

Sicherheit in verteilten Systemen

Benita Dietrich¹, Paul Finkbeiner²

Abstract: Der vorliegende Tagungsbericht gibt einen Überblick über die Sicherheitsmechanismen, die bei dem Aufbau und der Verwendung von verteilten Systemen beachtet werden müssen. Dabei wird zu Beginn der Arbeit eine Einführung in die verteilten Systeme gegeben. Mithilfe von Angriffen auf verteilte IT-Systeme aus der Vergangenheit, kann die Wichtigkeit der unterschiedlichen Sicherheitsmechanismen dargestellt und die Schutzziele benannt werden. Ein besonderer Schwerpunkt des Berichtes stellt die Definition und Bewertung von Sicherheitskonzepten und -diensten dar. Eine Implementierung der Sicherheitsdienste wird exemplarisch in Form eines Systems entwickelt. Der Bericht soll Informationen über verteilte Systeme und die Implementierung von Mechanismen, die diese Systeme gegenüber Angreifern sicherer machen, praxisnah darstellen.

Keywords: IT-Sicherheit, Verteilte Systeme, Software Engineering, Softwarearchitekturen, Grid Security Infrastructure, Community Authorization Service, Firewall, Angriffe, NGINX

1 Einleitung

In der Vergangenheit kam es bei großen Unternehmen wie Facebook, Microsoft, Visa- und MasterCard zum Teil mehrmals zu einer Entwendung von Kundendaten. Durch Attacken wie Buffer Overflows, Viren oder andere Angriffsvektoren werden Maschinen und Benutzer auf der ganzen Welt bedroht. Die Entwicklung des Internets legte ein besonderes Augenmerk auf den Bereich der Netzwerksicherheit. Trotz vieler Bemühungen von IT-Sicherheitsexperten und dem Vorhandensein leistungsfähiger Sicherheitsprotokolle und kryptografischen Modulen kann ein vollständig sicheres System immer noch nicht gewährleistet werden. Oftmals ist in dem Zusammenhang mit Daten Leaks nicht unbedingt die Kommunikation zwischen Client und Server, sondern die eigentliche Software am Datenverlust maßgeblich beteiligt. Die Gründe für das Schreiben unsicherer Software liegen oftmals an der mangelnden Wahrnehmung von Fehlern seitens der Softwareentwickler oder der mangelnden Verwendung von konkreten Mustern (Patterns) zur Lösung von Sicherheitsproblemen. In der Software Entwicklung wird oftmals durch Frameworks bereits zur Entwicklungszeit die Möglichkeit mitgeliefert bestimmte Sicherheitsmechanismen zu verwenden. Der Entwickler hat die Aufgabe diese zu verstehen und richtig einsetzen zu können. Ein deutlicher Trend ist momentan im Autonomisierungsbereich zu beobachten. Mit dem steigenden Einsatz von Software in z.B. Haushaltsgeräten wird sich das Thema Sicherheit noch verschärfen.

¹ DHBW Stuttgart Campus Horb, Florianstraße 15, 72160 Horb am Neckar, Deutschland

² DHBW Stuttgart Campus Horb, Florianstraße 15, 72160 Horb am Neckar, Deutschland

Um grundlegendes Verständnis zu erlangen sind zunächst die grundlegenden Definitionen von verteilten Systemen und Sicherheit notwendig.

1.1 Einführung in verteilte Systeme

Für den Begriff „verteilte Systeme“ liegt keine eindeutige Definition vor. Verschiedene Autoren definieren den Begriff der verteilten Systeme leicht unterschiedlich. Nach A. Tanenbaum aus dem Jahre 2003 ist ein verteiltes System eine Menge voneinander unabhängiger Computer, die dem Benutzer wie ein einzelnes kohärentes System erscheinen [Ma09]. Jeder Baustein kann seine Instanz auf unterschiedlichen oder aber auch auf dem gleichen Rechner haben. Die Systeme stellen je eigene Prozesse dar, die keinen gemeinsamen Speicher haben und so autonom agieren können. Besonders wichtig ist die Koordinierung der Systeme und die Kommunikation zwischen ihnen.

In den meisten Quellen wird unter dem Begriff verteiltes System ein verteiltes Anwendungssystem verstanden. Dies ist ein Softwaresystem, das das Prinzip der verteilten Systeme nutzt um ein Problem aus dem Bereich der elektronischen Datenverarbeitung zu lösen. Es gibt jedoch einige weitere Klassen von verteilten Systemen. Eine konkrete Einteilung ist noch nicht gegeben, sodass mehrere Autoren unterschiedliche Klassifizierungsarten verfolgen. Die am häufigsten verwendete Klassifizierung ist die von A. Tanenbaum. Er unterteilt die verteilten Systeme in drei Klassen. Zunächst nennt er die verteilten Computersysteme. Hierzu gehören Systeme wie Cloud- oder Grid-Computing. Dies sind jeweils Rechnersysteme die über LAN miteinander verbunden sind und gemeinsam eine verteilte Anwendung unterstützen [Ma09]. Weiterhin nennt Tanenbaum verteilte Informationssysteme. Informationssysteme dienen hauptsächlich der Regelung von betriebsinternen und -externen Prozessen, die dem Austausch von Informationen dienen [LSS] Hierunter werden auch die Anwendungssysteme eingeordnet. Als konkrete Beispiele lassen sich elektronische Bibliotheken oder Reisebuchungssysteme nennen. Zuletzt gibt es verteilte pervasive Systeme. Hierunter werden kleine, batteriegetriebene oder auch mobile verteilte Systeme eingeordnet [Mandl.2009].

Die verteilten Systeme schneiden neben der Informatik viele weitere Anwendungsdomänen an. Für das Finanz- und Vertriebswesen lassen sich eCommerce wie PayPal oder Ebay auflisten. Im Bereich Vertrieb und Logistik spielen heutzutage Navigationssysteme wie Google Maps eine große Rolle. Auch im Gesundheitswesen sind verteilte Systeme nicht mehr wegzudenken. Sie dienen unter anderem der Überwachung der Lebensfunktionalitäten von Patienten. Besonders in Zukunft werden verteilte Systeme für erneuerbare Energien, beispielsweise Windkraftwerke, außerordentlich wichtig sein. [o]

Allgemein gibt es für verteilte Systeme jedoch einige Vorteile gegenüber herkömmlichen Systemen. Die Autonomie der Systeme bedingt eine verbesserte Ausfallsicherheit. Fällt ein System aus, so sind die anderen Systeme hiervon nicht betroffen und können problemlos weiterarbeiten. Die Skalierbarkeit und Lastverteilung stellen einen weiteren

Vorteil dar. Skalierbarkeit bedeutet, dass die Last auf die einzelnen Komponenten verteilt, sodass kürzere Lade- und Antwortzeiten erreicht werden. Größere rechenintensive Prozesse werden auf leistungstarker Hardware ausgeführt, kleinere Prozesse auf schwächerer Hardware. Um das System zu ergänzen können problemlos weitere Systeme oder Komponenten hinzugefügt werden. Die daraus erfolgende Flexibilität kommt der Anpassung an Anforderungen zu Gute. Das System kann nach Belieben geändert werden und auf Änderungen in den Systemanforderungen schnell agieren. Zudem können Funktionalitäten des Systems auf mehrere Entwicklungsteams aufgeteilt werden. Jedes Team kann autonom voneinander arbeiten. Dies stellt einen schnellen und effizienten Entwicklungsprozess sicher. Die entstehenden Teile hinter dem gesamten System kann dem Nutzer verborgen werden [Ma09]. Dies bezeichnet man als Verteilungstransparenz. So sieht der Nutzer lediglich die Anwendung kennt aber keine genauen Hintergrundprozesse oder auftretende Fehler in einem Teilsystem [Ma09].

Jedoch gibt es auch einige Nachteile die mit der Verwendung von verteilten Systemen auftreten können. Es können viele Abhängigkeiten zwischen Teilkomponenten entstehen, die sogar einen Single-Point-of-Failure (SPOF) entstehen lassen können. Unter einem SPOF versteht man eine Komponente, deren Ausfall den Ausfall des kompletten Systems mit sich zieht. Weiterhin kann es zu Problemen in der Homogenität der Gesamtanwendung kommen. Dies entsteht durch Verwendung verschiedener Programmiersprachen oder unterschiedlichen Oberflächen Designs in den Teilsystemen. Weiterhin kann es zu Problemen in der Sicherheit kommen, die im nachfolgenden Abschnitt näher erläutert werden.

1.2 Sicherheit

In diesem Abschnitt wird genauer auf den Sachverhalt eingegangen welche Gefahren IT-Systemen drohen. IT-Sicherheit ist ein Teil der Informationssicherheit und befasst sich mit der Planung, Maßnahmen und Kontrollen, die dem Schutz der IT dienen. Sie reicht dabei vom Schutz einzelner Dateien bis hin zur Absicherung von Rechenzentren und Cloud-Diensten [SSa]. Dieser Abschnitt ist in die vier Teilbereiche der IT-Sicherheit gegliedert und erklärt diese.

