

TEXTE

154/2026

Abschlussbericht

Indikatoren für eine systemische Umweltberichterstattung

von:

Max Weisz, Clara Baier
Umweltbundesamt, Dessau

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 154/2026

REFOPLAN des Bundesministeriums Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3722 12 102 0

Abschlussbericht

Indikatoren für eine systemische Umweltberichterstattung

von

Max Weisz, Clara Baier
Umweltbundesamt, Dessau

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau

Abschlussdatum:

Oktober 2025

Redaktion:

Fachgebiet I 1.6 Daten zur Umwelt, Indikatoren und Umweltberichte
Dr. Sylvia Schwermer

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8631>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Oktober 2026

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen*Autoren.

Kurzbeschreibung: Indikatoren für eine systemische Umweltberichterstattung

Indikatoren sind ein zentrales Instrument der Umweltberichterstattung des Umweltbundesamts (UBA). Sie reduzieren komplexe Umweltaspekte auf wesentliche Kenngrößen. In vielen Fällen bieten sie einen Soll-Ist-Vergleich, der auf einen Blick veranschaulicht, ob sich ein bestimmter Umweltaspekt in Richtung des politischen Ziels entwickelt. Statistische Analysen systematisieren dies, indem sie detailliert über den Grad der Zielerreichung/-verfehlung oder über kurz- und langfristige Entwicklungen informieren. Diese Bewertung führt das Umweltbundesamt bisher nur isoliert pro Indikator durch. Dadurch bleiben Wechselwirkungen zwischen Indikatoren beziehungsweise ihren Zielen bisher unsichtbar: Bringt die wünschenswerte Entwicklung eines Indikators auch andere Indikatoren dem Ziel näher (Synergieeffekte) oder stehen Umweltziele im Konflikt zueinander? Das vorliegende Projekt diente der Entwicklung einer UBA-spezifischen Methodik nach (inter-)nationalem Vorbild, die fundierte Aussagen über diese Wechselwirkungen erlaubt. Im Ergebnis wird ein mehrstufiges Verfahren empfohlen, das Korrelationsanalysen mit der Fachkompetenz von UBA-Experten*Expertinnen kombiniert. Diese Methodik wird sowohl den inhaltlichen als auch den organisatorischen Rahmenbedingungen des Umweltbundesamts gerecht. Die Anwendung auf einen realistischen Testdatensatz und umfangreiche Praxistests mit UBA-Fachexperten*Expertinnen bestätigten die Realisierbarkeit. Weiterhin entstand ein IT-Tool zur teilautomatisierten Durchführung der Analysen, dass eine zukünftige Implementierung erleichtert. Das Tool kann hausintern frei erweitert und angepasst werden. Auch die Empfehlungen und Bausteine des Kommunikationskonzepts sind auf langfristige, vielseitige Anwendbarkeit ausgelegt. Zusammen mit den im Projekt entstandenen Begleitmaterialien – zum Beispiel einer Handreichung zu Qualitätskriterien für Umweltindikatoren – geht der Mehrwert der Projektergebnisse über eine Weiterentwicklung der indikatorbasierten Umweltberichterstattung des UBA hinaus und erlaubt vielfältige Verwertung innerhalb wie außerhalb der Umweltverwaltung.

Abstract: Indicators for systemic environmental reporting

Indicators are a key element of environmental reporting by the German Environment Agency (Umweltbundesamt; short: UBA). They reduce complex environmental aspects to essential parameters. In many cases, indicators provide a target/actual comparison that shows at a glance whether a particular environmental aspect is developing in line with the political objective. Statistical analyses systematize this by providing detailed information on the degree to which targets are being/have been achieved or missed, or on short- and long-term developments. To date, the UBA only provides this assessment for each individual indicator on their own. Consequently, interactions between indicators and their targets remain invisible so far: Does the desirable development of one indicator also bring other indicators closer to their targets (synergy effects), or do environmental targets conflict with each other? This project aimed to develop an UBA-specific methodology based on (inter)national examples that allows for well-founded statements about these interactions. The resulting recommendation is a multi-stage process that combines correlation analyses with the expertise of UBA professionals. This methodology takes into account and suits both the content-related and organizational framework of the Federal Environment Agency. Its feasibility was confirmed by the application to a realistic test data set as well as extensive practical tests with UBA experts. In addition, an IT tool was developed for the semi-automated performance of the analyses, which will facilitate future implementation. The tool can be freely expanded and adapted in-house. The recommendations and components provided within the project-specific concept for communication are also designed for long-term, versatile applicability. Together with the accompanying materials developed in the project – for example, a guide to quality criteria for environmental indicators – the added value of the project results goes beyond an add-on to the UBA's indicator-based environmental reporting and allows for a wide range of applications both within and outside environmental administration.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	10
Tabellenverzeichnis	11
Abkürzungsverzeichnis	13
Zusammenfassung.....	22
Summary	29
1 Einleitung.....	36
2 Methodengenes systemische Bewertung und Screening zu Qualitätskriterien und individuellen Bewertungsmethoden von Indikatoren.....	38
2.1 Qualitätskriterien für Indikatoren	38
2.1.1 SMART.....	38
2.1.2 RACER.....	38
2.1.3 CREAM	39
2.1.4 Bertelsmann Stiftung	39
2.1.5 Kriterien für fachliche Arbeit.....	40
2.1.6 Praktische Anwendung und ergänzende Anmerkungen	42
2.2 Synopse angewandter Indikatorenbewertungen.....	43
2.2.1 Umweltmonitor 2024 (Umweltbundesamt, 2024b)	43
2.2.2 Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie (DNS) (Statistisches Bundesamt, 2021)	44
2.2.3 SDGs EU (Eurostat) (Eurostat, 2022)	46
2.2.4 Indikatorenspiegel (LiKi).....	47
2.2.5 Deutsche Anpassungsstrategie (UBA, Statistisches Beratungslabor der Ludwig-Maximilians-Universität München).....	48
2.2.6 SDGs für Kommunen (Bertelsmann Stiftung) (Bertelsmann Stiftung, o.J.)	50
2.2.7 Biodiversitätsstrategie (BfN) (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2020).....	50
2.3 Darstellung systemischer Zusammenhänge.....	51
2.3.1 Korrelationsanalysen als Grundlage für systemische Bewertung in der Praxis	54
2.3.1.1 Korrelationskoeffizient nach Pearson und Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman	55
2.3.1.2 Anwendungsbeispiel I: Eurostat	58
2.3.1.3 Anwendungsbeispiel II: Bertelsmann.....	60
2.3.1.4 Anwendungsbeispiel III: Institute for Global Environmental Strategies (IGES).....	61
2.3.1.5 Exkurs: Umweltmonitor	63
2.3.1.6 Eignung von Korrelationsanalysen als Methode zur systemischen Bewertung.....	70

2.3.2	Strukturgleichungsmodelle	73
2.3.2.1	Grundlagen von Strukturgleichungsmodellen	73
2.3.2.2	Eignung von Strukturgleichungsmodellen als Methode zur systemischen Bewertung.....	74
2.3.3	Vektorautoregressive Modelle.....	75
2.3.3.1	Grundlagen Vektorautoregressiver Modelle	75
2.3.3.2	Eignung von Vektorautoregressiven Modellen zur systemischen Bewertung.....	77
2.3.4	Vorläufige methodische Empfehlung vor Praxistest	78
3	Korrelationsanalyse-Tool.....	80
3.1	Hintergrundinformationen.....	80
3.2	Handreichung IT-gestützte Analyse	83
3.2.1	Vorbereitung der Indikatoren in Excel-Tabelle	83
3.2.2	Durchführung der Korrelationsanalyse	85
4	Befüllung/Wahl eines Indikatorensystems zum Thema „Treibhausgasneutralität“	88
4.1	Voraussetzungen und weiteres Vorgehen für Befüllung eines Schwerpunktthemas	88
4.1.1	Inhaltliche Anforderungen	88
4.1.2	Statistische Anforderungen.....	88
4.1.3	Organisatorische Anforderungen.....	89
4.1.4	Anforderungen an Indikatoren für Durchführung vorgeschlagener Methode	89
4.2	Recherche und Bewertung.....	92
4.2.1	Ariadne Transformation Tracker zum Thema Treibhausgasneutralität	92
4.2.1.1	Überprüfung der Anforderungen für Korrelationsanalysen	101
4.2.1.2	Kategoriale Ordnung.....	103
4.2.1.3	Sektorale Ordnung.....	107
4.3	Zwischenfazit.....	118
5	Praxistest systemische Bewertung & Leitfaden IT-Analyse.....	119
5.1	Methodentest	119
5.1.1	Auswahl eines geeigneten Sektorenpaars	119
5.1.2	Ergebnisse der Korrelationsanalyse	124
5.1.3	Ergebnisse der Plausibilitätsprüfung.....	126
5.1.4	Diskussion und Limitation	128
5.2	Zwischenfazit.....	130
6	Kommunikationskonzept.....	132
6.1	Ziele.....	132

6.2	Zielgruppen und Komplexitätsstufen	132
6.3	Reichweite.....	133
6.4	Sprache und Tonalität	134
6.5	Social Media	135
7	Fazit	137
8	Quellenverzeichnis	140
A	Mathematischer Anhang.....	147
A.1	Modellgleichungen Trendanalyse IT.NRW (Martone, 2013, S. 77–88)	147
A.1.1	Lineares Regressionsmodell	147
A.1.2	Quadratisches Regressionsmodell	147
A.1.3	Autoregressives Fehlermodell 1. Ordnung (FOAEM)	147
A.1.4	Autoregressives Fehlermodell 2. Ordnung (SOAEM)	147
A.2	Korrelationskoeffizienten.....	147
A.2.1	Pearson Korrelationskoeffizient.....	148
A.2.2	Spearman's Rangkorrelationskoeffizient	148
A.3	T-Wert bei Korrelationskoeffizienten.....	149
A.4	Formeln für die Berechnung des Konfidenzintervalls von Korrelationskoeffizienten inkl. Fisher Transformation (Fisher, 1915)	149
A.4.1	Fisher Transformation.....	149
A.4.2	Berechnung der Untergrenze und Obergrenze.....	149
A.5	Beispielhaftes VAR(1)-Modell	150
B	Daten	151
B.1	Korrelationsanalyse mit den Indikatoren des Umweltmonitors: Indikatorenpaare (x,y) , Koeffizienten (coeff), P-Werte (p); max. Analysezeitraum, Schwellenwerte -0,5/0,5, Spearman's ρ , $\alpha \leq 0,05$	151
B.2	Korrelationsanalyse mit den Indikatoren des Umweltmonitors: Indikatorenpaare (x,y) , Koeffizienten (coeff), P-Werte (p); Analysezeitraum 2000 – 2010, Schwellenwerte - 0,5/0,5, Spearman's ρ , $\alpha \leq 0,05$	151
B.3	Korrelationsanalyse mit den Indikatoren des Umweltmonitors: Indikatorenpaare (x,y) , Koeffizienten (coeff), P-Werte (p); Analysezeitraum 2010 - 2020, Schwellenwerte - 0,5/0,5, Spearman's ρ , $\alpha \leq 0,05$	151
B.4	Korrelationskoeffizienten inkl. P-Werte (1. Korrelationsanalyse, Kreislaufwirtschaft Eurostat).....	151
B.5	Korrelationskoeffizienten inkl. P-Werte (1. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)	151
B.6	Korrelationskoeffizienten inkl. P-Werte (2. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)	151

B.7	Korrelationskoeffizienten inkl. P-Werte (3. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)	152
B.8	Korrelationskoeffizienten inkl. P-Werte (1. Korrelationsanalyse, Net Zero)	152
B.9	Korrelationskoeffizienten inkl. P-Werte (2. Korrelationsanalyse, Net Zero)	152
C	Sonstige Anhänge	153
C.1	Fragebogen (Ausschnitt)	153

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	User-Interface des Korrelationsanalysetools (1/2)	24
Abbildung 2:	User-Interface des Korrelationsanalysetools (2/2)	24
Abbildung 3:	Korrelationen zwischen ausgewählten Indikatoren des Verkehrssektors und des Energiesektors	27
Abbildung 4:	Spielraum möglicher Bewertung/Klassifizierung von Korrelationskoeffizienten im Indikatorenkontext	56
Abbildung 5:	Anteil Erneuerbare Energien am Bruttostromverbrauch und am Bruttoendenergieverbrauch.....	57
Abbildung 6:	Jährliche Treibhausgasemissionen in Deutschland	57
Abbildung 7:	Bewertung/Klassifizierung von Korrelationskoeffizienten von Eurostat.....	59
Abbildung 8:	Zusammenhänge zwischen den 17 Zielen für nachhaltige Entwicklung auf EU-Ebene	59
Abbildung 9:	Exemplarische Schemaballdarstellung für Synergien (links) und Zielkonflikte (rechts).....	61
Abbildung 10:	Das SDG-Interlinkages-Web-Tool	62
Abbildung 11:	Zusammenhänge zwischen Unterziel 1.1 mit den Unterzielen von SDG1 und SDG2 am Beispiel China.....	63
Abbildung 12:	Korrelationen zwischen den Indikatoren des Umweltmonitors	67
Abbildung 13:	Korrelationen zwischen den Indikatoren des Umweltmonitors für den Zeitraum 2000 bis 2010	69
Abbildung 14:	Korrelationen zwischen den Indikatoren des Umweltmonitors für den Zeitraum 2010 – 2020.....	70
Abbildung 15:	Allgemeines Strukturgleichungsmodell im Umweltindikatorenkontext.....	74
Abbildung 16:	Korrelationsanalyse-Tool-Oberfläche 1/2	81
Abbildung 17:	Korrelationsanalyse-Tool-Oberfläche 2/2	82
Abbildung 18:	Auszug Tabelle Korrelations-Tool (Version 1.5)	82
Abbildung 19:	Beispieldatensatz	84
Abbildung 20:	Oberfläche Korrelationstool (1/2)	85
Abbildung 21:	Oberfläche Korrelationstool (2/2)	87
Abbildung 22:	Qualitätskriterien am Beispiel eines Umweltindikatorensystems	90
Abbildung 23:	Workflow 2. AP.....	91
Abbildung 24:	Heatmap (1. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)	104
Abbildung 25:	Heatmap (2. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)	105
Abbildung 26:	Anteile von Synergien, Zielkonflikten und Anteile von Indikatorenpaaren, die keine statistisch belegbaren	

	Zusammenhänge aufweisen (2. Analyse, Ariadne Transformation Tracker)	106
Abbildung 27:	Heatmap (3. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)	108
Abbildung 28:	Anteile von Synergien, Zielkonflikten und Anteile von Indikatorenpaaren, die keine statistisch belegbaren Zusammenhänge aufweisen (3. Analyse, Ariadne Transformation Tracker)	109
Abbildung 29:	Heatmap (1. Korrelationsanalyse, Net Zero)	115
Abbildung 30:	Heatmap (2. Korrelationsanalyse, Net Zero)	116
Abbildung 31:	Anteile von Synergien, Zielkonflikten und Anteile von Indikatorenpaaren, die keine statistisch belegbaren Zusammenhänge aufweisen (2. Analyse, Net Zero)	117
Abbildung 32:	Konzeptionelle Ausgestaltung der Zusammenhangsanalyse und Differenzierung der Indikatoren	122
Abbildung 33:	Auswahl der Indikatoren für Zusammenhangsanalyse	123
Abbildung 34:	Korrelationen zwischen ausgewählten Indikatoren des Verkehrssektors und des Energiesektors	125
Abbildung 35:	Bestätigte und nicht bestätigte Korrelationen zwischen ausgewählten Indikatoren des Verkehrssektors und des Energiesektors	127

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Bewertungskategorien im Umweltmonitor	44
Tabelle 2:	Bewertungssymbolik der DNS am Beispiel Indikatoren mit quantitativen Zielwerten	45
Tabelle 3:	Bewertungssymbolik für Indikatoren mit Zielwert (SGDs EU) ..	46
Tabelle 4:	Bewertungssymbolik für Indikatoren mit Richtungsziel (SDGs EU)	47
Tabelle 5:	Bewertungssymbolik für die Trendbewertungen	48
Tabelle 6:	Bewertungssymbolik für die Statusanalyse	48
Tabelle 7:	Trendbeschreibung der DAS	49
Tabelle 8:	Bewertungssymbolik für Indikatoren mit konkretem Zielwert (BfN)	51
Tabelle 9:	Bewertungssymbolik für Trends (BfN)	51
Tabelle 10:	Fünf Ansätze zur Beschreibung von Zusammenhängen	53
Tabelle 11:	Indikatorensystem Umweltmonitor	63
Tabelle 12:	Methodische Parameter (1. Korrelationsanalyse, Umweltmonitor)	66
Tabelle 13:	Interpretationsintervalle	83
Tabelle 14:	Datenquellen Ariadne Transformation Tracker	95

Tabelle 15:	Methodische Parameter (1. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)	103
Tabelle 16:	Methodische Parameter (2. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)	104
Tabelle 17:	Methodische Parameter (3. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)	108
Tabelle 18:	Operationalisierung der RACER-Kriterien.....	111
Tabelle 19:	Operationalisierung der Qualitätskriterien für Korrelationsanalysen.....	112
Tabelle 20:	Quellen Landwirtschaftsindikatoren	113
Tabelle 21:	Methodische Parameter (1. Korrelationsanalyse, Net Zero) ..	114
Tabelle 22:	Methodische Parameter (2. Korrelationsanalyse, Net Zero) ..	115

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
AIC	Akaike-Informationskriterium
AGRI_GRLND	Gesamtfläche von Dauergrünland und Anteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche
AGRI_OEK	Anteil des Ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlich genutzten Fläche
AGRI_STICK	Saldo der landwirtschaftlichen Stickstoff-Gesamtbilanz in Bezug auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche*
AK UGRdL	Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder
AQUA_	Wasser
AQUA_FLUESSE	Anteil der Wasserkörper in Fließgewässern in mindestens gutem Zustand oder mit mindestens gutem Potenzial
AQUA_NITRAT50	Anteil der Messstellen mit Überschreitung des Grenzwertes für Nitrat*
AQUA_PLASTIK	Anteil der Eissturmvogel-Totfunde an der deutschen Nordsee-Küste mit mehr als 0,1 Gramm Plastik im Magen (5-Jahres-Durchschnitt)
Aw_	Abfallwirtschaft
Aw_RQSiedlungsabf	Recyclingquote von Siedlungsabfällen
Aw_RQWEEE	Recyclingquote der getrennt gesammelten Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE)
Aw_Rverpackungsabf	Recycling von Verpackungsabfällen nach Art der Verpackung
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BIC	Bayes'sche Informationskriterium
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMUKN	Bundesministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit
bspw.	beispielsweise
CAGR	compound annual growth rate
CREAM	clear, relevant, economic, adequate, monitorable
Destatis	Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
ECA	Bureau of Educational and Cultural Affairs
EE_	Ausbau Erneuerbarer Energien
EE_BioinIndust	Jährlicher Biomasseeinsatz in der Industrie
EE_Biomasseeinsatz	Jährlicher Biomasseeinsatz in der Landwirtschaft

Abkürzung	Erläuterung
EE_Biogasanlagen	Biogasanlagen in Deutschland
EE_EE_am_EEV	Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch
EE_EinGebäude	Anteil der Erneuerbaren am Endenergiebedarf des Gebäudesektors
EE_EinStromMix	Anteil des erneuerbar erzeugten Stroms an der Nettostromerzeugung
EE_EinVerkehr	Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors
EE_KapazitätBiogas	Gesamte installierte elektrische Kapazität der Biogasanlagen in Deutschland
EE_LeistungOffShore	Installierte Netto-Leistung von Windenergieanlagen auf See
EE_LeistungOnShore	Installierte Netto-Leistung von Windenergieanlagen an Land
EE_LeistungPV	Installierte Netto-Leistung von Photovoltaik
EEV	Endenergieverbrauch
Ele_	Elektrifizierung
Ele_AbsatzWP	Absatz von Wärmepumpen pro Jahr
Ele_AnteilStromEEVLW	Anteil von Strom am Endenergiebedarf des Landwirtschaftssektors
Ele_DirektElektr	Anteil von Strom am Endenergieverbrauch
Ele_ElektrifizierungGebäude	Anteil von Strom am Endenergieverbrauch der Gebäude
Ele_ElektrifizierungInd	Anteil von Strom am Endenergieverbrauch der Industrie
Ele_ElektrifizierungVerkehr	Anteil von Strom am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors
Ele_ELKWNeu	Anteil von vollelektrischen Lkw an den Gesamtzulassungen
Ele_EPKWBestand	Bestand an vollelektrischen Pkw
Ele_EPKWNeu	Anteil der Neuzulassungen von vollelektrischen Pkw
Ele_WPBestand	Bestand an Wärmepumpen
Emiss_	Emissionsminderung
Emiss_CO2proBIP	Jährliche Energie- und prozessbedingte CO ₂ -Emissionen der Industrie pro Einheit Bruttoinlandsprodukt
Emiss_CO2proEinheitStrom	CO ₂ -Emissionen pro erzeugter Einheit Strom
Emiss_CO2proWohnfläche	CO ₂ -Emissionen der Wohngebäude pro Wohnfläche.
Emiss_Energiewirtschaft	Jährliche THG-Emissionen der Energiewirtschaft

Abkürzung	Erläuterung
Emiss_Gebäude	Jährliche THG-Emissionen des Gebäudesektors
Emiss_Gesamt	Gesamte jährliche Treibhausgasemissionen
Emiss_Industrie	Jährliche Energie- und prozessbedingte THG-Emissionen des Industriesektors
Emiss_THG_Verkehr_LW	Treibhausgase landwirtschaftlicher Verkehr (land- und forstwirtschaftliche Maschinen)
Emiss_THGInsLW	THG-Emissionen aus der Landwirtschaft: Gesamtmenge inkl. energiebedingter Emissionen
Emiss_Verkehr	Jährliche THG-Emissionen des Verkehrssektors
ENER_	Energie
ENER_EENERGIE	Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch*
ENER_EESTROM	Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch*
ENER_ENERPROD	Endenergieproduktivität - Energieverbrauch im Verhältnis zum Bruttoinlandsprodukt (BIP)
Energie_	Energiewirtschaft
Energie_EEInsgesamt	Installierte Netto-Leistung von Erneuerbaren Energien
Energie_EEinStromMix	Anteil des erneuerbar erzeugten Stroms an der Nettostromerzeugung
Energie_Elektrolyseure	Elektrische Leistungsaufnahme installierter und geplanter Elektrolyseure
Energie_EmissionsfaktorStrom	CO ₂ -Emissionen pro erzeugter Einheit Strom
Energie_LeistungOffshore	Installierte Netto-Leistung von Windenergieanlagen auf See
Energie_LeistungOnshore	Installierte Netto-Leistung von Windenergieanlagen an Land
Energie_LeistungPV	Installierte Netto-Leistung von Photovoltaik
Energie_StromDurchFossil	Jährliche Netto-Stromerzeugung aus Kohle-, Gas- und Ölkraftwerken
Energie_THG	Jährliche THG-Emissionen der Energiewirtschaft
EuL_	Effizienz und Lebensstil
EuL_EEV	Jährlicher Endenergieverbrauch
EuL_EEVGebäude	Jährlicher Endenergiebedarf des Gebäudesektors
EuL_EEVLWProBWP	Endenergieverbrauch Landwirtschaft pro Einheit Bruttowertschöpfung
EuL_EEVVerkehr	Jährlicher Endenergiebedarf des Verkehrssektors

Abkürzung	Erläuterung
EuL_EnergieIntenIndusBIP	Endenergiebedarf der Industrie pro Einheit Bruttoinlandsprodukt
EuL_EnergIntensGebäude	Jährlicher Endenergiebedarf von Wohngebäuden pro Wohnfläche
EuL_IndiV	Anteil des motorisierten Individualverkehrs an der Personenverkehrsleistung
EuL_MilchleistungIns	Milchleistung von Kühen insgesamt
EuL_MilchleistungKontrolle	Milchleistung von Kühen unter Milchleistungskontrolle
EuL_ÖPNV	Anteil des öffentlichen Personenverkehrs an der Personenverkehrsleistung
EuL_StahlSek	Jährliche Stahlproduktion in der schrottbasierten Sekundärroute
Eurostat	Statistisches Amt der Europäischen Union
FOAEM	First Order Autoregressive Error Model (Autoregressives Fehlermodell 1. Ordnung)
FPO_	Fossil Phase-Out
FPO_AbsÖlundGasheizung	Absatz von Öl- und Gasheizungen pro Jahr
FPO_FFEndEnGebäude	Anteil von Öl, Kohle und Gas am Endenergiebedarf der Gebäude
FPO_FossileEnergieLW	Jährlicher Bedarf an fossilen Energieträgern im Landwirtschaftssektor
FPO_ÖKGVerbrauchGeb	Jährlicher Öl-, Kohle- und Erdgasverbrauch im Gebäudesektor
FPO_ÖKGVerbrauchInd	Jährlicher Öl-, Kohle- und Erdgasverbrauch in der Industrie
FPO_StromDurchFF	Jährliche Netto-Stromerzeugung aus Kohle-, Gas- und Ölkraftwerken
FPO_VerbrauchDiesBenz	Jährlicher Bedarf von fossilem Benzin- und Dieselmotor im Verkehrssektor
FPO_VerbrauchEG	Jährlicher Primärenergieeinsatz von Erdgas
FPO_VerbrauchFF	Jährlicher Primärenergieeinsatz von fossilen Energieträgern
FPO_VerbrauchK	Jährlicher Primärenergieeinsatz von Braun- und Steinkohle
FPO_VerbrauchPetr	Jährlicher Primärenergieeinsatz von Mineralöl
FPO_VerbrennerNeu	Anteil von Pkw mit Verbrennungsmotor an Neuzulassungen pro Jahr
Gebäude_	Gebäude
Gebäude_AbsatzWP	Absatz von Wärmepumpen pro Jahr
Gebäude_AbsÖlundGasheizung	Absatz von Öl- und Gasheizungen pro Jahr
Gebäude_AnteilFossilAmEEV	Anteil von Öl, Kohle und Gas am Endenergiebedarf der Gebäude

Abkürzung	Erläuterung
Gebäude_EE	Anteil der Erneuerbaren am Endenergiebedarf des Gebäudesektors
Gebäude_EEV	Jährlicher Endenergiebedarf des Gebäudesektors
Gebäude_Emissionsintensität	CO ₂ -Emissionen der Wohngebäude pro Wohnfläche.
Gebäude_EnergIntensität	Jährlicher Endenergiebedarf von Wohngebäuden pro Wohnfläche
Gebäude_FernwärmeanGWundWW	Anteil der Fernwärme am Endenergieverbrauch der Gebäude
Gebäude_ÖKGVerbrauch	Jährlicher Öl-, Kohle- und Erdgasverbrauch im Gebäudesektor
Gebäude_StromAmEEV	Anteil von Strom am Endenergieverbrauch der Gebäude
Gebäude_THG	Jährliche THG-Emissionen des Gebäudesektors
Gebäude_WPBestand	Bestand an Wärmepumpen
Gesamt_	Gesamtsystem
Gesamt_BedarfFossileEnergie	Jährlicher Primärenergieeinsatz von fossilen Energieträgern
Gesamt_EE_am_EEV	Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch
Gesamt_EEV	Jährlicher Endenergieverbrauch
Gesamt_PrimäreinErdgas	Jährlicher Primärenergieeinsatz von Erdgas
Gesamt_PrimäreinKohle	Jährlicher Primärenergieeinsatz von Braun- und Steinkohle
Gesamt_PrimärMineralöl	Jährlicher Primärenergieeinsatz von Mineralöl
Gesamt_Strom_am_EEV	Anteil von Strom am Endenergieverbrauch
Gesamt_THG	Gesamte jährliche Treibhausgasemissionen
ggü.	gegenüber
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GHG	Greenhouse gas
GNuR_	Globale Nachhaltigkeit und Resilienz
GNuR_FußabdruckKonsum	Fußabdruck des Konsums
GNuR_MatImport	Abhängigkeit von Materialimporten
GNuR_THGProduktion	Treibhausgasemissionen aus Produktionstätigkeiten

Abkürzung	Erläuterung
ID	Identität/Identifikationsnummer
IGES	Institute for Global Environmental Strategies
Industrie_	Industrie
Industrie_Biomasseeinsatz	Jährlicher Biomasseeinsatz in der Industrie
Industrie_CO2proBIP	Jährliche Energie- und prozessbedingte CO ₂ -Emissionen der Industrie pro Einheit Bruttoinlandsprodukt
Industrie_Energiebedarf ProBIP	Endenergiebedarf der Industrie pro Einheit Bruttoinlandsprodukt
Industrie_ÖKGVerbrauch	Jährlicher Öl-, Kohle- und Erdgasverbrauch in der Industrie
Industrie_StahlSek	Jährliche Stahlproduktion in der schrottbasierten Sekundärroute
Industrie_StromAmEEV	Anteil von Strom am Endenergieverbrauch der Industrie
Industrie_THG	Jährliche Energie- und prozessbedingte THG-Emissionen des Industriesektors
Inf_	Infrastruktur
Inf_Elektrolyseure	Elektrische Leistungsaufnahme installierter und geplanter Elektrolyseure
Inf_FernwärmeGeb	Anteil der Fernwärme am Endenergieverbrauch der Gebäude
IT.NRW	Landesbetrieb Information und Technik NRW
KLIM_	Klima
KLIM_ERWRM1850	Abweichung der globalen Lufttemperatur von 1850*
KLIM_HOTDAYS	Anzahl der Tage mit einem Lufttemperatur-Maximum über 30 Grad Celsius (Gebietsmittel)
KLIM_THG	Emission der von der UN-Klimarahmenkonvention abgedeckten Treibhausgase*
KONS_	Private Haushalte und Konsum
KONS_NWI	Entwicklung des Nationalen Wohlfahrtsindex (NWI) und des Bruttoinlandsproduktes (BIP)
KONS_OEKOPROD	Marktanteile von Produkten mit staatlichen Umweltzeichen, nach Umsätzen gewichtet
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
LiKi	Länderinitiative Kernindikatoren
LUFT_	Luft
LUFT_BALL_NO2	Abstand der durchschnittlichen Schadstoffkonzentrationen zu WHO-Empfehlungen bzw. festgestellten Wirkungsschwellen im städtischen Hintergrund deutscher Ballungsräume* - Stickstoffdioxid

Abkürzung	Erläuterung
LUFT_BALL_O3	Abstand der durchschnittlichen Schadstoffkonzentrationen zu WHO-Empfehlungen bzw. festgestellten Wirkungsschwellen im städtischen Hintergrund deutscher Ballungsräume* - Ozon
LUFT_BALL_PM25	Abstand der durchschnittlichen Schadstoffkonzentrationen zu WHO-Empfehlungen bzw. festgestellten Wirkungsschwellen im städtischen Hintergrund deutscher Ballungsräume* - Feinstaub
LUFT_EMIS	Index der Luftschadstoff-Emissionen – Mittelwert der prozentualen Entwicklung verschiedener Luftschadstoff-Emissionen gegenüber 2005
LUFT_FSTAUB	Von Überschreitung des WHO-Richtwertes für Feinstaub (PM2.5) betroffene Bevölkerung*
LV	Latente Variable(n)
LW_	Landwirtschaft
LW_BedarfFossil	Jährlicher Bedarf an fossilen Energieträgern im Landwirtschaftssektor
LW_BiogasanlagenAnz	Biogasanlagen in Deutschland
LW_BiogasanlagenKap	Gesamte installierte elektrische Kapazität der Biogasanlagen in Deutschland
LW_Biomasseeeinsatz	Jährlicher Biomasseeeinsatz in der Landwirtschaft
LW_EEVProBWP	Endenergieverbrauch Landwirtschaft pro Einheit Bruttowertschöpfung
LW_MilchleistungInsgesamt	Milchleistung von Kühen insgesamt
LW_MilchleistungMilchkontrolle	Milchleistung von Kühen unter Milchleistungskontrolle
LW_Strom	Anteil von Strom am Endenergiebedarf des Landwirtschaftssektors
LW_THG	THG-Emissionen aus der Landwirtschaft: Gesamtmenge inkl. energiebedingter Emissionen
LW_THGVerkehr	Treibhausgase landwirtschaftlicher Verkehr (land- und forstwirtschaftliche Maschinen)
MOBI_	Verkehr
MOBI_GEEV	Endenergieverbrauch des Verkehrs
MOBI_LAERM_NACHT	Anteil der durch Verkehrslärm belasteten Bevölkerung
MOBI_LAERM_TAG	Anteil der durch Verkehrslärm belasteten Bevölkerung
MOBI_PEEV	Endenergieverbrauch des Verkehrs
MOBI_PVK_NONCARS	Anteil Fuß-, Fahrrad-, Eisenbahn- und Öffentlicher Straßenpersonenverkehr am Personenverkehrsaufwand*
MV	Manifeste Variable(n)
NPNK	Nationale Programm für nachhaltigen Konsum

Abkürzung	Erläuterung
NRC	National Research Council
Pkw	Personenkraftwagen
PuK_	Produktion und Verbrauch
PuK_ErzeugVerpackung sabf	Erzeugung von Verpackungsabfällen aus Kunststoff
PuK_MatFußabdruck	Materialfußabdruck
PuK_Ressourcenprod	Ressourcenproduktivität
PuK_Siedlungsabf	Aufkommen von Siedlungsabfällen
PuK_Verpackungsabf	Verpackungsabfälle
RACER	relevant, accepted, credible, easy und robust
RESS_	Ressourcenschonung: Rohstoffe und Abfall
RESS_EVERBR	Primärenergieverbrauch
RESS_PROD	Gesamtrohstoffproduktivität
RESS_RMC	Primärrohstoffnutzung für inländischen Konsum und Investitionen (RMC) pro Kopf *
RESS_SIEDLABF	Abfallaufkommen der Kategorie Siedlungsabfälle
SDG	Ziele für nachhaltige Entwicklung (engl. sustainable development goals)
SEM	Strukturgleichungsmodell/e (engl. structural equation model/s)
SMART	specific, measurable, achievable, relevant, time-bound/timely
SOAEM	Second Order Autoregressive Error Model (Autoregressives Fehlermodell 2. Ordnung)
Sr_	Sekundäre Rohstoffe
Sr_HandelWiederverwe ndete	Handel mit wiederverwertbaren Grundstoffen
Sr_NRWiederverwendu ng	Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe
TERR_	Fläche und Land-Ökosysteme
TERR_ARTEN	Bestand repräsentativer Vogelarten in verschiedenen Landschafts- und Lebensraumtypen*
TERR_EUTROS	Anteil der Fläche empfindlicher Land-Ökosysteme mit Überschreitung der Belastungsgrenzen für Eutrophierung
TERR_SUV	Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche*
THG	Treibhausgas

Abkürzung	Erläuterung
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
VAR	Vektorautoregressive (Modell/e)
Verkehr_	Verkehr
Verkehr_EE	Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors
Verkehr_EEV	Jährlicher Endenergiebedarf des Verkehrssektors
Verkehr_ELKWNeu	Anteil von vollelektrischen Lkw an den Gesamtzulassungen
Verkehr_EPKWBestand	Bestand an vollelektrischen Pkw
Verkehr_EPkwNeu	Anteil der Neuzulassungen von vollelektrischen Pkw
Verkehr_IndiV	Anteil des motorisierten Individualverkehrs an der Personenverkehrsleistung
Verkehr_ÖPNV	Anteil des öffentlichen Personenverkehrs an der Personenverkehrsleistung
Verkehr_StromEEV	Anteil von Strom am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors
Verkehr_THG	Jährliche THG-Emissionen des Verkehrssektors
Verkehr_VerbrauchDies Benz	Jährlicher Bedarf von fossilem Benzin- und Dieselmotor im Verkehrssektor
Verkehr_VerbrennerNeu	Anteil von Pkw mit Verbrennungsmotor an Neuzulassungen pro Jahr
WIRT_	Umweltgerecht Wirtschaften
WIRT_BSCHFT_EE	Anzahl der Beschäftigten im Bereich Erneuerbare Energien
WIRT_EMAS	Anzahl EMAS-registrierter Organisationen, Standorte und Beschäftigte
WIRT_UMWKOST	Umweltkosten durch Treibhausgase und Luftschadstoffe für Strom-, Wärmeerzeugung und Straßenverkehr
Wul_	Wettbewerbsfähigkeit und Innovation
Wul_BeschäftigteKreislauf	Beschäftigte in Sektoren der Kreislaufwirtschaft
Wul_Patente	Patente im Zusammenhang mit Recycling und Sekundärrohstoffen
Wul_PrivInv	Private Investitionen und Bruttowertschöpfung im Zusammenhang mit Sektoren der Kreislaufwirtschaft

Zusammenfassung

Hintergrund

Das Indikatorensystem des Umweltbundesamtes informiert über den Zustand und die Veränderungen der Umwelt. Das datenorientierte Angebot speist sich vor allem aus den Angeboten auf der Webseite des Umweltbundesamtes unter dem Reiter „Daten zur Umwelt“ (Umweltbundesamt, o.J.). Sie bieten einen datengetriebenen Einstieg in Umweltthemen und informieren über Umweltzustände. Hierunter stellt das Umweltbundesamt (UBA) auch Indikatoren zur Verfügung: Das Kernindikatorensystem des UBA (kurz: KIS) veranschaulicht Informationen zu den unterschiedlichsten Umweltbelastungen, Umweltzuständen, Umwelteinflüssen und Fortschritten in relevanten umweltpolitischen Handlungsfeldern. Umweltindikatoren sind zentrale Instrumente der Umweltberichterstattung, weil sie komplexe Zusammenhänge auf wesentliche Kenngrößen reduzieren. Aus den 55 Indikatoren des KIS wurde der Umweltmonitor (Umweltbundesamt, 2021, 2024b) entwickelt, der sich aus einem Teil der KIS-Indikatoren speist. Der Umweltmonitor liefert im klassischen Berichtsformat Aussagen über den Zustand der Umwelt und die Fortschritte in den wichtigsten umweltpolitischen Handlungsfeldern. Pro Thema stehen dabei drei Headline-Indikatoren zur Verfügung, die individuell bewertet werden. Diese Bewertung verwendet statistische Analyseverfahren, um Aussagen über die Entwicklung eines Indikators systematisch einschätzen zu können. Bei Indikatoren mit quantitativen Zielvorgaben erlaubt dieses Vorgehen Aussagen über den Zielerreichungsgrad, während es für Indikatoren mit Richtungsziel Aufschluss über kurz- und langfristige Entwicklungen gibt. Die Bewertungsmethodik beschränkte sich dabei immer isoliert auf einen Indikator. Wechselwirkungen zwischen Indikatoren bzw. deren Zielbereichen werden nicht berücksichtigt.

