



Holger Reibold

Synergie der Intelligenz

Das Handbuch für das Design
und die Implementierung von
Multi-Agenten-Systemen

BRAIN-MEDIA.DE

Holger Reibold

Synergie der Intelligenz

Das Handbuch für das Design und
die Implementierung von Multi-
Agenten-Systemen

BRAIN-MEDIA.DE

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche, schriftliche Genehmigung des Verlags ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus in irgendeiner Form durch Fotokopien oder ein anderes Verfahren zu vervielfältigen oder zu verbreiten. Dasselbe gilt auch für das Recht der öffentlichen Wiedergabe. Der Verlag macht darauf aufmerksam, dass die genannten Firmen- und Markennamen sowie Produktbezeichnungen in der Regel marken-, patent- oder warenrechtlichem Schutz unterliegen.

Verlag und Autor übernehmen keine Gewähr für die Funktionsfähigkeit beschriebener Verfahren und Standards.

© 2026 Brain-Media.de

ISBN: 978-3-95444-339-0

Cover: iStock / Nice_Kim

Brain-Media.de

Dr. Holger Reibold Hubert-Müller-Str. 52c – 66111 Saarbrücken

info@brain-media.de – www.brain-media.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Vorwort – Ära der Kooperation.....	1
1 Basics von Multi-Agenten-Systemen	5
1.1 Definition	7
1.2 Die vier Säulen	11
1.3 Von der verteilten KI zu LLM-Agenten	15
1.4 Rolle von Reasoning und Tool-Use.....	19
1.5 Management Summary	23
2 Architektur-Modelle und Topologien	25
2.1 Der Manager-Worker-Ansatz	26
2.2 Peer-to-Peer Kooperation und Dezentralität.....	29
2.3 Joint Cognitive Systems	33
2.4 Wenn Agenten Teams ad-hoc bilden.....	37
2.5 Management Summary	42
3 Kommunikation und Interaktion	43
3.1 Nachrichtenaustausch	44
3.2 Shared Memory und Blackboard-Systeme	49
3.3 State Management	53

3.4	API-Interaktion.....	57
3.5	Management Summary	61
4	Koordination und Konfliktlösung.....	63
4.1	Planungstechniken: Multi-Agent Planning	64
4.2	Auktionen und Ressourcenallokation	68
4.3	Konsensbildung	72
4.4	Fehlerkorrektur	77
4.5	Management Summary	81
5	Sicherheit, Ethik und Kontrolle	83
5.1	Das Alignment-Problem	84
5.2	Agentic Loops	88
5.3	Sandboxing	92
5.4	Datenschutz in verteilten Systemen.....	96
5.5	Management Summary	100
6	Das Ökosystem.....	103
6.1	CrewAI.....	104
6.2	Microsoft AutoGen	106
6.3	LangGraph.....	110
6.4	Eigene Entwicklung vs. Framework	113
6.5	Management Summary	117
7	Praxis-Use-Cases.....	119

7.1	Software-Engineering.....	120
7.2	Marktforschung.....	124
7.3	Kundensupport	128
7.4	Fallstudie.....	132
7.5	Management Summary	136
8	Die Zukunft: Agentic OS und Emergenz.....	139
8.1	Das Betriebssystem der Zukunft	140
8.2	Emergentes Verhalten	144
8.3	Vision 2030	147
8.4	Management Summary	151
	Zum Schluss: Der Mensch als Dirigent.....	153
	Anhang.....	V
	Implementierungs-Blueprints	V
	Prompt-Bibliothek	XI
	Werkzeug-Katalog: Die besten APIs	XVI
	Weitere Hilfsmittel.....	XX
	Glossar	XXI
	Abkürzungsverzeichnis.....	XXIV
	Literatur- und Quellenverzeichnis	XXV
	Stichwortverzeichnis	XXIX
	Mehr von Brain-Media.de	XXXIII

Vorwort – Ära der Kooperation

Kooperation statt Einzel-KI: Agenten arbeiten im Team – autonom, vernetzt und effizient. Der Mensch wird zum Dirigenten.

