) auf 30 Tage verkürzt.

Weitere Informationen unter:
https://support.apple.com/HT203034

Bestimmte Dienste (z. B. com.apple.pcapd) sind nur über USB möglich. Der Dienst com.apple.file_relay benötigt außerdem ein von Apple signiertes Konfigurationsprofil, um installiert werden zu können.

In iOS 11 (oder neuer) kann das Apple TV das SRP-Protokoll (Secure Remote Password) verwenden, um drahtlos eine Kopplungsbeziehung zu erstellen.

Der Benutzer kann die Liste vertrauenswürdiger Hosts mit der Option „Netzwerkeinstellungen zurücksetzen“ oder „Standort & Datenschutz zurücksetzen“ löschen.

Weitere Informationen unter:
https://support.apple.com/HT202778

Erzwingen von Konfigurationen

Konfigurationsprofile sind XML-Dateien, mit deren Hilfe ein Administrator Konfigurationsdaten auf iOS-Geräte übertragen kann. Einstellungen, die von einem installierten Konfigurationsprofil festgelegt wurden, können vom Benutzer nicht geändert werden. Wird ein Konfigurationsprofil gelöscht, werden auch alle damit festgelegten Einstellungen zurückgesetzt. Administratoren können so Einstellungen durchsetzen, indem sie Richtlinien mit dem WLAN- und Datenzugriff verknüpfen. Beispielsweise kann ein Konfigurationsprofil für die E-Mail-Konfiguration verwendet werden, um eine Richtlinie für den Gerätecode festzulegen. Der Benutzer kann nur auf den E-Mail-Account zugreifen, wenn sein Code den Anforderungen des Administrators entspricht.

iOS-Konfigurationsprofile können verschiedene Einstellungen festlegen, darunter:

- Coderichtlinien
- Einschränkung der Funktionen des Geräts (z. B. Deaktivieren der Kamera)
- WLAN-Einstellungen
- VPN-Einstellungen
- Mail-Server-Einstellungen
- Exchange-Einstellungen
- LDAP-Verzeichnisdiensteinstellungen
- CalDAV-Kalenderdiensteinstellungen
- Webclips
- Anmeldedaten und Schlüssel
- Erweiterte Mobilfunknetzeinstellungen

Eine aktuelle Liste für Administratoren befindet sich auf folgender Website: https://support.apple.com/guide/mdm/mdm5370d089

Eine aktuelle Liste für Entwickler befindet sich auf folgender Website: https://developer.apple.com/business/documentation/Configuration-Profile-Reference.pdf

Konfigurationsprofile können signiert und verschlüsselt werden, um ihren Ursprung und damit ihre Integrität zu verifizieren und den Inhalt zu schützen. Konfigurationsprofile werden mittels CMS (RFC 3852) verschlüsselt und unterstützen 3DES und AES-128.

Konfigurationsprofile können auch fest an ein Gerät gebunden werden, sodass sie nicht mehr oder nur mit einem Code entfernt werden können. Da bei Unternehmenslösungen viele Benutzer Eigentümer ihrer iOS-Geräte sind, können Konfigurationsprofile, die ein Gerät fest mit einer MDM-Lösung verbinden, entfernt werden; dabei werden aber alle verwalteten Konfigurationsinformationen, Daten und Apps entfernt.

Benutzer können Konfigurationsprofile mit Apple Configurator 2 direkt auf ihren Geräten installieren oder sie in Safari oder aus einer Mail laden oder von einer MDM-Lösung zusenden lassen. Wenn ein Benutzer ein Gerät in Apple School Manager oder Apple Business Manager einrichtet, lädt das Gerät ein Profil für die MDM-Registrierung und installiert es.

Mobile Device Management (MDM)

Die MDM-Unterstützung in iOS ermöglicht Unternehmen die sichere Konfiguration und Verwaltung skalierter Implementierungen von iPhone, iPad, Apple TV und Mac im Unternehmen. MDM-Funktionen basieren auf vorhandenen iOS-Technologien wie den Konfigurationsprofilen, der kabellosen Registrierung und dem Apple-Dienst für Push-Benachrichtigungen (APNS). So wird beispielsweise APNS verwendet, um den Ruhezustand eines Geräts zu beenden, damit es über eine sichere Verbindung direkt mit einer MDM-Lösung kommunizieren kann. Über APNS werden keine vertraulichen oder betriebsinternen Informationen übertragen.

MDM eröffnet IT-Abteilungen die Möglichkeit, iOS-Geräte sicher in einer Unternehmensumgebung zu registrieren, drahtlos Einstellungen zu konfigurieren und zu aktualisieren, die Einhaltung von Unternehmensrichtlinien zu überwachen, Richtlinien für Softwareaktualisierungen zu verwalten und verwaltete Geräte sogar per Fernzugriff zu löschen oder zu sperren.

Weitere Informationen zu MDM unter:

- https://www.apple.com/de/iphone/business/it/management.html
- https://help.apple.com/deployment/ios/#/ior07301dd60
- https://support.apple.com/guide/mdm/mdmbf9e668

Geteiltes iPad

Die Option „Geteiltes iPad" ist ein Mehr-Benutzer-Modus für iPad-Implementierungen in Bildungseinrichtungen. Damit können sich Schüler/Studenten ein iPad teilen, ohne Dokumente und Daten teilen zu müssen. Jeder Schüler/Student erhält ein eigenes Benutzerverzeichnis, das als APFS-Datenträger erstellt und durch die Benutzerdaten geschützt wird. Für die Option „Geteiltes iPad" ist eine verwaltete Apple-ID erforderlich, die von der Bildungseinrichtung ausgegeben wird und deren Kontrolle unterliegt. Schüler/Studenten können sich so an jedem Gerät im Eigentum der Organisation anmelden, das für die Nutzung durch mehrere Personen konfiguriert ist. Die Daten der Schüler sind in separate Benutzerverzeichnisse in eigenen Datensicherheits-Domains aufgeteilt, von denen jede durch UNIX-Zugriffsrechte und Sandboxing geschützt ist.

Bei „Geteiltes iPad" anmelden

Bei der Anmeldung eines Schülers wird die verwaltete Apple-ID mithilfe des SRP-Protokolls bei den Identitätsservern von Apple authentifiziert. Ist der Vorgang erfolgreich, wird ein gerätespezifisches vorübergehendes Zugangstoken zugewiesen. Wenn der Schüler das Gerät bereits zuvor verwendet hat, hat er bereits einen lokalen Benutzeraccount, der mit denselben Daten entsperrt wird.