Schutz von Informationen und IT-Systemen Das auch als „Endpoint Security“ bezeichnete Grundkonzept der IT-Sicherheit befasst sich mit dem Durchführen organisatorischer Maßnahmen, die den unbefugten Zugriff auf Geräte verhindern soll. Die genaue Art der Geräte spielt dabei keine Rolle es kann sich um Notebooks, Tablets, PCs oder andere Geräte handeln. Geschützt werden die Endgeräte vor verschiedenen Arten von Schadsoftware oder vor unbefugten Systemzugriffen. Besonders durch Trends in der Unternehmenskultur, wie beispielsweise „Bring your own device“, gewinnt der Schutz der firmeneigenen IT-Systeme immer mehr Bedeutung. Im Bereich der Endgerätsicherheit haben sich einige Maßnahmen wie Malware-Schutz, Anwendungsisolation, URL-Filter und Client-Firewalls heraus gezeichnet. [LS]

Durch die umfassenden Schutzmaßnahmen in diesem Bereich der IT-Sicherheit kann ein Großteil von Sicherheitsrisiken bereits gelöst werden. Ebenfalls ist durch den Schutz der Endgeräte durch Sicherheitsmechanismen wie Firewalls zusätzlich zu den Anwendungen auch das Betriebssystem des Gerätes geschützt.

Schutz von Vernetzungen Netzwerkinfrastrukturen erstrecken sich heutzutage meistens über mehrere Geräte und Anwendungen hinaus. Der Schutz dieser Netzwerke wird allgemein auch als Netzwerksicherheit bezeichnet. Besonders im Zusammenhang mit verteilten Systemen muss auf diesem Punkt besonders Wert gelegt werden. Es gilt die Systeme mit Verbindung ins Internet von Cyber-Bedrohungen abzusichern. Hierbei besteht das Ziel technische und organisatorische Maßnahmen so durchzuführen, dass die Integrität und Verfügbarkeit von Daten innerhalb eines Netzwerks und somit auch eines verteilten Systems stets gewährleistet werden. Innerhalb eines Netzwerkes hat sich eine Vielzahl an Techniken bereits etabliert. Zentraler Bestandteil für eine sichere Kommunikation eines Netzwerks stellt dabei die Firewall dar. Firewalls kontrollieren den Datenfluss zwischen den Netzwerken, insbesondere zwischen dem Firmennetzwerk und dem Internet. Eine genauere Erläuterung der Schutzmaßnahmen und möglichen Angriffsvektoren im Zusammenhang mit der Vernetzung von mehreren Systemen wird zum späteren Zeitpunkt noch einmal genauer erläutert [SSb].

Schutz des Benutzers Der Anwender selbst ist auch Bestandteil der IT-Sicherheit. Es muss von Beginn an festgelegt werden welcher Benutzer auf welches System zugreifen darf. Das Festlegen solcher Richtlinien wird als „Identity- und Access Management“ bezeichnet und regelt die zentrale Verwaltung von Identitäten und Zugriffsrechten auf unterschiedlichen Systemen und Applikationen. Für die Erteilung von Zugriffsrechten muss sich ein Benutzer authentifizieren und autorisieren. Die Authentifizierung bezeichnet einen Prozess, bei dem der Benutzer seine Identität gegenüber des Systems mithilfe von Benutzerdaten bestätigen muss. Das System kann nun annehmen, dass der Benutzer derjenige ist für den er sich ausgibt. Die Autorisierung wird anschließend durchgeführt um die Systeme und Ressourcen festzulegen auf die der Benutzer Zugriff erhält. Das Identity- und Access Management hat die Aufgabe für eine Vereinfachung und Automatisierung der Prozesse zu sorgen.

Verhinderung von Schwachstellen Die meisten Bedrohungen in modernen IT-Systemen bestehen durch das Vorhandensein von Schwachstellen. Eine Aufgabe oder Teilbereich der IT-Sicherheit sollte also auch das Aufspüren und Schließen von Sicherheitslücken sein. Oft treten solche Sicherheitslücken in Software auf, wenn ein Benutzer auf unautorisierte Bereiche Zugriff erhält. Bei der eingesetzten Software muss durch Netzwerkadministratoren und Anwendungsbetreuer immer darauf geachtet werden, dass die Software zu jeder Zeit auf dem aktuellsten Stand ist.

Die Teilbereiche der IT-Sicherheit geben einen Eindruck welche Komponenten zu schützen

sind. Die Quelle von Angriffen ist aber meistens noch wichtiger als das eigentliche Schutzziel. Aus diesem Grund wird eine genauere Betrachtung dahingehend erläutert, vor wem ein Schutz überhaupt notwendig ist.

Das erste Bild das bei dem Gedanken eines Angreifers im IT-Umfeld entsteht, ist das Bild des Hackers. Allerdings sind diese meist nur ein Teil der Gefahren die auf IT-Systeme drohen. Auf IT-Systeme wirken die Naturgesetze. Komponenten mit mechanischen Komponenten wie bspw. Festplatten oder Laufwerke sind besonders anfällig für Verschleiß. Ebenso wie die Wirkung der Naturgesetze stellen auch Naturkatastrophen eine Gefahr für IT-Systeme dar. In Firmen wird heutzutage bereits bei der Planung von IT-Infrastrukturen jede mögliche Eventualität bedacht und im Vorfeld auf Redundanz geachtet. Tritt so bspw. ein Feuer aus gibt es einen Rohrbruch oder eine Überschwemmung sollte eine Unterbrechungsfreie Redundanz der IT-Systeme weiterhin gewährleistet werden.

Im Gegensatz zu natürlichen Ursachen kann auch der Mensch durch Unfähigkeit oder Nachlässigkeit eine Gefahr der IT-Sicherheit darstellen. Umso wichtiger ist es die Richtlinien für den Zugang an ein IT-System so granular wie möglich zu distanzieren Abschnitt 1.2. Auch andere IT-Systeme können die Sicherheit verbundener IT-Systeme gefährden. Angenommen eine Person mit schlechter Intention versucht einen Zugang zu möglichst vielen IT-Systemen eines Netzwerks zu erlangen. Wenn es ihm gelingt eine Schwachstelle eines Systems zu erlangen erhält dieser die Möglichkeit trotz Firewallrichtlinien, einen Zugang auf alle weiteren Systeme zu erhalten, zu denen entsprechende Richtlinien in der Firewall festgelegt wurden. Dieses Verhalten wird heutzutage meist durch die Schadsoftwareart des „Computerwurms“ realisiert. Nachdem dieser auf einem IT-System ausgeführt wurde hat es das Bestreben sich selbst, bspw. über das Netzwerk, zu vervielfältigen.

2 Sicherheitslücken

Damit ein verteiltes System möglichst sicher gestaltet werden kann, ist eine konkrete Systemanalyse notwendig. Die Analyse deckt Sicherheitslücken auf und evaluiert welche Angriffe auf welche Systemteile vorgenommen werden könnten. Um hierfür näheres Verständnis zu erlangen, werden zunächst mögliche Angriffe auf verteilte Systeme definiert und daraus Anforderungen abgeleitet.

2.1 Angriffe

Informationstechnische Systeme werden heute kaum vollständig isoliert eingesetzt. Das beste Beispiel dafür sind verteilte Systeme. Die Kommunikation zwischen den Systemen findet dabei über lokale und globale Netze statt. Dabei wird die globale Vernetzung oft von Tätern für schädliche Aktivitäten missbraucht. Die Motivation hinter einer solchen Aktivität ist häufig Geld, Sabotage, Einflussnahme oder Informationsbeschaffung. Eine genaue Einteilung der Bedrohungen und der dazugehörigen Schutzziele für Systeme in der Informationstechnik sieht so aus [BA10]:

Bedrohungen	Schutzziele
Unbefugter Informationsgewinn	Verlust der Vertraulichkeit
Unbefugte Modifikation von Informationen	Verlust der Integrität
Unbefugte Beeinträchtigung der Funktionalität	Verlust der Verfügbarkeit

Die konkrete Definition der Schutzziele wird in Abschnitt 3 näher erläutert. Bei dem Aufbau eines verteilten Systems sollte darauf geachtet werden die Ziele aufrecht zu erhalten. Zur besseren Beurteilung und Abwehr von Angriffen teilt man diese in verschiedene Kategorien ein, die jeweils ein Abweichen vom normalen Datenfluss anzeigen.

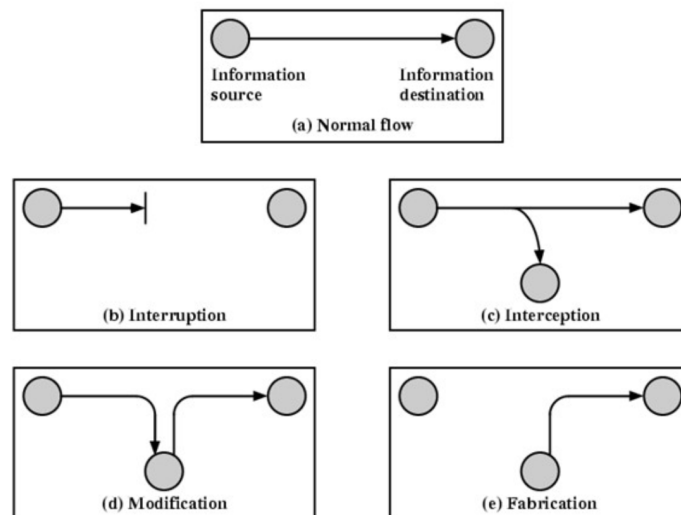


Abb. 1: Übersicht über Angriffe

Unterbrechungen Von einer Unterbrechung wird immer dann gesprochen, wenn ein Bestandteil des IT-Systems zerstört oder unbrauchbar gemacht wird. Die Angriffe zielen darauf ab die Verfügbarkeit des betroffenen IT-Systems zu schwächen.

Abfangen Die oft als „Man-in-the-middle“ Angriffe bezeichneten Attacken sind dieser Kategorie zuzuweisen. Ein nicht berechtigter Benutzer versucht die Vertraulichkeit des IT-Systems zu kompromittieren.

