Der „Standard of Standards“

Digitale Souveränität und fairer Wettbewerb durch sektorübergreifende Interoperabilität

S—I—N—E

BertelsmannStiftung

Impressum

© Bertelsmann Stiftung, Gütersloh
Dezember 2025

Herausgeber
Bertelsmann Stiftung
Carl-Bertelsmann-Straße 256
33311 Gütersloh
Telefon +49 5241 81-0
www.bertelsmann-stiftung.de

Verantwortlich
Dr. Felix Sieker

Autoren
Hansjörg Baur
Martin Pompéry
Dr. Felix Sieker

Lektorat
Rudolf Jan Gajdacz, München

Grafikdesign
Nicole Meyerholz, Bielefeld

Bildrechte
Cover-Montage:
© Porcupen – stock.adobe.com
© yugoro – stock.adobe.com
© FourLeafLover – stock.adobe.com
© Serhii – stock.adobe.com
© Stock Gallery – stock.adobe.com

Der **Text** dieser Publikation ist lizenziert unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0) Lizenz. Den vollständigen Lizenztext finden Sie unter: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.de

Davon ausgenommen sind die **Cover-Illustration, die Grafiken und die Logos**, sie sind urheberrechtlich geschützt, unterfallen nicht der oben genannten CC-Lizenz und dürfen nicht verwendet werden.

Bevorzugte Zitierweise
Baur, H., Pompéry, M. & Sieker, F. (2025). Der „Standard of Standards“: Digitale Souveränität und fairer Wettbewerb durch sektorübergreifende Interoperabilität. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung.

DOI 10.11586/2025107

Der „Standard of Standards“

Digitale Souveränität und fairer Wettbewerb durch sektorübergreifende Interoperabilität

S—I—N—E

BertelsmannStiftung

Inhalt

Executive Summary 5
Glossar 6
Abkürzungen 8
Vorwort 10
1 | Einführung 12
Problemstellung 12
Aufbau der Studie 13
2 | Standards und ordoliberale digitale Räume 14
Wie Standards Märkte ermöglichen 15
Digitale Souveränität als wirtschaftliches und politisches Schlüsselthema 17
Ordnungspolitische Lehren 18
3 | Von technischen Standards zu Interoperabilitätsstandards 19
Das European Interoperability Framework 19
Das Vier-Ebenen-Modell der Interoperabilität im EIF 19
Das EIF als Framework für Interoperabilitätsstandards 21
Anforderungen an Governance und Struktur von Interoperabilitätsstandards 22
4 | Der „Standard of Standards“ als vereinheitlichte Methodik für die Entwicklung von Interoperabilität 24
Der „Standard of Standards“ als technologie- und sektorneutraler Rahmen 24
Auswahlkriterien für die Methodik des „Standard of Standards“ 25
Der ordoliberale Rahmen: Wettbewerbsgarantie und Marktstruktur 26
Zusammenfassung 27
5 | Kurzanalyse von zwei erfolgreichen Interoperabilitäts-Communities 28
EHDS: European Health Data Space 28
GSM: Global System for Mobile Communications 30
Blaupausen für den ordoliberalen digitalen Raum 32
6 | Handlungsempfehlungen 33
Empfehlung 1: Festlegung eines „Standard of Standards“ als Methodik für die Entwicklung von Interoperabilitätsstandards auf nationaler, europäischer und globaler Ebene 33
Empfehlung 2: Einrichtung eines Governance-Forums für den „Standard of Standards“ und für dessen technische Weiterentwicklung 33
Empfehlungen für eine schrittweise Implementierung 34
7 | Ausblick 35
Von der vereinheitlichten Methodik zum Interoperability-by-Design-Netzwerk 35
Dritte Generation der Interoperabilität: Interoperability-by-Design 35
Mit KI Standardisierungsprozesse demokratischer gestalten 36
Danksagung 37
Quellen 38

Executive Summary

Standards im digitalen Raum sind mehr als technische Spezifikationen – sie sind Marktinfrastruktur mit normativer Wirkung. Denken wir nur an das Internet: Hier regeln grundlegende Standards wie das Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP), Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) und Hypertext Transfer Protocol (HTTP) den Datenaustausch zwischen Computern, den Versand von E-Mail und die Übertragung von Webseiten. Die Offenheit dieser Standards hat die Grundlage für globale Märkte im Volumen von mehreren Billionen Euro gelegt.

Doch die Offenheit dieser grundlegenden Technologien hat sich nicht auf die Anwendungsschicht übertragen – also in der Welt der Softwareanwendungen, die wir tagtäglich für unterschiedliche Zwecke nutzen. Die Anwendungsschicht ist dadurch häufig von fehlendem Wettbewerb, Mangel an digitaler Souveränität sowie Monopolbildung durch Netzwerk- und Winner-takes-all-Effekte geprägt. Die ordoliberalen Prinzipien, die TCP/IP und andere Standards selbst ermöglicht haben – Wettbewerbsgarantie, Austauschbarkeit von Komponenten, dezentrale Kontrolle – gelten für heutige Plattformen und Anwendungen in der Regel nicht mehr.

Um einen ordoliberalen digitalen Raum zu erschaffen, braucht es Standards der nächsten Generation, also Interoperabilitätsstandards, die bis auf die Anwendungsschicht wirksam werden. Das European Interoperability Framework (EIF) zeigt hier, dass echte Interoperabilität vier Ebenen umfassen muss: rechtliche, organisatorische, semantische und technische. Erfolgreich etablierte Interoperabilitätsstandards wie Global System for Mobile Communication (GSM) im Mobilfunk oder der European Health Data Space (EHDS) zeigen: Nur wenn alle vier Ebenen systematisch adressiert werden, entstehen funktionierende Ökosysteme.

Aktuell sind verschiedene Sektoren wie Gesundheit, Energie und Mobilität mit der Entwicklung jeweils eigener Interoperabilitätsstandards befasst. Die Standardisierung unter Verwendung unterschiedlicher Methodiken führt jedoch unweigerlich zu spezifischen Architektur- und Governance-Strukturen, die nachträglich kaum zu harmonisieren sind. Dieser „Methodik-Lock-in“ blockiert die sektorübergreifende Zusammenarbeit.

Um dieses Problem zu lösen, braucht es eine vereinheitlichte, sektor- und technologieneutrale Methodik. Aus diesem Grund schlägt diese Studie einen „Standard of Standards“ vor. Dieser „Standard of Standards“ definiert einen strukturierten Prozess: von der gemeinsamen Definition eines Use Cases über alle vier Interoperabilitätsebenen des EIF bis zur automatisierten Qualitätssicherung.

Für eine erfolgreiche Etablierung des „Standard of Standards“ braucht es ein Forum, das die Methodik überwacht, kontinuierlich weiterentwickelt und die kritischen Güter für die Standardentwicklung und das Qualitätsmanagement als Digital Public Goods bereitstellt. Ein ordoliberaler Governance-Rahmen muss dabei Offenheit, FRAND[1]-Prinzipien und Zugänglichkeit für alle Stakeholder, einschließlich kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und Zivilgesellschaft, gewährleisten.

1 Fair, reasonable, and non-discriminatory.

Glossar

Anwendungsschicht
Vernetzte Software und Anwendungen im digitalen Raum, mit denen z. B. Nutzer:innen interagieren oder Aufgaben für Firmen, Organisationen und Institutionen übernehmen. Im Kontext von TCP/IP umfasst die Anwendungsschicht Webbrowser, E-Mail-Programme, Cloud-Anwendungen und viele andere Dienste und Protokolle, die auf die darunterliegenden Schichten aufbauen.

Digitale Souveränität
Digitale Souveränität bedeutet für Individuen, Unternehmen und Institutionen, über Fähigkeiten und Möglichkeiten zu verfügen, ihre Rolle in der digitalen Welt selbstständig, selbstbestimmt und sicher ausüben zu können.[2]

Digital Public Good
Digitale Ressourcen (Software, Standards, Daten, KI-Modelle, Inhalte), die als öffentliche Güter konzipiert sind: quelloffen, frei zugänglich und so lizenziert, dass sie ohne Einschränkungen genutzt, angepasst und weiterverbreitet werden können.

Ende-zu-Ende-Prinzip/-Kommunikation
Ein Architekturprinzip, bei dem alle an ein Netzwerk angeschlossenen Systeme direkt miteinander kommunizieren können, ohne dass zentrale Vermittlungsinstanzen erforderlich sind. So kann beispielsweise im Internet jedes Gerät mit einer IP-Adresse prinzipiell mit jedem anderen Gerät kommunizieren.

Konformitätstest/automatisiertes Testen
Das automatisierte Testen von Software, um die Einhaltung einer Spezifikation zu prüfen.

Interoperabilität
Interoperabilität ist die Fähigkeit von Organisationen, miteinander zu interagieren, um gemeinsame, für alle Beteiligten vorteilhafte Ziele zu erreichen. Dies geschieht durch den Austausch von Informationen und Wissen in den unterstützenden Geschäftsprozessen, sprich: durch Datenaustausch zwischen ihren Informations- und Kommunikationssystemen.

Interoperabilitätsstandard
Ein Standard, der Interoperabilität hinsichtlich eines oder mehrerer Use Cases ermöglicht. Interoperabilitätsstandards referenzieren bzw. integrieren alle vier Interoperabilitätsebenen des European Interoperability Framework (EIF) .

Interoperability-by-Design (IbD)
Interoperability-by-Design ist ein systematischer Ansatz, bei dem Interoperabilität von Beginn an in Konzeption, Architektur und Governance digitaler Systeme integriert wird – unter Berücksichtigung aller vier Interoperabilitätsebenen des European Interoperability Framework (EIF).

Standard
Eine verbindliche oder weithin akzeptierte Spezifikation, die Anforderungen, Richtlinien oder Merkmale für Software, Hardware, Produkte oder Systeme festlegt. Die Etablierung von Standards erfolgt formell (durch anerkannte Standardisierungsorganisationen wie ISO, CEN, ETSI, W3C, IETF usw.), informell (durch

2 Die Definition ist angelehnt an CIO Bund 2020.

Industriekonsortien und Foren) oder als De-facto-Standard (durch Durchsetzung am Markt).

Standard im EIF

Ein Standard, welcher sektorspezifisch oder sektorübergreifend auf einer oder mehreren Ebenen des European Interoperability Framework (rechtlich, organisatorisch, semantisch, technisch) verwendet wird.

Technische Interoperabilität

Die Fähigkeit technischer Systeme, Schnittstellen, Protokolle und Datenformate, reibungslos und ohne individuelle Anpassungen miteinander zu kommunizieren und Daten auszutauschen.

Use Case

Ein Anwendungsfall bzw. -szenario. Im Kontext dieser Studie ein Ende-zu-Ende-Anwendungsfall, bei dem zwei oder mehr Personen bzw. Organisationen untereinander kommunizieren und die ausgetauschte Information für ein wohldefiniertes Ziel nutzen.

Abkürzungen

3GPP	3rd Generation Partnership Project
API	Application Programming Interface
AWS	Amazon Web Services
B2B	Business-to-Business (Geschäftsbeziehungen zwischen Unternehmen)
B2C	Business-to-Consumer (Verkauf von Produkten und Dienstleistungen direkt an Endverbraucher)
CEN	Comité Européen de Normalisation (Europäisches Komitee für Normung)
CEPT	Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications
CSRD	Corporate Social Responsibility Directive
DG Connect	Für Digitales und Technologie zuständige Generaldirektion der Europäischen Kommission
DG SANTE	Generaldirektion Gesundheit und Lebensmittelsicherheit der Europäischen Kommission
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine (internationaler Standard für die Speicherung, Übertragung und den Austausch von medizinischen Bildern und den dazugehörigen Daten)
DPP	Digital Product Passport (Digitaler Produktpass)
eIDAS	electronic IDentification, Authentication and trust Services (EU-Verordnung, die den rechtlichen Rahmen für elektronische Identifizierung und Vertrauensdienste in der EU vorgibt)
EIF	European Interoperability Framework
EHDS	European Health Data Space
EHR	Electronic Health Records (elektronische Gesundheitsakte)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FHIR	Fast Healthcare Interoperability Resources
FRAND	Fair, reasonable, and non-discriminatory
HL7	Health Level 7
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
GSM	Global System for Mobile Communications
IbD	Interoperability-by-Design
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers

IETF	Internet Engineering Task Force (internationale Organisation für die Entwicklung von Standards für das Internet)
IHE	Integrating the Healthcare Enterprise
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union (Internationale Fernmeldeunion)
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LOINC	Logical Observation Identifiers Names and Codes (internationales System zur eindeutigen Identifizierung und Kodierung von medizinischen Beobachtungen)
MVNO	Mobile Virtual Network Operator
OIDC	OpenID Connect (auf OAuth 2.0 aufbauendes Authentifizierungsprotokoll)
OMOP	Observational Medical Outcomes Partnership
OMOP CDM	OMOP Common Data Model (standardisiertes Datenmodell für Beobachtungsdaten im Gesundheitswesen)
RSS	Really Simple Syndication (einfache Nachrichtenverbreitung)
SaaS	Software-as-a-Service
SDO	Standard Development Organization
SMS	Short Message Service
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SNOMED CT	Systematized Nomenclature of Medicine Clinical Terms
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
W3C	World Wide Web Consortium

Vorwort

Das Thema digitale Souveränität steht nicht erst seit dem deutsch-französischen Gipfel zur digitalen Souveränität in Berlin im November 2025 weit oben auf der politischen Agenda. Dort diskutierten Vertreterinnen und Vertreter aus Politik und Wirtschaft über Europas Position im globalen Technologiewettbewerb. Im Mittelpunkt standen Künstliche Intelligenz und eigene europäische Lösungen – zweifellos zentrale Fragen. Ein entscheidender Aspekt blieb in dieser Debatte jedoch weitgehend im Hintergrund: die Rolle von Standards.