Hat der Schüler/Student das Gerät zuvor noch nicht verwendet, werden eine neue UNIX-Benutzerkennung, ein APFS-Datenträger mit dem Benutzerverzeichnis und ein logischer Schlüsselbund hinzugefügt. Wenn das Gerät nicht mit dem Internet verbunden ist (z. B. weil der Schüler/Student auf einem Ausflug ist), kann die Authentifizierung während einer begrenzten Anzahl von Tagen mit dem lokalen Account ausgeführt werden. In diesem Fall können sich nur Benutzer anmelden, die bereits einen lokalen Account haben. Nach dem Ablauf der Zeitbegrenzung müssen sich Schüler/Studenten online authentifizieren, auch wenn bereits ein lokaler Account vorhanden ist.

Nachdem der lokale Account des Schülers/Studenten entsperrt oder erstellt wurde (bei Authentifizierung per Fernzugriff), wird das von den Apple-Servern ausgegebene vorübergehende Token in ein iCloud-Token umgewandelt, das eine Anmeldung bei iCloud erlaubt. Als Nächstes werden die Einstellungen der Schüler/Studenten wiederhergestellt und ihre Dokumente und Daten von iCloud synchronisiert.

Solange die Schülersitzung aktiv ist und das Gerät online bleibt, werden erstellte oder geänderte Dokumente und Daten in iCloud gespeichert. Ein Synchronisierungsmechanismus, der im Hintergrund abläuft, sorgt zudem dafür, dass Änderungen an iCloud gepusht werden, nachdem sich die Schüler abmelden. Nachdem die Synchronisierung im Hintergrund für den Benutzer abgeschlossen ist, wird der APFS-Datenträger des Benutzers deaktiviert und kann nicht mehr aktiviert werden, ohne die Benutzerdaten bereitzustellen.

Bei „Geteiltes iPad" abmelden

Meldet sich ein Schüler bei „Geteiltes iPad" ab, wird der User-Keybag für den Schüler sofort gesperrt und alle Apps werden geschlossen. Damit sich ein neuer Schüler schneller anmelden kann, stellt das System einige reguläre Abmeldeaktionen vorübergehend zurück und zeigt dem neuen Schüler ein Anmeldefenster an. Wenn sich ein Schüler während dieser Zeit (etwa 30 Sekunden) anmeldet, führt „Geteiltes iPad" die zurückgestellte Bereinigung bei der Anmeldung des neuen Schüler-Accounts durch. Bleibt das geteilte iPad hingegen ungenutzt, löst es die zurückgestellte Bereinigung aus. Während der Bereinigungsphase wird das Anmeldefenster erneut so gestartet, als hätte eine weitere Abmeldung stattgefunden.

Aktualisierungen für „Geteiltes iPad“

Wenn ein geteiltes iPad von einer iOS-Version vor 10.3 auf 10.3 (oder neuer) aktualisiert wird, findet einmalig eine Umwandlung des Dateisystems der Datenpartition mit HFS+ in einen APFS-Datenträger statt. Wenn zu diesem Zeitpunkt Benutzerverzeichnisse auf dem System vorhanden sind, verbleiben sie auf dem Hauptdatenträger und werden nicht in einzelne APFS-Datenträger umgewandelt.

Wenn sich weitere Schüler/Studenten anmelden, werden ihre Benutzerverzeichnisse ebenfalls auf dem Hauptdatenträger angelegt. Wie zuvor beschrieben werden neue Benutzeraccounts nicht mit eigenen APFS-Datenträgern erstellt, solange nicht alle Benutzeraccounts auf dem Hauptdatenträger gelöscht wurden. Um sicherzustellen, dass den Benutzern der zusätzliche Schutz und die Kontingente von APFS bereitgestellt werden, sollte das iPad deshalb mit einer Neuinstallation in Verbindung mit dem Löschen auf 10.3 (oder neuer) aktualisiert werden. Alternativ können auch alle Benutzeraccounts mit dem MDM-Befehl „Benutzer löschen“ gelöscht werden.

Weitere Informationen zu „Geteiltes iPad“ unter:
https://support.apple.com/guide/mdm/cad7e2e0cf56

Apple School Manager

Apple School Manager ist ein Dienst für Bildungseinrichtungen, der es diesen Einrichtungen ermöglicht, Inhalte zu kaufen, eine automatische Geräteregistrierung in MDM-Lösungen zu konfigurieren, Accounts für Lernende und Mitarbeiter anzulegen und iTunes U-Kurse einzurichten. Apple School Manager ist über das Web zugänglich und für Technologiemanager und IT-Administratoren sowie für Mitarbeiter und Lehrkräfte konzipiert.

Weitere Informationen zu Apple School Manager unter:
https://help.apple.com/schoolmanager/

Apple Business Manager

Apple Business Manager ist ein einfaches, webbasiertes Portal, das IT-Administratoren für die Implementierung von iOS-, macOS- und tvOS-Geräten von einem zentralen Ort aus nutzen können. Wird Apple Business Manager zusammen mit einer MDM-Lösung (Mobile Device Management) verwendet, lassen sich auch Geräteeinstellungen konfigurieren sowie Apps und Bücher verteilen. Apple Business Manager ist über das Web zugänglich und für IT-Administratoren konzipiert.

Weitere Informationen zu Apple Business Manager unter:
https://help.apple.com/businessmanager/

Geräteregistrierung

Apple School Manager und Apple Business Manager bieten ein schnelles, optimiertes Verfahren, um iOS-Geräte zu implementieren, die eine Organisation direkt bei Apple oder bei teilnehmenden, autorisierten Apple-Vertriebspartnern und Anbietern gekauft hat. Mit Apple Configurator 2 können Geräte mit iOS 11 (oder neuer) und tvOS 10.2 (oder neuer) auch nach dem Kauf zu Apple School Manager und Apple Business Manager hinzugefügt werden.

Organisationen können Geräte automatisch im MDM registrieren, ohne sie vor der Ausgabe an die Benutzer in die Hand nehmen oder vorbereiten zu müssen. Nach der Registrierung in einem der Programme melden sich Administratoren auf der Programm-Website an und verknüpfen das Programm mit ihrer MDM-Lösung. Die gekauften Geräte können den Benutzern dann über MDM zugewiesen werden.

