

Hausarbeit

TETRA - Digitaler Bündelfunk in den Einheiten der BOS

Gegenüberstellung der Vorteile, Nachteile und Risiken

vorgelegt am 17. Dezember 2025

•
Fachbereich Duales Studium Wirtschaft / Technik
Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin

Name: Finn Noel Valentin Margraf
Ausbildungsbetrieb: Flughafen Berlin Brandenburg GmbH
Studiengang: Informatik
Studienjahrgang: 2025
Erstgutachter: Mia Chelsea Pertubla Reyes

Abstract

Die erste überarbeitete Auflage der Bachelorarbeit-Vorlage bietet einige Neuerungen, die in ?? näher erläutert werden.

Wenn die Abstract-Seite nicht die zweite Seite im Dokument ist, ist der Titel zu lang ;)

Inhaltsverzeichnis

Abstract	I
Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	III
Akronyme	IV
1 Einleitung	1
2 Theoretische Einführung	2
2.1 Der TETRA-Standard	2
2.1.1 Das TDMA-Verfahren im TETRA-Standard	2
2.2 Das BOS-Digitalfunknetz	4
2.2.1 Funk- und Zugangsnetz	4
2.2.2 Kern-Netz	4
2.2.3 Ende-zu-Ende-Verschlüsselung	5
2.3 Aktuelle Literaturlage	5
3 Vor- und Nachteile des TETRA-Digitalfunks	7
3.1 Vorteile des TETRA-Digitalfunks	7
3.1.1 Gruppenruf, Einzelruf und Priorisierung	7
3.1.2 Bundesweite Kommunikation	7
3.1.3 Abhör- und Informationssicherheit	7
3.1.4 Digitale Datendienste und Short Messages	7
3.2 Nachteile des TETRA-Digitalfunks	7
3.2.1 Netzausfälle und Störanfälligkeit	7
3.2.2 Benutzerfreundlichkeit und Bedienung	7
4 Fazit und Ausblick	8
Literaturverzeichnis	9
Ehrenwörtliche Erklärung	11

Abbildungsverzeichnis

1	TETRA TDAM Verfahren: Veranschaulichung	3
2	Aufbau BOS-Digitalfunknetz: Visualisierung	5

Hinweis

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Text verallgemeinernd die maskuline Form, sofern möglich, verwendet. Diese Formulierungen umfassen gleichermaßen weibliche und männliche Personen.

Glossar

BOS Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben, z.B. Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienste.

DXT Vermittlungsstelle im TETRA-Funknetz, welche die Kommunikation zwischen den Teilnehmern steuert und verwaltet.

DXTT Transitvermittlungsstelle im TETRA-Funknetz, die den Datenverkehr zwischen verschiedenen DXT-Einheiten vermittelt.

TDMA Verfahren zur Aufteilung eines Funkkanals in Zeitschlüsse, die von verschiedenen Teilnehmern genutzt werden können.

Akronyme

BDBOS Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben

BOS Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben

DFV Deutscher Feuerwehrverband

DMO Direct Mode Operation

DXT Vermittlungsstelle

DXTT Transitvermittlungsstelle

ETSI European Telecommunications Standards Institute

TDMA Time Division Multiple Access

TETRA Terrestrial Trunked Radio

TMO Trunked Mode Operation

1 Einleitung

Laut einer Statistik des Deutschen Feuerwehrverbandes (DFV) aus dem Jahr 2022 kommen im Jahr rund 1,02 Millionen Einsätze in den Bereichen Brandschutz, Technische Hilfeleistung und Tierrettung sowie 157.480 Fehlalarme zustande, Tendenz steigend. [1, S. 2] Mit wachsenden Einsatzzahlen steigt auch die Anforderung an eine zuverlässige Kommunikation der Einsatzkräfte untereinander. Mit der Einführung des digitalen Bündelfunks für alle Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) auf Terrestrial Trunked Radio (TETRA)-Basis im Jahr 2015 [2] findet seither in Deutschland eine Umstellung vom analogen Funknetz auf das digitale Funknetz statt. Bereits im Jahr 2024 waren etwa 1,2 Millionen TETRA-Endgeräte in Deutschland im Einsatz. [3, S. 19]

