



FOM Hochschule für Oekonomie & Management

Hochschulzentrum Münster

Seminararbeit

im Studiengang Wirtschaftsinformatik

**im Rahmen der Lehrveranstaltung
IT-Infrastruktur**

über das Thema

**Auswirkungen von Zero Trust Network Security zur Bekämpfung moderner
Cyberbedrohungen**

von

Joshua-Volkan Gramatzki

Betreuer: Prof. Dr. Gregor Hülsken
Matrikelnummer 647100
Abgabedatum 28. Dezember 2023

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	iv
Abkürzungsverzeichnis	v
Glossar	vi
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
2 Grundlagen	3
2.1 Definition einer Zero-Trust-Architektur	3
2.2 Entwicklung und historischer Hintergrund	3
2.3 Prinzipien und Konzepte von Zero-Trust	4
2.4 Vergleich zu herkömmlichen Sicherheitsansätzen	5
3 Moderne Cyberbedrohungen	6
3.1 Trends in der Cyberkriminalität	6
3.2 Arten von Cyberbedrohungen	6
4 Zero-Trust Architektur im Detail	9
4.1 Komponenten und Aufbau von Zero-Trust	9
4.1.1 Komponenten einer Zero-Trust Architektur	9
4.1.2 Aufbau einer Zero-Trust Architektur	9
4.2 Implementierung von Zero-Trust in Unternehmen	11
4.3 Vor- und Nachteile von Zero-Trust	11
4.3.1 Vorteile	12
4.3.2 Nachteile	12
5 Auswirkungen und Resultate von Zero-Trust	13
5.1 Verbesserung der Sicherheitsebene	13
5.2 Reduzierung von Angriffsflächen	14
5.3 Schutz sensibler Daten	15
5.4 Probleme	15
6 Fazit	17

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erfasste Fälle von Cyberkriminalität nach Typ	7
Abbildung 2: Anteil einzelner Cyberkriminalitätstypen	7
Abbildung 3: Wichtigste Herausforderungen beim Aufbau einer weltweiten Zero-Trust-Strategie im Jahr 2023	16

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

BYOD	Bring-Your-Own-Device
DDoS	Distributed Denial of Service
DEC	Digital Equipment Corporation
IoT	Internet of Things
NCCoE	National Cybersecurity Center of Excellence
NCSC	National Cyber Security Centre
NIST	National Institute of Standards and Technology
NVD	National Vulnerability Database
OSSTMM	Open source Security Testing Methodology Manual
PDP	Policy Decision Point
PEP	Policy Enforcement Point
SDP	Softwaredefinierte Perimeter
ZT	Zero-Trust
ZTA	Zero-Trust-Architektur

Glossar

Authentifizierung Der Prozess der Überprüfung der Identität eines Clients, Gerätes oder Systems, um sicherzustellen, dass sie tatsächlich diejenige Partei sind, für die sie sich ausgeben. 5

Authentizität Bezeichnet die Eigenschaft der Echtheit der Daten. 9–11, 13

Autorisierung Der Prozess der Zuweisung von Berechtigungen und Zugriffsrechten an eine authentifizierte Partei, um festzulegen, welche Aktionen, Ressourcen oder Informationen sie nutzen oder verwalten darf. 3, 5, 9, 11, 13

Client Ein Endpunkt in einem Client-Server Modell, der Anfragen an einen Server sendet und auf dessen Antworten wartet, um Dienste, Ressourcen oder Daten zu erhalten. 5

Integrität Die Vollständigkeit und Unversehrtheit von Daten muss gewährleistet werden. 5, 11

Policy Decision Point (PDP) Der PDP ist zentral und trifft Entscheidungen über den Zugriff auf Ressourcen basierend auf vordefinierten Sicherheitsrichtlinien. Er analysiert Anfragen und bildet die Grundlage für die Durchsetzung durch den Policy Enforcement Point (PEP). 4

Policy Enforcement Point (PEP) Der PEP ist eine Komponente, die Sicherheitsrichtlinien an Zugriffspunkten durchsetzt. Er regelt den Datenverkehr gemäß den Vorgaben des Policy Decision Point (PDP). 4

Vertraulichkeit Daten dürfen nur von Personen verarbeitet werden, die dafür berechtigt sind. 11

1 Einleitung

35 Jahre nach dem ersten Cyberangriff und 24 Jahre nach dem ersten Distributed Denial of Service (DDoS)-Angriff werden regelmäßig neue Sicherheitslücken in Netzwerken und Programmen gefunden und ausgenutzt. Die Anzahl der Mal- und Ransomware Angriffe sank zwar durch die Coronapandemie ein wenig, war davor jedoch auf einem historischen Maximum. Zudem ist der Anteil der Unternehmen, die von einem Cyberangriff betroffen waren, so hoch wie noch nie. Auch die schnelle Verbreitung von Internet of Things (IoT)-Geräten erfordert immer stärker das Absichern von Netzwerken, um sowohl die Infrastruktur, als auch den Geräten zugängliche Daten zu schützen. So sind viele Unternehmen, besonders solche die auf kritischer Infrastruktur basieren oder mit wichtigen Daten arbeiten, an einem möglichst idealen Schutz gegenüber diese Angriffe interessiert.

1.1 Zielsetzung

Diese Seminararbeit untersucht die Auswirkungen einer Zero-Trust-Architektur (ZTA) auf die Bekämpfung moderner Cyberbedrohungen. Dabei wird untersucht, wie die Implementierung einer ZTA die Häufigkeit von Cyberangriffen und von diesen verursachten Datenverlusten in Unternehmen beeinflusst. Zudem werden die möglichen Auswirkungen auf die Benutzerfreundlichkeit und Produktivität von Mitarbeitern betrachte.

Die erwarteten Ergebnisse umfassen eine potenzielle Verringerung von Cyberangriffen und Datenverlusten, da eine ZTA eine strikte Überprüfung von Netzwerkzugriffen bietet. Zugleich werden mögliche Einflüsse auf die Benutzerfreundlichkeit und Produktivität der Mitarbeiter untersucht, um einen ausgewogenen Ansatz zwischen Sicherheit und Arbeitsleistung zu finden.

Zur Erstellung der Seminararbeit wird primär Literaturarbeit durchgeführt, welche sich auf eine systematische Analyse und Synthese bestehender wissenschaftlicher Quellen und Publikationen stützt. Hierzu wird zunächst ausführlich nach bestehender Literatur recherchiert, welche dann nach Relevanz für das Thema selektiert wird. Anschließend werden die gewählten Quellen sorgfältig gelesen und analysiert. Die relevanten Informationen dieser werden extrahiert, dies beinhaltet Daten, Fallstudien und Expertenmeinungen.