Sicherheit und Schutz sensibler Daten können während der Konfiguration des Geräts erhöht werden, indem sichergestellt wird, dass geeignete Sicherheitsmaßnahmen eingerichtet werden. Zum Beispiel:

- Im Zuge der Erstkonfiguration müssen sich die Benutzer während der Aktivierung im Systemassistenten auf dem Apple-Gerät authentifizieren.
- Eine Anfangskonfiguration mit eingeschränktem Zugriff wird bereitgestellt und weitere Konfigurationsschritte sind erforderlich, um auf sensible Daten zugreifen zu können.

Nachdem die Zuweisung zu einem Benutzer erfolgt ist, werden in MDM festgelegte Konfigurationen, Einschränkungen und Steuerungen automatisch installiert. Die gesamte Kommunikation zwischen den Geräten und den Apple-Servern wird mit HTTPS (SSL) verschlüsselt.

Darüber hinaus lässt sich der Konfigurationsprozess für Benutzer weiter vereinfachen, indem bestimmte Schritte im Systemassistenten für iOS, tvOS und macOS entfernt werden, sodass die Benutzer schnell mit ihrer Arbeit beginnen können. Administratoren können auch steuern, ob der Benutzer das MDM-Profil von seinem Gerät löschen kann, und außerdem sicherstellen, dass die Geräteeinschränkungen vom ersten Moment an greifen. Nach dem Entpacken und Aktivieren des Geräts wird es im MDM der Organisation registriert und alle verwalteten Einstellungen, Apps und Bücher werden installiert.

Apple Configurator 2

Neben der Nutzung von MDM erleichtert Apple Configurator 2 für macOS auch die Einrichtung und Vorabkonfiguration von iOS-Geräten und Apple TV vor der Verteilung an die Benutzer. Mit Apple Configurator 2 können Geräte schnell mit Apps, Daten, Einschränkungen und Einstellungen vorkonfiguriert werden.

Apple Configurator 2 erlaubt die Verwendung von Apple School Manager oder Apple Business Manager, um Geräte in einer MDM-Lösung zu registrieren, ohne dass die Benutzer den Systemassistenten verwenden müssen. Apple Configurator 2 kann auch verwendet werden, um iOS- und Apple TV-Geräte nach dem Kauf zu Apple School Manager oder Apple Business Manager hinzuzufügen.

Weitere Informationen zu Apple Configurator 2 unter:
https://support.apple.com/guide/apple-configurator-2/

Betreuung

Beim Einrichten eines Geräts kann eine Organisation festlegen, dass das Gerät betreut werden soll. Die Betreuung impliziert, dass sich das Gerät im Eigentum der Organisation befindet und die Konfiguration und die Einschränkungen für das Gerät in noch umfassenderer Weise gesteuert werden können. Mit Apple School Manager oder Apple Business Manager kann die Betreuung drahtlos im Rahmen der MDM-Registrierung auf dem Gerät aktiviert werden. Alternativ kann sie mit Apple Configurator 2 manuell aktiviert werden. Für die Betreuung eines Geräts muss es gelöscht und das Betriebssystem neu installiert werden.

Weitere Informationen zum Konfigurieren und Verwalten von iOS-Geräten und Apple TV mithilfe von MDM oder Apple Configurator 2 unter:
https://help.apple.com/deployment/ios/

Einschränkungen

Einschränkungen können von Administratoren aktiviert (oder in einigen Fällen deaktiviert) werden, um zu verhindern, dass Benutzer auf bestimmte Apps, Dienste oder Funktionen des Geräts zugreifen. Einschränkungen werden in einer entsprechenden Payload, die an ein Konfigurationsprofil angehängt wird, an die Geräte gesendet. Einschränkungen können auf Geräte mit iOS, tvOS und macOS angewendet werden. Bestimmte Einschränkungen auf einem verwalteten iPhone können auf eine gekoppelte Apple Watch gespiegelt werden.

Eine aktuelle Liste für IT-Manager befindet sich auf folgender Website: https://support.apple.com/guide/mdm/mdm0f7dd3d8

Fernlöschen

iOS-Geräte können von einem Administrator oder Benutzer per Fernzugriff gelöscht werden. Die sofortige Fernlöschung wird dadurch erreicht, dass der Speicherblockschlüssel aus dem Effaceable Storage gelöscht wird, sodass die Daten nicht mehr gelesen werden können. Die Fernlöschung kann über MDM, Exchange oder iCloud aktiviert werden.

Wenn MDM oder iCloud die Fernlöschung auslösen, sendet das Gerät eine Bestätigung und führt den Löschvorgang durch. Bei der Fernlöschung über Exchange meldet sich das Gerät am Exchange Server an, bevor es den Löschvorgang startet.

Benutzer können das Gerät, wenn sie direkten Zugriff darauf haben, auch in den Einstellungen löschen. Außerdem kann das Gerät, wie bereits erwähnt, so eingestellt werden, dass es sich nach einer bestimmten Anzahl fehlgeschlagener Code-Eingaben automatisch löscht.

Modus „Verloren“

Bei Verlust oder Diebstahl eines Geräts kann ein MDM-Administrator auf betreuten Geräten mit iOS 9.3 (oder neuer) per Fernzugriff den Modus „Verloren“ aktivieren. Wenn der Modus „Verloren“ aktiviert wird, wird der aktuelle Benutzer abgemeldet und das Gerät kann nicht entsperrt werden. Auf dem Bildschirm erscheint eine Mitteilung, die vom Administrator angepasst werden kann. Sie kann beispielsweise eine Telefonnummer für den Finder des Geräts zeigen. Wird das Gerät in den Modus „Verloren“ versetzt, kann der Administrator den aktuellen Standort des Geräts abfragen und optional einen Ton abspielen. Der Modus „Verloren“ kann nur durch einen Administrator deaktiviert und beendet werden. Ist dies der Fall, wird der Benutzer mit einer entsprechenden Mitteilung auf dem Sperrbildschirm oder einem Hinweis auf dem Home-Bildschirm darüber informiert.

Aktivierungssperre

Wenn die Option „Mein iPhone suchen“ aktiviert ist, kann das Gerät nicht neu aktiviert werden, ohne dass die Apple-ID-Anmeldedaten des Eigentümers oder der vorherige Code des Geräts eingegeben werden.