Trotz anhaltenden Wachstums steht das TETRA-Netz allerdings auch immer wieder in der Kritik. Insbesondere vergangene, einschlägige flächendeckende Ausfälle des Netzes, wie zuletzt am 06. Mai 2025 sorgen für Unmut. [4, S. 1]

Aus diesem Grund beschäftigt sich die folgende Hausarbeit insbesondere mit den Vor- und Nachteilen des TETRA-Digitalfunks in Hinblick auf die Einheiten der BOS in Deutschland. Außerdem sollen mögliche Risiken und Gefahren, die mit der Nutzung des TETRA-Netzes einhergehen, betrachtet werden. Zum Abschluss soll außerdem die Frage beantwortet werden, ob der TETRA-Digitalfunk den Anforderungen der BOS gerecht wird.

2 Theoretische Einführung

2.1 Der TETRA-Standard

Der TETRA Digitalfunkstandard ist ein von der European Telecommunications Standards Institute (ETSI) entwickelter Standard für die digitale Mobilfunkkommunikation, der speziell für den Einsatz in professionellen und behördlichen Kommunikationssystemen konzipiert wurde. [5] Es handelt sich dabei um einen offenen Standard, der in seiner aktuellen Form seit 2001 existiert und in mehreren von der ETSI definierten Standardspezifikationen beschrieben ist.

Ganz fundamental wird zwischen dem Trunked Mode Operation (TMO) (Netzbetrieb) und dem Direct Mode Operation (DMO) (Direktbetrieb) unterschieden. Wobei der TMO der Betrieb über eine Infrastruktur (Basisstationen, Vermittlungsstellen) erfolgt, während der DMO die direkte Kommunikation zwischen Endgeräten ohne Infrastruktur ermöglicht.

Für den TMO-Betrieb spielt insbesondere die ETSI EN 300 392-Reihe [6] eine wichtige Rolle, die die technischen Anforderungen und Spezifikationen für TETRA-Netzwerke festlegt. Hauptsächliche Grundlage bildet dabei die ETSI EN 300 392-2 Spezifikation, die die physikalische Schicht und den Zugriff auf das Funkmedium definiert. [7, S. 30] Für den DMO-Betrieb ist die ETSI EN 300 396 [6] Reihe einschlägig, soll im weiteren Verlauf dieser Arbeit jedoch nicht weiter betrachtet werden.

Im Folgenden soll das fundamentale Time Division Multiple Access (TDMA)-Verfahren des TETRA-Standards näher betrachtet werden.

2.1.1 Das TDMA-Verfahren im TETRA-Standard

TETRA selbst ist ein zeitmultiplexbasiertes System, das auf dem TDMA-Verfahren basiert. Anstelle die Datenpakete kontinuierlich über die Funkfrequenz zu übertragen, werden die Daten in diskrete Zeitschlitzte aufgeteilt. Jeder Zeitschlitz kann von einem einzelnen Benutzer oder einer Gruppe von Benutzern genutzt werden, wodurch eine effiziente Nutzung der verfügbaren Bandbreite ermöglicht wird. Man

spricht daher auch von einem “Bündelfunk”, da mehrere Kommunikationskanäle auf einer Frequenz gebündelt werden.

Im TETRA-Standard sind pro Frequenzkanal vier Zeitschlitzte definiert. Diese vier Zeitschlitzte werden zusammengefasst als ein TDMA frame bezeichnet. Jeder Zeitschlitz hat dabei eine Dauer von 14,167 ms und beinhaltet Platz für 510 bit an Daten, was zu einer Gesamtframedauer von rund 56,67 ms führt. [7, S. 40f.] Neben den TDMA frames sind auch noch weitere, übergeordnete Strukturen definiert, die sogenannten Multi- und Hyperframes. Diese spielen jedoch im weiteren Verlauf dieser Arbeit keine Rolle und werden daher nicht weiter betrachtet.