Standards bilden das Fundament der digitalen Wirtschaft. Ihre Bedeutung lässt sich mit den Standards der klassischen Industriewelt vergleichen, etwa dem DIN-Format. Grundlegende Internetstandards zeigen dies eindrücklich: Das Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) ist das Basisprotokoll, auf dem das gesamte Internet aufbaut und das Märkte im Billionen-Euro-Maßstab ermöglicht; das Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) erlaubt den täglichen Versand von Milliarden E-Mails. Entscheidend ist dabei die Interoperabilität – also die Fähigkeit verschiedenartiger Systeme, miteinander zu kommunizieren. Offene Standards wie TCP/IP schaffen genau jene Skalierbarkeit und Effizienz, die den Erfolg des digitalen Raums erst ermöglichen.

Diese strukturelle Offenheit des Internets hat sich jedoch nicht auf die Anwendungsschicht übertragen – die Welt der Software und Plattformen, die wir täglich nutzen. Hier dominieren geschlossene Ökosysteme. Große Technologieunternehmen bauen zwar auf offenen Internetstandards auf, ihre darauf basierenden Angebote sind jedoch weitgehend weder standardisiert noch interoperabel. Die Folgen für die digitale Souveränität sind erheblich: Wo nur proprietäre Schnittstellen existieren, entstehen strukturelle Abhängigkeiten und Single Points of Failure. Fehlende Interoperabilität führt zu Lock-in-Effekten, schränkt Wechselmöglichkeiten ein und verzerrt den Wettbewerb.

Vor diesem Hintergrund möchte die vorliegende Publikation dazu beitragen, die Bedeutung digitaler Standards stärker in den politischen Diskurs zu rücken. Die Studie analysiert die zentrale Rolle von Interoperabilität für das Entstehen großer Märkte im digitalen Raum, zeigt, warum sie auf der Anwendungsschicht so entscheidend ist – und dennoch häufig fehlt – und erläutert, wie Interoperabilität Lock-in-Effekte reduzieren, Resilienz stärken und fairen Wettbewerb fördern kann. Darüber hinaus macht die Studie einen konkreten politischen Vorschlag, um künftig sektorübergreifende Interoperabilität zu erreichen: einen „Standard of Standards“ als vereinheitlichte Methodik für die Entwicklung von Interoperabilitätsstandards.

Wir bedanken uns bei Martin Pompéry und Hansjörg Baur für die Autorenschaft und die hervorragende Zusammenarbeit.

Die Publikation richtet sich an politische Entscheidungsträger:innen sowie Verantwortliche in Verwaltung, Standardisierungsgremien und Industrie. Sie versteht sich als Einladung, Standards bewusst als ordnungspolitisches Instrument zu nutzen.

Wir freuen uns, wenn Sie die Studie auch in diesem Sinne lesen – und über jede Form konstruktiver Kritik und Resonanz!

Dr. Felix Sieker
Project Manager
Programm Digitalisierung & Gemeinwohl
Bertelsmann Stiftung

1 | Einführung

Die digitale Transformation verändert grundlegend, wie Gesellschaften funktionieren, wie Menschen interagieren und wie Unternehmen arbeiten, miteinander konkurrieren und kooperieren. Die technischen Standards des digitalen Raums sind dabei weit mehr als bloße Details – sie definieren die Normen und Spielregeln des digitalen Raums, sie legen fest, wie Systeme aufgebaut sind oder wie wir kommunizieren können. Besonders wichtig ist in diesem Zusammenhang Interoperabilität. Sie bezeichnet das angestrebte Ziel bzw. die Fähigkeit verschiedenartiger Systeme, diese Standards zu nutzen, um effektiv miteinander auf Anwendungsebene zu kommunizieren und Daten auszutauschen. Standards sind das Fundament von Interoperabilität.

Das Internet verdankt seinen Erfolg technischen Standards, die Interoperabilität zwischen heterogenen Systemen ermöglichen. Diese technische Interoperabilität ist die Grundlage für das Entstehen digitaler Märkte im Volumen von mehreren Billionen Euro. Doch die letzten zwei Jahrzehnte zeigen, dass sich diese Offenheit der Netzwerkschicht nicht auf die Anwendungsschicht übertragen hat. Statt interoperabler Anwendungen entstehen immer mehr geschlossene Plattform-Ökosysteme mit Lock-in-Effekten, die den Wettbewerb behindern und die digitale Souveränität einschränken.

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich diese Studie mit der Governance von Interoperabilitätsstandards, um Lock-in-Effekte zu reduzieren und mehr Wettbewerb und mehr Souveränität im digitalen Raum zu ermöglichen.

Problemstellung

Standards für den digitalen Raum beinhalten zumeist technische Spezifikationen und Anforderungen – organisatorische oder rechtliche Aspekte dagegen bleiben oft unberührt. Deswegen gibt es aktuell sektorspezifische Initiativen – von der öffentlichen Verwaltung über die Gesundheitsversorgung und Energiewirtschaft bis zur Mobilität – zur Entwicklung von Interoperabilitätsstandards, die diese Dimensionen mit einbeziehen.

Diese Initiativen verfolgen zwar vergleichbare Ziele, arbeiten jedoch häufig mit unterschiedlichen Methodiken und ohne übergreifende Koordination. Die Folgen sind:

1. **Methodische Fragmentierung:** Jede Community muss grundlegende Fragen der Interoperabilität neu verhandeln – von der Definition semantischer Modelle bis zur Klärung rechtlicher Rahmenbedingungen.

2. **Fehlende sektorübergreifende Interoperabilität:** Standards, die mit unterschiedlichen Methodiken entwickelt wurden, sind nachträglich kaum zu harmonisieren, was die sektorübergreifende digitale Zusammenarbeit erschwert.

3. **Unzureichende Berücksichtigung ordnungspolitischer Prinzipien:** Technische Interoperabilität allein garantiert weder Wettbewerb noch digitale Souveränität.

Der „Standard of Standards“ als vereinheitlichte Methodik für Interoperabilität

Diese Studie entwickelt konkrete Handlungsempfehlungen für eine europäische und globale Standardisierungs-Governance. Dabei werden folgende Kernthesen zugrunde gelegt:

1. **Standards haben gesetzesähnliche Wirkung im digitalen Raum:** Prinzipien wie digitale Souveränität oder Wettbewerb müssen von Anfang an in das Design von Standards, die Governance von Standardisierung sowie in die Zielarchitektur und die Governance digitaler Systeme integriert werden.

2. **Technische Standardisierung allein genügt nicht:** Interoperabilität auf der Anwendungsschicht – also in der Welt der Softwareanwendungen, die wir tagtäglich für unterschiedliche Zwecke nutzen – erfordert eine ganzheitliche Methodik, die nicht nur technische, sondern auch rechtliche, organisatorische und semantische Aspekte integriert.

3. **Methodische Einheitlichkeit ist notwendig:** Nur durch eine gemeinsame Methodik können verschiedene Sektoren und Jurisdiktionen nachhaltig interoperabel werden.

Aufbauend auf diese Thesen wird das Konzept eines „Standard of Standards“ vorgeschlagen: eine vereinheitlichte Methodik für die Entwicklung von Interoperabilitätsstandards, die alle vier Ebenen des European Interoperability Framework (rechtlich, organisatorisch, semantisch, technisch) systematisch adressiert.

Aufbau der Studie

Kapitel 2 eröffnet mit einer historischen Betrachtung, die die marktschaffende und souveränitätsstärkende Wirkung von Standards am Beispiel des Internets untersucht. Es zeigt, dass technische Designentscheidungen fundamentale ökonomische Konsequenzen haben, und leitet ordnungspolitische Lehren ab.

Kapitel 3 stellt das European Interoperability Framework (EIF) vor, um daraus Anforderungen an die Governance von Interoperabilitätsstandards zu erarbeiten. Es macht deutlich, dass Standards stets im Kontext konkreter Anwendungsfälle und über alle vier Interoperabilitätsebenen hinweg gedacht werden müssen.

Angesichts der Erfordernis einer auch sektorübergreifenden Koordination entwickelt Kapitel 4 das Konzept eines „Standard of Standards“ als vereinheitlichte Methodik für Standardisierungsprozesse. Es definiert Auswahlkriterien und betont die Notwendigkeit eines ordoliberalen Rahmens, der Wettbewerb und digitale Souveränität gewährleistet.

Im Anschluss an diese konzeptuellen Überlegungen präsentiert Kapitel 5 zwei Fallstudien: die Mobilfunk-Standardisierung durch GSM und den europäischen Gesundheitsdatenraum EHDS. Die ordnungspolitische Bewertung dieser Interoperabilitäts-Communities anhand der zuvor entwickelten Kriterien zeigt, wie diese als Blaupausen für einen ordoliberalen digitalen Raum dienen können.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden in Kapitel 6 in konkrete Handlungsempfehlungen für Politik, Standardisierungsorganisationen und Wirtschaft umgesetzt.

Kapitel 7 gibt abschließend einen Ausblick auf die Weiterentwicklung zur dritten Generation der Interoperabilität, dem Interoperability-by-Design-Netzwerk.

2 | Standards und ordoliberale digitale Räume

Das heutige Internet ist ohne Standards undenkbar: Wenn wir eine E-Mail versenden, nutzen wir das Simple Mail Transfer Protocol (SMTP), einen Standard aus dem Jahr 1981. Wenn wir im Browser eine Website öffnen, nutzen wir das Hypertext Transfer Protocol (HTTP) für den notwendigen Datenaustausch. Beide Protokolle definieren die präzise Art und Weise des Datenaustauschs und schaffen damit eine Art gemeinsamer Sprache für Computer, damit diese zuverlässig miteinander kommunizieren können.

Beide Protokolle fußen auf demselben grundlegenden Standard, dem Transmission Control Protocol/ Internet Protocol (TCP/IP). Dieses wurde ebenfalls schon 1981 veröffentlicht,[3] also zu einem Zeitpunkt, als der Vorläufer des späteren Internets noch aus wenigen hundert Computern bestand.[4] Damals war noch ungeklärt, auf welcher technischen Basis das Internet genau stehen würde. Es gab eine Vielzahl unterschiedlicher Endgeräte, Kommunikationsdevices, Betriebssysteme und Anwendungsprogramme.

Deswegen suchten die Entwickler:innen des TCP/IP-Standards nach einer Möglichkeit, die Kommunikation trotz aller Unterschiede und Unwägbarkeiten sicherzustellen. So kamen sie auf die bahnbrechende Idee, ein Prinzip der Computerkommunikation zu definieren, das Unterschiede in Hardware und Software als Normalfall betrachtet. Dieses TCP/IP-Prinzip besteht aus verschiedenen Schichten (siehe Tabelle 1).

Das Besondere an diesem Konzept ist die Arbeitsteilung und Modularisierung: Mit jeder Schicht wird genau ein Aspekt realisiert. Die konkrete Realisierung der einzelnen Schichten in Hard- und Software ist dabei beliebig austauschbar – solange die Spezifikationen erfüllt sind, ist die Fähigkeit zur Kommunikation gesichert.

3 RFC 793 (Postel 1981a) sowie RFC 791 (ISI, USC und Postel 1981) und RFC 792 (Postel 1981b).

4 Living Internet 1981.

Tabelle 1 | **Das Vier-Schichten-Modell von TCP/IP**

Schicht	Standard(s)	Funktion/Aufgabe	Interoperabilitätsbeispiel*: Surfen im Internet
Anwendung	HTTP, SMTP u. v. m.	Anwendungsspezifischer Austausch von Daten	Unterschiedliche Browser stellen Webseiten gleichförmig dar
• Transport	Transmission Control Protocol (TCP)	Zuverlässigkeit des Datenaustauschs	Erfolgreicher Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Betriebssystemen
• Internet	Internet Protocol (IP)	Austausch von einzelnen „Datenpaketen“	Heterogene Computersysteme an unterschiedlichen Standorten kommunizieren unter Verwendung unterschiedlicher Kommunikationstechnologien (z. B. 5G, WLAN etc.)
• Netzzugang	Ethernet u. v. m.	Physische Datenübertragung	

* Das Beispiel hat erläuternden Charakter und ist in Folge technisch stark vereinfacht.
Quelle: eigene Darstellung

| BertelsmannStiftung

Dies lässt sich an der Netzzugangsschicht sehr gut zeigen: In der Frühzeit des Internets lief die Kommunikation innerhalb eines Bürokomplexes oft über die Technologien Token Ring und Ethernet. Zwischen den einzelnen Standorten und Rechenzentren dagegen wurde damals noch das Telefonnetz verwendet. Der Datenaustausch zwischen diesen ganz verschiedenen Systemen wurde durch das Design von TCP/IP sichergestellt – und genau das nennt man **Interoperabilität**.[5]

Das Internet lebt auch heute noch von eben dieser technischen Interoperabilität, die es ermöglicht, dass unterschiedliche Browser (Anwendungsschicht, beispielsweise Google Chrome, Microsoft Edge, Safari) auf unterschiedlichen Betriebssystemen (Windows, Mac OS, Linux, Android, iOS usw.) mit unterschiedlichen Endgeräten (Desktop, Laptop, Smartphone etc.) auf Basis unterschiedlicher Kommunikationshardware (DSL, Glasfaser oder Mobilfunk/5G) uneingeschränkt und gleichartig miteinander kommunizieren können.