Wir stehen an einem Wendepunkt in der Entwicklung künstlicher Intelligenz. Was lange Zeit als isolierte Interaktion zwischen Mensch und Maschine verstanden wurde – das klassische „Single-Prompting“ –, entwickelt sich zunehmend zu einem dynamischen, vernetzten und arbeitsteiligen System: dem agentischen Workflow. In diesem neuen Paradigma agieren nicht mehr einzelne Modelle als Werkzeuge, sondern ganze Teams spezialisierter Agenten als kooperative Einheiten, die gemeinsam Probleme analysieren, Entscheidungen treffen und Lösungen umsetzen.

Diese Transformation ist mehr als nur ein technologischer Fortschritt – sie markiert einen grundlegenden Wandel im Verständnis von Effizienz und Intelligenz. Während frühere Systeme auf direkte Instruktion angewiesen waren, zeichnet sich die neue Generation durch ein hohes Maß an Autonomie aus. Agenten können eigenständig Ziele verfolgen, Zwischenschritte planen, Werkzeuge einsetzen und sich untereinander abstimmen. Autonomie wird damit zur zentralen Quelle von Effizienz: Systeme arbeiten nicht länger reaktiv, sondern proaktiv, adaptiv und kontextsensitiv.

Doch mit dieser neu gewonnenen Handlungsfähigkeit entsteht auch eine neue Komplexität. Sobald mehrere Agenten miteinander interagieren, treten Fragen auf, die weit über die Fähigkeiten einzelner Modelle hinausgehen: Wie koordinieren sich autonome Einheiten? Wie wird Wissen geteilt, ohne Inkonsistenzen zu erzeugen? Wie entstehen robuste Entscheidungen in einem System, das auf Kommunikation und Verhandlung basiert? Und nicht zuletzt: Wie behalten wir als Menschen die Kontrolle über Systeme, die zunehmend eigenständig agieren?

Dieses Buch widmet sich genau diesen Fragen. Es versteht Multi-Agenten-Systeme nicht als abstraktes Forschungskonzept, sondern als praktisches Design- und Implementierungsproblem. Ziel ist es, ein klares, strukturiertes Verständnis dafür zu vermitteln, wie solche Systeme aufgebaut, gesteuert und sicher betrieben werden können. Dabei werden sowohl theoretische Grundlagen als auch konkrete Architekturen, Protokolle und Anwendungsfälle behandelt.

Ein zentrales Motiv dieses Handbuchs ist die Idee der Synergie. Die Leistungsfähigkeit eines Multi-Agenten-Systems ergibt sich nicht allein aus der Stärke seiner einzelnen Komponenten, sondern aus deren Zusammenspiel. Richtig orchestriert, können spezialisierte Agenten gemeinsam Aufgaben lösen, die für ein einzelnes Modell zu komplex, zu umfangreich oder zu fehleranfällig wären. Diese emergente Qualität – das Entstehen neuer Fähigkeiten aus Interaktion – ist der eigentliche Kern agentischer Systeme.

Gleichzeitig fordert diese Entwicklung ein Umdenken in der Rolle des Menschen. Der klassische „Prompter“, der ein Modell mit Anweisungen versorgt, wird zunehmend zum Architekten komplexer Systeme. Es geht nicht mehr nur darum, die richtigen Fragen zu stellen, sondern darum, Strukturen zu entwerfen, Rollen zu definieren, Kommunikationswege festzulegen und Kontrollmechanismen zu implementieren. Der Mensch wird damit zum Dirigenten eines intelligenten Orchesters – verantwortlich für Harmonie, Richtung und Ziel.