Die gesammelten Ergebnisse werden darauf in einem ganzheitlichen Ansatz zusammengeführt, um die Forschungsfragen zu beantworten und die zu erwartenden Ergebnisse zu entwickeln. Zuletzt werden die Stärken und Schwächen der identifizierten Literatur

kritisch bewertet, um die Glaubwürdigkeit und Relevanz der verwendeten Quellen sicherzustellen.

Die Wahl der methodischen Herangehensweise ermöglicht eine gründliche Untersuchung des Themas, indem sie auf etablierte wissenschaftliche Erkenntnisse und Fachwissen zurückgreift. Dies gewährleistet eine fundierte und objektive Analyse der Auswirkungen einer Zero-Trust Netzwerkarchitektur auf moderne Cyberbedrohungen und die Mitarbeitererfahrung.

1.2 Aufbau der Arbeit

Abschnitt 2 führt verschiedene Grundlagen für die Ausarbeitung dieser Seminararbeit ein. Zunächst werden ZTAs definiert, sowie die Entwicklung und der historische Hintergrund dieser erklärt. Darauf werden Prinzipien von ZTA dargestellt und ein Vergleich zu anderen Sicherheitsansätzen gebildet.

Abschnitt 3 stellt verschiedene Arten von Cyberbedrohungen wie Malware- oder Phishingangriffe dar. Zudem werden die Trends in der Cyberkriminalität erläutert.

In Abschnitt 4 wird der Aufbau und die Komponenten von ZTA, sowie die Implementierung dieser in Unternehmen gezeigt. Außerdem werden Vor- und Nachteile von Zero-Trust gegeneinander aufgewogen.

Zuletzt werden in Abschnitt 5 die Auswirkungen auf die Sicherheit von Netzwerke, sowie die Reduzierung der Angriffsfläche erläutert. Zudem belichtet dieser Abschnitt, wie Zero-Trust sensible Daten schützt, zeigt die Messbarkeit der Auswirkungen auf die Sicherheit und stellt Probleme dar.

2 Grundlagen

2.1 Definition einer ZTA

Zero-Trust (ZT) bezeichnet eine Sammlung an Maßnahmen der Cybersicherheit, welche darauf basieren, die Verteidigungen von netzwerkbasierten Umfängen auf Nutzer und Ressourcen umzuleiten.¹ Darüber hinaus ist eine ZTA ein Cybersicherheitsplan einer Einrichtung, der die Konzepte von ZT umsetzt und Zugriffsrichtlinien, Arbeitsabläufe und Beziehungen zwischen Komponenten umfasst.²

Das Ziel einer ZTA ist es, unautorisierten Zugriff auf Daten und Leistungen zu verhindern und hierbei das Durchführen der Zugriffskontrollen so detailliert wie möglich zu gestalten.

2.2 Entwicklung und historischer Hintergrund

Zscaler hat im Jahr 2022 die Entwicklung des ZT-Konzepts knapp zusammengefasst.³ Die ersten Grundsteine, die zur Entwicklung des ZT-Konzepts führten, wurden 1987 gelegt. In diesem Jahr wurde von Entwicklern der Digital Equipment Corporation (DEC) eine Studie zum Thema Firewall-Technologie veröffentlicht, wodurch die „Festung mit Burggraben“ als Standardmodell der Netzwerksicherheit etabliert wurde.⁴

Im Jahr 1994 wurde der Begriff „ZT“ im Rahmen einer Doktorarbeit über Computersicherheit geprägt. Der Autor untersuchte Vertrauen als ein mathematisch beschreibbares, endliches Gut.⁵ Im selben Jahr wurden Firewalls als eine harte Schale um einen weichen Kern, wie bei einem Ei, beschrieben. Wenn ein Angreifer die Firewall überwinden kann, stünde ihm das ganze Netzwerk zur Verfügung.⁶

Die erste Version des 802.1X-Protokolls⁷ wurde im Jahr 2001 veröffentlicht und als Standard für Netzzugangskontrollen eingeführt. In diesem Protokoll wird die Authentifizierung von Netzverbindungen sowie die Vergabe von Zugriffsrechten auf Netzwerkebene vorgesehen. Dadurch, dass das Protokoll komplexe Vorgänge vorschreibt, war es nicht zur

¹ Vgl. *Rose, S. et al.*, 2020, S. 4.

² Vgl. ebd., S. 4.

³ Vgl. *zscaler*, 2022.

⁴ Vgl. ebd.

⁵ Vgl. *Marsh, S. P.*, 1994.

⁶ Vgl. *IDG Network World Inc.*, 1994, S. 29.

⁷ Vgl. IEEE Standard for Port Based Network Access Control, 2001.

allgemeinen Implementierung geeignet.⁸ Zusätzlich wurde auch in 2001 die erste Version des Open source Security Testing Methodology Manual (OSSTMM) mit dem Fokus auf Vertrauen veröffentlicht.⁹

Um das Jahr 2007 wurde die dritte Version des OSSTMM veröffentlicht, welche in einem ganzen Kapitel über die Schwachsettle „Vertrauen“ in Systemen befasst.¹⁰

Eine weitere Prägung des Begriffes „ZT“ fand im Jahr 2010 statt, als der Analyst Kindervag in einem Forschungsbeitrag die Verlagerung der Authentifizierung und Cybersicherheit in den Datenpfad vorsieht und auch die Segmentierung zwischen einzelnen Sitzungen fordert. Weiterhin wird das Paradigma des Netzwerkzugangs verhaftet, der Sicherheitsperimeter wird allerdings ins Netzwerk verschoben.¹¹

2018 arbeiteten Forscher von National Institute of Standards and Technology (NIST) und National Cybersecurity Center of Excellence (NCCoE) zusammen an einem Projekt, welches zur Veröffentlichung der NIST Leitlinie SP 800–207¹² im Jahr 2020 als ein erstes einheitliches Framework für ZTAs führte. Diese definiert ZT als eine Sammlung verschiedener Konzepte und Ideen, welche die Unsicherheit bei anfragenbezogenen Zugriffsentscheidungen in Informationssystemen verringern sollen. Diese Veröffentlichung leitete einen Paradigmenwechsel ein, da erstmals ZT nicht mehr im Kontext des Netzwerkzugangs definiert wird.¹³

Im Jahr 2021 hat das National Cyber Security Centre (NCSC) im Vereinigten Königreich empfohlen, dass Netzwerkarchitekten einen ZT Ansatz für neue IT-Lösungen in Betracht nehmen, dies besonders dann, wenn signifikante Nutzung von Cloud-Services geplant ist.¹⁴ Zusätzlich wurden im Jahr 2022 alle US-Behörden zur Umstellung auf ZT bis 2024 verpflichtet.¹⁵

2.3 Prinzipien und Konzepte von Zero-Trust

In einem System, welches ZT implementiert, muss jede Anfrage bevor sie auf die Ressourcen zugreifen kann, in einem Policy Decision Point (PDP)/Policy Enforcement Point (PEP) überprüft werden.¹⁶

⁸ Vgl. *zscaler*, 2022.