Ein zentraler Aspekt von TCP/IP ist das Ende-zu-Ende-Prinzip (auch: Ende-zu-Ende-Kommunikation).[6] Das heißt: Alle an das Internet angeschlossenen Computersysteme kommunizieren direkt miteinander. Ein vermeintlich technisches Detail, das jedoch fundamentale ökonomische Konsequenzen hat, wie im nächsten Abschnitt gezeigt wird.

Wie Standards Märkte ermöglichen

Standards sind mehr als technische Spezifikationen – sie sind grundlegende Marktinfrastruktur.

Sie können Wettbewerb ermöglichen oder verhindern, Märkte öffnen oder verschließen, Innovation fördern oder behindern.

Standards im digitalen Raum entfalten gerade im Hinblick auf die Marktstruktur eine gesetzes-ähnliche Kraft[7] – und deshalb ist die Gestaltung dieser Standards eine ordnungspolitische Aufgabe ersten Ranges.

Über welche Mechanismen sich technische Standards auf die Entstehung von Märkten auswirken, soll am Beispiel der Designentscheidungen rund um TCP/IP gezeigt werden.

Interoperabilität als Voraussetzung für Wettbewerb und Innovation

Eine der folgenreichsten Designentscheidungen bei TCP/IP war die Verlagerung komplexerer Funktionalität in die zwei mittleren Schichten: Internet- und Transportschicht (siehe auch Tabelle 1). Dadurch ergaben sich drei Effekte:

1. **Günstige Hardware:** Komplexere Funktionen, die für den zuverlässigen Datenaustausch notwendig waren, lassen sich dadurch in der Software realisieren statt in der Hardware (Netzzugangsschicht). Dadurch wurden die Hardware-Anforderungen drastisch vereinfacht: Wo zuvor komplexe und damit teure Kommunikationssysteme benötigt wurden, genügten nun kostengünstigere Geräte.[8] Dies begünstigte das Entstehen des Netzwerk-Equipment-Marktes insgesamt.

2. **Mehr Wettbewerb:** Eine Folge von Interoperabilität ist die Austauschbarkeit einzelner Komponenten, in diesem Fall: Hardware-Komponenten. So können Käufer:innen zwischen verschiedenen Anbietern wählen und auch Anbieter-Lock-ins sind in Folge schwerer zu realisieren, was den Wettbewerb begünstigt.

5 Genauer gesagt: technische Interoperabilität, wie in Kapitel 3 erläutert wird.

6 Saltzer, Reed und Clark 1984.

7 „Code is law“, vgl. Lessig 1999.

8 Insbesondere Ethernet-Technologie, die konkurrierenden Ansätzen zwar technisch unterlegen, aber wesentlich kostengünstiger war.

3. **Mehr Innovation:** Interoperabilität bedeutet auch, dass sich innovatives, spezialisiertes Netzwerk-Equipment nahtlos in bestehende Systeme integrieren lässt. Solche Innovationen können insbesondere von neuen Marktteilnehmer:innen stammen. Die Senkung der Markteintrittsbarrieren begünstigt zudem das Entstehen offenerer Innovations-Ökosysteme mit hochspezialisierten Produzenten.

Ende-zu-Ende-Kommunikation als Grundlage für digitale Märkte

Ein zweiter, mindestens ebenso wichtiger Aspekt von TCP/IP ist die sogenannte Ende-zu-Ende-Kommunikation. Sobald ein Computersystem an das Internet angeschlossen ist, kann es beliebig mit allen anderen angeschlossenen Systemen kommunizieren.

Das Ende-zu-Ende-Prinzip[9] ist kein technisches Detail, sondern eine fundamentale Designentscheidung in Bezug auf die Marktarchitektur: Aus der Freiheit, im Internet zu kommunizieren, erwächst die Freiheit, über das Internet Geschäfte zu machen. Ein Unternehmen in Berlin kann direkt, ohne Zwischenhändler, mit einem Kunden in Shenzhen ins Geschäft kommen. Ein Start-up aus Aschaffenburg kann seine innovativen Dienstleistungen weltweit über das Internet vermarkten.

9 Saltzer, Reed und Clark 1984.

Ende-zu-Ende-Kommunikation war und ist ein Treiber für das Entstehen großer Software-Märkte: Da Endgeräte beliebig miteinander kommunizieren können, spielt der physische „Ort" von Anbietern und Nutzer:innen keine Rolle mehr. Diese Flexibilisierung der Leistungserbringung und die daraus resultierenden Skaleneffekte sind signifikante Wachstumstreiber.[10] So ist der Markt für Cloud Computing seit seinen Anfängen im Jahr 2002[11] auf heute mehr als 600 Milliarden[12] US-Dollar gewachsen – und das ist nur eines von vielen Beispielen.

Zugleich offenbart das Ende-zu-Ende-Prinzip ein ordnungspolitisches Dilemma: Es ermöglicht ebenso Netzwerk- und Winner-takes-all-Effekte[13] und in Folge dessen Monopolbildung.

Märkte durch offene Standards: eine ökonomische Bilanz

Vier Jahrzehnte nach der Veröffentlichung von TCP/IP lässt sich dessen ökonomische Wirkung quantifizieren. Die Tabelle 2 zeigt ausgewählte digitale Märkte, die durch die Möglichkeiten des Internets entstanden sind.

10 Katz und Shapiro 1985; OECD 2022.

11 Wenn man den offiziellen Start von Amazon Web Services (AWS) im Jahre 2002 hierfür zugrunde legt.

12 Back End News 2024.

13 Katz und Shapiro 1985.

Tabelle 2 | **Märkte im Internet**

Markt	Größe (2023)	TCP/IP-Zusammenhang
E-Commerce (B2B & B2C)	25.930 Milliarden Euro*	Direkte Handelsbeziehungen ohne Intermediäre dank Ende-zu-Ende-Kommunikation
Cloud Computing und Software-as-a-Service (SaaS)	669 Milliarden Euro**	Innovationsmöglichkeit und standortunabhängige Diensterbringung durch Ende-zu-Ende-Kommunikation
Netzwerk-Equipment	147 Milliarden Euro***	Wettbewerb durch Austauschbarkeit der Hardware-Komponenten, Skaleneffekte dank Standardisierung
Video-on-Demand	104 Milliarden Euro****	Globale Reichweite ohne Abhängigkeit von lokaler Distribution bzw. Intermediären

* Grand View Research 2024a.
** Back End News 2024.
*** Grand View Research 2024b.
**** Polaris Market Research 2024.

BertelsmannStiftung

Die vier ausgewählten Märkte repräsentieren zusammen ein Volumen von knapp 27 Billionen Euro (Stand 2023).

Obgleich TCP/IP keineswegs hinreichend ist, so waren die obig vorgestellten TCP/IP-Designentscheidungen notwendig für das Entstehen und insbesondere das enorme Wachstum von Märkten und Wertschöpfung im Internet. Diese ökonomische Bilanz unterstreicht die ordnungspolitische Relevanz der Ausgestaltung von Standards im digitalen Raum. Denn wer Standards setzt, definiert Zugang, Abhängigkeiten und Handlungsspielräume – und berührt damit auch Kernfragen digitaler Souveränität.

Digitale Souveränität als wirtschaftliches und politisches Schlüsselthema

Digitale Souveränität ist zu einem Schlüsselbegriff politischer und wirtschaftlicher Debatten geworden – doch seine Bedeutung ist vielschichtig und oft diffus. Deshalb liegt der Fokus in diesem Abschnitt auf jene Aspekte der digitalen Souveränität, die unmittelbar mit Standards zusammenhängen. Um diesen Zusammenhang greifbar zu machen, betrachten wir digitale Souveränität aus drei Perspektiven: Verfügbarkeit, Vertraulichkeit und Wahlmöglichkeiten.[14]

Verfügbarkeit: Resilienz durch Interoperabilität und Datenportabilität

Die Verfügbarkeit digitaler Dienste hängt maßgeblich von der Austauschbarkeit von Komponenten und Anbietern ab. Standards schaffen hier eine geschäftskritische Voraussetzung: Wenn Software und Geräte interoperabel sind, können ausgefallene Komponenten durch alternative Lösungen ersetzt werden, ohne dass eine Infrastruktur oder ein System komplett neu aufgebaut werden muss.

Interoperabilität ermöglicht zudem Datenportabilität, indem Daten automatisiert zwischen verschiedenen Systemen bewegt und ausgetauscht werden können. Dies reduziert die Abhängigkeiten und Lock-in-Effekte, die häufig proprietäre Plattformen und Systeme prägen.

Vertraulichkeit: Standards als Grundlage für Privatsphäre und Datenportabilität

Offene Standards ermöglichen Transparenz: Wenn Verschlüsselungs-, Sicherheitsstandards oder Datenformate offen dokumentiert sind, können Sicherheitsforscher:innen Schwachstellen identifizieren und Nutzer:innen die tatsächliche Sicherheit bewerten. Proprietäre oder geschlossene Systeme hingegen verlangen „Security through Obscurity“ – also Vertrauen ohne Verifikationsmöglichkeit.

Zusätzlich können offene Standards eine dezentrale Datenspeicherung ermöglichen.[15] Auf Basis der Interoperabilität können so Ökosysteme entstehen, in denen die Nutzer:innen die Hoheit über ihre Daten behalten, ohne funktionale Nachteile gegenüber proprietären oder zentralisierten Systemen hinnehmen zu müssen.

Wahlmöglichkeiten: Wettbewerb durch offene Standards

Die dritte Dimension umfasst die Fähigkeit, zwischen verschiedenen Anbietern, Technologien und Geschäftsmodellen frei zu wählen. Fehlende Interoperabilität dagegen führt zu Lock-in-Effekten, wie das Beispiel moderner Messenger-Dienste zeigt: Nutzer:innen können nicht zwischen WhatsApp, Signal oder Telegram wechseln, ohne Kontakte zu verlieren. Diese technologische Bindung beschränkt nicht nur die individuelle Wahlfreiheit, sondern behindert auch Wettbewerb und Innovation.

Standards ermöglichen hingegen die Austauschbarkeit von Produkten und Dienstleistungen. Sie schaffen Märkte, in denen verschiedene Anbieter miteinander konkurrieren können, ohne dass Nutzer:innen ihre bestehenden Netzwerke oder Daten aufgeben müssen.

14 Angelehnt an Swiss Data Alliance 2024.

15 Die Social-Media-Netzwerke Mastodon und Bluesky sind hierfür gute Beispiele. Bei Podcasts ist die dezentrale Distribution über das HTTP-Protokoll in Kombination mit offenen Dateiformaten (Web-Feeds oder auch RSS-Feeds) sehr etabliert.

Exemplarisch wird hieraus deutlich, dass fehlende Standards und fehlende Interoperabilität erhebliche Auswirkungen haben – sowohl auf die digitale Souveränität als auch auf die Struktur von Märkten im digitalen Raum. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt in Bereichen mit starken Lock-in-Effekten bzw. Netzwerkeffekten.[16] Dazu zählen nicht nur Messenger-Dienste und soziale Netzwerke, sondern auch E-Commerce-Anbieter, Supply-Chain-Management-Angebote u. v. m.

In diesen Bereichen werden zugleich auch die Grenzen rein technischer Standards sichtbar: **Die Offenheit und die technische Interoperabilität der unteren Netzwerkschicht (TCP/IP) übertragen sich nicht automatisch auf die darüberliegende Anwendungsschicht.**[17] Obwohl auf der Netzwerkschicht Wettbewerb existiert, führt doch das Fehlen von Standards und Interoperabilität auf der Anwendungsschicht zu Netzwerk- und First-Mover-Effekten.[18] Diese Diskrepanz zwischen beiden Schichten ist ein zentrales Problem des heutigen digitalen Raums.

Ordnungspolitische Lehren

Aus der historischen Erfahrung, dass sich Offenheit und Interoperabilität der grundlegenden Infrastruktur des Internets nicht automatisch auf die darüberliegende Anwendungsschicht übertragen, ergeben sich folgende ordnungspolitische Lehren:

1. **Standards gestalten die Souveränität im digitalen Raum unmittelbar.**
   Fehlende Standards oder ungenügende Interoperabilität bergen das Risiko von Souveränitätsverlusten im digitalen Raum. Dies wird besonders auf der Anwendungsschicht deutlich, auf der Netzwerkeffekte häufig zu Monopolbildung und Winner-takes-all-Effekten führen können.

Die Entscheidung für oder gegen Standardisierung und Interoperabilität, ebenso wie deren Ausgestaltung, ist somit keine rein technische, sondern eine ordnungspolitische und souveränitätspolitische Grundsatzentscheidung.

2. **Die Ermöglichung von Wettbewerb, Marktoffenheit und Souveränität geht über technische Standardisierung hinaus.**
   Die technische Interoperabilität und Offenheit von Standards wie TCP/IP überträgt sich nicht automatisch auf die Anwendungsschicht. Um Wettbewerb, Interoperabilität und Souveränität zu ermöglichen, bedarf es einer umfassenderen und aktiv gestalteten Standardisierung, die über rein technische Aspekte hinausgeht.