Bei Geräten, die sich im Eigentum einer Organisation befinden, empfiehlt es sich, die Geräte zu betreuen. Dadurch wird die Aktivierungssperre von der Organisation verwaltet und diese muss sich nicht darauf verlassen, dass die einzelnen Benutzer ihre Apple-ID-Anmeldedaten eingeben, um die Geräte neu zu aktivieren.

Eine kompatible MDM-Lösung kann auf betreuten Geräten einen Umgehungscode speichern, wenn die Aktivierungssperre eingeschaltet wird, oder diesen später verwenden, um die Aktivierungssperre automatisch aufzuheben, wenn das Gerät gelöscht und einem neuen Benutzer bereitgestellt werden soll.

Standardmäßig ist bei betreuten Geräten die Aktivierungssperre immer ausgeschaltet, selbst wenn der Benutzer „Mein iPhone suchen" auswählt. Eine MDM-Lösung kann jedoch einen Umgehungscode abrufen und das Einschalten der Aktivierungssperre auf dem Gerät erlauben. Ist „Mein iPhone suchen" ausgewählt, wenn die MDM-Lösung die Aktivierungssperre aktiviert, wird die Sperre eingeschaltet. Ist „Mein iPhone suchen" ausgeschaltet, wenn der MDM-Server die Aktivierungssperre aktiviert, wird sie eingeschaltet, wenn der Benutzer das nächste Mal „Mein iPhone suchen" auswählt.

Bei Geräten, die in Bildungseinrichtungen mit einer über Apple School Manager erstellten, verwalteten Apple-ID verwendet werden, kann die Aktivierungssperre statt mit der Apple-ID des Benutzers mit der Apple-ID eines Administrators verknüpft oder mit dem Umgehungscode des Geräts deaktiviert werden.

Bildschirmzeit

Die Funktion „Bildschirmzeit" in iOS 12 gibt Benutzern einen Überblick darüber, wie sie und ihre Kinder Apps und das Internet nutzen, und bietet ihnen die Möglichkeit, diese Nutzung gezielt zu steuern. Benutzer können:

- Nutzungsdaten anzeigen
- Beschränkungen für die App- und Internetnutzung festlegen
- Auszeiten konfigurieren
- Zusätzliche Beschränkungen durchsetzen

Für Benutzer, die ihre eigene Gerätenutzung verwalten, lassen sich die Steuerelemente und Nutzungsdaten der Funktion „Bildschirmzeit" übergreifend über Geräte, die demselben iCloud-Account zugeordnet sind, mit der End-to-End-Verschlüsselung in CloudKit synchronisieren. Voraussetzung hierbei ist, dass für den betreffenden Benutzeraccount die Zwei-Faktor-Authentifizierung aktiviert ist (die Synchronisierung ist standardmäßig ausgeschaltet). „Bildschirmzeit" ersetzt die Beschränkungsfunktion in früheren iOS-Versionen.

Wenn ein Benutzer seinen Safari-Verlauf oder eine App löscht, werden die zugehörigen Nutzungsdaten vom Gerät und von allen synchronisierten Geräten entfernt.

Eltern und Bildschirmzeit

Eltern können die Funktion „Bildschirmzeit" auf iOS-Geräten einsetzen, um das Nutzungsverhalten ihrer Kinder zu steuern. Der Organisator einer Familie (in der iCloud-Familienfreigabe) kann die Nutzungsdaten seiner Kinder anzeigen und Einstellungen für ihre Bildschirmzeit verwalten. Die Kinder werden informiert, wenn ihre Eltern die Funktion „Bildschirmzeit" aktivieren, und können ihr Nutzungsverhalten auch selbst überwachen. Wenn Eltern die Bildschirmzeit für ihre Kinder aktivieren, legen sie einen Code fest, sodass die Kinder keine Änderungen vornehmen können. Wenn sie 18 Jahre alt sind (abhängig vom Land oder der Region) können Kinder diese Überwachung deaktivieren.

Zur Übertragung der Nutzungsdaten und Konfigurationseinstellungen zwischen den Geräten von Eltern und Kindern wird eine End-to-End-verschlüsselte Verbindung zum Identitätsdienst von Apple (IDS) genutzt. Die verschlüsselten Daten können kurzfristig auf den IDS-Servern abgelegt werden, bis sie vom Empfängergerät gelesen wurden (z. B. sobald das iPhone/iPad eingeschaltet wird, wenn es ausgeschaltet war). Diese Daten sind für Apple nicht lesbar.

Analysedaten zur Bildschirmzeit

Wenn der Benutzer die Option „iPhone- & Watch-Analyse teilen“ aktiviert, werden ausschließlich die folgenden anonymisierten Daten erfasst, damit Apple einen besseren Einblick erhält, wie die Funktion „Bildschirmzeit“ verwendet wird:

- Wurde die Bildschirmzeit im Systemassistenten oder später in den Einstellungen aktiviert
- Ist die Funktion „Bildschirmzeit“ aktiviert
- Ist die Auszeit aktiviert
- Wie oft die Anfrage „Mehr Zeit anfordern“ verwendet wurde
- Anzahl der App-Beschränkungen

Apple erfasst keine speziellen Daten zur Nutzung von Apps oder dem Web. Wird einem Benutzer eine Liste von Apps in den Nutzungsinformationen der Funktion „Bildschirmzeit“ angezeigt, stammen die App-Symbole direkt aus dem App Store, d. h., es werden keinerlei Daten von diesen Anfragen gespeichert.

Datenschutzeinstellungen

Apple respektiert die Privatsphäre seiner Kunden und hat diverse Einstellungen und Optionen integriert, mit denen Benutzer von iOS-Geräten selbst bestimmen können, wie und wann Apps welche Informationen verwenden können.

Ortungsdienste

Ortungsdienste verwenden GPS, Bluetooth, öffentliche WLAN-Hotspots und Mobilfunkmasten, um den ungefähren Standort des Benutzers zu bestimmen. Die Ortungsdienste können mit einem einzigen Schalter in den Einstellungen oder für jede App einzeln deaktiviert werden. Apps können anfragen, Ortsdaten bei geöffneter App oder immer verwenden zu dürfen. Der Benutzer kann diese Anfrage ablehnen und kann seine Wahl später in den Einstellungen ändern. In den Einstellungen kann der Zugriff generell deaktiviert, nur bei geöffneter App oder immer aktiviert werden, abhängig von der angefragten Verwendung. Außerdem wird der Benutzer daran erinnert, wenn eine App, die immer Zugriff hat, Ortungsdienste im Hintergrundmodus verwenden möchte, und dass er dieses ändern kann.