⁹ Vgl. *Herzog, P., Barceló, M. et al.*, 2001.

¹⁰ Vgl. *Herzog, P., Barceló Marta Lee, R. E.*, 2010.

¹¹ Vgl. *zscaler*, 2022; Vgl. *Kindervag, J., Balaouras, S., Coit, L.*, 2010.

¹² *Rose, S. et al.*, 2020.

¹³ Vgl. *zscaler*, 2022.

¹⁴ *NCSC*, 2021.

¹⁵ Vgl. *zscaler*, 2022.

¹⁶ Vgl. *Rose, S. et al.*, 2020, S. 4.

Eine ZTA wird mit dem Gedanken entwickelt und umgesetzt, die folgenden Grundsätze umzusetzen:

- Alle Datenquellen und Rechenleistungen werden als Ressourcen angesehen,
- Unabhängig der Netzwerkposition ist jegliche Kommunikation gesichert,
- Der Zugriff auf einzelne Ressourcen erfolgt auf einer Pro-Sitzung Grundlage,
- Zugriff auf Ressourcen wird durch dynamische Regelungen festgelegt und kann von verschiedenen Attributen, wie die Identität des Clients beeinflusst werden,
- Das Unternehmen überwacht und misst die Integrität aller eigenen und verbundenen Ressourcen,
- Jegliche Ressourcen Authentifizierung und Autorisierung ist dynamisch und erzwungen, bevor Zugriff gewährt werden kann,
- Das Unternehmen sammelt so viele Informationen über den aktuellen Status der Ressourcen, Netzwerkinfrastruktur und Kommunikationen wie möglich und nutzt diese, um die Sicherheit zu erhöhen.¹⁷

Eventuell ibidem entfernen mit „\makeatletter\blx@ibidreset\makeatother“

2.4 Vergleich zu herkömmlichen Sicherheitsansätzen

¹⁷ Vgl. *Rose, S. et al.*, 2020, S. 6-7.

3 Moderne Cyberbedrohungen

3.1 Trends in der Cyberkriminalität

In den letzten Jahren hat die Anzahl der Cyberkriminalitätsfälle in Deutschland stark zugenommen. So wurden zwar für das Jahr 2022 ein Rückgang von 6.5% gegenüber dem Vorjahr an erfassten Fällen aufgezeichnet, jedoch bildet sich in dem Zeitraum von 2012 bis 2022 ein Gesamtwachstum von 112% an erfassten Cyberkriminalitätsfällen.¹⁸

Analog zu der Anzahl der aufgezeichneten Fälle steigen auch die Kosten, die Cyberkriminalität verursacht, sowie die Ausgaben die für IT-Sicherheit in Deutschland vorgenommen werden stetig. 2018 haben Cyberkriminalitätsvorfälle deutschen Unternehmen durchschnittlich 13,12 Millionen US-Dollar¹⁹ gekostet, was gegenüber dem Vorjahr ein Zuwachs von fast 18% darstellt.²⁰ 2021 wurden so ungefähr 6,9 Milliarden Euro für IT-Sicherheitsmaßnahmen ausgegeben, was einem Zuwachs von fast 22% gegenüber dem Vorjahr entspricht,²¹ davon wurden geschätzt 1,7 Milliarden Euro für Softwarelösungen ausgegeben.²²

Wie die Kosten und Ausgaben für Cyberkriminalität steigen auch die möglichen Methoden der Angreifer. Abbildung 1 zeigt nach den Statista Market Insights,²³ dass die Anzahl der Fälle von Cyberkriminalität fast stetig zunimmt.

Einzig im Jahr 2022 wurde ein Rückgang der erfassten Fälle aufgezeichnet. Besonders der Anteil, der Phishingangriffe hat im Vergleich zu 2018 stark zugenommen, wohingegen die Nichtzahlung von Leistungen stark abgenommen hat, wie in Abbildung 2 aus den Statista Market Insights²⁴ dargestellt wird.

3.2 Arten von Cyberbedrohungen - Malware, Phishing, DDoS

Die drei häufigsten Methoden von Cyberattacken sind Malware, Phishing und DDoS Angriffe.

¹⁸ Vgl. *Bundeskriminalamt*, 2023.

¹⁹ Heutiger Wert ungefähr 10,23 Millionen Euro

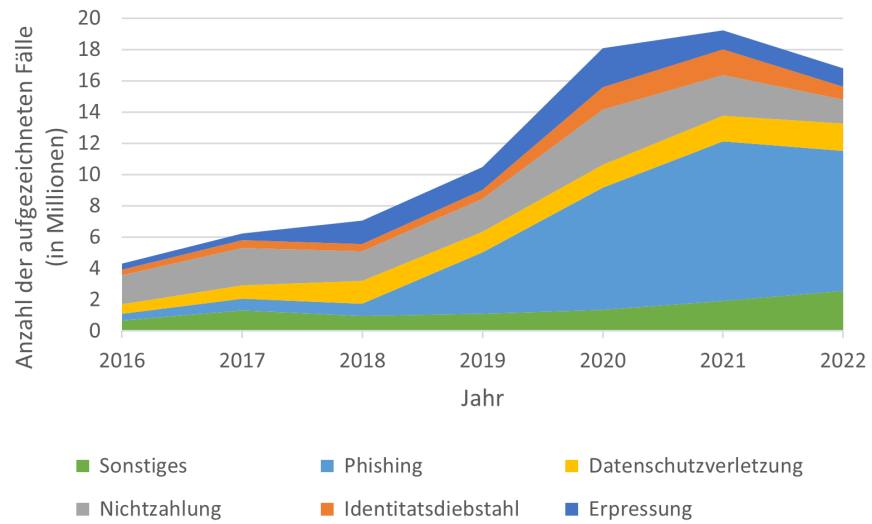
²⁰ Vgl. *Accenture*, 2019.

²¹ Vgl. *Bitkom*, 2022.