3. **Netzwerkeffekte bedürfen ordnungspolitischer Einhegung.**
   Das Ende-zu-Ende-Prinzip ermöglicht Netzwerkeffekte, die sowohl Innovation als auch Monopolbildung begünstigen. Die ordnungspolitische Antwort ist verpflichtende Interoperabilität auf der Anwendungsschicht, um Wettbewerb sicherzustellen und Einschränkungen in der digitalen Souveränität zu minimieren.

4. **Digitale Souveränität ist nur durch Wahlmöglichkeiten realisierbar.**
   Souveränität im digitalen Raum setzt Wahlfreiheit voraus, sodass Individuen, Unternehmen und Institutionen zwischen verschiedenen Anbietern und Systemen wechseln können, ohne Einschränkungen in der Verfügbarkeit von Daten, Funktionalität oder Netzzugängen erleiden zu müssen. Dies ist nur durch Interoperabilitätsstandards zu erreichen.

16 Katz und Shapiro 1985; EU Kommission 2022b: Erwägungsgrund 64.

17 Siehe Tabelle 1.

18 EU Kommission 2023b: Erwägungsgründe 1, 2, 79.

3 | Von technischen Standards zu Interoperabilitätsstandards

Der historische Rückblick hat gezeigt, dass technische Standards wie TCP/IP zwar digitale Märkte schaffen und digitale Souveränität ermöglichen können, sich Offenheit und Interoperabilität auf technischer Ebene jedoch nicht automatisch auf die Anwendungsschicht übertragen. Die daraus resultierende Frage, wie sich Interoperabilität auf Anwendungsschicht erreichen lässt, wird im Folgenden am Beispiel des European Interoperability Frameworks (EIF) diskutiert.

Das European Interoperability Framework

Die Europäische Kommission hat im Jahr 2017 mit dem European Interoperability Framework (EIF)[19] einen systematischen Ansatz entwickelt, um Interoperabilität auf der Anwendungsschicht zu erreichen und dadurch mithilfe digitaler Dienste eine vertiefte Zusammenarbeit zwischen Organisationen zu ermöglichen. Im Fokus steht dabei die Integration der EU-Mitgliedsstaaten, ihrer öffentlichen Stellen sowie der digitalen Dienste für die Daseinsvorsorge.

Die Kommission formuliert dies folgendermaßen:

> As stipulated in the Treaties of the European Union (EU), the EU's internal market guarantees four 'freedoms' – the free movement of goods, capital, services and people between the 28 Member States. **These freedoms are assured by common policies supported by interconnected, interoperable networks and systems.**[20]

19 EU Kommission, New European Interoperability Framework (2017).

20 EU Kommission 2017b: Annex 2, Seite 4. In der deutschen Fassung von Annex 2 fehlt an dieser Stelle das Adjektiv „interoperabel" leider. Hervorhebung hinzugefügt.

Das Bemerkenswerte am EIF ist, wie im Zitat hervorgehoben, die Verbindung von Rechtsrahmen und technischen Aspekten wie interoperablen Systemen und Netzwerken. Das Framework erkennt damit an, dass Interoperabilität nicht allein durch technische Spezifikationen erreicht werden kann, sondern einen ganzheitlichen Ansatz erfordert. Dieser Ansatz manifestiert sich in einem Vier-Ebenen-Modell der Interoperabilität (Abbildung 1).

Das Vier-Ebenen-Modell der Interoperabilität im EIF

Kern des EIF ist ein Vier-Ebenen-Modell, das Interoperabilität als mehrdimensionales Konzept begreift. Jede Ebene adressiert einen spezifischen Aspekt der Zusammenarbeit zwischen digitalen Systemen und Organisationen:

Rechtliche Interoperabilität bildet die Grundlage und stellt sicher, dass Organisationen und/oder Personen über nationale Rechtssysteme hinweg effektiv zusammenarbeiten können. Dies umfasst auch die Harmonisierung von Rechtsnormen, die den Datenaustausch und die digitale Zusammenarbeit regeln.

Organisatorische Interoperabilität adressiert die Art und Weise, wie Organisationen ihre Geschäftsprozesse, Verantwortlichkeiten und Erwartungen aufeinander abstimmen. Sie stellt sicher, dass unterschiedliche Organisationskulturen, Workflows und Governance-Strukturen nicht zu Barrieren für die Zusammenarbeit werden.

Abbildung 1 | **European Interoperability Framework – Vier-Ebenen-Modell der Interoperabilität***

* EU Kommission 2025b.

BertelsmannStiftung

Semantische Interoperabilität gewährleistet, dass die ausgetauschten Daten von allen Beteiligten einheitlich verstanden werden. Sie umfasst z. B. die Standardisierung von Datenmodellen, Ontologien und Bedeutungszusammenhängen, sodass dieselbe Information in verschiedenen Systemen die gleiche Bedeutung hat.

Technische Interoperabilität ermöglicht schließlich den eigentlichen Datenaustausch zwischen Computersystemen. Sie umfasst Protokolle, Schnittstellen und technische Standards, die die Kommunikation auf der technischen Ebene ermöglichen. Hier sind also die schon beschriebenen Standards wie TCP/IP zu verorten.

Diese vier Interoperabilitätsebenen sind nicht unabhängig voneinander, sondern bilden ein zusammenhängendes Ganzes.

Dies verdeutlichen wir am Beispiel 1: ein italienischer Handwerker möchte eine Niederlassung in Deutschland anmelden

Rechtliche Interoperabilität: Es gibt in Deutschland Besonderheiten, insbesondere in Hinsicht auf Scheinselbstständigkeit oder die Erfordernis einer Zulassung durch die Handwerkskammer.

Organisatorische Interoperabilität: Die Anmeldung eines Gewerbes erfolgt in Deutschland an mehreren Stellen, unter anderem dem örtlichen Gewerbeamt, der Handwerkskammer, der Berufsgenossenschaft oder dem Finanzamt.

Semantische Interoperabilität: Italienische Berufsqualifikationen lassen sich nicht automatisch deutschen Berufsbezeichnungen und Meistertiteln zuordnen.

Technische Interoperabilität: Der Handwerker kann seinen digitalen Ausweis nicht in den deutschen Systemen der Handwerkskammern und Berufsgenossenschaften verwenden.

Beispiel 1 verdeutlicht die Notwendigkeit, stets alle vier Ebenen des EIF-Modells zu berücksichtigen: Semantische Interoperabilität nützt wenig, wenn die organisatorischen Prozesse nicht aufeinander abgestimmt sind. Und selbst perfekt harmonisierte Standards auf organisatorischer und semantischer Ebene scheitern, wenn der rechtliche Rahmen fehlt und beispielsweise die ausgetauschten Daten den nationalen Anforderungen der Rechtskonformität nicht genügen.

Das EIF-Modell bietet ein Analyse-Framework mit hoher Praxisrelevanz. Es erleichtert das Identifizieren von Interoperabilitätslücken und unterstützt die Auswahl und Beurteilung von Standards zur Erreichung von Interoperabilität. Zudem kann das EIF-Modell auch als Framework für das Design von Interoperabilitätsstandards dienen.

Infobox 1 | **Technische Standards versus Interoperabilitätsstandards**

Technische Standards wie TCP/IP definieren spezifische technische Aspekte im digitalen Raum: Protokolle für den Datenaustausch zwischen Computersystemen, Datenformaten, Schnittstellen. In der Regel adressieren diese Standards die technische und/oder semantische Ebene des EIF.

Interoperabilitätsstandards gehen darüber hinaus und integrieren alle vier EIF-Ebenen: Sie adressieren die rechtliche Ebene durch die Harmonisierung von Rechtsnormen und Compliance-Anforderungen, die organisatorische Ebene durch die Definition von Geschäftsprozessen, Verantwortlichkeiten und Workflows, die semantische Ebene durch die Schaffung einheitlicher Datenmodelle und gemeinsamer Bedeutungszusammenhänge sowie die technische Ebene durch die Standardisierung von Protokollen, Schnittstellen und Datenformaten.

Das EIF als Framework für Interoperabilitätsstandards

Das EIF-Modell begreift Interoperabilität als mehrdimensionales Konzept. Dementsprechend müssen auch Standardisierungsprozesse, die Interoperabilität bis in die Anwendungsschicht erreichen wollen, mehrdimensional gedacht werden. Ziel ist die Entwicklung nachhaltiger Interoperabilitätsstandards, die alle vier Ebenen des EIF-Modells umfassen und integrieren – und damit deutlich weiter gehen als die bislang besprochenen technischen Standards.

Ebenso liefert das EIF-Modell ein Framework für die Analyse bestehender und die Entwicklung neuer Interoperabilitätsstandards. Dies verdeutlichen wir anhand des Digitalen Produktpasses (DPP) für Batterien.

Beispiel 2: Digitaler Batteriepass
Ab Februar 2027 wird der digitale Batteriepass EU-weit zur Pflicht.[21] Ziel der Verordnung ist die verbesserte Vergleichbarkeit, CO_2-Transparenz sowie Recycling und Wiederverwendbarkeit von Batterien. Dementsprechend soll der Pass verschiedene Pflichtangaben zur Materialzusammensetzung, zum Carbon Footprint etc. enthalten.[22] Die Verordnung verpflichtet alle Teilnehmer:innen der Batterie-Wertschöpfungskette (Zulieferer, Hersteller und Händler) zur Verfügbarmachung der entsprechenden Informationen. Dies erfordert umfangreiche Standardisierungsprozesse auf allen Interoperabilitätsebenen (siehe Tabelle 3).

21 EU-Kommission 2023a: Artikel 77.
22 Ebd.: Artikel 7 und 8.

Tabelle 3 | **Digitaler Batteriepass: Interoperabiliätsanalyse gemäß Vier-Ebenen-Modell des EIF**

Verfügbarmachung des Digitalen Produktpasses (DPP) für Batterien entlang der Wertschöpfungskette

	Was definiert der Standard?	Impact fehlender Standards und Interoperabilität
Rechtliche Interoperabilität	Geprüfte Konformität mit EU-Normen sowie chinesischen Batterie-Verordnungen	Höhere Kosten und rechtliche Unsicherheiten in der gesamten Wertschöpfungskette, Markteintrittsbarrieren besonders für kleine und mittlere Unternehmen
Organisatorische Interoperabilität	Standardisiertes Datenzugriffsmanagement für Stakeholder (Inhaber, Produzenten, Recycling-Firmen usw.), Musterverträge für Datennutzung und -zugriff	Höhere Kosten für alle bzw. geringere Datenverfügbarkeit, Lock-in-Effekt für Marktteilnehmer:innen, negative Sekundäreffekte wie fehlende Skaleneffekte und schlechtere Recyclingraten
Semantische Interoperabilität	Umfang der freiwilligen und verpflichtenden Produktinformation, Berechnung der CO_2-Emissionen, wohldefinierte Recycling-Informationen	Markteintrittsbarrieren, insbesondere durch höhere Entwicklungskosten
Technische Interoperabilität	Datenaustausch zwischen Computersystemen	Markteintrittsbarrieren, generell höhere Kosten durch manuelle Arbeit, schlechtere Datenverfügbarkeit u. v. m.

Quelle: Eigene Darstellung | BertelsmannStiftung

Das DPP-Beispiel verdeutlicht, dass ein Interoperabilitätsstandard nicht aus der isolierten Betrachtung einzelner Datenformate oder Rechtsnormen entstehen kann, sondern eine mehrdimensionale Analyse eines konkreten Anwendungsfalls erfordert, also unter Einbeziehung der relevanten technischen und nicht technischen Standards, Vorgaben usw. auf allen vier Interoperabilitätsebenen.

Ein solchermaßen komplexer Prozess erfordert effektive und umfassende Governance – denn überall dort, wo einzelne Aspekte oder gar ganze Ebenen des EIF-Modells unberücksichtigt bleiben, müssen die Marktteilnehmer:innen individuelle Vorkehrungen treffen, was in der Regel zu erheblich höheren Aufwänden, fragmentierten Lösungen und letztlich einer eingeschränkten Interoperabilität auf der Anwendungsschicht führt.

Anforderungen an Governance und Struktur von Interoperabilitätsstandards

Das EIF-Modell mit seinen vier einander verschränkten Interoperabilitätsebenen unterstreicht die Relevanz des zielorientierten Managements von Anwendungsfällen (Use Cases): Der Fokus auf konkrete, gut definierte Anwendungsfälle macht Interoperabilität im gesamten Standardisierungsprozess messbar und damit realisierbar.

Use Cases (Anwendungsfälle) ermöglichen Gap-Analysen, um bestehende Standards, Normen und rechtliche Grundlagen auf ihre Anwendbarkeit hin zu prüfen und entsprechend zu verwenden – ein kritischer Aspekt, um Aufwände zu reduzieren und Interoperabilität sicherzustellen.

Fehlen hingegen adäquate Standards oder müssen existierende Standards weiterentwickelt werden, unterstützt die Use-Case-Perspektive die anschließende Designphase – beispielsweise in Bezug auf den Geltungsbereich. Auch wenn der neu zu entwickelnde Standard nur Teilaspekte der vier Interoperabilitätsebenen abdeckt, muss der Designprozess die Anforderungen aller Ebenen berücksichtigen, da sie sich unmittelbar auf die Realisierbarkeit der Lösung auswirken.

Aus dem EIF-Modell lassen sich somit folgende Anforderungen an die Governance für Interoperabilitätsstandards ableiten:

1. Die Governance muss sicherstellen, dass bei der Standardentwicklung alle relevanten Dimensionen der Interoperabilität systematisch adressiert werden. Hierunter fällt auch die aktive Beteiligung der entsprechenden Stakeholder am Standardisierungsprozess.