Projektziel

In den letzten Jahren wurden jedoch aus Richtung der Nachhaltigkeitsberichterstattung Stimmen laut, auch mögliche Wechselwirkungen zwischen SDG-Zielen/-Unterzielen in die Berichterstattung und die Politik einzubeziehen. Das Umweltbundesamt setzte mit dem vorliegenden Eigenforschungsprojekt an diesem systemischen Gedanken an. Die Forschungsfragen lauteten:

- Wie können bei der Bewertung von Indikatoren auch Wechselwirkungen zwischen Indikatoren bzw. deren Zielbereichen quantifiziert werden?
- Wie können Zusammenhänge entlang der DPSIR-Kette (Gabrielsen & Bosch, 2003, S. 6–10) nicht nur argumentativ beschrieben, sondern auch analytisch erfasst werden?
- Wie können die Ergebnisse einer solchen systemischen Betrachtungsweise für die Öffentlichkeit aufbereitet werden?

Das Hauptziel des Projekts bestand in der Entwicklung einer systematischen Methode, die fundierte Antworten auf diese Fragen liefert und auf die konkreten Inhalte und Rahmenbedingungen des UBA anwendbar ist. So kann die klassische Umweltberichterstattung zukünftig um systemische Analysen ergänzt werden.

Anforderungen an die Methode

Die entsprechende Methode sollte – neben der offensichtlichen Anforderung, Zusammenhänge zu erkennen – eine Vielzahl an Anforderungen erfüllen: Einerseits sollte sie auf unterschiedliche Indikatoren(-systemen) anwendbar sein. In diesem Sinne bestand der Anspruch, idealerweise eine „one-size-fits-all“-Methode zu finden. Zudem sollte sie glaubwürdig sein, d.h. sich vor allem

in der Forschung zu Indikatoren und/oder in der existierenden Umweltberichterstattung bewährt haben. Eine einfache Integrierbarkeit in bestehende Prozesse hatte ebenfalls hohe Priorität. In diesem Kontext wurde angestrebt, dass sie sich in einen standardisierten Workflow, bspw. in Form einer Webanwendung, übersetzen lässt. Eine Einarbeitung in komplexe statistische Verfahren sollte weder zur Nutzung der Methode noch zur Interpretation der Ergebnisse notwendig sein: Der Fokus lag auf Analysen, deren Verfahren und Ergebnisse transparent, verständlich und in mehreren Komplexitätsstufen kommunizierbar sind. Dieses Anforderungsprofil sollte die Entwicklung einer nicht zu komplexen und dennoch funktionalen Methode gewährleisten, deren Implementierung und langfristige Verwertung über das Projektende hinaus realistisch ist.

Vorgeschlagene Methode

Als Methode für die systemische Bewertung wurde ein dreistufiges Verfahren gewählt:

1. Korrelationsanalysen zwischen Indikatoren liefern Indizien für kausale Zusammenhänge.
2. Fachexperten*expertinnen schätzen ein, ob es sich bei den beobachteten statistischen Zusammenhängen um kausale Zusammenhänge handeln kann. Sie bewerten die Zusammenhänge hinsichtlich Richtung und Stärke.
3. Statistische Berechnung und fachliche Einschätzung werden final abgeglichen und bewertet. Die Experten*Expertinnen ordnen die Zusammenhänge inhaltlich ein. Es erfolgt eine redaktionelle Aufbereitung der Ergebnisse, die die zugrundeliegenden Bewertungsmaßstäbe transparent darstellt.

Korrelationsanalysen gehören zu den einfachen statistischen Verfahren, weshalb wenig statistisches Vorwissen für die Anwendung der Methode nötig ist. Dies sichert langfristige Anwendbarkeit und einen einfachen Wissenstransfer. Zudem geben Korrelationsanalysen einen Koeffizienten pro Zusammenhang aus. Dieser Aspekt ist wertvoll für die Kommunikation – sowohl mit der Öffentlichkeit als auch mit Fachexperten*expertinnen. Für Korrelationsanalysen spricht außerdem, dass sie bereits mehrfach Anwendung in wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu systemischen Zusammenhängen im SDG-Kontext sowie in Nachhaltigkeitsberichten fanden (Eurostat, 2022; Miola et al., 2019; Peters, 2022a, 2022b; Siragusa et al., 2024; Zhou et al., 2021).

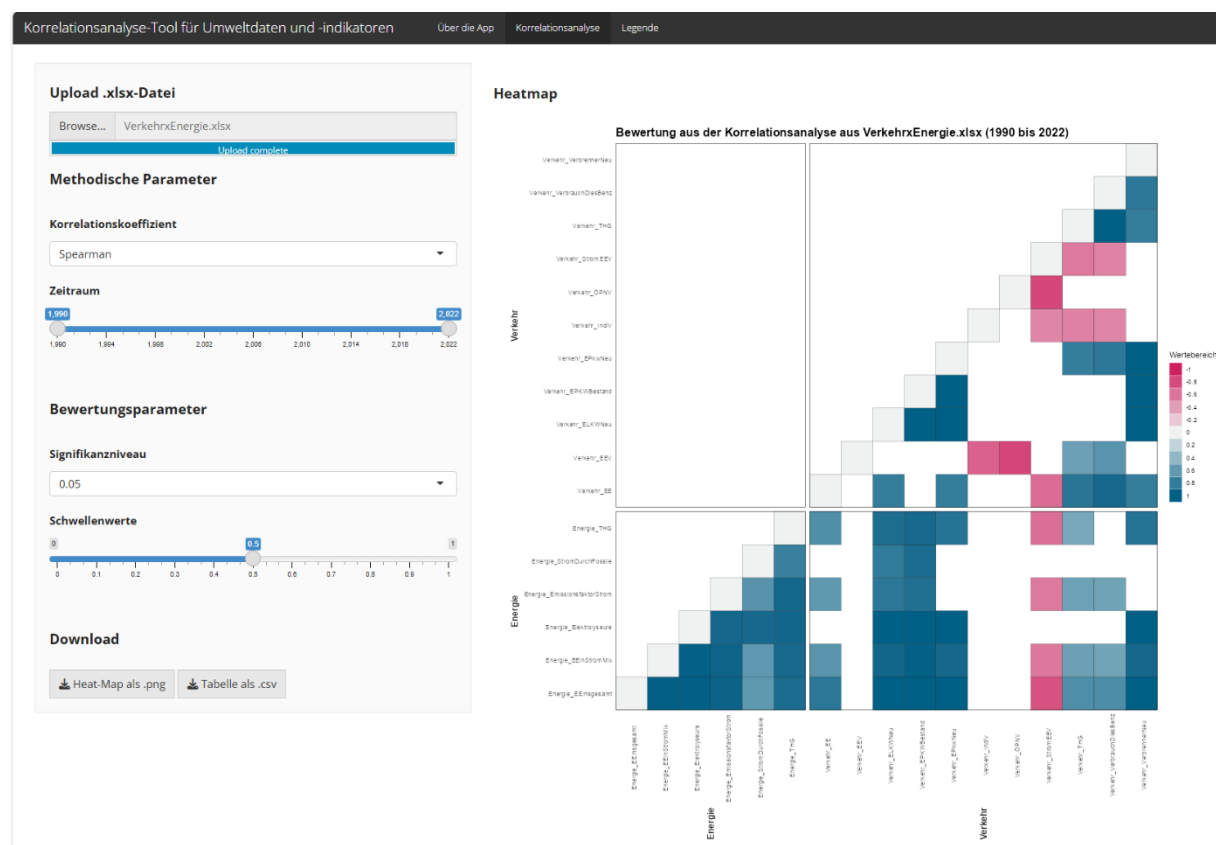
Die Notwendigkeit der Fachprüfung (Schritte 2 und 3) beruht darauf, dass Korrelationsanalysen nur Aussagen über statistische Zusammenhänge liefern. Sie erlauben nicht automatisch Rückschlüsse auf eine mögliche zugrundeliegende Kausalität. Das mehrstufige Verfahren mit obligatorischer Fachprüfung auf Basis eines standardisierten Fragebogens wird diesem Umstand gerecht und systematisiert die Analyse in größtmöglichem Maße.

Webanwendung zur Automatisierung der Korrelationsanalysen

Zur Durchführung der Korrelationsanalysen wurde im Projekt eine Webanwendung in der Programmiersprache R (R Core Team, 2022) unter Anwendung des Shiny-Pakets (Chang et al., 2023) entwickelt¹ (Abbildung 1 & Abbildung 2). Die Anwendung ermöglicht die Durchführung von Korrelationsanalysen für Indikatorensysteme. Gleichzeitig erlaubt sie die dynamische Anpassung der methodischen Parameter. Das Korrelations-Analyse-Tool sowie eine Handreichung dazu werden auf Anfrage vom UBA zur Verfügung gestellt.

¹ Für die vollständige Liste verwendeter Pakete Siehe Kapitel 3.1.

Abbildung 1: User-Interface des Korrelationsanalysetools (1/2)



Quelle: Eigene Darstellung, UBA. Basierend auf Indikatoren des Ariadne Transformation Tracker (Kopernikus Projekt Ariadne, 2024) und eigenen Berechnungen.

Abbildung 2: User-Interface des Korrelationsanalysetools (2/2)

Tabelle (Indikatorenpaar, Koeffizient (r), p-Wert und vorläufige Bewertung)

Show entries Search:

	x	y	coeff	p	Vorläufige Bewertung
131	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_EPkWNeu	0.87	0.024175	Indiz für starke Synergie
132	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_Indiv	-0.35	0.15402	Kein statistisch signifikanter Zusammenhang
133	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_ÖPNV	-0.953	0.000908	Indiz für starken Zielkonflikt
134	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_StromEEV	-0.462	0.030317	Indiz für mittelstarken Zielkonflikt
135	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_THG	0.995	0	Indiz für starke Synergie
136	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	0	1	Kein statistisch signifikanter Zusammenhang
137	Verkehr_VerbrennerNeu	Energie_EEInsgesamt	0.93	0.002405	Indiz für starke Synergie
138	Verkehr_VerbrennerNeu	Energie_EEinStromMix	0.727	0.064204	Kein statistisch signifikanter Zusammenhang
139	Verkehr_VerbrennerNeu	Energie_Elektrolyseure	0.968	0.000347	Indiz für starke Synergie
140	Verkehr_VerbrennerNeu	Energie_EmissionsfaktorStrom	0.509	0.242968	Kein statistisch signifikanter Zusammenhang

Showing 131 to 140 of 153 entries Previous 1 ... 12 13 14 15 16 Next

Quelle: Eigene Darstellung, UBA. Basierend auf Indikatoren des Ariadne Transformation Tracker (Kopernikus Projekt Ariadne, 2024) und eigenen Berechnungen.

Der Projektverlauf im Detail:

Die Literaturrecherche

Das erste Arbeitspaket beinhaltete mehrere Aufgaben. Den Kern dieses Projektabschnitts bildete die Methodengenerierung zur systemischen Bewertung, der eine ausführliche Literaturrecherche zu existierenden Ansätzen vorausging. Die Recherche beschäftigte sich aber auch mit unterschiedlichen Verfahren zur Bewertung von Indikatoren in Bezug auf Trendeinschätzung und Zielerreichung. Einen weiteren Fokus bildete das Screening von Kriterien zur Beurteilung der Qualität von Indikatoren.

Das Screening zu systemischen Bewertungen identifizierte Anwendungen von Korrelationsanalysen in der Nachhaltigkeitsberichterstattung. Als Beispiele sind Eurostat (Eurostat, 2022) auf europäischer Ebene und die Bertelsmann Stiftung auf kommunaler Ebene zu nennen (Peters, 2022b). Die Methoden, die im Rahmen der Nachhaltigkeitsberichterstattung angewendet wurden, konnten kausale Zusammenhänge jedoch nicht systematisch abbilden. Das Institute for Global Environmental Strategies (IGES) entwarf ein methodisches Vorgehen, das der Korrelationsanalyse eine Literaturrecherche voranstellt, um Aussagen über Kausalität aus den quantifizierten Zusammenhängen ableiten zu können (Zhou et al., 2021). An diesem Vorgehen orientiert sich die vorgeschlagene Methode für das UBA. Da die Reihenfolge des IGES-Ansatzes jedoch für das UBA unpraktikabel ist, wurde entschieden, zuerst die Korrelationsanalyse durchzuführen und die Einschätzung der Experten*Expertinnen daran anzuschließen. Strukturgleichungsmodelle (SEM) (MacCallum & Austin, 2000; Muthen & Satorra, 1995) und Vektorautoregressive Modelle (VAR) (Sims, 1980) wurden als Alternativmethoden ebenfalls in Betracht gezogen, jedoch abgelehnt: SEM sind zu kompliziert für eine Routinen im Verwaltungskontext und VAR tendenziell ungeeignet für Umweltdaten.

Die Recherche zu individuellen Bewertungsmethoden von Indikatorwerten und Trends präsentiert methodische Vorgehensweisen unterschiedlicher Institutionen, darunter das Statistische Bundesamt (Statistisches Bundesamt, 2021), Eurostat (Eurostat, 2022), das Bundesamt für Naturschutz (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2020), das Umweltbundesamt (Umweltbundesamt, 2019, 2021), die Länderinitiative Kernindikatoren (LiKi, 2022; Martone, 2013) und die Bertelsmann Stiftung (Bertelsmann Stiftung, o.J.).

An Qualitätskriterien liefert der Bericht ausführliche Informationen zu den SMART- (Doran, 1981; ECA, o.J.), RACER- (Europäische Kommission, 2023; Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016) und CREAM-Kriterien (Schiavo-Campo, 1999) für Leistungsindikatoren sowie zu den Kriterien für nationale Umweltindikatoren des National Research Councils (NRC) (National Research Council, 2000) und den kommunalen SDG-Indikatoren der Bertelsmann Stiftung (Peters, 2022a). Zudem entstand im Projekt – aufbauend auf den RACER-Kriterien – eine eigene Zusammenstellung von Kriterien, die konkret für die Arbeit mit Umweltindikatoren im UBA bestimmt ist.

Das exemplarische Indikatorensystem

Im zweiten Arbeitspaket wurde ein Indikatorensystem zum Thema „Treibhausgasneutralität“ befüllt, um eine realistische Anwendung der Methode zu simulieren. Dieses System musste als Testobjekt für funktionale Korrelationsanalysen einige Vorgaben erfüllen: Einerseits waren lange und vollständige Zeitreihen wichtig. Je mehr Datenpunkte Indikatoren besitzen, desto glaubhafter sind die Ergebnisse von Korrelationsanalysen. Viele Datenpunkte erlauben ggf. auch eine Verkürzung des Analysezeitraums. Andererseits sollten Indikatoren möglichst nationaler Dimension und insgesamt thematisch eng sein.

Das Indikatorensystem des Ariadne Transformation Tracker (Kopernikus Projekt Ariadne, 2024) zum Thema Treibhausgasneutralität erfüllte einen Großteil der Anforderungen. Die 47 Indikatoren weisen überwiegend viele Datenpunkte auf und es handelt sich ausschließlich um nationale Indikatoren. Thematische Enge ist trotz des Querschnittsthemas durch die Einteilung der Indikatoren nach Sektoren und dem konkreten Bezug zur deutschen Energiewende gegeben.

Da der Landwirtschaftssektor im Ariadne Transformation Tracker fehlt, wurde dieser eigenständig ergänzt. Der Auswahlprozess orientierte sich zur Systematisierung an den RACER-Kriterien, die in geeigneter Weise operationalisiert wurden. Als Ergebnis wurden zehn Indikatoren ergänzt.

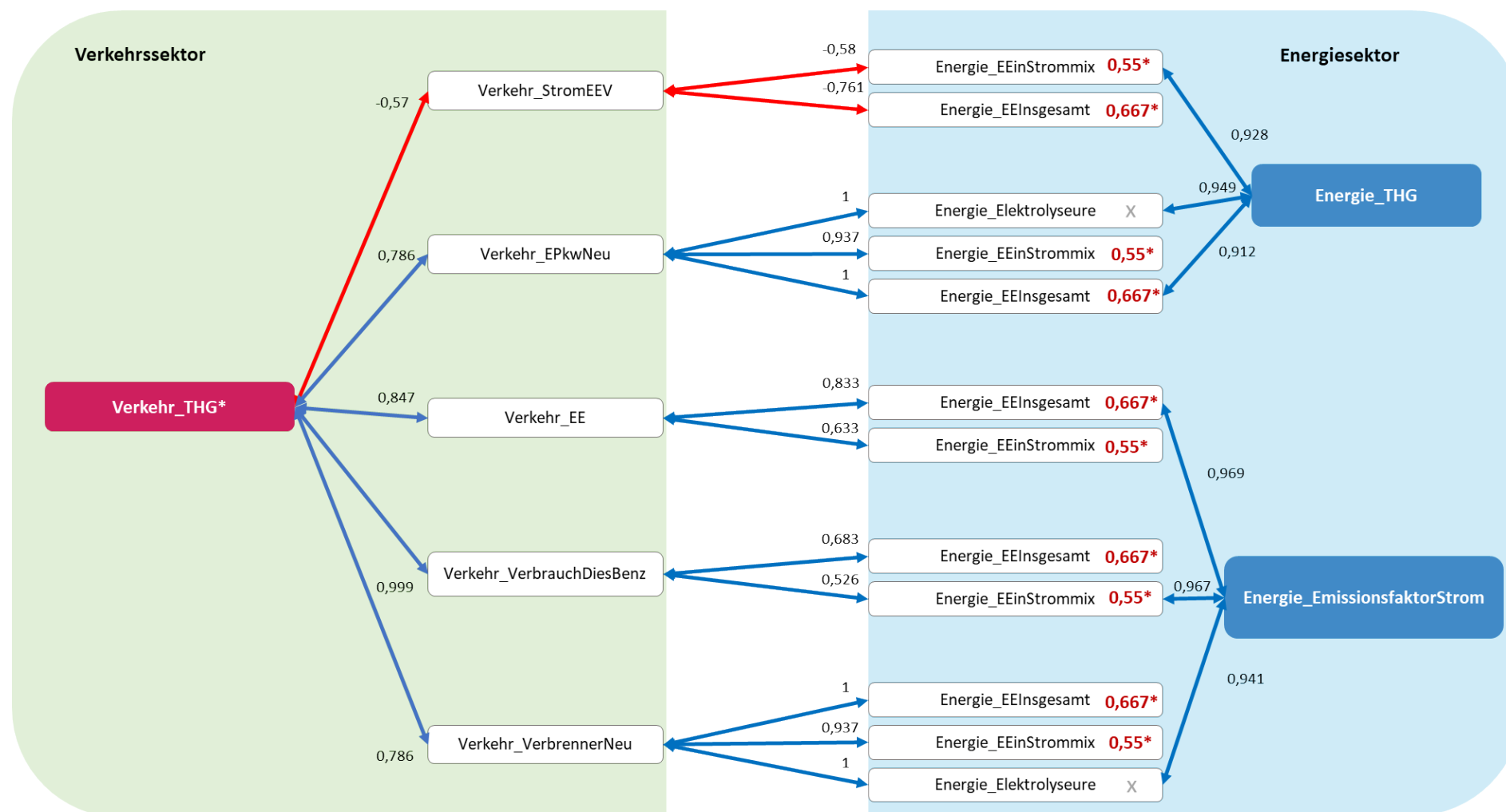
Der Praxistest

Für den Praxistest der Methode wurden stellvertretend der Verkehrs- und der Energiesektor ausgewählt. So konnte der Test in einem engen thematischen Kontext erfolgen und konkrete inhaltliche Fragen beantworten. Aufbauend auf den Bestrebungen der Treibhausgasminderung im Kontext des Klimaschutzgesetzes (KSG) (KSG, 2019) wurden diese Fragen gestellt:

1. Kann ein Sektor, der die geforderten Emissionsziele aktuell nicht erreicht, durch Fortschritte in einem Sektor profitieren, der die jährlichen Zielvorgaben einhält? Gibt es also mögliche Synergieeffekte durch Fortschritte in einem Sektor, die einen anderen Sektor ebenfalls voranbringen?
2. Kann die Methode Synergieeffekte und Zielkonflikte entlang der DPSIR-Kette quantifizieren?

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse können Abbildung 3 entnommen werden.

Abbildung 3: Korrelationen zwischen ausgewählten Indikatoren des Verkehrssektors und des Energiesektors



*Korrelationskoeffizient zwischen diesem Indikator und Indikator Verkehr_THG

X kein Zusammenhang zwischen diesem Indikator und Indikator Verkehr_THG

Quelle: Eigene Darstellung, UBA. Ergebnisse basieren auf eigenen Berechnungen mit Indikatoren des Ariadne Transformation Tracker.

Zwischen den beiden Sektoren zeigten sich synergetische Wirkungen vom Energiesektor auf den Verkehrssektor. Aus den bestätigten Zusammenhängen lässt sich schließen, dass synergetische Effekte zwischen Energie- und Verkehrssektor sowohl indirekt als auch direkt vorliegen. Der Verkehrssektor kann durch günstige Entwicklungen im Energiesektor profitieren und auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität unterstützt werden.

Insgesamt war der Praxistest erfolgreich. Die Forschungsfragen konnten überzeugend beantwortet werden. Die redaktionelle Aufbereitung der Analyseergebnisse von oder in Kooperation mit den Fachexperten*expertinnen kann methodische Schwächen bei zukünftiger Anwendung größtenteils ausgleichen. Die genannten Schwächen sind bei der Interpretation und Nutzung der Ergebnisse dennoch stets zu berücksichtigen.

Das Projekt schließt mit einem funktionalen Vorschlag zur systemischen Bewertung von Umweltindikatoren im Rahmen der Umweltberichterstattung ab. Die fundierte Methodik nach nationalem und internationalem Vorbild ist nach Projektabschluss zeitlich flexibel implementierbar, und die entwickelte IT-Lösung kann frei genutzt und weiterentwickelt werden. Alle Empfehlungen, Materialien und entstandenen Arbeitsmittel sind auf langfristige, breite Anwendbarkeit ausgerichtet.

Die wissenschaftlichen Projektergebnisse werden ergänzt durch maßgeschneiderte Empfehlungen zu ihrer Kommunikation an eine interessierte Öffentlichkeit sowie an spezifische Zielgruppen. Diese Empfehlungen sind wie die übrigen Projektinhalte auf langfristige, flexible Anwendbarkeit ausgelegt und tragen entscheidend zur Verwertbarkeit der Ergebnisse bei. Das Kommunikationskonzept wurde aus hausinterner Perspektive erarbeitet und berücksichtigt in hohem Maße die konkreten Rahmenbedingungen und Strukturen des Umweltbundesamts zum Zeitpunkt der Erstellung. Der Bericht stellt die wesentlichen Empfehlungen vor, beginnend mit strategischen und operativen Zielen sowie den Zielgruppen der Kommunikation. Einen zentralen Pfeiler des Konzepts bildet die Kommunikation der Ergebnisse in fünf zielgruppenspezifischen Komplexitätsstufen: Ein niedrigschwelliger Einstieg sollte verpflichtend angeboten werden, ergänzt um Optionen zum tieferen, selektiven Eintauchen in die Materie. Im Hinblick auf die Reichweite der Ergebnisse liefert das Konzept eine Übersicht der zur Verfügung stehenden und geeigneten Formate und Kanäle, um die Methode und/oder deren Ergebnisse extern zu bewerben. Auch konkrete Botschaften für die interne und externe Kommunikation sind enthalten. Weiterhin leitet das Konzept an, wie der Nachrichtenwert der Inhalte herausgearbeitet werden kann, um wichtige Multiplikator*innen gezielt(er) anzusprechen. Es empfiehlt eine verständliche Sprache und positive Tonalität – mit praktischen Beispielen und Hilfestellungen für beide Aspekte. Abschließend liegt ein besonderer Fokus auf der Aufbereitung der Inhalte für die Sozialen Medien, einschließlich eines im Projekt entwickelten und erprobten Prozesses zur fachübergreifenden Zusammenarbeit an gemeinsamen Social-Media-Projekten.

Summary

Background

The indicator system provided by the Umweltbundesamt (engl.: Federal Environmental Agency; short: UBA) informs about the state of the environment and environmental changes. This data-oriented service is primarily fed by the information available on the Federal Environment Agency's website under the "Data on the Environment" tab (Umweltbundesamt, n.d.). It offers a data-driven introduction to environmental topics and provides information on environmental conditions. In addition, the UBA provides indicators: The UBA's "Kernindikatorensystem" (engl.: core indicator system; short: KIS) illustrates information on a wide variety of environmental pressures, conditions, and influences, as well as progress in relevant environmental policy areas. Environmental indicators are key instruments of environmental reporting because they reduce complex relationships to essential parameters. The Environmental Monitor was developed from a part of the 55 KIS indicators (Umweltbundesamt, 2021, 2024b). In a traditional report format, it provides information on the state of the environment and progress in the most important areas of environmental policy. Three headline indicators are available for each topic, which are evaluated individually. This evaluation uses statistical analysis to systematically assess the development per indicator. For indicators with quantitative targets, this approach allows conclusions about the degree to which a target is being or has been met. For indicators with directional targets, it provides information about short- and long-term developments. Importantly, this evaluation methodology has so far been limited to each indicator on its own. Interactions between indicators or their targets are not taken into account.

Project objective

In recent years, however, there have been calls for possible interactions between Sustainable Development Goal (short: SDG) targets/sub-targets to be included in sustainability reporting and policy. The project addresses the following questions:

- ▶ How can interactions between indicators and their target areas be quantified when evaluating indicators?
- ▶ How can relationships along the DPSIR chain (Gabrielsen & Bosch, 2003, S. 6–10) be not only described argumentatively, but also captured analytically?
- ▶ How can the results of such a systemic approach be presented to the public?

The project's main objective was to develop a systematic method that provides well-founded answers to these questions and can be applied to the specific content and organizational framework. In doing so, existing environmental reporting can be expanded by systemic analyses in the future.

Requirements in choosing the method

In addition to the obvious requirement of identifying causal relationships, the method in question should meet a number of requirements: It should be applicable to a wide range of different indicator systems. In this sense, the aim was to ideally find a one-size-fits-all method. It should be credible, meaning it should have proven itself in research on indicators and/or in existing environmental reporting. In this context, the aim was to translate it into a standardized workflow, e.g. in the form of a web application. The focus was on analyses whose procedures and results are transparent, understandable, and communicable at several levels of complexity.

Proposed method

The method for systemic evaluation comprises a three-step process:

1. Correlation analyses between indicators hint at possible causal relationships (“indication of synergy/conflict of objectives”).
2. Experts assess whether the observed statistical correlations are plausible. They evaluate the relationships in terms of direction and strength.
3. Statistical calculations and expert assessments are conclusively aligned and evaluated (coordination with experts may be necessary). The experts contextualize the relationships’ messages. Editing texts that explain and contextualize the results.

Correlation analyses are among the simplest statistical methods, which is why little prior knowledge of statistics is required to apply the method. This ensures long-term applicability and easy knowledge transfer. In addition, correlation analyses provide one single coefficient for each relationship. This aspect is valuable for communication –with the public and experts. Another argument in favor of correlation analyses is that they have already been used several times in scientific publications on systemic relationships in the SDG context as well as in sustainability reports (Eurostat, 2022; Miola et al., 2019; Peters, 2022a, 2022b; Siragusa et al., 2024; Zhou et al., 2021).

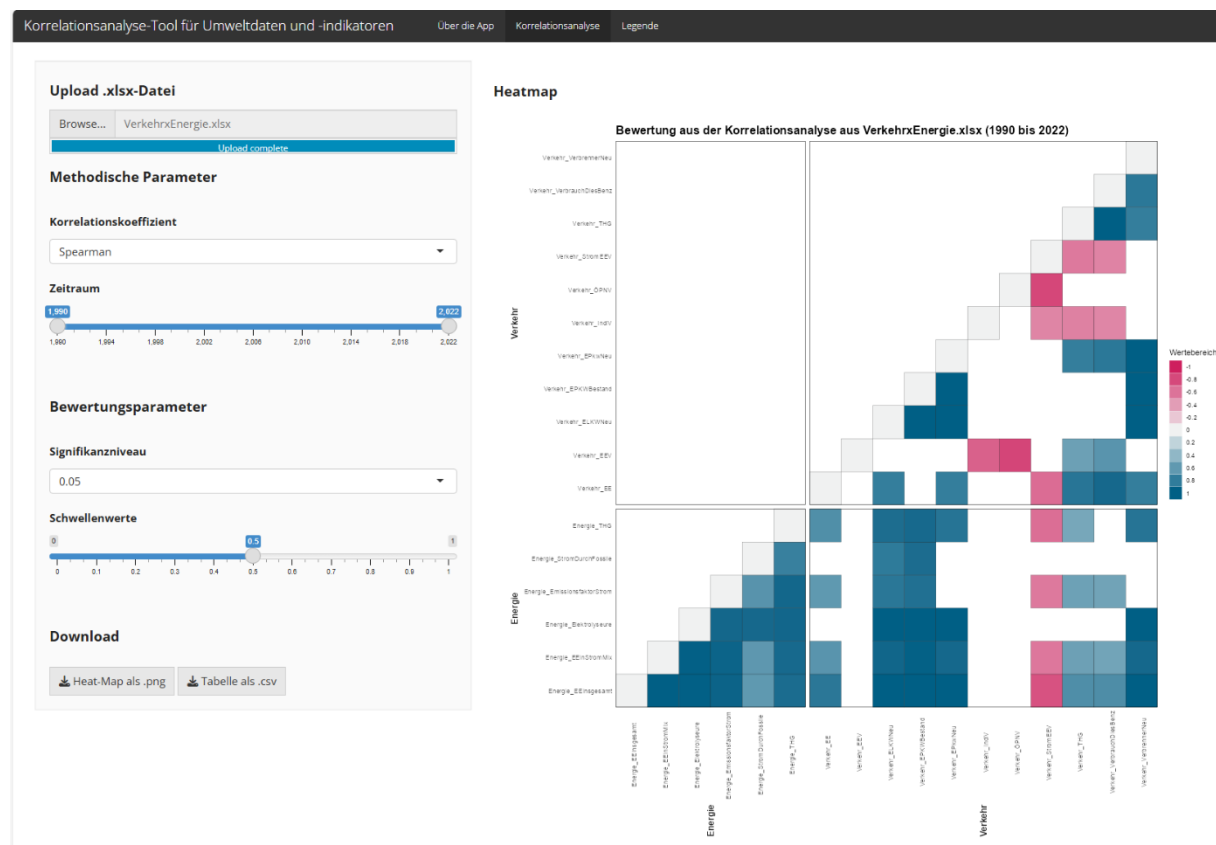
The need for expert review (steps 2 and 3) is based on the fact that correlation analyses only provide statements about statistical relationships. They do not automatically allow for conclusions to be drawn about a possible underlying causality. The proposed multi-stage process with mandatory expert review based on a standardized questionnaire takes this aspect into account and systematizes the analysis to the greatest possible extent.

Web application for automating correlation analyses

A web application was developed in the R programming language (R Core Team, 2022) using the Shiny package (Chang et al., 2023) (figures 1 and 2).² This application enables correlation analyses to be carried out for indicator systems. At the same time, it allows for the methodological parameters to be dynamically adjusted. The correlation analysis tool and a related guide are available from the UBA upon request.

² For the complete list of used packages, see chapter 3.1.

Figure 1: User interface of the correlation analysis tool (1/2)



Source: Original image, UBA. Based on indicators from the Ariadne Transformation tracker (Kopernikus Projekt Ariadne, 2024) and own calculations (*German only*).

Figure 2: User interface of the correlation analysis tool (2/2)

Tabelle (Indikatorenpaar, Koeffizient (r), p-Wert und vorläufige Bewertung)

Show entries Search:

	x	y	coeff	p	Vorläufige Bewertung
131	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_EPkwNeu	0.87	0.024175	Indiz für starke Synergie
132	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_IndiV	-0.35	0.15402	Kein statistisch signifikanter Zusammenhang
133	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_ÖPNV	-0.953	0.000908	Indiz für starken Zielkonflikt
134	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_StromEEV	-0.462	0.030317	Indiz für mittelstarken Zielkonflikt
135	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_THG	0.995	0	Indiz für starke Synergie
136	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	0	1	Kein statistisch signifikanter Zusammenhang
137	Verkehr_VerbrennerNeu	Energie_EEInsgesamt	0.93	0.002405	Indiz für starke Synergie
138	Verkehr_VerbrennerNeu	Energie_EEinStromMix	0.727	0.064204	Kein statistisch signifikanter Zusammenhang
139	Verkehr_VerbrennerNeu	Energie_Elektrolyseure	0.968	0.000347	Indiz für starke Synergie
140	Verkehr_VerbrennerNeu	Energie_EmissionsfaktorStrom	0.509	0.242968	Kein statistisch signifikanter Zusammenhang

Showing 131 to 140 of 153 entries Previous 1 ... 12 13 14 15 16 Next

Source: Original image, UBA. Based on indicators from the Ariadne Transformation Tracker (Kopernikus Projekt Ariadne, 2024) and own calculations (*German only*).

The project process in detail:

Literature review

The first work package comprised several tasks. The core of this project section was the development of a methodology for systemic evaluation, which was preceded by a detailed literature review of existing approaches. However, the research also dealt with different methods for evaluating indicators in terms of trend assessment and target achievement. Another focus consisted in screening criteria used to assess the quality of indicators.

The screening of systemic assessments identified applications of correlation analyses in sustainability reporting. Examples include Eurostat (Eurostat, 2022) at the European level and the Bertelsmann Foundation (Peters, 2022b) at the municipal level. However, the methods used in sustainability reporting were unable to systematically map causal relationships. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES) developed a methodological approach that precedes correlation analysis with a literature review in order to derive statements about causality from the quantified relationships (Zhou et al., 2021). The proposed UBA-specific method is based on this approach. However, since the sequence of the IGES approach is impractical for the UBA, it was decided to first carry out the correlation analysis and then follow up with the experts' assessment. Structural equation models (SEM) (MacCallum & Austin, 2000; Muthen & Satorra, 1995) and vector autoregressive models (VAR) (Sims, 1980) were also considered as alternative methods, but were rejected: SEM are too complicated for routine use in an administrative context, and VAR tend to be unsuitable for environmental data.

The research on individual methods for evaluating indicator values and trends presents methodological approaches used by various institutions, including the Federal Statistical Office (Statistisches Bundesamt, 2021), Eurostat (Eurostat, 2022), the Federal Agency for Nature Conservation (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2020), the UBA (Umweltbundesamt, 2019, 2021), the State Initiative on Core Indicators (LiKi, 2022; Martone, 2013) and the Bertelsmann Foundation (Bertelsmann Stiftung, n.d.).

In terms of quality criteria, the report provides detailed information on the SMART criteria (Doran, 1981; ECA, o.J.), RACER criteria (Europäische Kommission, 2023; Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016), and CREAM criteria (Schiavo-Campo, 1999) for performance indicators, as well as on the criteria for national environmental indicators of the National Research Council (National Research Council, 2000) and the municipal SDG indicators of the Bertelsmann Foundation (Peters, 2022a). In addition, the project developed its own set of criteria based on the RACER criteria, which is specifically intended for use with environmental indicators by the UBA.

Exemplary indicator system

In the second work package, an indicator system on the topic of "greenhouse gas (GHG) neutrality" was compiled in order to simulate a realistic application of the method. As a test object for functional correlation analyses in the UBA context, this system had to meet a number of requirements: On the one hand, long and complete time series were important. The more data points indicators have, the more credible the results of correlation analyses are. Many data points may also allow the analysis period to be shortened. On the other hand, indicators should be of national scope and the overall system was required to focus on a narrow topic.

The Ariadne Transformation Tracker's indicator system on greenhouse gas neutrality (Kopernikus Projekt Ariadne, 2024) met most of the requirements. The 47 indicators mostly contain a large number of data points and are exclusively national indicators. Despite the cross-

sectoral nature of the topic, the indicators are thematically narrow due to their classification by sector and their specific relevance to the German energy transition.

As the agricultural sector is missing from the Ariadne Transformation Tracker, it was added independently. The selection process was based on the RACER criteria, which were operationalized in an appropriate manner. As a result, ten indicators were added.