Modifikation Von einer Modifikation spricht man immer dann, wenn ein Angreifer Zugriff auf einen Systemteil gewinnt und auf diesem Daten manipuliert. Diese Angriffsart zielt darauf ab die Integrität der Daten zu gefährden.

Fälschung Wenn ein Dritter gefälschte Objekte in eine System einschleust spricht man von einer Fälschung. Die Fälschung kompromittiert die Authentizität der Daten. Ein Beispiel hierfür wäre sogar bereits die Urkundenfälschung auf einem Computersystem.

Bei der folgenden Betrachtung von Angriffen auf verteilte Systeme werden die Angriffe jeweils einer der aufgeführten Kategorien zugeordnet.

Der bisher wohl bekannteste Cyber-Angriff wurde 2017 in Form der Ransomware „WannaCry“ bekannt. Mithilfe einer Schwachstelle konnte eine Hackergruppe einen sogenannten Kryptotrojaner über das Netzwerk auf sehr viele IT-Systeme verteilen. Besonders interessant in dem Zusammenhang mit verteilten Systemen ist das Vorgehen des Trojaners in Unternehmen und Institutionen wie Krankenhäusern. In einigen Krankenhäusern wurden alle Geräte, einschließlich medizinisches Equipment von der Schadsoftware verschlüsselt. Die Art der Implementierung des Exploits unterschied sich insofern von anderen Verschlüsselungsprogrammen, dass der Benutzer keinen Fehler machen musste, um betroffen zu sein. Der Virus wurde weder durch einen Word Macro noch einen verdächtigen Link auf den Computer übertragen. Besonders bei großen Unternehmen ohne die nötigen Sicherheitsmaßnahmen wurde großer Schaden angerichtet. Teilweise musste bei solchen Fällen die Produktion gestoppt werden, was zu einem enormen wirtschaftlichen Schaden geführt hat. Ein solcher Angriff zielt auf die Kompromittierung der Verfügbarkeit und Integrität der Daten des Zielsystems ab und sorgt somit für eine Unterbrechung- und Modifikation des normalen Datenflusses.

Ein ebenfalls sehr bekanntes Beispiel für einen Cyber-Angriff ist die Malware „Stuxnet“. Das Ziel des Angriffs war es die Leittechnik zur Urananreicherung im Iran außer Kraft zu setzen. Dem Wurm war es möglich sich über USB-Sticks unbemerkt sogar auf Computersysteme ohne Internetzugang auszubreiten. Geriet die Schadsoftware auf einen Rechner der mit einer bestimmten Maschinensteuerung verbunden war, programmierte er diese automatisiert um. Das primäre Ziel des Computervirus bestand darin die Verfügbarkeit des Zielsystemes zu kompromittieren was zu einer Unterbrechung des normalen Datenflusses führte.

Die Gefahren von Cyberattacken sind sehr umfangreich. Die hohe Komplexität der Schadsoftware ist der Grund, warum man nie von einem vollständig sicheren System sprechen kann. Von dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) sind einige Interessante Fakten darüber veröffentlicht worden [oA12]:

- Etwa alle zwei Sekunden erscheint ein neues Schadprogramm bzw. eine neue Variante
- Pro Minute werden ca. 2 digitale Identitäten in Deutschland gestohlen
- Pro Tag werden etwa 4-5 gezielte Trojaner im Regierungsnetz entdeckt
- Pro Monat werden etwa 40.000 Zugriffsversuche aus dem Regierungsnetz auf schädliche Websites blockiert

2.2 Anforderungen an verteilte Systeme

Um die Sicherheit im verteilten System gegen die möglichen Angriffe zu schützen müssen einige Anforderungen erfüllt werden. In diesem Abschnitt sollen konkret die Sicherheitsanforderungen an die verteilten Systeme näher betrachtet werden. Um ein verteiltes System möglich sicher zu gestalten muss eine konkrete Sicherheitsanalyse vorgenommen werden. Hierbei werden alle möglichen Sicherheitslücken und Angriffspunkte aufgedeckt. Entsprechend müssen Lösungen und Sicherheitsmechanismen erarbeitet und implementiert werden. Da die konkreten Anforderungen an ein verteiltes System sehr unterschiedlich sind und von der spezifischen Architektur des Systems abhängen, werden hier nur einige konkrete Beispiele genannt.

Zunächst ist es wichtig, dass das System die Daten der Benutzer vor Angreifern schützt, um Missbrauch zu verhindern. Hierzu zählen beim Beispiel Onlineshops Anmelde- oder Kontodaten. Die Daten und deren Übertragung schützt ein Zertifikat.

Weiterhin müssen die Daten des Systems entsprechend ihrer Klassifizierung (öffentlich oder privat) verfügbar gemacht werden. Alle Benutzer werden passend autorisiert und erhalten Zugang zu den ihnen zugänglichen Informationen. Besonders sicher und gut autorisiert müssen dabei die Administratoren werden. Bei einem Windkraftwerkssystem soll beispielsweise nur der Instandhalter und der Manager Zugriff auf das gesamte System bekommen. Alle anderen Arbeiter erhalten nur Zugriff zu dem Teilsystem, welches sie für ihre Arbeit benötigen. Änderungen die die Benutzer vornehmen werden getrackt und nachvollziehbar dokumentiert. Auch ein Monitoring über die Systeme muss erfolgen, sodass ein Ausfall schnell erkannt und ein möglicher Unterbrechungs-Angriff verhindert werden kann. Allgemein muss die Oberfläche so sicher wie möglich gestaltet werden. Weiterleitungen auf andere Seiten und Dienste sollten sicher sein, ebenso muss der Kunde vor Maleware die über das System übertragen werden kann geschützt werden. Weiterhin ist neben dem Schutz der Daten auch die Sicherheit der Kommunikation zwischen der Software und dem Kunden wichtig. Dies betrifft zum Beispiel das Senden von E-Mails an den Benutzer. Die Daten werden oft ungesichert oder unvalidiert versendet. Zur Vermeidung von Fälschungen in der Datenhaltung muss das System gewissen Verschlüsselungsmechanismen bereitstellen. [KS08]

3 Sicherheitsdienste

In den vorherigen Kapiteln wurden Angriffsmöglichkeiten und die Anforderungen an ein verteiltes System untersucht. In diesem Kapitel erfolgt eine Konkretisierung der Sicherheitsdienste, die ein verteiltes System bereitstellen muss um als sicher zu gelten. Dieses Kapitel erklärt die unterschiedlichen Dienste und stellt sie anschaulich anhand von Beispielen dar.

3.1 Vertraulichkeit

Die Vertraulichkeit macht Daten nur für eine Gruppe von autorisierten Benutzern verfügbar und schützt sie so vor unbefugten Zugängen. Diese Daten können verschiedene Arten von Informationen, wie zum Beispiel Nachrichten, Videos oder Filme, Passwörter oder Kontodaten sein. Ein konkretes Beispiel wäre ein Film auf Amazon Prime. Dieser Film ist nur denjenigen Benutzern verfügbar, die ihn gekauft oder geliehen haben. Um ein weiteres Beispiel handelt es sich bei den Anmeldedaten eines Benutzers. Die Verbindung zwischen Benutzer und Server muss stets verschlüsselt sein, sodass kein Unbefugter die Anmeldedaten abgreifen kann. [KS08]

In verteilten Systemen funktioniert der Vertraulichkeitsdienst meistens durch Zugriffsbeschränkungen über einen Kontrollmechanismus oder Verschlüsselung der Informationen [Mi93]. Für die Verschlüsselung kann beispielsweise das TLS-Protokoll herangezogen werden. Die Informationen werden vom Protokoll vor dem Senden verschlüsselt und vor dem Empfang wieder entschlüsselt. So werden die Nachrichten gesichert übermittelt, sind aber dennoch für die Kommunikationspartner zugänglich. Die Vertraulichkeit dient der Sicherstellung des Schutzes der Daten und stellt eine Grundvoraussetzung für erfolgreiche Authentifizierung und Autorisierung dar. Der Vertraulichkeitsdienst stellt sicher, dass während dem Informationsaustausch keine Manipulationen oder Abfangen der Daten von passiven Angreifern erfolgt ist. [Mi93] Die Vertraulichkeit dient jedoch nicht nur dem Schutz der Daten vor Unbefugten, sondern trägt auch zur Anonymität der Benutzer bei. In einem verteilten Informationssystem kann der Vertraulichkeitsdienst beispielsweise durch Nutzerprofile erfolgen. Hier erhält jeder nur Zugriff auf die ihm zugewiesenen Bereiche. Die persönlichen Daten wie Name und Adresse sind durch Anmeldenamen und Kennwörter geschützt. Um zu verhindern, dass ein Unbefugter Anmeldenamen und Passwörter abgreifen kann, wird die Verbindung mit einem Sicherheitszertifikat verschlüsselt.