Die vorliegende Arbeit richtet sich an Entwickler, Architekten und Entscheider, die diese neue Ära aktiv gestalten wollen. Sie bietet Orientierung in einem sich schnell entwickelnden Feld und liefert gleichzeitig konkrete Werkzeuge für die Umsetzung. Denn eines ist klar: Die Zukunft der KI liegt nicht in isolierten Systemen, sondern in kooperativen Netzwerken. Wer diese versteht und beherrscht, wird die nächste Generation intelligenter Anwendungen prägen.

Willkommen in der Ära der Kooperation.

Dabei wünsche ich Ihnen viel Erfolg!

Herzlichst

Holger Reibold

1 Basics von Multi-Agenten-Systemen

Was ist ein Agent? Grundlagen, vier Säulen und der Sprung von Bots zu kooperativer, planender KI.

Bevor Multi-Agenten-Systeme entworfen, implementiert und produktiv eingesetzt werden können, ist ein präzises Verständnis ihrer grundlegenden Prinzipien unerlässlich. Dieses Kapitel legt das theoretische und konzeptionelle Fundament für alles, was folgt. Es schafft die begriffliche Klarheit und das systemische Denken, das notwendig ist, um agentische Architekturen nicht nur zu nutzen, sondern gezielt zu gestalten.

Im Zentrum steht dabei die Frage, was einen Agenten eigentlich ausmacht. Der Begriff wird in der Praxis oft unscharf verwendet und reicht von einfachen Skripten bis hin zu hochgradig autonomen, lernfähigen Systemen. Diese Unschärfe führt nicht nur zu Missverständnissen, sondern auch zu Fehlentscheidungen im Design. Deshalb ist eine klare Abgrenzung – insbesondere gegenüber klassischen Bots oder regelbasierten Automatisierungen – der erste notwendige Schritt. Agenten sind mehr als ausführende Instanzen: Sie sind kontextbewusste, zielorientierte Akteure innerhalb eines Systems.

Darauf aufbauend werden die vier zentralen Eigenschaften beleuchtet, die einen Agenten definieren: Autonomie, Reaktivität, Proaktivität

und soziale Fähigkeit. Diese Dimensionen sind nicht isoliert zu betrachten, sondern bilden gemeinsam ein Spannungsfeld, in dem sich agentisches Verhalten entfaltet. Ein System, das lediglich reagiert, bleibt passiv; ein System ohne soziale Interaktion bleibt ineffizient im Verbund. Erst das Zusammenspiel dieser Eigenschaften ermöglicht kooperative Intelligenz.

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil dieses Kapitels ist die historische Einordnung. Multi-Agenten-Systeme sind kein neues Konzept – ihre Wurzeln reichen zurück in die Forschung der verteilten künstlichen Intelligenz (Distributed AI). Was sich jedoch grundlegend verändert hat, ist die technologische Basis. Mit dem Aufkommen leistungsfähiger Sprachmodelle, verbessertem Reasoning und integrierter Tool-Nutzung haben sich die praktischen Möglichkeiten exponentiell erweitert. Konzepte, die lange theoretisch oder experimentell blieben, sind heute in realen Anwendungen umsetzbar.

Diese Entwicklung führt direkt zur entscheidenden Frage: Warum gerade jetzt? Warum erleben Multi-Agenten-Systeme aktuell einen solchen Aufschwung? Die Antwort liegt in der Konvergenz mehrerer technologischer Faktoren. Moderne Modelle sind nicht nur in der Lage, komplexe Aufgaben zu verstehen, sondern auch mehrstufig zu planen, externe Werkzeuge einzubinden und Ergebnisse kritisch zu reflektieren. Diese Fähigkeiten bilden die Grundlage für echte agentische Zusammenarbeit – nicht als Simulation, sondern als funktionales System.

Kapitel 1 liefert somit den Bezugsrahmen für das gesamte Buch. Es definiert die zentralen Begriffe, ordnet die Entwicklung historisch ein und schafft ein gemeinsames Verständnis der Kernmechanismen. Dieses Fundament ist entscheidend, um die späteren Kapitel – von Architektur über Kommunikation bis hin zu Sicherheit und Praxisanwendungen – nicht isoliert, sondern als zusammenhängendes System zu begreifen.