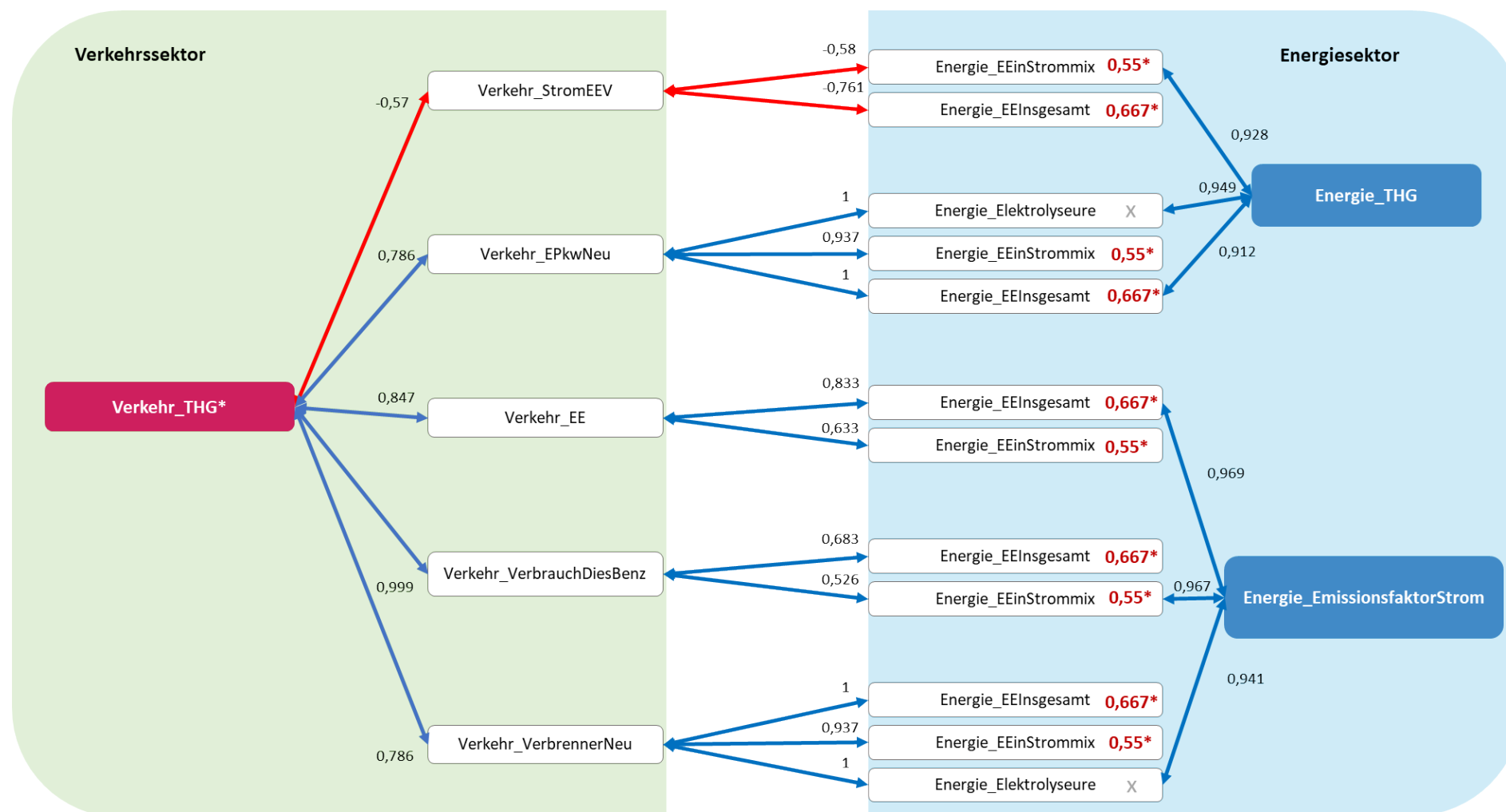
Practical test

Since the Ariadne indicator system was too large for a practical test of the method, two sectors were selected as representatives. This allowed the test to be conducted within a narrow thematic context and to answer specific questions. Building on the efforts to reduce greenhouse gases in the context of the Climate Protection Act (KSG, 2019), the following questions were addressed:

1. Can a sector that is currently not meeting the required emission targets benefit from progress in a sector that is meeting its annual targets? In other words, are there potential synergy effects from progress in one sector that also advance another sector?
2. Is the method able to quantify links along the DPSIR chain?

The results of the correlation analysis are visualized in figure 3.

Figure 3: Correlations between selected indicators from the transport sector and the energy sector



*Korrelationskoeffizient zwischen diesem Indikator und Indikator Verkehr_THG

X kein Zusammenhang zwischen diesem Indikator und Indikator Verkehr_THG

Source: Original image, UBA. Based on indicators from the Ariadne Transformation Tracker and own calculations (German only).

Between the two sectors, synergistic effects were observed as well, with the energy sector having an impact on the transport sector. In conclusion, the confirmed correlations suggest that there are both indirect and direct synergistic effects between the energy and transport sector. The transport sector can benefit from favorable developments in the energy sector and be promoted on its path to GHG neutrality.

Overall, the practical test was successful. The research questions were answered convincingly. In future applications, editorial contextualization of the analysis results by or in cooperation with the reviewing experts can largely compensate for methodological weaknesses. Nevertheless, the weaknesses mentioned must always be taken into account when interpreting and using the results.

The project concludes with a functional proposal for systemic evaluation of environmental indicators in the context of environmental reporting. The well-substantiated methodology – designed by national and international example – can be implemented flexibly after the project has been completed, and the IT solution developed can be freely used and further developed in-house. All recommendations, materials, and tools developed are designed for long-term, broad applicability.

The scientific project results are complemented by tailored recommendations on how to communicate them to an interested public audience and specific target groups. Like all project materials, these recommendations are designed for long-term, flexible applicability and contribute significantly to the usability of the results. The communication concept was developed from an internal perspective and takes into account the specific framework conditions and structures of the German Environment Agency at the time of its creation. It therefore contains a lot of internal information and is not published with this report. However, the report presents the key recommendations, starting with strategic and operational goals as well as the target groups for communication. Furthermore, the concept places great emphasis on communicating the results in five target group-specific complexity levels: Offering a low-threshold introduction should be obligatory, to be complemented by options for a deep(er) dive into the matter. With regard to the reach of the results, the concept provides an overview of the available and suitable formats and channels for promoting the method and/or its results externally. It also includes specific messages for internal and external communication. Furthermore, the concept provides guidance on how to highlight the news value of the content in order to address important multipliers in a (more) targeted manner. It recommends using understandable language and a positive tone – with practical examples and guidance for both aspects. Finally, the concept focusses in depth on preparing content for social media, including a designated process for inhouse interdisciplinary collaboration on joint social media projects that was developed and tested in the project.

1 Einleitung

Indikatoren sind ein zentrales Instrument der Umweltberichterstattung des Umweltbundesamts (UBA). Sie reduzieren komplexe Umweltaspekte auf wesentliche Kenngrößen. In vielen Fällen bieten sie einen Soll-Ist-Vergleich, der auf einen Blick veranschaulicht, ob sich ein bestimmter Umweltaspekt in Richtung des politischen Ziels entwickelt. Statistische Analysen systematisieren dies, indem sie detailliert über den Grad der Zielerreichung/-verfehlung oder über kurz- und langfristige Entwicklungen informieren. Diese Bewertung führt das Umweltbundesamt bisher nur isoliert pro Indikator durch. Dadurch bleiben Wechselwirkungen zwischen Indikatoren beziehungsweise ihren Zielen bisher unsichtbar: Bringt die wünschenswerte Entwicklung eines Indikators auch andere Indikatoren dem Ziel näher (Synergieeffekte) oder stehen Umweltziele im Konflikt zueinander? Das vorliegende Projekt diene der Entwicklung einer UBA-spezifischen Methodik nach (inter-)nationalem Vorbild, die fundierte Aussagen über diese Wechselwirkungen erlaubt.

Eine schnelle und einfache Übersicht über den aktuellen Zustand von Umweltmedien oder Fortschritten in wichtigen umweltpolitischen Handlungsfeldern bietet das UBA Kernindikatorensystem (kurz: KIS) mit einer Sammlung von 55 Umweltindikatoren. Umweltindikatoren stellen schon seit Jahrzehnten beliebte Messinstrumente in der Umweltberichterstattung dar, um Informationen über den Zustand und Veränderungen von Umweltmedien, Umwelteinflüssen und deren Verursachern, Umweltauswirkungen und Maßnahmen zum Umweltschutz zu beschreiben und zu kommunizieren.

Im Rahmen des Umweltmonitors wurden pro Thema drei Headline Indikatoren herausgegriffen und in einem gesonderten Berichtsformat veröffentlicht (Umweltbundesamt, 2021, 2024b). Wie in vielen anderen umweltbezogenen Berichtsformaten bspw. zur Biodiversität (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2020), oder auch zur nachhaltigen Entwicklung (Statistisches Bundesamt, 2021), wurden auch im Umweltmonitor Entwicklungen von Indikatoren im Bezug zu vorliegenden Zielen bewertet. Hierbei wurden analytische Methoden angewendet, um die folgenden Fragen zu beantworten (Umweltbundesamt, 2021, S. 100–102): Ist der Indikator auf Zielkurs? Bewegt sich der Indikator in die richtige Richtung? Damit wird versucht im Rahmen der Berichterstattung zu ermitteln, wie es um einzelne Themen steht: Welchem Umweltmedium geht es gut; welchem eher schlecht? In welchem umweltpolitischen Handlungsfeld sind Fortschritte zu erkennen und in welchem Rückschritte? Hierzu wurden methodische Verfahren erarbeitet und angewandt, um eine systematische Bewertung aller Indikatoren zu ermöglichen. Dieses methodische Instrumentarium wurde dabei immer pro Indikator angewendet, um für jeden einzelnen Indikator eine Einschätzung bezüglich seiner Entwicklung zu liefern.

Systemische Zusammenhänge sind zwar durch argumentative Beschreibungen, bzw. durch Untermauerung mit Literatur- und Expertenmeinungen möglich, nur fehlt es oft an einem systematischen Ansatz. Eine derartige systematisierte holistische Perspektive wurde in den letzten Jahren der Forschung zu Zusammenhängen zwischen den 17 Zielen für nachhaltige Entwicklung (SDG) bereits mittels unterschiedlichster Methoden versucht zu ergründen und bietet eine gute Grundlage für ein systematisches methodisches Vorgehen im UBA.³ Neben der systemischen Analyse in wissenschaftlichen Veröffentlichungen wurden auch in der Nachhaltigkeitsberichterstattung systemische Bewertungen durchgeführt: So wurden bereits Vorschläge zu einer systemischen Bewertung in der Nachhaltigkeitsberichterstattung auf

³ Ausführliche Beispiele folgen im Kapitel 2.3. Für einen Überblick zu den unterschiedlichsten Ansätzen in der Literatur zu Zusammenhängen zwischen SDGs eignen sich Miola et al. (2019); Siragusa et al. (2024)

kommunaler Ebene erbracht und es gab bereits auf EU-Ebene eine erste Umsetzung eines systematischen Bewertungsansatzes (Eurostat, 2022; Peters, 2022a, 2022b).

Das Eigenforschungsprojekt „Indikatoren für eine systemische Berichterstattung“ setzt an den genannten Entwicklungen an. Es soll eine Methode konzeptioniert werden, die es ermöglicht, im Rahmen der Umweltberichterstattung, Zielkonflikte und Synergien zwischen und innerhalb von Umweltthemen systematisch quantifizieren zu können. Ziel ist die Erweiterung der individuellen Bewertungen im Rahmen der Umweltberichterstattung um eine systemische Komponente, um Zusammenhänge im Indikatorensystem zwischen den Indikatoren bzw. zwischen den Themen zu offenbaren und zu kommunizieren.

2 Methodengenerierung systemische Bewertung und Screening zu Qualitätskriterien und individuellen Bewertungsmethoden von Indikatoren

2.1 Qualitätskriterien für Indikatoren

Qualitätskriterien für Indikatoren können für eine fachliche Begründung bei der Auswahl von Indikatoren herangezogen werden. Das folgende Kapitel stellt fünf bestehende Ansätze vor, mit denen Indikatoren in ihrer Qualität bewertet und vergleichbar gemacht werden können. Der sechste Vorschlag bildet einen eigenen Ansatz basierend auf der durchgeführten Recherche.

2.1.1 SMART

Bei der Einschätzung der Qualität von Indikatoren stellen die „SMART“-Kriterien eine der bekanntesten Kriterien dar. Die Zusammenstellung der Kriterien dieses Prinzips ist auf George T. Doran zurückzuführen, welcher im Rahmen seiner wissenschaftlichen Veröffentlichung „There’s a S.M.A.R.T. way to write management’s goals and objectives“ (Doran, 1981) ebenjene Qualitätskriterien erstmals vorstellte.

Jeder Buchstabe des Akronyms steht hier für ein Qualitätskriterium (*specific, measurable, achievable/attributable, relevant, timely*). An dieser Stelle ist jedoch zu erwähnen, dass die Bedeutung der einzelnen Buchstaben zwischen unterschiedlichen Institutionen, die die SMART-Kriterien nutzen, deutlich variieren kann (Bours, 2014). Es werden die Bezeichnungen vorgestellt, die am verbreitetsten verwendet werden. Indikatoren sollten:

- ▶ *specific* sein, d.h. der Indikator sollte nicht vage, sondern so konkret wie möglich definiert sein und eine direkte Verbindung zum angestrebten Ergebnis aufweisen (ECA, o.J.).
- ▶ *measurable* sein. Ein Indikator sollte messbar und analysierbar sein, sodass Fortschritte zum Ziel festgestellt werden können (ECA, o.J.).
- ▶ *achievable und attributable* sein. Es sollte erkennbar sein, ob eine Zielerreichung im Rahmen des Möglichen liegt (ECA, o.J.). Alle Änderungen, auf die der Indikator hinweist, sollten konkret auf die zugrundeliegende Maßnahme zurückverfolgbar sein, d.h. dass sich nur Maßnahmen in veränderten Indikatorwerten niederschlagen (ECA, o.J.).
- ▶ *relevant* sein, d.h. das gewünschte Ergebnis sollte durch den Indikator gemessen werden können (ECA, o.J.). Der Bezug des Indikators zum Ergebnis sollte auf Expertenmeinungen und/oder wissenschaftlichen Theorien basieren (ECA, o.J.).
- ▶ *timely* sein. Die Datensammlung sollte kosteneffizient möglich sein (ECA, o.J.).

2.1.2 RACER

Die „RACER“-Kriterien stellen neben den „SMART“-Kriterien die wohl zweitbekanntesten Qualitätskriterien für Indikatoren dar. Auch hier steht jeder Buchstabe des Akronyms für ein Qualitätskriterium (*relevant, accepted, credible, easy und robust*) (Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016, S. 10). Entsprechend dieser Idee sollten Indikatoren:

- ▶ relevant (*relevant*) sein, d.h. sie sollten eine enge Verbindung zum Ziel aufweisen bzw. dieses konkret messen (Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016, S. 10).
- ▶ von wesentlichen Stakeholdern akzeptiert (*accepted*) werden und so konkret wie möglich definiert sein (Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016, S. 10).
- ▶ glaubwürdig (*credible*) sein. Für Laien und Politiker sollten Indikatoren eindeutig und leicht verständlich sein (Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016, S. 10).
- ▶ leicht messbar (*easy*) sein. Dies bedeutet, dass die entsprechenden Daten zur Berechnung des Indikators kostengünstig zu erheben bzw. zu sammeln sein sollten (Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016, S. 10).
- ▶ manipulationssicher und theoriegestützt (*robust*) sein (Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016, S. 10).

2.1.3 CREAM

Die „CREAM“-Kriterien wurden erstmals 1999 von Schiavo-Campo innerhalb der wissenschaftlichen Veröffentlichung „Strengthening “Performance” in Public Expenditure Management“ vorgestellt (Schiavo-Campo, 1999). In dieser Veröffentlichung wurden Kriterien entwickelt, die genutzt werden können um qualitativ hochwertige Performance-Indikatoren auszuwählen. Wie bei den vorherigen Kriterien, steht auch bei CREAM jeder Buchstabe für ein Unterkriterium (*clear, relevant, economic, adequate, monitorable*), das erfüllt sein muss. Indikatoren sollten:

- ▶ *clear* sein, d.h. Indikatoren sollten „präzise und eindeutig“ (Schiavo-Campo, 1999, S. 31) definiert sein.
- ▶ *relevant* sein, d.h. im engen Kontext mit dem entsprechenden Ziel stehen (Schiavo-Campo, 1999, S. 31).
- ▶ *economic* sein, d.h., dass eine Datenerhebung und Datenaktualisierung in einem guten Kosten-Nutzen Verhältnis stehen sollte (Schiavo-Campo, 1999, S. 31).
- ▶ *adequat sein*, d. h. gut dazu geeignet sein Fortschritt zum Ziel einschätzen zu können (Schiavo-Campo, 1999, S. 31).
- ▶ *monitorable* sein. Das bedeutet, dass ein Indikator „zugänglich für unabhängige Kontrollen“ (Schiavo-Campo, 1999, S. 31) sein sollte.

2.1.4 Bertelsmann Stiftung

Die Bertelsmann Stiftung hat in ihrem „Indikatorenkatalog für Kommunen“ fünf Qualitätskriterien präsentiert, mit denen Indikatoren im Rahmen der „SDG Indikatoren für Kommunen“ bewertet und in zwei übergeordnete Qualitätstypen eingeordnet werden: Indikator Typ I und Indikator Typ II (Peters, 2022a, S. 27). Der Erfüllungsgrad des entsprechenden Qualitätskriteriums wird in drei Stufen mit xxx, xx oder x bewertet (Peters, 2022a, 25 f.).

Die Datenverfügbarkeit eines Indikators bestimmt, ob es sich um einen Indikator Typ I oder Indikator Typ II handelt (Peters, 2022a, S. 25). Neben dem zentralen Bezug der Daten (für mindestens zwei Kommunen) „sind die regelmäßige Erhebung der Daten in einem mindestens

sechsjährigen Zyklus und die Verfügbarkeit bzw. Aufbereitung ohne größeren (manuellen) Aufwand“ (Peters, 2022a, S. 25) entscheidend. Können diese von öffentlichen Behörden (xxx) oder von „wissenschaftlichen oder anderen zentralen Einrichtungen“ (Peters, 2022a, S. 25) bezogen werden (xx), so werden entsprechende Indikatoren als Typ I klassifiziert.

Wenn die entsprechenden Daten nicht durch zentrale Einrichtungen zur Verfügung gestellt werden können, deren Beschaffung aber ohne große Anstrengung möglich ist oder eine dezentrale Erhebung durch Kommunen erforderlich ist (x), handelt es sich um Indikatoren vom Typ II (Peters, 2022, S. 25, 27).

Für jeden Typus gibt es einen Mindesterfüllungsgrad, der für jedes Unterkriterium erfüllt sein muss (Peters, 2022a, S. 27).

Das wichtigste Qualitätsmerkmal ist die Validität (Peters, 2022a, S. 25). Validität bezieht sich auf die inhaltliche Eignung zur Messung eines konkreten Zieles (Peters, 2022a, S. 25). Hier wird die Eigenschaft des Indikators danach bewertet wie treffend ein Indikator das Ziel inhaltlich abbildet. Bei Indikatoren vom Typ I ist eine eingeschränkte Validität hinreichend, bei Indikatoren vom Typ II müssen diese als vollständig valide eingestuft werden (Peters, 2022a, S. 27).

Ein weiteres Qualitätsmerkmal ist die Verständlichkeit (Peters, 2022a, S. 25). Indikatoren und deren Bezug zum Ziel müssen verständlich sein (Peters, 2022a, S. 26). Der Indikator selbst und die spezifische Verbindung zu dem respektiven Ziel sind ad hoc nachvollziehbar und leicht verständlich und verlangen keine weitere Erklärung (Peters, 2022a, S. 26). Bei Indikatoren vom Typ I ist eine eingeschränkte Verständlichkeit ausreichend (Peters, 2022a, S. 27). Indikatoren vom Typ II müssen vollständig verständlich sein (Peters, 2022a, S. 27).

Datenqualität ist eine ebenso wichtige Dimension von Indikatoren. Dieser Aspekt „bezieht sich auf die Einheitlichkeit des Datenerhebungskonzepts als Grundlage für die Vergleichbarkeit der Daten aus verschiedenen Kommunen.“ (Peters, 2022a, S. 25). Von Bedeutung ist in diesem Punkt, dass die Daten verlässlich erhoben/gemessen werden, vollständig, repräsentativ und frei von Messfehlern sind (Peters, 2022a, S. 26). Datenqualität besteht bei Bertelsmann demnach aus mehreren Dimensionen: Vergleichbarkeit, Genauigkeit/Verlässlichkeit, Vollständigkeit, Repräsentativität und Freiheit von Messfehlern (Peters, 2022a, S. 27). Die Bewertung erfolgt ausschließlich für Indikatoren vom Typ I und muss mindesten mit Einschränkungen zutreffen (xx) (Peters, 2022a, S. 27)

Der letzte Qualitätsaspekt bezieht sich auf die Funktion des Indikators (Peters, 2022a, S. 26). Konkret um die Art, d.h. ob es sich um einen Input-Indikator, Output-Indikator, Outcome-Indikator oder Impact-Indikator handelt (Peters, 2022a, S. 26).

2.1.5 Kriterien für fachliche Arbeit

Während der Projektarbeit kristallisierte sich der Bedarf nach einer Zusammenstellung von Qualitätskriterien heraus, die in besonderer Weise für umweltrelevante Indikatoren-Systeme geeignet sind.

Eine Orientierung an den RACER Kriterien war nach Einschätzung der Autoren und Diskussion mit Fachleuten besonders geeignet. Eine Einzelbetrachtung der RACER-Kriterien ergab abschließend eine abgewandelte Version, in der einzelne Teilaspekte entweder angepasst (bspw. Robustheit) oder weiter ausdifferenziert wurden (bspw. Relevanz). Da die Teilaspekte im resultierenden Factsheet auf Deutsch erklärt werden, können die „neuen“ RACER-Kriterien auch RAGER-Kriterien genannt werden.

Relevanz – Ein Indikator sollte relevant sein.

Der Indikator sollte **inhaltlich geeignet sein den entsprechenden Umweltsachverhalt zu beschreiben** (Jänicke & Zieschank, 2004, 52 f.; National Research Council, 2000, 52 f.) und/oder **Ergebnisse einer Politik zu messen** (Europäische Kommission, 2023, S. 364; Jänicke & Zieschank, 2004, 52 f.). Dabei ist die Einschätzung der Relevanz davon abhängig, welche Intention hinter einem Indikator steckt: Dabei kann man zwischen einer objektbezogenen Relevanz und einer zielbezogenen Relevanz unterscheiden.

Soll ein Indikator erstellt werden, um einen Aspekt eines Umweltsachverhalts oder -problems zu beschreiben, so sollte darauf geachtet werden, dass der Indikator dafür geeignet ist, Aussagen über den entsprechenden Sachverhalt treffen zu können. (Jänicke & Zieschank, 2004, 52 f.) Wir sprechen hierbei von einer **objektbezogenen Relevanz**. Hier ist es hilfreich, auf konzeptionelle Überlegungen des zu indizierenden Systems und wissenschaftliche Erkenntnisse zurückzugreifen (Jänicke & Zieschank, 2004, S. 52; National Research Council, 2000, 52 f.).⁴

Idealerweise hat ein Indikator zudem einen umweltpolitischen Bezug, und ist geeignet Ergebnisse einer Politik abzubilden bzw. zu messen (Jänicke & Zieschank, 2004, 52 f.). Durch eine **zielbezogene Relevanz** (Jänicke & Zieschank, 2004, 52 f.), d.h. einer engen Verbindung zu einem (Umwelt-)ziel, können Fortschritte konkreter Politiken an der Entwicklung des Indikators abgelesen werden (Jänicke & Zieschank, 2004, 52 f.). Damit geht auch einher, dass ein Indikator **politiksensitiv**, also politisch beeinflussbar, sein sollte. Idealerweise liegt bei einem Umweltindikator (Ist-Situation) ein **quantitatives Ziel** zu einem konkreten Zeitpunkt (Soll-Situation) vor. In diesem Fall handelt es sich nämlich um einen sogenannten Leistungsindikator, der einen Soll-Ist-Vergleich erlaubt, wodurch der Zielerreichungsgrad bzw. der noch offene Handlungsbedarf hin zu einem Ziel ermittelt werden kann (Gabrielsen & Bosch, 2003, 13 f.).

Akzeptanz – Ein Indikator sollte akzeptiert sein.

Beim Befüllen eines Indikatorensystems mit konkreten Indikatoren ist zu prüfen, ob ein Indikator zum selben Thema bereits bei anderen Organisationen **Anwendung** findet (Europäische Kommission, 2023, S. 364). Beispielsweise sind die Indikatoren „Treibhausgasemissionen“ (Statistisches Bundesamt, 2025a; Umweltbundesamt, 2025b, 2025d) als Belastungsindikator des Klimas und „Nitrat im Grundwasser“ (Statistisches Bundesamt, 2025b; Umweltbundesamt, 2025c) als Zustandsindikator für die Wasserqualität des Grundwassers verbreitet. Aus häufiger erfolgreicher Anwendung lässt sich auf die Verlässlichkeit eines Indikators in Bezug auf einen bestimmten Sachverhalt schließen (National Research Council, 2000, S. 53). Wird ein Indikator gänzlich neu entwickelt, so ist dieses Kriterium selbstverständlich nicht relevant. In diesem Fall kann jedoch von der Datengrundlage auf Akzeptanz geschlossen werden, wenn die verwendeten Daten bereits für die Berechnung anderer Indikatoren verwendet werden (National Research Council, 2000, S. 53).

Glaubwürdigkeit – Ein Indikator sollte glaubwürdig sein.

Um Indikatoren an die Öffentlichkeit und Politik zu kommunizieren, sollten sie **leicht verständlich** sein (Europäische Kommission, 2023, S. 364; Peters, 2022a, S. 25). Der Indikator ist so **eindeutig** und so **konkret** wie möglich zu definieren (Schiavo-Campo, 1999, S. 31). Je technischer und komplexer ein Indikator, desto schwerer ist dieser für Laien greifbar und intuitiv. Verständlichkeit bezieht sich – abseits des intuitiven Verständnisses – auch auf die **Richtungssicherheit**. Die Trendentwicklung eines Indikators sollte eindeutig interpretierbar

⁴ Ein guter Startpunkt für eine solche Konzeption kann das DPSIR-Modell (Driving Forces, Pressure, State, Impact und Response) sein. Beispiel: Welche gesellschaftlichen oder wirtschaftlichen Entwicklungen (Driving Forces) führen zu Belastungen auf das Klima (Pressure), die zu Veränderungen des Klimas führen (State)? Welche Auswirkungen hat der Klimawandel auf andere Bereiche der Umwelt (Impact)? An welchem Punkt (Driving Forces, Pressure, State, Impact) setzen umweltpolitische Maßnahmen (Response) an?

sein: Ist ein Anstieg/Abfall der Indikatorenwerte ausnahmslos positiv zu bewerten? Dies wird ebenfalls durch den Glaubwürdigkeitsbegriff („credible“) der RACER-kriterien abgedeckt (Europäische Kommission, 2023, S. 364).

Einfachheit – Ein Indikator sollte leicht zu berechnen sein.

Wird der Indikator aus bestehenden Datenreihen berechnet, so ist darauf zu achten, dass die Datensammlung **wirtschaftlich** ist (ECA, o.J.; Europäische Kommission, 2023, S. 364; National Research Council, 2000, S. 58; Schiavo-Campo, 1999, S. 31). Das Kriterium bezieht sich nicht nur auf die Beschaffung der Daten und Berechnung des Indikators an sich, sondern auch auf die Aktualität. In der Diskussion im Fachgebiet wurde dahingehend angemerkt, dass **mindestens jährliche Werte** vorliegen sollten, die **zeitnah aktualisiert werden** (Europäische Kommission, 2023, S. 365), wodurch eine zeitnahe und regelmäßige Indikatorenberechnung gewährleistet werden kann. Wird ein Indikator gänzlich aus externen Quellen bezogen, so gilt analog die zeitnahe Bereitstellung der aktuellsten Indikatorenwerte. Für Indikatoren, für die eigens ein Monitoring aufgebaut wird, ist bereits bei der Erhebung auf schlanke Prozesse zu achten.

Robustheit – Ein Indikator sollte robust sein.

Die Robustheit eines Umweltindikators bezieht sich auf die **Reliabilität des Datenfundaments**. Die Daten, die zur Berechnung des Indikators verwendet werden, sollten von hoher Qualität sein (Europäische Kommission, 2023, S. 365), d.h. präzise und verlässlich erhoben werden und frei von Messfehlern sein (Peters, 2022a, 25 f.).

2.1.6 Praktische Anwendung und ergänzende Anmerkungen

Im Rahmen der vorgestellten Qualitätskriterien sollten zudem zusätzliche Klassifizierungen bzw. Erfüllungsgrade für die entsprechenden Unterkategorien in den praktischen Auswahlprozess mit eingebunden werden. So selbstverständlich dies erscheinen mag, so notwendig ist es dies der Vollständigkeit halber mit aufzuführen.

Erfüllungsgrade haben die Bewandnis, mögliche Flaschenhals-Situationen zu vermeiden, in denen versucht wird die Erfüllung eines Unterkriteriums zu beschreiben und zur Auswahl stehende Indikatoren zu vergleichen. Die Einteilung in Güteklassen erfolgt zwar immer noch subjektiv; eine Klassifizierung ermöglicht jedoch eine Vergleichbarkeit zwischen zur Debatte stehenden Indikatoren.

Eine mögliche Systematisierung kann sich an den Bewertungsmöglichkeiten der Bertelsmann Stiftung orientieren („trifft voll zu“ (Peters, 2022a, S. 26), „trifft mit Einschränkungen zu“ (Peters, 2022a, S. 26), „trifft nicht zu“ (Peters, 2022a, S. 26) bzw. xxx, xx, oder x). Eine alternative Klassifizierung von Gütegraden ist ebenso vorstellbar (Noten, Punkten oder alternative Skalen).

Ein anderes Beispiel stellt an dieser Stelle die EU-Kommission bereit (Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016, S. 127). Hier erfolgt eine farbliche Kategorisierung entsprechend des Erfüllungsgrades pro Kategorie (grün – vollständig erfüllt, gelb – teilweise erfüllt und rot – gar nicht erfüllt) (Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016, S. 127). Zusätzlich zum Erfüllungsgrad erfolgt eine Erklärung zur entsprechenden Einordnung (Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016, S. 127).

Zuletzt soll erwähnt werden, dass sich bei gewissen Unterkriterien gegebenenfalls eine weitere Aufteilung von Unterkategorien anbieten würde. Um bei den „SDG-Indikatoren für Kommunen“ der Bertelsmann Stiftung zu bleiben, so würde es durchaus Sinn ergeben das Kriterium „Datenqualität“ aufgrund der Mehrdimensionalität (Vergleichbarkeit, Genauigkeit, Verlässlichkeit, Vollständigkeit, Repräsentativität und Freiheit von Messfehlern) weiter zu

differenzieren. Eine mangelnde Differenzierung könnte an dieser Stelle die Vergleichbarkeit zwischen Indikatoren behindern und den Auswahlprozess verlangsamen.

Mittels der vorgestellten Kriterien und möglichen Gütegraden, lässt sich der Auswahlprozess qualitativ hochwertiger Indikatoren gut strukturieren und systematisieren. Hieraus ergeben sich Effizienzpotenziale bei der Auswahl von Indikatoren.

2.2 Synopse angewandter Indikatorenbewertungen

In diesem Kapitel werden angewandte Indikatorenbewertungen, wie sie im Rahmen von Umwelt- und Nachhaltigkeitsberichterstattungen erfolgen, vorgestellt.

2.2.1 Umweltmonitor 2024 (Umweltbundesamt, 2024b)

Der Umweltmonitor des UBAs stellt „Informationen zum Zustand der Umwelt und den Fortschritten in wichtigen umweltpolitischen Handlungsfeldern“ bereit. Das zu Grunde liegende Indikatorensystem besteht aus zehn Themen, mit jeweils drei Indikatoren, also insgesamt 30 Indikatoren.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen drei Arten von Indikatoren im Umweltmonitor: Indikatoren mit Zukunftszielen, Gegenwartszielen und Richtungszielen. Schließlich können Ziele bereits jetzt gelten (z. B. Grenzwert für Nitrat im Grundwasser) oder für ein in der Zukunft liegendes Jahr definiert sein (z. B. Reduktionsziel zur Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2030). Für 21 Indikatoren gelten quantitative Ziele für ein bestimmtes Zieljahr. Bei 9 Indikatoren liegen sogenannte Richtungsziele vor (Umweltmonitor 2024, S. 98).

„Der Umweltmonitor soll den Fortschritt – die Transformation hin zu einer guten Umweltqualität oder zur Erreichung von Umwelthandlungszielen – messen. Für die Bewertung ist daher relevant inwieweit sich der Indikator „auf Kurs“ (on track) zu dem angestrebten Ziel befindet. Dazu wird ein zielkonformer (hypothetischer) Entwicklungspfad definiert und die bisher erreichte Entwicklung mit einer „zielkonformen“ Entwicklung verglichen. Für die Definition des zielkonformen Entwicklungspfades sind zwei Festlegungen zu treffen: der Referenzzeitpunkt ab wann der Fortschritt gemessen werden soll und die Ausgestaltung des Entwicklungspfades. Standardmäßig bewerten wir die Entwicklung der Indikatoren in den letzten 5 Jahren vor dem aktuellsten Wert und legen für den zielkonformen Kurs eine gleichmäßige lineare Änderung zugrunde, beginnend im Referenzzeitpunkt bis zum Ziel im Zieljahr. Für die Bewertung wird die tatsächliche Entwicklung in den letzten fünf Jahren ins Verhältnis gesetzt zur notwendigen Entwicklung entlang des Zielpfades. Das Verhältnis zwischen 99 realisierter und notwendiger Entwicklung markiert den Grad des Fortschritts und lässt sich auch als gegenwärtige Zielerreichung interpretieren“ (Umweltbundesamt, 2024b, S. 99).

Die Klassifizierung erfolgt für alle Indikatoren in einem vierstufigen Ampelsystem („grün“, „gelb“, „orange“ und „rot“) und kann Tabelle 1 entnommen werden (Umweltbundesamt, 2024, S. 101).

Tabelle 1: Bewertungskategorien im Umweltmonitor

Beschreibung	Bewertungssymbolik
Grün zeigt an, dass sich der Indikator aktuell auf einem erfolgreichen Kurs befindet oder nur maximal um 5 % davon abweicht. Der Fortschritt in den letzten fünf Jahren war erfolgreich und liegt zwischen 95 % und 100 %. Bei Indikatoren mit Richtungsziel zeigt grün an, dass diese Entwicklung in der Vergangenheit sowohl langfristig als auch in den letzten Jahren in die angestrebte Richtung verläuft.	
Gelb zeigt an, dass der Indikator aktuell leicht vom erfolgreichen Kurs abweicht. Der Fortschritt in den letzten fünf Jahren war etwas zu gering und liegt zwischen 80 und 95 %. Bei Indikatoren mit Richtungsziel zeigt gelb an, dass die Entwicklung in der Vergangenheit langfristig nicht wie erwünscht erfolgt ist, in den letzten Jahren allerdings in die angestrebte Richtung verläuft.	
Orange zeigt an, dass der Indikator aktuell deutlich vom erfolgreichen Kurs abweicht. Der Fortschritt in den letzten fünf Jahren war deutlich zu gering und liegt zwischen 30 und 80 %. Bei Indikatoren mit Richtungsziel zeigt orange an, dass die Entwicklung in der Vergangenheit langfristig zwar wie erwünscht erfolgt ist, in den letzten Jahren allerdings nicht mehr in die angestrebte Richtung verläuft.	
Rot zeigt an, dass der Indikator aktuell sehr deutlich vom Kurs abweicht. Der Fortschritt in den letzten fünf Jahren lag unter 30 % oder sogar negativ, wenn sich der Indikator weg vom Ziel entwickelt hat. Bei Indikatoren mit Richtungsziel zeigt rot an, dass der Indikator in der Vergangenheit sowohl langfristig wie auch in den letzten Jahren eine gegenläufige Entwicklung aufweist.	

Quelle: Tabelle entnommen aus Umweltbundesamt (2024b; S. 9).

2.2.2 Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie (DNS) (Statistisches Bundesamt, 2021)

Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie stellt die Strategie zur Umsetzung der 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung auf nationaler Ebene dar. Die Zielerreichung der 75 Indikatoren wird im Indikatorenbericht alle zwei Jahre durch das Statistische Bundesamt evaluiert und veröffentlicht. Die thematische Einteilung der 75 Indikatoren orientiert sich in diesem Fall an den 17 Hauptzielen und den entsprechenden Unterzielen.

Wie im Umweltmonitor des UBAs unterscheidet man auch hier zwischen Indikatoren mit konkreten Zielwerten in der Zukunft, der Gegenwart und Indikatoren mit Richtungsziel. Die Klassifizierung der Bewertung wird mit Wettersymbolen dargestellt („Sonne“, „Sonne-Wolken-Mix“, „Wolke“ und „Gewitterwolke“).

Indikatoren mit konkreten Zielwerten in der Zukunft (Statistisches Bundesamt, 2021, S. 136)

Die Trendfortschreibung erfolgt auf Basis der durchschnittlichen jährlichen Veränderung der letzten 6 Jahre, also anhand der jüngsten fünf jährlichen Veränderungen. Diese Veränderung wird bis in das Zieljahr fortgeschrieben. Grundlage für die Bewertung bildet die Distanz des ermittelten Trendwerts im Zieljahr zum aktuellen Wert des Indikators. Diese Distanz wird mit der aktuell zu überwindenden Zieldistanz verglichen.

Die Bewertung mit Wettersymbolen kann Tabelle 2 entnommen werden. Bei einem Zielerreichungsgrad von mehr als 95% erfolgt eine Bewertung mit einer „Sonne“. Liegt der Zielerreichungsgrad zwischen 80% und 95%, so wird der Indikator mit einem „Sonne-Wolken-Mix“ bewertet. Die Bewertung mit einer „Wolke“ erfolgt, wenn der Zielerreichungsgrad kleiner

als 80% ist, aber größer als 0%. Ist der Zielerreichungsgrad bei einem Indikator 0% oder weniger, so erfolgt eine Bewertung mit einer Gewitterwolke.