3.2 Authentifizierung

Authentifizierung sorgt dafür, dass die Benutzer gegenüber einem System verifiziert werden kann. Die Authentifizierung lässt sich in weitere Bestandteile untergliedern. Der erste Bestandteil ist die Authentisierung, wobei der Benutzer gegenüber dem System eine Identität vorgibt, die von diesem bestätigt werden soll. Auf die Authentisierung folgt anschließend die Authentifizierung. Bei dem Authentifizierungsvorgang werden die vom Nutzer eingegebenen Daten, also seine angegebene Identität, überprüft. Durch den Prozess der Authentifizierung wird eine Identität an ein Subjekt/Entität gebunden. Das Binden der Identität berechtigt den Benutzer bestimmte Dienste in Anspruch nehmen zu können. [Pf] Es gibt verschiedene Arten wie eine Authentifizierung durchgeführt werden kann:

Im Zusammenhang mit verteilten Systemen im Internet ist die Authentifizierung durch Wissen, also Benutzername und Passwort, weit verbreitet. Das Passwort besteht dabei



Abb. 2: Authentifizierungsarten

meistens aus einer Zeichenkombination und wird über einen geschützten Kanal ausgetauscht. Besonders bei Diensten im Internet bietet sich die Verwendung von Hyper-Text-Transfer-Protocol-Secure (HTTPS), statt des ungesicherten Hyper-Text-Transfer-Protocol (HTTP) an. Das Auslesen der Benutzerdaten aus dem Netzwerkverkehr ist so nicht mehr möglich. Mit Verwendung eines sicheren Protokolles für die Übermittlung der Daten ist die Übertragung zwischen den Systemen als Angriffsvektor ausgeschlossen. Sind die Daten erfolgreich und sicher an das Serversystem übermittelt worden müssen diese in bestimmter Form (bspw. in einer Datenbank) persistiert werden. Das Festhalten der Daten im Klartext würde die Datenbank zu einem sehr lohnenden Ziel machen, da die Daten an einer stelle gesammelt einsehbar wären. Aus diesem Grund benutzt man verschiedene Verschlüsselungsfunktionen, um zumindest die Passwörter in eine Form zu bringen, die nicht wieder re-konstruiert werden kann. Das Anwenden der Verschlüsselungsfunktion wird als Hashing bezeichnet. Gehashte Passwörter in der Datenbank bieten eine notwendige Sicherheit um die Daten in sicherer Form dauerhaft zu abzulegen. Abgesehen von der Authentifizierung durch Wissen mittels Benutzername und Passwort gibt es die Möglichkeit sich durch Besitz, Identität oder den Standort zu Authentifizieren. Besonders interessant für zusätzliche Sicherheit auf Client-Seite können die Authentifizierungsmöglichkeiten kombiniert werden. Die Kombination von bspw. einer Authentifizierung durch Wissen und von Besitz wird als 2-Faktor-Authentifizierung bezeichnet. Gelangt ein Angreifer an ein Passwort hat er so ohne die entsprechende zweite Authentifizierungsmethode keine Möglichkeit die Identität des Benutzers anzunehmen. [KS08]

3.3 Integrität

Das Schutzziel Integrität umfasst sowohl die Korrektheit der Daten (Datenintegrität) als auch die korrekte Funktionsweise des Systems (Systemintegrität) [KS08]. Es gibt schwache und starke Integrität. Eine starke Integrität liegt vor, wenn keine Möglichkeit der unbefugten Datenmanipulation besteht. Von einer schwachen Integrität spricht man hingegen dann, falls eine Datenmanipulation zwar generell, aber auf keinen Fall unbemerkt möglich ist. Mögliche Manipulationen sind z.B. das Verändern von Daten, Löschen von Daten, Einfügen von Daten. Grundsätzlich ist es fast unmöglich Veränderungen an digitalen Daten vollständig zu vermeiden. Dadurch dass man die Veränderungen von Daten nicht vermeiden kann, versucht

man dem Benutzer die Änderung der Daten erkennbar zu machen [KS08]. Besonders im Linux Umfeld hat sich eine Überprüfung von Downloads mittels Prüfsummen etabliert. Zu der eigentlichen Download Dateien ist zusätzlich die Information „SHA265SUM“ gegeben. Nach dem Download der Datei kann die Prüfsumme über die heruntergeladene Datei erfolgen, sind die beiden Hashwerte identisch ist der Download valide. Stimmen die beiden Prüfsummen nicht überein, wurde der Download manipuliert und die Integrität der Daten wurde verletzt.

3.4 Nicht-Anfechtbarkeit

Das Schutzziel der Nicht-Anfechtbarkeit wurde früher hauptsächlich im Bereich des Informationsaustausches verwendet. Jedem Kommunikationsteilnehmer soll nachgewiesen werden können, welche Informationen er versendet oder erhalten hat. Hierfür werden verschiedene Arten der Nachweisbarkeit benötigt. Durch die Nachweisbarkeit der Identität wird das Verleugnen von Nachrichten verhindert und zusätzlich der Betrug verhindert. Die Nachweisbarkeit des Sendens bezeugt, dass die entsprechenden Informationen auch wirklich gesendet wurden. Ergänzend hierzu kann die Nachweisbarkeit des Zustellens bezeugen, dass der Empfänger die Informationen auch tatsächlich erhalten hat. [BA10]

Mit dem Zeitalter der Digitalisierung erweiterte sich diese Begriffsdefinition auf Handlungen und Transaktionen [BA10]. Unter Nicht-Anfechtbarkeit versteht man heute das Erzeugen eines Nachweises für eine bestimmte Handlung oder Aktion. Der Beweis dient dazu, zu dokumentieren und festzuhalten was ein Benutzer getätigt hat. Der Nicht-Anfechtbarkeitsdienst dient im Streitfall dazu, die erfolgten Aktionen zwischen zwei Kommunikationspartnern Dritten zu beweisen. Ein konkretes Beispiel wäre ein Überwachungssystem mit Kameras und audiovisueller Aufnahme, wie es Kriha in seinem Buch [KS08] beschreibt. Um die Daten vor Gericht verwertbar zu machen, muss garantiert werden, dass die Aufnahme von einer der Überwachungskameras stammt. Weiterhin darf es nicht möglich sein Audiodateien einzuschleusen und so Daten zu fälschen. Auch in Online-Shops in Bereichen des E-Commerce ist Nicht-Anfechtbarkeit wichtig. Kauft ein Kunde etwas, so muss der Shop genau festhalten was der Kunde gekauft hat. Sind diese Daten nicht-anfechtbar abgespeichert, so kann dem Kunden stets die Inanspruchnahme des zahlungspflichtigen Dienstes bewiesen werden. Besonders wichtig ist auch wie beim Beispiel des Überwachungssystems die Glaubhaftigkeit des Nachweises, sodass die Möglichkeit der Fälschung von Nachweisen ausgeschlossen werden kann. Der Nicht-Anfechtbarkeitsdienst sollte aus diesem Grund einen erfolgten Informationsaustausch so dokumentieren, dass der Nachweis nicht gefälscht oder selbst erzeugt sein könnte. Den Begriff Nicht-Anfechtbarkeit verwendet man auch häufig zusammen mit dem Begriff „Digitale Signatur“. Auch die digitale Signatur ist eine Form der Garantie von Nicht-Anfechtbarkeit. Es wird die Identität des Benutzers überprüft und ein gültiges Dokument durch eine elektronische Unterschrift rechtskräftig unterzeichnet.[BA10] [KS08]

3.5 Zugriffssteuerung/Autorisierung

Nachdem ein sicherer Tunnel durch die Dienste Authentifizierung, Vertraulichkeit und Integritätsschutz aufgebaut wurde, befasst sich die Autorisierung mit der Frage für welche Systembereiche ein Client Zugriff erhält. In Computernetzwerken sowie im Bereich von verteilten Systemen bezeichnet die Autorisierung das Zuweisen und die Überprüfung von Zugriffsrechten. Damit bilden Autorisierung und Zugriffssteuerung eine Einheit und verantworten die Vergabe von Freigaben an den Benutzer [BA10]. Es gibt verschiedene Arten wie festgelegt werden kann auf welche Ressourcen welcher Benutzer einen Zugriff hat. Meist werden die Benutzer zum Stand der Registrierung bereits in eine Benutzergruppe eingeteilt. Mithilfe von gruppenbasierter Zugriffssteuerung können mehrere Rechte mit einem Mal an einen Benutzer übergeben werden. Zusätzlich kann mehr Arbeit in die Granularität der Gruppenberechtigungen investiert werden als wenn für jeden Benutzer eigene Rechte vergeben werden würden. Ein Beispiel für eine Gruppenbasierte Zugriffssteuerung ist die Rechtevergabe in Betriebssystemen wie Linux und Windows. Bei Linux gibt es eine sog. „root“-Gruppe, die über Administratorrechte verfügt. Ist ein Benutzerkonto teil dieser Gruppe kann ohne Einschränkung Software installiert werden. Ist ein Benutzer in keiner Gruppe muss für die Installation von Software das Administrator Kennwort eingegeben werden. In verteilten Systemen ist ein ähnliches Prinzip zu beobachten. So gibt es für eine Webanwendung oftmals eine Administratorgruppe und beispielsweise eine Gruppe mit der Bezeichnung „Kunde“, die nur den Zugriff auf einen Teilbereich der Webanwendung zulässt. [KS08]

3.6 Verfügbarkeit

Der Sicherheitsdienst Verfügbarkeit garantiert, dass das verteilte System und die angeforderten Daten für seine Benutzer zeitgerecht zur Verfügung stehen. Die Datenverarbeitung muss stets ordnungsgemäß und inhaltlich korrekt sein. [BA10] Dieser Dienst wird in den aufgeführten Quellen stets im Rahmen der informationstechnischen Systeme verwendet. Der Verfügbarkeitsdienst zielt vor allem darauf ab zu verhindern, dass Angreifer über Malware das System ausschalten. Oftmals funktioniert das Ausschalten über mehrere kontaminierten Clients, die gleichzeitig auf das System zugreifen. Diese Aktion hat eine Überlastung des Ziel-Servers und infolgedessen einen System-Absturz zur Folge. [KS08]

Betrachtet man die Dauer der Verfügbarkeit des verteilten Systems im Verhältnis zu der Gesamtzeit, so ist das verteilte System optimalerweise 100% verfügbar. Dies kann in der Realität jedoch kaum erreicht werden. Fällt ein System aus, so wird die gesamte Ausfallzeit als Downtime bezeichnet. [BA10]

Um die Downtime des Systems möglichst gering zu halten gibt es verschiedene Maßnahmen, die je nach Art des verteilten Systems und auch dem konkreten Grund des Ausfalls variieren. Als eine allgemeine Maßnahme nennt beispielsweise Bedner in seinem Zeitungsartikel [BA10] die Verwendung redundanter Systeme. Bei einem Ausfall des Hauptsystems kann das redundante System verwendet werden und ein Absturz wird somit verhindert. Dies

betrifft beispielsweise besonders verteilte Systeme der erneuerbaren Energien. Für das konkrete Beispiel eines informationstechnischen Systems schreibt Kriha in seinem Buch [KS08] über das Beispiel eines Angriffs. Um zu verhindern, dass kontaminierte Clients das System zu Absturz bringen, müssen Load-Balancing-Mechanismen verwendet werden. Dies sind Mechanismen, die der Lastverteilung dienen. Ist ein Server überlastet, so leitet er die Anfragen an einen redundant arbeitenden Server weiter. Eingesetzt wird dies zum Beispiel bei allen großen Streaming Anbietern wie etwa Netflix.

