

# D4MINT – Mathematikfortbildungen aus dem Kontext Digitalisierung und Nachhaltigkeit nach dem Prinzip des didaktischen Doppeldeckers

*Philip Helf & Johanna Heitzer*

03.07.2025

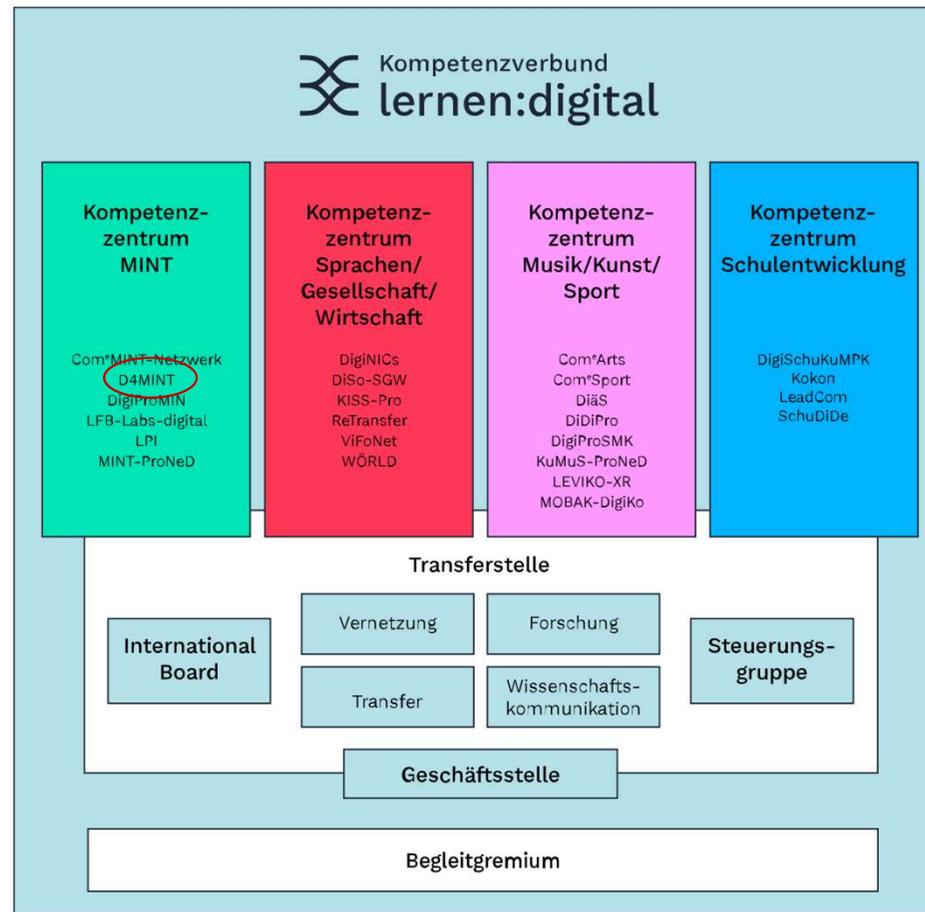


# Agenda



- Projektvorstellung
- Überblick über entstandene Fortbildungskonzepte
- Einblick: CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Streaming
- Einblick: Wie funktioniert eigentlich generative KI
- Ergebnisüberblick und Fazit

# Didaktische Doppeldecker für digitale Bildung im MINT-Bereich



# Didaktischer Doppeldecker als Fortbildungsformat

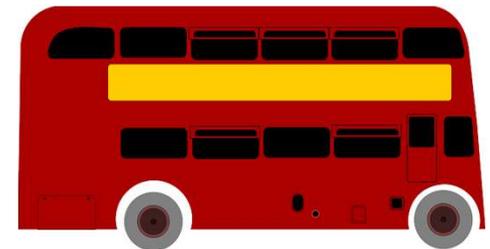


„[D]ie Lernenden [werden] genau mit jenen Methoden unterrichtet [...], die sie später als Lehrende einsetzen sollen“ (Wahl, 2002, S. 234 (rekurriert auf Geissler 1985))