Abbildung nicht Maßstabsgetreu

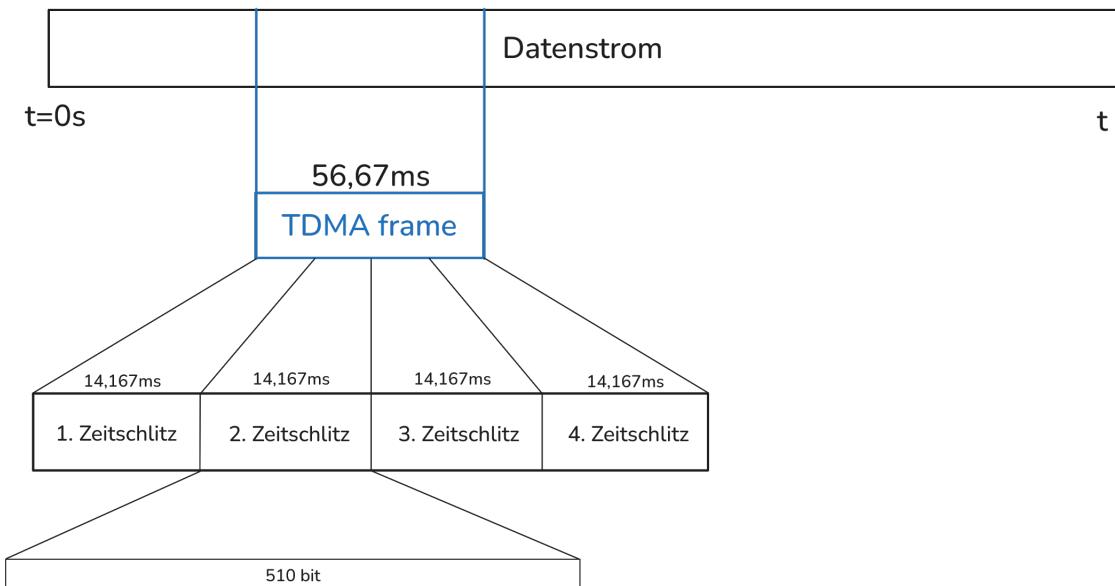


Abbildung 1: Veranschaulichung des TETRA-TDMA-Verfahrens, eigene Abbildung nach [7, S. 40]

2.2 Das BOS-Digitalfunknetz

Mit ca. 5000 Basisstationen und einer Netzabdeckung von knapp 99,2% ist das deutsche, von der Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS) Digitalfunknetz (kurz: BOS-Digitalfunknetz) das größte weltweit. Der Aufbau eines solchen Netzes ist dabei keineswegs trivial. [3, S. 19]

Grundlegend wird zwischen dem “Kern-Netz” und dem “Funk- und Zugangsnetz” unterschieden.

2.2.1 Funk- und Zugangsnetz

Das Funk- und Zugangsnetz ist die wesentlichen Schnittstelle zwischen den Endgeräten und der rückwärtigen Netzwerkinfrastruktur. Es besteht im Wesentlichen aus den Basisstationen, die in ihren Funkzellen (Cells) die Netzabdeckung bereitstellen. Eine Basisstation verwaltet dabei u.A. die Zeitschlüsse im TDMA-Verfahren und stellt die Verbindung unter den Endgeräten und ihren Rufgruppen her. [3, S. 20]

2.2.2 Kern-Netz

Das Kern-Netz stellt das Rückgrat des BOS-Digitalfunknetzes dar. Es besteht aus zwei wesentlichen Netzwerkschichten, die in Form von Vermittlungsstellen (DXTs) und Transitvermittlungsstellen (DXTTs) realisiert sind.

Eine DXT (Vermittlungsstelle) ist dabei primäres Bindeglied zwischen den Basisstationen. Sie verwaltet den Datenverkehr zwischen diesen und steuert Basisstation/-Funkzellen übergreifende Kommunikationsvorgänge. In Deutschland werden Stand 2025 64 DXTs betrieben. [8, S. 5]

Eine DXTT (Transitvermittlungsstelle) hingegen vermittelt den Datenverkehr zwischen verschiedenen DXTs. Sie ist somit für die übergeordnete und überregionale Steuerung und Verwaltung des gesamten Netzes zuständig. [3, S. 18f.] Aktuell werden 4 DXTTs in Deutschland betrieben. [8, S. 5]