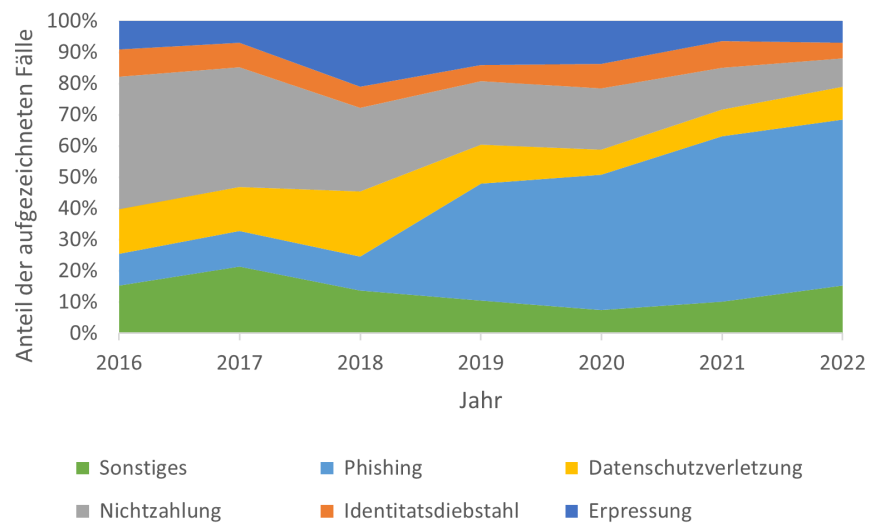
²² Vgl. *Bitkom*, 2020.

²³ Vgl. *Statista Market Insights et al.*, 2023.

²⁴ Vgl. ebd.



**Abbildung 1: Erfasste Fälle von Cyberkriminalität nach Typ.
Stand September 2023**



**Abbildung 2: Anteil einzelner Cyberkriminalitätstypen.
Stand September 2023**

Definition 3.1. *Phishing bezeichnet den Versuch, an vertrauliche Informationen wie Anmeldedaten oder Kreditkarteninformationen zu gelangen, indem ein System innerhalb eines Kommunikationsvorgangs als vertrauenswürdig ausgibt.*²⁵

Definition 3.2. *Malware bezeichnet eine Software, welche ausschließlich Systeme angreift, welche entweder keine anderen Systeme beschädigen, oder welche Malwaresysteme angreifen.*²⁶

Definition 3.3. *Unter DDoS-Angriffen werden Vorgänge verstanden, gezielt versuchen, ein Netzwerk oder einen Computer die Möglichkeit zu nehmen, gewohnte Dienste auszuführen. Bei solchen Angriffen werden die vorhandenen Daten und Systeme weder direkt noch permanent angegriffen, es wird lediglich die Verfügbarkeit dieser Ressourcen unterbunden.*²⁷

Diese Angriffe zielen auf verschiedene Angriffsflächen und haben verschiedene Ziele, welche das korrumpieren von Daten oder Systeme oder das Hindern des Zugriffs auf Daten und Systeme beinhalten können. Um diese Angriffe abzuwehren, gibt es verschiedene Methoden, eine davon ist eine ZTA.

²⁵ Vgl. Bhavsar, V., Kadlak, A., Sharma, S., 2018, S. 27.

²⁶ Vgl. Kramer, S., Bradfield, J. C., 2010, S. 108f.

²⁷ Vgl. Douligieris, C., Mitrokotsa, A., 2003, S. 190.

4 ZTA im Detail

Da in einer ZTA keinem Gerät und keiner Anwendung vertraut wird, alle aber unterstützt werden, sind verschiedene Maßnahmen notwendig, die erwünschte und oft erforderliche Sicherheit zu garantieren. Dies geschieht durch regelmäßiges Überprüfen der Authentizität und Autorisierung der Systeme.²⁸

4.1 Komponenten und Aufbau von Zero-Trust

Jede ZTA wird durch 3 Eigenschaften definiert. Diese stellen sicher, dass (i) Auf alle Ressourcen unabhängig ihrer physischen oder logischen Position ein sicherer Zugriff erfolgen muss, (ii) Strenge Zugriffskontrollmaßnahmen bestehen, und zuletzt (iii) Jeglicher Netzwerkverkehr erfasst und aufgezeichnet wird.²⁹

4.1.1 Komponenten einer Zero-Trust Architektur

Es gibt verschiedene Methoden, eine ZTA einzurichten, von denen viele das Konzept teilen, die Kontrolle nahe an den Anwendungen und Nutzern zu halten, anstatt sie in der Netzwerkinfrastruktur auszulagern.³⁰ Drei der Grundmethoden einer ZTA sind Anwendungsauthentifizierung, Gerätauthentifizierung und Vertrauen, da eine ZTA im Gegensatz zu anderen Sicherheitsinfrastrukturen die Authentizität regelmäßig überprüft, die Nutzergeräte überprüft und Widersprüchlichkeiten in Anwendungen der Nutzer überwacht und erkennt.³¹

ZT sollte nicht als einzelne Technologie gesehen werden, sondern stellt durch viele Anforderungen, Kontrollen und Prinzipien einen umfassenden Schutz dar, welcher selbst bei verschwimmender Grenze zwischen Privatem und Arbeit nicht minder wirkt.³²

4.1.2 Aufbau einer Zero-Trust Architektur

Eine ZTA lässt jede Anfrage eine Vertrauensevaluation durchgehen. Eine solche Evaluation kann aus den folgenden, von Horne und Nair dargestellten, Schritten bestehen:³³

²⁸ Vgl. *D'Silva, D., Ambawade, D. D.*, 2021, S. 3.

²⁹ Vgl. ebd., S. 2.

³⁰ Vgl. *Buck, C. et al.*, 2021, S. 4.

³¹ Vgl. *D'Silva, D., Ambawade, D. D.*, 2021, S. 3.

³² Vgl. *Akamai*, 2023, Was sind die Komponenten von Zero Trust.

³³ Vgl. *Horne, D., Nair, S.*, 2021, S. 3.

1. Vertrauensfaktoren, darunter unter anderem

- Nutzerauthentifizierung,
- Nutzerrolle oder -profil,
- Gerätauthentifizierung,
- Geräteart und -status,
- IP-Adresse, bzw. Ort,
- Details der Zugriffsanfrage,
- Verhaltensdaten,

2. Vertrauensalgorithmus,

3. Anforderungen und Anforderungsadministrator, mit den folgenden Richtlinien

- Vertrauensgrenzwerte,
- Grundsätze zur Einhaltung der Richtlinien,
- Richtlinien für Endgeräte,
- Datenschutzrichtlinien

4. Erlauben oder Ablehnen der Zugriffsanfrage.

Die Überprüfung nach dem 4. Schritt der vorherigen Auflistung läuft dabei wie folgt ab:³⁴

1. Dabei wird die Anfrage zunächst auf die einzelnen Faktoren überprüft und evaluiert.
2. Anschließend wird aus dem Resultat dieser Evaluation ein Vertrauenswert berechnet, mit welchem die Anfrage überprüft und einzelne Richtlinien zugeschrieben werden.
3. Zuletzt wird, sofern ein ausreichender Vertrauenswert vorhanden ist, die Anfrage unter Einhaltung der Richtlinien akzeptiert, andernfalls abgelehnt.

³⁴ Vgl. Horne, D., Nair, S., 2021, S. 3.