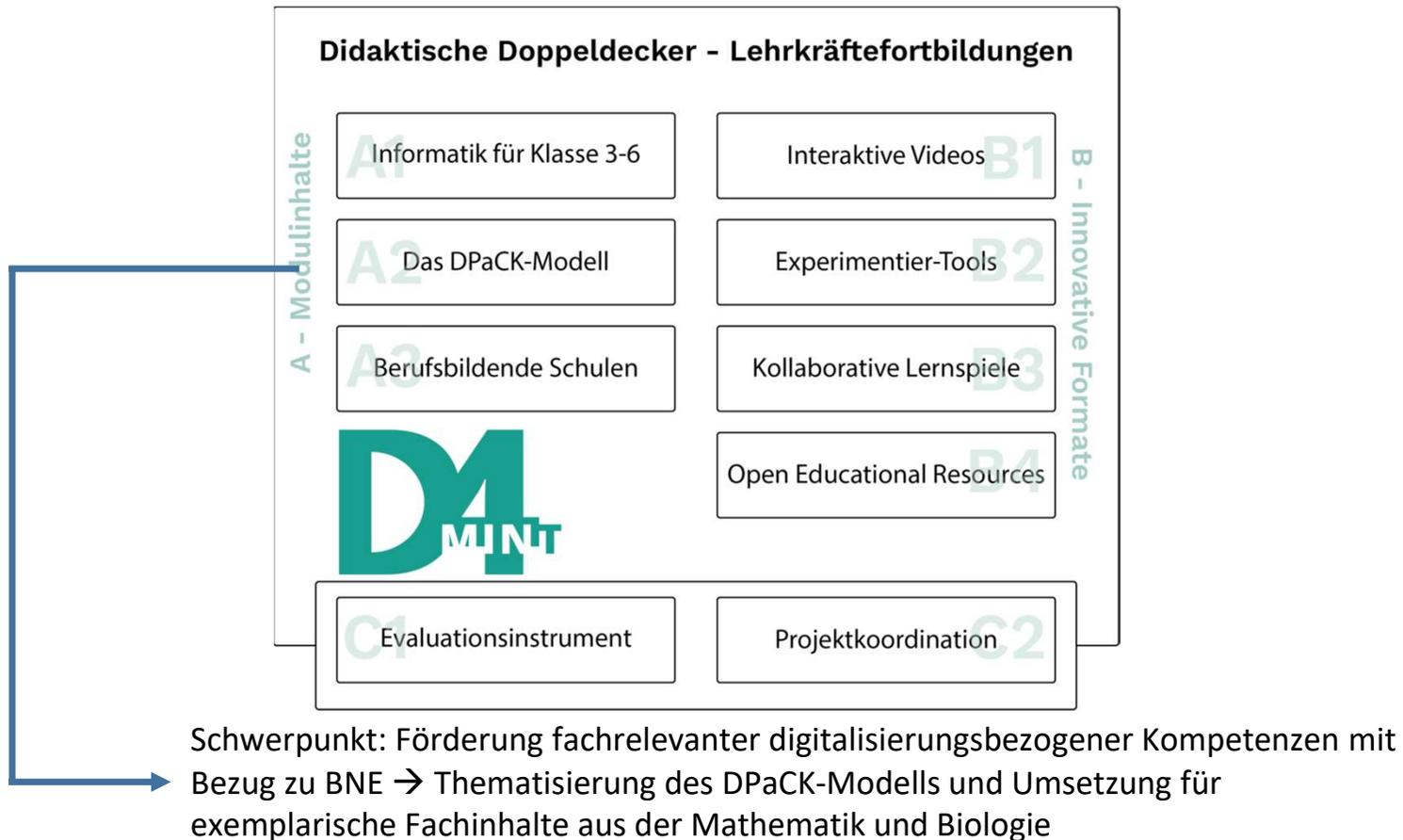
Es sind „solche Fortbildungsformate zu stärken, die fachliche und didaktische Inhalte mit professioneller Kompetenzentwicklung im Sinne eines ‚didaktischen Doppeldeckers‘ verknüpfen“ (Kultusministerkonferenz (KMK), 2021, S. 18)

„Wenn die Befähigung von Lehrkräften für einen lernwirksamen digital gestützten Unterricht ein erklärtes Ziel von Fortbildungen ist, dann sollten digitale Tools aber auch im Rahmen von Fortbildungen – idealerweise im Sinne eines pädagogischen Doppeldeckers – eine bedeutende Rolle spielen.“ (Lipowsky und Rzejak, 2021, S. 23)

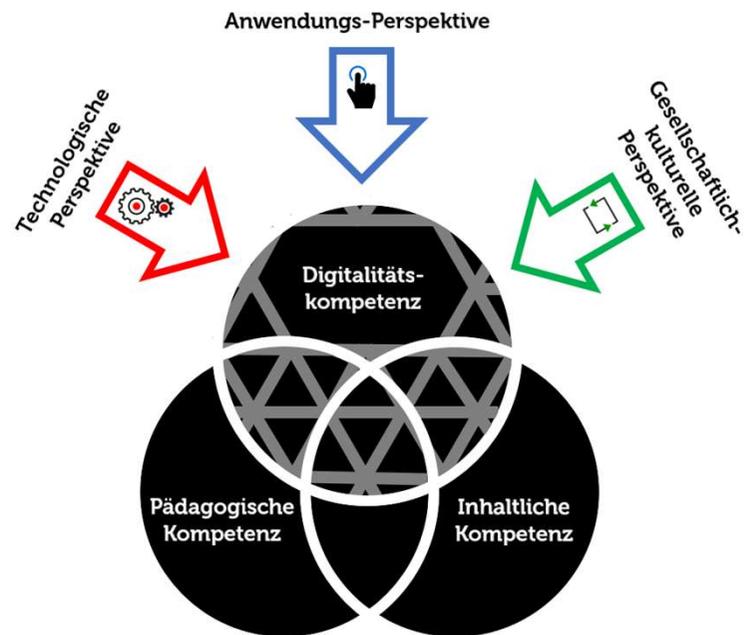
- Hoher Praxisanteil in den Fortbildungen



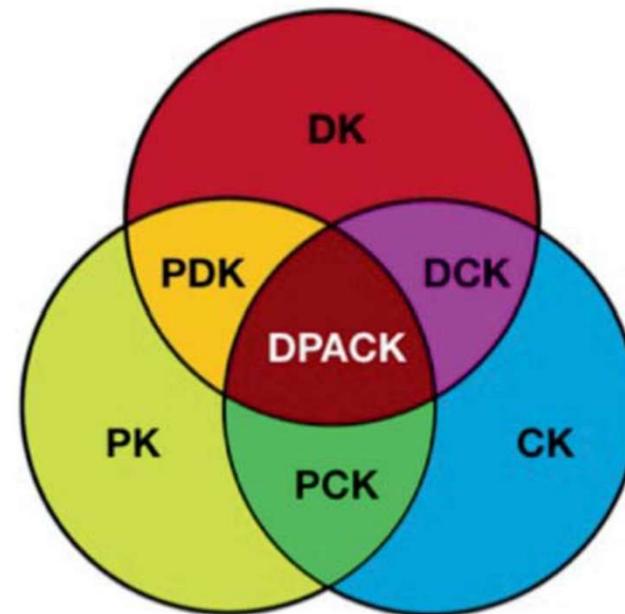
# Einordnung D4MINT-Projekt



# Das DPACK-Modell / Das DPaCK-Modell



Döbeli Honegger 2021: Das DPACK-Modell



Huwer et al. (2019): Das DPaCK-Modell

## Digitale Inhaltskompetenz im DPACK-Modell



*Digitale Transformation [beeinflusst] die eigene Fachwissenschaft, die entsprechende Berufswelt und das eigene Unterrichtsfach.*