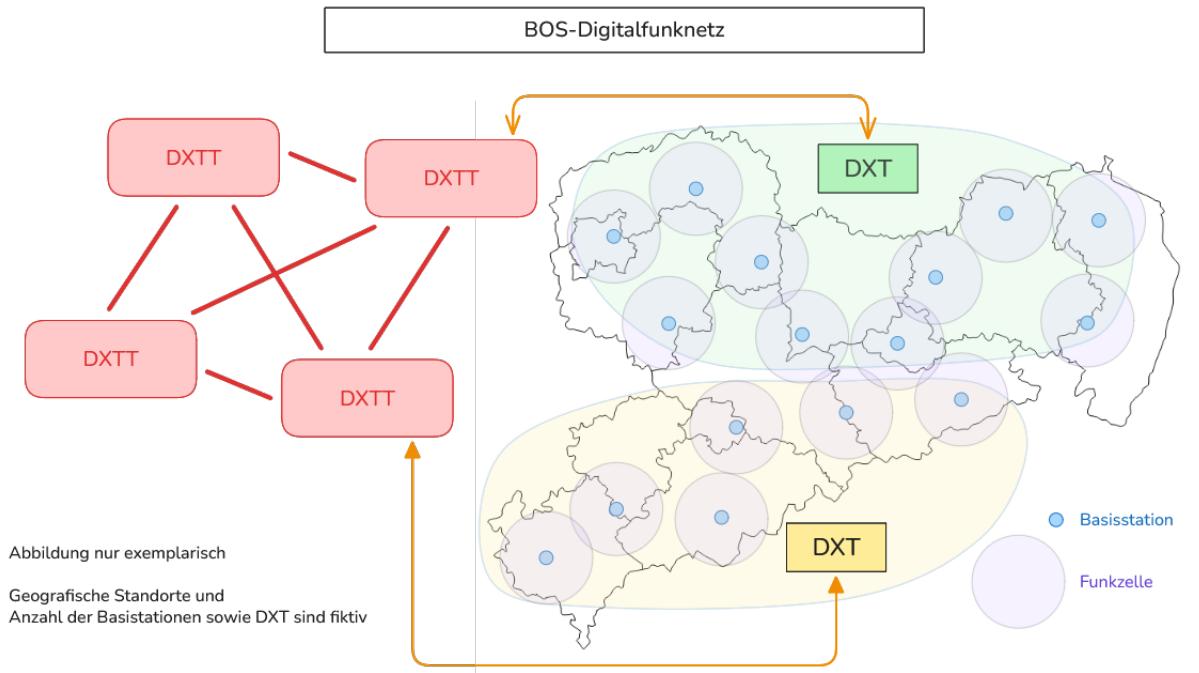


Abbildung 2: (Geo-)Grafische Visualisierung des BOS-Digitalfunknetzes am Beispiel Sachsen, eigene Abbildung nach [3, S. 19]

2.2.3 Ende-zu-Ende-Verschlüsselung

Gerade im Umfeld der BOS ist die Informationssicherheit von besonderer Bedeutung. Aus diesem Grund ist eine verschlüsselte Kommunikation zwischen den Endgeräten im BOS-Digitalfunknetz essenziell. Der TETRA-Standard beinhaltet hierfür standardmäßig eine Luftschnittstellenverschlüsselung, welche den reinen Übertragungsweg zwischen Endgerät und Basisstation schützt. Um jedoch auch die Informationssicherheit über das gesamte Netz hinweg zu gewährleisten, führt das BOS-Digitalfunknetz zusätzlich eine Ende-zu-Ende-Verschlüsselung ein. Hierfür erhält jeder Teilnehmer eine kryptografische Sicherheitskarte, welche zum einen die Autorisierung im Netz durch eine eindeutige Teilnehmeradresse ermöglicht und zum anderen die benötigten kryptografischen Schlüssel für die Ende-zu-Ende-Verschlüsselung bereitstellt. [3, S. 43ff.]