1.1 Definition

Die Unterscheidung zwischen einem Agenten und einem Bot ist mehr als eine semantische Feinheit – sie ist entscheidend für das Verständnis moderner KI-Systeme und deren Architektur. In der Praxis werden beide Begriffe häufig synonym verwendet, was zu konzeptionellen Unschärfen und fehlerhaften Designentscheidungen führt. Dieses Kapitel schafft daher eine klare Abgrenzung entlang funktionaler, architektonischer und verhaltensbezogener Kriterien.

Ein Bot ist im klassischen Sinne ein deterministisches oder regelbasiertes System, das auf vordefinierte Eingaben mit vordefinierten Ausgaben reagiert. Typische Beispiele sind Chatbots mit Entscheidungsbäumen, Skripte zur Prozessautomatisierung oder einfache API-Integrationen. Ihr Verhalten ist in der Regel eng begrenzt, standardsarm und stark von expliziten Regeln abhängig. Auch wenn moderne Bots durch Machine Learning erweitert wurden, bleibt ihre

Grundstruktur meist reaktiv: Sie warten auf Input und liefern daraufhin eine Antwort – nicht mehr, nicht weniger.

Ein Agent hingegen ist ein autonomes, zielgerichtetes System, das in der Lage ist, innerhalb einer gegebenen Umgebung eigenständig Entscheidungen zu treffen und Handlungen auszuführen. Der zentrale Unterschied liegt in der Fähigkeit zur Zielverfolgung über mehrere Schritte hinweg. Während ein Bot auf einzelne Anfragen reagiert, verfolgt ein Agent kontinuierlich ein Ziel, passt seine Strategie dynamisch an und kann dabei verschiedene Werkzeuge, Datenquellen und Interaktionen nutzen.

Diese Zielorientierung bringt eine weitere entscheidende Eigenschaft mit sich: Zustandsbewusstsein. Agenten verfügen über ein internes Modell ihres Kontexts – sei es in Form von Speicher, Verlauf oder strukturierten Repräsentationen. Dadurch können sie vergangene Interaktionen berücksichtigen, Hypothesen entwickeln und ihre nächsten Schritte planen. Bots hingegen operieren häufig stateless oder mit stark eingeschränktem Kontext, was ihre Flexibilität erheblich limitiert.

Ein weiterer Differenzierungsfaktor ist die Entscheidungslogik. Bots folgen in der Regel festen Regeln oder trainierten Mustern, die keine echte Planung im Sinne mehrstufiger Problemlösung erlauben. Agenten hingegen nutzen explizite oder implizite Planungsmechanismen. Sie zerlegen komplexe Aufgaben in Teilprobleme, priorisieren Schritte und evaluieren Zwischenergebnisse. Diese Fähigkeit wird

insbesondere durch moderne Sprachmodelle mit Reasoning-Kompetenz ermöglicht, die als kognitive Engine des Agenten fungieren.