Tabelle 2: Bewertungssymbolik der DNS am Beispiel Indikatoren mit quantitativen Zielwerten

Beschreibung	Bewertungssymbolik
„Bei Fortsetzung der Entwicklung würde der Zielwert erreicht oder um weniger als 5 % der Differenz zwischen Zielwert und aktuellem Wert verfehlt.“ (Statistisches Bundesamt, 2021, S. 136)	
„Bei Fortsetzung der Entwicklung würde das Ziel voraussichtlich um mindestens 5 %, aber maximal um 20 % der Differenz zwischen Zielwert und aktuellem Wert verfehlt.“ (Statistisches Bundesamt, 2021, S. 136)	
„Der Indikator entwickelt sich zwar in die gewünschte Richtung auf das Ziel zu, bei Fortsetzung der Entwicklung würde das Ziel im Zieljahr aber um mehr als 20 % der Differenz zwischen Zielwert und aktuellem Wert verfehlt.“ (Statistisches Bundesamt, 2021, S. 136)	
„Der Abstand zum Ziel ist konstant hoch oder vergrößert sich. Der Indikator entwickelt sich also nicht in die gewünschte Richtung.“ (Statistisches Bundesamt, 2021, S. 136)	

Quelle: Tabelleninhalt entnommen aus: Statistisches Bundesamt, 2021, S. 136.

Indikatoren mit jährlich geltendem Zielwert (Statistisches Bundesamt, 2021, 136 f.)

Für die Bewertung dieser Indikatoren werden zwei Werte herangezogen. Zum einen spielt der letzte Wert der Datenreihe eine Rolle, zum anderen die durchschnittliche Veränderung der letzten 6 Jahre.

Erreicht oder übertrifft (im Sinne von besser) der letzte Wert den Zielwert und deutet die durchschnittliche jährliche Veränderung keine Trendwende an, so wird der Indikator mit einer „Sonne“ bewertet. Wird zwar der Zielwert erreicht oder überschritten, die durchschnittliche jährliche Veränderung deutet aber eine Trendwende an, so erfolgt eine Bewertung mit einem „Sonne-Wolken-Mix“. Wird der Zielwert nicht erreicht, der Trend deutet jedoch in Richtung des Ziels wird der Indikator mit einer „Wolke“ bewertet. Wird weder der Zielwert erreicht und zeigt der Trend in die entgegengesetzte Richtung, so erfolgt eine Bewertung mit einer „Gewitterwolke“.

Indikatoren mit Zielintervallen (Statistisches Bundesamt, 2021, S. 136)

Die Bewertung für Indikatoren mit Zielintervallen erfolgt gemäß der Bewertungsmethode von Indikatoren mit konkreten Zielwerten. Das schwächste Ziel wird dann als Zielforderung definiert.

Indikatoren mit mehreren Zielwerten (Statistisches Bundesamt, 2021, S. 137)

Die Bewertung von Indikatoren mit mehreren Zielwerten erfolgt ebenfalls analog zu der Bewertung von Indikatoren mit konkreten Zielwerten. Der Indikator wird dann für jedes Ziel individuell bewertet. Die negativste Einzelbewertung wird dann für die Gesamtbewertung des Indikators verwendet.

Indikatoren mit Richtungsziel (Statistisches Bundesamt, 2021, S. 137)

Bei der Bewertung von Indikatoren mit Richtungsziel ist die durchschnittliche Veränderung der letzten 6 Jahre und die letzte jährliche Veränderung von Bedeutung.

Gehen bei einem Indikator beide Veränderungen in die gewünschte Richtung wird der Indikator mit einer „Sonne“ bewertet. Mit einem „Sonne-Wolken-Mix“ wird der Indikator bewertet, wenn der Durchschnitt zwar in die gewünschte Richtung geht, die letzte jährliche Veränderung jedoch nicht. Geht der Durchschnitt nicht in die gewünschte Richtung, die letzte jährliche Veränderung hingegen schon, so wird der Indikator mit einer „Regenwolke“ bewertet. Ein Indikator wird mit einer „Gewitterwolke“ bewertet, wenn beide Werte nicht in die gewünschte Richtung zeigen.

2.2.3 SDGs EU (Eurostat, 2022)

Die Messung und Bewertung der EU-weiten Zielerreichung der SDGs erfolgt im Rahmen der Nachhaltigkeitsberichterstattung „Sustainable development in the European Union – Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context“ (Eurostat, 2022), wobei die jährliche Berichterstattung durch Eurostat erfolgt. Das Indikatorensystem umfasst 101 Indikatoren, wobei jedem Ziel 6 Hauptindikatoren zugewiesen werden (Eurostat, 2022, S. 26). 31 von den 101 Indikatoren sind sogenannte Multi-Purpose-Indikatoren und eignen sich für die Messung von mehr als einem Ziel (Eurostat, 2022, S. 26).

Das Indikatorensystem besteht aus Indikatoren mit konkreten Zielwerten in der Zukunft und Indikatoren mit Richtungszielen (Eurostat, 2022, S. 365–368). In beiden Fällen wird eine separate Bewertung für die lange (in der Regel 15 Jahre; mindestens aber zehn Jahre wenn Zeitreihen kürzer sind), und die kurze Frist (fünf Jahre; mindestens aber drei Jahre wenn Zeitreihen kürzer sind) vorgenommen (Eurostat, 2022, S. 366). Die Bewertung der Indikatoren erfolgt mit grünen und roten Pfeilsymbolen, wie es Tabelle 3 & Tabelle 4 entnommen werden kann (Eurostat, 2022, S. 365).

Indikatoren mit Zielwerten (Eurostat, 2022, 367f.)

Grundlage für die Bewertung von Indikatoren mit konkreten Zielwerten in der Zukunft bildet die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate (*compound annual growth rate*, kurz: CAGR). Zum einen wird die beobachtete, zum anderen die theoretisch notwendige durchschnittliche jährliche Wachstumsrate, um das Ziel zu erreichen, ermittelt. Das Verhältnis beider Wachstumsraten wird dann für die Bewertung des Indikators verwendet. Die Klassifizierungen entsprechender Wachstumsratenverhältnisse werden in Tabelle 3 vorgestellt.

Tabelle 3: Bewertungssymbolik für Indikatoren mit Zielwert (SGDs EU)

Verhältnis von tatsächlicher und benötigter Wachstumsrate	Bewertungssymbolik
≥ 95 %	
< 95 % und ≥ 60 %	
< 60 % und ≥ 0 %	
< 0 %	

Quelle: Tabelleninhalt entnommen aus Tabelle II.3 in Eurostat, 2022, S. 368.

Indikatoren mit Richtungsziel (Eurostat, 2022, 366f.)

Bei der Bewertung von Indikatoren mit Richtungsziel wird lediglich die beobachtete durchschnittliche jährliche Wachstumsrate betrachtet und mit der gewünschten Entwicklungsrichtung verglichen. Die Klassifizierung der Wachstumsraten wird in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Bewertungssymbolik für Indikatoren mit Richtungsziel (SDGs EU)

Wachstumsrate (CAGR) im Verhältnis zur gewünschten Richtung	Bewertungssymbolik
$\geq 1 \%$	
$< 1 \%$ und $\geq 0 \%$	
$< 0 \%$ und $\geq -1 \%$	
$< -1 \%$	

Quelle: Tabelleninhalt entnommen aus Tabelle II.2 in Eurostat, 2022, S. 367.

2.2.4 Indikatorenspiegel (LiKi)

Das Indikatorensystem der Länderinitiative Kernindikatoren (LiKi) besteht aus vier Themen (Klima & Energie, Natur & Landschaft, Umwelt & Gesundheit und Ressourcen & Effizienz) mit insgesamt 25 Indikatoren. In die Darstellung im Rahmen des Indikatorenspiegels fließen jedoch nur 20 Indikatoren ein.

Bei der Bewertung der zeitlichen Entwicklung von Indikatoren sollen subjektive Betrachtungen sowie Scheinentwicklungen ausgeschlossen werden. Hierzu werden vom Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt statistische Trendanalysen der Zeitreihen mit dem vom Umweltbundesamt bereit gestellten Rechenprogramm „Trenda“ durchgeführt. Deren Ziel liegt standardmäßig in der Identifizierung und Testung linearer Tendenzen (Trends) bei den Indikatoren. Nur mit fachlicher Begründung ist in Ausnahmefällen die 2. Ordnung zulässig, die ggf. kenntlich gemacht ist. Standardmäßig werden die Werte der letzten 10 Berichtsjahre auf einen linearen Trend getestet. Dabei wird untersucht, ob sich bei den einzelnen Indikatoren in diesem Zeitraum ein Entwicklungstrend statistisch belegen lässt. Bei den Indikatoren, für die eine solche statistisch signifikante Entwicklung identifiziert wird, erscheint im dazugehörigen Tabellenfeld des Indikatorenspiegels ein Pfeil. (LiKi, 2024)

Die Bewertung erfolgt mittels Pfeilsymbolik und kann Tabelle 5 entnommen werden. Die Richtung des Pfeils gibt die Richtung des Trends, die Farbe, ob die Entwicklung wünschenswert ist oder nicht, an. Wird ein Trend positiv bewertet so erfolgt eine „grüne Pfeildarstellung“. Bei Indikatoren, deren Trend negativ zu bewerten ist, erfolgt die Klassifizierung mittels einer „roten Pfeilsymbolik“. Konnte in der Analyse kein signifikanter Trend statistisch nachgewiesen werden, wird das zugehörige Tabellenfeld mit einem gelben Wellensymbol belegt. Das Zeitfenster für die Trendanalyse beschränkt sich standardmäßig auf die letzten zehn Berichtsjahre. Damit wird das Augenmerk gezielt auf die aktuellste Entwicklung der Indikatoren gelegt.

Tabelle 5: Bewertungssymbolik für die Trendbewertungen

Verhältnis von tatsächlicher und benötigter Wachstumsrate	Bewertungssymbolik
positive Entwicklung	
negative Entwicklung	
kein signifikanter Trend	
keine Analyse	

Quelle: Tabelleninhalt entnommen aus: LiKi, 2022.

Abseits dieser klassischen Bewertungen, erfolgt eine Statusanalyse (LiKi, 2022). Hierbei werden aktuelle Indikatorwerte der Bundesländer miteinander verglichen. Als Bezugsjahr fungiert jenes Jahr in dem für mindesten acht Bundesländer Indikatorwerte existieren (ggf. kann auch das Vorjahr oder das nächste Jahr bei einzelnen Indikatoren gewählt werden; falls dies ebenfalls nicht möglich ist so wird dieses Bundesland nicht in die Statusbewertung mit einbezogen). Zunächst wird die gesamte Indikatorspanne bestimmt. Diese errechnet sich aus der Differenz des besten und des schlechtesten Indikatorwertes. Diese Skala wird in drei Abschnitte gegliedert, welche mit einer blauen Farbabstufung illustriert wird (Tabelle 6). Wird ein Bundesland mit einem dunkelblauen Feld markiert, so befindet sich deren Indikatorwert in den oberen 25% der Indikatorspanne. Ein mittleres blau wird Ländern zugeordnet, deren Indikatorwert in den mittleren 50% liegen. Wird einem Land mit einem hellerem blau bewertet, so liegt der entsprechende Indikatorwert in den schlechteren 25%.

Da die Statusbewertung lediglich die Indikatorwerte der Länder relativ zueinander ins Verhältnis setzt, lässt diese Methode keine Bewertung des jeweils aktuell erreichten Niveaus zu.

Tabelle 6: Bewertungssymbolik für die Statusanalyse

Status aus der Spanne der Länderwerte	Bewertungssymbolik
bessere 25 Prozent	
mittlere 50 Prozent	
schlechtere 25 Prozent	
keine Analyse	

Quelle: Tabelleninhalt entnommen aus: LiKi, 2022.

2.2.5 Deutsche Anpassungsstrategie (UBA, Statistisches Beratungslabor der Ludwig-Maximilians-Universität München)

Im Rahmen des Monitoringberichts der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) werden die Trendentwicklungen der 105 Indikatoren (Umweltbundesamt, 2019) mittels eines komplexeren statistischen Verfahrens bewertet. Es werden keine Zielerreichungen bewertet, sondern nur Trendverläufe.

Die Trendschätzung als Grundlage für die Indikatorenbewertung geschieht folgendermaßen (Umweltbundesamt, 2015, S. 51–57): Ein Indikator muss mindestens sieben Werte aufweisen,

damit eine Trendbewertung durchgeführt wird. Die Trendanalyse wird für die gesamte Zeitreihe ausgeführt. Für unvollständige Indikatoren und Indikatoren, bei denen die Erhebungszeitpunkte weit auseinanderliegen, werden keine Trendanalysen durchgeführt. Ab 13 Datenpunkten wird eine quadratische, unterhalb eine lineare Regressionsfunktion verwendet (siehe hierzu nochmal Anhang A.1.1 und A.1.2). Quadratische Regressionsfunktionen erlauben die Erkennung von möglicherweise vorliegenden Umkehrtrends.

Anschließend erfolgt der Test auf Autokorrelation 1. Ordnung mittels Durbin-Watson-Test. Gibt es Evidenz für Autokorrelation 1. Ordnung, so wird ein autoregressives Fehlermodell 1. Ordnung für die Trendschätzung verwendet. Existiert keine Evidenz für Autokorrelation 1. Ordnung, so wird Autokorrelation 2. Ordnung mit dem generalisierten Durbin-Watson-Test getestet. Gibt es Hinweise für Autokorrelation 2. Ordnung geschieht die Trendschätzung auf Grundlage eines autoregressiven Fehlermodells 2. Ordnung. Ist auch dieser Test negativ, so wird mit den normalen Regressionsmodellen (linear oder quadratisch) ohne Autokorrelation weitergearbeitet.

Die Bewertung erfolgt u.a. im Kontext der DAS-Ziele. Die Beschreibung und Bewertung der Trends erfolgt mit Pfeilsymbolik (vgl. Tabelle 7). Sind ermittelte Trends oder Umkehrtrends positiv zu bewerten, so wird mit „grüner“ Pfeilsymbolik gearbeitet. Negativ zu bewertende Trends oder Umkehrtrends werden mit „roten Pfeilen“ bewertet. In Fällen von Indikatoren, bei denen nicht ganz klar ist, ob eine Entwicklungsrichtung per se als positiv oder negativ einzuordnen ist, wird von einer Bewertung der Trendschätzung abgesehen. In solchen Fällen werden die Pfeile „grau“ dargestellt.

Tabelle 7: Trendbeschreibung der DAS

Status aus der Spanne der Länderwerte	Bewertungssymbolik
Steigender Trend	
Fallender Trend	
Trend mit Trendumkehr: zuerst fallend, dann steigend	
Trend mit Trendumkehr: zuerst steigend, dann fallend	
Kein Trend	

Quelle: Tabelle in Anlehnung an Tabelle aus: Umweltbundesamt, 2019, S. 10.

In jüngster Vergangenheit wurde das Bewertungsverfahren der DAS weiterentwickelt (UBA, 2023, S. 15). Anlass hierfür war die Frage, inwiefern Regimeänderungen aus Zeitreihen herausgearbeitet werden können, um die Interpretation von Indikatoren zu unterstützen (Bosch und Partner, 2021). Aus diesem Grund wurden Möglichkeiten zur Durchführung von sogenannten Bruchpunktanalysen in das bestehende R-Tool (R Core Team, 2022) integriert (Kevork, 2022). Diese Bruchpunktanalysen können, wenn benötigt, durchgeführt werden, setzen jedoch mindestens 30 Datenpunkte voraus (Umweltbundesamt, 2023, S. 15).

2.2.6 SDGs für Kommunen (Bertelsmann Stiftung) (Bertelsmann Stiftung, o.J.)

Um den Fortschritt in Richtung der 17 SDGs auf kommunaler Ebene messbar und vergleichbar zu machen, wurde die Bertelsmann Stiftung beauftragt, ein Indikatorensystem für Kommunen

abzuleiten. Die Indikatoren werden für Kommunen ab einer Einwohnerzahl von 5000 Einwohnern bewertet (Bertelsmann Stiftung, o.J.). Die Bewertungen sind auf der Internetseite einsehbar und erlauben Vergleiche zwischen Kommunen (Bertelsmann Stiftung, o.J.).

Bei den Indikatoren sind wünschenswerte Entwicklungsrichtungen vorgegeben. Die Bewertung ist die einfachste in diesem Kapitel.⁵ Es wird der aktuellste mit dem ältesten Wert verglichen (Bertelsmann Stiftung, o.J.). Ist der jüngste Wert besser als der älteste, so wird der Indikator mit einem „grünen Punkt“ bewertet. Dies signalisiert eine Verbesserung. Entspricht der jüngste Wert dem ältesten Wert, so wird der Indikator mit einem „gelben Dreieck“ bewertet. Dies signalisiert eine gleichbleibende Entwicklung. Ist der jüngste Wert jedoch schlechter als der älteste Wert, so wird der Indikator mit einem „roten Quadrat“ bewertet. Dies signalisiert eine Verschlechterung.

2.2.7 Biodiversitätsstrategie (BfN) (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2020)

Die Biodiversitätsstrategie ist die deutsche Umsetzung der globalen Convention on Biological Diversity der UN. Der Indikatorenbericht gliedert sich mit 18 Indikatoren in fünf Themenfelder: Komponenten der biologischen Vielfalt, Siedlung und Verkehr, Wirtschaftliche Nutzungen, Klimawandel und Gesellschaftliches Bewusstsein (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2020, S. 7). Die Bewertung von Indikatoren erfolgt durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) einerseits für den Zielerreichungsgrad, andererseits für ermittelte Trends (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2020, S. 8). Die Bewertung des Zielerreichungsgrades erfolgt mittels „+“ und „-“ Symbolik; bei der Bewertung von Trends wird mit Pfeilsymbolik gearbeitet. Die Klassifizierungen inkl. Symbolik können Tabelle 8 und Tabelle 9 entnommen werden.

Bewertung des Zielerreichungsgrades (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2020, S. 8)

Um den aktuellen Zielerreichungsgrad zu ermitteln wird der Abstand vom letzten Wert zum Zielwert ermittelt.

Ein Zielerreichungsgrad von 90% oder mehr bedeutet, dass der „aktuelle Wert [...] innerhalb des Zielbereiches [liegt]“ (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2020, S. 8). Der Indikator wird mit zwei „grünen Plussymbolen“ bewertet.

Ein Zielerreichungsgrad von unter 90%, aber mindestens 80% besagt, dass der letzte Indikatorwert sich nur unweit vom Zielbereich entfernt befindet. Der Indikator wird mit einem „grünen Plussymbol“ bewertet.

Ein ermittelter Zielerreichungsgrad von unter 80%, aber mindesten 50% bedeutet, dass sich der letzte Indikatorwert weit vom entsprechenden Zielbereich befindet. Der Indikator wird mit einem „roten Minussymbol“ bewertet.

Bei Zielerreichungsgraden von unter 50% befindet sich der Indikator noch sehr weit vom entsprechenden Zielbereich weg. In diesem Falle wird der Indikator mit zwei „roten Minussymbolen“ bewertet.

Bewertung des Trends (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2020, S. 8)

⁵ Zur folgenden Beschreibung der Bewertungsmethode vgl. Bertelsmann (2023).

Neben der Ermittlung des Zielerreichungsgrades erfolgt bei Indikatoren mit mindestens 11 Datenpunkten (die letzten 10 Jahre) eine gesonderte Trendermittlung. Hierzu wird der Rangkorrelationstest von Spearman (Spearman, 1904) verwendet.⁶

Die Bewertung des ermittelten Trends erfolgt mit Hilfe von Pfeilsymbolik (Tabelle 9) und findet gesondert zur Bewertung des Zielerreichungsgrades statt. Wird ein statistisch signifikanter Trend in Zielrichtung ermittelt, so wird der Indikator mit einem „grünen Pfeil“ bewertet. Liegt kein statistisch signifikanter Koeffizient vor, so erfolgt die Bewertung mittels einer „grauen Tilde“. Liegt ein statistisch signifikanter Trend entgegen der Zielrichtung vor, so wird der Trend mit einem „roten Pfeil“ bewertet.

Tabelle 8: Bewertungssymbolik für Indikatoren mit konkretem Zielwert (BfN)

Zielerreichungsgrad	Bewertung	Bewertungssymbolik
Zielerreichungsgrad $\geq 90\%$	Der aktuelle Wert liegt innerhalb des Zielbereichs.	++
Zielerreichungsgrad 80 % bis < 90%	Der aktuelle Wert liegt in der Nähe des Zielbereichs.	+
Zielerreichungsgrad 50 % bis < 80 %	Der aktuelle Wert liegt noch weit vom Zielbereich entfernt.	-
Zielerreichungsgrad < 50 %	Der aktuelle Wert liegt noch sehr weit vom Zielbereich entfernt.	--

Quelle: Tabelle in Anlehnung an: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2020, S. 8.

Tabelle 9: Bewertungssymbolik für Trends (BfN)

Bewertung	Bewertungssymbolik
Statistisch signifikanter Trend hin zum Ziel oder Zielwert	↗
Kein statistisch signifikanter Trend feststellbar (keine Signifikanz für ansteigenden oder abfallenden Trend)	~
Statistisch signifikanter Trend weg vom Ziel oder Zielwert	↘

Quelle: Tabelle in Anlehnung an Tabelle aus: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2020, S. 8.

2.3 Darstellung systemischer Zusammenhänge

Das Bedürfnis auch Zusammenhänge innerhalb eines Indikatorensystems abzubilden ist nicht neu: schon 2003 wurde in einem EEA Report deutlich, dass es wichtig ist Zusammenhänge in einem Indikatorensystem gesondert zu begutachten (Gabrielsen & Bosch, 2003). Damals ging dies aus der bloßen Theorie des sogenannten DPSIR-Modells hervor, eine logische Unterteilung eines Umweltsachverhalts bzw. einer Umweltproblematik in gesellschaftliche und ökonomische Treiber (D – Driving forces), die zu Umwelteinwirkungen (P – Pressure) auf einen Umweltzustand (S – State) führen, Umweltauswirkungen (I – Impact) und umweltpolitischen Maßnahmen, um negativen Entwicklungen entgegen zu steuern (R – Response). Die EEA hatte

⁶ Siehe hierzu Anhang A.2.2. Eine Rangreihe bilden die Indikatorwerte, die andere die Jahreszahlen.

sich nur auf Zusammenhänge innerhalb eines Umweltsachverhalts konzentriert: Wie genau sieht der Zusammenhang zwischen den Maßnahmen und den Treibern eines Umweltsachverhalts aus, bzw. wie lässt sich Fortschritt messbar machen? Einerseits wurde hier *innerhalb* eines Umweltsachverhalts gedacht, andererseits wurden für unterschiedliche Paare, d.h. Zusammenhang von Driving forces und Pressure, oder State und Impact, unterschiedliche, nicht uniforme Möglichkeiten aufgezeigt, die es ermöglichen sollten, diese Verknüpfungen darstellbar zu machen. So könnten für Eco-efficiency indicators, wie bspw. Produktivitätsindikatoren genutzt werden, um Zusammenhänge zwischen Driving forces und Pressure zu visualisieren, eine Kombination von Emissions- und Konzentrationsindikatoren könnten, wenn über einen langen Zeitraum betrachtet, Zusammenhänge und Dynamiken zwischen Umwelteinflüssen und Umweltzuständen offenbaren (Gabrielsen & Bosch, 2003, S. 9). Policy-effectiveness Indikatoren könnten genutzt werden, um die Effektivität von umweltpolitischen Maßnahmen zu evaluieren (Gabrielsen & Bosch, 2003, S. 9). Es wurde also vorgeschlagen, entlang der DPSIR-Logik, Indikatoren zu nutzen, um entsprechende Dynamiken innerhalb eines Indikatorensystems zu offenbaren.

In der aktuellen wissenschaftlichen Literatur werden primär Zusammenhänge zwischen den 17 Zielen für nachhaltige Entwicklung, deren Unterzielen und den dazugehörigen Indikatoren betrachtet. In diesem Zusammenhang wird häufig von sogenannten *inter-linkages* gesprochen (Miola et al., 2019, 9f.). *Inter-linkages* sind „kausale und/oder statistische Zusammenhänge zwischen Hauptzielen, Unterzielen oder Indikatoren“ (Miola et al., 2019, S. 10).

Von einer Synergie wird gesprochen, wenn es sich um einen positiven Zusammenhang handelt (Miola et al., 2019, S. 10; Pradhan et al., 2017, S. 1169). In diesem Fall würde wünschenswerte Entwicklungen eines Zieles die Erreichung eines anderen Zieles begünstigen (Pradhan et al., 2017, S. 1169). Handelt es sich um negative Zusammenhänge, so spricht man von Zielkonflikten (Miola et al., 2019, S. 10; Pradhan et al., 2017, S. 1170). In diesem Fall würden Fortschritte hin zu einem Ziel eine andere Zielerreichung erschweren (Pradhan et al., 2017, S. 1170).

Grundsätzlich kann zwischen fünf Ansätzen für die Ermittlung und Beschreibung von Zusammenhängen unterschieden werden (Tabelle 10) (Miola et al., 2019, S. 10–12). Bei dem ersten Ansatz handelt es sich um den linguistischen Ansatz (Miola et al., 2019, S. 10). Hier werden Zusammenhänge zwischen Zielen definiert, wenn in der Beschreibung der Ziele gleiche Schlüsselwörter vorkommen (Miola et al., 2019, S. 10–12). Gibt es beispielsweise ein Unterziel, welches in seiner Beschreibung das Wort „Gesundheit“ oder „gesundheitlich“ beinhaltet, so wird zwischen diesem und SDG 3, welches ebenfalls „gesund“ enthält, eine Verbindung gezogen (Le Blanc, 2015, S. 2).

Tabelle 10: Fünf Ansätze zur Beschreibung von Zusammenhängen

Linguistischer Ansatz	Literatur-Ansatz	Argumentativer/Experten*Expertinnen-Ansatz	Quantitativer Ansatz	Modellierungsansatz
Experten bewerten Zusammenhänge anhand gemeinsamer Schlüsselwörter	Ermöglicht es Zusammenhänge zu identifizieren, die in der wissenschaftlichen Literatur festgestellt wurden	Verwendung oft in Kombination mit Literatur Ansatz	Ansatz identifiziert Zusammenhänge mittels Durchführung quantitativer statistischer Analyse der zugrundeliegenden Indikatoren	Modellierung komplexer Systeminteraktionen können helfen Abhängigkeiten unter Variablen zu verstehen
Mehrdeutigkeiten, wenn Ziele eine Bedeutung teilen, aber kein Schlüsselwort, oder umgekehrt	Explorativer Ansatz	Verbindet Ziele zueinander, indem Beziehungen zwischen den beteiligten Konzepten identifiziert werden	Verwendung historischer Daten	Es existiert kein spezifisches Tool zur Modellierung von SDGs
Ansatz erfordert eine qualitative Textinterpretation	Ansatz erfordert Interpretation, wenn wissenschaftliche Konzepte mit jeweiligen Zielen verbunden werden müssen	Beurteilung durch Einzelpersonen oder Gruppen von sektorspezifischen Experten	Ansatz ist robuster als qualitative Ansätze in denen Einzelpersonen die Evaluation durchführen	Eher werden bestehende Modelle adaptiert und erweitert

Quelle: Tabelle in Anlehnung an Tabelle 2 aus Miola et al., 2019, S. 12.

Bei dem zweiten Ansatz handelt es sich um den Literatur-Ansatz (Miola et al., 2019, 10f.). Hierbei wird Literaturrecherche betrieben, um zwischen Zielen mögliche Zusammenhänge aufzudecken. Beispiele hierfür sind Mainali et al., 2018 und Vandyck et al., 2018.

Eine häufig zusätzlich zum Literatur-Ansatz gewählte Herangehensweise stellt der Experten*Expertinnen-Ansatz, dar bei dem Experten*Expertinnen zu möglichen Zusammenhängen konsultiert werden (Miola et al., 2019, 11 f.). Beispiele finden sich bei Fuso Nerini et al., 2018 und Singh et al., 2018.

Der quantitative Ansatz versucht, mittels einfacher statistischer Verfahren Zusammenhänge zwischen Indikatoren zu ermitteln und zu quantifizieren (Miola et al., 2019, S. 11). Beispiele finden sich bei Kostetckaia & Hametner, 2022; Miguel Ramos & Laurenti, 2020 und Zhou et al., 2021.

Eine Steigerung des quantitativen Ansatzes bildet der Modellierungsansatz (Miola et al., 2019, 11f.). Hier werden komplexe systemische Zusammenhänge modelliert, um Dynamiken zwischen Indikatoren darzustellen (Miola et al., 2019, 11 f.). Ein Beispiel für einen Modellierungsansatz findet sich bei Scherer et al., 2018.

Der erste Ansatz ist vergleichsweise weniger aussagekräftig als die anderen und stellt lediglich einen Anhaltspunkt für weitere Recherchen dar (Miola et al., 2019, S. 10). Abgesehen davon ist dieser Ansatz eher dazu geeignet Synergien und weniger Zielkonflikte zu erkennen, da

gemeinsame Schlüsselwörter tendenziell eher auf Synergien hinweisen, als Zielkonflikte (Miola et al., 2019, S. 10).

Wie sich später zeigen wird (Kapitel 2.3.1.2, 2.3.1.4 und 2.3.2), stellen der Literaturansatz und der Expertenansatz integrale Bestandteile von quantitativen und Modellierungsansätzen dar, wodurch sich Mischformen ergeben.

Aus Projektperspektive war es wichtig, eine einfache und funktionale Methode zu finden, deren Anwendung nach Projektende realistisch ist. Neben der generellen Anforderung, dass die Methode Synergien und Zielkonflikte erkennen soll, wurden weitere Prioritäten bei der Methodengenesen berücksichtigt:

- ▶ Das methodische Vorgehen sollte nicht zu spezifisch sein und auf unterschiedliche Indikatorensysteme im UBA anwendbar sein.
- ▶ Es sollte sich an bereits bestehenden und etablierten Verfahren zur systemischen Bewertung von nationalen und internationalen Organisationen und/oder wissenschaftlichen Veröffentlichungen orientieren. Dadurch wird Glaubwürdigkeit geschaffen.
- ▶ Das Verfahren sollte möglichst effizient in bestehende UBA-Prozesse zu integrieren sein. Gewährleistet werden kann dies vor allem durch eine Teilautomatisierung der damit einhergehenden Prozesse. Neben schlank zu haltenden Prozessabläufen einer systemischen Bewertung können IT-gestützte Analysen, bspw. durch Programmierung einer entsprechenden Software, eingesetzt werden.

Das Kapitel 2.3.1 konzentriert sich auf Korrelationsanalysen, die bereits für Indikatorensysteme im Bereich Umwelt und Nachhaltigkeit Anwendung finden.

Der Fokus des Kapitels 2.3.2 liegt auf sogenannten Strukturgleichungsmodellen (SEM). Diese sind vor allem im Bereich der Psychologie bekannt, finden jedoch seit einigen Jahren Eingang in wissenschaftliche Veröffentlichungen zu Umweltthemen. Hier wurden Strukturgleichungsmodelle an der „DPSIR“-Logik ausgerichtet und die Zusammenhänge zwischen den DPSIR-Knotenpunkten ermittelt.

Das Unterkapitel 2.3.3 konzentriert sich auf Vektorautoregressive Modelle (VAR). Diese Modelle finden seit Jahrzehnten in der makroökonomischen Literatur im Kontext multivariater Zeitreihenanalyse Anwendung.

Nachdem in den ersten drei Unterkapiteln die jeweiligen Methoden und Anwendungen kurz vorgestellt und Vor- und Nachteile präsentiert werden, so erfolgt in Kapitel 2.3.4 eine abschließende Diskussion der Methoden und in Kapitel 2.3.5 eine vorläufige Empfehlung für das UBA.

2.3.1 Korrelationsanalysen als Grundlage für systemische Bewertung in der Praxis

Die erste Methode, die vorgestellt wird, ist die Korrelationsanalyse, die ein einfaches Maß für Zusammenhänge zwischen zwei Variablen ermittelt: den Korrelationskoeffizienten. Sie ist die wohl einfachste Form, Zusammenhänge zu quantifizieren. Orientiert man sich an den fünf Ansätzen aus Tabelle 10, so handelt es sich hier um einen rein quantitativen Ansatz (Miola et al., 2019, S. 11). Dennoch wird sich in diesem Kapitel herausstellen, dass dieser unbedingt mit dem Literatur- und/oder Experten*Expertinnen-Ansatz gekoppelt werden sollte.

Korrelationsanalysen sind eine der am häufigsten verwendeten quantitativen Methoden in Bezug zur Analyse von Interlinkages (Siragusa et al., 2024, 13, 16).

Zunächst werden nun die beiden bekanntesten Korrelationskoeffizienten vorgestellt. Anschließend werden zwei Fallbeispiele aus der Nachhaltigkeitsberichterstattung präsentiert, in denen Korrelationsanalysen verwendet werden, um Zusammenhänge zwischen den 17 Zielen für nachhaltige Entwicklung aufzuzeigen. Das dritte Fallbeispiel ist aus der wissenschaftlichen Literatur. Eine Korrelationsanalyse im Rahmen des Umweltmonitor-Indikatorensystem soll als viertes Fallbeispiel fungieren.

Das Kapitel 2.3.1.6 schließt mit einer kritischen Methodenreflexion ab.

2.3.1.1 Korrelationskoeffizient nach Pearson und Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman

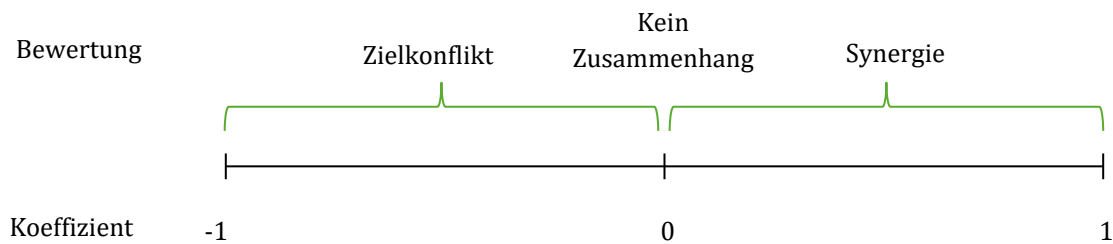
Die beiden bekanntesten Korrelationskoeffizienten sind der Korrelationskoeffizient nach Pearson (Pearson, 1895) (zur konkreten Berechnung siehe Anhang A.2.1) und der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman (Spearman, 1904) (zur konkreten Berechnung siehe Anhang A.2.2). Beide stellen ein Zusammenhangsmaß zwischen zwei Variablen dar. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson erkennt lineare Zusammenhänge, während der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman monotone Zusammenhänge erfasst. Bei dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson wird mit den eigentlichen Werten der Zeitreihe gerechnet, bei dem Rangkorrelationskoeffizienten werden den Werten Ränge zugeordnet, mit denen anschließend der Koeffizient berechnet wird.

Sowohl der Korrelationskoeffizienten nach Pearson als auch der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman können Werte im Wertebereich von -1 bis 1 annehmen. Ein Koeffizient von -1 bedeutet, dass ein perfekter negativer Zusammenhang besteht, d.h. dass ein Anstieg der einen Variable mit einer Reduzierung der anderen Variable einhergeht und umgekehrt. Ein Wert von 1 spiegelt einen perfekten positiven Zusammenhang wider. In diesem Fall steigt eine Variable mit der anderen und umgekehrt. Werte dazwischen können bspw. nach Cohen (1992) interpretiert werden: Werte ab -0,1 bzw. 0,1 werden als schwache, ab -0,3 bzw. 0,3 als mittlere und als -0,5 bzw. 0,5 als starke Zusammenhänge interpretiert (Cohen, 1992).

Im Kontext von Indikatoren würden negative Werte grundsätzlich einen Zielkonflikt und positive Werte Synergien indizieren (siehe Abbildung 5).⁷ Die Einteilung, ab welchem Wert man effektiv von Zielkonflikten und ab wann von Synergien spricht, ist variabel (Eurostat, 2022, S. 373; Pradhan et al., 2017, 1170f.). Korrelationsanalysen finden nach aktuellem Stand in zwei Nachhaltigkeitsberichterstattungen Anwendung und sollen hier vorgestellt werden. Zwischen den Fallbeispielen variiert die Wahl des Korrelationskoeffizienten. Die Bewertung der errechneten Koeffizienten, d.h. ab wann von Zielkonflikten und Synergien gesprochen wird, unterscheidet sich nur marginal.

⁷ An dieser Stelle ist anzumerken, dass im späteren Verlauf dieses Berichts nach einer Korrelationsanalyse lediglich von Indiz für Zielkonflikt bzw. Synergie gesprochen wird. Der Koeffizient bildet erstmal nur einen statistischen Zusammenhang zwischen zwei Variablen wieder. In den referenzierten Veröffentlichungen werden hingegen direkt die Begriffe Synergie und Zielkonflikt verwendet. Aus diesem Grund wird das entsprechende Wording zunächst beibehalten.

Abbildung 4: Spielraum möglicher Bewertung/Klassifizierung von Korrelationskoeffizienten im Indikatorenkontext



Quelle: eigene Darstellung, UBA; konkrete praktische Einteilungen können den Fallbeispielen in den Kapiteln 2.3.1.2 und 2.3.1.3 entnommen werden.