2. Die angewendeten Standardisierungsprozesse müssen in der Lage sein, Use Cases (Anwendungsfälle) in Interoperabilitätsstandards zu überführen, die alle vier Ebenen (rechtlich, organisatorisch, semantisch, technisch) abdecken.

3. Die zur Erreichung von Interoperabilität herangezogenen Teil- bzw. Einzelstandards können nicht isoliert betrachtet werden, sondern müssen immer im Kontext konkreter Use Cases und über alle vier Interoperabilitätsebenen hinweg gedacht und integriert werden.

Doch was passiert, wenn unterschiedliche Sektoren oder Initiativen nicht mit einer vergleichbaren Methodik arbeiten, um Interoperabilität herzustellen? Wie lässt sich vermeiden, dass jede Community die Grundprinzipien der Interoperabilität neu erfinden muss?

Die Antwort auf diese Fragen entwickelt das folgende Kapitel mit dem Konzept einer vereinheitlichten Standardisierungsmethodik: ein „Standard of Standards“.

4 | Der „Standard of Standards“ als vereinheitlichte Methodik für die Entwicklung von Interoperabilität

In zahlreichen europäischen Initiativen, etwa bei der Einführung elektronischer Gesundheitsakten oder beim Aufbau sektoraler Smart-Grid-Infrastrukturen, hat sich gezeigt, dass Interoperabilität, die auf unterschiedlichen methodischen Grundlagen entwickelt wurde, nachträglich kaum zu harmonisieren ist. Technische Übersetzer oder Schnittstellen konnten zwar einzelne Datenflüsse verbinden, scheiterten jedoch an tiefgreifenden semantischen, organisatorischen und rechtlichen Inkompatibilitäten.[23] Die Folge waren hohe Integrationskosten, Funktionsverluste und ein Mangel an Vertrauen zwischen Akteuren und Systemen. Solche Implementierungen nennen wir die **erste Generation von Interoperabilität**.

Die Unterschiede sektoraler und nationaler Strukturen und damit die Verwendung unterschiedlicher Methodiken führt unweigerlich zu Inkompatibilitäten auf der Architektur- und Governance-Ebene. Unterschiedliche Ansätze zur Definition von Semantik, zur Steuerung von Prozessen oder zur Zertifizierung führen zu einem „Methodik-Lock-in“, der ähnlich wie ein Technologie-Lock-in die Skalierung und Nachhaltigkeit von Interoperabilität blockiert.

Für die Weiterentwicklung, also die **zweite Generation von Interoperabilität**, braucht es daher eine vereinheitlichte Methodik, die sektorale und nationale Unterschiede standardisiert handhabbar macht und von Beginn an eine sektorübergreifende und grenzüberschreitende Kooperation ermöglicht.

23 Ein beredtes Beispiel hierfür ist der grenzüberschreitende Austausch von Gesundheitsdaten innerhalb der EU, siehe EU Kommission 2022a.

Zu diesem Zweck schlagen wir eine gemeinsame Methodik vor: den „Standard of Standards“ für Interoperabilität.

Der „Standard of Standards“ als technologie- und sektorneutraler Rahmen

Als „Standard of Standards“ bezeichnen wir eine vereinheitlichte Methodik, die den gesamten Prozess der Entwicklung von Interoperabilitätsstandards systematisch beschreibt und steuert. Der „Standard of Standards“ definiert, wie Interoperabilität erreicht, getestet und weiterentwickelt werden kann. Er schafft einen übergreifenden Rahmen, der gewährleistet, dass unterschiedliche Akteure, Branchen und Governance-Strukturen nach denselben methodischen Prinzipien vorgehen – unabhängig von der jeweiligen rechtlichen, organisatorischen, semantischen und technischen Ausgangslage.

Wir definieren den „Standard of Standards“ als technologie- und sektorneutralen Rahmen, der die Interoperabilität auf allen vier Ebenen des European Interoperability Framework (EIF)[24] sicherstellt. Er ermöglicht die Entwicklung sektoraler und nationaler Standards entlang einer gemeinsamen Logik, sodass sie von Beginn an miteinander kompatibel bleiben. Ob öffentliche Verwaltung, Gesundheitswesen, Energiebranche oder Mobilitätssektor – jeder Use Case wird nach denselben methodischen Prinzipien modelliert, getestet und zertifiziert.

24 EU Kommission 2017a.

Der „Standard of Standards“ umfasst die Schnittstellen zwischen Governance, Methodik und Technologie und stellt sicher, dass Interoperabilität nicht als nachträgliche Integrationsaufgabe verstanden wird, sondern als inhärente Eigenschaft eines Systems. Das ist die zweite Generation der Interoperabilität – die Grundlage für ein offenes, erweiterbares und vertrauenswürdiges Ökosystem, in dem Innovation und Standardisierung nicht im Widerspruch stehen, sondern sich gegenseitig verstärken.

Auswahlkriterien für die Methodik des „Standard of Standards“

Die Auswahl einer geeigneten Methodik für den „Standard of Standards“ muss verschiedene Anforderungen erfüllen. Eine existierende Methodik muss insbesondere ihre technologische Agilität, organisatorische Tragfähigkeit, Governance-Robustheit und sektorübergreifende Anwendbarkeit nachweisen. Für den europäischen Rechtsraum schlagen wir vor, die Methodik anhand der folgenden fünf Kriterien zu bewerten und auszuwählen.

Globale, wenigstens aber europäische Community und robuste Governance

Die Methodik muss bereits von einer breiten und etablierten globalen, zumindest aber europäischen Community getragen werden. Die Methodik muss in der Lage sein, eine nicht korrumpierbare Governance zu gewährleisten. Deshalb sollte die Methodik durch Institutionen der EU und der Nationalstaaten aktiv unterstützt und geschützt werden.

Use-Case-Stabilität und Technologieunabhängigkeit

Grundlage der Methodik des „Standard of Standards“ ist ein gemeinsamer Use Case. Interoperabilitäts-Communities, die an der Standardisierung auf den vier EIF-Ebenen beteiligt sind, sollten eingeladen werden, um an der Definition des Use Case teilzunehmen.

Die Definition auf rechtlicher Ebene folgt primär den Vorgaben von Regierung, Aufsichtsbehörden und Standardisierungsorganisationen. Die erfolgreiche Umsetzung erfordert jedoch essenzielle Beiträge von IT-Architekten (z. B. Referenzarchitekturen) und Systemherstellern (z. B. technische Standards) für die technische und semantische Ebene sowie Beiträge von Daten- und Fachexpert:innen aus den jeweiligen Sektoren für die semantische und organisatorische Ebene. Nur durch diesen kollaborativen Dialog, der auch die Bedürfnisse der Endnutzer (z. B. mittelständischer Unternehmen) und der Zivilgesellschaft berücksichtigt, kann eine wirklich durchgängige (Ende-zu-Ende-)Interoperabilität in der Praxis sichergestellt werden.

Der Use Case ist die Grundlage für alle nachfolgenden Standardisierungsaktivitäten. Von der semantischen Modellierung bis zur Daten-Transportschicht: Alle auf den verschiedenen Ebenen notwendigen Standardisierungsaktivitäten müssen auf diesen gemeinsam definierten Use Case ausgerichtet werden. Dabei steuert die Definition eines Use Case auf (z. B. „Standardisierter, grenzüberschreitender Austausch von Gesundheitsdaten“) Methodikebene direkt die zu verwendenden Ontologien (Semantik), die verpflichtenden Workflows (Organisation) und die technischen Protokolle jeweils mit eigenen Standardisierungs-Communities in verschiedenen Standardisierungsorganisationen.

Die Festlegung der Use Cases ist die kritischste Entscheidung, da sie den Umfang und die Komplexität aller nachfolgenden Standards innerhalb der EIF-Interoperabilitätsebenen festlegt. Durch die Abdeckung aller vier Ebenen (rechtlich, organisatorisch, semantisch, technisch) in der Definitionsphase wird sichergestellt, dass die resultierenden Interoperabilitätsstandards nicht nur technisch machbar und semantisch konsistent, sondern auch von Beginn an rechtlich zulässig und organisatorisch implementierbar sind.

Weiterhin muss die Methodik strikt unabhängig von spezifischen zugrunde liegenden Technologien sein. Ähnlich einem Telefonanruf im Mobilfunk, der über technologische Entwicklungsstufen von 2G bis 5G hinweg konstant funktioniert, muss die Methodik

einen Use Case über viele technologische Generationen beibehalten können, auch wenn sich die darunterliegenden Technologien (z. B. technische Standards) stark verändern. Dies gewährleistet langfristige Nachhaltigkeit und Investitionssicherheit.

Sektorale Erprobung und globale Etablierung

Die Methodik muss ihre Praxistauglichkeit bereits unter Beweis gestellt haben. Dies bedeutet, sie muss erfolgreich in mindestens einem komplexen Sektor zur Etablierung von Interoperabilitätsstandards gemäß dem Vier-Ebenen-Modell des EIF geführt haben. Diese sektorale Erprobung und globale Etablierung dienen als notwendiger Nachweis für die Robustheit und die Fähigkeit der Methodik, auch anspruchsvolle Herausforderungen insbesondere in den Bereichen Identitätsmanagement, Datenschutz und Sicherheit zu meistern.

Sektorneutrale Anwendbarkeit

Aufbauend auf der Erprobung in einem komplexen Sektor muss die Methodik zusätzlich ihre sektorneutrale Anwendbarkeit nachweisen. Es muss sichergestellt sein, dass die Methodik erfolgreich und effizient in andere Sektoren übertragbar ist. Diese Validierung ist entscheidend, um den „Methodik-Lock-in“ zu verhindern und die cross-sektorale Zusammenarbeit zu ermöglichen. Unabhängig davon, ob der Use Case das Gesundheitswesen, die öffentliche Verwaltung oder die Energiebranche betrifft, muss die Methodik eine gemeinsame Basis für die Entwicklung von Interoperabilitätsstandards bereitstellen, sodass sektorübergreifende Interoperabilität von Beginn an sichergestellt ist.

Obligatorisches Testen

Obligatorische, automatisierte Konformitätstests sind eine notwendige Maßnahme zur Qualitätssicherung auf dem Weg zur Interoperabilität. Sie sind das Fundament, aus dem Compliance, Vertrauen und woperative Zuverlässigkeit erwachsen.

Daher muss die Methodik des „Standard of Stanwdards“ eine Pflicht zur Definition rigider Testprotokolle festschreiben. Nur so lässt sich gewährleisten, dass die gemeinsam definierten Use Cases und die resultierenden Interoperabilitätsstandards in der Praxis korrekt und reproduzierbar umgesetzt werden.

Ebenso unerlässlich ist die Transparenz bezüglich der durchgeführten Konformitätstests, die die Korrektheit und Interoperabilität der Software in Bezug auf den definierten Use Case bestätigen. Nur Transparenz schafft Vertrauen – und das brauchen zum einen die Anwender:innen, die eine solche auf Konformität geprüfte Software nutzen. Zum anderen benötigen auch die Hersteller, die neue Produkte oder Dienstleistungen anbieten, die Gewissheit, dass alle anderen Akteure nachweislich die gleichen Interoperabilitätsstandards einhalten. Dieses übergreifende Vertrauen ist die zwingende Voraussetzung für einen lebendigen, wettbewerbsfähigen Markt.

Die Einhaltung dieser Kriterien stellt sicher, dass die gewählte Methodik die notwendige Robustheit besitzt, um als Fundament des „Standard of Standards“ zu dienen und somit die Ende-zu-Ende-Interoperabilität erfolgreich umzusetzen.

Der ordoliberale Rahmen: Wettbewerbsgarantie und Marktstruktur

Selbst die technisch perfekteste Methodik zur Interoperabilität birgt das Risiko, dass sich aus deren Beherrschung oder etwaigen Zugangsbeschränkungen zur Methodik eine marktbeherrschende Stellung eines einzelnen Akteurs entwickelt. Um dies zu verhindern, muss der „Standard of Standards“ in einen ordoliberalen Rahmen eingebettet werden.

Zuvorderst muss der „Standard of Standards“ selbst als offener Standard realisiert werden, der herstellerunabhängig, allgemein, gebührenfrei nutzbar und zu nicht diskriminierenden und fairen[25] Bedingungen verfügbar ist.

25 FRAND – fair, reasonable, and non-discriminatory.

Zweitens ist die Governance der Konformitätsprüfung von zentraler Bedeutung. Darunter fallen das Vorhandensein, die Fortentwicklung und der Zugang zu Konformitätstests sowie der unterstützenden Infrastruktur. Zugriff und Nutzung der Tests und Infrastruktur müssen klar definiert sein. Dabei darf die Konformitätsprüfung insgesamt keine Markteintrittsbarrieren konstituieren. Optimalerweise sind die Tests und die Infrastruktur als Digital Public Goods[26] verfügbar.

Drittens ist die Governance maßgeblich, die die Erstellung und Kontrolle von Use-Case-Definitionen organisiert. Sie regelt sowohl die Teilnahmeberechtigung als auch die Verfahren der Konsensbildung. Diese könnten sich beispielsweise an der Governance von Standardisierungsorganisationen orientieren.