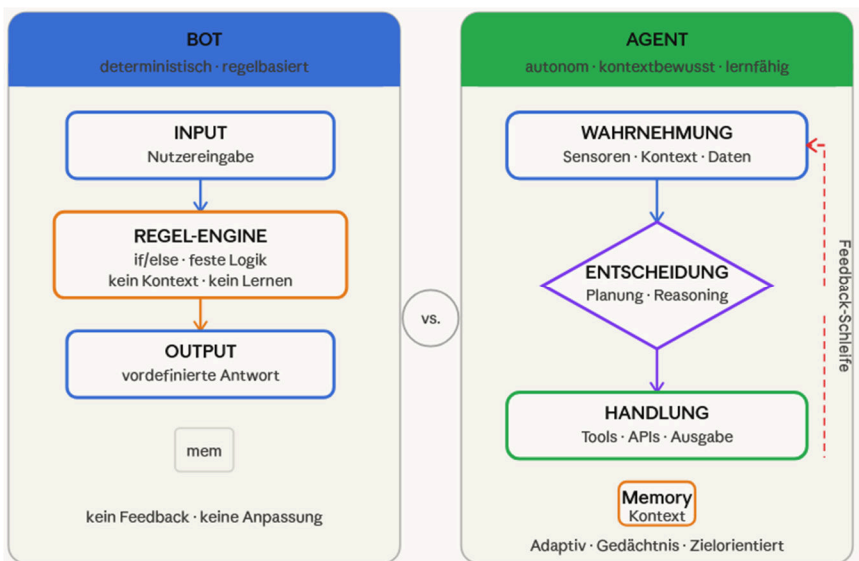
Auch die Interaktion mit der Umwelt unterscheidet sich grundlegend. Bots sind meist auf eine spezifische Schnittstelle beschränkt – etwa ein Chatfenster oder eine API. Agenten hingegen sind typischerweise in ein erweitertes Ökosystem eingebunden. Sie können externe Tools aufrufen, Datenquellen durchsuchen, Code ausführen oder mit anderen Agenten kommunizieren. Diese Fähigkeit zur Werkzeugnutzung erweitert ihren Handlungsspielraum erheblich und macht sie zu aktiven Teilnehmern in digitalen Prozessen.

Ein besonders relevantes Unterscheidungsmerkmal ist die soziale Dimension. Während Bots isoliert operieren, sind Agenten oft Teil eines Systems aus mehreren interagierenden Einheiten. Sie können Rollen übernehmen, Aufgaben delegieren, Ergebnisse evaluieren und sich mit anderen Agenten abstimmen. Diese Fähigkeit zur Kooperation ist ein Kernaspekt von Multi-Agenten-Systemen und eröffnet völlig neue Möglichkeiten der Skalierung und Spezialisierung.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Ein Bot ist ein reaktives Werkzeug, ein Agent ein autonomer Akteur. Bots sind effizient in klar definierten, repetitiven Aufgaben mit geringer Komplexität. Agenten hingegen entfalten ihre Stärke in offenen, dynamischen Problemräumen, in denen Planung, Anpassung und Interaktion erforderlich sind.

Für die Systemarchitektur hat diese Unterscheidung weitreichende Konsequenzen. Wer ein Multi-Agenten-System entwirft, muss

bewusst entscheiden, welche Komponenten echte Agenten sein sollen und wo einfache Bots ausreichen. Nicht jede Aufgabe erfordert Autonomie – im Gegenteil: Übermäßige Agentisierung kann zu unnötiger Komplexität, erhöhtem Ressourcenverbrauch und schwer kontrollierbaren Systemen führen. Die Kunst liegt darin, die richtige Balance zu finden.



Vergleich zwischen deterministischem Bot und autonomem Agenten mit Wahrnehmungs-, Entscheidungs- und Handlungsschleife.

In der Praxis zeigt sich zunehmend ein hybrider Ansatz: Systeme bestehen aus einer Kombination spezialisierter Agenten und einfacher,

Stichwortverzeichnis

A

Abbruchkriterium.....	74
ACL	44
ad-hoc Team-Bildung	42
Agent	2
Agent Communication Language	17, 44
Agent vs. Bot.....	11
Agentenstruktur	40
Agentic Loop	88, 89
Agentic OS	140
Agentische Kooperation.....	37
Agentischer Workflow	1
Agentisierung.....	10
Alignment-Orchestrierung	87
Alignment-Problem	83
Allokation	72
API.....	9
API-Integration	7
API-Interaktion	57
Arbeitsteilung.....	13
Architektur.....	25
Auktion	72
Auktionsmechanismen.....	69