4.2 Implementierung von Zero-Trust in Unternehmen

Eine ZTA kann sowohl in einem neuen System implementiert werden, als auch in einem bereits bestehenden eingearbeitet werden. Hierfür werden die folgenden Annahmen genommen:³⁵

- Das LAN innerhalb eines Netzwerkes sollte nicht implizit als vertraute Zone behandelt werden.
- Mit dem aktuellen Trend, dass in Unternehmen Bring-Your-Own-Device (BYOD) eingeführt wird, wird davon ausgegangen, dass Geräte, die mit dem Netzwerk verbunden sind, keine Instanz des Unternehmens sind, da jedes Gerät manipuliert werden kann.
- Ressourcen sind niemals vertrauenswürdig, d. h. vom Standpunkt der Sicherheit aus gesehen muss jede Ressource kontinuierlich bewertet werden und darf nur solange genutzt werden, wie sie benötigt wird.
- Cloud-Dienste sind ein wesentlicher Bestandteil jedes Unternehmensnetzwerkes geworden und verdeutlichen, dass nicht alle Unternehmensressourcen innerhalb der Unternehmensinfrastruktur liegen.
- Alle Verbindungsanfragen von außerhalb des Unternehmens, wie z. B. Remote Desktop, müssen autorisiert und authentifiziert werden. Alle Daten müssen mit Respekt, Vertraulichkeit, Integrität und Quellenauthentifizierung übertragen werden.
- Ausgehend der obigen Annahmen ist es essenziell, dass alle Ressourcen und Kommunikation zwischen dem Unternehmen und externer Infrastruktur einer ständigen Sicherheitsstrategie unterliegen muss.

4.3 Vor- und Nachteile von Zero-Trust

Eine ZTA bietet verschiedenste Vor- und Nachteile, angefangen von den verbesserten Sicherheitsmetriken, endend bei einer komplexeren Infrastruktur. Dieser Abschnitt listet und erläutert einzelne dieser Eigenschaften.

³⁵ Vgl. *D'Silva, D., Ambawade, D. D.*, 2021, S. 3.

4.3.1 Vorteile

Bei erfolgreicher Implementierung einer ZTA hat jeder Teil des Netzwerkes nur für ein Minimum der Zeit Zugriff auf das Minimum der erforderlichen Ressourcen. Dies sorgt dafür, dass ein nahezu umfassender Schutz vor Angriffen besteht, welcher besonders Sicherheitslücken in Systemen, die durch, beabsichtigte oder unbeabsichtigte, Vertrauensbrüche entstehen, angreift.³⁶ Zudem ist eine ZTA flexibler, was die Nutzung von Anwendungen und Geräten betrifft, da die Sicherheitsarchitektur sich nicht auf einzelne Perimeter verlassen muss.³⁷ Gleichmaßen stellt eine ZTA eine bessere Einsicht in den Netzverkehr und das Nutzerverhalten dar, was es erneut vereinfacht, Risiken zu erkennen und auf diese zu reagieren.³⁸

Besonders Unternehmen, welche ihre Ressourcen primär in Cloud-Systemen verwaltet werden einfachere Prozesse in der Umwandlung auf eine ZTA haben, da die Sicherheitsprotokolle bei diesen Systemen meist flexibler einzurichten sind. Zudem ist eine ZTA in digitalen Unternehmen sehr effektiv, da solche keine klare Perimetergrenze haben, sondern überall existieren, wo Kunden, Mitarbeiter oder Partner mit den Diensten interagieren und Daten genutzt werden. Hierdurch ist eine auf Perimeter basierende Sicherheitsstrategie nicht ausreichend, eine ZTA hingegen ermöglicht es, neue Services schnell zu unterstützen, ohne dass eine Verbindung zum gesamten Unternehmensnetzwerk geöffnet wird. Dies ermöglicht es den Sicherheitsabteilungen an der digitalen Transformation teilzuhaben, anstatt ausschließlich als Verwalter wahrgenommen zu werden.³⁹

Zusätzlich reduziert eine ZTA die Managementkosten, indem Anzahl und Arten von Sicherheitskontrollen verringert und somit die Anzahl der Managementkonsolen im System reduziert werden. Dies führt zu einer effizienteren Nutzung von Ressourcen und ermöglicht es den Sicherheitsmitarbeitern in einem Unternehmen, mehr Zeit für substantielle Sicherheitsaktivitäten aufzuwenden.⁴⁰

4.3.2 Nachteile

Während die Vorteile primär auf der technischen Seite einer ZTA liegen, existieren auch Nachteile, welche auf physischer Ebene Auswirkungen zeigen. So kann sich das Einrichten einer ZTA durch das Erwerben neuer, notwendiger Werkzeuge und Technologien als

³⁶ Vgl. *Edo, O. C. et al.*, 2022, S. 146.

³⁷ Vgl. *Shore, M., Zeadally, S., Keshariya, A.*, 2021, S. 28; Vgl. *Hunter, S.*, 2020.

³⁸ Vgl. *Shore, M., Zeadally, S., Keshariya, A.*, 2021, S. 28.

³⁹ Vgl. *Cunningham, C., Pollard, J., Holmes, D.*, 2019, S. 11.

⁴⁰ Vgl. *ebd.*, S. 8.

teuer darstellen.⁴¹ Zudem ist die Nutzererfahrung mit dem System geringer als gewünscht ausfallen, da jede Anfrage eine neue Autorisierung und Authentifizierung erfordert, was besonders zu Anfängen eine nicht vernachlässigbare Zeitdauer in Anspruch nehmen kann.⁴²

Darüber hinaus kann die Implementierung einer ZTA komplex und zeitaufwendig sein, sowie signifikante Änderungen in bestehenden Netzwerkinfrastrukturen und Sicherheitsmaßnahmen erfordern.⁴³

5 Auswirkungen und Resultate von Zero-Trust

5.1 Verbesserung der Sicherheitsebene

Eine ZTA trägt zur Verbesserung der Sicherheitsebene von Systemen bei, indem es einen Paradigmenwechsel in der Cybersicherheit darstellt. Das Vertrauen in Personen, Geräte und Prozesse wird zuvor bereits dargestellt auf ein Minimum reduziert, wodurch die Sicherheit erhöht wird.

Zudem wird das Datenbewusstsein und die Dateneinsicht in einer ZTA erhöht. Hierdurch und durch die kontinuierliche Überwachung des Datenverkehrs ermöglicht es, sowohl verdächtige Verhaltensweisen und Angriffe schneller zu erkennen und zu unterbinden, als auch aus vergangenen Vorfällen Fehler zu erkennen und die bestehenden Sicherheitsmaßnahmen entsprechend anzupassen.⁴⁴ Durch Mikrosegmentierung, dem Aufteilen eines Netzwerkes in kleinere Segmente, und dem Gewähren von Zugriff ausschließlich auf die für die Anfrage benötigten Ressourcen wird sichergestellt, dass kein überflüssiger und ungewollter Datenverkehr durchgeführt wird.⁴⁵ Hierdurch wird die Anzahl der möglichen ausnutzbaren Lücken im System reduziert.