Darüber hinaus hat der Benutzer präzise Einstellungsmöglichkeiten für die Verwendung der Ortsdaten durch die Systemdienste. Unter anderem kann der Benutzer einstellen, dass die Ortsdaten nicht in die Analysedaten aufgenommen werden, die Apple verwendet, um iOS zu verbessern, und dass ortsbasierte Siri-Informationen, ortsbasierter Kontext für Siri-Vorschläge in „Suchen“, lokale Verkehrsbedingungen und wichtige zuvor besuchte Orte deaktiviert werden.

Zugriff auf persönliche Daten

iOS kann verhindern, dass Apps ohne Zustimmung auf die persönlichen Daten des Benutzers zugreifen können. Zusätzlich sieht der Benutzer in den Einstellungen, welche Apps Zugriff auf welche Informationen haben, und kann diese Einstellung ändern. Dazu gehört Zugriff auf:

- Kontakte
- Kalender
- Erinnerungen
- Fotos
- Aktivitätsdaten & Fitness
- Ortungsdienste
- Apple Music
- Deine Musik- und Videoaktivität
- Mikrofon
- Kamera
- HomeKit
- Health
- Spracherkennung
- Bluetooth-Freigabe
- Deine Mediathek

Wenn sich der Benutzer bei iCloud anmeldet, haben Apps standardmäßig Zugriff auf iCloud Drive. Der Benutzer kann den iCloud-Zugriff für einzelne Apps in den Einstellungen ändern. Darüber hinaus bietet iOS Einschränkungen, welche den Datenaustausch zwischen den von einer MDM-Lösung und den vom Benutzer installierten Apps und Accounts verhindern.

Datenschutzrichtlinie

Die Datenschutzrichtlinie von Apple ist auf der folgenden Website zu finden: https://www.apple.com/legal/privacy/de-ww/

Sicherheitszertifizierungen und -programme

Hinweis: Weitere Informationen über für die iOS-Sicherheit relevante Zertifizierungen, Validierungen und Empfehlungen unter: https://support.apple.com/HT202739

ISO 27001- und ISO 27018-Zertifizierungen

Apple besitzt die ISO 27001- und ISO 27018-Zertifizierungen für das Managementsystem zur Informationssicherheit für Infrastruktur, Entwicklung und Verfahren, die folgende Produkte und Dienste unterstützen: Apple School Manager, iTunes U, iCloud, iMessage, FaceTime, verwaltete Apple-IDs, Siri und Schoolwork in Übereinstimmung mit dem Statement of Applicability 2.1 (Erklärung zur Anwendbarkeit) vom 11.07.2017. Die Einhaltung des ISO-Standards seitens Apple wurde von der British Standards Institution zertifiziert. Auf der BSI-Website sind Zertifikate zur Einhaltung von ISO 27001 und ISO 27018 zu finden.
Diese Zertifikate sind auf folgenden Websites abrufbar:

https://www.bsigroup.com/de-DE/our-services/certification/certificate-and-client-directory/search-results/?searchkey=company=apple&licencenumber=IS+649475

https://www.bsigroup.com/de-DE/our-services/certification/certificate-and-client-directory/search-results/?searchkey=company=Apple&licencenumber=PII%20673269

Kryptografische Validierung (FIPS 140-2)

Für die Verschlüsselungsmodule in iOS wurde – nach jedem Release seit iOS 6 – die Konformität mit dem U.S. Federal Information Processing Standard (FIPS) 140-2 mehrmals geprüft und validiert. Wie bei jedem Hauptrelease übergibt Apple die Module zur erneuten Validierung an CMVP, wenn das iOS-Betriebssystem veröffentlicht wird. Mit dem Programm wird die Integrität bei Verschlüsselungsvorgängen in Apps von Apple und von anderen Anbietern validiert, die die Verschlüsselungsdienste und anerkannten Algorithmen von iOS ordnungsgemäß nutzen.

Apple erhielt die Validierung gemäß FIPS 140-2 für das eingebettete Hardwaremodul, das als **Apple Secure Enclave Processor (SEP) Secure Key Store (SKS) Cryptographic Module** identifiziert wurde und die zulässige Nutzung von mittels SEP generierten und verwalteten Schlüsseln erlaubt. Apple wird weiterhin bei allen nachfolgenden iOS-Hauptreleases höhere Stufen des Hardwaremoduls anstreben (sofern angemessen).

Zertifizierung nach Common Criteria (ISO 15408)

Seit dem Release von iOS 9 hat Apple ISO-Zertifizierungen unter dem Common Criteria Certification-Programm für jedes iOS-Hauptrelease erhalten und die Abdeckung auf folgende Komponenten ausgeweitet:

- Profil für grundlegenden Schutz von mobilen Geräten
  - Erweitertes Paket für MDM-Agenten
  - Erweitertes Paket für drahtlose LAN-Clients
  - PP-Modul für VPN-Client
- Profil zum Schutz von Anwendungssoftware
  - Erweitertes Paket für Internetbrowser
- Apple plant, dies auch mit jedem folgenden Hauptrelease von iOS auszuweiten.

Apple forciert innerhalb der ITC (International Technical Community) die Evaluierung grundlegender mobiler Sicherheitstechnologien mit dem Ziel, derzeit noch nicht verfügbare Schutzprofile (Collaborative Protection Profiles, cPPs) zu entwickeln. Apple wird auch in Zukunft Zertifizierungen auf der Basis neuer und aktualisierter Versionen der heute verfügbaren sowie der in Entwicklung befindlichen cPPs evaluieren und weiter vorantreiben.

Commercial Solutions for Classified (CSfC)

Sofern möglich hat Apple auch die iOS-Plattform und verschiedene Dienste zur Aufnahme in die Komponentenliste des CSfC-Programms (Commercial Solutions for Classified) eingereicht. Plattformen und Dienste von Apple, die im Rahmen des CCC-Programms geprüft werden, werden immer auch in die Liste der Komponenten für das CSfC-Programm aufgenommen.