In diesen Bereich fällt auch die Frage nach der Auswahl der Use Cases („Agenda-Setting“). In verschiedenen Standardisierungs-Communities[27] haben sich arbeitsteilige Prozesse bewährt, in denen Domänenexpert:innen, insbesondere nicht technische, eine besondere Rolle in der Auswahl von Use Cases spielen.

Die sektorübergreifende Natur des „Standard of Standards“ muss sich grundsätzlich in dessen ordoliberalem Rahmen und in der Standardisierungs-Governance widerspiegeln. Besonderes Augenmerk muss auf die Zugänglichkeit für bisher wenig oder nicht an technischer Standardisierung beteiligte Stakeholder-Gruppen gelegt werden, wozu insbesondere klein- und mittelständische Unternehmen sowie zivilgesellschaftliche Akteure zählen.

Zusammenfassung

Der „Standard of Standards“ definiert eine Methodik für digitale Interoperabilität. Seine Besonderheit ist die Sektor- und Technologieneutralität als notwendige Grundlage für das Gelingen von Interoperabilität. Der „Standard of Standards“ definiert die Prozesse, die in eine ordoliberale Governance eingebettet sein sollten.

Kern des „Standard of Standards“ sind fokussierte Use Cases, die alle vier Ebenen (rechtlich, organisatorisch, semantisch, technisch) des European Interoperability Framework (EIF) umfassen. Das obligatorische automatisierte Testen schafft eine technische Vertrauensbasis, die für den reibungslosen Einsatz der getesteten Software unerlässlich ist.

Die Einigung auf eine gemeinsame Methodik der Standardisierung ermöglicht prinzipiell auch rechtliche Interoperabilität über unterschiedliche Jurisdiktionen hinweg.

26 Zur Definition siehe DPGA 2025.

27 Z. B. IHE International (2025a); WBCSD (2025); iLEAP (2025).

5 | Kurzanalyse von zwei erfolgreichen Interoperabilitäts-Communities

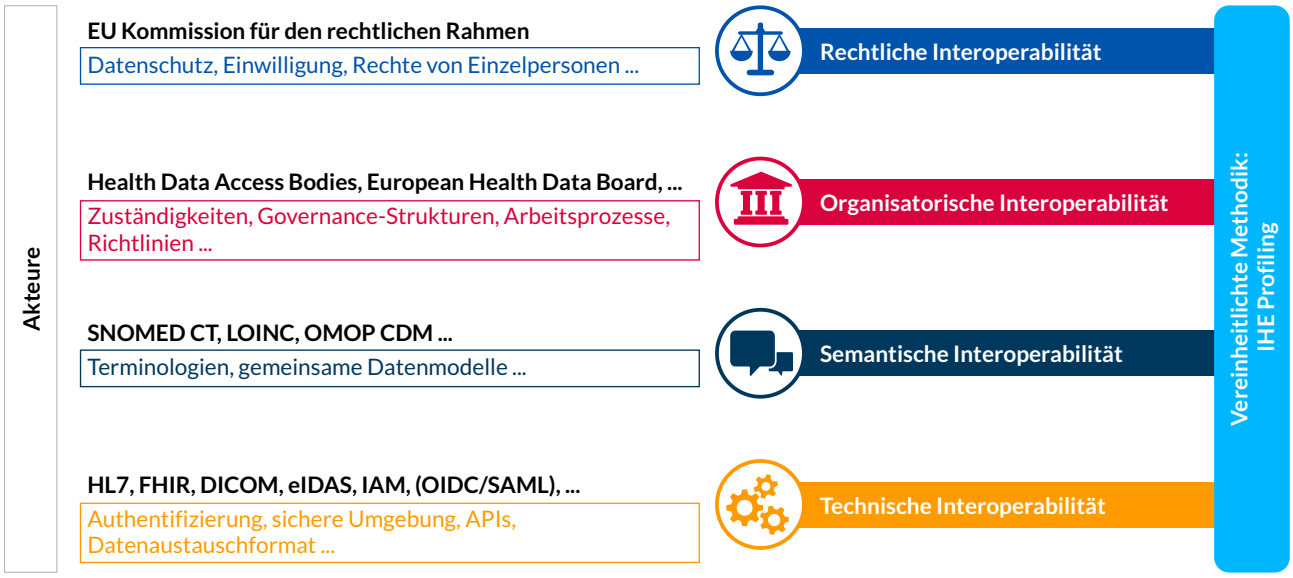
Im Anschluss an das vorgestellte Konzept eines „Standard of Standards“ werden zwei europäische Communities vorgestellt, die erfolgreiche und nachhaltige Interoperabilität über die vier Ebenen des EIF aufgebaut haben. Das Hauptinteresse dabei liegt auf den Methodiken dieser Communities – natürlich im Hinblick auf die in Kapitel 4 definierten Auswahlkriterien. Tatsächlich findet sich in beiden Fällen bereits eine Fokussierung auf gemeinsame Use Cases, obligatorisches Testen und robuste Governance. Abschließend werden erste Ansätze definiert, um die verwendete Methodik einer Community cross-sektoral anzuwenden.

EHDS: European Health Data Space

Beschreibung

Mit der EHDS-Verordnung soll ein gemeinsamer Rahmen für die Nutzung und den Austausch elektronischer Gesundheitsdaten in der gesamten EU geschaffen werden. Ziel ist es, den Zugang und die Kontrolle von Einzelpersonen zu ihren persönlichen elektronischen Gesundheitsdaten zu verbessern und zugleich die Wiederverwendung bestimmter Daten zu Zwecken des öffentlichen Interesses, der politischen Unterstützung und der wissenschaftlichen Forschung zu

Abbildung 2 | **Die vier Ebenen des EIF anhand des European Health Data Space (EHDS)**



Quelle: EU Kommission

BertelsmannStiftung

	Community	Use-Case-Orientierung	Sektorale Erprobung	Sektorneutrale Anwendbarkeit	Obligatorisches Testen
EHDS/IHE	+++	+++	+++	++	+++

ermöglichen. Darüber hinaus schafft die Verordnung einen harmonisierten rechtlichen und technischen Rahmen für Systeme der elektronischen Gesundheitsakte (Electronic Health Records, EHR), der die Interoperabilität, die Innovation und das reibungslose Funktionieren des Binnenmarkts fördert.[28]

EHDS im Kontext des European Interoperability Framework (EIF)

Mit Blick auf die in Kapitel 4 definierten Auswahlkriterien sind folgende Punkte hervorzuheben:

Globale, wenigstens aber europäische Community und robuste Governance: Die übergeordnete Steuerung des EHDS liegt bei der Europäischen Kommission (insbesondere DG SANTE und DG CONNECT). Die semantischen und technischen Grundlagen des EHDS stützen sich auf die Arbeiten führender globaler Communities und Standards wie HL7 (Health Level 7)[29], FHIR (Fast Health Interoperability Resources)[30], SNOMED CT (Systematisierte Nomenklatur)[31] und IHE (Integrating the Healthcare Enterprise)[32].

Use-Case-Stabilität und Technologieunabhängigkeit: Die Interoperabilität basiert auf dem Use-Case-basierten IHE Profiling[33], welches kompatibel mit dem EIF ist, über eine umfassende Dokumentation verfügt und eine ISO-Standardisierung anstrebt. Die Methodik ist technologieunabhängig.

Sektorale Erprobung und globale Etablierung: Die Reichweite des EHDS als EU-Verordnung ist primär europäisch ausgerichtet, ermöglicht jedoch eine Erweiterung über die EU hinaus, sofern die jeweiligen Länder oder Akteure eine entsprechende EHDS-Zertifizierung erlangen.

Sektorneutrale Anwendbarkeit: Die Übertragbarkeit der im EHDS verwendeten IHE-Methodik in andere Sektoren wurde für die Sektoren Energie[34] und Mobilität[35] nachgewiesen.

Fokus auf obligatorisches Testen: Die Testmethoden der IHE-Community, insbesondere Connectathon und Projectathon, werden durch eine Open-Source-Plattform unterstützt und gewährleisten durch eine robuste Governance ein neutrales Monitoring der Testergebnisse.[36]

Zusammenfassung EHDS

Technisch basiert die Interoperabilität des EHDS auf dem Use-Case-basierten IHE-Profiling und dessen Integration globaler Standards von technischen und semantischen Communities wie HL7, FHIR und SNOMED CT, wobei die Methodik mit dem EIF kompatibel ist.

Die vier Ebenen des EIF werden beispielsweise durch die EHDS-Verordnung (rechtlich), den Prozess des Datenabrufs über IHE-Profile (organisatorisch), die gemeinsame medizinische Nomenklatur SNOMED CT (semantisch) und technische Datenformate mit sicheren Protokollen HL7/FHIR (technisch) abgebildet.

28 EU Kommission 2025a.
29 https://www.hl7.org/.
30 https://www.fhir.org/.
31 https://www.snomed.org/.
32 https://www.ihe.net/.
33 https://www.ihe.net/resources/profiles/.
34 https://www.smartgrids.at/interoperabilitaet/ies-initiative/.
35 https://www.bahnindustrie.at/download/303/Whitepaper_Interoperability_V1.0.pdf.
36 https://www.ihe-europe.net/testing-IHE/connectathon.

Wesentliche Prinzipien sind Transparenz und Offenheit: Die Interoperabilitätsstandards dürfen keinem proprietären oder exklusiven Eigentum unterliegen, was den Wettbewerb und die breite Akzeptanz fördert. Automatisierte Testwerkzeuge der IHE-Community sichern dabei die zuverlässige Implementierung der Standards. Die Methode des EHDS zeigt sich über Pilotprojekte als potenzielles Blaupausen-Modell für Cross-Sektor-Interoperabilität in der gesamten EU.

GSM: Global System for Mobile Communications

Beschreibung

GSM wurde in den 1980er Jahren als europaweiter offener Mobilfunk-Standard von der Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications (CEPT) initiiert und bildete die Grundlage, die später von ETSI (European Telecommunications Standards Institute)[37] und 3GPP (3rd Generation Partnership Project)[38] weitergeführt und zu 3G/4G/5G evolviert wurde.

Das GSM-Ökosystem war von Beginn an mehr als nur Funkschnittstellen: Es brauchte Regeln für die Frequenznutzung, Roaming-Vereinbarungen und Abrechnungen, Protokolle für die Kopplung der Netze sowie Betriebs- und Geschäftsprozesse – auch für Anbieter ohne eigenes Netz (MVNO). Die interoperable Vernetzung der Akteure der GSM-Community deckt alle EIF-Ebenen ab.[39]

GSM im Kontext des European Interoperability Framework (EIF)

Mit Blick auf die in Kapitel 4 definierten Auswahlkriterien sind folgende Punkte hervorzuheben:

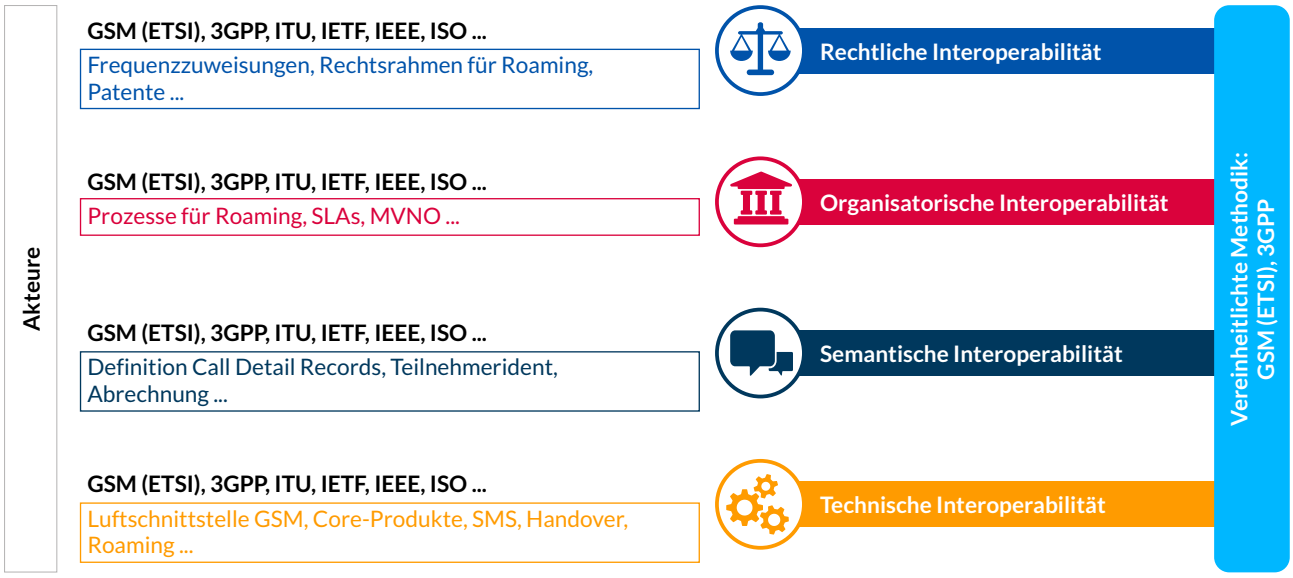
Globale, wenigstens aber europäische Community und robuste Governance: Die Steuerung von GSM oblag der Conférence Européenne des Administra-

37 https://www.etsi.org/.

38 https://www.3gpp.org/.

39 https://www.gsma.com/about-us/who-we-are/our-history/.