4 Sicherheitskonzepte

In diesem Abschnitt soll eine allgemeine Betrachtung von Sicherheitskonzepten für verteilte Systeme erfolgen. Die Konzepte gehören mittlerweile in einigen verteilten Systemen zum Standard und finden vor allem im Bereich des Cloud-Computing Verwendung. Eine Unterteilung der Sicherheitskonzepte wird anhand des ISO-OSI Referenzmodells gemacht. Teile der Sicherheitskonzepte setzen bereits in der Netzwerkschicht, andere erst in der Applikationsschicht der Systeme an.

4.1 Sicherheit auf der Netzwerkschicht

In diesem Abschnitt wird ein besonderes Augenmerk auf Sicherheitssysteme gelegt, die verteilte Systeme auf der Netzwerkschicht absichern.

4.1.1 IPSec und VPNs

In bekannten Attacken auf verteilte Systeme ist eine der schwerwiegendsten Angriffsvektoren der Kommunikationsweg. Die Fähigkeit eines Angreifers Pakete innerhalb eines Systems abfangen und modifizieren zu können soll daher unterbunden werden. Besonders die Sicherheitsdienste der Vertraulichkeit und der Integrität von Daten ist bei einer geringfügigen Beachtung der Härtung von Kommunikationswegen gefährdet. Sollte sich der Aufbau eines verteilten Systemes über Netzwerk- oder Internetbereiche erstrecken, ist die sicherste Möglichkeit der Absicherung mithilfe von IPSec. Den Hauptteil von IPSec stellen sogenannte Vertrauensstellungen da. Diese werden durch den Austausch vordefinierter Schlüssel generiert. Ebenfalls ist eine Initiierung mithilfe von Zertifikaten möglich [oVa]. Die Vertrauensstellungen müssen nicht zwangsläufig zwischen den Clients sondern können durch die Kopplung der beiden Netze durch die beiden Router erfolgen.

Die Verwendung von IPSec erlaubt den Aufbau von sogenannten VPNs (Virtual Private Networks). Innerhalb eines VPN Netzwerkes ist die Kommunikation geschützt vor Offenlegung, basiert aber trotzdem auf der vorhandenen physischen Struktur des Internets. Besonders geeignet ist die Verwendung von IPSec und VPN im Bezug auf verteilte Systeme, wenn die



Abb. 3: IPSec

Integration der Sicherheit auf der Anwendungsschicht für einen speziellen Anwendungsfall schwierig ist. Dies kann der Fall sein, wenn man in den Quellcode des Systems keinen Einblick hat. Da der Sicherheitsmechanismus erst auf der Netzwerkschicht eingreift kann dieser nur begrenzt die Möglichkeit liefern die Sicherheit auf der Anwendungsschicht zu unterstützen. [Re]

4.1.2 Firewalls

Ein zuerst banal scheinendes Sicherheitskonzept stellt die Verwendung von Firewalls da. Firewalls bilden eine Barriere an der Grenze des Netzwerks einer Organisation. Der Einsatz garantiert, dass nur festgelegte Netzwerkkommunikation über Netzwerkgrenzen hinweg stattfinden kann. Wenn die Firewalls einer Organisation richtig konfiguriert sind, werden viele Angriffe auf Hosts innerhalb eines Netzwerks von vorne herein verhindert. Bei einigen verteilten Systemen besonders unter der Verwendung von IPSec und VPN spielen Firewalls eine geringere Rolle, da der Datenfluss zwar durch die Firewall läuft aber diese keinen Einblick in die verschlüsselten Pakete erhält. Dennoch kann mithilfe von Firewalls ein Rechnernetz abgesichert werden indem an die Grenze eines ungeschützten Netzwerkes platziert wird. Die Kommunikation innerhalb des privaten Netzes kann so unverschlüsselt erfolgen und die Nachrichten würden, sobald sie das lokale Netz verlassen verschlüsselt werden. Die Verwendung von Firewalls bringt daher den großen Vorteil, dass die Kommunikation von Daten innerhalb eines Netzwerkes ohne Verschlüsselung erfolgen kann und somit die Notwendigkeit von individuellen Sicherheitsparametern der einzelnen Hosts obsolet macht.

4.2 Sicherheit auf der Anwendungsschicht

Einige Sicherheitskonzepte finden auf Ebene der Anwendungsschicht statt. Diese Konzepte konzentrieren sich hauptsächlich auf die Zugriffsrechteverwaltung und damit verbundene Authentifizierung. Dennoch dürfen die anderen Kriterien eines sicheren Systems nicht außer Acht gelassen werden. Drei konkrete Sicherheitskonzepte der Anwendungsschicht sind Grid Security Infrastructure, Community Authentication Service und PERMIS.

4.2.1 Grid Security Infrastructure (GSI)

Das Sicherheitskonzept GSI bietet eine sichere Authentifizierungsmethode für Benutzer, Prozesse und Ressourcen in einem Grid-Computing System. Verwendet wird hier die asymmetrische Kryptographie. Ein solches Konzept ist notwendig, da der Datenaustausch über das Internet erfolgt und daher ein leichtes Ziel für Angreifer ist. Das Konzept wendet hierbei die Public-Key-Verschlüsselungsmethode an. Die Daten werden zunächst mit einem öffentlichen Schlüssel verschlüsselt und dann an den Empfänger gesendet. Die verschlüsselten Daten können dann nur mithilfe eines privaten Schlüssels entschlüsselt werden. Der private Schlüssel ist nur dem Besitzer bekannt. Um Zugriffsanträge zu autorisieren werden von GSI Zertifikate und eine Access Control List verwendet. Die Zertifikate stellen sicher, dass der öffentliche Schlüssel wirklich zu einer bestimmten Person, beziehungsweise einem Server oder Service gehören. Um nun einen Antrag zu autorisieren muss die angefragte Ressource einen Eintrag für den über das Zertifikat autorisierten Schlüssel haben. Weiterhin kann die erhaltene globale User-ID auf eine lokale ID gemappt werden. Wie konkret das Mapping der globalen User-ID auf die lokale ID abläuft wird vom Betriebssystem vorgenommen und läuft deshalb unterschiedlich ab. Allgemein bietet GSI die Möglichkeit für jedes Betriebssystem eingesetzt zu werden, ohne bereits vorhandene Sicherheitsmechanismen zu verletzen. Besonders von Vorteil ist die SIngle-Sign-On Funktionalität des Sicherheitskonzeptes. Über die Zertifikate kann einem Benutzer für eine bestimmte Zeitspanne Zugriff auf die Ressource gewährt werden. Hierzu wird ein Proxy-Zertifikat erstellt, das sich ähnlich wie ein Session Key verhält. Zur Anlegung des Proxys ist ein Zugriff auf die Benutzeranmeldeinformationen einmalig notwendig. Die GSI ist unabhängig von bestimmten Verschlüsselungsalgorithmen und einfach an verschiedene Sicherheitsrichtlinien anpassbar. Zusätzlich bietet GSI Sicherheit im Falle einer gestohlenen Vollmacht für ein Zertifikat oder auch eines privaten Schlüssels. [Mu][Ep]

4.2.2 Community Authorization Service (CAS)

Nach Muraru [Mu] dient das Konzept der Community Authorization Service dient der Zugriffszuweisung von Benutzern aus gemeinsamen Organisationen. Ein Bericht der Stanford University [Pe03] ergänzt hier, dass es sich bei diesen Organisationen um virtuelle Gemeinschaften handelt. Virtuelle Gemeinschaften sind ein Zusammenschluss von mehreren Benutzern und Ressourcen die ein gemeinsames Ziel verfolgen. Da in diesen virtuellen Gemeinschaften oftmals komplexe Beziehungen obwalten, kann die Rechtezuweisung schwierig sein. Um diese Komplexität zu lösen wurde das Konzept des CAS entwickelt. Fragt ein Benutzer nun ein Zugriff auf eine Ressource an, so werden zunächst vom CAS-Server seine Benutzerdaten auf Gültigkeit überprüft. Anschließend werden die Richtlinien der Ressource für die Gemeinschaft überprüft und umgesetzt. Für den Benutzer wird wie auch beim GSI-Konzept einmalig ein Proxy-Zertifikat erstellt. Mit den Credentials des Proxy-Zertifikats kann eine direkte Zugriffsanfrage an die Ressource erfolgen. Von der Ressource

wird nun überprüft, ob das Proxy-Zertifikat und auch die Richtlinien der Gemeinschaft einen Zugriff erlauben. Anschließend kann bei erfolgreicher Autorisierung ein Zugriff auf die Ressource erfolgen. Das tatsächliche Recht eines Benutzers hängt davon ab, welche Rechte eine Gemeinschaft von der Ressource erhält. Die Gemeinschaft wiederum vergibt weitere Privilegien an den Benutzer. CAS ermöglicht durch die Verwendung vorhandener Zugriffsmechanismen hoch skalierbare und dynamische virtuelle Organisationen. [Pe03] [Mu]