Die kürzlich aufgelisteten Komponenten befinden sich unter:
https://www.nsa.gov/resources/everyone/csfc/components-list/

Handbücher zur Sicherheitskonfiguration

Apple hat in Zusammenarbeit mit Regierungsvertretern und staatlichen Behörden weltweit Handbücher erarbeitet, die unter dem Stichwort „Device Hardening for High-Risk Environments“ Anleitungen und Empfehlungen dafür enthalten, wie die Sicherheit einer Umgebung verbessert werden kann. Diese Handbücher enthalten sorgsam definierte und geprüfte Informationen darüber, wie integrierte Funktionen in iOS im Interesse eines verbesserten Schutzes und mehr Sicherheit konfiguriert und genutzt werden sollten und können.

Apple Security Bounty

Personen, die Apple auf kritische Probleme hinweisen, erhalten von Apple eine Belohnung. Diese Personen müssen durch einen eindeutigen Bericht und einen stichhaltigen Wirksamkeitsnachweis belegen, dass sie Anspruch auf eine solche Belohnung haben. Die gefundene Sicherheitslücke muss die aktuell ausgelieferte iOS-Version betreffen sowie die neueste Hardware, sofern relevant. Die Höhe der Zahlung wird nach der Prüfung durch Apple festgelegt. Zu den Kriterien gehören Erstmelder der Sicherheitslücke, Neuheit, Entdeckungswahrscheinlichkeit und Grad der erforderlichen Benutzerinteraktion.

Nach Erhalt entsprechender Informationen hat es für Apple oberste Priorität, bestätigte Probleme so schnell wie möglich zu lösen. Apple gewährt den betreffenden Personen dann öffentliche Anerkennung, sofern diese nichts anderes beantragt haben.

Kategorie	Maximale Zahlung (USD)
Sichere Boot-Firmware-Komponenten	200.000 US-Dollar
Extrahieren vertraulicher, durch die Secure Enclave geschützter Materialien	100.000 US-Dollar
Ausführen von beliebigem Code mit Kernel-Rechten	50.000 US-Dollar
Unbefugter Zugriff auf iCloud-Accountdaten auf Apple-Servern	50.000 US-Dollar
Zugriff über einen Sandbox-Prozess auf Benutzerdaten außerhalb dieser Sandbox	25.000 US-Dollar

Apple spendet die Prämienzahlung an Wohltätigkeitsorganisationen.

Weitere Informationen zur Meldung von Fehlern an Apple unter:
https://developer.apple.com/bug-reporting/

Fazit

Der Sicherheit verpflichtet

Mit führenden Technologien für Datenschutz und Sicherheit, die dafür entwickelt wurden, persönliche Daten zu schützen, und umfassenden Methoden zur Datensicherheit in Unternehmensumgebungen fördert Apple den Schutz seiner Kunden besonders stark.

Die Sicherheit ist integraler Bestandteil von iOS. Von der Plattform über das Netzwerk bis zu den Apps findet jedes Unternehmen alles auf der iOS-Plattform, was es braucht. Dank dieser Kombination bietet iOS branchenführende Sicherheit, ohne dass die Benutzerfreundlichkeit dadurch beeinträchtigt wird.

Apple verwendet eine konsistente, fest integrierte Sicherheitsinfrastruktur für iOS und das iOS-Apps-Ökosystem. Mit der hardwarebasierten Speicherverschlüsselung kann ein verlorenes Gerät per Fernzugriff gelöscht werden und Benutzer können alle persönlichen und Unternehmensdaten vollständig von einem Gerät löschen, das verkauft oder übertragen werden soll. Die Diagnosedaten werden ebenfalls anonym gesammelt.

Apple legt bei der Entwicklung seiner Apps für iOS besonderes Augenmerk auf die Sicherheit. iMessage und FaceTime bieten beispielsweise eine Verschlüsselung zwischen den Clients. Bei Apps von Drittanbietern wird über eine Kombination aus obligatorischer Codesignierung, Sandbox und Berechtigungen dafür gesorgt, dass der Benutzer vollständig vor Viren, Malware und anderen Gefahren geschützt ist. Das Einreichverfahren für den App Store schützt Benutzer zusätzlich vor diesen Gefahren, da jede iOS-App vor der Aufnahme sorgfältig geprüft wird.

Um die umfassenden Sicherheitsfunktionen von iOS optimal nutzen zu können, sollten Unternehmen ihre Richtlinien für IT und Sicherheit überprüfen, damit alle Ebenen der Sicherheitstechnologien dieser Plattform zum Einsatz kommen.

Apple verfügt über ein eigenes Sicherheitsteam für alle Apple-Produkte. Dieses Team führt Sicherheitsprüfungen für Produkte in der Entwicklung sowie für auf dem Markt befindliche Produkte durch. Das Apple-Team stellt auch Sicherheitstools und Schulungen bereit und überwacht aktiv Berichte zu neuen Sicherheitslücken und Bedrohungen. Apple ist Mitglied bei FIRST (Forum of Incident Response und Security Teams).

Weitere Informationen, wie Problemberichte an Apple gesendet und Sicherheitsmitteilungen abonniert werden können, unter: https://www.apple.com/de/support/security