Abbildung 3 | **Die vier Ebenen des EIF anhand des Global System for Mobile Communications (GSM)**



Quelle: EU Kommission

BertelsmannStiftung

	Community	Use Case Orientierung	Sektorale Erprobung	Internationale Anwendbarkeit	Obligatorisches Testen
GSM/3GPP	+++	+++	+++	+++	+++

tions des Postes et des Télécommunications (CEPT), später ETSI/3GPP. Die anfängliche Community entstand in Europa und weitete sich später weltweit aus.

Use-Case-Stabilität und Technologieunabhängigkeit: Die FRAND-Lizenzierungsverpflichtung (fair, angemessen und nicht diskriminierend) gewährleistet, dass alle Marktteilnehmer:innen zu fairen Bedingungen Zugang zur standardisierten Technologie erhalten, und verhindert „Technologie-Lock-in". Der GSM-Standard führte eine umfassende und formal dokumentierte Methodik für die Entwicklung und Spezifikation von Standards ein.

Sektorale Erprobung und globale Etablierung: Die Standardisierung von GSM wurde und wird durch eine weltweite Gemeinschaft (später formalisiert als 3GPP) getragen, die die kontinuierliche Weiterentwicklung und Interoperabilität sicherstellt.

Sektorneutrale- bzw. internationale Anwendbarkeit: Durch die Festlegung technischer und organisatorischer Roaming-Protokolle war die Cross-Country-Fähigkeit zwischen verschiedenen nationalen und kommerziellen Mobilfunknetzen Kernbestandteil von GSM.

Fokus auf obligatorisches Testen: Im GSM-Ökosystem wurden spezifizierte Konformitätstests eingeführt, die es ermöglichten, die Einhaltung der Standards durch Geräte und Netze systematisch und automatisiert zu überprüfen und dadurch Dritten den Zugang zum GSM-Ökosystem zu ermöglichen.

Zusammenfassung GSM

Der GSM-Standard (Global System for Mobile Communications) gilt als das erste großflächig erfolgreiche Modell für mehrschichtige Interoperabilität mit Ursprung in Europa und weltweiter Verbreitung.

Sein Erfolg beruhte auf weit mehr als nur technischen Spezifikationen. Vielmehr etablierte GSM ein kohärentes Ökosystem, das alle vier Ebenen des European Interoperability Framework (EIF) antizipierte und integrierte:

- rechtliche Interoperabilität mit einheitlichen Lizenzen und Frequenzzuteilungen in den Mitgliedsstaaten,
- organisatorische Interoperabilität mit klaren Roaming-Vereinbarungen zwischen Netzbetreibern,
- semantische Interoperabilität mit standardisierten Nachrichten- und Datenstrukturen (z. B. SMS, Teilnehmerdaten),
- technische Interoperabilität mit den eigentlichen Funkschnittstellen- und Übertragungsprotokollen.

Diese ganzheitliche Struktur wurde vom 3GPP-Standardisierungsmodell (3rd Generation Partnership Project) übernommen und kontinuierlich bis zu den aktuellen Generationen (5G und dem zukünftigen 6G) beibehalten, was die Nachhaltigkeit dieses Interoperabilitätsansatzes unterstreicht.

Blaupausen für den ordoliberalen digitalen Raum

Die Analyse von erfolgreichen Infrastrukturmodellen wie GSM und zukunftsweisenden EU-Verordnungen wie dem European Health Data Space (EHDS) belegt, dass die Etablierung funktionierender digitaler Räume in Europa möglich ist.

Beide Fallstudien bieten Beispiele für offene, ordoliberal geschützte Kommunikationsinfrastrukturen, deren Erfolg nicht nur auf technischen Spezifikationen, sondern auf einer ganzheitlichen Methodik beruht, die alle vier EIF-Interoperabilitätsebenen (rechtlich, organisatorisch, semantisch, technisch) integriert. In beiden Fällen hat Europa durch eine kluge Governance (ETSI/3GPP bzw. EHDS/IHE) anfänglich den Schutz und die Skalierung dieser Ökosysteme gewährleistet, bis eine globale Community die kontinuierliche Weiterentwicklung und Einhaltung der Standards übernommen hat bzw. übernehmen kann.

Damit Ende-zu-Ende-Interoperabilität über Sektorgrenzen hinweg gelingt und kein fragmentierender „Methodik-Lock-in“ entsteht, muss eine wirksame Herangehensweise konsequent angewendet werden. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit eines sektorneutralen „Standard of Standards“, der eine bewährte, umfassende Methodik als verbindliche Blaupause für alle Sektoren vorgibt. Nur so lässt sich eine Fragmentierung der digitalen Räume verhindern und durch obligatorisches, automatisiertes Testen eine verlässliche technische Grundlage schaffen.

6 | Handlungsempfehlungen

Die Analyse von GSM und EHDS belegt somit, dass Ende-zu-Ende-Interoperabilität nicht nur technisch machbar, sondern durch eine ganzheitliche Methodik erfolgreich skalierbar ist. Die größte verbleibende Herausforderung liegt in der Etablierung dieses „Standard of Standards“ als verbindlichen, sektorneutralen Rahmen. Hierzu geben wir zunächst zwei strategische Empfehlungen zur Struktur (Empfehlungen 1 und 2) und den Werten (Empfehlung 2) einer möglichen Verfassung[40] für den digitalen Raum.

Empfehlung 1: Festlegung eines „Standard of Standards“ als Methodik für die Entwicklung von Interoperabilitätsstandards auf nationaler, europäischer und globaler Ebene

Empfehlung: Alle relevanten Akteure, einschließlich der Nationalstaaten, der EU sowie maßgebliche Verbände und Organisationen, sollten sich auf einen gemeinsamen „Standard of Standards“ als Methodik für die Entwicklung und Implementierung von Interoperabilität einigen. Dieser Standard sollte als Rahmen dienen und sicherstellen, dass Interoperabilität innerhalb eines Sektors, zwischen Sektoren sowie länderübergreifend über alle vier Ebenen des European Interoperability Framework (rechtlich, organisatorisch, semantisch, technisch) sichergestellt wird.

Begründung: Das Fehlen einer gemeinsamen Methodik oder der Einsatz inkompatibler Ansätze mündet in „Methodik-Lock-ins“, welche die Interoperabilität erschweren oder verhindern. Um sektorenübergreifende und grenzüberschreitende Interoperabilität zu ermöglichen, ist daher eine einheitliche Herangehensweise zwingend notwendig.

Empfehlung 2: Einrichtung eines Governance-Forums für den „Standard of Standards“ und für dessen technische Weiterentwicklung

Empfehlung: Die methodische Einheitlichkeit erfordert eine Community, ein Forum als Ort der Governance. Dieses Forum ist die zentrale Instanz für die Entwicklung, Umsetzung und Überwachung der Methodik für die Entwicklung von Interoperabilitätsstandards. Es überwacht die Governance und die Anwendung des „Standard of Standards“ über alle Sektoren und Interoperabilitätsinitiativen hinweg.

Weiterhin ist das Forum verantwortlich für die technische Weiterentwicklung der eingesetzten Werkzeuge, etwa zur Testautomatisierung, und für die übergeordnete Weiterentwicklung des „Standard of Standards“ zu einem Interoperability-by-Design-Netzwerk. Alle relevanten Akteure, insbesondere die Anwender:innen, sollten durch die Governance des Forums vertreten sein.

40 Lessig 1999: 5 ff.

Begründung: Um Interoperabilität nachhaltig und effektiv zu gestalten, ist es entscheidend, dass eine zentrale Governance existiert, die nicht nur den „Standard of Standards“ definiert, sondern auch dessen kontinuierliche Weiterentwicklung verantwortet. Ein solches Forum wird die Governance über alle relevanten Initiativen hinweg steuern und sicherstellen, dass die entwickelten Standards konsistent und kompatibel sind, unabhängig von Sektor oder Region. Darüber hinaus muss das Forum die technische Infrastruktur zur Implementierung der Standards, einschließlich Testmethoden und -tools, auswählen und weiterentwickeln, um eine stabile, langfristige Interoperabilität zu gewährleisten. Besonders wichtig ist es, auch kleineren Unternehmen den Zugang zum Standardisierungsprozess zu ermöglichen. Das Forum sollte deshalb sicherstellen, dass der Standardisierungsprozess inklusiv ist und allen Akteuren die Möglichkeit gibt, an der Entwicklung und Anpassung von Interoperabilitätsstandards aktiv teilzunehmen.

Mittelfristig würde ein solcher Ansatz die Governance, das Ökosystem und die technischen Grundlagen für ein **Interoperability-by-Design-Netzwerk** schaffen.

Empfehlungen für eine schrittweise Implementierung

Als erster konkreter Schritt sollte ein koordinierter Such- und Analyseprozess auf europäischer und globaler Ebene initiiert werden, um bestehende Interoperabilitäts-Communities systematisch anhand der im Rahmen des „Standard of Standards“ definierten Auswahlkriterien zu bewerten. Ziel dieses Prozesses ist es, zunächst zu identifizieren, welche Communities sich aufgrund ihrer Governance-Strukturen, Methodik und sektorübergreifenden Anschlussfähigkeit als Träger oder Kern eines möglichen Governance-Forums eignen. Parallel dazu sollte untersucht werden, welche sektoralen Communities bereits über erprobte Interoperabilitätsmechanismen verfügen, die sich zu cross-sektoralen Foren weiterentwickeln lassen. Diese Kartierung existierender Governance- und Standardisierungslandschaften bildet die Grundlage, um Synergien zu erkennen, Doppelstrukturen zu vermeiden und gezielt jene Akteure einzubinden, die den Übergang zu einer europäischen und globalen Ende-zu-Ende-Interoperabilität aktiv gestalten können.

7 | Ausblick

Von der vereinheitlichten Methodik zum Interoperability-by-Design-Netzwerk

Interoperabilität hat sich in den vergangenen Jahrzehnten über mehrere Entwicklungsstufen herausgebildet. In der ersten Generation, der Ad-hoc-Interoperabilität, wurden Systeme meist reaktiv miteinander verbunden, was zu einer Vielzahl proprietärer Lösungen mit hohen Wartungsaufwänden führte.

Die zweite Generation, die Phase der sektorneutralen und strukturierten Interoperabilität, markiert einen grundlegenden Fortschritt: Interoperabilität wird als strategisches Systemziel begriffen, dennoch bleibt der Prozess der Entwicklung von Interoperabilitätsstandards weitgehend manuell, komplex und ressourcenintensiv.

Dritte Generation der Interoperabilität: Interoperability-by-Design

Vor diesem Hintergrund gewinnt der folgende Ausblick an Bedeutung. Er zeigt, weshalb erst die Weiterentwicklung des „Standard of Standards“ zu einem Interoperability-by-Design-Netzwerk (IbD-Netzwerk) die volle Wirkkraft interoperabler digitaler Ökosysteme entfaltet.

Der „Standard of Standards“ stellt mit seiner vereinheitlichten Methodik, die auf dem EIF-Modell und einem zu standardisierenden Use Case fußt, das erforderliche Fundament zur Verfügung. Dieses Fundament dient dazu, die sektorale Fragmentierung zu überwinden und gleichzeitig die Koordination zwischen den verschiedenen Interoperabilitäts-Communities zu ermöglichen. Allerdings fehlt dem „Standard of Standards“ für seine vollständige Entfaltung die Transformation des aktuell noch manuellen und res-

Infobox 2 | **Drei Generationen von Interoperabilität**

1. Generation Ad-hoc-Interoperabilität	Interoperabilität wird reaktiv zur Verbindung von spezifischen IT-Systemen betrachtet. Gekennzeichnet durch fehlende Governance, eine Vielzahl proprietärer Lösungen mit individuellen Schnittstellenvereinbarungen und hohen Wartungskosten.
2. Generation Strukturierte Interoperabilität	Interoperabilität wird strategisch als gestaltbares Systemziel für Ende-zu-Ende-Interoperabilität über alle Ebenen (rechtlich, organisatorisch, semantisch, technisch) verstanden. Gekennzeichnet durch die Etablierung formaler Prozesse, gemeinsamer Standards, systematischer Dokumentation von Use Cases, Konformitätstests und Wiederverwendbarkeit.
3. Generation Interoperability-by-Design (IbD)	Interoperabilität wird systematisch und automatisiert in die Konzeption, Architektur und Governance integriert. Ziel ist die Ende-zu-Ende-Interoperabilität über alle Ebenen (technisch, semantisch, organisatorisch, rechtlich) durch modellgetriebene Spezifikation und Echtzeit-Verifizierung.

sourcenintensiven Prozesses zur Entwicklung interoperabler Lösungen in eine automatisierte Interoperabilitätsinfrastruktur.

Aus diesem Grund sollte ein IbD-Netzwerk als die dritte Generation der Interoperabilität in Betracht gezogen werden. Während der „Standard of Standards“ eine Methodik definiert, hätte ein IbD-Netzwerk die Aufgabe einer technologischen und organisatorischen Weiterentwicklung, indem es die Anwendung einer Methodik systematisiert und automatisiert. Anstatt sich auf nachgelagerte Konformitätsprüfungen zu verlassen (zweite Generation), könnte ein solches IbD-Netzwerk die modellgetriebene Spezifikation von Use Cases, deren Echtzeit-Verifizierung und einen sofortigen Integrationstest automatisiert durchführen. Alle Nutzer:innen sollen die Möglichkeit erhalten, Use Cases ohne Programmierkenntnisse in ihre lokalen Systeme zu integrieren. Auf diese Weise würden Entwicklungskosten reduziert und die Interoperabilität auf sämtlichen Ebenen von Anfang an gewährleistet.