Automatisierung.....	148
Autonomie	1, 5, 11

B

Blackboard	17, 50
Blackboard-System	49
Bot	7

C

Capability	38
Chatfenster.....	9
Code-Interpreter	21
Content-Produktion	28
Contract-Net-Protokoll	69
CrewAI.....	104
Critic Agent	21

D

DAI.....	16
DAO	147
Datenminimierung	97
Datenschutz.....	96
Datenverarbeitung.....	28
Debate	21

Decentralized Autonomous Organization	147
Designentscheidung	7
Designproblem	54
Determinierbarkeit	110
Directed Acyclic Graphs	110
Dissens	74
Distributed AI	6
Distributed Artificial Intelligence	16
Distributed Problem Solving	16
DPS	16
Dry Runs	94

E

Einsatzfeld	119
Emergenz	144
Entscheidungslogik	8, 70
Entscheidungsprozess	148
Evaluator	67
Executor	67

F

Fallstudie	132
Feedback-Loop	89
Fehlerbehandlung	46
Fehlerkorrektur	63, 77
FIPA-ACL	16

Framework	103
-----------------	-----

G

Guardrail	22
-----------------	----

H

Host-System	92
Human-in-the-Loop	22
Hybrider Ansatz	10
Hyperpersonalisierung	149

I

Interaktion	13
-------------------	----

J

JCS	33
Joint Cognitive System	25, 33
JSON	51

K

Knowledge Query and Manipulation Language	16
Kommunikationslast	70
Kommunikationsstruktur	76
Kommunikationszyklus	46
Konsensbildung	72, 73

Kontextrelevanz 55

Kontextweitergabe 46

Kooperation..... 9

Koordination 63

Koordinationslogik 34

Kostenstruktur..... 22

KQML..... 16, 44

Kundensupport 128

L

LangGraph..... 110

Large Language Model 17

Least Privilege..... 93

LLM 17

LLM-Agent..... 15

M

Machine Learning 7

Manager-Worker-Ansatz 26, 27

MAP 64

Marktforschung..... 124

Mehrfachvalidierung 86

Mehrheitsentscheidung 73

Menschliche Kontrolle..... 87

Meta-Kommunikation..... 47

Microsoft AutoGen 106

Modularität..... 27

Multi-Agent Debate 76

Multi-Agent Planning64

Multi-Agenten-System2, 5, 139

N

Nachrichtenaustausch.....44

O

Ökosystem103

Orchestrator.....22

Orchestrierungssystem.....29

P

P2P.....29

Peer Review78

Peer-to-Peer29

Plan-Adaption66

Planner67

Plan-Synchronisation65

Proaktivität5, 12

Prozessautomatisierung7

Q

Qualität.....45

Qualitätssicherung31

R

Reaktivität.....	12
Reasoning.....	6, 20
Redundanz.....	78
Relevanzfilterung.....	51
Reputation-System	39
Ressourcenbegrenzung.....	94
Rollenbasierung.....	67
Rollenfindung.....	38
Runtime-Umgebungen.....	92

S

Sandboxing.....	22, 92
Self-Consistency	76
Self-Reflection.....	21
Shared Memory.....	50
Shared Situational Awareness	34
Sicherheitsstufe	95
Single Point of Control	27
Single Point of Failure	27
Single-Prompting.....	1
Situationswahrnehmung.....	34
Skalierung	13
Software-Engineering	120
Spezialisierung.....	13
Sprachmodell.....	6

State Management.....	39, 53
Synchronisation.....	46
Synergie	2
Systemgestaltung.....	14

T

Task Decomposition.....	65
Textgenerierung	26
Toolchain	142
Topologie	25

V

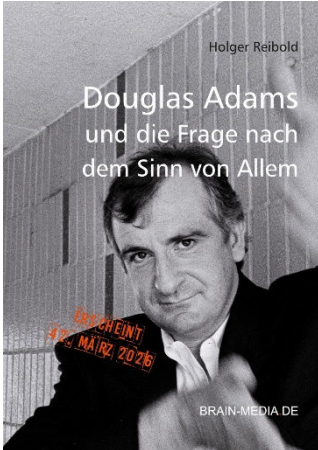
Verschlüsselung	99
Verteilte KI.....	15
Verteilte künstliche Intelligenz..	15
Verteilte Problemlösung	16