*Die digitale Inhaltskompetenz ist fachspezifisch und muss folglich von **jeder Fachdidaktik** eigenständig diskutiert und definiert werden.*

*(Döbeli Honegger 2021, S. 419)*

# Entstandene Fortbildungen



Titel	Fach
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Streaming</b>	Mathematik
Arbeiten mit der senseBox im Mathematikunterricht	Mathematik
<b>Wie funktioniert eigentlich generative KI?</b>	Mathematik
Generative KI – Innovationspotenziale und Herausforderungen für den Mathematikunterricht	Mathematik
Den CAS-Rechner von GeoGebra erkunden – Möglichkeiten und Stolpersteine	Mathematik

# Format der entstandenen Fortbildungen



Eher **kurze Präsenzveranstaltung** (90 min bis 3 Stunden) und anschließendes Unterstützungsangebot

## **Prinzip des didaktischen Doppeldeckers**

**Veranstaltungen** in den Schulen und Hochschule/Fortbildungszentren, Workshops auf Tagungen (z.B. MNU), Aachener Didaktiktag, Aachener Schul-Hochschul-Fachtag, Mathe mal Anders in Köln, **dezentral organisierte Fortbildungen**

**Evaluert** mit Fragebogen an dem C1-Teilprojekt zur Güte von Fortbildungen, erweitert um Fragen zu TAM (Technologie Akzeptanz Modell) und zum didaktischen Doppeldecker

**Evaluationsergebnisse** wurden/werden gemäß **Design-Based Research** zur Überarbeitung der Fortbildungen genutzt

# Entstandene Fortbildungen



Titel	Fach
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Streaming</b>	Mathematik
Arbeiten mit der senseBox im Mathematikunterricht	Mathematik
Wie funktioniert eigentlich generative KI?	Mathematik
Generative KI – Innovationspotenziale und Herausforderungen für den Mathematikunterricht	Mathematik
Den CAS-Rechner von GeoGebra erkunden – Möglichkeiten und Stolpersteine	Mathematik

# Motivation – Schlagzeilen



Laut *123energie.de* werden inzwischen weltweit knapp 200 Milliarden Kilowattstunden (kWh) im Jahr für Video-Streaming bezogen.

summiert sich zu einem gewaltigen Stromverbrauch. Der jährliche CO<sub>2</sub>-Ausstoß des weltweiten Internets ist inzwischen fast doppelt so groß wie der des globalen Flugverkehrs.

Ihr Smartphone, Ihr Laptop oder Ihr Tablet betrieben werden. Eine Stunde Videostreaming etwa verursacht im Schnitt einen so hohen CO<sub>2</sub>-Ausstoß, wie rund 1,8 Kilometer mit einem durchschnittlichen Verbrenner zu fahren.

# Motivation – Schlagzeilen



## Eine Stunde Streaming verursacht 42,7 Gramm CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die Analyse ergab, dass eine Stunde Streaming der RTL Plus-Inhalte im Durchschnitt etwa 42,6 Gramm CO<sub>2</sub> verursacht. Das entspricht etwa einer Autofahrt von **150 Metern**.

Daten über Funktürme und Unterseekabel verschickt und schließlich Ihr Smartphone, Ihr Laptop oder Ihr Tablet betrieben werden. Eine Stunde Videostreaming etwa verursacht im Schnitt einen so hohen CO<sub>2</sub>-Ausstoß, wie rund **1,8 Kilometer** mit einem durchschnittlichen Verbrenner zu fahren.

### ÖKOLOGISCHER FUSSABDRUCK

## Wie klimaschädlich sind Netflix & Co.?

Eine halbe Stunde Streaming verursacht so viele CO<sub>2</sub>-Emissionen wie eine Autofahrt von **6,3 Kilometern**, so das Fazit einer Studie aus dem Jahr 2019. Stimmt das? Das neue YouTube-Format PlanetB hat nachgerechnet und gibt Tipps zu umweltschonenderem Streamen.

# Metastudien



Estimate	Year relates to	Reference	Carbon intensity [g CO <sub>2</sub> e / streamed hour]
Purdue University estimate	2020	Obringer, 2021	440
<b>g CO<sub>2</sub>e/h Streaming</b>			36
			82
			30
BITKOM: global estimate for 2018   720p   65" TV	2018	Bitkom, 2020	130
BITKOM: global estimate for 2018   4K   65" TV	2018	Bitkom, 2020	610
BITKOM: global estimate for 2018   720p   Smartphone   Fixed networks	2018	Bitkom, 2020	30
Shift Project updated global estimate	2018	The Shift Project, 2020	394
Shift Project global estimate (from AFP interview)	2018	The Shift Project, 2019b France24, 2019	3,200
BBC iPlayer estimate	2016	BBC, 2020	98
LBNL/NU estimate for the U.S.	2011	Shehabi, 2014	360
BBC estimate for the UK for 2011   STB + TV   SD (480p)	2011	BBC, 2011	76