2.3 Aktuelle Literaturlage

Der aktuelle Forschungsstand im Bereich des TETRA-Digitalfunks für BOS ist derzeit stark begrenzt. Einschlägig für diese Arbeit sind insbesondere die von der BD-BOS veröffentlichten Primärquellen in Form von Dokumenten und Webseiten [2,3,8], vereinzelt finden sich auch Stellungnahmen oder Dokumentation von bundesweiten Verbänden wie dem Deutschen Feuerwehrverband (DFV) [4] oder von durch die

Länder betriebenen Autorisierten Stellen, welche für die Implementierung und den Betrieb des BOS-Digitalfunknetzes innerhalb ihres Zuständigkeitsbereichs (Land) verantwortlich sind. [9, 10]

Zusätzlich zu den innerdeutschen Quellen existieren auch einige wenige internationale Publikationen, die sich mit dem TETRA-Standard an sich beschäftigen. Dabei liegt der Fokus neben den technischen Aspekten insbesondere auf den gesundheitlichen Auswirkungen der TETRA-Funkstrahlung auf den Menschen. [11–13]

Speziell für den Anwendungsfall Deutschlands und der BOS, also dem Gegenstand dieser Arbeit, lässt sich jedoch feststellen, dass nur wenige rein wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema existieren und die meisten Quellen daher von den primären Akteuren selbst stammen. Insbesondere durch die Kritikalität des Themas und die sicherheitsrelevanten Aspekte des BOS-Digitalfunknetzes ist davon auszugehen, dass viele Informationen und Erkenntnisse nicht öffentlich zugänglich sind.

Eine folgende Einordnung der Vor- und Nachteile sowie der Risiken und Gefahren des TETRA-Digitalfunks ist daher nur anhand der offiziellen Quellen und der wenigen wissenschaftlichen Arbeiten möglich. Für eine praxisnahe Bewertung und Analyse müssten daher perspektivisch erste empirische Studien und Untersuchungen durchgeführt werden, bspw. in Form von Befragungen oder Interviews mit den Einsatzkräften der BOS.

3 Vor- und Nachteile des TETRA-Digitalfunks

Die Frage der Vor- und Nachteile, auch in Hinblick auf den Vergleich zum vorherigen analogen Funknetz, ist eine komplexe. Daher können nicht alle Aspekte in dieser Arbeit betrachtet werden. Im Folgenden eine essenzielle Auswahl anhand der von der BDBOS veröffentlichten Dokumentationen. [3]

3.1 Vorteile des TETRA-Digitalfunks

3.1.1 Gruppenruf, Einzelruf und Priorisierung

3.1.2 Bundesweite Kommunikation

3.1.3 Abhör- und Informationssicherheit

3.1.4 Digitale Datendienste und Short Messages

3.2 Nachteile des TETRA-Digitalfunks

3.2.1 Netzausfälle und Störanfälligkeit

3.2.2 Benutzerfreundlichkeit und Bedienung

4 Fazit und Ausblick

Mit der Einführung des TETRA-Digitalfunks hat die BOS in Deutschland einen bedeutenden Schritt in Richtung moderner und sicherer Kommunikation gemacht. Insbesondere die sichere Informationsübertragung und die flexiblen Möglichkeiten in der Kommunikation stellen klare Vorteile dar. Allerdings zeigen auch die Ausfälle der letzten Jahre und Monate, dass das Netz, welches durch die BDBOS betrieben wird, noch nicht vollständig ausgereift ist, trotz der mittlerweile jahrelangen Betriebszeit.

Darüber hinaus sollte auch betrachtet werden, ob der TETRA-Standard in Zukunft noch den Anforderungen der BOS gerecht wird, insbesondere im Hinblick auf die steigenden Anforderungen an Datenübertragungsraten und moderne Kommunikationsdienste. Schließlich ist dieser Standard in seiner aktuellen Form seit 2001 unverändert im Einsatz.

Nachholbedarf besteht daher insbesondere in der Stabilität und Zuverlässigkeit des Netzes. Der Ausbau der Netzabdeckung, die Schulung der Einsatzkräfte im Umgang mit den Endgeräten sowie die kontinuierliche Weiterentwicklung des Netzes sind essenzielle Schritte, um den Anforderungen der BOS auch in Zukunft gerecht zu werden. Hier sind vor allem die BDBOS und die zuständigen Autorisierten Stellen in den Ländern gefordert.