W

Wissensraum	14
-------------------	----

Z

Zeitkritikalität	71
Zentralisierung.....	50
Zugriffsmatrix	97



42 – Douglas Adams und die Frage nach dem Sinn von Allem

Am 11. Mai 2026 ist Douglas Adams 25 Jahre tot. Der Kultautor hat der Welt wunderbar, skurrile Werke geschenkt. Jetzt ist es an der Zeit, den Autor kennenzulernen.

Umfang: 140 Seiten

Preis: 14,99 EUR

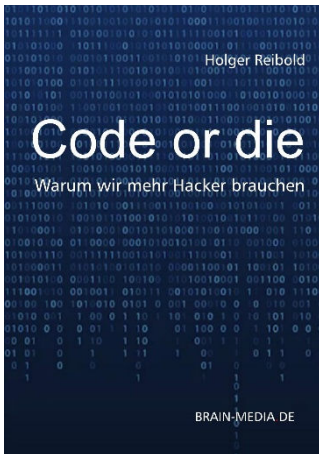
Erscheint: 42. März 2026



Towelday, das ultimative Handtuch für alle Fans

An seinem Todestag, dem Towelday, erinnern sich Fans an Douglas Adams und huldigen dem Kultautor.

100 % intergalaktisch geprüfte Baumwolle, nachhaltig Produktion zum Preis von 42 EUR.



Code or die – Warum wir mehr Hacker brauchen

Ein Manifest für mehr digitale Selbstbestimmung, Neugierde und Eigenverantwortung. Medienkompetenzen alleine genügen nicht; die Gesellschaft von morgen braucht Digitalkompetenzen.

Umfang: 120 Seiten

Preis: 14,99 EUR

Erscheint Frühjahr 2026

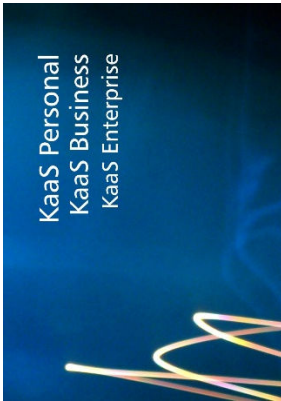


Lokale KI – Sichere Architektur, Betrieb und Governance von GenAI- und RAG-Systemen

RAG- und LLM-Plattformen mit klarer Architektur, Guardrails, Monitoring und Governance kontrolliert und resilient betreiben.

Umfang: 270 Seiten

Preis: 29,99 EUR



Knowledge as a Service (KaaS)

**Personal
Business
Enterprise**

IT-Security, Compliance und KI entwickeln sich schneller als jedes gedruckte Buch. Um dieser Dynamik Rechnung zu tragen, hat Brain-Media.de **KaaS – Knowledge as a Service** entwickelt. Mit KaaS erhalten Sie ein **lebendes Wissenssystem**: Alle Titel als PDF/E-Book, regelmäßig **aktualisierte Living Documents** sowie **exklusive Downloads** – Checklisten, Vorlagen und sofort einsetzbare Templates.

Speziell für **Regulierung und Audits**: Inhalte zu NIS-2, DORA, CRA & AI Act werden laufend gepflegt und helfen Ihnen, Anforderungen strukturiert umzusetzen und auditfähig zu bleiben. Für fortgeschrittene Nutzung stehen Inhalte zusätzlich als **SCORM-, Markdown- und JSON-Rohdaten** bereit – ideal für die Automatisierung und Integration in Ihre Umgebungen.

**KaaS ist die wachsende Bibliothek für
Praxis, Compliance und Resilienz.**