Carbon trust 2021, S. 14

Study	Year to which data apply	System boundary (Internet subsystems)					Estimate (kWh/GB)		
		Data centers	Undersea cable	IP core network	Access networks	Home/on-site networking equipment	User device	Original system boundary	Transmission network
<b>kWh/GB übertr. Daten</b>									
[1] Koomey et al. (2004)	2000	✓		✓	✓			136	7.3*
								92 to 160	6.5 to 7.1 <sup>b</sup>
								9 to 16	0.65 to 0.71 <sup>b</sup>
								0.17	0.17*
								0.004 to 0.009	0.004* to 0.009*
								7	~2.2*
[5] Coroama et al. (2013)	2009		✓	✓	✓			0.2	0.2*
[6] Williams and Tang (2012)	2010	✓		✓	✓			0.3	0.013
[7] Malmodin et al. (2012)	2010			✓				0.08	—
[8] Malmodin et al. (2014)	2010	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2.48	0.16 <sup>f</sup>
[9] Costenaro and Duer (2012)	2011	✓	✓	✓	✓	✓	✓	5.12	0.7*
[10] Shehabi et al. (2014)	2011			✓	✓	✓		0.29	0.11 <sup>f</sup>
[11] Schien and Preist (2014)	2011			✓	✓			0.02	0.02
[12] Krug et al. (2014)	2012	✓		✓	✓	✓	✓	7.2	0.14 <sup>b</sup>
[13] Schien et al. (2014)	2014 <sup>f</sup>		✓	✓				0.052	—
[14] Malmodin and Lunden (2016)	2015	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	0.023 <sup>j</sup>

Aslan et al. 2017, S. 5



# Schwierigkeiten Pauschalaussagen zu treffen wie „..h Videostreaming verursacht etwa .. g CO<sub>2</sub>“

Internet als komplexes, sich wandelndes Gefüge

„Heterogenität der Internet-Komponenten sowie die hohe Dynamik, die in diesem Bereich herrscht, und die dazu führt, dass jede Studie bei Erscheinen teilweise schon veraltet erscheint.“

unübersichtlichen Datenlage zum Energiebedarf von Datenzentren (meist Schätzungen)

Server müssen auch laufen, wenn gerade nichts übertragen wird

Verschiedene Endgeräte

Handy, Tablet, SmartTV, PC, Beamer...

Verschiedene Übertragungswege

WLAN (Glasfaser, Kupfer) oder mobile Daten (3G, 4G, 5G...)

Nur Emissionen durch Nutzung oder auch durch Erzeugung? ...

Schwierigkeiten Pauschalaussagen zu treffen wie  
„..h Videostreaming verursacht etwa .. g CO<sub>2</sub>“



**Nicht beachten wurden hierbei die Fragen:**

Wie groß ist der Energiebedarf für das Streamingverhalten einer durchschnittlichen Person?

Wie wird sich dieser Durchschnittswert pro Person in den kommenden Jahren vermutlich verändern?

~~Wie groß ist der gesamte Energiebedarf von Streaming?~~

In Lernumgebung  
behandelte Fragen

# 1. Erkenntnis



**Es werden immer mehr Daten übertragen.**

„Aktuell steigen die Datenmengen für Videostreaming in Deutschland von Jahr zu Jahr um etwa 26 %“.

Qualität von Videos steigt, Internet der Dinge, Cloudspeicher, VR, AR und KI

*Hintemann & Hinterholzer 2020, S. 11*



*Jeferrb: <https://kurzelinks.de/1rqe>*



*Surprising\_SnapShots: <https://kurzelinks.de/xo3h>*

## 2. Erkenntnis



### Die Übertragung von Daten benötigt immer weniger Energie.

Das Mooresche Gesetz: Es handelt sich hierbei um „eine empirische Beobachtung“ (Jaekel 2015, S. 1): „Die [...] Transistoren auf gleichbleibender Chipfläche bei (gleichbleibendem Preis)“ (BMBF, S. 37) verdoppeln sich in einem Zeitraum von ca. 2 Jahren.

**ABER:** Diese seit über fünfzig Jahren (vgl. ebd.) gültige „Gesetzlichkeit“ beginnt sich zu verlangsamen (vgl. Andrae 2020, S. 23).

# Spannungsverhältnis der zwei Erkenntnisse



1. Erkenntnis: Es werden immer mehr Daten übertragen.

## **Aber**

2. Erkenntnis: Die Übertragung von Daten benötigt immer weniger Energie.

➤ Was ist schneller?

# Lernumgebung – Erste Berechnungen

	A	B	C	D	E	F
1	Gerät	Zeit gestreamt	Leistung Gerät	Datenfluss	Energiebedarf	benötigte Energie
2	Handy	3.8	0.006	0.3	0.1	0.137
3	Tablet	1	0.007	0.45	0.1	0.052
4	PC	4.9	0.032	1.2	0.1	0.745
5	SmartTV	2.6	0.2	1.8	0.1	0.988
6						1.922
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						

### Inhaltsverzeichnis

- Motivation
  - Schätzfragen
  - Die Debatte um Streaming
  - Wann wird es gehen?