Ein nach ZT eingerichtetes Netzwerk ist außerdem weniger anfällig gegenüber Malware, da die segmentierten Bereiche des Netzwerkes es schwieriger bis unmöglich machen, die Malware im System zu verbreiten. Allein das Betreten des Netzwerkes der Malware, nachdem z. B. ein Mitarbeiter einen Phishing Link ausgeführt hat, wird erschwert, da die Daten durch die Netzwerkeinrichtung zunächst überprüft werden, bevor sie auf dem Gerät des Nutzers ankommen.⁴⁶ Bei Malware-Programmen werden entsprechende Trigger

⁴¹ Vgl. Shore, M., Zeadally, S., Keshariya, A., 2021, S. 33.

⁴² Vgl. ebd., S. 28.

⁴³ Vgl. Shore, M., Zeadally, S., Keshariya, A., 2021, S. 33; Vgl. Buck, C. et al., 2021, S. 11.

⁴⁴ Vgl. Cunningham, C., Pollard, J., Holmes, D., 2019, S. 9; Vgl. Buck, C. et al., 2021, S. 4.

⁴⁵ Vgl. Shore, M., Zeadally, S., Keshariya, A., 2021, S. 30.

⁴⁶ Vgl. Cunningham, C., Pollard, J., Holmes, D., 2019, S. 7.

ausgelöst, die vor dem schädlichen Datenverkehr warnen.⁴⁷ Gleichzeitig kann eine ZTA auch das Ausbreiten eines Malware-Programmes unterbinden, welches z. B. über einen korrupten USB-Stick in das System eingebracht wird, da das Programm durch die Segmentierung nur schwierig auf andere Geräte im Netzwerk übergreifen kann.⁴⁸

5.2 Reduzierung von Angriffsflächen

Durch die Mikrosegmentierung eines Netzwerks mit einer ZTA in kleinere, isolierte Segmente werden Angriffe auf das Segment begrenzt, in dem sie stattfinden, ohne sich auf andere Segmente ausbreiten zu können. Dies reduziert das Risiko von Datenlecks und unbefugtem Zugriff.⁴⁹ Besonders gegen DDoS-Angriffe bietet eine ZTA starken Schutz, da die meist automatisierten Angriffe durch die Mikrosegmentierung nur geringe Bereiche des Systems anwählen können.⁵⁰

Des Weiteren trägt die Verwendung von Softwaredefinierte Perimeter (SDP) dazu bei, dass eine Black Box gebildet wird, welche die Infrastruktur und Ressourcen vor öffentlichem Zugriff verbirgt.⁵¹

Die Möglichkeit, allen Datenverkehr zu überwachen trägt zudem dazu bei, den Schaden, den Datenausbrüche verursachen, zu begrenzen oder sogar ganz zu verhindern.⁵² Viele Lösungen benötigen Wochen bis Monate, um einen Vorfall zu erkennen, sodass in vielen Fällen externe Akteure wie Kunden oder Partner die Firma über den Vorfall informieren.⁵³ Mit bisher genutzten Lösungen beträgt die Zeit, die es benötigt wird, über einen Sicherheitsvorfall benachrichtigt zu werden, im Median 78 Tage.⁵⁴

Die Segmentierung eines Netzwerkes trägt außerdem dazu, der Schnelllebigkeit der Technologien und Netzwerke, sowie den Problemen beim Bearbeiten und Schützen der Schwachstellen entgegenzuwirken. So wurden zum Beispiel im Jahr 2018 allein wurden ungefähr 16.500 Einträge der National Vulnerability Database (NVD) der USA hinzugefügt, im Jahr 2022 bereits ungefähr 25.200.⁵⁵

⁴⁷ Vgl. *Cunningham, C., Pollard, J., Holmes, D.*, 2019, S. 7.

⁴⁸ Vgl. ebd., S. 7.

⁴⁹ Vgl. *Shore, M., Zeadally, S., Keshariya, A.*, 2021, S. 20; Vgl. *Buck, C. et al.*, 2021, S. 4.

⁵⁰ Vgl. *Eidle, D. et al.*, 2017, S. 289.

⁵¹ Vgl. *Buck, C. et al.*, 2021, S. 4; Vgl. *Kumar, P. et al.*, 2019, S. 1.

⁵² Vgl. *Cunningham, C., Pollard, J., Holmes, D.*, 2019, S. 6.

⁵³ Vgl. ebd., S. 6.

⁵⁴ Vgl. *FireEye*, 2019, S. 5.

⁵⁵ Vgl. *Cunningham, C., Pollard, J., Holmes, D.*, 2019, S. 6; Vgl. *CVE Details*, 2023.

5.3 Schutz sensibler Daten

Eventuell subsection „Datenverarbeitung“ nennen und zwei subsubsections zu „Datenschutz“ und „Datenspeicherung“ schreiben?

Um eine ZTA einzurichten werden im Allgemeinen fünf Schritte vorausgesetzt. Diese sind (i) das Identifizieren der sensiblen Daten, (ii) das Erfassen des Datenflusses der sensiblen Daten, (iii) der Entwurf der ZT-Parametern, (iv) das kontinuierliche Überwachen des Systems mit Sicherheitsanalysen und (v) das Einführen der Steuerung und Automatisierung der Sicherheitsmaßnahmen.⁵⁶

Zusätzlich werden in einer ZTA viele Daten, darunter auch Nutzerdaten gespeichert, damit sichergestellt werden kann, welcher Akteur auf welche Daten, Systeme und Dienste zugreifen kann, bzw. darf. Für diese Daten wird für jeden Akteur ein Register eingerichtet, welches die folgenden Daten beinhalten kann:⁵⁷

- die Anzahl der erfolgreichen und nicht erfolgreichen Verbindungsanfragen, sowie die Frequenz dieser;
- jeder in Anspruch genommene Dienst, der zu einer Zugriffsentscheidung führt, und für jeden dieser Dienste die Häufigkeit und Anzahl dieser Anfragen;
- jede angeforderte Datenressource, die dem Subjet erlaubt und verweigert wurde, zusammen mit dem zugehörigen Ressourcentyp⁵⁸ und der Empfindlichkeitsstufe, der Zugriffsart⁵⁹ und die Dauer⁶⁰ sowie alle verfügbaren Daten, die den Zugriffs-kontext bezeichnen, wie z. B. Zeit, Ort und Systemzustand;
- die Historie aller dem Akteur entzogenen Berechtigungen;
- aktueller Satz von Akteursattributen zusammen mit jeder beobachteten Änderung dieser Eigenschaften.