4.2.3 PERMIS

In den beiden Quellen der Stanford University [Pe03] und der CERN [Mu] wird dieses Konzept leicht abgewandelt beschrieben. Das Konzept Permis bietet eine konkrete Infrastruktur mit rollembasierten Zugriffssystem. Mit jeder verfügbaren Rolle sind verschiedene Zugriffsrechte definiert. So muss nicht jeder Komponente einzeln Privilegien zugeordnet werden, sondern nur die entsprechende Rolle. Das Binden der Komponente an Rollen und die damit verbundene notwendige Kommunikation der Rollen erfolgt gesichert über ein Attribut-Zertifikat. Alle diese Zertifikate werden auf einem Server gehostet, der für jeden Benutzer Zertifikate anlegt. Auf dem Server sind weiterhin die Autorisierungsrichtlinien definiert. Fragt ein Benutzer nun eine Ressource an, so wird zunächst seine Identität überprüft. Dies erfolgt über den mit dem Attribut-Zertifikat mitgegebenen eindeutigen Namen (Distinguished Name). Anschließend kann die Ressource mithilfe des Attribut-Zertifikats und den Richtlinien vom Server den Zugriff erlauben oder ablehnen. Muraru [Mu] schreibt hier, dass die Entscheidung über Zugriff auf die Ressource direkt vom Access Decision Framework der Ressource erfolgt. Nach dem Manuskript der Stanford University [Pe03] erfolgt dies von PERMIS selbst, welcher dann die Entscheidung an die Ressource zurückgibt.

5 Vergleich

In diesem Abschnitt soll ein allgemeiner Vergleich der Stärken und Schwächen von verschiedenen Ansätzen von Sicherheitskonzepten erfolgen. Die Kriterien zum Vergleich stellen die vorgestellten Sicherheitdienste da. Da einige Sicherheitsmechanismen auf unterschiedlichen Ebenen der Netzwerkstruktur eingesetzt werden, wird eine weitere Unterscheidung vorgenommen. Der Vergleich wird durch die folgende Tabelle anschaulich dargestellt.

	Sicherheit auf der Netzwerkschicht		Sicherheit auf der Anwendungsschicht		
	IPSec und VPN	Firewalls	GSI	CAS	Permis
Vertraulichkeit	Keine Manipulation von Daten möglich. Datenverkehr nur für Autorisierte benutzer möglich.	Keinen direkten Einfluss in Datenverkehr.	Vertraulichkeit der Daten wird durch Verwendung der asymmetrischen Kryptographie geschützt	Werden nach Authentifizierung über Proxy-Zertifikat geschützt. Anfragen erfolgen nur über die Proxy Credentials.	Vertraulichkeit wird mit den Attribut Zertifikaten geschützt
Authentifizierung	Authentifizierung mithilfe von Protokollen wie Authentication Header (AH), Encapsulated Security Payload (ESP) sowie Internet Key Exchange (IKE).	Authentifizierung nur bei speziellen Anwendungsfällen relevant.	Authentifizierung erfolgt über die die Zertifikate	Ein Benutzer kann über das Proxy-Zertifikat authentifiziert werden	Erfolgt über Distinguished Name des Attribut-Zertifikats.
Integrität	Integrität durch Verschlüsselung der Daten sichergestellt.	Integrität der Daten ist keine direkte Aufgabe einer Firewall.	Integrität der Daten wird durch Verwendung der asymmetrischen Kryptographie geschützt	Datenintegrität ist über das Proxy-Zertifikat gegeben	Integrität ist über Attribut Zertifikat gegeben
Nicht-Anfechtbarkeit	Nicht-Anfechtbarkeit der Daten ist indirekt durch die Integrität sichergestellt. Ein Mechanismus zur sicherherstellung kann das Logging des Internettraffics sein.	Die Nicht-Anfechtbarkeit ist durch die Einbindung der Firewall-Logs in den Security Workflow der Organisation sichergestellt.	Nicht-Anfechtbarkeit ist über die Public-Key-Infrastructure gegeben.	Nicht-Anfechtbarkeit ist über Proxy-Zertifikat gegeben	Nicht-Anfechtbarkeit ist über Attribut Zertifikat gegeben
Zugriffssteuerung/Autorisierung	Die Verbindung mittels VPN ist nur Berechtigten Personen möglich, die über die entsprechenden Anmeldeinformationen verfügen.	Schränkt den Datenverkehr durch Security Policies ein. Ist dadurch ein zentrales Glied in der Zugriffssteuerung.	Erfolgt über die Access Control Lists	Autorisierung erfolgt über die Richtlinien der Webseite und Gemeinschaft. Die Informationen befinden sich im Proxy-Zertifikat	Autorisierung erfolgt über den Server und die dort definierten Autorisierungsrichtlinien
Verfügbarkeit	Die Verfügbarkeit kann nur indirekt durch die Verwendung von VPN sichergestellt werden.	Durch DDOS Protection und andere Mechanismen stellt die Firewall die Verfügbarkeit der dahinter liegenden Infrastruktur sicher.	Keine näheren Informationen	CAS Server muss zusätzlich geschützt werden. Fällt er aus, funktioniert das System nicht.	Server, der alle Attribut-Zertifikate hostet muss zusätzlich geschützt werden. Fällt er aus, funktioniert das System nicht.

6 Sicherheit verteilter Systeme in der Praxis

Der Vergleich der verschiedenen Sicherheitskonzepte für verteilte Systeme hat einen Eindruck darüber gegeben, wie verteilte Architekturkonzepte abgesichert werden können. In der Praxis gibt es darüber hinaus viele individuelle Techniken und Möglichkeiten, wie die Sicherheit in verteilten Systemen garantiert werden kann. Allgemein werden Sicherheitskonzepte sehr spezifisch auf das System zugeschnitten. Um zu zeigen, dass neben den bereits vorhandenen Sicherheitskonzepten auch Möglichkeiten bestehen sehr individuelle zu definieren, wurde ein Prototyp implementiert. Spezifisch wurde hier die Client-Server Architektur umgesetzt, da diese im Internet häufig im Bereich E-Commerce anzutreffen ist. Für die Webseite wurde ein React.js Client und ein Node.js Server implementiert. Die Speicherung der Benutzerdaten durch den Node.js Server (API) wurde mittels eines einfachen Key-Value-Stores (DB) implementiert. Das React-Frontend, die API und die Datenbank sind für sich vollkommen alleinstehende Komponenten und sind über die Infrastruktur des Internets miteinander verbunden, um dem Aufbau eines verteilten Systems zu genügen. Ein Einblick in die konkrete Implementierung der Komponenten und Schnittstellen soll in den nächsten Abschnitten erfolgen. Die Betrachtung richtet sich strukturell nach den vorgestellten Sicherheitsdiensten.

6.1 Authentifizierung

Authentifizierung sorgt dafür, dass ein Benutzer gegenüber einem System verifiziert werden kann. Die Verifizierung erfolgt hierbei konventionell mit Wissen, also Benutzername und Passwort. Nach dem Übertragen der Benutzerdaten wird von der API ein Token zurückgeschickt. Ein, mittels Token gestütztes Authentifizierungsverfahren, bietet die Möglichkeit den Benutzer mittels der API mit einem temporären Token anstatt seiner Benutzerdaten zu authentifizieren. Für das Beispiel wurden hierfür JSON Web Tokens [oVb] eingesetzt. Der Vorteil von JSON Web Tokens liegt darin, dass der Token zusätzliche eingebettete Informationen enthalten kann. Die zusätzlichen Informationen können von dem Client genutzt werden, um dem Benutzer nur Zugriff auf einen Teil der Anwendung zu gewähren. Hier ist eine Grafik die, die Kommunikation der Komponenten anschaulich darstellt.

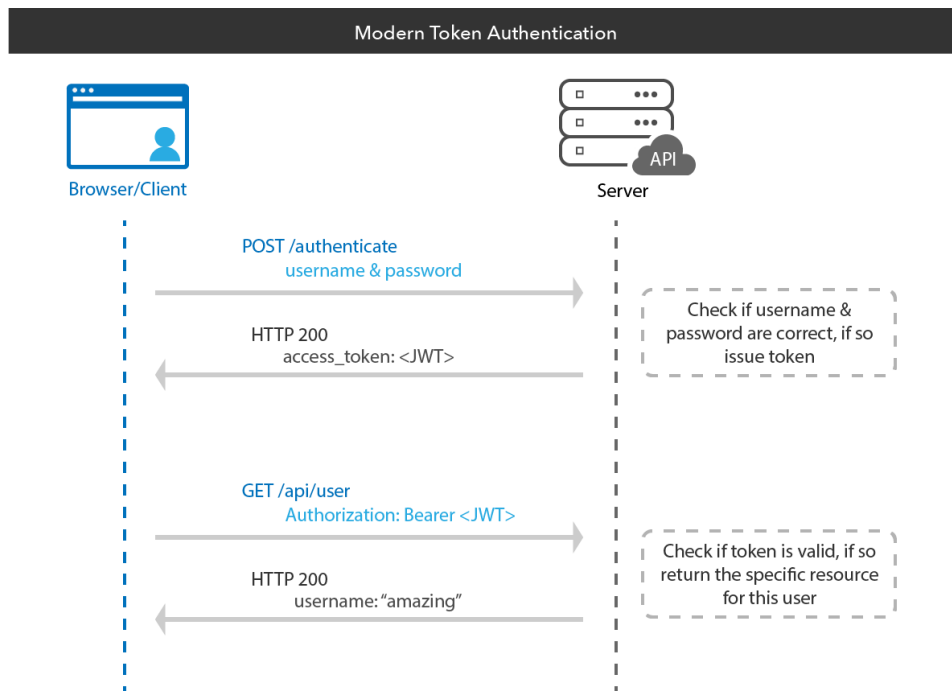


Abb. 4: Token Authentication
[Ng]