Mit den Schiebereglern kannst du die gestreamte Zeit (in Stunden) pro Gerät verändern

Gestreamte Zeit am Handy in Stunden = 3.8

Gestreamte Zeit am Tablet in Stunden = 1

Gestreamte Zeit am PC in Stunden = 4.9

Gestreamte Zeit am SmartTV in Stunden = 2.6

**Für die eingestellten Zeiten werden ca. 1.9 kWh Energie entwertet.**

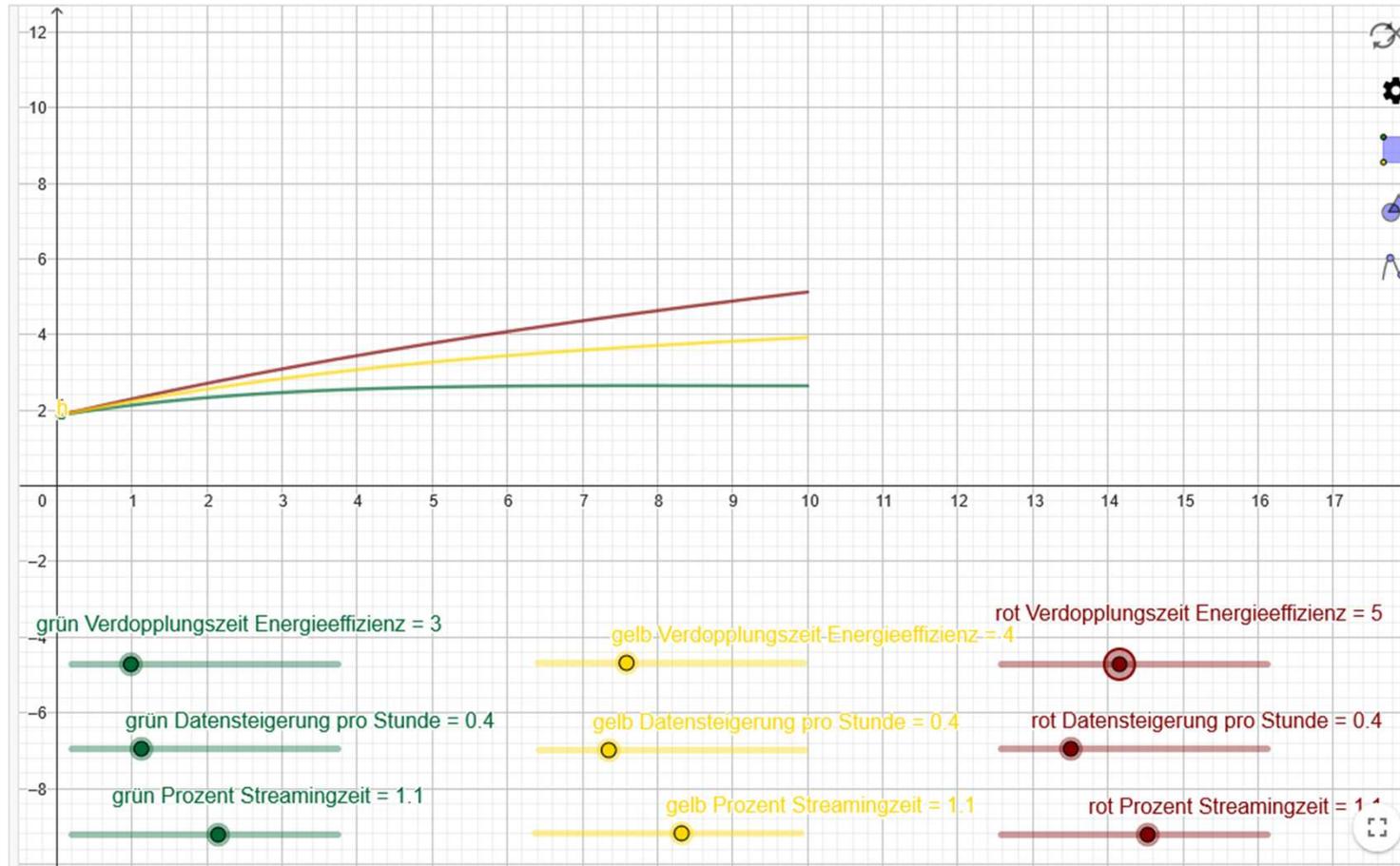
Was kann getan werden?

- Was können Nutzer\*innen tun?
- Was können Politik und Unternehmen tun?

Erkennen

# Lernumgebung – technologischer Fortschritt

Drei Szenarien



## Inhaltsverzeichnis

### Motivation

Schätzfragen

Die Debatte um Streaming

Worum wird es gehen?

### Vorwissen und Hilfeseiten

Grundwissen sichern

Berechnungen mit kWh und Co.

### Modellierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Streaming

Berechnung zum Streaming

### Technologischer Fortschritt

Das Mooresche Gesetz

### Erstellung von Prognosen

Testen von drei Szenarien

### Was kann getan werden?

Was können Nutzer\*innen tun?

Was können Politik und Unternehmen tun?

Bewerten

# Lernumgebung – Handeln

## Nutzer\*innen

- Bewusst nutzen (Multistreams)
- Auflösung
- Geräte (Nutzungszeit und Energiebedarf)
- WLAN
- ...  
*Vgl. z.B Suski/Pohl/Frick 2020*

## Politik und Unternehmen

- Erneuerbare Energien
- Regulierungen (bspw. „Autoplayfunktion“)
- Auflösungsstandards
- „Nur-Audio“
- Forschung
- ...

*Vgl. z.B Madlener et al. 2021*

## Inhaltsverzeichnis

### Motivation

- Schätzfragen
- Die Debatte um Streaming
- Worum wird es gehen?

### Vorwissen und Hilfeseiten

- Grundwissen sichern
- Berechnungen mit kWh und Co.

### Modellierung der CO2-Emissionen durch Streaming

- Berechnung zum Streaming

### Technologischer Fortschritt

- Das Mooresche Gesetz

### Erstellung von Prognosen

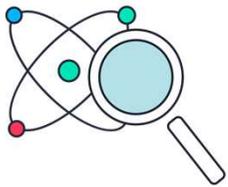
- Testen von drei Szenarien

### Was kann getan werden?

- Was können Nutzer\*innen tun?
- Was können Politik und Unternehmen tun?