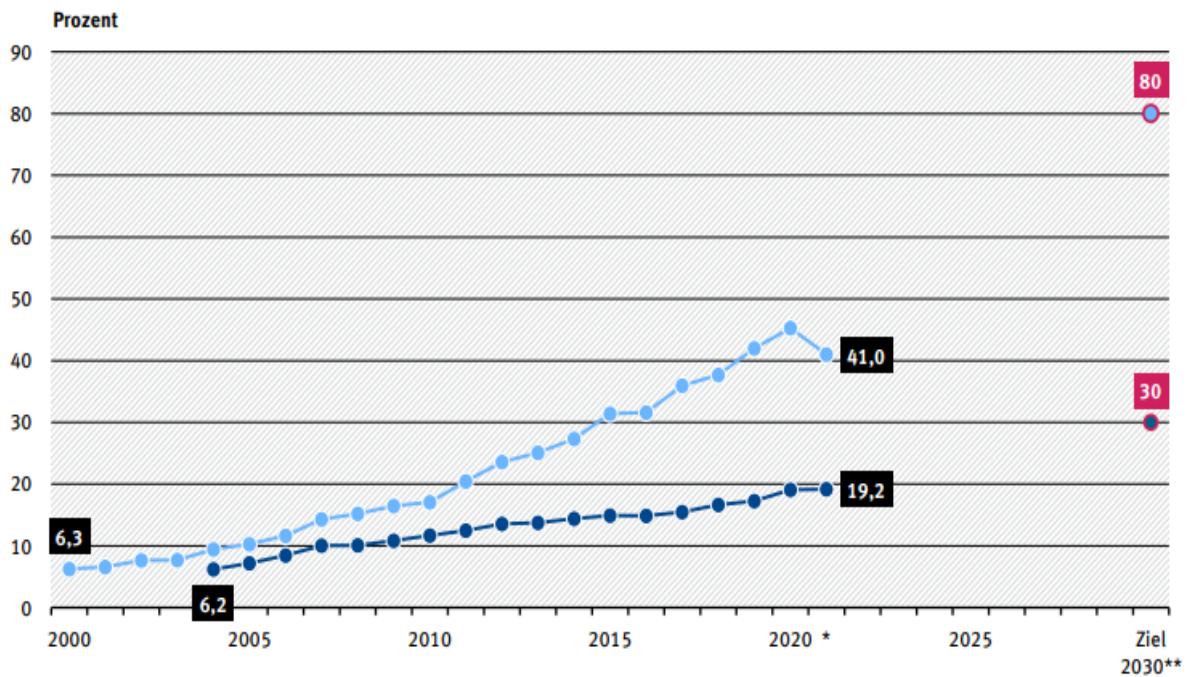
Im Vorfeld einer Korrelationsanalyse mit Indikatoren ist zudem eine Besonderheit zu beachten. Für Indikatoren gibt es gewünschte Entwicklungsrichtungen, die im Vorfeld der Korrelationsanalyse mitgedacht werden müssen (Pradhan et al., 2017, S. 1170). Dies ist erforderlich damit der Koeffizient sinnvoll interpretiert werden kann (Eurostat, 2022, S. 373; Pradhan et al., 2017, S. 1170). Deshalb muss vor der Korrelationsanalyse bedacht werden, Indikatoren, die fallen sollen, mit einem negativen Vorzeichen und Indikatoren, die steigen sollen, mit einem positiven Vorzeichen zu versehen (Pradhan et al., 2017, S. 1170).

Diese Eigenheit soll im Folgenden an einem Fallbeispiel (Abbildung 5 & Abbildung 6) dargestellt werden. Hierzu werden exemplarisch zwei Umweltmonitor-Indikatoren herangezogen: der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch und die Treibhausgasemissionen Deutschlands (Umweltbundesamt, 2021). Betrachtet man das Indikatorenpaar, so stellt man fest, dass beide Indikatoren sich in die gewünschte Richtung entwickeln. Der Anteil erneuerbarer Energien steigt, was eine wünschenswerte Entwicklung darstellt. Der Treibhausgasindikator sinkt über den betrachteten Zeitraum, was ebenfalls wünschenswert ist. Würde man bei diesem Indikatorenpaar nun den Zusammenhang beschreiben müssen, so würde man zu dem vorläufigen Schluss kommen, hier eine Synergie zu vermuten: die Zielerreichung des einen Indikators würde die Zielerreichung des anderen Indikators begünstigen und umgekehrt.

Quantifiziert man nun diesen Zusammenhang mittels Spearman Rangkorrelationskoeffizienten, so lässt sich nach der eben beschriebenen Vermutung intuitiv ein positiver Korrelationskoeffizient erwarten. Eine Korrelationsanalyse würde für dieses Beispiel jedoch einen negativen Wert von $\rho = -0,9857$ ergeben. Eine Bewertung des Korrelationskoeffizienten würde hier einen Zielkonflikt signalisieren. Doch wie kommt es zu diesem kontraintuitiven Ergebnis?

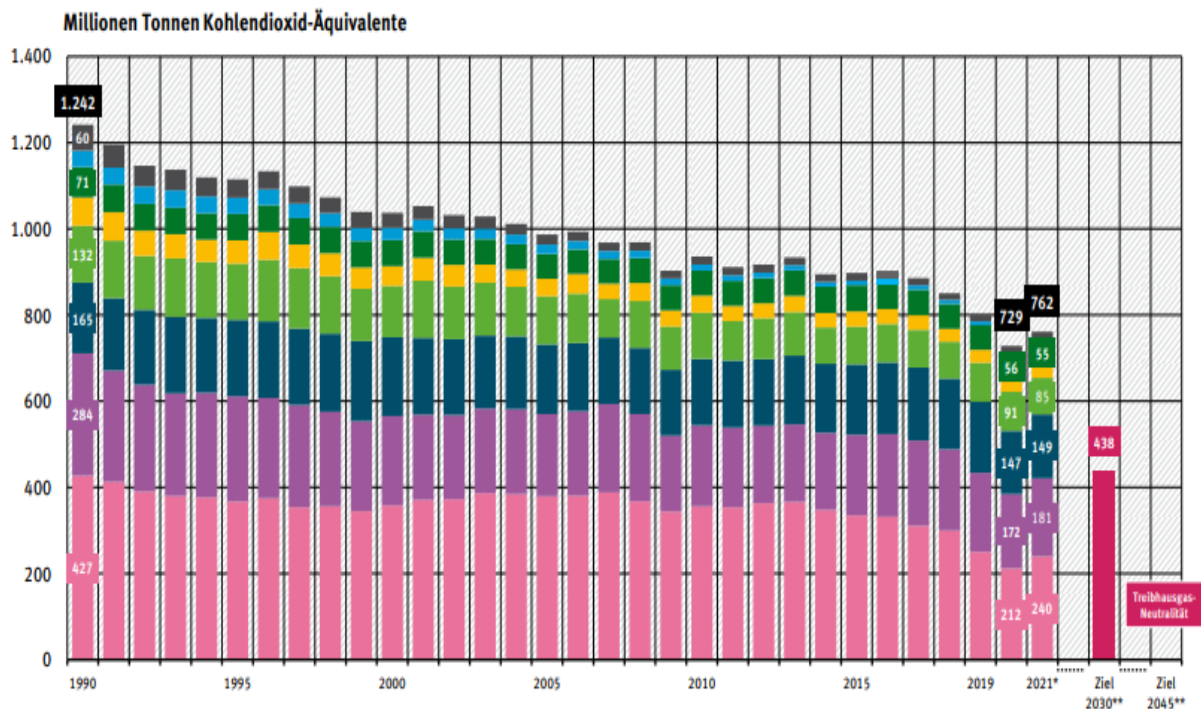
Abbildung 5: Anteil Erneuerbare Energien am Bruttostromverbrauch und am Bruttoendenergieverbrauch

Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch und am Bruttoendenergieverbrauch



Quelle: Abbildungen entnommen aus: Umweltbundesamt, 2025a (Stand 03/2023).

Abbildung 6: Jährliche Treibhausgasemissionen in Deutschland



Quelle: Abbildungen entnommen aus: Umweltbundesamt, 2025b (Stand 03/2023).

In diesem Beispiel soll der Treibhausgasindikator fallen. Bei diesem Indikator müsste man jeden Indikatorwert mit -1 multiplizieren. Würde man nach einer solchen Datenmanipulation die

Korrelationsanalyse erneut durchführen, so würde man einen Rangkorrelationskoeffizienten von $\rho = 0,9857$ erhalten. Dieser Wert spiegelt die eingangs aufgestellte Vermutung über die Art des Zusammenhangs wider. Diese Besonderheit ist bei Korrelationsanalysen mit Indikatoren unbedingt zu beachten.

Nun sollen drei Fallbeispiele vorgestellt werden. Korrelationsanalysen finden bereits in zwei Indikatorensystemen Anwendung, um Zusammenhänge zwischen den Zielen für nachhaltige Entwicklung und deren Indikatoren zu beschreiben und darzustellen – zum einen im Indikatorensystem des Monitoringberichts „Sustainable Development in the EU“ (Eurostat, 2022) von Eurostat (Kapitel 2.3.1.2) und zum anderen im Indikatorensystem der Bertelsmann Stiftung der „SDGs für Kommunen“ (Peters, 2022a, 2022b) (Kapitel 2.3.1.3). Ein drittes Beispiel aus der wissenschaftlichen Literatur, das SDG-Interlinkages-Tool des Institutes for Global Environmental Strategies (IGES), soll ebenfalls vorgestellt werden (Zhou et al., 2021). Zuletzt soll eine Korrelationsanalyse mit den Indikatoren des Umweltmonitors das vierte Fallbeispiel (Kapitel 2.3.1.5) bilden.

2.3.1.2 Anwendungsbeispiel I: Eurostat

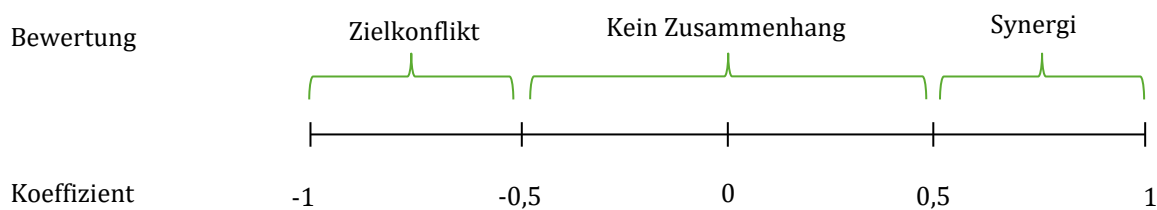
Im Rahmen der Nachhaltigkeitsberichterstattung „Sustainable Development in the EU“ (Eurostat, 2022) bildet Eurostat, neben klassischen Indikatorenbewertungen, Zusammenhänge zwischen den 17 Zielen für nachhaltige Entwicklung ab (Eurostat, 2022, S. 349–354). Eurostat führt für jedes Land der EU Korrelationsanalysen durch (Eurostat, 2022, S. 373).

Korrelationskoeffizienten werden für alle existierenden Indikatorenpaare berechnet und anschließend klassifiziert, wobei sogenannte Multi-Purpose-Indikatoren nur einmal eingebunden wurden (Eurostat, 2022, S. 373). Multi-Purpose-Indikatoren sind Indikatoren, die für mehrere Hauptziele verwendet werden können, um den Zielerreichungsgrad zu messen (Eurostat, 2022, S. 26). Dementsprechend sind diese auch Teil von mehreren Zielen für nachhaltige Entwicklung. Vier gemeinsame Datenpunkte im Zeitfenster von 2009 bis 2020/2021 sind die Mindestanforderung für die Korrelationsanalyse eines Indikatorenpaars (Eurostat, 2022, S. 373). Grundlage der Analyse bildet in diesem Fall der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman (Eurostat, 2022, 350, 373). Indikatoren, die fallen sollen, werden mit einem negativen Vorzeichen versehen und Indikatoren, die steigen sollen, werden mit einem positiven Vorzeichen versehen (Eurostat, 2022, S. 373).

Als Einteilung der Koeffizienten in Synergien und Zielkonflikte wird folgende Klassifizierung vorgesehen (siehe hierzu Abbildung 8) (Eurostat, 2022, S. 373): Statistisch signifikante Korrelationskoeffizienten unter einem Wert von -0,5 signalisieren Zielkonflikte und statistisch signifikante Korrelationskoeffizienten über 0,5 signalisieren Synergien. Liegt der statistisch signifikante Wert im Bereich von -0,5 und 0,5, so besteht kein relevanter Zusammenhang zwischen den jeweiligen Indikatoren. Gleiches gilt für Koeffizienten, die statistisch nicht signifikant sind. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = 0,10$ gewählt.⁸

⁸ Das Signifikanzniveau α ist der Schwellwert unter dem die Irrtumswahrscheinlichkeit (p-Wert) liegen muss, damit der ermittelte Korrelationskoeffizient als statistisch signifikant gilt.

Abbildung 7: Bewertung/Klassifizierung von Korrelationskoeffizienten von Eurostat

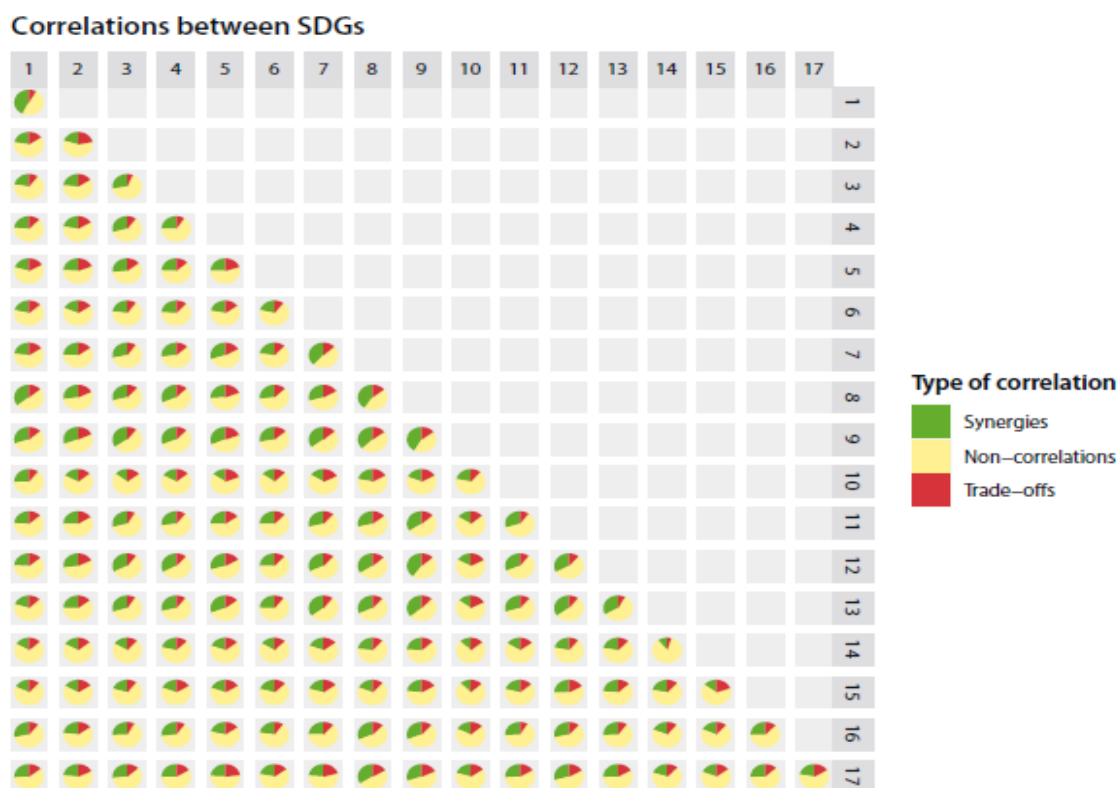


Quelle: eigene Darstellung, UBA. Einteilung entnommen aus: Eurostat, 2022, S. 373.

Die Darstellung der Zusammenhänge zwischen den 17 Zielen für nachhaltige Entwicklung erfolgt am Ende des Monitoringberichts (Eurostat, 2022, S. 349–354), u.a. in einer Korrelationsmatrix (Abbildung 8). Hier werden die Anteile an Synergien, Zielkonflikten und „Nicht-Korrelationen“ der Indikatorenpaare zwischen den 17 Hauptzielen in Form von Kuchendiagrammen abgebildet. Dadurch lassen sich die Synergie- und Zielkonfliktanteile zwischen den Hauptzielen für nachhaltige Entwicklung in der EU überblicksweise darstellen. Im selben Abschnitt werden vereinzelt Zusammenhänge mit Literaturquellen und Expertenmeinungen hinterlegt (Eurostat, 2022, 351f.). Aus diesem Grund handelt es sich bei dieser Methode um einen Mischansatz aus Literatur-, Experten*Expertinnen- und quantitativer Bewertung.

Abbildung 8: Zusammenhänge zwischen den 17 Zielen für nachhaltige Entwicklung auf EU-Ebene

Figure 20.1: Visualisation of SDG interlinkages based on shares of positive correlations, negative correlations and non-correlations between the indicator pairs.



Quelle: Abbildung entnommen aus: Eurostat, 2022, S. 351.

2.3.1.3 Anwendungsbeispiel II: Bertelsmann

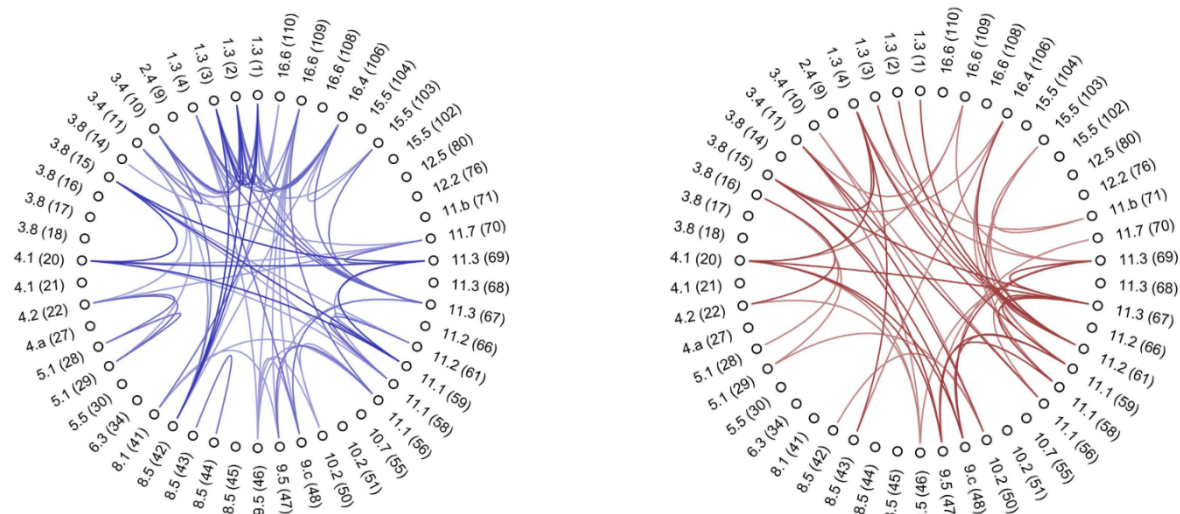
Eine weitere Anwendung von Korrelationsanalysen im SDG-Kontext findet durch die Bertelsmann Stiftung im Rahmen der „SDGs für Kommunen“ statt (Bertelsmann Stiftung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Deutscher Landkreistag, Deutscher Städtetag, Deutscher Städte- und Gemeindebund, Deutsches Institut für Urbanistik, ICLEI European Secretariat, Rat der Gemeinden und Regionen Europas / Deutsche Sektion, 2022; Peters, 2022a, 2022b). Die Bertelsmann Stiftung ermittelt Korrelationskoeffizienten sowohl zwischen Indikatoren als auch zwischen Indikatoren und Strukturmerkmalen (Peters, 2022b, S. 72–75).

Der Unterschied zur Eurostat-Methode ist, dass die Bertelsmann Stiftung den Korrelationskoeffizienten nach Pearson verwendet (für die Berechnung siehe Anhang A.2.1) (Peters, 2022a, S. 29). Grundsätzlich orientiert sich die Interpretation der Korrelationskoeffizienten an der Klassifizierung von Cohen (1992): Werte ab -0,1 bzw. 0,1 werden als schwache, ab -0,3 bzw. 0,3 als mittlere und als -0,5 bzw. 0,5 als starke Zusammenhänge eingeordnet (Cohen, 1992; Peters, 2022a, S. 29).

Eine grafische Darstellung erfolgt zum einen in einer Korrelationsmatrix (Peters, 2022b, S. 72–75), zum anderen in einem sogenannten Schemaball (Jossin et al., 2020, 190 f. & 196 f.; Komarov, 2025; Peters, 2022a, S. 29). In der Korrelationsmatrix werden die Korrelationskoeffizienten (und Strukturmerkmale) aufgeführt und farblich eingeordnet (Peters, 2022b, S. 72–75). Rot bedeutet Zielkonflikt, blau Synergie (Peters, 2022a, S. 29). Je schwächer die Sättigung der Farbe, desto geringer – je stärker, desto größer der Zusammenhang (Peters, 2022a, S. 29).

Im Schemaball (Komarov, 2025) werden die Unterziele der Hauptziele für nachhaltige Entwicklung (und Strukturmerkmale) im Kreis angeordnet (siehe Abbildung 9) (Jossin et al., 2020, 190 f. & 196 f.). Die Nummerierung des zugehörigen Indikators wird in Klammern angegeben (Jossin et al., 2020, 190 f. & 196 f.). Die Darstellung erfolgt getrennt für negative und positive Koeffizienten, d.h. ein Schemaball stellt jeweils Zielkonflikte bzw. Synergien zwischen den Indikatoren dar (Peters, 2022a, S. 29). Zwischen den Indikatoren werden dann jeweils farblich die Verbindungen illustriert. Wie in der Korrelationsmatrix erfolgt auch hier eine farbliche Abstufung, um die Stärke des Zusammenhangs zu verdeutlichen. Ein tieferes Blau bedeutet demnach eine stärkere synergetische Verbindung als ein helleres Blau – ein tieferes Rot einen stärkeren Zielkonflikt als ein helleres Rot (Peters, 2022a, S. 29). Im Schemaball werden lediglich starke Zusammenhänge dargestellt (Peters, 2022a, S. 29).

Abbildung 9: Exemplarische Schemaballdarstellung für Synergien (links) und Zielkonflikte (rechts)



Quelle: Abbildung entnommen aus: Jossin et al., 2020, 190 f.

Beide Darstellungen erfolgen lediglich exemplarisch im Indikatorenkatalog. Leider wird nicht ausgewiesen, für welche Kommune die Korrelationsanalyse durchgeführt wurde. Auf der Internetseite der Bertelsmann Stiftung (<https://sdg-portal.de/de/>) (Bertelsmann Stiftung, o.J.) werden die Entwicklungen der Indikatoren bewertet; Zusammenhänge zum aktuellen Zeitpunkt werden jedoch noch nicht dargestellt.

2.3.1.4 Anwendungsbeispiel III: Institute for Global Environmental Strategies (IGES)

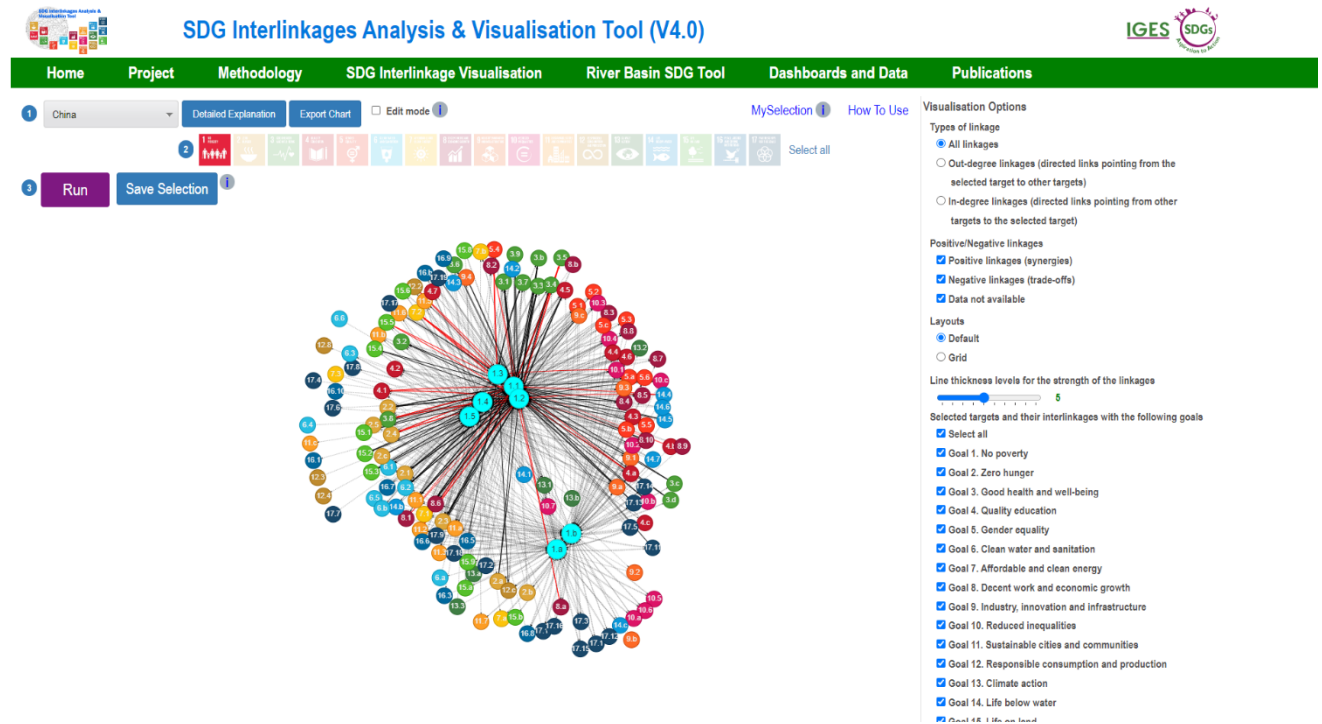
Abseits praktischer Anwendungen in Indikatorensystemen von Nachhaltigkeitsberichterstattungen fanden Korrelationsanalysen in den letzten Jahren ebenfalls in der wissenschaftlichen Literatur Anwendung (Kostetckaia & Hametner, 2022; Miola et al., 2019; Pradhan et al., 2017). So gab es bspw. Autor*innen, die Zusammenhänge zwischen den 17 SDGs auf nationaler Ebene analysiert haben (Miguel Ramos & Laurenti, 2020).

Ein Beispiel aus der wissenschaftlichen Literatur ist aufgrund der differenzierten Herangehensweise und der anschließenden Darstellung der Ergebnisse besonders hervorzuheben. Im Rahmen eines Projektes des *Institute for Global Environmental Strategies* (IGES), welches die Analyse von Zusammenhängen zwischen den Zielen für nachhaltige Entwicklung in afrikanischen und asiatischen Ländern zum Ziel hatte, wurde ein Online-Tool entwickelt, das Zusammenhänge in dynamischer Weise beispielhaft abbildet (<https://sdginterlinkages.iges.jp/visualisationtool.html>) (Zhou et al., 2021).

Die zugrundeliegende Methode zur Quantifizierung von Zusammenhängen zwischen den SDG-Unterzielen lässt sich folgendermaßen beschreiben (Zhou et al., 2021): Zuerst erfolgt eine Literaturrecherche, die versucht, Hinweise auf kausale Wirkungszusammenhänge zwischen den SDG-Unterzielen zu ermitteln. Hier geht es um die Wirkungsrichtung, d.h. es wird untersucht, ob eine einseitige, eine wechselseitige oder keine kausale Wirkungsbeziehung vorliegt. Konkret wird damit der Versuch unternommen, folgende Frage zu beantworten: Hat die Zielerreichung des einen Unterziels einen *kausalen* Einfluss auf die Erreichung eines anderen Unterziels und/oder umgekehrt? Im zweiten und dritten Schritt werden stellvertretend für die Unterziele Indikatoren ausgewählt und Zeitreihendaten für die Jahre 1990 bis 2019 gesammelt. Mit diesen werden dann die kausalen Wirkungsbeziehungen aus Schritt 1 mittels des Pearson

Korrelationskoeffizienten quantifiziert, wodurch sowohl die Art des Zusammenhangs, d.h. Synergie oder Zielkonflikt, als auch die Stärke des Zusammenhangs festgestellt werden. In Schritt 1 wird demnach die Richtung (einseitig oder wechselseitig), in Schritt 4 die Art (Synergie oder Zielkonflikt) und die Stärke des Zusammenhangs festgestellt.

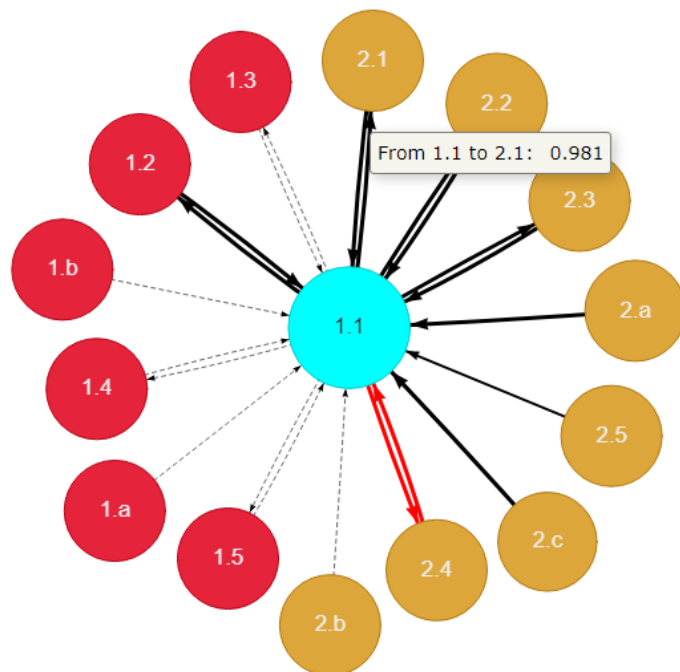
Abbildung 10: Das SDG-Interlinkages-Web-Tool



Quelle: Abbildung entnommen aus Zhou et al., 2021.

Die Ergebnisse werden dann im SDG-Interlinkages-Web-Tool präsentiert (siehe Abbildung 10). Das Online-Tool erlaubt eine Filterung nach Ländern, nach SDG-Unterzielen und nach Art des Zusammenhangs. Diese Funktion erlaubt es, bestimmte Unterziele in den Fokus zu rücken. In Abbildung 11 sieht man, dass das Unterziel 1.1 „Extreme Armut beenden“ im Zentrum der Beobachtung steht. Konkret wird hier geschaut, inwieweit das Unterziel 1.1 Zusammenhänge zu den restlichen Unterzielen von SDG 1 und zu den Unterzielen von SDG 2 aufweist. Pfeile zwischen den Unterzielen zeigen die Richtung der Wirkung an. Diese wurden durch die Literaturrecherche und Experten*Expertinnenbefragung in Schritt 1 festgestellt. Die quantifizierten Zusammenhänge werden farblich differenziert hervorgehoben, wobei schwarze Pfeile ermittelte Synergien, und rote Pfeile ermittelte Zielkonflikte signalisieren. Die Stärke des Zusammenhangs wird durch die Dicke des Pfeils verdeutlicht. Können durch mangelnde Datenlage die Wirkungszusammenhänge nicht bestätigt werden, so wird lediglich ein gestrichelter Pfeil eingesetzt. Eine Filterung nach Art des Zusammenhangs ist ebenfalls möglich und erlaubt bspw. die Fokussierung auf Synergien zwischen Unterzielen.

Abbildung 11: Zusammenhänge zwischen Unterziel 1.1 mit den Unterzielen von SDG1 und SDG2 am Beispiel China



Quelle: Abbildung entnommen aus Zhou et al., 2021.

Die IGES-Methode hebt sich deutlich vom Eurostat- und Bertelsmann-Ansatz ab. Zum einen ist diese Methode zur Ermittlung des Zusammenhangs aufgrund der vorher durchgeführten Literatur-Recherche differenzierter, da versucht wird Aussagen über Kausalität abzuleiten. Zum anderen variiert hier auch die Darstellung. Ein Online-Tool mit Filtermöglichkeiten bietet deutlich mehr Übersichtlichkeit und eine bessere User-Experience bei der Entdeckung von Zusammenhängen.

2.3.1.5 Exkurs: Umweltmonitor

Im Folgenden wurden Korrelationsanalysen auf die Indikatoren des UBA-Umweltmonitors angewandt. Im Rahmen des Eigenforschungsprojektes wurde hierzu ein R-Skript entwickelt, um Zusammenhänge zwischen den Indikatoren des UBA-Umweltmonitors zu ermitteln.⁹ Die verwendeten Indikatoren und deren IDs können Tabelle 11 entnommen werden. Die IDs in Spalte 2 sind dabei folgendermaßen zu lesen: Der Teil vor dem Unterstrich bezieht sich auf das Thema, dem der Indikator zugeordnet wird; der Teil danach auf den Indikator selbst.

Tabelle 11: Indikatorensystem Umweltmonitor

Indikator	ID
Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche*	TERR_SUV
Anteil der Fläche empfindlicher Land-Ökosysteme mit Überschreitung der Belastungsgrenzen für Eutrophierung	TERR_EUTROS

⁹ An dieser Stelle vielen Dank an Dr. Stefan Krämer für die Unterstützung.

Indikator	ID
Bestand repräsentativer Vogelarten in verschiedenen Landschafts- und Lebensraumtypen*	TERR_ARTEN
Index der Luftschadstoff-Emissionen – Mittelwert der prozentualen Entwicklung verschiedener Luftschadstoff-Emissionen gegenüber 2005	LUFT_EMIS
Abstand der durchschnittlichen Schadstoffkonzentrationen zu WHO-Empfehlungen bzw. festgestellten Wirkungsschwellen im städtischen Hintergrund deutscher Ballungsräume* - Ozon	LUFT_BALL_O3
Abstand der durchschnittlichen Schadstoffkonzentrationen zu WHO-Empfehlungen bzw. festgestellten Wirkungsschwellen im städtischen Hintergrund deutscher Ballungsräume* - Feinstaub	LUFT_BALL_PM25
Abstand der durchschnittlichen Schadstoffkonzentrationen zu WHO-Empfehlungen bzw. festgestellten Wirkungsschwellen im städtischen Hintergrund deutscher Ballungsräume* - Stickstoffdioxid	LUFT_BALL_NO2
Von Überschreitung des WHO-Richtwertes für Feinstaub (PM2.5) betroffene Bevölkerung*	LUFT_FSTAUB
Anteil der Messstellen mit Überschreitung des Grenzwertes für Nitrat*	AQUA_NITRAT50
Anteil der Eissturmvogel-Totfunde an der deutschen Nordsee-Küste mit mehr als 0,1 Gramm Plastik im Magen (5-Jahres-Durchschnitt)	AQUA_PLASTIK
Anteil der Wasserkörper in Fließgewässern in mindestens gutem Zustand oder mit mindestens gutem Potenzial	AQUA_FLUESSE
Gesamtrohstoffproduktivität	RESS_PROD
Primärrohstoffnutzung für inländischen Konsum und Investitionen (RMC) pro Kopf *	RESS_RMC
Abfallaufkommen der Kategorie Siedlungsabfälle	RESS_SIEDLABF
Emission der von der UN-Klimarahmenkonvention abgedeckten Treibhausgase*	KLIM_THG
Abweichung der globalen Lufttemperatur von 1850*	KLIM_ERWRM1850
Anzahl der Tage mit einem Lufttemperatur-Maximum über 30 Grad Celsius (Gebietsmittel)	KLIM_HOTDAYS
Primärenergieverbrauch	RESS_EVERBR
Endenergieproduktivität - Energieverbrauch im Verhältnis zum Bruttoinlandsprodukt (BIP)	ENER_ENERPROD

Indikator	ID
Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch*	ENER_EESTROM
Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch*	ENER_EEENERGIE
Marktanteile von Produkten mit staatlichen Umweltzeichen, nach Umsätzen gewichtet	KONS_OEKOPROD
Entwicklung des Nationalen Wohlfahrtsindex (NWI) und des Bruttoinlandsproduktes (BIP)	KONS_NWI
Anzahl EMAS-registrierter Organisationen, Standorte und Beschäftigte	WIRT_EMAS
Umweltkosten durch Treibhausgase und Luftschadstoffe für Strom-, Wärmeerzeugung und Straßenverkehr	WIRT_UMWKOST
Anzahl der Beschäftigten im Bereich Erneuerbare Energien	WIRT_BSCHFT_EE
Endenergieverbrauch des Verkehrs	MOBI_PEEV
Endenergieverbrauch des Verkehrs	MOBI_GEEV
Anteil der durch Verkehrslärm belasteten Bevölkerung	MOBI_LAERM_TAG
Anteil der durch Verkehrslärm belasteten Bevölkerung	MOBI_LAERM_NACHT
Anteil Fuß-, Fahrrad-, Eisenbahn- und Öffentlicher Straßenpersonenverkehr am Personenverkehrsaufwand*	MOBI_PVK_NOCARS
Saldo der landwirtschaftlichen Stickstoff-Gesamtbilanz in Bezug auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche*	AGRI_STICK
Anteil des Ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlich genutzten Fläche	AGRI_OEK
Gesamtfläche von Dauergrünland und Anteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche	AGRI_GRLND

Quelle: Umweltbundesamt (2021). Verwendung der Indikatoren mit Stand vom 06/2022. Aktuelle Quellen können unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren> nachvollzogen werden.

Als methodische Grundlage (Tabelle 12) wurde hier der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman verwendet. Entsprechend dieser Methode wurden alle Indikatoren, bei denen ein fallender Trend aus Umweltsicht gewünscht ist, mit einem negativen Vorzeichen versehen. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = 0,05$ gewählt, d.h. dass ein ermittelter Korrelationskoeffizient einen

p-Wert von $\leq 0,05$ aufweisen muss, um als statistisch signifikant zu gelten.¹⁰ Für alle statistisch signifikanten Korrelationskoeffizienten gilt generell: Bei einem Wert von -0,5 bis -1 wird der Koeffizient als Zielkonflikt, bei einem Wert von 0,5 bis 1 als Synergie bewertet. Bei Koeffizienten größer als -0,5, aber kleiner als 0,5 spricht man von „keinem Zusammenhang“. Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse sind in Anhang B.1 festgehalten. Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgt in einer nach den Themen des Umweltmonitors strukturierten Korrelationsmatrix (siehe Abbildung 12).