Nachdem der Benutzer seine Daten in die Entsprechenden Felder eingegeben hat, werden die Daten mittels HTTP-POST an die API übertragen.

```

onSubmit = (e) => {
  axios
    .post("http://api.domain.com:5001/register", {
      username: this.state.username,
      password: this.state.password,
      mail: this.state.mail,
    })
    .then((auth) => {
      if (auth) {
        localStorage.setItem("key", auth.data.key);
      }
    })
}

```

Werden die korrekten Anmeldedaten eingegeben bzw. registriert sich der Benutzer an der

Anwendung, sendet der Server als Antwort einen Token. Der JWT-Token besteht aus drei wichtigen Informationen: Header, Payload und Verify Signature. Die drei Informationen wurden auf dem Server codiert und als Zeichenkette zurückgegeben. Die Zeichenkette wird in den localStorage des Clients gespeichert. Wird anschließend eine geschützte Ressource von dem Server angefragt wird der Token aus dem localStorage geholt und in den Header der Anfrage geschrieben. Auf der API durchläuft die Anfrage mehrere Middlewares. Bei geschützten Ressourcen wird wie in der folgenden Darstellung eine Middleware zwischengeschaltet.

```
router.get("/", allowCustomer, async(req, res, next) => {  
  res.json(item);  
});
```

Die Middleware gibt die Anfrage an die nachfolgende Middleware weiter, wenn der im Header enthaltene Token korrekt ist. Ist der Token nicht korrekt gelangt die Anfrage erst gar nicht an die nächste Funktion die, die eigentlichen Inhalte zurückgeben würde. Die API sendet dem Client den entsprechenden Status Code und dieser kann die Antwort bspw. in Form einer Fehler-Nachricht an den Benutzer weitergeben.

6.2 Vertraulichkeit und Zugriffssteuerung

Der Sicherheitsdienst der Vertraulichkeit macht bestimmte Teile der Anwendung nur für einen Teil der Benutzer sichtbar. Das Beispiel verfügt über eine rollenbasierte Zugriffssteuerung. Einem Benutzer wird dann eine entsprechende Rolle zugewiesen. verfügbare Rollen sind Administrator, Customer oder Guest. Ein Benutzer der über die Rolle „Guest“ verfügt soll nur in der Lage sein, die Items auf der Website anzuschauen. Ist ein Benutzer angemeldet, verfügt dieser über die Rolle „Customer“ und darf Artikel einkaufen. Ein Benutzer mit der Rolle Administrator kann zusätzlich auf eine spezielle Administrator Seite zugreifen, die ihm eine Übersicht über alle Benutzerdaten liefert. Den Zugriff kann man mittels der Grafik in Abbildung 5 veranschaulicht werden.

Um eine solche Zugriffsunterscheidung durchführen zu können, wird auf der API der Zugriff durch Middlewares ausgeschlossen. Das Zugriffsverfahren wird mithilfe von verschiedenen Middlewares implementiert und wurde im vorherigen Abschnitt bereits erläutert. Mit der Implementierung von Middlewares sind bestimmte Ressourcen auf der Oberfläche nur einem Teil der Benutzer zugänglich. Allerdings werden beispielsweise Verweise auf gesperrte Ressourcen weiterhin angezeigt. Die Client-Applikation muss über die Information verfügen, wer momentan die Anwendung bedient und über welche Berechtigungen er verfügt. Eine Möglichkeit wäre den JSON Web Token, der während einer Session im Local Storage gespeichert wird, zu decodieren und anschließend mithilfe der Berechtigung der Payload nur ausgewählte Ressourcen anzuzeigen. Zur Decodierung eines JWT ist das Wissen über

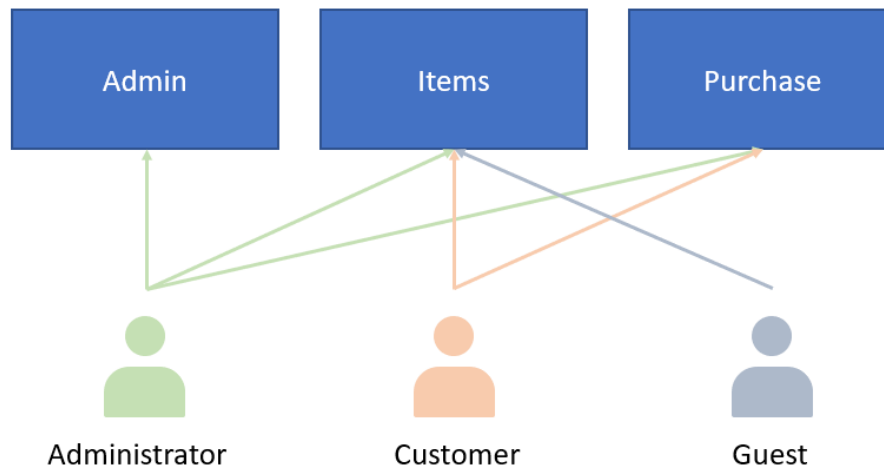


Abb. 5: Zugriffsbeschränkungen

das Secret notwendig mit dessen Hilfe der Token erstellt wurde. Erhält der Benutzer das Secret, um auf Client-Seite zu entschlüsseln, bietet das ein Gefahrenpotential. Der Benutzer wäre in der Lage eigene Tokens zu erstellen mit denen er über erweiterte Rechte verfügt. Die Encodierung der Tokens darf aus diesem Grund nur auf der API erfolgen. Um eine sichere Entschlüsselung der Tokens durchzuführen wird dieser von der Client-Applikation an die API gesendet. Die API entschlüsselt die Nachricht und sendet die Payload dem Benutzer zurück. Da bei der Antwort der API wichtige Anmeldedaten in Textform übertragen werden muss die Verbindung vor Man-In-The-Middle Attacken geschützt werden. Die Verbindung zwischen Client und Server wird aus diesem Grund mittels HTTPS verschlüsselt. Für die Implementierung der Anwendung wird vor die Komponenten ein NGINX Reverse Proxy eingesetzt.

Alle Anfragen die auf eine der Komponenten treffen werden über den Reverse Proxy verteilt. Die Verschlüsselung wird in dem Reverse Proxy vorgenommen.

```

server {
    listen 80;
    listen [::]:80;

    server_name api.domain.com;

    location / {
        proxy_pass http://192.168.0.2:5000;
    }
}

```

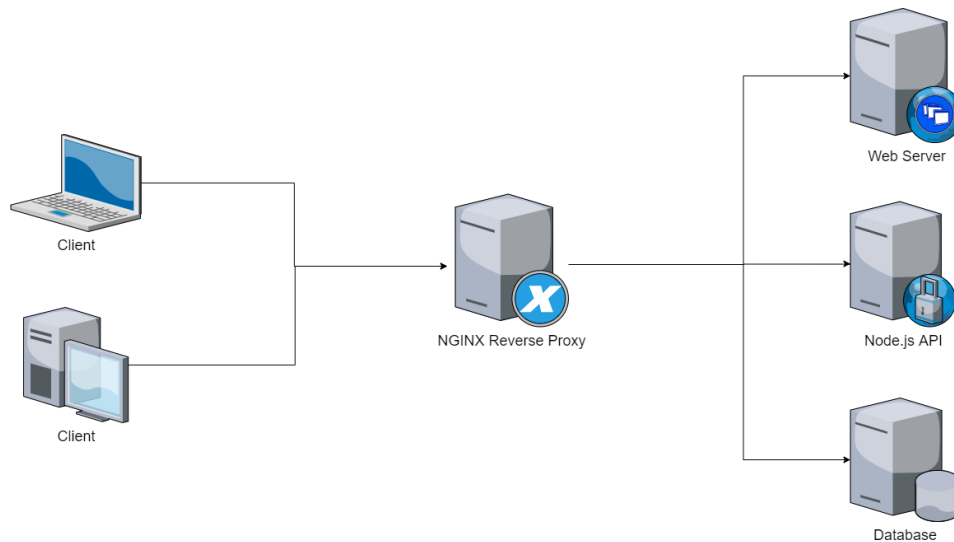


Abb. 6: Reverse Proxy

}

Bei der Konfiguration des Reverse Proxy muss der Eingangsport und die Domain angegeben werden, über die eine eingehende Anfrage auf den Reverse Proxy trifft. Mittels des „location“ Blocks wird angegeben auf welchen Server die Anfrage umgeleitet wird. Durch Zertifikations Tools wie Certbot können direkt an dieser Stelle notwendige Informationen für eine HTTPS Verbindung festgelegt werden.