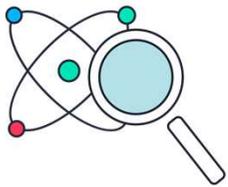
**Handeln**

# Kurzvorstellung der Fortbildung CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Streaming



**Hauptziel der Lernumgebung:** Die Schüler\*innen können mithilfe von GeoGebra mathematische Modelle anwenden, um die durch Streaming entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen abzuschätzen und Prognosen zu deren Entwicklung in den kommenden Jahren zu erarbeiten. Sie können diese Modelle sowie in Informationsmedien gegebene Aussagen zu dem Thema kritisch einordnen. Die Schüler\*innen haben Anlass, ihr eigenes Streamingverhalten zu reflektieren und können Möglichkeiten benennen, wie der Energiebedarf von Streaming gesenkt werden kann.

# Kurzvorstellung der Fortbildung CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Streaming



**Ziel der Fortbildung:** Die Lehrkräfte können die Lernumgebung im eigenen Mathematikunterricht einsetzen. Die Lehrkräfte können GeoGebra-Classrooms für ihren Unterricht nutzen. Die Lehrkräfte diskutieren kritisch, wie eine Verknüpfung von Digitalisierung und BNE im Mathematikunterricht möglich ist.

**Format:** Workshop in Präsenz zwischen 90 min und 3 Stunden

# Zwischenergebnisse und Eindrücke



4 Zyklen mit Lehrkräften (in Summe 25 LuLs), 2 universitäre Lehrveranstaltungen, 2 Erprobungen (von Lehr-Lern-Materials) mit Schulklassen

BNE vielen Mathematiklehrkräften wichtig

Zeitaspekt, Komplexität & verschiedene Ziele (Inhaltlich, BNE, digitale Bildung)



# Entstandene Fortbildungen



Titel	Fach
CO <sub>2</sub> -Emissionen durch Streaming	Mathematik
Arbeiten mit der senseBox im Mathematikunterricht	Mathematik
<b>Wie funktioniert eigentlich generative KI?</b>	Mathematik
Generative KI – Innovationspotenziale und Herausforderungen für den Mathematikunterricht	Mathematik
Den CAS-Rechner von GeoGebra erkunden – Möglichkeiten und Stolpersteine	Mathematik

# „Lernen über KI“ in der Mathematikdidaktik



- Verständnis mathematischer Konzepte hinter KI-System führt zu **Entmystifizierung**
- MU mit **wichtigem Beitrag zu KI-Bildung**
- Umgekehrt Behandlung von KI **gewinnbringend für das Lehren und Lernen von Mathematik.**

(vgl. KINDLER/SCHÖNBRODT/FRANK 2024, S. 163 Herv. d. Verf.)



# Attention is all you need! *Vaswani et al. 2017*



- 160.598 mal zitiert (Stand 21.02.2025)
- zahlreiche Erklärvideos und –Texte zu diesem Paper (z.B. Aramendia 2024, 3blue1brown 2024a,b)...
- (keine?) explizit an Schüler\*innen gerichtete Materialien
- „We propose a new simple network architecture, the **Transformer**, based solely on attention mechanisms...” (Vaswani et al. 2017, S. 1)
- ChatGPT = generative pre-trained transformer

# Wie funktioniert eigentlich generative KI?



Kurzer Vortrag zu Funktionalität generativer KI

Arbeitsmaterial 1: Wie können Vektoren Bedeutung tragen?

Arbeitsmaterial 2: Wie können Vektoren miteinander kommunizieren?

# Wie arbeitet generative künstliche Intelligenz (wie ChatGPT)



Chatbots versuchen immer das nächste Wort zu...

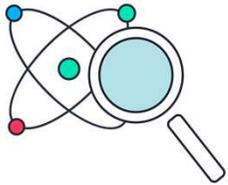
5,6	2,9	1,3	4,8	3,2	0,1	0,9
4,5	4	4,5	4,5	4,5	5,8	4,5
1,3	6,2	1,3	1,3	6,5	1,3	2,5
3,5	5,1	3,5	3,5	3,5	3,5	1,5
6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	4,9
5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	6,5
3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
4,6	4,5	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
6,5	5,6	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
4,8	2,1	6,5	8,9	3,5	4,5	3,6



Nächstes Wort	Wahrscheinlichkeit
generieren	27 %
erraten	26 %
bestimmen	24 %
lernen	18 %
wählen	2 %
ignorieren	1 %
...	...

Idee von 3Blue1Brown 2024. Eigene Darstellungen

# Ziele des Lehr-Lern-Materials



Die Schüler\*innen können erklären, wie Bedeutungen von Wörtern in Vektoren gespeichert werden.

Die Schüler\*innen können beschreiben, dass Richtungen im (hochdimensionalen) Raum Bedeutung von Vektoren tragen können.

Die Schüler\*innen können mithilfe des Skalarproduktes bestimmen, ob zwei Vektoren eine ähnliche Bedeutung tragen.

Die Schüler\*innen können anhand von Beispielen erklären, warum die Bedeutung des gleichen Wortes sich in verschiedenen Kontexten wandeln kann.

Die Schüler\*innen können mit Hilfe vorgegebener Keys, Querys & Values beispielhaft berechnen, wie die Kommunikation zwischen zwei Vektoren ablaufen kann.

Die Schüler\*innen können die Softmax Funktion und ihre Eigenschaften benennen.

# Wie funktioniert eigentlich generative KI?



Kurzer Vortrag zu Funktionalität generativer KI

Arbeitsmaterial 1: Wie können Vektoren Bedeutung tragen?

Arbeitsmaterial 2: Wie können Vektoren miteinander kommunizieren?



## Wie können Vektoren miteinander kommunizieren?



**Aufgabe 1:** Erkläre, wie die Bedeutung der markierten Wörter durch seine Nachbarwörter maßgeblich verändert wird.

Bsp. 1: Die Funktion ist eine **Parabel**. Die Erzählung von Lessing ist eine **Parabel**.