Tabelle 12: Methodische Parameter (1. Korrelationsanalyse, Umweltmonitor)

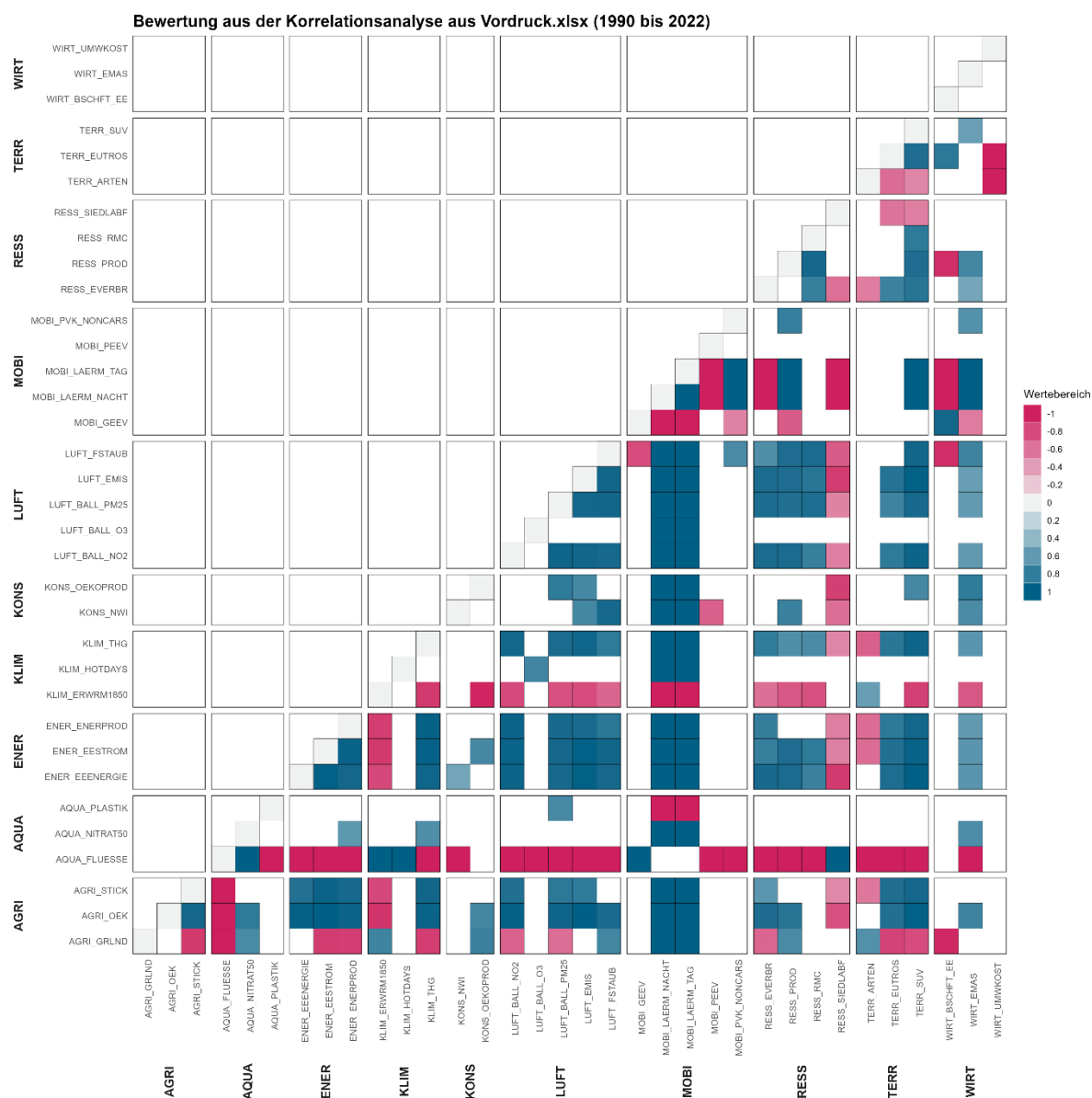
Koeffizient	Zeitraum	Signifikanzniveau	Bewertungsschwelle
Spearman	1990-2022	5%	-0.5/0.5

Quelle: Eigene Darstellung, UBA.

In der Korrelationsmatrix werden die Zusammenhänge gruppiert nach Themen dargestellt. Blaue Felder stellen Synergien dar, rote Felder signalisieren Zielkonflikte zwischen den Indikatoren. Die Stärke der Farbe illustriert die Stärke des Zusammenhangs. Weiß bedeutet, dass die ermittelten Koeffizienten zwischen -0,5 und 0,5 liegen und/oder statistisch nicht signifikant sind. In der Matrix ist erkennbar, dass zwischen den Themen Energie und Luft, Energie und Ressourcen, Energie und Landwirtschaft, Landwirtschaft und Mobilität, Luft und Mobilität sowie Luft und Ressourcen die meisten Synergien bestehen. Synergien stellen zwischen den Indikatoren des Umweltmonitors den größten Teil der ermittelten Zusammenhänge dar, Zielkonflikte einen geringen Teil. Auffällig sind die vielen „Nicht-Korrelationen“, die insbesondere bei Themenpaaren vorkommen, bei denen Wasser-, Wirtschafts-, Boden- und Mobilitätsindikatoren in die Korrelationsanalyse eingeflossen sind.

¹⁰ Die Anpassung des α hat die Bewandnis, die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers 1. Art zu minimieren. In der wissenschaftlichen Praxis hat sich $\alpha = 0,05$ als bewährt etabliert. Im zu befüllenden Indikatorensystem kann das Signifikanzniveau jedoch angepasst werden. Korrelationsanalysen mit einem α von 0,1 können durchgeführt werden, um zu prüfen, wie viel mehr signifikante Korrelationskoeffizienten in der Analyse ermittelt werden können. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Analyse mit einem fixen $\alpha = 0,05$ durchgeführt.

Abbildung 12: Korrelationen zwischen den Indikatoren des Umweltmonitors



Quelle: Eigene Darstellung, UBA. Basierend auf eigenen Berechnungen und den Indikatoren des Umweltmonitors (Umweltbundesamt, 2021).

Eine Darstellung der Korrelationsmatrizen für unterschiedliche Perioden kann ein Bild über mögliche Zielkonflikt-/Synergieentwicklungen schaffen. Zusammenhänge können sich infolge gesellschaftlichen Wandels und politischer Maßnahmen verändern. Das bekannteste Beispiel hierfür ist die angestrebte Entkopplung von Treibhausgasen und Wirtschaftswachstum. Mittels einer zeitlichen Differenzierung können durch einen Vergleich der Koeffizienten zwischen zwei oder mehr Perioden Veränderungen oder sogar eine möglicherweise vorliegende Trendumkehr erkannt werden.

Eine Verkürzung der Periode bedingt jedoch eine Reduzierung der Datenpunkte, die in die Korrelationsanalyse einfließen. Damit steigt die Irrtumswahrscheinlichkeit des ermittelten Koeffizienten. Es ist anzunehmen, dass aus einer Betrachtung von zu kurzen Abschnitten der Zeitreihe eine größere Zahl statistisch nicht signifikanter Korrelationskoeffizienten resultiert. Erscheint die Verkürzung zunächst nachvollziehbar – und aus Sicht der Interpretierbarkeit auch

wünschenswert – so werden die ermittelten Werte mit zunehmender Verkürzung des betrachteten Analysezeitraums unglaublich unwürdiger. Deshalb ist darauf zu achten, dass der Analyserahmen nicht allzu weit verkürzt wird. Werden Analysen nur mit vier gemeinsamen Datenpunkten durchgeführt, so sind dann lediglich Koeffizienten signifikant, die entweder nahe -1 oder nahe 1 sind.

Wieso kann eine zu kurze Zeitreihe bei Korrelationsanalysen zu Problemen führen?

Bei der Betrachtung von Korrelationskoeffizienten ist es wichtig, die statistische Signifikanz im Auge zu behalten. Von statistisch signifikant spricht man dann, wenn der ermittelte p-Wert eines Koeffizienten eine bestimmte Schwelle, das Signifikanzniveau (bspw. 0,1; 0,05 oder 0,01), unterschreitet. Der p-Wert stellt die Irrtumswahrscheinlichkeit dar, d.h. wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass der ermittelte Wert ungleich 0 ist, obwohl der eigentliche Wert tatsächlich 0 ist.

Die Grundlage der errechneten Irrtumswahrscheinlichkeit (p-Wert) bildet der t-Wert (für die Berechnung des t-Werts siehe Anhang A.3). Mit einer steigenden Zahl an Datenpunkten, die in die Korrelationsanalyse einbezogen werden, steigt der t-Wert. Dies ist wünschenswert, da aus einem erhöhten t-Wert eine verringerte Irrtumswahrscheinlichkeit resultiert. Die Glaubwürdigkeit und Sicherheit des ermittelten Koeffizienten steigen.

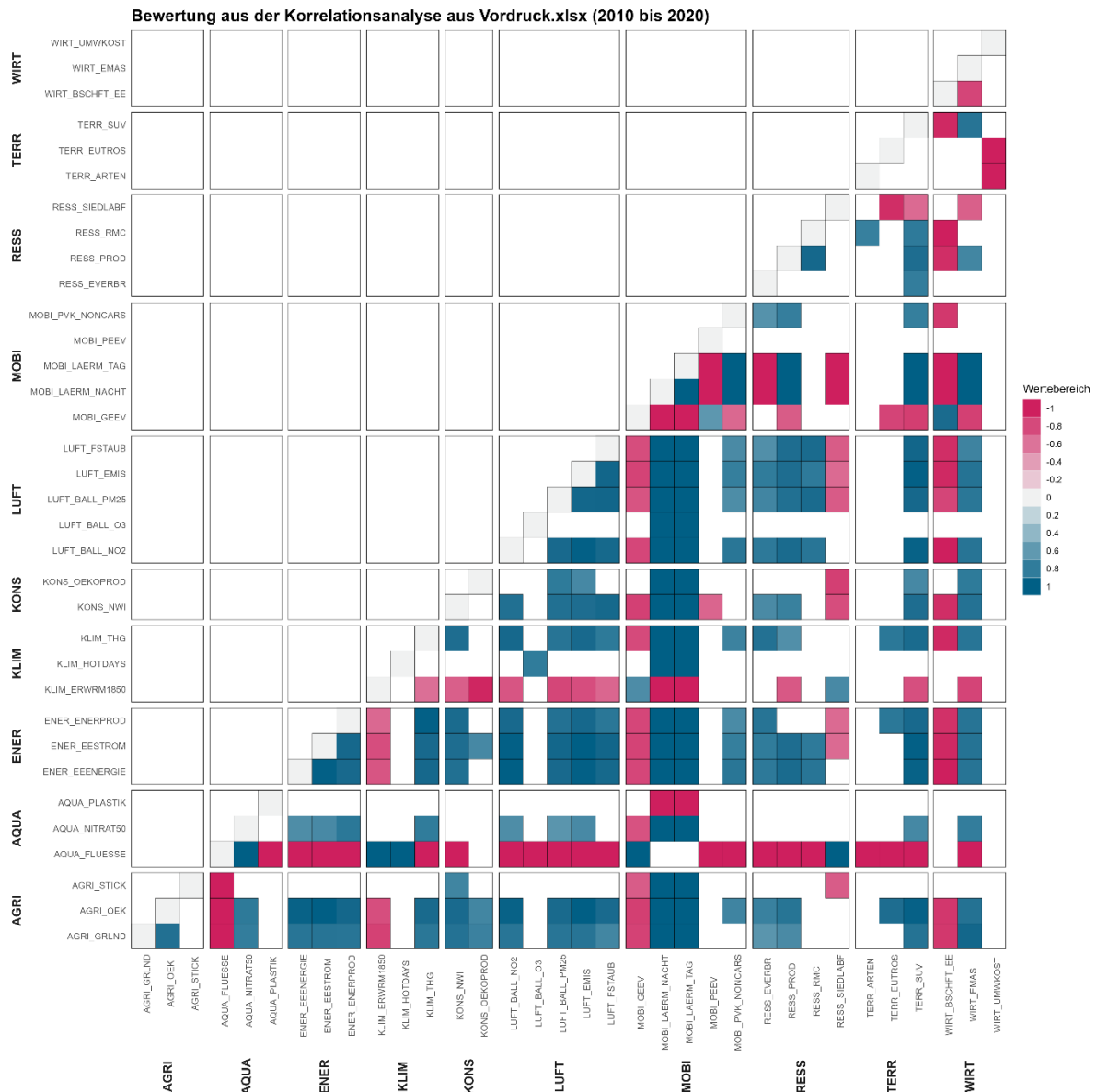
Wird die Periode jedoch verkürzt, steigt die Irrtumswahrscheinlichkeit und der ermittelte Korrelationskoeffizient kann unglaublich unwürdig werden. Ein anderer Vorschlag bezog sich auf die periodische Betrachtung von Korrelationskoeffizienten zwischen Dekaden. So könnte man bspw. Korrelationsanalysen für die Jahre 2020 – 2010 und 2010 – 2000 durchführen.¹¹ Ein Vergleich zwischen den beiden Dekaden würde mögliche Veränderungen der Zusammenhänge über die Zeit offenlegen. Dekaden sind länger als Legislaturperioden; die Wahrscheinlichkeit für das oben benannte statistische Problem scheint an dieser Stelle geringer, weshalb zeitlich periodische Korrelationsanalysen durchgeführt wurden. Hierzu wurde die eingangs getätigte Korrelationsanalyse auf zwei Dekaden aufgeteilt: 2020 – 2010 und 2010 – 2000. Die Klassifizierungen der Koeffizienten inkl. Signifikanzniveau wurden beibehalten. Die Ergebnisse dieser Korrelationsanalysen sind in Anhang B.2 für die Jahre 2000 – 2010 und in Anhang B.3 für die Jahre 2010 – 2020 festgehalten, die dazugehörigen graphischen Darstellungen der Ergebnisse sind in Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellt.

Im Zeitraum 2010 – 2020 wurden doppelt so viele statistisch signifikante Korrelationskoeffizienten ermittelt wie im Zeitraum 2010 – 2000. Dies kann prinzipiell zwei Ursachen haben. Zum einen kann es sein, dass kein Zusammenhang ermittelt werden konnte. Zum anderen kann die Datensituation dazu führen, dass mehrere Koeffizienten statistisch nicht signifikant werden. Nicht für alle Indikatoren liegen Daten für die Perioden 2000 – 2010 vollständig vor. Manche Zeitreihen beginnen erst 2004 oder später. In die Berechnung des Korrelationskoeffizienten fließen nur Datenpunkt-Paare ein, bei denen es für das jeweilige Jahr entsprechende Werte gibt. Gibt es bei einem Indikator bspw. für das Jahr 2003 einen Wert, für den anderen Indikator jedoch nicht, so wird dieses Jahr bei der Berechnung nicht in der Korrelationsanalyse berücksichtigt. Die Zahl der in die Korrelationsanalyse einfließenden Datenpunkte wird folglich gekürzt. Aus einer verkürzten Anzahl an einfließenden Datenpunkten steigt, wie zuvor beschrieben, die Irrtumswahrscheinlichkeit des entsprechenden Koeffizienten, d.h. er wird gegebenenfalls nicht signifikant. Dies spiegelt sich in den vergleichsweise hohen p-

¹¹ Eine Betrachtung von früheren Dekaden würde, zumindest im Falle der Umweltmonitorindikatoren, wenig Sinn ergeben, da die Datenlage zwischen 1990 und 2000 nur für 5 Indikatoren des Umweltmonitors vollständig gegeben ist.

Quelle: eigene Darstellung, UBA. Basierend auf eigenen Berechnungen und den Indikatoren des Umweltmonitors (Umweltbundesamt, 2021).

Abbildung 14: Korrelationen zwischen den Indikatoren des Umweltmonitors für den Zeitraum 2010 – 2020



Quelle: eigene Darstellung, UBA. Basierend auf eigenen Berechnungen und den Indikatoren des Umweltmonitors (Umweltbundesamt, 2021).

2.3.1.6 Eignung von Korrelationsanalysen als Methode zur systemischen Bewertung

Korrelationsanalysen erlauben die einfache Darstellung von Zusammenhängen durch eine einzelne Zahl, den Korrelationskoeffizienten. Sie geben ein Maß für die Korrelation zwischen Indikatoren an und erlauben gleichzeitig eine einfache Interpretierbarkeit der ermittelten Koeffizienten.

Sowohl Eurostat als auch die Bertelsmann Stiftung verwenden diese Methode bereits bzw. schlagen diese vor, um systemische Zusammenhänge in SDG-Indikatorensystemen zu ermitteln

und darzustellen (Kapitel 2.3.1.2 und 2.3.1.3). Auch wenn sich die Methoden im Detail (hauptsächlich in der Annahme, ob es lineare, oder monotone Zusammenhänge sind) unterscheiden und auch die anschließende Darstellung variiert, so greifen beide Institutionen auf eine sehr ähnliche Methodik zurück. Dass Korrelationsanalysen sowohl in Nachhaltigkeitsberichterstattungen Anwendung finden als auch in der Literatur eine der am häufigsten verwendeten Methoden für das Aufzeigen von Zusammenhängen zwischen SDG-Indikatoren darstellen (Siragusa et al., 2024, S. 16), schafft nicht nur Glaubwürdigkeit, sondern bedeutet auch, dass man an den aktuellen Stand wissenschaftlicher Literatur anknüpfen kann.

Ein großer Vorteil von Korrelationsanalysen ist, dass sie unabhängig vom Aufbau eines Indikatorensystems funktionieren, da lediglich zwei Indikatoren miteinander verglichen werden und sich durch dadurch ein Gesamtbild des Systems, also der Beziehungen der Indikatoren untereinander, ergibt. Das wird vor allem vor dem Hintergrund der 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung deutlich, bei denen die Themen unabhängig voneinander gedacht werden. Dies hat zur Folge, dass der Aufbau des Indikatorensystems zweitrangig ist. Somit kann der Fokus bei der Wahl von Indikatoren auf Qualitätskriterien, wie in Kapitel 2.1 vorgestellt, gelegt werden, ohne in eine mögliche Trade-Off Situation zu gelangen, in der man sich gegebenenfalls für eine bestimmte Indikatorensystemstruktur und ganz bestimmten Indikatoren zu Gunsten eines statistischen Verfahrens entscheiden muss.¹² Damit stellt eine Korrelationsanalyse eine universelle quantitative Methode zur Ermittlung von Synergien und Zielkonflikten dar, welche analog für andere Indikatorensysteme genutzt werden kann. Dadurch spart man nicht nur an komplexen Annahmen über die Beziehungen der Indikatoren im Vorfeld, man erspart sich ebenfalls Modellanpassungen, um eine Anwendung erst zu ermöglichen. Durch ein thematisch enges Indikatorensystem steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Korrelationskoeffizienten kausale Wirkungsbeziehungen widerspiegeln und nicht durch dritte Faktoren entstehen.

Im Zusammenspiel mit der einfachen Berechnung und einer Routinisierung mittels R-Skript (R Core Team, 2022) sind hier nicht nur große Routinisierungs- sondern auch Automatisierungspotentiale zu erkennen. Eine Einbindung in R inklusive manueller Anpassung von Parametern (Korrelationskoeffizient, Zeitraum, Klassifizierung, Signifikanzniveau), um regelmäßig das Zusammenhangsmaß aktualisieren zu können, sollte einfach möglich sein.

Ein Nachteil von Korrelationskoeffizienten ist, dass sie nur Indizien für kausale Zusammenhänge darstellen (Eurostat, 2022, S. 373; Peters, 2022a, S. 29; Pradhan et al., 2017, S. 1178). Ob ein kausaler Zusammenhang besteht lässt sich beispielsweise durch Literaturrecherche oder Experten*Expertinnenbefragung in Erfahrung bringen (Zhou et al., 2021). Diesen Weg ist Eurostat zum Teil gegangen, indem im Nachhinein die Korrelationen mit Literaturverweisen und Experten*Expertinnenmeinungen hinterlegt wurden (Eurostat, 2022, 351 - 353); IGES ging hier weitaus systematischer vor (Zhou et al., 2021). Bei der IGES-Methode wurde im Vorfeld durch Literaturrecherche die Richtung der Wirkung in Erfahrung gebracht (Zhou et al., 2021). Die Kombination aus qualitativer und quantitativer Methode erlaubt hier glaubhafte Aussagen über kausale Wirkungszusammenhänge zwischen Indikatoren und zeigt ebenfalls kausale Wirkungszusammenhänge auf, auch wenn diese durch quantitative Analysen nicht belegbar sind. Dadurch zeigt sich, dass eine quantitative Analyse auf jeden Fall zusätzlich zu einer Literaturrecherche oder Experten*Expertinnenbefragung erfolgen sollte.

Eine nachträgliche Abstimmung des ermittelten Koeffizienten mit Experten*Expertinnen muss zudem ebenfalls in Erwägung gezogen werden. Die Notwendigkeit einer solchen fachlichen Einordnung der Koeffizienten veranschaulicht das Beispiel des Koeffizienten der beiden

¹² Wie wichtig eine Unabhängigkeit von Indikatorensystem und Methode ist wird in den anderen Methoden noch deutlich. Nichtsdestotrotz gibt es auch für Korrelationsanalysen Anforderungen an Indikatoren. Beispielsweise sollten Indikatoren ausreichend Datenpunkte für eine Analyse bereitstellen.

Klimaindikatoren „Treibhausgasemissionen“ und „Abweichung der globalen Lufttemperatur vom Durchschnitt der Jahre 1850 bis 1900“.¹³ Der berechnete Korrelationskoeffizient signalisiert einen Zielkonflikt, d.h. dass eine Zielerreichung des einen Indikators die Zielerreichung des anderen behindert. Konkret bedeutet dies, dass eine Treibhausgasreduzierung in Deutschland die Abweichung der globalen Lufttemperatur nach oben verschärfen würde oder umgedreht eine Verschärfung der globalen Lufttemperatur eine weitere Treibhausgasreduzierung verhindern würde.¹⁴ Dieses Beispiel zeigt eindrücklich, warum berechnete Koeffizienten, bspw. dargestellt in einer Korrelationsmatrix, nicht für sich stehen dürfen. Die Interpretation ohne fachliches Wissen kann zu Fehlschlüssen führen und/oder für die Verbreitung von Fehlinformationen verwendet werden.

Obleich dies eher ein Einzelfall ist, so ist bei der Wahl dieser Methode der Zusammenhang – also ob der ermittelte Zusammenhang theoretisch belegbar ist oder nicht – doch immer im Detail zu prüfen. Deshalb ist im Vorfeld festzustellen, ob ein kausaler Zusammenhang besteht und welche Art des Zusammenhangs (Zielkonflikt oder Synergie) zu erwarten ist. Stimmt der Koeffizient mit der Erwartung überein, so kann dieser übernommen werden. Sollten Erwartung und Korrelationsanalyse zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, so sollte in diesem Fall geklärt werden, wieso quantitative und qualitative Analyse zu unterschiedlichen Zusammenhängen kommen. Aus diesem Grund ist die graphische Darstellung von Eurostat (Abbildung 8) in diesem Aspekt zu kritisieren, da sie eine aggregierte Form der hier vorgestellten Grafik bildet, die Koeffizienten der einzelnen Indikatorenpaare jedoch nicht zur Diskussion stellt und sie auch nicht fachlich einordnet. Die Darstellung übernimmt lediglich eine Überblicksfunktion. Bei Bertelsmann erfolgt ebenfalls keine detaillierte fachliche Kontextualisierung.

Die graphische Darstellung des SDG-Interlinkages-Web-Tool ist im Vergleich zu den anderen Darstellungsformen die nutzungsfreundlichste. Zum einen ist sie dynamisch, erlaubt also die Möglichkeit zu filtern – was sie zur übersichtlichsten Darstellungsform macht. Zum anderen ermöglicht sie es, Zusammenhänge auf „spielerische“ Weise zu erkunden. Hat man eine konkrete Frage zu Zusammenhängen von einem oder mehreren Themen, so lässt sich die Antwort einfach darstellen. Obleich eine dynamische Betrachtung der Analyse mit den anderen beiden Darstellungsformen (Korrelationsmatrix und „Schemaball“) ebenfalls möglich wäre, bspw. mit „Shiny“ (Chang et al., 2023), so ist eine Netzwerkdarstellung noch übersichtlicher und greift grundsätzlich den „vernetzten“ Charakter des Indikatorensystems visuell auf. Eine Darstellung in Netzwerkform ist mit dem visNetwork Paket in R möglich (Almende and Contributors & Thieurmel, 2022).

Korrelationsanalysen haben jedoch auch Nachteile. Nicht-monotone Zusammenhänge können durch Korrelationsanalysen (Spearman) nicht erkannt werden. Diese liegen vor, wenn sich die Art des Zusammenhangs über die Zeit ändert. Beispielsweise könnte ein Zielkonflikt zu einer Synergie werden; ähnlich des Wandels von Wirtschaftswachstum vs. Nachhaltigkeit zu Wirtschaftswachstum durch Nachhaltigkeit. Solche Umkehrtrends werden durch eine Korrelationsanalyse per Definition nicht erkannt. Hier kann es hilfreich sein, die Korrelationsanalyse bei Verdacht auf einen Umkehrtrend in mehrere Analysezeiträume aufzuteilen.

Ein weiterer „blinder Fleck“ von Korrelationsanalysen sind sogenannte Lag-Effekte (Kostetckaia & Hametner, 2022, S. 924; Warchold et al., 2021, S. 296). Dabei handelt es sich um kausale Wirkungszusammenhänge, die auf Verzögerungen basieren. Ursache und Wirkung können

¹³ Vgl. Anhang B.1.

¹⁴ In der Literatur wurden ebenfalls kontraintuitive Ergebnisse verzeichnet (Miguel Ramos und Laurenti, 2020, S. 10).

mehrere Jahre auseinanderliegen und dadurch nicht durch den Korrelationskoeffizienten abgebildet werden.

2.3.2 Strukturgleichungsmodelle

Ein zweites statistisches Verfahren, welches nun vorgestellt werden soll, sind sogenannte Strukturgleichungsmodelle (Structural Equation Modeling; kurz: SEM). SEM finden primär in den Sozialwissenschaften und der Psychologie Anwendung (MacCallum & Austin, 2000; Muthen & Satorra, 1995). Mit diesen Modellen lassen sich komplexe Wirkungszusammenhänge modellieren und quantifizieren. In Erinnerung an die in Kapitel 2.3 vorgestellten Ansätze (siehe hierzu Tabelle 10) handelt es sich hier um eine Mischung des quantitativen und des Modellierungsansatzes.

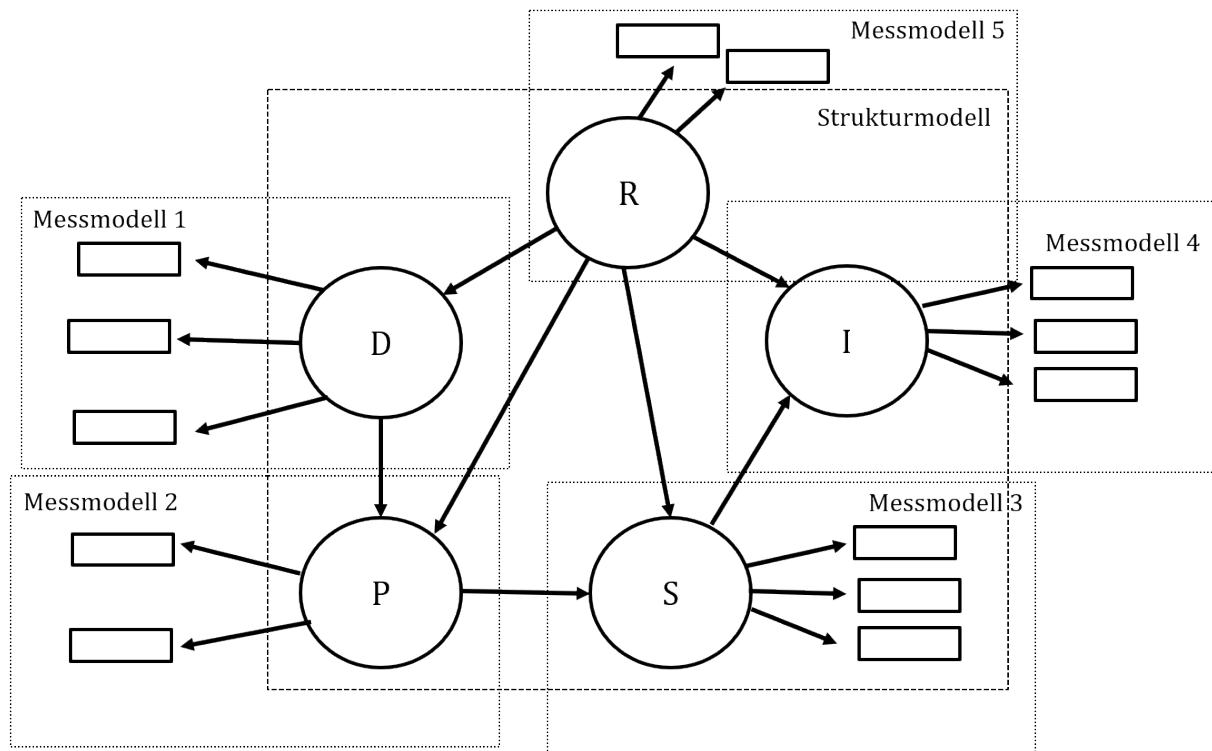
2.3.2.1 Grundlagen von Strukturgleichungsmodellen

SEM bestehen primär aus Latenten Variablen (LV) und Manifesten Variablen (MV) (MacCallum & Austin, 2000, S. 202). Latente Variablen sind Variablen, die per se nicht messbar sind, weil sie bspw. komplexere Sachverhalte darstellen (MacCallum & Austin, 2000, S. 202). Um mit diesen Variablen arbeiten zu können, werden sogenannte MV herangezogen, mit denen man jene Sachverhalte versucht zu beschreiben (MacCallum & Austin, 2000, S. 202). MV sind folglich messbare Variablen, die LV beschreiben (indicans).

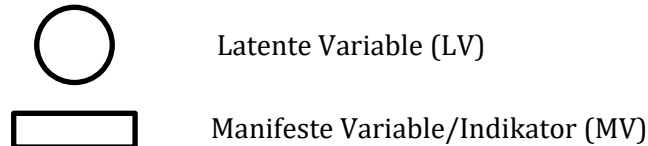
Strukturgleichungsmodelle bestehen dabei grundsätzlich aus Struktur- und Messmodellen (Weston & Gore, 2006, S. 724). Messmodelle bilden jenen Teil des SEM, in dem versucht wird, LV mittels MV zu beschreiben (Weston & Gore, 2006, S. 724). Im nächsten Schritt werden dann die LV im Strukturmodell in Beziehung gesetzt (Weston & Gore, 2006, S. 724). Hier werden Hypothesen über die Abhängigkeiten zwischen den LV gebildet (Weston & Gore, 2006, S. 726). Durch diesen Aufbau lassen sich die Pfadkoeffizienten zwischen den LV schätzen (bspw. mittels Maximum-Likelihood).

Obgleich SEM aus der sozialwissenschaftlichen und psychologischen Sphäre kommen, fanden diese Modelle auch Anwendung in wissenschaftlicher Literatur zu Umweltthemen. In mehreren wissenschaftlichen Veröffentlichungen wurden Strukturgleichungsmodelle an der DPSIR-Logik ausgerichtet, um umweltpolitische Fragen zu beantworten (Sun et al., 2018; Wei et al., 2019). In Abbildung 15 wird eine allgemeine visuelle Darstellung dieses Ansatzes präsentiert und folgend basierend auf Sun et al., 2018 und Wei et al., 2019 beschrieben: Hier bilden *Driving Forces*, *Pressure*, *State*, *Impact* und *Response* die jeweiligen LV im SEM, wobei die einzelnen LV mittels Indikatoren beschrieben werden (Messmodell). Im nächsten Schritt werden die einzelnen LV in Beziehung gesetzt (Strukturmodell). Nun können die einzelnen kausalen Wirkungen zwischen den *Driving Forces* und *Pressure*, *Pressure* und *State*, usw. geschätzt werden. So lässt sich bspw. die aggregierte Wirkung von Response-Mechanismen auf Impact-Mechanismen bestimmen. Würde man dieses Prinzip auf ein Klimaindikatorensystem übertragen, so ließe sich dadurch bspw. der Einfluss von Anstrengungen bezüglich der Anpassung an den Klimawandel (*Response*) auf Klimafolgen (*Impact*) bestimmen.

Abbildung 15: Allgemeines Strukturgleichungsmodell im Umweltindikatorenkontext



Legende



Quelle: Eigene Darstellung, UBA. In Anlehnung an Sun et al., 2018, S. 1937–1941; Wei et al., 2019, S. 709.

Dieser Modellierungs-Ansatz wurde bisher nur in wissenschaftlichen Veröffentlichungen angewandt. Über die wissenschaftliche Forschung hinaus, d.h. als praktische Anwendung zur Darstellung von systemischen Zusammenhängen in Umwelt- oder Nachhaltigkeitsberichterstattungen, wurde dieser Modellierungsansatz jedoch noch nicht genutzt.

2.3.2.2 Eignung von Strukturgleichungsmodellen als Methode zur systemischen Bewertung

Strukturgleichungsmodelle sind in einer Hinsicht einzigartig: Sie ermöglichen die Quantifizierung zwischen nicht-messbaren Sachverhalten (Wei et al., 2019, S. 709). Betrachtet man ein Indikatorensystem durch die „DPSIR-Brille“ (siehe Abbildung 15), so lassen sich Zusammenhänge zwischen den einzelnen Knotenpunkten quantifizieren. Folglich ist es möglich, wie im vorherigen Kapitel bereits erwähnt, die Effekt gesammelter Anstrengungen vor dem Hintergrund einer ganz konkreten Forschungsfrage zu identifizieren.

Die ermittelten Koeffizienten stellen jedoch, wie im Falle der Korrelationskoeffizienten, nicht unbedingt kausale Wirkungszusammenhänge dar. In diesem Aspekt sind diese Modelle nicht zu überschätzen. So stellt Otis Duncan fest: *“Path analysis [...] does not purport to be a method for discovering causes.”* (Duncan, 1966, S. 1). Bollen und Pearl schreiben: *“The credibility of the SEM depends on the credibility of the causal assumptions in each application”* (Bollen & Pearl, 2014,

S. 309). Beide Aussagen zeigen, dass die Bedeutung von Pfadkoeffizienten nicht überbewertet werden soll. Koeffizienten sind nur so gut wie die getroffenen Annahmen, die aus der Literaturrecherche bzw. Experten*Expertinnenmeinung resultieren (Bollen & Pearl, 2014, S. 309).

Ein weiterer Nachteil wird deutlich, wenn man die Auswahlkriterien der Indikatoren in den wissenschaftlichen Veröffentlichungen mit den Qualitätskriterien aus Kapitel 2.1 vergleicht. In den wissenschaftlichen Veröffentlichungen wurden Indikatoren gewählt, die für das Modell gut passen. Im Laufe von Modellanpassung wurden dann Indikatoren entfernt, um das Modell effizienter zu gestalten (Wei et al., 2019). In diesem Sinne wird das Modell mit einer optimalen Zahl an Indikatoren „gefüttert“. Modelloptimierung bedeutet in diesem Fall, dass sich das Indikatorensystem an der Methode orientiert. Dies ist aus einer rein wissenschaftlichen Perspektive notwendig und wünschenswert. Aus UBA-Perspektive sollten sich Indikatoren jedoch in allererster Linie an Qualitätskriterien orientieren. Ein wesentlicher Bestandteil von diesen Kriterien ist u.a. die klare und leichte Verständlichkeit der Indikatoren für die Öffentlichkeit (Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016, S. 10). Bei den vorgestellten Anwendungsbeispielen von SEM in der wissenschaftlichen Literatur spielt die öffentliche Kommunikation keine Rolle; andere Unterkriterien wurden ebenfalls nicht berücksichtigt. Aus Perspektive des UBA sollte es eher interessant sein, eine Methode zu finden, welche auf ein qualitativ hochwertiges Indikatorensystem passt und nicht Indikatoren, die zu einem statistischen Verfahren passen.

Eine Einbindung in R ist bspw. mit dem Lavaan Paket möglich (Rosseel, 2012). SEM erlauben jedoch keine einfache Routinisierung für das UBA. Für jedes neue Indikatorensystem müssen Struktur- und Messmodelle aufwändig erstellt und spezifiziert werden. Hinzu kommt die damit verbundene Literaturrecherche und/oder Experten*Expertinnenbefragung im Vorfeld.

SEM wurden nur in einer Handvoll wissenschaftlicher Veröffentlichungen verwendet und das auch erst seit wenigen Jahren. Sie stellen demnach, zumindest im Kontext umweltwissenschaftlicher Forschung bzw. im SDG-Kontext (Siragusa et al., 2024, S. 16), einen neuen Ansatz dar.

Weiterhin gelten SEM als eines der komplexeren Modelle in der sozialwissenschaftlichen Sphäre. Problematisch ist hier vor allem, dass eine Modellierung bereits die Einbindung von Fachpersonen beansprucht, und dadurch an Verwaltungsaufwand für eine regelmäßige Einbindung im Rahmen der Umweltberichterstattung eher entgegensteht. Im Rahmen des Projekts wurde entschieden SEM als Methode vorerst nicht weiter zu verfolgen.

2.3.3 Vektorautoregressive Modelle

Um klassische Zeitreihen zu analysieren, zu denen auch Indikatoren zählen, eignen sich Modelle, die konkret für ebenjene Datenstruktur konzipiert wurden. Möchte man mehrere Zeitreihen, die voneinander abhängen, gleichzeitig betrachten, so eignen sich Multivariate Zeitreihenmodelle. Eine der bekanntesten Modelle sind die sogenannten Vektorautoregressiven Modelle (VAR-Modelle). VAR-Modelle finden in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur bereits seit Jahrzehnten Anwendung bei der Betrachtung von Abhängigkeiten zwischen volkswirtschaftlichen Kenngrößen und um Voraussagen zu treffen (Ghali, 1997; Kruprianov & Lupoletti, 1984).