Das Sicherheitsziel der Zugriffsteuerung und der Vertraulichkeit sind damit weitestgehend abgedeckt. Da in der Anwendung mit einer Datenbank gearbeitet wird, ist bei der Persistierung von Benutzerdaten und besonders Passwörtern ein weiterer Aspekt zu beachten. In der Datenbank dürfen Passwörter nicht in Klartext abgelegt werden. Bevor die Daten initial in der Datenbank abgelegt und gespeichert werden muss mittels Hash Algorithmus noch eine Verfremdung erfolgen. Im Node.js Umfeld wird dafür typischerweise das Tool „BCrypt“ benutzt. Mithilfe von BCrypt kann man Passwörter Hashen und zum späteren Zeitpunkt mit einem Klartextwort vergleichen, um eine Authentifizierung durchzuführen. Ein Benutzerobjekt wird in der Datenbank folgendermaßen gespeichert:

```

{
  "TestBenutzerName":
  {
    "username": "TestBenutzerName",
    "password": "$2b$05$/6mQI7c.5BtWkpYwsTGfReLR7iWZAA9.psfgVSxTiDw40AJIh0AbS",
  }
}
  
```

```
        "mail": "test.benutzer@email.com",  
        "role": 2  
    }  
}
```

6.3 Integrität

Bei dem Download vieler Dateien im Internet findet man Angaben zu Hash Werten. Ein Hash Wert einer downloadbaren Datei erlaubt eine Prüfung der Datenintegrität. Das bedeutet in der Praxis, wenn sich der selbst erzeugte Hash Wert der Datei nach dem Download von der Angabe auf der Website unterscheidet, wurde die Datei höchst wahrscheinlich manipuliert. Auf der Beispielimplementierung eines Shops ist ein Software Produkt zum Download angeboten. Bei Kauf des Produktes wird man auf eine Seite geleitet, die einen Download Link und die dazugehörige Checksum bereitstellt. Ist der Download erfolgt kann unter Windows eine Prüfung mithilfe des Tools „certutil“ erfolgen.

```
certutil -hashfile kali-linux-2020.4-installer-amd64.iso sha256
```

Der Befehl liefert den Hash Code:

```
50492d761e400c2b5e22c8f253dd6f75c27e4bc84e33c2eff272476a0588fb02
```

Der Hash Wert ist identisch, dem auf der Website dargestellten Wert. Die Integrität der Download Dateien ist damit sichergestellt.

6.4 Nicht-Anfechtbarkeit

Um die Nicht-Anfechtbarkeit sicherzustellen, muss ein Mechanismus bereitgestellt werden der erfolgte Käufe genau dokumentiert. Hierzu bietet sich das Logging an. Beim Logging wird automatisch ein Protokoll eines Softwareprozesses erstellt. Welche Informationen und Meldungen konkret ausgegeben werden, kann vom Entwickler selbst bestimmt werden. Dieses Verfahren dient in oftmals zur Aufzeichnung und Nachverfolgung von Fehlerzuständen. Allerdings lassen sich hiermit auch erfolgte Aktionen dokumentieren. Im Beispiel des Online Shops wird sobald sich ein Benutzer registriert, einloggt oder ausloggt eine Meldung mit Zeitstempel geloggt. So kann jederzeit nachgewiesen werden, welcher Benutzer zu welchem Zeitpunkt aktiv war und einen eventuellen Fehlkauf ausschließen. Besonders essenziell ist das Festhalten eines Kaufes über eine Log Meldung. Mithilfe dieser Meldungen kann jeder Kauf einem Kunden und einem Kaufdatum zugeordnet werden. Würde ein Konsument diesen Kauf abstreiten, so lässt sich der Kauf über dieses Dokument beweisen.

6.5 Verfügbarkeit

Damit ein System immer dann verfügbar ist, wenn ein Konsument sie anfragt, sind bestimmte Maßnahmen notwendig. Die Maßnahmen zielen vor allem darauf ab, die Seite stabil gegenüber einer hohen Belastung zu gestalten. Attacken, bei denen viele Clients gleichzeitig eingesetzt werden, um das System zum Absturz zu bringen, sollen verhindert werden. Eine Möglichkeit, die in der verteilten Systemanwendung umgesetzt wurde, ist das Verwenden von NGINX. NGINX ist eine Webserver-Software, die hier als Reverse-Proxy verwendet werden kann. Der Reverse-Proxy verteilt die Anfragen der Clients auf die Server, sodass eine Überlastung vermieden wird.

7 Fazit

Im Allgemeinen ist eine Bewertung der verschiedenen Sicherheitskonzepte anhand der IT-Sicherheitsdienste möglich. Die Abgrenzung der Sicherheitskonzepte anhand der Ebenen des OSI-Modells liefert einen Eindruck über den jeweiligen Einsatzbereich der Konzepte. Die Verwendung von Konzepten wie IPSec und VPN liefert viele Vorteile, besonders beim Schutz der Vertraulichkeit und Integrität der Daten. Die Verwendung von weiteren Sicherheitsprotokollen wie HTTPS wurde in dem Anwendungsbeispiel aufgegriffen und liefert ebenfalls eine gute Alternative und damit eine weniger restriktive Lösung. Der Einsatz von Komponenten zur Sicherung der internen Netzwerkstruktur durch bspw. Firewalls ist heutzutage in vielen verteilten Netzen Standard. Der Einsatz garantiert, dass nur der vorgesehene Datenfluss in das Netzwerk gelangt. Ein heutzutage häufig eingesetztes Sicherheitskonzept, das hauptsächlich in Grid-Systemen verwendet wird, ist GIS. Es bietet große Vorteile bezüglich der Geheimhaltung der Daten im Vergleich zu anderen Konzepten, da eine zusätzliche Verschlüsselung stattfindet. Weiterhin kann es auf jedes Betriebssystem aufgesetzt werden und stellt sich so als ein sicheres problemfreies Konzept dar. Für komplizierte Beziehungen zwischen Clients und virtuellen Organisationen lässt sich das Konzept der CAS anwenden oder nach Bedarf mit PERMIS gemeinsam verwenden. Der Prototyp zeigt anschließend eine abstrakte Umsetzung eines verteilten Systems, wie es im E-Commerce stattfindet.

Literatur

- [BA10] Bedner, M.; Ackermann, T.: Schutzziele der IT-Sicherheit, 2010, URL: https://www.uni-kassel.de/fb07/fileadmin/datas/fb07/5-Institute/IWR/Ro%C3%9Fnagel/veroeffentlichungen/bedner_ackermann_schutzziele_der_it_sicherheit_dud_2010_323.pdf.
- [Ep] Epting, U.: GSI - die Grid Security Infrastructure, hrsg. von Linux New Media AG, 01.12.2020, URL: <https://www.linux-magazin.de/ausgaben/2004/06/safer-grid/>.

- [KS08] Kriha, W.; Schmitz, R.: Internet-Security aus Software-Sicht: Grundlagen der Software-Erstellung für sicherheitskritische Bereiche. Springer, Berlin, 2008, ISBN: 978-3-54068906-5.
- [LS] Luber, S.; Schmitz, P.: Was ist Endpoint Security?, hrsg. von Security Insider, 28.10.2020, URL: <https://www.security-insider.de/was-ist-endpoint-security-a-895829/>.
- [LSS] Lackes, R.; Spiepermann, M.; Schewe, g.: Informationssystem: Definition: Was ist Informationssystem"?, hrsg. von Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 28.10.2020, URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/informationssystem-41571>.
- [Ma09] Mandl, P.: Masterkurs Verteilte betriebliche Informationssysteme: Prinzipien, Architekturen und Technologien. Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, Wiesbaden, 2009, ISBN: 978-3-8348-9262-1.
- [Mi93] Mirhakkak, M.: A distributed system security architecture. ACM SIGCOMM Computer Communication Review 23/5, S. 6–16, 1993, ISSN: 0146-4833.
- [Mu] Muraru, A.: A Dynamic and Flexible Security Framework for Large Scale Distributed Systems, URL: http://monalisa.cern.ch/docs/MonALISA-Adrian_Muraru.pdf.
- [Ng] Ngan, M.: Modern Token Authentication in Node with Express, hrsg. von okta, 25.11.2020, URL: <https://developer.okta.com/blog/2019/02/14/modern-token-authentication-in-node-with-express>.
- [o] o. V: Grundlagen verteilter Systeme: Motivation, Definition und Charakteristika, 28.10.2020, Hamburg, URL: <https://vsis-www.informatik.uni-hamburg.de/oldServer/teaching/ws-12.13/vis/folien/01-Grundlagen.pdf>.
- [oA12] o.A: Cyber-Bedrohungen – ein Einstieg, 2012, URL: https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Cyber-Sicherheit/BSI-A-CS_012.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- [oVa] o.V: IPsec - Security Architecture for IP, hrsg. von Elektronik-Kompendium.de, 1.12.2020, URL: <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/0906191.htm>.
- [oVb] o.V: JWT, hrsg. von Auth0, 23.11.2020, URL: <https://jwt.io/>.
- [Pe03] Pearlman, L.; Kesselman, C.; Welch, V.; Foster, I.; Tuecke, S.: The Community Authorization Service: Status and Future, 28.03.2003, URL: <https://www.slac.stanford.edu/econf/C0303241/proc/papers/TUBT003.PDF>.
- [Pf] Pfitzmann, A.: Sicherheit in Rechnernetzen.
- [Re] Rehm, S.-M.: Integrität in der Informationssicherheit, hrsg. von Haufe-Lexware GmbH & Co. KG, 01.12.2020, URL: https://www.haufe.de/compliance/management-praxis/integritaet-informationssicherheit_230130_482556.html.

- [SSa] Schonschek, O.; Schmitz, P.: IT-Security umfasst die Sicherheit der ganzen IT, hrsg. von Security Insider, URL: <https://www.security-insider.de/it-security-umfasst-die-sicherheit-der-ganzen-it-a-578480/>.
- [SSb] Schonschek, O.; Schmitz, P.: Was bedeutet Netzwerksicherheit?, hrsg. von Security Insider, 28.10.2020, URL: <https://www.security-insider.de/was-bedeutet-netzwerksicherheit-a-578391/>.