Glossar

Apple Identity Service (IDS)	Apple-Verzeichnis der öffentlichen iMessage-Schlüssel, APNS-Adressen, Telefonnummern und E-Mail-Adressen, die zur Überprüfung von Schlüsseln und Geräteadressen verwendet werden.
Apple Push-Benachrichtigungs-dienst (APNS)	Ein globaler Dienst von Apple, der Push-Benachrichtigungen an iOS-Geräte sendet.
Bereitstellungsprofil	Von Apple signierte plist, die Entitäten und Berechtigungen enthält, mit denen Apps auf einem iOS-Gerät installiert und geprüft werden können. Ein Entwicklerbereitstellungsprofil führt alle Geräte auf, die der Entwickler für die Ad-Hoc-Verteilung ausgewählt hat, und ein Verteilungsbereitstellungsprofil enthält die App-ID für firmeninterne Apps.
Boot Progress Register (BPR)	Eine Reihe von SoC-Hardwaremarkierungen, die von der Software verwendet werden können, um die Startmodi zu verfolgen, in denen sich das Gerät befindet, etwa im DFU-Modus und Wiederherstellungsmodus. Nachdem eine BPR-Markierung gesetzt wurde, kann sie nicht mehr entfernt werden. Hierdurch erhält spätere Software einen vertrauenswürdigen Indikator für den Status des Systems.
Boot-ROM	Der erste Code, den der Prozessor des Geräts am Beginn des Startvorgangs ausführt. Als integraler Bestandteil des Prozessors kann er weder von Apple noch von einem Angreifer modifiziert werden.
Dateisystemschlüssel	Der Schlüssel, mit dem die Metadaten jeder Datei, einschließlich des Klassenschlüssels, verschlüsselt werden. Wird im Effaceable Storage gespeichert und ermöglicht eine schnelle Löschung und dient weniger der Vertraulichkeit.
Datensicherheit	Schutzmechanismen für Dateien und Schlüsselbundobjekte in iOS. Kann sich auch auf APIs beziehen, die Apps zum Schutz von Dateien und Schlüsselbundobjekten verwenden.
DFU-Modus (Device Firmware Upgrade)	Modus, bei dem der Boot-ROM des Geräts darauf wartet, über USB wieder-hergestellt zu werden. Der Bildschirm bleibt im DFU-Modus schwarz, bis eine Verbindung zu einem Computer mit iTunes hergestellt wird. Daraufhin wird die folgende Eingabeaufforderung angezeigt: „iTunes hat ein iPad im Wiederherstellungsmodus erkannt. Dieses iPad muss wiederhergestellt werden, bevor es mit iTunes verwendet werden kann.“
ECDSA	Ein Algorithmus für digitale Signaturen, der auf der Verschlüsselung mit elliptischen Kurven basiert.
Effaceable Storage (Auslöschbarer Speicher)	Ein bestimmter Bereich des NAND-Speichers, in dem kryptografische Schlüssel gespeichert werden und der direkt abgerufen und sicher gelöscht werden kann. Zwar bietet er keinen Schutz, wenn ein Angreifer direkt auf das Gerät zugreifen kann, die Schlüssel im Effaceable Storage können aber als Teil einer Schlüsselhierarchie verwendet werden und so eine schnelle Löschung und Forward Secrecy ermöglichen.
Elliptic Curve Diffie-Hellman Exchange (ECDHE)	Elliptic Curve Diffie-Hellman Exchange mit temporären Schlüsseln. ECDHE ermöglicht es zwei Parteien, einen geheimen Schlüssel so zu vereinbaren, dass Unbefugte, die Nachrichten zwischen zwei Parteien abfangen, diesen Schlüssel nicht entdecken.
Exclusive Chip Identification (ECID)	Eine eindeutige 64-Bit-Kennung für jeden Prozessor eines iOS-Geräts. Wird ein Anruf auf einem Gerät entgegengenommen, wird das Klingeln von über iCloud gekoppelten Geräten in der Nähe durch eine kurze Ankündigung via Bluetooth Low Energy 4.0 beendet. Die Ankündigungsbytes werden mit derselben Methode wie Handoff-Ankündigungen verschlüsselt. Wird für die Personalisierung verwendet und ist nicht geheim.

Gerätegruppen-ID (GID)	Ähnlich der UID, aber für alle Prozessoren einer Klasse identisch.
Hardwaresicherheitsmodule (HSM)	Spezieller manipulationssicherer Computer, der digitale Schlüssel schützt und verwaltet.
iBoot	Code, der im Rahmen des sicheren Startvorgangs XNU lädt. Abhängig von der SoC-Generation kann iBoot von LLB oder direkt vom Boot-ROM geladen werden.
Integrierter Schaltkreis (IC)	Auch als Mikrochip bezeichnet.
Joint Test Action Group (JTAG)	Standardwerkzeug für Hardwaredebugging, das von Programmierern und Schaltkreisentwicklern verwendet wird.
Keybag	Eine Datenstruktur, die zum Speichern von Klassenschlüsselsammlungen verwendet wird. Alle Keybag-Arten (User, Device, Backup, Escrow oder iCloud Backup) besitzen dasselbe Format: • Ein Header mit: – Version (in iOS 5 auf 3 eingestellt) – Typ (System, Backup, Escrow oder iCloud Backup) – Keybag UUID – HMAC bei signierten Keybags – Die für die Klassenschlüssel verwendete Verpackungsmethode: Verknüpfung mit der UID oder PBKDF2, zusammen mit Salt und Iterationen. • Eine Liste der Klassenschlüssel: – Schlüssel UUID – Klasse (Datensicherheitsklasse der Datei bzw. des Schlüsselbunds) – Verpackungsart (nur von UID abgeleiteter Schlüssel; von UID abgeleiteter Schlüssel und von Code abgeleiteter Schlüssel) – Verpackter Klassenschlüssel – Öffentlicher Schlüssel für asymmetrische Klassen
Key-Wrapping	Verschlüsseln eines Schlüssels mit einem anderen Schlüssel. iOS verwendet die Verschlüsselungsmethode NIST AES Key Wrapping in Übereinstimmung mit RFC 3394.
Low-Level Bootloader (LLB)	Code, der auf Systemen mit einer zweiphasigen Boot-Architektur im Rahmen des sicheren Startvorgangs vom Boot-ROM abgerufen wird und selbst iBoot lädt.
Pro Datei erzeugter Schlüssel	Der AES-256-Bit-Schlüssel, mit dem eine Datei im Dateisystem verschlüsselt wird. Der pro Datei erzeugte Schlüssel wird mit einem Klassenschlüssel verpackt und in den Metadaten der Datei gespeichert.
Ridge Flow Angle Mapping	Mathematische Darstellung der Ausrichtung und Breite der aus einem Fingerabdruck extrahierten Papillarleisten.
Schlüsselbund	Infrastruktur und eine Sammlung an APIs, die iOS und Apps anderer Anbieter nutzen, um Passwörter, Schlüssel und andere vertrauliche Anmeldedaten zu sichern und abzurufen.
Software-Seed-Bits	Dedizierte Bits in der AES-Engine der Secure Enclave, die an die UID angefügt werden, wenn von der UID Schlüssel generiert werden. Jedes Software-Seed-Bit verfügt über ein entsprechendes Sperrbit. Boot-ROM und OS der Secure Enclave können den Wert jedes Software-Seed-Bits unabhängig ändern, sofern nicht das zugehörige Sperrbit gesetzt wurde. Wurde das Sperrbit gesetzt, können weder das Software-Seed-Bit noch das Sperrbit geändert werden. Die Software-Seed-Bits und die zugehörigen Sperrbits werden zurückgesetzt, wenn die Secure Enclave neu gestartet wird.
Speichercontroller	Das Subsystem im SoC, das die Schnittstelle zwischen dem SoC und seinem Hauptspeicher steuert.
Speicherverwürfelung (Address Space Layout Randomization, ASLR)	Von iOS verwendete Technik, die das erfolgreiche Ausnutzen von Softwarebugs erschwert. Da Speicheradressen und Segmentierung nicht vorhergesagt werden können, kann Exploit-Code diese Werte nicht hart codieren. Ab iOS 5 ist die Position aller Apps und Bibliotheken des Systems zufällig, ebenso die von Apps anderer Anbieter, die als positionsunabhängige ausführbare Dateien kompiliert wurden.