Die für den „Standard of Standards“ zu etablierende Governance-Struktur sollte von Beginn an die Weiterentwicklung zur dritten Generation der Interoperabilität mitdenken, um letztlich Bürger:innen und – insbesondere auch kleinen und mittelständischen – Unternehmen die nahtlose, rechtssichere und souveräne Nutzung digitaler Dienste über sämtliche sektoralen und nationalen Grenzen hinweg zu sichern und damit die digitale Souveränität zu gewährleisten.

Mit KI Standardisierungsprozesse demokratischer gestalten

Künstliche Intelligenz (KI) eröffnet auch für die Entwicklung von Interoperabilitätsstandards neue Möglichkeiten. Dabei geht es nicht darum, Standardsetzung vollständig zu automatisieren, sondern sie effizienter, transparenter und inklusiver zu gestalten. Historisch sind die Orte, an denen Standards gesetzt werden, durch Eintrittshürden, Spezialwissen, Ressourcenbarrieren und exklusive Formate geprägt. Das begünstigt die strukturelle Dominanz weniger Akteure und führt zur Unterrepräsentation verschiedener Gruppen – etwa kleinen und mittleren Unternehmen oder der Zivilgesellschaft. Viele Stakeholder bleiben so von der Mitgestaltung jener Standards ausgeschlossen, die sie normativ und praktisch unmittelbar betreffen.[41]

KI kann dazu beitragen, Standardisierungsprozesse insgesamt zu demokratisieren, indem sie deliberative Verfahren in Breite wie in Tiefe skalierbar macht: (1) in der Breite, weil mehr und vielfältigere Akteure teilnehmen können, indem Zugangshürden z. B. durch automatische Zusammenfassungen, Übersetzungen oder Terminologieerklärungen gesenkt werden. Zugleich ermöglicht KI effektive und effiziente Deliberationsprozesse mit großen Gruppen. So deuten erste Studien darauf hin, dass Sprachmodelle dabei helfen können, strittige Themen effektiver zu moderieren, und Gruppen dabei helfen, gemeinsame Positionen zu formulieren.[42] Dadurch können Deliberationsprozesse deutlich skaliert werden. (2) KI-gestützte Werkzeuge können Standardisierungsprozesse auch in der Tiefe verbessern. So können Sprachmodelle Diskussionen strukturieren, Argumente und Evidenzen ordnen, Beiträge clustern und Dissenslinien markieren.[43]

Nichstdestoweniger bleibt Standardsetzung ein politischer Aushandlungsprozess; KI ersetzt ihn nicht. Sie eröffnet jedoch die Möglichkeit, ihn von technischer Seite inklusiver zu gestalten.

41 Baron et al. 2019.
42 Tessler et al. 2024
43 Small et al. 2023.

Danksagung

Wir danken Aurel Stenzel, Matthias Niebuhr, Julia Schöpp, Tobias Bacherle, Steve Capell, Florin Hasler, Christian Hudson, Angela Berger, Michael Hack und Alexander Markowetz für ihr konstruktives Feedback und ihre wertvolle Unterstützung während des Analyse- und Schreibprozesses. Unser Dank gilt außerdem Iris Engemann und Rudolf Jan Gajdacz für ihr vorzügliches Lektorat sowie Nicole Meyerholz für die Gestaltung der Grafiken und des Layouts. Darüber hinaus danken wir Hendrik Baumann, Franziska Damerow und Carina Wegener für ihre Unterstützung bei der Verbreitung dieser Publikation.

Quellen

About 3GPP (2024). „3rd Generation Partnership Project“. Startseite. https://www.3gpp.org/ (Download 28.11.2025).

Back End News (2024). „IDC: Public cloud services market grows to $669.2 billion in 2023“. 17.6.2024. https://backendnews.net/idc-public-cloud-services-market-grows-to-669-2-billion-in-2023/ (Download 6.11.2025).

Baron, Justus, Jorge L. Contreras, Martin Husovec und Pierre Larouche (2019). Making the rules: The governance of standard development organizations and their policies on intellectual property rights. Luxembourg: Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/48536 (Download 28.11.2025).

Baron, Lawrence (1999). Code. Version 2.0. New York NY: Basic Books. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fd/Code_v2.pdf (Download 28.11.2025).

Bolt Beranek, und Newman Inc. (1981). A History of the ARPANET: The First Decade. Arlington VA. https://apps.dtic.mil/sti/html/tr/ADA115440/index.html (Download 28.11.2025).

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2024). Jahresbericht Telekommunikation 2024. Bonn. https://data.bundesnetzagentur.de/Bundesnetzagentur/SharedDocs/Mediathek/Jahresberichte/JB2024TK.pdf (Download 5.11.2025).

CIO Bund (2020). „Stärkung der Digitalen Souveränität der Öffentlichen Verwaltung. Eckpunkte – Ziel- und Handlungsfelder“. https://www.cio.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/CIO/DE/digitale-loesungen/eckpunktpapier-digitale-souveraenitaet.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Download 25.10.2025).

Digital Public Goods Alliance (DPGA) (2025). „Digital Public Goods Standard“. The American economic Review (75) 3. 424–440. https://www.digitalpublicgoods.net/standard (Download 28.11.2025).

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) (2025). Startseite. https://www.3gpp.org/about-us https://www.etsi.org/ (Download 28.11.2025).

EU Kommission (2025a). „European Health Data Space Regulation (EHDS)“. https://health.ec.europa.eu/ehealth-digital-health-and-care/european-health-data-space-regulation-ehds_en (Download 28.11.2025).

EU Kommission (2025b). „European Interoperability Framework (EIF) Toolbox, Levels of interoperability“. https://interoperable-europe.ec.europa.eu/collection/iopeu-monitoring/solution/european-interoperability-framework-eif-toolbox/levels-interoperability (Download 22.10.2025).

EU Kommission (2023a). „Verordnung (EU) 2023/1542 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Juli 2023“. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj?locale=de (Download 28.11.2025)

EU Kommission (2023b). „Regulation (EU) 2023/2854 of the European Parliament and olf the Council of 13 December 2023“. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302854 (Download 28.11.2025).

EU Kommission (2022a). Impact Assessment Report. Strasbourg. https://health.ec.europa.eu/system/files/2022-05/ehealth_ehds_2022ia_4_en.pdf (Download 20.10.2025).

EU Kommission (2022b). „Verordnung (EU) 2022/1925 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. September 2022“. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32022R1925 (Download 28.11.2025).

EU Kommission (2017a). New European Interoperability Framework. Luxembourg: Publications Office of the European Union. https://ec.europa.eu/isa2/sites/default/files/eif_brochure_final.pdf (Download 10.10.2025).

EU Kommission (2017b). „COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS European Interoperability Framework – Implementation Strategy“. Document 52017DC0134. 23.3. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2017:134:FIN (Download 28.11.2025).

Fast Health Interoperability Resources (FHIR) (2025). Startseite. https://www.fhir.org/ (Download 28.11.2025).

Gaia-X Hub Germany (2024). „Entwicklung der Gaia-X-Förderprojekte. Aktivitäten und Meilensteine des Jahres 2023“. München. https://gaia-x-hub.de/wp-content/uploads/2024/07/Zwischenbericht-Stand-Gaia-X-Foerderprojekte.pdf (Download 30.10.2025).

Global System for Mobile Communications Association (GSMA). (2025) „Our history”. https://www.gsma.com (Download 28.11.2025).

Grand View Research (2024a). „E-commerce Market (2024–2030)“. https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/e-commerce-market (Download 6.11.2025).

Grand View Research (2024b). „Global Network Equipment Market Size & Outlook, 2023–2030“. https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/network-equipment-market-size/global (Download 6.11.2025).

HL7 International (2025). Startseite. https://www.hl7.org/ (Download 28.11.2025).

Information Sciences Institute (ISI), University of Southern California (USC) und Jon Postel (1981). „Darpa Internet Program. Protocl Specification“. Internet Protocol, RFC 791. https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc791 (Download 28.11.2025).

integrating Logistics Emissions and PCFs (iLEAP) (2025). „Leveraging Digitalization to Decarbonize Logistics at Scale“. https://ileap.global/ (Download 31.10.2025).

Integrating the Healthcare Enterprise (IHE) International (2025a). „About IHE“. https://www.ihe.net/about_ihe/ (Download 31.10.2025).

Integrating the Healthcare Enterprise (IHE) International (2025b). „Making Heralthcare interoperable“. https://www.ihe.net/ (Download 28.11.2025).

Integrating the Healthcare Enterprise (IHE) International (2025c). Startseite. https://www.ihe.net/resources/profiles/ (Download 31.10.2025).

Integrating the Healthcare Enterprise (IHE) International (2023). „Connectathon”. https://www.ihe-europe.net/testing-IHE/connectathon (Download 31.10.2025).

International Organization for Standardization (ISO) (2010). „ISO/IEC/IEEE 24765 (2010). Systems and software engineering — Vocabulary“. https://www.iso.org/standard/50518.html (Download 26.11.2025).

Katz, Michael L., und Carl Shapiro (1985). „Network externalities, competition, and compatibility“. https://www.econbiz.de/Record/-/10002194316 (Download 26.11.2025).

Lessig, Lawrence (1999). Code and other laws of cyberspace. New York. Basic Books.

Living Internet (1981). „ARPANET – The First Internet. Living Internet“. https://www.livinginternet.com/i/ii_arpanet.htm (Download 22.10.2025).

Maciel, Rita S. P., Pedro H. Valle, Kecia S. Santos und Elisa Y. Nakagawa (o. J.). „Systems Interoperability Types: A Tertiary Study“. https://arxiv.org/pdf/2310.19999 (Download 29.10.2025).

OECD (Hrsg.) (2022). The evolving concept of market power in the digital economy. OECD Competition Policy Roundtable Background Note. Paris. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2022/05/the-evolving-concept-of-market-power-in-the-digital-economy_c384e80f/2cfcb4a8-en.pdf (Download 31.10.2025).

Polaris Market Research (2024). „Video Streaming Market". https://www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/video-streaming-market (Download 6.11.2025).

Postel, Jon (1981a). „Transmission Control Protocol". RFC 793. https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc793 (Download 28.11.2025).

Postel, Jon (1981b). „Internet Control Message Protocol". RFC 793. https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc792 (Download 28.11.2025).

Saltzer, Jerome A., David P. Reed und David D. Clark (1984). „End-to-end arguments in system design". ACM Transactions on Computer Systems. (2) 4. 277–288. doi:10.1145/357401.357402.

Schaaf, Hylke, van der, Philipp Hertweck und Jürgen Moßgraber (2022). „Gaia-X Use Cases. Final Report". Hrsg. Fraunhofer IOSB. https://wikis.ec.europa.eu/download/attachments/90279353/INSPIRE-GaiaX-Use%20Cases%20Final%20Report_v1.1.pdf?api=v2 (Download 25.10.2025).

Small, Christopher. T., Ivan Vendrov, Esin Durmus, Hadjar Homaei, Elizabeth Barry, Julien Cornebise, Ted Suzman, Deep Ganguli und Colin Megill (2023). „Opportunities and risks of LLMs for scalable deliberation with Polis". arXiv:2306.11932. https://arxiv.org/abs/2306.11932. arXiv+2ar5iv+2 (Download 28.11.2025).

Smart Grids Austria (2025). „Welcome to the IES – Integrating the Energy System Initiative!" https://www.smartgrids.at/interoperabilitaet/ies-initiative/ (Download 29.10 2025).

SNOMED International (2025). Startseite. https://www.snomed.org/ (Download 28.11.2025).

Swiss Data Alliance (2024). „Digitale Souveränität. Grundlagen". https://www.swissdataalliance.ch/s/Grundlagenpapier-Digitale-Souveraenitaet.pdf (Download 31.10.2025).

Tessler, Michael Henry, Michiel A. Bakker, Daniel Jarrett, Hannah Sheahan, Martin J. Chadwick, Raphael Koster, Georgina Evans, Lucy Campbell-Gillingham, Tantum Collins, David C. Parkes, Matthew Botvinick und Christopher Summerfield (2024). „AI can help humans find common ground in democratic deliberation". Science (386) 6719. https://www.science.org/doi/10.1126/science.adq2852 (Download 28.11.2025).

The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.) (1992). „IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology". (IEEE Std 610.12-1990). New York, NY: IEEE. https://ieeexplore.ieee.org/document/159342 (Download 26.11.2025).

Verband der Bahnindustrie (2022). „White Paper for a sector neutral interoperability process". https://www.bahnindustrie.at/download/303/Whitepaper_Interoperability_V1.0.pdf (Download 28.11.2025).

Wong, Denny (2024). „Eight lessons from building data spaces". Sitra 28.6.2024. https://web.archive.org/web/20250524222204/https://www.sitra.fi/en/articles/eight-lessons-from-building-data-spaces/ (Download 24.10.2025).

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (2025). „Partnership for Carbon Transparency (PACT)". https://www.wbcsd.org/actions/partnership-for-carbon-transparency-pact/ (Download 27.10.2025).

Adresse | Kontakt

Bertelsmann Stiftung
Carl-Bertelsmann-Straße 256
33311 Gütersloh
Telefon +49 5241 81-0
www.bertelsmann-stiftung.de

Dr. Felix Sieker
Project Manager
Digitalisierung und Gemeinwohl
Telefon +49 30 275788-156
felix.sieker@bertelsmann-stiftung.de