---

---

Bsp. 2: Frau Köhler kann Lea nicht bei den Hausaufgaben helfen, obwohl **sie** Lehrerin ist. Frau Köhler will Lea nicht bei den Hausaufgaben helfen, obwohl **sie** ihre Schülerin ist.

---

---

Bsp. 3: Der junge, schnelle **Ronaldo** spielte in dem **Team**, in dem der große **Rüdiger** jetzt spielt.

---

---

---

---



## Wie können Vektoren miteinander kommunizieren?



**Aufgabe 5:** Berechne nun, wie sich der Vektor von Ronaldo verändert, nachdem die Bedeutung der zwei Adjektive „jung“ und „schnell“ von dem Vektor aufgenommen wurde. Dazu wird auf den **Ursprungsvektor** von Ronaldo das Produkt von **Wertmatrix** und **Vektoren**, die mit dem Ursprungsvektor kommunizieren, addiert. Das vorher berechnete Skalarprodukt gibt an, wie sehr die Vektoren miteinander kommunizieren sollen und ist entsprechend der Vorfaktor für die Matrix. **a** ist das Skalarprodukt von *Fragematrix* \* *v(Ronaldo)* & *Antwortmatrix* \* *v(junge)* und **b** entsprechend das Skalarprodukt von *Fragematrix* \* *v(Ronaldo)* & *Antwortmatrix* \* *v(schnell)*  
Der Anfang der Rechnung wird unten vorgemacht. Führe die Rechnung entsprechend fort.

$$v(\text{Ronaldo}_{\text{verändert}}) = v(\text{Ronaldo}) + a * (\text{Wertmatrix} * v(\text{jung})) + b * (\text{Wertmatrix} * v(\text{schnell}))$$

$$v(\text{Ronaldo}_{\text{verändert}}) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} + 116 * \left( \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 \\ -2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right) +$$

$$v(\text{Ronaldo}_{\text{verändert}}) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} + 116 * \left( \begin{pmatrix} 1 \\ -2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \right) +$$

$$v(\text{Ronaldo}_{\text{verändert}}) =$$

# Zwischenergebnisse und Eindrücke



Pilotierung in Lehrveranstaltung & anschließend zwei kleine Erprobungen mit Lehrkräften (n = 10)

Sehr positive Rückmeldung

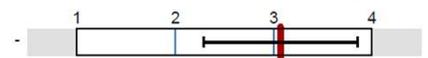
Problem: Ur **Globalwerte** **on LLMs**

Struktur und Klarheit



mw=3,9  
s=0,3

Viele Inhalte **Praktische Relevanz**



mw=3,1  
s=0,8

Kognitive A **Praktische Relevanz**

Inhalte gehen

Austausch

f) Die Auseinandersetzung mit den Inhalten erfolgte anhand realer Beispiele aus der beruflichen Praxis.



n=7 mw=3 md=3 s=0,6

Globale Ein

g) Die in der Veranstaltung behandelten Aspekte hatten Bezug zu meiner aktuellen beruflichen Praxis.



n=7 mw=2,9 md=3 s=0,9

h) In der Veranstaltung wurden Problemstellungen adressiert, die mir in meinem beruflichen Alltag begegnen.



n=7 mw=3,1 md=3 s=0,9

i) Was ich in der Veranstaltung gelernt habe, kann ich in meiner beruflichen Praxis anwenden.



n=7 mw=3,3 md=3 s=0,8

# Erfahrungen und Fazit



Grundsätzlich wurden unsere Fortbildungen gut angenommen und führten zu regen Diskussionen

Fortbildungsinhalte gehen über rein fachliche Kompetenzen hinaus -> Auch BNE und digitale Bildung relevant  
-> Prüfungsvorbereitung im (Oberstufen)mathematikunterricht erschwert Einsatz

Digitale Bildung mehr als nur „Werkzeugnutzung zum Lernen von Mathematik“ -> Perspektiven  
Dagstuhlerklärung

OER-Materialien werden gemäß der Disseminationswege von lernen:digital veröffentlicht (Ende Sept.  
zugänglich): Informationen zu Dissemination ab September auf unserer Website <https://d4mint.de>

# Diskussion



Haben Sie Fragen an uns?

Was ist Ihnen besonders wichtig, wenn wir das Material veröffentlichen? Hinweise? Vorschläge? Fragen?

Wenn Sie Interesse an Themenschwerpunkten oder tieferem Austausch haben, sprechen Sie uns gerne an.

Kontakt:

[philip.helf@md.rwth-aachen.de](mailto:philip.helf@md.rwth-aachen.de)

[Johanna.heitzer@md.rwth-aachen.de](mailto:Johanna.heitzer@md.rwth-aachen.de)