System-Coprozessor-Integritäts-schutz (SCIP)	System-Coprozessoren sind CPUs, die sich auf demselben SoC wie der Anwendungsprozessor befinden.
System on a Chip (SoC)	Integrierter Schaltkreis (IC), der mehrere Komponenten in einem einzigen Chip zusammenfasst. Der Anwendungsprozessor, Secure Enclave und andere Coprozessoren sind Komponenten des SoC.
Uniform Resource Identifier (URI)	Eine Zeichenkette, mit der webbasierte Ressourcen identifiziert werden können.
Unique ID (UID)	Ein AES 256-Bit-Schlüssel, der bei der Fertigung in den Prozessor eingebrannt wird. Er kann weder von der Firmware noch von Software gelesen werden und wird nur von der AES-Engine der Prozessorhardware verwendet. Um den eigentlichen Schlüssel zu erhalten, müsste ein potenzieller Angreifer einen extrem komplexen und kostenintensiven physischen Angriff auf das Prozessorsilizium ausführen. Die UID ist mit keiner anderen Kennung des Geräts, einschließlich der UDID, verbunden.
Verknüpfung	Verfahren, mit dem der Code eines Benutzers in einen kryptografischen Schlüssel konvertiert wird, der mit der UID des Geräts zusätzlich gesichert wird. Dadurch müssen Brute-Force-Angriffe auf dem jeweiligen Gerät durchgeführt werden, sodass sie nicht von mehreren Geräten gleichzeitig ausgeführt werden können. Für die Verknüpfung wird der Algorithmus PBKDF2 benutzt, der AES mit der UID des Geräts als pseudozufällige Funktion (PRF) für jede Iteration verwendet.
Wiederherstellungsmodus	Der Wiederherstellungsmodus wird zur Wiederherstellung eines iOS-Geräts oder Apple TV verwendet, wenn: • iTunes dein Gerät nicht erkennt oder behauptet im Wiederherstellungsmodus zu sein. • der Bildschirm für mehrere Minuten nur das Apple-Logo und keinen Fortschrittsbalken anzeigt. • der Bildschirm für die Verbindung zu iTunes angezeigt wird.
XNU	Der Kernel im Zentrum der Betriebssysteme iOS und macOS. Er wird als vertrauenswürdig eingestuft und setzt Sicherheitsmaßnahmen wie Codesignierung, Sandbox, Überprüfen von Berechtigungen und ASLR durch.

Dokumentrevisionen

Datum	Zusammenfassung
Mai 2019	**Aktualisiert für iOS 12.3** • Unterstützung für TLS 1.3 • Überarbeitete Beschreibung der Sicherheit bei AirDrop • DFU- und Wiederherstellungsmodus • Codeanforderungen für Zubehörverbindungen
November 2018	**Aktualisiert für iOS 12.1** • FaceTime-Gruppe
September 2018	**Aktualisiert für iOS 12** • Secure Enclave • OS-Integritätsschutz • Express-Karten mit Energiereserve • DFU- und Wiederherstellungsmodus • HomeKit TV Remote-Zubehör • Kontaktlose Ausweise • Studentenausweise • Siri-Vorschläge • Kurzbefehle in Siri • App „Kurzbefehle“ • Verwaltung von Benutzerpasswörtern • Bildschirmzeit • Sicherheitszertifizierungen und -programme
Juli 2018	**Aktualisiert für iOS 11.4** • Biometrische Richtlinien • HomeKit • Apple Pay • Geschäftschat • Nachrichten in iCloud • Apple Business Manager
Dezember 2017	**Aktualisiert für iOS 11.2** • Apple Pay Cash **Aktualisiert für iOS 11.1** • Sicherheitszertifizierungen und -programme • Touch ID/Face ID • Geteilte Notizen • End-to-End-Verschlüsselung in CloudKit • TLS • Apple Pay, Mit Apple Pay im Web zahlen • Siri-Vorschläge • Geteiltes iPad

Datum	Zusammenfassung
Juli 2017	**Aktualisiert für iOS 10.3** • System Enclave • Sicherheit von Dateidaten • Keybags • Sicherheitszertifizierungen und -programme • SiriKit • HealthKit • Netzwerksicherheit • Bluetooth • Geteiltes iPad • Modus „Verloren“ • Aktivierungssperre • Datenschutzeinstellungen
März 2017	**Aktualisiert für iOS 10** • Systemsicherheit • Datensicherheitsklassen • Sicherheitszertifizierungen und -programme • HomeKit, ReplayKit, SiriKit • Apple Watch • WLAN, VPN • Single-Sign-On • Apple Pay, Mit Apple Pay im Web zahlen • Bereitstellung von Kredit-, Debit- und Prepaid-Karten • Safari-Vorschläge
Mai 2016	**Aktualisiert für iOS 9.3** • Verwaltete Apple-ID • Zwei-Faktor-Authentifizierung für Apple-IDs • Keybags • Sicherheitszertifizierungen • Modus „Verloren“, Aktivierungssperre • Geschützte Notizen • Apple School Manager, Geteiltes iPad

Datum	Zusammenfassung
September 2015	**Aktualisiert für iOS 9** • Aktivierungssperre für Apple Watch • Coderichtlinien • API-Unterstützung für Touch ID • Datenschutz bei A8 per AES-XTS • Keybags für unbeaufsichtigte Softwareaktualisierungen • Aktualisierungen für Zertifizierung • Modell der Vertrauenswürdigkeit von Unternehmens-Apps • Datenschutz für Safari-Lesezeichen • Transportsicherheit für Apps • VPN-Spezifikation • iCloud Remote-Zugriff für HomeKit • Kunden-/Bonuskarten für Apple Pay, App des Kartenausstellers für Apple Pay • Gerätebasierte Indexierung für Spotlight • iOS-Kopplungsmodell • Apple Configurator 2 • Einschränkungen

Mai 2019