2.3.3.1 Grundlagen Vektorautoregressiver Modelle

Im Kern von VAR-Modellen steht die Annahme, dass betrachtete Zeitreihen simultan abhängig voneinander sind (Webb, 1984, S. 5). Dabei spielen autoregressive Prozesse eine entscheidende

Rolle. Ebenjene Prozesse bedeuten, dass der aktuelle Wert einer Variable (z.B. eines Indikators) von den vergangenen Werten der eigenen Zeitreihe und den vergangenen Werten der anderen Zeitreihen abhängt (Webb, 1984, S. 5). Wie ein einfaches VAR(1)-Modell¹⁵ mit drei Indikatoren aussehen würde, stellt Anhang A.5 dar.

Aufgrund der konkret auf Zeitreihen zugeschnittenen Natur der VAR-Modelle, eignen sich diese hervorragend für Voraussagen. Einen anderen Vorteil bilden sogenannte Impuls-Response-Funktionen (Tsay, 2013, S. 89–95). Diese erlauben die Manipulation eines oder mehrerer Indikatoren, um den Einfluss auf den interessierenden Indikator zu bestimmen (Tsay, 2013, S. 90). Mit solchen Funktionen lassen sich konkrete Fragestellungen beantworten, wie bspw.: Um wie viel % steigen/fallen Treibhausgasemissionen, wenn ein anderer Indikator um 1% steigt (Tsay, 2013, S. 90)?

Der Vorteil von Vektorautoregressiven Modellen liegt darin, dass man keine komplexen Gleichungssysteme mit unterschiedlichen Abhängigkeiten erstellen muss (Sims, 1980, S. 27). Vielmehr trifft man die Annahme, dass jede Zeitreihe, also jeder aktuelle Indikatorwert, von vergangenen vorperiodischen Datenpunkten und von vergangenen Datenpunkten der anderen Indikatoren abhängt (Webb, 1984, S. 5). Was bei VAR-Modellen nicht vonnöten ist, ist die Definition von abhängigen und unabhängigen Variablen, wie es bei SEM der Fall ist (Sims, 1980, S. 27). Hier liegt ein großer Vorteil von VAR-Modellen.

Modellierungen von VAR-Modellen folgen in der Regel einer festen Folge: Spezifikation, Modellschätzung und die anschließende Modellüberprüfung (Lütkepohl, 2009, S. 283). Sie können daher perspektivisch routiniert werden. Eine mögliche Routine soll hier kurz skizziert werden

Die Modellierung beginnt mit der Betrachtung der Zeitreihe und der Prüfung auf Stationarität (Lütkepohl, 1999, S. 2; Lütkepohl, 2009, 282 f.). Stationarität von Zeitreihen ist eine wichtige Voraussetzung von VAR und bedeutet, dass Zeitreihen weder einem Trend folgen, noch eine zu- oder abnehmende Varianz aufweisen. Dies ist bei vielen Modellen, die für Zeitreihenanalyse verwendet werden, Voraussetzung. Sowohl der Durchschnitt als auch die Varianz dürfen nicht von der Zeit abhängig sein, also sich mit der Zeit verändern, sondern müssen über die Zeitreihe hinweg konstant bleiben. Umweltindikatoren folgen jedoch häufig einem Trend. Die „Rohdaten“ dürften somit in vielen Fällen nicht für die Analyse verwendet werden. Um sicher zu gehen, dass Stationarität vorliegt, eignen sich statistische Tests wie der Dickey-Fuller-Test (Dickey & Fuller, 1979) oder der KPSS-Test (Kwiatkowski et al., 1992). Liegt im Einzelfall keine Stationarität vor, so sollte die Zeitreihe differenziert werden, um sie in eine stationäre Zeitreihe umzuwandeln (Lütkepohl, 1999, S. 2; Lütkepohl, 2009, S. 282 f.). Mit der differenzierten Zeitreihe, also dem differenzierten Indikatorwerten, kann anschließend weitergerechnet werden.

Im nächsten Schritt erfolgt die Wahl der Verzögerung p (Tsay, 2013, S. 61–66). An dieser Stelle wird die Frage gestellt, wie viele Vorperioden der eigenen Zeitreihe sowie der anderen Zeitreihen Einfluss auf den aktuellen Indikatorwert haben bzw. im Modell berücksichtigt werden sollen. Grundsätzlich kann man sich hier an sogenannten Informationskriterien orientieren (Tsay, 2013, 63f.), z.B. dem Akaike-Informationskriterium (AIC) (Akaike, 1973), dem Bayes'sche Informationskriterium (BIC) (Schwarz, 1978) oder dem Hannan-Quinn Informationskriterium (Hannan und Quinn, 1979; Quinn, 1980). Für jede Verzögerungs-Ordnung (*lag-order*) werden entsprechende Informationskriterien bereitgestellt (Tsay, 2013, S. 64). Die Wahl fällt dann prinzipiell auf die *lag-order* mit dem kleinsten statistisch signifikanten Informationskriterium.

¹⁵ VAR(1) bedeutet, dass es sich um ein VAR-Modell mit 1. Verzögerungs-Ordnung handelt. Dazu gleich mehr.

Im Anschluss erfolgen die Modellschätzung und Modellprüfung. Das finale Modell ist dann Grundlage für Voraussagen (Tsay, 2013, S. 82–89) und kann genutzt werden, um Impuls-Response-Funktionen zu ermitteln (Tsay, 2013, S. 89–95). Sogenannte Impuls-Response-Funktionen können genutzt werden, um „wenn-dann“ Analysen zu tätigen (Tsay, 2013, S. 89–95). Wie bei allen zeitlichen Voraussagen mit ökonometrischen Modellen sollte auch hier der Projektionshorizont nicht allzu weit gefasst werden, d.h. nur kurzfristige Voraussagen getätigt werden.

2.3.3.2 Eignung von Vektorautoregressiven Modellen zur systemischen Bewertung

VAR-Modelle sind auf Zeitreihendaten maßgeschneidert. Sie eignen sich für Prognosen aber auch für Szenarienanalysen: Die Szenarien werden dabei mittels Impulse-Response-Funktionen durchgeführt. Mit solchen Funktionen kann man dann beispielsweise analysieren, um wie viel % sich die Treibhausgasemissionen entwickeln, wenn ein bestimmter Indikator um 1 % steigt oder sinkt.

Ein weiterer Punkt, der sehr für die Anwendbarkeit von VAR-Modelle spricht und aus den vorherigen Punkten ersichtlich wird, ist die Routinisierung. Zeitreihenanalysen sind oft sehr ähnlich. In diesem Sinne können perspektivisch Routinen erstellt werden, um solche Analysen durchzuführen.¹⁶ Analysen können in R mit dem MTS-Paket (Tsay et al., 2022) oder dem vars-Paket (Pfaff, 2008a; 2008b; Pfaff & Stigler, 2024) geschehen.

Ein großer Nachteil von VAR-Modellen ist, dass sie nicht eine Zahl für einen Zusammenhang ausgeben (wie etwa bei Korrelationskoeffizienten). Bei der Schätzung von Modellen wird für jede periodische Verzögerung ein Koeffizient berechnet. Hat man ein Modell aus zwei Indikatoren, Indikator A und B, bei denen drei Vorperioden einen signifikanten Einfluss auf die aktuelle Periode haben, so hat man drei Koeffizienten für den Einfluss von A auf B und umgekehrt. Dies ermöglicht keine einfache Quantifizierung wie es bei Korrelationskoeffizienten der Fall ist. Dies kann, muss aber nicht zwingend einen Nachteil darstellen, da der jeweilige Einfluss differenzierter betrachtet werden kann.

Ein weiteres Problem offenbarte sich im Laufe des Versuchs, Zeitreihenanalysen mit den Indikatoren des Umweltmonitors durchzuführen: die Datenlage. Für viele Indikatoren gab es nur wenige Datenpunkte, wie bspw. bei den Indikatoren des „Ressourcen“-Themas. Zu den kurzen Zeitreihen kommt erschwerend hinzu, dass bei vielen Indikatoren keine Vollständigkeit gewährleistet ist. Längeren Zeitreihen, wie z.B. beim Indikator „Heiße Tage“, stehen kurze Zeitreihen wie die der Gesamtrohstoffproduktivität gegenüber. Obgleich eine Interpolation/Extrapolation im Bereich des Machbaren liegt, so wird eine einfache lineare Interpolation/Extrapolation den Indikatoren des Umweltmonitors nicht gerecht. Je mehr interpoliert wird, desto mehr basiert die Zeitreihenanalyse auf hypothetischen Werten anstatt auf realen Messwerten. Prognosen sind demzufolge Ergebnisse von Annahmen und nicht qualitätsgesicherten Daten. Qualitativ hochwertige Interpolationen, also glaubwürdige und methodisch konsistente Interpolationen/Extrapolationen, sollten individuell für jeden Indikator durchgeführt werden. Aus diesem Grund wurde die Entscheidung getroffen, sich an der kürzesten Zeitreihe zu orientieren und die gesamte Zeitreihe auf die kürzeste gegebene Periode zu verkürzen. Werden in einer exemplarischen Zeitreihenanalyse zwei Indikatoren mit einbezogen, bspw. der Indikator „Anteil erneuerbare Energien an Bruttostromverbrauch“ (Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik, 2025) (Zeitreihe von 1990 – 2023, 34 Datenpunkte) und der Indikator „Abstand der durchschnittlichen Schadstoffkonzentrationen zu WHO-Empfehlungen im städtischen Hintergrund deutscher Ballungsräume“ (Zeitreihe von

¹⁶ Expertise im Umgang mit Statistikprogrammen und einem gewissen Vorwissen zu VAR-Modellen werden hier vorausgesetzt.

2000-2023, 24 Datenpunkte) (Umweltbundesamt, 2024a), so wird der Indikator „Anteil erneuerbare Energien an Bruttostromverbrauch“ auf den Zeitrahmen von 2000-2023 heruntergebrochen. Dadurch verkürzt sich die Zeitreihe um ganze 11 Datenpunkte, die nicht in der Analyse verarbeitet werden können. Dieser pragmatische Ansatz hat jedoch zur Folge, dass wichtige Informationen aus Zeitreihen entfernt werden.

Ein weiteres Problem ergibt sich bei der Wahl der Verzögerungs-Ordnung (engl. *lag-order*) im Umweltkontext. Wie bereits beschrieben, kann man sich hierbei in Bezug auf Zeitreihenanalysen an Informationskriterien orientieren. Die Wahl würde auf die Verzögerungsordnung fallen, die bspw. den geringsten AIC-Wert aufweist. Das Modell mit dem geringsten Informationskriterium bildet das effizienteste Modell. Es ist zu erwähnen wie wichtig die Konsultation von Experten*Expertinnen im Kontext von Umweltindikatoren erscheint. In diesem Zusammenhang wurde auf den Aspekt der Treibhausgasemissionen hingewiesen, welche teilweise bis zu tausend Jahre in der Atmosphäre verweilen können und so einen Einfluss auf andere Kenngrößen nehmen können (Solomon, Daniel, Sanford, Murphy, Plattner, Knutti & Friedlingstein, 2010). Vorliegende Zeitreihen von Treibhausgasemissionen reichen jedoch nicht so weit zurück. Inwieweit die korrekte *lag-order* vor dem Hintergrund kurzer Zeitreihen überhaupt abgebildet werden kann ist derzeit jedoch noch unklar und kann hier abschließend noch nicht geklärt werden, da dies im Einzelfall analysiert werden muss. An dieser Stelle soll allerdings auf die Problematik hingewiesen werden.

Aus dieser generellen „Datenknappheit“ resultiert noch ein weiteres Problem. Mit steigender Anzahl an Indikatoren, die in das Modell mit einbezogen werden, und mit steigender Verzögerungsordnung, fallen die Freiheitsgrade (engl. *degrees of freedom*) geringer aus, wodurch die Genauigkeit der geschätzten Koeffizienten und die Genauigkeit der Voraussagen sinkt (Sims, 1980, S. 28). Dies ist genau dann ein Problem, wenn der entsprechend verwendete Datensatz – wie im Falle von Umweltindikatoren – klein ist.

Im Rahmen der Arbeiten im Fachgebiet zum Data-Cube besteht die Hoffnung auf die Verfügbarkeit von mehr Daten, wodurch eine Analyse gegebenenfalls ermöglicht werden kann. VAR-Modelle sollten daher zwingend „im Hinterkopf“ behalten werden. Eine Anwendung ist maßgeblich davon abhängig, wie gut die Datenlage zum Zeitpunkt einer möglichen Analyse ist.

2.3.4 Vorläufige methodische Empfehlung vor Praxistest

Nach Vorstellung der Zwischenergebnisse im Rahmen eines Workshops und zusätzlichen Diskussionen innerhalb des Projekts wird die folgende Methode für das UBA empfohlen und im 3.AP am exemplarischen Indikatorensystem geprüft:

Anknüpfend an die vorgestellten Fallbeispiele fiel die Entscheidung auf eine Methode, die Korrelationsanalysen zur Grundlage hat. Die Methodik besteht aus drei Schritten und kombiniert Korrelationsanalysen mit Facheinschätzungen. Der erste Schritt beginnt mit einer Korrelationsanalyse der ausgewählten Indikatoren.¹⁷

Im zweiten Schritt werden die ermittelten Werte durch eine*n Fachexperten*Fachexpertin gegengeprüft. Korrelationskoeffizienten stellen in allererster Linie nur Indizien für tatsächliche kausale Zusammenhänge dar. Aus diesem Grund sollten die ermittelten Werte, bevor sie extern kommuniziert werden, auf Plausibilität geprüft werden. Hinzu kommt, dass

¹⁷ Grundsätzlich wird der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman empfohlen mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ und einem Schwellenwert von $-0,3/0,3$. Der Analysezeitraum kann variabel sein und ist grundsätzlich von der Länge der Indikatoren abhängig. Im Zweifel sollte der maximale Analysezeitraum gewählt werden. Bei sehr langen Zeitreihen kann auch eine dekadische Korrelationsanalyse durchgeführt werden, um mögliche Umkehrtrends mit zu berücksichtigen. Dies sollte jedoch im Einzelfall eingeschätzt werden. Die Notwendigkeit einer Einzelfallprüfung rührt vor allem daher, dass bestimmte Mechanismen in komplexen Umweltwirkungsgeflechten erst nach vielen Jahren ihre Wirkung entfalten.

Korrelationskoeffizienten ungerichtet sind. Sollten tatsächliche Ursache-Wirkungsbeziehungen vorliegen, ist wichtig zu erfahren, in welche Richtung diese Beziehung besteht. Inwieweit bei der Experten-Prüfung weitere statistische Verfahren angewandt werden oder weitere Methoden berücksichtigt werden, wird in diesem Verfahren nicht festgelegt, da dies u.a. von der Datenlage oder auch von einsetzbaren Kapazitäten abhängig ist.

In Schritt drei werden die Ergebnisse aus dem ersten und dem zweiten Schritt abgeglichen. Die Vorgehensweise und die Bewertungsmaßstäbe sollen transparent bei der Veröffentlichung und Kommunikation der Ergebnisse erkennbar sein.

3 Korrelationsanalyse-Tool

3.1 Hintergrundinformationen

Um die Durchführung von Korrelationsanalysen für unterschiedlichste Bedarfe zu flexibilisieren und zu erleichtern, wurde ein Tool erstellt.

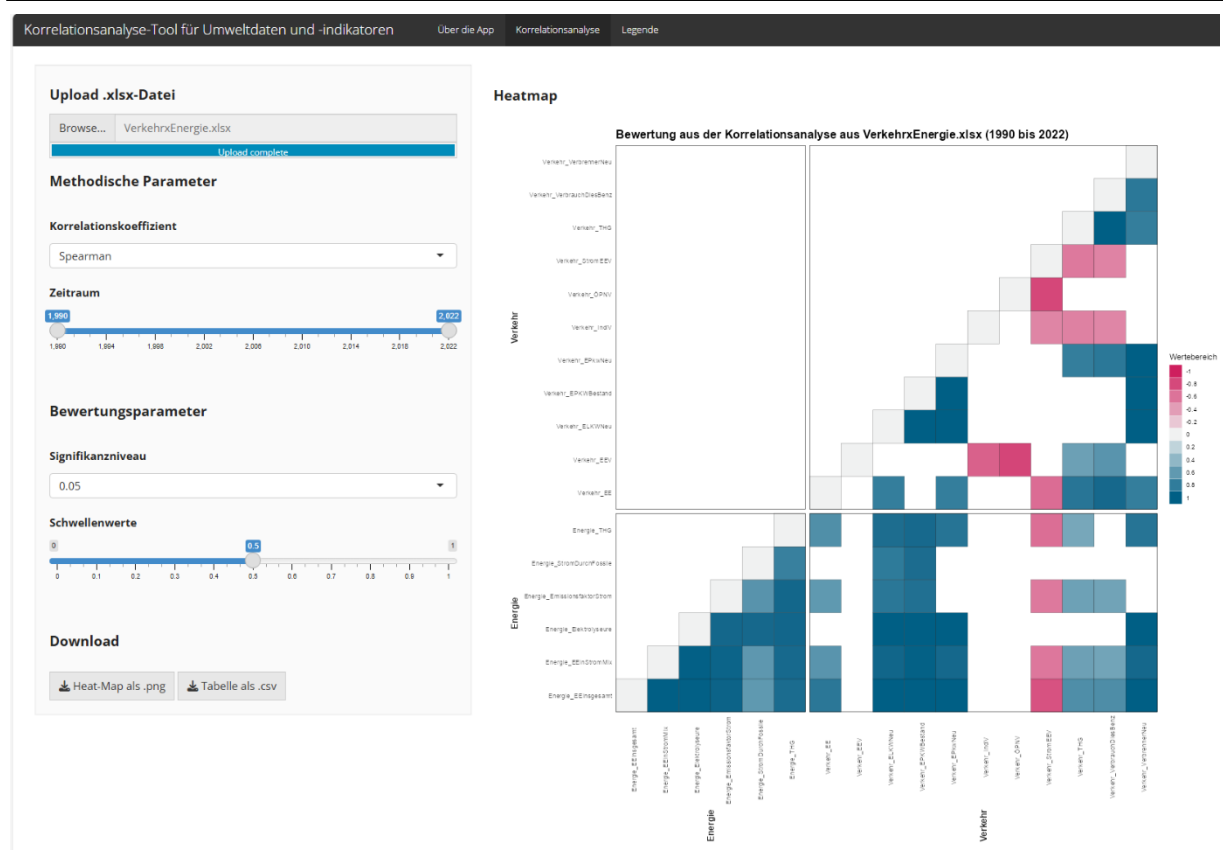
Das Korrelationsanalyse-Tool wurde in R (RStudio) (Posit team, 2025; R Core Team, 2022) mit dem Shiny-Paket geskriptet (Chang et al., 2023) (zudem wurden die Pakete shinythemes (Chang, 3.2 starten2021), Hmisc (Harrell, 2024), mathjaxr (Viechtbauer, 2022), readxl (Wickham & Bryan, 2023), tidyverse (Wickham et al., 2019) und DT (Xie et al., 2023) verwendet). Demnach handelt es sich um eine Webanwendung, welche durch ein Server-Hosting zugänglich gemacht werden kann.

Das Programm ermöglicht die Durchführung von Korrelationsanalysen mit einem importierten Set an Indikatoren und Daten. Die Wahl des Koeffizienten (Spearman oder Pearson) und des Analysezeitraums sowie die Einstellung des Signifikanzniveaus und der Bewertungsschwellen sind einfach über die Toolbar anpassbar. Als Output produziert die Applikation sowohl eine Heatmap, in der die bewerteten Koeffizienten farblich dargestellt werden, als auch eine Tabelle mit den ermittelten Koeffizienten und entsprechenden p-Werten. In der Tabelle werden die Werte ebenfalls entsprechend der Skala von Cohen bewertet (Cohen, 1992). Die Heatmap kann als .png, die Tabelle als .csv heruntergeladen werden.

Das Programm wird derzeit lokal verwaltet. Grundsätzlich läuft das Programm auf Rechnern, die mit der Software R Studio ausgestattet sind. Eine Server basierte Lösung mit Zugriff über einen Web Browser wird angestrebt, konnte jedoch bisher noch nicht realisiert werden.

Das Korrelations-Analyse-Tool sowie eine Handreichung dazu werden auf Anfrage vom UBA zur Verfügung gestellt.

Abbildung 16: Korrelationsanalyse-Tool-Oberfläche 1/2



Quelle: Screenshot aus Webanwendung, UBA. Die verwendeten Daten für die Analyse sind die Verkehrs- und Energieindikatoren des Ariadne Transformation Tracker (Kopernikus Projekt Ariadne, 2024). Für ausführliche Datenquellen siehe Tabelle 14.

Abbildung 17: Korrelationsanalyse-Tool-Oberfläche 2/2



Quelle: Screenshot aus Webanwendung, UBA. Die verwendeten Daten sind die Verkehrs- und Energieindikatoren des Ariadne Transformation Tracker (Kopernikus Projekt Ariadne, 2024). Für ausführliche Datenquellen siehe Tabelle 14.

In der letzten Version 1.5 zeigt die Tabelle nicht nur die den ermittelten Koeffizienten und den p-Wert an, sondern ordnet diesen – wie bereits erwähnt – ebenfalls entsprechend der Skala nach (Cohen, 1992) ein (Siehe Abbildung 18). Einem statistisch signifikanten Koeffizienten wird eine vorläufige Bewertung (also eine Interpretation entsprechend der Cohen-Skala) hinzugefügt, wenn der Betrag des statistisch signifikanten Koeffizienten mindestens dem angegebenen Schwellenwert entspricht. Die Interpretationsintervalle können Tabelle 13 entnommen werden.

Abbildung 18: Auszug Tabelle Korrelations-Tool (Version 1.5)

Tabelle (Indikatorenpaar, Koeffizient (r), p-Wert und vorläufige Bewertung)

Show10entries

Search:

	x	y	coeff	p	Vorlaeufige_Bewertung
131	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_EPKwNeu	0.87	0.024175	Indiz für starke Synergie
132	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_Indiv	-0.35	0.15402	Kein statistisch signifikanter Zusammenhang
133	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_ÖPNV	-0.953	0.000908	Indiz für starken Zielkonflikt
134	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_StromEEV	-0.462	0.030317	Indiz für mittelstarken Zielkonflikt
135	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_THG	0.995	0	Indiz für starke Synergie
136	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	Verkehr_VerbrauchDiesBenz	0	1	Kein statistisch signifikanter Zusammenhang
137	Verkehr_VerbrennerNeu	Energie_EEInsgesamt	0.93	0.002405	Indiz für starke Synergie
138	Verkehr_VerbrennerNeu	Energie_EEinStromMix	0.727	0.064204	Kein statistisch signifikanter Zusammenhang
139	Verkehr_VerbrennerNeu	Energie_Elektrolyseure	0.968	0.000347	Indiz für starke Synergie
140	Verkehr_VerbrennerNeu	Energie_EmissionsfaktorStrom	0.509	0.242968	Kein statistisch signifikanter Zusammenhang

Showing 131 to 140 of 153 entries

Previous

1

...

12

13

14

15

16

Next

Quelle: Screenshot aus Webanwendung, UBA. Die verwendeten Daten sind die Verkehrs- und Energieindikatoren des Ariadne Transformation Tracker (Kopernikus Projekt Ariadne, 2024). Für ausführliche Datenquellen siehe Tabelle 14.

Tabelle 13: Interpretationsintervalle

Wertebereich	signifikant	Vorläufige Bewertung
$1 \geq r \geq 0.5$	ja	Indiz für starke Synergie
$0.5 > r \geq 0.3$	ja	Indiz für mittelstarke Synergie
$0.3 > r \geq 0.1$	ja	Indiz für schwache Synergie
$0.1 > r > 0$	ja	Statistisch signifikanter, jedoch unbedeutender positiver Zusammenhang
$0 < r < -0.1$	ja	Statistisch signifikanter, jedoch unbedeutender negativer Zusammenhang
$-0.1 \geq r > -0.3$	ja	Indiz für schwachen Zielkonflikt
$-0.3 \geq r > -0.5$	ja	Indiz für mittelstarken Zielkonflikt
$-0.5 \geq r \geq -1$	ja	Indiz für starken Zielkonflikt
$1 \geq r \geq -1$	nein	Kein statistisch signifikanter Zusammenhang

Quelle: eigene Darstellung, UBA; Einteilung angelehnt an Cohen, 1992.

Zudem werden die Zeilen der Indikatorenpaare, welche im Bewertungsintervall liegen, entsprechend farblich hervorgehoben. Die Farbskala orientiert sich an der, der Heatmap.

Das Hinzufügen der Interpretation des Koeffizienten pro Indikatorenpaar, bzw. die vorläufige Bewertung – entsprechend der Einteilung nach Cohen, 1992 – ermöglicht eine noch einfachere Handhabung der App. Die farbliche Unterstreichungen der bewerteten Zusammenhänge hat sowohl funktionalen als auch visuellen Nutzen. Zum einen hebt es die Interpretation der Bewertung farblich hervor, zum anderen wird nun ein visueller Zusammenhang zwischen der Heatmap und der Tabelle hergestellt.

3.2 Handreichung IT-gestützte Analyse

Alle notwendigen Anwendungshinweise zur Installation und Nutzung des Korrelationsanalysetools wurden in Form einer Handreichung dokumentiert und übergeben.

3.2.1 Vorbereitung der Indikatoren in Excel-Tabelle

Bevor die eigentliche Korrelationsanalyse durchgeführt werden kann, muss das Indikatorensystem in eine Excel-Datei überführt werden. Die hochzuladene .xlsx-Datei muss bestimmte Vorgaben einhalten, damit die Korrelationsanalyse problemlos funktioniert bzw. das Programm fehlerfrei arbeitet. Ein Muster zum Ausfüllen steht im Tool selbst im Reiter „Über die App“ unter dem Punkt „Wie müssen Datensätze formatiert sein?“ zur Verfügung. Nach erfolgreichem Download kann die Datei in Excel bearbeitet werden.

In Abbildung 19 sieht man die Formatierung anhand eines Beispieldatensatzes:

Abbildung 19: Beispieldatensatz

	A	B	C	D	E
1	Indikator	Gesamte jährliche Treibhausgasemissionen	CO₂-Emissionen pro erzeugter Einheit Strom	Jährliche THG-Emissionen der Energiewirtschaft	Jährliche THG-Emissionen des Verkehrssektors
2	Einheit	Mt CO ₂ -Äquivalente	gCo ₂ /kWh	Mt CO ₂ -Äquivalente	Mt CO ₂ -Äquivalente
3	Trendziel	Fallend	Fallend	Fallend	Fallend
4	Quelle 1	UBA; Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes	UBA; Entwicklung der spezifischen Emissionen des deutschen Strommixes	UBA; Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes	UBA; Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes
5	Quelle 2		AG Energiebilanzen e.V.; Stromerzeugung nach Energieträgern		
6	ID	Gesamt_THG	Energie_EmissionsfaktorStrom	Energie_THG	Verkehr_THG
19	1990	1251,224782	711,9237502	474,5989164	163,2753711
20	1991	1205,06458		459,7625948	166,2306934
21	1992	1155,625635		435,4830709	172,1036761
22	1993	1146,306672		425,7155494	176,4324691
23	1994	1127,792571		419,8008492	172,4039105
24	1995	1120,660808	667,4636382	406,7027897	176,071343
25	1996	1137,86895		412,6364339	175,6573548
26	1997	1102,187361		390,7954849	176,0715782
27	1998	1077,604052		390,7263032	179,3444393
28	1999	1043,180831		379,7506474	184,4564986
29	2000	1040,191831	606,6790353	390,6153865	180,5043835
30	2001	1054,869073	611,0908428	400,6005135	176,6370521
31	2002	1033,037864	616,2260711	400,7147656	174,1307938
32	2003	1029,390014	597,3295854	412,654218	167,798363
33	2004	1010,291141	576,2242603	407,3471816	167,3855729
34	2005	984,9869705	571,87017	400,3929961	159,3813215
35	2006	991,8973615	566,5106952	400,8152519	155,417748
36	2007	964,8650606	583,4305718	405,6352631	152,5557916
37	2008	964,9743184	546,0296321	384,4575602	152,1899909

Quelle: eigene Darstellung, UBA; Indikatoren aus Ariadne Transformation Tracker. Zur einzelnen Quellenangabe siehe Tabelle 14.

Grundsätzlich werden Indikatoren spaltenweise aufgelistet. Die ersten sechs Zeilen enthalten die Metadaten der Indikatoren/Daten. Es müssen nicht alle Zeilen ausgefüllt werden, damit die App funktioniert. Obligatorisch sind die Zeilen 1, 3 und 6, d.h. Name, wünschenswerte Entwicklungsrichtung und ID. Die nicht notwendigen Zeilen dürfen nicht gelöscht werden. Am besten werden entsprechende Zeilen/Zellen leer gelassen.

In Zeile 1 wird der vollständige Name des Indikators angegeben.

In Zeile 2 wird die Einheit des Indikators eingetragen.

Bei Korrelationsanalysen mit Indikatoren muss die gewünschte Entwicklung des Indikators bzw. dessen Trendziel beachtet werden, um eine saubere Interpretation der Ergebnisse zu gewährleisten. Diese wird in Zeile 3 vermerkt. Soll ein Indikator fallen, ist „Fallend“ einzutragen, soll er steigen, ist „Steigend“ einzutragen. Handelt es sich um eine Datenreihe ohne gewünschte Entwicklung/Trendziel, sollte immer „Steigend“ eingetragen werden.

Zeile 4 und 5 dienen der Quellenangabe.

In Zeile 6 muss den Indikatoren eine ID zugewiesen werden. Die ID ist der Name des Indikators, wie er in der App dargestellt wird. Die Buchstaben vor dem Unterstrich erlauben die Einteilung der Indikatoren in Themen. Beispielsweise ist das Thema in der Abbildung oben „Emissionsminderung“. Gibt es nur ein Oberthema, dann ist entsprechend auch nur ein Thema einzutragen. Die Buchstaben nach dem Unterstrich geben den Namen des Indikators bzw. der Zeitreihe an. Sowohl beim Thema als auch beim Namen sind Abkürzungen zu wählen, da längere Bezeichnungen in der Auswertung nicht dargestellt werden können. Im Reiter „Legende“ des Tools können Sie bei Bedarf jederzeit die Bedeutung der einzelnen Abkürzungen abrufen, die Sie in Zeile 1 der Excel hinterlegt haben.

In den nachfolgenden Zeilen müssen dann die Werte entsprechend den Jahren eingetragen werden.

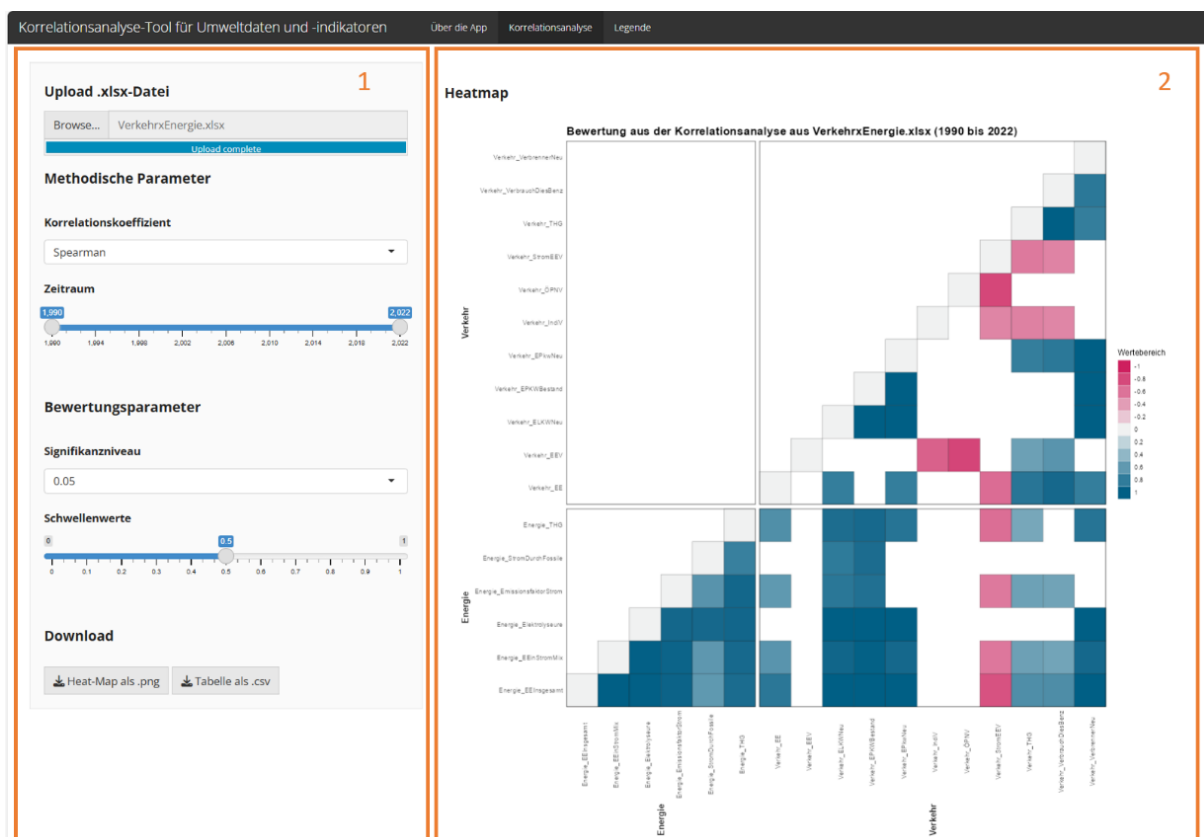
3.2.2 Durchführung der Korrelationsanalyse

Das Korrelationstool hat drei Reiter: „Über die App“, „Korrelationsanalyse“ und „Legende“.

Im Reiter „Über die App“ können allgemeine Informationen über Korrelationsanalysen und die Verwendung der App in Erfahrung gebracht werden. Unter „Korrelationsanalyse“ kann das eigene Indikatorensystem „hochgeladen“ und die eigentliche Analyse durchgeführt werden. Wurde ein entsprechender Indikatorensatz in die App geladen findet kann zudem unter dem Reiter „Legende“ die vollen Indikatorennamen mit den entsprechenden Abkürzungen, die in die Excel eingetragen wurden.

Die Reiter „Korrelationsanalyse“ besteht aus drei Bereichen:

Abbildung 20: Oberfläche Korrelationstool (1/2)



Quelle: Screenshot aus Webanwendung, UBA.

Im ersten Bereich (Abbildung 20 – linke Hälfte) kann unter „Upload .xlsx-Datei“ die Excel-Datei in der entsprechenden Formatierung hochgeladen werden.

Nach dem Upload kann die Korrelationsanalyse durchgeführt werden. Hier können Sie sowohl die Parameter für die Korrelationsanalyse als auch die Parameter zur Bewertung der ermittelten Koeffizienten anpassen.

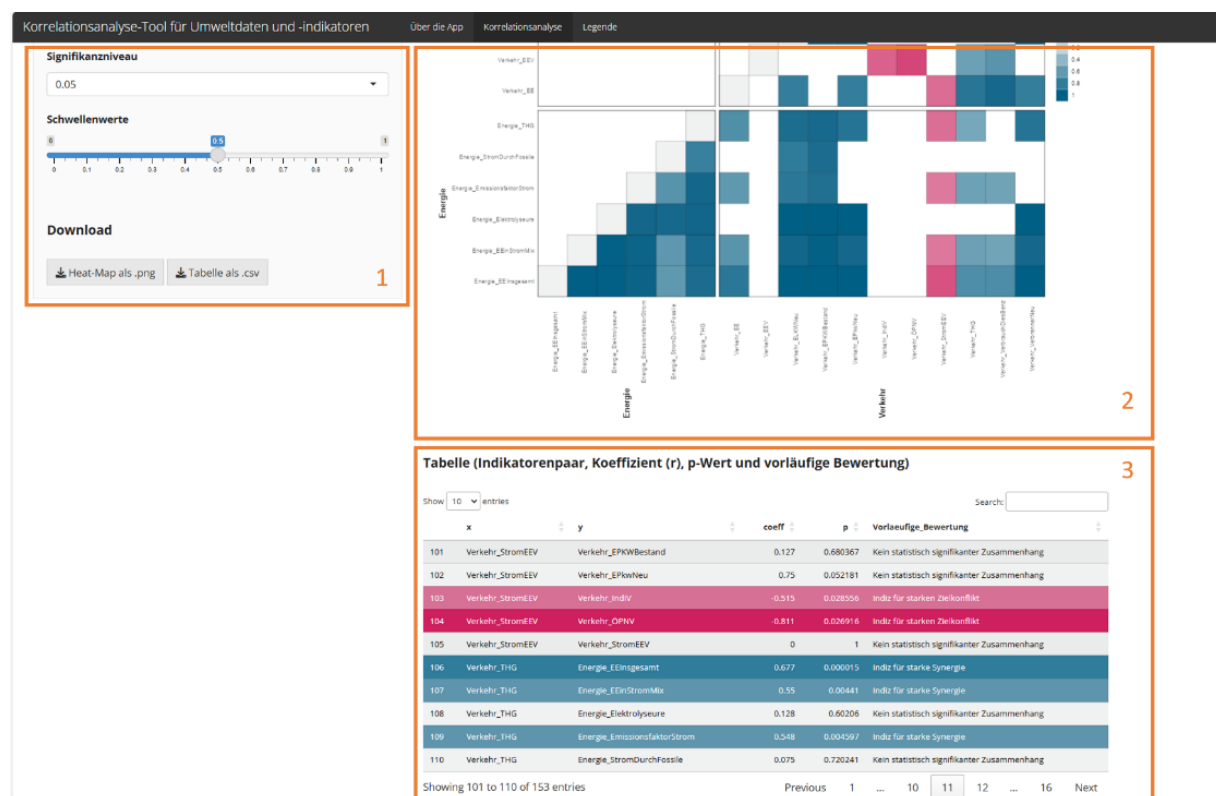
Parameter für die Korrelationsanalyse: Hier haben besteht die Wahl zwischen dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson und dem Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman. Außerdem kann der maximale Analysezeitraum festgelegt werden. Mit dem Slider kann das Start- und das Endjahr der Analyse festgelegt werden. Anmerkung: Gibt es bei einem Indikatorenpaar für ein Jahr keine Datenpunkte, so wird dieses Jahr in der Analyse nicht berücksichtigt. Dadurch kann der effektive Analysezeitraum bei manchen Indikatorenpaaren ggf. kleiner ausfallen.