<http://www.didaktik.matha.rwth-aachen.de/>



<http://d4mint.de>

# Literaturverzeichnis



- 3blue1brown (2024a): Transformers (how LLMs work) explained visually | DL5 <https://www.youtube.com/watch?v=wjZofJX0v4M>
- 3blue1brown (2024b): Attention in transformers, visually explained | DL6 <https://www.youtube.com/watch?v=eMlx5fNoYc>
- Andrae, Anders S.G. 2020: New perspectives on internet electricity use in 2030. In: Engineering and Applied Science Letter, 3. Jg., H. 2, S. 19–31. <https://psirt.org/psrpress/journals/easl/>
- Aramendia, Alejandro Ito 2024: Attention Is All You Need: A Complete Guide to Transformers. <https://medium.com/@alejandritoaramendia/attention-is-all-you-need-a-complete-guide-to-transformers-8670a3f09d02>, 27.02.2025.
- Aslan, J., Mayers, K., Koomey, J.G. & France, C. (2018). Electricity Intensity of Internet Data Transmission: Untangling the Estimates. J of Industrial Ecology 22(4), 785–798.
- BMBF: Energiewende. [https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-undnachhaltiges-wirtschaften/energiewende/energiewende\\_node.html](https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-undnachhaltiges-wirtschaften/energiewende/energiewende_node.html), 01.05.2023.
- Carbon Trust 2021: Carbon impact of video streaming. <https://www.carbontrust.com/our-work-and-impact/guides-reports-and-tools/carbon-impact-of-video-streaming>
- Coromama, Vlad Constantin 2020: Ist Streaming wirklich das neue Fliegen? Eine kritische Auseinandersetzung mit gängigen Berechnungen und Prognosen. In: Nachhaltigkeit von Streaming & Co. Energiebedarf und CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Videonutzung im Netz. Berlin, S. 13– 18.
- Döbeli Honegger, Beat 2021: Covid-19 und die digitale Transformation in der Schweizer Lehrerinnen- und Lehrerbildung. In: Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung, 39. Jg., H. 3, S. 311. <https://beat.doebe.li/publications/2021-beat-doebeli-honegger-bzl.pdf>, 15.05.2024.
- Doktor Watson 2022: Wie umweltschädlich sind Netflix, YouTube & Co.?
- Frohn, Daniel (2020): Mehr als Orthogonalität. Das Skalarprodukt beziehungsreich anwenden – mit Grundvorstellungen. Mathematik lehren 218. S. 33-38.
- Henn, H.-W. Filler, A. (2015): Didaktik der Analytischen Geometrie und Linearen Algebra. Berlin: SpringerSpektrum. S. 195-209, S.211-216.
- Heitzer, Johanna. (2014): Senkrecht im n-Dimensionalen. Wie kann das sinnvoll gedeutet werden? In: mathematiklehren (185). S. 37-42.
- Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2020). Videostreaming: Energiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen. In Bitkom e. V. (Hrsg.), Nachhaltigkeit von Streaming & Co. Energiebedarf und CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Videonutzung im Netz, 9–11.
- Hofmann, Stefanie & Frank, Martin 2024: Wortvorschläge beim Chatten. KI und natürliche Sprachverarbeitung im Stochastikunterricht. In: Mathematik lehren, H. 244, S. 24–29.
- Jaekel, Michael 2015: Prolog: Digitalisierung ist die Chiffre einer neuen Zeit. In: JAEKEL, Michael (Hrsg.): Die Anatomie digitaler Geschäftsmodelle. (essentials). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 1–4.
- Kindler, Stephan; Schönbrodt, Sarah & Frank, Martin 2024: Moderner Mathematikunterricht: Vermittlung der mathematischen Grundlagen künstlicher Neuronaler Netze. In: EBERS, Patrick u. a. (Hrsg.): Beiträge zum Mathematikunterricht 2024. 57. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik vom 04.03.2024 bis 08.03.2024 in Essen. Münster: WTM.
- Konen, W. (2020). Die CO<sub>2</sub>-Kosten des Video-Streaming. Die Neue Hochschule 3, 18–19.
- Madlener, Reinhard; Sheykhha, Siamak & Briglauer, Wolfgang 2021: The electricity- and CO<sub>2</sub>-saving potentials offered by regulation of European video-streaming services. In: FCN Working Paper, H. 5. [https://www.fcnerc.rwthachen.de/global/show\\_document.asp?id=aaaaaaaaabbwepsq](https://www.fcnerc.rwthachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaabbwepsq)
- Masanet, Eric; Shehabi, Arman; Lei, Nuoa; Smith, Sarah; Koomey, Jonathan 2020: Recalibrating global data center energy-use estimates. In Science (New York, N.Y.) 367 (6481), S: 984-986.
- Richter, D. & Richter, E. 2024: Measuring the quality of teacher professional development: A large-scale validation study of an 18-item instrument for daily use, in: Studies in Educational Evaluation 81, 101357.
- Schönbrodt, Sarah; Camminady, Thomas & Frank, Martin 2022: Mathematische Grundlagen der Künstlichen Intelligenz im Schulunterricht. In: Mathematische Semesterberichte, 69. Jg., H. 1, S. 73–101.
- Suksi, Paul; Pohl, Johanna & Frik, Vivian 2020: All you can stream. In: Chitchyan, Ruzanna u. a. (Hrsg.): Proceedings of the 7th International Conference on ICT for Sustainability. New York, NY, USA: ACM, S. 128–138.
- The Shift Project 2020: Did The Shift Project really overestimate the carbon footprint of online video? Our analysis of the IEA and CarbonBrief articles. <https://theshiftproject.org/en/article/shift-project-really-overestimate-carbon-footprint-videoanalysis/>
- Umweltbundesamt 2023: CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kilowattstunde Strom stiegen in 2022. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-stiegen-in>
- UNESCO (2021): Bildung für nachhaltige Entwicklung. Eine Roadmap. Bonn: Deutsche UNESCO-Kommission e.V.
- Vaswani, Ashish u. a. 2017: Attention Is All You Need. <http://arxiv.org/pdf/1706.03762>.

## Links zu den Zeitungsartikeln (Streaming)



<https://kurzelinks.de/w837> (Basicthinking)

<https://kurzelinks.de/71uc> (ARDalpha)

<https://kurzelinks.de/5eut> (Der Spiegel)

<https://kurzelinks.de/ofz1> (Heidelberg 24)

<https://kurzelinks.de/2gvg> (Umdex)

<https://kurzelinks.de/yz7x> (ZDF)