Literaturverzeichnis

- [1] Deutscher Feuerwehrverband, “Einsätze nach Tätigkeitsbereichen (entsprechend des Abfragebogens FEU 905).” https://www.feuerwehrverband.de/app/uploads/2025/11/251103_Statistik-Webseite.pdf, 2022.
- [2] BDBOS, “BDBOS - Geschichte.” <https://www.bdbos.bund.de/DE/DieBDBOS/Geschichte/gesc.html>
- [3] BDBOS, “FAQ Digitalfunk BOS.” https://www.bdbos.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/Downloads/FAQ_Digitalfunk_BOS.pdf?__blob=publicationFile&v=6, 2024.
- [4] AGBF, DFV, “Erkenntnisse aus der großflächigen Störung des BOS-Digitalfunknetzes Anfang Mai 2025,” positionspapier, Berlin, July 2025.
- [5] ETSI, “TETRA.” <https://www.etsi.org/technologies/tetra>.
- [6] TCCA, “ETSI Standards.” <https://tcca.info/tetra/for-tetra-specialist/etsi-standards/>.
- [7] ETSI, “Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface (AI),” Mar. 2001.
- [8] BDBOS, “Warum es kein Zufall ist, dass TETRA Endgeräte bundesweit funktionieren – die Digitalfunkbehörde BDBOS stellt sich vor,” Feb. 2025.
- [9] Zentraldienst der Polizei des Landes Brandenburg, “Handbuch Digitalfunk.” https://www.researchgate.net/profile/Christian-Scherling/publication/240682977_Elektromagnetische_Umweltvertraglichkeit_Handbuch_der_BOS_der_Polizei_Brandenburg/links/00b49527a3a66962d8000000/Elektromagnetische-Umweltvertraglichkeit-Handbuch-der-Gesundheitspraevention-im-Digitalfunk-BOS-der-Polizei-Brandenburg.pdf?__cf_chl_rt_tk=kfsbcQntpuN6_wYo6HvrN3e1764666593-1.0.1.1-qJIOAkl_SxnPh71PUP1TWctmb1WWVVfCYROQaJqGBys.
- [10] D. Bos, “Grundlagen des Digitalfunks BOS.” https://digitalfunk.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/user_upload/Downloadportal/Regelungen_zum_Betriebshandbuch_BOS.pdf
- [11] Y. Ren, D. Yao, and X. Zhang, “The implementation of TETRA using GNU Radio and USRP,” in *2011 4th IEEE International Symposium on Microwave, Antennas, Propagation and Electronic Devices (MWPED)*, 2011, pp. 1–4.

- Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications*, (Beijing, China), pp. 363–366, IEEE, Nov. 2011.
- [12] B. Özbek, A. Karataş, E. D. Bardak, and İ. Sönmez, “Traffic aware cell selection algorithm for Tetra Trunk based professional mobile radio,” *Telecommunication Systems*, vol. 72, pp. 1–10, Sept. 2019.
- [13] P. Elliott, M. Aresu, H. Gao, A.-C. Vergnaud, A. Heard, D. McRobie, J. Spear, D. Singh, H. W. Kongsgård, C. Mbema, and D. C. Muller, “Use of TETRA personal radios and sickness absence in the Airwave Health Monitoring Study of the British police forces,” *Environmental Research*, vol. 175, pp. 148–155, Aug. 2019.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit in allen Teilen selbstständig angefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form in noch keiner anderen Prüfung vorgelegen hat. Sämtliche wörtlichen oder sinngemäßigen Übernahmen und Zitate, sowie alle Abschnitte, die mithilfe von KI-basierten Tools entworfen, verfasst und/oder bearbeitet wurden, sind kenntlich gemacht und nachgewiesen.

Im Anhang meiner Arbeit habe ich sämtliche KI-basierte Hilfsmittel angegeben. Diese sind mit Produktnamen und formulierten Eingaben (Prompts) in einem KI-Verzeichnis ausgewiesen.

Ich bin mir bewusst, dass die Verwendung von Texten oder anderen Inhalten und Produkten, die durch KI-basierte Tools generiert wurden, keine Garantie für deren Qualität darstellt. Ich verantworte die Übernahme jeglicher von mir verwendeter maschinell generierter Passagen vollumfänglich selbst und trage die Verantwortung für eventuell durch die KI generierte fehlerhafte oder verzerrte Inhalte, fehlerhafte Referenzen, Verstöße gegen das Datenschutz- und Urheberrecht oder Plagiate.

Ort, Datum

Finn Noel Valentin Margraf