5.4 Probleme

Abbildung 3 zeigt, welchen Problemen Unternehmen weltweit begegnen, die sie daran hindern, eine ZTA in ihrem Unternehmen einzurichten.⁶¹

⁵⁶ Vgl. *Ahmed, I. et al.*, 2020, S. 2-3; Vgl. *Balaouras, S., Cerrato, P., Cunningham, C.*, 2018.

⁵⁷ Vgl. *Colombo, P., Ferrari, E., Tümer, E. D.*, 2021, S. 161.

⁵⁸ z. B. Datensatz, Zeilendaten, Datenstrom

⁵⁹ z. B. Lesen, Schreiben, Lesen und Schreiben

⁶⁰ z. B. sofort/kontinuierlich und die zugehörige Länge

⁶¹ Vgl. *Fortinet*, 2023.

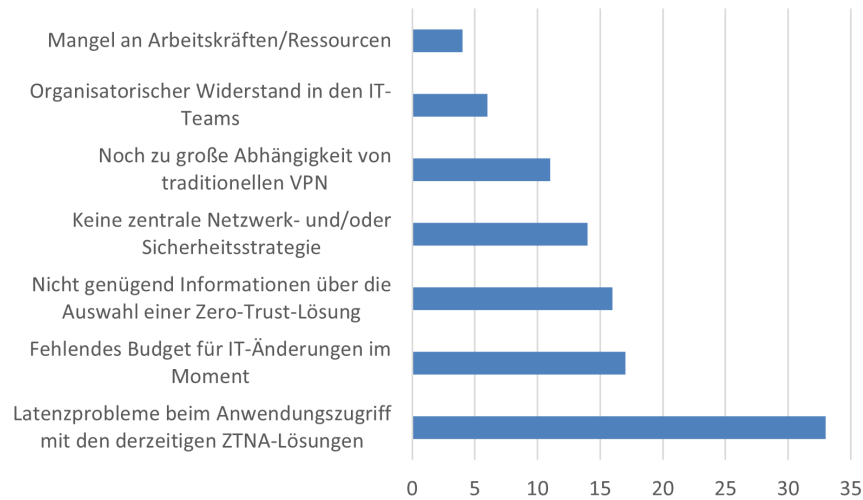


Abbildung 3: Wichtigste Herausforderungen beim Aufbau einer weltweiten Zero-Trust-Strategie im Jahr 2023
Werte in Prozent

Zusätzlich zu diesen Problemen gibt es beim Aufbau einer ZTA auch die Bedenken um die Sicherheit gespeicherter Daten, welche wie in Unterabschnitt 5.3 aufgeführt wurden zur effektiven Zugriffsüberprüfung erforderlich sind. Jedoch ist es möglich, auch diese Daten innerhalb der ZTA zu speichern, sodass auch sie von dem Schutz des Netzwerkes profitieren. Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass die Systeme und Akteure, die Einfluss auf die Zugriffsentscheidung über Anfragen von Systemen und Nutzern haben, auch auf die gespeicherten Daten Zugriff besitzen müssen, andernfalls bringt die Speicherung der Daten keinen Nutzen.

6 Fazit

Literaturverzeichnis

- Accenture* (2019): Schätzung der urchschnittlichen Kosten durch Cyberkriminalitäts-Vorfälle in Unternehmen in ausgewählten Ländern weltweit in den Jahren 2016 bis 2018, (in Millionen US-Dollar), Graph, statista, Dublin: Statista Research Department, 2019-03-05, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/499313/umfrage/gesamtkosten-durch-cybercrime-in-unternehmen-in-ausgewaehlten-laendern/> [Zugriff: 2023-11-14]
- Ahmed, Iftekhar, Nahar, Tahmin, Urmi, Shahina Sultana, Taher, Kazi Abu* (2020): Protection of Sensitive Data in Zero Trust Model, in: Proceedings of the International Conference on Computing Advancements, ICCA 2020, Dhaka, Bangladesh: Association for Computing Machinery, 2020
- Balaouras, Stephanie, Cerrato, Peter, Cunningham, Chase* (2018): Five Steps To A Zero Trust Network | Forrester, o. O., 2018-10-01, URL: <https://www.forrester.com/report/five-steps-to-a-zero-trust-network/RES120510> [Zugriff: 2023-12-10]
- Bhavsar, Vaishnavi, Kadlak, Aditya, Sharma, Shabnam* (2018): Study on Phishing Attacks, en, in: International Journal of Computer Applications, Bd. 182, 33, o. O., 2018-12, [Zugriff: 2023-11-24]
- Bitkom* (2020): Ausgaben für IT-Sicherheit in Deutschland nach Segment in den Jahren 2017 bis 2019 und Prognose bis 2021, (in Milliarden Euro), Graph, statista, Deutschland: Statista Research Department, 2020-10-06, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/151727/umfrage/ausgaben-fuer-it-sicherheit-in-deutschland/> [Zugriff: 2023-11-14]
- Bitkom* (2022): Ausgaben für IT-Sicherheit in Deutschland in den Jahren 2017 bis 2021 und Prognose bis 2025, (in Milliarden Euro), Graph, statista, Deutschland: Statista Research Department, 2022-10-25, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1041736/umfrage/ausgaben-fuer-it-security-in-deutschland/> [Zugriff: 2023-11-14]
- Buck, Christoph, Olenberger, Christian, Schweizer, André, Völter, Fabiane, Eymann, Thorsten* (2021): Never trust, always verify: A multivocal literature review on current knowledge and research gaps of zero-trust, in: Computers & Security, 110 (2021), Nr. 102436, S. 26
- Bundeskriminalamt* (2023): Polizeilich erfasste Fälle von Cyberkriminalität in Deutschland von 2007 bis 2022, statista, Deutschland: Statista Research Department, 2023-07-12, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/295265/umfrage/polizeilich-erfasste-faelle-von-cyberkriminalitaet-im-engeren-sinne-in-deutschland/> [Zugriff: 2023-11-13]
- Colombo, Pietro, Ferrari, Elena, Tümer, Engin Deniz* (2021): Access Control Enforcement in IoT: state of the art and open challenges in the Zero Trust era, in: 2021 Third IEEE International Conference on Trust, Privacy and Security in Intelligent Systems and Applications (TPS-ISA), o. O., 2021, S. 159–166

- Cunningham, Chase, Pollard, Jeff, Holmes, David* (2019): The eight business and security benefits of zero trust, Business Case: The Zero Trust Security Playbook, Englisch, in: Forrester Research November (2019)
- CVE Details* (2023): Number of common IT security vulnerabilities and exposures (CVEs) worldwide from 2009 to 2023 YTD, Englisch, CVE Details, o. O.: Petrosyan, Ani und CVE Details, 2023-04, URL: <https://www.statista.com/statistics/500755/worldwide-common-vulnerabilities-and-exposures/> [Zugriff: 2023-12-27]
- D'Silva, Daniel, Ambawade, Dayanand D.* (2021): Building A Zero Trust Architecture Using Kubernetes, in: 2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), o. O., 2021-04-04, S. 1–8
- Douligeris, C., Mitrokotsa, A.* (2003): DDoS attacks and defense mechanisms: a classification, Englisch, in: Proceedings of the 3rd IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (IEEE Cat. No.03EX795), Darmstadt, Germany: IEEE, 2003-12-17, S. 190–193
- Edo, Onome Christopher, Tenebe, Theophilus, Etu, Egbe-Etu, Ayuwu, Atamgbo, Emakhu, Joshua, Adebisi, Shakiru* (2022): Zero Trust Architecture: Trend and Impact on Information Security, in: International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Bd. 12, 7, o. O., 2022-01-07, S. 140–147
- Eidle, Dayna, Ni, Si Ya, DeCusatis, Casimer, Sager, Anthony* (2017): Autonomic security for zero trust networks, in: 2017 IEEE 8th Annual Ubiquitous Computing, Electronics and Mobile Communication Conference (UEMCON), o. O., 2017, S. 288–293
- FireEye* (2019): M-Trends 2019, value, report, o. O.: FireEye, 2019, URL: <https://www.indevis.de/file-download/download/public/2080> [Zugriff: 2023-12-27]
- Fortinet* (2023): Most important challenges when building a Zero Trust strategy worldwide in 2023, Englisch, Statista Umfrage Cybersecurity & Cloud 2018, Fortinet, o. O.: Fortinet, 2023-06-14, URL: <https://www.statista.com/statistics/1368077/main-challenges-when-implementing-a-zero-trust-strategy-worldwide/>
- Herzog, Pete, Barceló, Marta, Dupius, Clement, Bailey, Don, Hines, Michael S., Dominguez Torres, Miguel Angel, Urunuela, Angel Luis, Klee, Peter, Jankowski, Rich, Schallock, Felix, IP, Vincent* (2001): Open-Source Security Testing Methodology Manual, Englisch, hrsg. von Simonis, Drew, Hawthorn, Emily K., Martinez i Barrachina, Jordi, o. O., 2001-05-05, URL: <https://cdn.preterhuman.net/texts/other/osstmm.pdf> [Zugriff: 2023-12-28]
- Herzog, Pete, Barceló Marta Lee, Robert E.* (2010): The Open source Security Testing Methodology Manual - Contemporary Security Testing and Analysis, Englisch, o. O., 2010-12-14, URL: <https://www.isecom.org/OSSTMM.3.pdf> [Zugriff: 2023-12-28]
- Horne, Dwight, Nair, Suku* (2021): Introducing zero trust by design: Principles and practice beyond the zero trust hype, in: Advances in Security, Networks, and Internet of Things, Dallas, Texas, USA: Springer, 2021, S. 1–9

- IDG Network World Inc.* (1994): Network World, o. O., 1994-05-23
- IEEE Standard for Port Based Network Access Control (2001), o. O., 2001-06-16, URL: <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=7449> [Zugriff: 2023-12-28]
- Kindervag, John, Balaouras, Stephanie, Coit, Linsey* (2010): Build security into your network's dna: The zero trust network architecture, in: Forrester Research Inc, 27 (2010)
- Kramer, Simon, Bradfield, Julian C.* (2010): A general definition of malware, in: Journal in Computer Virology, 6 (2010), Nr. 2, S. 105–114
- Kumar, Palash, Moubayed, Abdallah, Refaey, Ahmed, Shami, Abdallah, Koilpillai, Juanita* (2019): Performance Analysis of SDP For Secure Internal Enterprises, in: 2019 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), o. O., 2019, S. 1–6
- Marsh, Stephen Paul* (1994): Formalising Trust as a Computational Concept, Englisch, Diss., o. O.: University of Stirling, 1994-04, [Zugriff: 2023-12-28]
- Rose, Scott, Borchert, Oliver, Mitchell, Stu, Connelly, Sean* (2020), Zero Trust Architecture, Sp 800-207, United States of America, 2020-08, URL: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-207>
- Shore, Malcolm, Zeadally, Sherali, Keshariya, Astha* (2021): Zero Trust: The What, How, Why, and When, en, in: Computer, 54 (2021), Nr. 11, S. 26–35, [Zugriff: 2023-12-05]
- Statista Market Insights, National Cyber Security Organizations, FBI - Federal Bureau of Investigation, IMF* (2023): Cybersecurity - Worldwide, o. O., 2023-09, URL: <https://www.statista.com/outlook/tmo/cybersecurity/worldwide> [Zugriff: 2023-11-14]
- zscaler* (2022): Zero Trust im Rückblick: vom Whiteboard zum Weißen Haus, o. O., 2022, URL: <https://www.zscaler.de/resources/infographics/brief-history-zero-trust.pdf> [Zugriff: 2023-12-28]

Internetquellen

Akamai (2023): Was ist Zero Trust? Zero-Trust-Sicherheitsmodell, <<https://www.akamai.com/de/glossary/what-is-zero-trust>> (2023) [Zugriff: 2023-11-27]

Hunter, S. (2020): The five business benefits of a zero trust approach to security, <<https://securitybrief.com.au/story/the-five-business-benefits-of-a-zero-trust-approach-to-security>> (2020-08-19) [Zugriff: 2023-12-06]

NCSC (2021): Device Security Guidance, Englisch, <<https://www.ncsc.gov.uk/collection/device-security-guidance/infrastructure/network-architectures>> (2021-06-29) [Zugriff: 2023-12-28]

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit in allen Teilen eigenständig ohne Hilfe von Dritten angefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und zugelassenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen inklusive KI-generierter Inhalte sind kenntlich gemacht.

Die Arbeit habe ich in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise noch keiner Prüfungsbehörde zu Prüfungszwecken vorgelegt.

Mir ist bekannt, dass die Zuwiderhandlung gegen den Inhalt dieser Erklärung einen Täuschungsversuch darstellt, der das Nichtbestehen der Prüfung zur Folge hat und daneben strafrechtlich gem. § 156 StGB verfolgt werden kann. Darüber hinaus ist mir bekannt, dass ich bei schwerwiegender Täuschung exmatrikuliert und mit einer Geldbuße bis zu 50.000 EUR nach der für mich gültigen Rahmenprüfungsordnung belegt werden kann.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die Digitalversion dieser Arbeit zwecks Plagiatsprüfung auf die Server externer Anbieter hochgeladen werden darf. Die Plagiatsprüfung stellt keine Zurverfügungstellung für die Öffentlichkeit dar.

Ahaus, 28.12.2023

(Ort, Datum)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Gramsch', written over a horizontal line.

(Eigenhändige Unterschrift)