Bewertungsparameter: Unter diesem Punkt kann das Signifikanzniveau ausgewählt werden, d.h. unter welcher Irrtumswahrscheinlichkeit die ermittelten Koeffizienten als statistisch signifikant und damit als relevant für die weitere Bewertung gelten. Hier stehen vier voreingestellte Werte zur Auswahl. Weiterhin kann durch die Auswahl von Schwellenwerten darüber entschieden werden, ab wann ein Korrelationskoeffizient als stark genug erachtet wird, um als Indiz für einen positiven/negativen Zusammenhang in die Bewertung einzugehen. Der Slider lässt Werte zwischen 0 und 1 zu. Beispiel: Ein eingestellter Wert von 0,5 bedeutet, dass Koeffizienten über 0,5 als Indiz für Synergien und unter -0,5 als Indiz für Zielkonflikte bewertet werden. Alle Koeffizienten außerhalb dieses Bereichs gehen dann nicht in die Bewertung ein.

Auf der rechten Seite der Nutzungsoberfläche wird nach Anpassung der Parameter eine Heatmap erzeugt, die eine anschauliche Darstellung der Zusammenhänge innerhalb des zugrundeliegenden Indikatoren-/Datensatzes liefert. Indizien für Synergien werden in der Abbildung blau dargestellt, Indizien für Zielkonflikte rot.

Im unteren Bereich der Oberfläche (Abbildung 21) werden die ermittelten Koeffizienten inklusive p-Werte angezeigt. Die vorläufige Bewertung erfolgt dabei anhand der Skala von Cohen, 1988. Wenn in den Bewertungsparametern definiert wurde, dass nur statistisch signifikante Koeffizienten über bzw. unter dem Schwellenwert von 0.3 bzw. -0.3 in die Analyse eingehen, finden sich hier dementsprechend nur Indizien für mittelstarke und starke Zusammenhänge. Die farbliche Kodierung orientiert sich am Farbschema der Heatmap. Eine Suchmaske erlaubt das Filtern nach Indikatoren(-paaren).

Abbildung 21: Oberfläche Korrelationstool (2/2)



Quelle: Screenshot aus Webanwendung, UBA.

Anschließend können die Heatmap als .png und die Tabelle als .csv zur Weiterverwendung heruntergeladen werden.

4 Befüllung/Wahl eines Indikatorensystems zum Thema „Treibhausgasneutralität“

4.1 Voraussetzungen und weiteres Vorgehen für Befüllung eines Schwerpunktthemas

In der Leistungsbeschreibung des Projekts war das Thema Treibhausgasneutralität als Pilotthema zum Testen der Methode einer systemaren Bewertung eines Indikatoren-Systems vorgeschlagen. Dazu sollte ein passendes Indikatorensystem zur Verfügung gestellt werden.

Zunächst wurde analysiert, welche Anforderungen ein Indikatorensystem für die Funktionalität des methodischen Vorgehens – wie 1. AP vorgestellt wurde – mitbringen soll. Im 1. AP wurde darauf geachtet, eine Methode für die systemische Bewertung zu wählen, die anforderungsarm ist. Im Gegensatz zu den anderen diskutierten Methoden wurde dadurch die Abhängigkeit vom Indikatorensystem zur Methode minimiert. Das bedeutet, dass eine Methode keine große Anpassung des Indikatorensystems fordert. Dadurch wurde gewährleistet, dass zukünftige Indikatorensysteme für das methodische Vorgehen verhältnismäßig einfach anwendbar gemacht werden können. Nichtsdestotrotz bedeutet anforderungsarm, dass es Qualitätsanforderungen gibt, die zu erfüllen sind.

Im Allgemeinen stellen SMART- (Bours, 2014; ECA, o.J.), RACER- (Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016, S. 10) und CREAM-Kriterien (Schiavo-Campo, 1999, S. 31) generelle Qualitätskriterien für Indikatoren dar. Im Besonderen, z. B. konkret für Umweltindikatoren, können spezifische Qualitätskriterien wie bspw. die NRC-Kriterien (National Research Council, 2000, S. 52–58) herangezogen werden.

Für die vorgeschlagene Methodik im Rahmen des UBA müssen Indikatoren jedoch weitere Voraussetzungen erfüllen. In diesem Sinne wurden drei wichtige Qualitätsaspekte herausgearbeitet:

- a) inhaltliche,
- b) statistische und
- c) organisatorische Anforderungen.

Letztere sind als Rahmenbedingung für eine gelingende erweiterte Korrelationsanalyse zu verstehen und beziehen sich nicht dezidiert auf die Eigenschaften von Indikatoren(-systemen), sondern auf die Möglichkeit der Prozesseinbindung im UBA.

4.1.1 Inhaltliche Anforderungen

Das entstehende Indikatorensystem sollte thematisch eng sein. Dies hat zweierlei Gründe. Zum einen steigt die Wahrscheinlichkeit, tatsächlich kausale Zusammenhänge zu beobachten. Zum anderen sinkt die Wahrscheinlichkeit, viele insignifikante Zusammenhänge zu beobachten.

Zudem ist es sinnvoll darauf zu achten, dass Indikatoren ähnliche geografische Dimensionen besitzen. Ein Indikatorensystem zur Treibhausgasneutralität in Deutschland, sollte bspw. nur aus nationalen Indikatoren bestehen. Konkret muss sichergestellt werden, dass die Indikatoren im Indikatorensystem nationale und nicht globale oder bspw. europäische Indikatoren sind.

4.1.2 Statistische Anforderungen

Neben den inhaltlichen Anforderungen an Indikatoren(-systeme) müssen auch die Indikatoren aus statistischer Perspektive gewisse Charakteristika erfüllen, damit Korrelationsanalysen

sinnvolle Ergebnisse liefern können. Indikatoren, die in eine Korrelationsanalyse mit einfließen, sollten zwingend mehr als vier gemeinsame Datenpunkte aufweisen. Je mehr Daten in die Analyse einfließen, umso besser und glaubhafter ist auch das Ergebnis. Ab 21 Datenpunkten lassen sich nach Dekaden differenzierte Korrelationsanalysen durchführen.

Dekadische Korrelationsanalysen ermöglichen es, Veränderungen der Zusammenhänge über Zeit in dekadischen Zeiträumen zu erkennen. Alternativ ermöglichen Indikatoren mit 21 oder mehr Datenpunkten auch mehr Variation der anschließenden Bewertungsklassen. So könnte man, würde man die Korrelationsanalyse über den gesamten Zeitraum ausführen, die Bewertungsklassen von -0,5/0,5 auf -0,3/0,3 absenken und somit bereits mittelstarke Zusammenhänge bei der Bewertung berücksichtigen. Dies hängt damit zusammen, dass längere Zeitreihen ermöglichen, dass auch kleinere Koeffizienten statistisch signifikant sein können.

4.1.3 Organisatorische Anforderungen

Neben den Anforderungen aus inhaltlicher und statistischer Perspektive muss für die erweiterte Korrelationsanalyse auch der organisatorische Rahmen stimmen. Organisatorische Anforderungen betreffen nicht den Indikator oder das Indikatorensystem selbst, sondern den Prozess um die Korrelationsanalyse, d.h. Schritt II und III des methodischen Vorgehens.

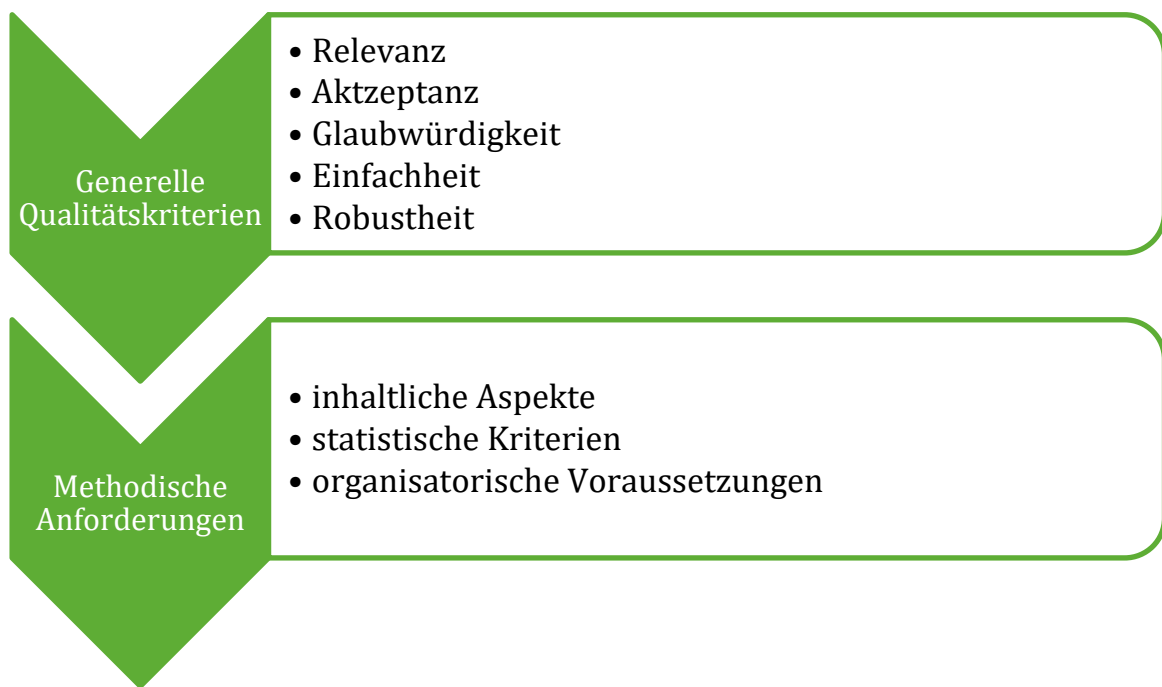
Die Befragung von Experten*Expertinnen über die Richtung und erwartete Art des Zusammenhangs zwischen Indikatoren sowie eine anschließende Abstimmung der Ergebnisse sind ein bedeutender Teil der erweiterten Korrelationsanalyse. Die Konsultation ist entscheidend, um Aussagen über kausale Wirkungsmechanismen treffen zu können und Missinterpretationen zu vermeiden. Auf Projektebene der Indikatorenbewertung, für die einbezogene Fachexpertise als auch für die Aufbereitung der Ergebnisse sind ausreichend Kapazitäten einzuplanen.

Wichtig ist: Wie bei den allgemeinen Qualitätskriterien (RACER, SMART und CREAM) wäre es auch bei den Anforderungen für Korrelationsanalysen nahezu utopisch, Indikatoren(-systeme) zu finden, die alle Anforderungen im vollen Umfang erfüllen. Gewisse vertretbare Abstriche sind bei fast jedem Indikator – sei es inhaltlich oder statistisch – zu erwarten. Das liegt in der Natur der Sache. Sämtliche Bewertungen wurden im vorliegenden Projekt daher immer durch intensive Abwägungsprozesse mindestens nach Vier-Augen-Prinzip begleitet.

4.1.4 Anforderungen an Indikatoren für Durchführung vorgeschlagener Methode

Aus den drei Punkten ergibt sich eine sinnvolle Abfolge zu prüfender Qualitätskriterien (Abbildung 22), die als methodische Orientierungshilfe dienen kann.

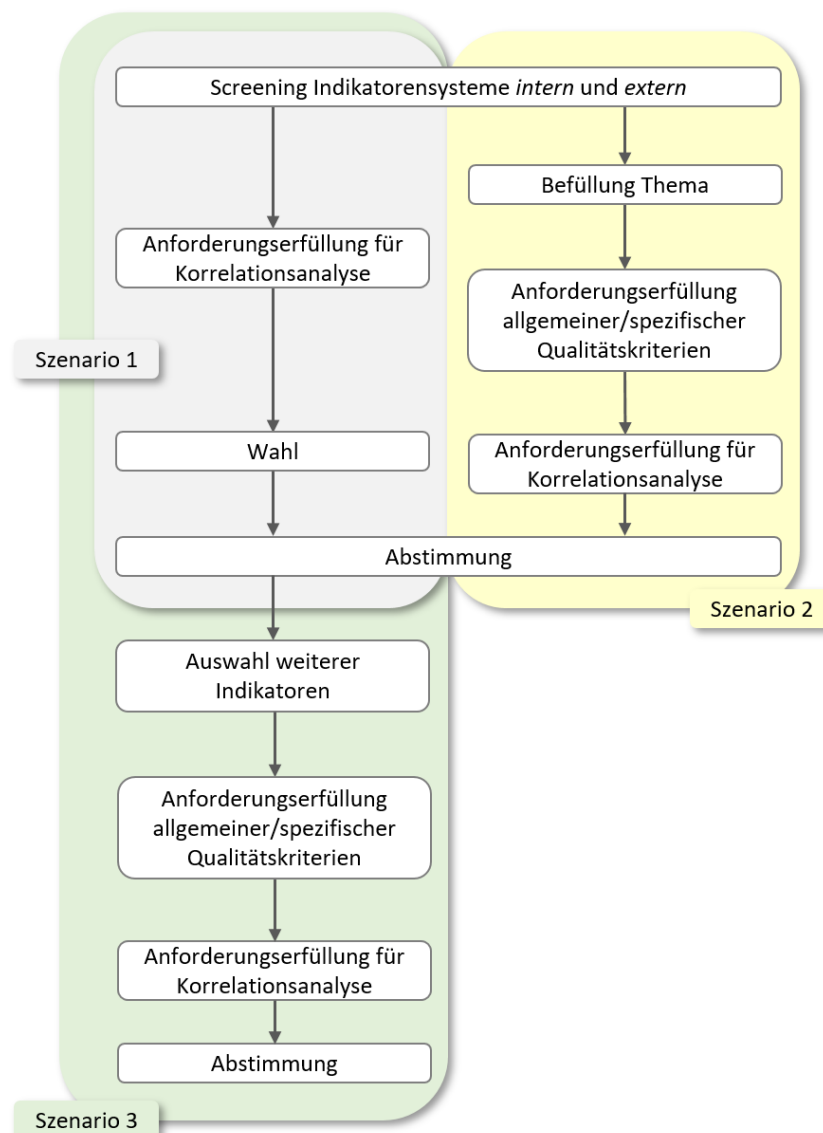
Abbildung 22: Qualitätskriterien am Beispiel eines Umweltindikatorensystems



Quelle: eigene Darstellung, UBA.

Auf Grundlage dessen wurde ein Workflow erarbeitet (Abbildung 23), welcher im Zentrum des 2. AP steht.

Abbildung 23: Workflow 2. AP



Quelle: eigene Darstellung, UBA.

Grundsätzlich können sich bei der Bearbeitung drei Situationen ergeben.

Szenario 1

Man findet *bestehende* interne oder externe Indikatorensysteme, welche für Korrelationsanalysen verwendet werden können. In diesem Szenario werden die notwendigen Anforderungen für erweiterte Korrelationsanalysen überprüft. Daran anschließend findet die Abstimmung des Themas statt.

Szenario 2

Wird weder ein internes noch ein externes Indikatorensystem identifiziert, das den Anforderungen (potenziell) gerecht wird, so muss ein individuelles Indikatorensystem befüllt werden. In diesem zweiten Szenario muss nicht nur die Erfüllung der Anforderungen für Korrelationsanalysen, sondern auch die allgemeinen und/oder themenspezifischen Kriterien individuell für alle Indikatoren überprüft werden. In diesem Sinne ist das zweite Szenario mit erheblichem Mehraufwand durch Befüllung und Bewertung verbunden.

Aus diesem Grund wurde im vorliegenden Projekt priorisiert, ein bestehendes Indikatorensystem zu finden, welches die Grundlage für die Berechnungen im 3. AP darstellt.

Szenario 3

Ein drittes Szenario ist ebenfalls möglich, in dem ein thematisch funktionales Indikatorensystem identifiziert und ggf. durch weitere Indikatoren ergänzt wird. Dies ist der Fall, wenn ein bestehendes Indikatorensystem weniger Indikatoren beinhaltet als das Thema erlaubt, ein Querschnittsthema aus dem System herausgearbeitet werden soll oder eine thematischere Erweiterung des Indikatorensystems angestrebt wird.

4.2 Recherche und Bewertung

Im Rahmen des Eigenforschungsprojekts wurden mehrere Indikatoren-Systeme mit Blick auf ihre Eignung für die Anwendung der systemischen Bewertung geprüft. Das Vorgehen ist ausführlich beschrieben im Abschlussbericht zum Vorhaben. Im Ergebnis wurde der „Ariadne Transformation Tracker“ zum Thema Treibhausgasneutralität ausgewählt. Eine Ergänzung um weitere Indikatoren erfolgte im Projekt.

4.2.1 Ariadne Transformation Tracker zum Thema Treibhausgasneutralität

Mit dem Ariadne Transformation Tracker wurde ein Indikatorensystem zum Thema Treibhausgasneutralität identifiziert. Das Kopernikus¹⁸-Projekt (Bundesministerium für Bildung und Forschung, o.J.) Ariadne (vollständiger Name: Ariadne – Evidenzbasiertes Assessment für die Gestaltung der deutschen Energiewende) setzt sich mit den Transformationsbestrebungen Deutschlands auseinander, d.h. inwieweit und durch welche Politikinstrumente Deutschland die bis 2045 angestrebte Treibhausgasneutralität erreichen kann (Kopernikus Projekt Ariadne, o.J.). Die Fortschritte dieser Bemühungen werden im Rahmen des „Ariadne Transformation Trackers“ (Kopernikus Projekt Ariadne, 2024) dargestellt. Das Indikatorensystem besteht aus 47 Indikatoren, wodurch das Thema Treibhausgasneutralität in großem Umfang abgebildet wird. Diese 47 Indikatoren lassen sich entweder sektoral oder nach sechs übergeordneten Handlungszielen wie folgt unterteilen:

Sektoren:

1. Gesamtsystem (Gesamt_)
2. Energiewirtschaft (Energie_)
3. Verkehr (Verkehr_)
4. Gebäude (Gebäude_)
5. Industrie (Industrie_)

Handlungsfelder:

1. Emissionsminderung (Emiss_)
2. Ausbau Erneuerbarer Energien (EE_)
3. Fossil Phase-Out (FPO_)
4. Elektrifizierung (Ele_)
5. Effizienz und Lebensstil (EuL_)
6. Infrastruktur (Inf_)

Den sechs Handlungsfeldern werden die folgenden 47 Indikatoren zugeordnet:

¹⁸ Bei den Kopernikus-Projekten, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), handelt es sich um deutsche Forschungsinitiativen mit dem Schwerpunkt „Energiewende“. Ihr Ziel ist es, eine klimaneutrale Bundesrepublik im Jahr 2045 zu ermöglichen.

1. Emissionsminderung

- 1.1 Gesamte jährliche Treibhausgasemissionen in Mt CO₂e (Emiss_Gesamt/Gesamt_THG)
- 1.2 CO₂-Emissionen pro erzeugter Einheit Strom in gCO₂/kWh
(Emiss_CO2proEinheitStrom/Energie_EmissionsfaktorStrom)
- 1.3 Jährliche THG-Emissionen der Energiewirtschaft in MtCO₂e
(Emiss_Energiewirtschaft/Energie_THG)
- 1.4 Jährliche THG-Emissionen des Verkehrssektor in MtCO₂e (Emiss_Verkehr/Verkehr_THG)
- 1.5 Jährliche THG-Emissionen des Gebäudesektors in MtCO₂e
(Emiss_Gebaeude/Gebäude_THG)
- 1.6 CO₂-Emissionen der Wohngebäude pro Wohnfläche in kgCO₂/m²
(Emiss_CO2proWohnflaeche/Gebäude_Emissionsintensität)
- 1.7 Jährliche Energie- und prozessbedingte THG-Emissionen des Industriesektors in MtCO₂e
(Emiss_Industrie/Industrie_THG)
- 1.8 Energie- und prozessbedingte CO₂-Emissionen der Industrie pro Einheit
Bruttoinlandsprodukt in tCO₂/Mio.Euro (Emiss_CO2proBIP/Industrie_CO2proBIP)

2. Ausbau Erneuerbarer Energien

- 2.1 Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch in %
(EE_EE_am_EEV/Gesamt_EE_am_EEV)
- 2.2 Installierte Netto-Leistung von Windenergieanlagen auf See in GW
(EE_LeistungOffShore/Energie_LeistungOffshore)
- 2.3 Installierte Netto-Leistung von Windenergieanlagen an Land in GW
(EE_LeistungOnShore/Energie_LeistungOnshore)
- 2.4 Installierte Netto-Leistung von Photovoltaik in GW (EE_LeistungPV/Energie_LeistungPV)
- 2.5 Anteil des erneuerbar erzeugten Stroms an der Nettostromerzeugung in %
(EE_EinStromMix/Energie_EEinStromMix)
- 2.6 Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors in %
(EE_EinVerkehr/Verkehr_EE)
- 2.7 Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch des Gebäudesektors in %
(EE_EinGebäude/Gebäude_EE)
- 2.8 Jährlicher Biomasseeinsatz in der Industrie in TWh
(EE_BioinIndust/Industrie_Biomasseeinsatz)

3. Fossil Phase-Out

- 3.1 Jährlicher Primärenergieeinsatz von Erdgas in PJ
(FPO_VerbrauchEG/Gesamt_PrimäreinErdgas)
- 3.2 Jährlicher Primärenergieeinsatz von Braun- und Steinkohle in PJ
(FPO_VerbrauchK/Gesamt_PrimäreinKohle)
- 3.3 Jährlicher Primärenergieeinsatz von Mineralöl in PJ
(FPO_VerbrauchPetr/Gesamt_PrimärMineralöl)
- 3.4 Jährlicher Primärenergieeinsatz von fossilen Energieträgern in PJ
(FPO_VerbrauchFF/Gesamt_BedarfFossileEnergie)

- 3.5 Jährliche Netto-Stromerzeugung aus Kohle-, Gas- und Ölkraftwerken in TWh
(FPO_StromDurchFF/Energie_StromDurchFossile)
- 3.6 Anteil von Pkw mit Verbrennungsmotor an Neuzulassungen pro Jahr in %
(FPO_VerbrennerNeu/Verkehr_VerbrennerNeu)
- 3.7 Verbrauch von fossilem Benzin- und Dieselkraftstoff im Verkehrssektor in TWh
(FPO_VerbrauchDiesBenz/Verkehr_VerbrauchDiesBenz)
- 3.8 Anteil von Öl, Kohle und Gas am Endenergieverbrauch der Gebäude in %
(FPO_FFEndEnGebäude/Gebäude_AnteilFossilAmEEV)
- 3.9 Absatz von Öl- und Gasheizungen pro Jahr in Tausend
(FPO_AbsÖlundGasheizung/Gebäude_AbsÖlundGasheizung)
- 3.10 Jährlicher Öl-, Kohle- und Erdgasverbrauch im Gebäudesektor in TWh
(FPO_ÖKGVerbrauchGeb/Gebäude_ÖKGVerbrauch)
- 3.11 Jährlicher Öl- Kohle- und Erdgasverbrauch in der Industrie in TWh
(FPO_ÖKGVerbrauchInd/Industrie_ÖKGVerbrauch)

4. Elektrifizierung

- 4.1 Anteil von Strom am Endenergieverbrauch in %
(Ele_DirektElektr/Gesamt_Strom_am_EEV)
- 4.2 Anteil der Neuzulassungen von vollelektrischen Pkw in %
(Ele_EPKWNeu/Verkehr_EPKWNeu)
- 4.3 Bestand an vollelektrischen Pkw in Millionen
(Ele_EPKWBestand/Verkehr_EPKWBestand)
- 4.4 Anteil von Strom am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors in %
(Ele_ElektrifizierungVerkehr/Verkehr_StromEEV)
- 4.5 Anteil von vollelektrischen Lkw an den Gesamtzulassungen in %
(Ele_ELKWNeu/Verkehr_ELKWNeu)
- 4.6 Absatz von Wärmepumpen pro Jahr in Tausend (Ele_AbsatzWP/Gebäude_AbsatzWP)
- 4.7 Bestand an Wärmepumpen in Millionen (Ele_WPBestand/Gebäude_WPBestand)
- 4.8 Anteil von Strom am Endenergieverbrauch der Gebäude in %
(Ele_ElektrifizierungGebäude/Gebäude_StromAmEEV)
- 4.9 Anteil von Strom am Endenergieverbrauch der Industrie in %
(Ele_ElektrifizierungInd/Industrie_StromAmEEV)

5. Effizienz und Lebensstil

- 5.1 Jährlicher Endenergieverbrauch in TWh (EuL_EEV/Gesamt_EEV)
- 5.2 Jährlicher Endenergieverbrauch des Verkehrssektors in TWh
(EuL_EEVVerkehr/Verkehr_EEV)
- 5.3 Anteil des öffentlichen Personenverkehrs an der Personenverkehrsleistung in %
(EuL_ÖPNV/Verkehr_ÖPNV)
- 5.4 Anteil des motorisierten Individualverkehrs an der Personenverkehrsleistung in %
(EuL_IndiV/Verkehr_IndiV)

5.5 Jährlicher Endenergiebedarf des Gebäudesektors in TWh
(EuL_EEVGebäude/Gebäude_EEV)

5.6 Jährlicher Endenergieverbrauch der Wohngebäude pro Wohnfläche in MJ/m²
(EuL_EnergIntensGebäude/Gebäude_EnergIntensität)

5.7 Jährliche Stahlproduktion über schrottbasierte Sekundärroute in Mt
(EuL_StahlSek/Industrie_StahlSek)

5.8 Endenergieverbrauch der Industrie pro Einheit Bruttoinlandsprodukt in MJ/Tsd.Euro
(EuL_EnergieIntenIndusBIP/Industrie_EnergiebedarfProBIP)

6. Infrastruktur

6.1 Elektrische Leistungsaufnahme installierter und geplanter Elektrolyseure in MW_{el}
(Inf_Elektrolyseure/Energie_Elektrolyseure)

6.2 Anteil der Fernwärme am Endenergieverbrauch der Gebäude in %
(Inf_FernwärmeGeb/Gebäude_FernwärmeanGWundWW)

6.3 Stahlproduktion über wasserstoffbasierte Direktreduktion (Ist+Projekte) in Mt

Tabelle 14: Datenquellen Ariadne Transformation Tracker

Indikator	ID	Quelle	Link
Gesamte jährliche Treibhausgasemissionen in Mt CO ₂ e	Emiss_Gesamt/Gesamt_THG	UBA 2025; Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes	Link
CO ₂ -Emissionen pro erzeugter Einheit Strom in gCO ₂ /kWh	Emiss_CO2proEinheitStrom/Energie_EmissionsfaktorStrom	UBA 2025; Entwicklung der spezifischen Emissionen des deutschen Strommixes AG Energiebilanzen e.V 2025; Stromerzeugung nach Energieträgern	Link Link
Jährliche THG-Emissionen der Energiewirtschaft in MtCO ₂ e	Emiss_Energiewirtschaft/Energie_THG	UBA 2025; Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes	Link
Jährliche THG-Emissionen des Verkehrssektor in MtCO ₂ e	Emiss_Verkehr/Verkehr_THG	UBA 2025; Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes	Link
Jährliche THG-Emissionen des Gebäudesektors in MtCO ₂ e	Emiss_Gebäude/Gebäude_THG	UBA 2025; Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes	Link

Indikator	ID	Quelle	Link
CO ₂ -Emissionen der Wohngebäude pro Wohnfläche in kgCO ₂ /m ²	Emiss_CO2proWohnflaeche/Gebäude_Emissionsintensität	UBA 2025; Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes Statistisches Bundesamt 2025; Tabelle 31231-0005	Link Link
Jährliche Energie- und prozessbedingte THG-Emissionen des Industriesektors in MtCO ₂ e	Emiss_Industrie/Industrie_THG	UBA 2025; Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes	Link
Energie- und prozessbedingte CO ₂ -Emissionen der Industrie pro Einheit Bruttoinlandsprodukt in tCO ₂ /Mio.Euro	Emiss_CO2proBIP/Industrie_CO2proBIP	UBA 2025; Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link Link
Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch in %	EE_EE_am_EEV/Gesamt_EE_am_EEV	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik 2025; Zeitreihen zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland	Link Link
Installierte Netto-Leistung von Windenergieanlagen auf See in GW	EE_LeistungOffShore/Energie_LeistungOffshore	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik 2025; Zeitreihen zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland	Link
Installierte Netto-Leistung von Windenergieanlagen an Land in GW	EE_LeistungOnShore/Energie_LeistungOnshore	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik 2025; Zeitreihen zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland	Link
Installierte Netto-Leistung von Photovoltaik in GW	EE_LeistungPV/Energie_LeistungPV	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik 2025; Zeitreihen	Link

Indikator	ID	Quelle	Link
		zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland	
Anteil des erneuerbar erzeugten Stroms an der Nettostromerzeugung in %	EE_EinStromMix/Energie_EEinStromMix	AG Energiebilanzen e.V 2025; Stromerzeugung nach Energieträgern	Link
Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors in %	EE_EinVerkehr/Verkehr_EE	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik 2025; Zeitreihen zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland	Link Link
Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch des Gebäudesektors in %	EE_EinGebäude/Gebäude_EE	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik 2025; Zeitreihen zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland	Link Link
Jährlicher Biomasseeinsatz in der Industrie in TWh	EE_BioinIndust/Industrie_Biomasseeinsatz	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link
Jährlicher Primärenergieeinsatz von Erdgas in PJ	FPO_VerbrauchEG/Gesamt_PrimäreinErdgas	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland AG Energiebilanzen e.V. 2025; Primärenergieverbrauch Jahr 2024	Link Link
Jährlicher Primärenergieeinsatz von Braun- und Steinkohle in PJ	FPO_VerbrauchK/Gesamt_PrimäreinKohle	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland AG Energiebilanzen e.V. 2025;	Link Link

Indikator	ID	Quelle	Link
		Primärenergieverbrauch Jahr 2024	
Jährlicher Primärenergieeinsatz von Mineralöl in PJ	FPO_VerbrauchPetr/Gesamt_PrimärMineralöl	AG Energiebilanzen e.V. 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland AG Energiebilanzen e.V. 2025; Primärenergieverbrauch Jahr 2024	Link Link
Jährlicher Primärenergieeinsatz von fossilen Energieträgern in PJ	FPO_VerbrauchFF/Gesamt_BedarfFossileEnergie	AG Energiebilanzen e.V. 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland AG Energiebilanzen e.V. 2025; Primärenergieverbrauch Jahr 2024	Link Link
Jährliche Netto- Stromerzeugung aus Kohle-, Gas- und Ölkraftwerken in TWh	FPO_StromDurchFF/Energie_StromDurchFossile	AG Energiebilanzen e.V. 2025; Stromerzeugung nach Energieträgern	Link
Anteil von Pkw mit Verbrennungsmotor an Neuzulassungen pro Jahr in %	FPO_VerbrennerNeu/Verkehr_VerbrennerNeu	Kraftfahrtbundesamt 2025; Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen mit alternativem Antrieb	Link
Verbrauch von fossilem Benzin- und Dieselkraftstoff im Verkehrssektor in TWh	FPO_VerbrauchDiesBenz/Verkehr_VerbrauchDiesBenz	AG Energiebilanzen e.V. 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link
Anteil von Öl, Kohle und Gas am Endenergieverbrauch der Gebäude in %	FPO_FFEndEnGebäude/Gebäude_AnteilFossilAmEEV	AG Energiebilanzen e.V. 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link
Absatz von Öl- und Gasheizungen pro Jahr in Tausend	FPO_AbsÖlundGasheizung/Gebäude_AbsÖlundGasheizung	Bundesverband der deutschen Heizungsindustrie 2025; Absatzentwicklung Wärmemarkt 2024	Link
Jährlicher Öl-, Kohle- und Erdgasverbrauch im Gebäudesektor in TWh	FPO_ÖKGVerbrauchGeb/Gebäude_ÖKGVerbrauch	AG Energiebilanzen e.V. 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link

Indikator	ID	Quelle	Link
Jährlicher Öl- Kohle- und Erdgasverbrauch in der Industrie in TWh	FPO_ÖKGVerbrauchInd/Industrie_ÖKGVerbrauch	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link
Anteil von Strom am Endenergieverbrauch in %	Ele_DirektElektr/Gesamt_Strom_am_EEV	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link
Anteil der Neuzulassungen von vollelektrischen Pkw in %	Ele_EPKWNeu/Verkehr_EPKwNeu	Kraftfahrtbundesamt 2025; Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen mit alternativem Antrieb	Link
Bestand an vollelektrischen Pkw in Millionen	Ele_EPKWBestand/Verkehr_EPKWBestand	Kraftfahrtbundesamt 2025; Bestand an Kraftfahrzeugen	Link
Anteil von Strom am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors in %	Ele_ElektrifizierungVerkehr/Verkehr_StromEEV	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link
Anteil von vollelektrischen Lkw an den Gesamtzulassungen in %	Ele_ELKWNeu/Verkehr_ELKWNeu	Kraftfahrtbundesamt 2025; Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen mit alternativem Antrieb Kraftfahrtbundesamt 2021; Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umweltmerkmalen	Link Link
Absatz von Wärmepumpen pro Jahr in Tausend	Ele_AbsatzWP/Gebäude_AbsatzWP	Bundesverband der deutschen Heizungsindustrie 2025; Absatzentwicklung Wärmemarkt 2024 Bundesverband Wärmepumpe e.V 2025; Absatzzahlen Geothermiezentrum Bochum 2010; Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes – Bestandsaufnahme und Trends	Link Link Link
Bestand an Wärmepumpen in Millionen	Ele_WPBestand/Gebäude_WPBestand	EurObserv'ER 2023; Total Number of Heat pumps in operation Bundesverband der deutschen Heizungsindustrie 2025;	Link Link

Indikator	ID	Quelle	Link
		Absatzentwicklung Wärmemarkt 2024	
Anteil von Strom am Endenergieverbrauch der Gebäude in %	Ele_ElektrifizierungGebäude/Gebäude_StromAmEEV	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link
Anteil von Strom am Endenergieverbrauch der Industrie in %	Ele_ElektrifizierungInd/Industrie_StromAmEEV	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link
Jährlicher Endenergieverbrauch in TWh	EuL_EEV/Gesamt_EEV	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link
Jährlicher Endenergieverbrauch des Verkehrssektors in TWh	EuL_EEVVerkehr/Verkehr_EEV	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link
Anteil des öffentlichen Personenverkehrs an der Personenverkehrsleistung in %	EuL_ÖPNV/Verkehr_ÖPNV	Bundesministerium für Digitales und Wirtschaft 2025; Verkehr in Zahlen	Link
Anteil des motorisierten Individualverkehrs an der Personenverkehrsleistung in %	EuL_IndiV/Verkehr_IndiV	Bundesministerium für Digitales und Wirtschaft 2025; Verkehr in Zahlen	Link
Jährlicher Endenergiebedarf des Gebäudesektors in TWh	EuL_EEVGebäude/Gebäude_EEV	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link
Jährlicher Endenergieverbrauch der Wohngebäude pro Wohnfläche in MJ/m ²	EuL_EnergIntensGebäude/Gebäude_EnergIntensität	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link
Jährliche Stahlproduktion über schrottbasierte Sekundärroute in Mt	EuL_StahlSek/Industrie_StahlSek	Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V. o.J.; Deutsche Stahlrecyclingsbilanz	Link Link Link

Indikator	ID	Quelle	Link
		Fachverband für Schrott, e-Schrott und Kfz-Recycling 2023; Schrottmarktrückblick 2022 Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V. 2025; Deutsche Rohstahlproduktion 2024	
Endenergieverbrauch der Industrie pro Einheit Bruttoinlandsprodukt in MJ/Tsd.Euro	EuL_EnergieIntenIndusBIP/Industrie_EnergiebedarfProBIP	AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link
Elektrische Leistungsaufnahme installierter und geplanter Elektrolyseure in MWel	Inf_Elektrolyseure/Energie_Elektrolyseure	Internationale Energieagentur 2024; Hydrogen Projects Database	Link
Anteil der Fernwärme am Endenergieverbrauch der Gebäude in %	Inf_FernwärmeGeb/Gebäude_FernwärmeanGWundWW	AG Energiebilanzen e.V 2025; Anwendungsbilanzen für Deutschland AG Energiebilanzen e.V 2025; Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland	Link Link
Stahlproduktion über wasserstoffbasierte Direktreduktion (Ist+Projekte) in Mt	/	/	/

Analyse mit Stand der Indikatoren zum Zeitpunkt des 19.03.2024. Indikatoren wurden alle neu berechnet, da Indikatoren im Ariadne Transformation Tracker nur bis 2015 zurückgingen. Quellen werden – wenn verfügbar – für aktuellen Stand der Indikatoren (07/2025) angegeben. Links wurden zuletzt Ende 07/2025 abgerufen. Der Indikator „Stahlproduktion über wasserstoffbasierte Direktreduktion (Ist+Projekte) in Mt“ besitzt keine ID, da dieser nicht in die weitere Analyse mit aufgenommen wurde.

4.2.1.1 Überprüfung der Anforderungen für Korrelationsanalysen

Inhaltliche Anforderungen

Das Ariadne-Indikatorensystem ist auf die Treibhausgasemissionen Deutschlands beschränkt. Übergeordnetes Ziel ist nationale Klima-/Treibhausgasneutralität bis 2045 gemäß Klimaschutzgesetz und nicht bspw. die Absenkung der globalen Lufttemperatur. Dies hat den großen Vorteil, dass lediglich nationale und keine globalen Indikatoren Teil des Indikatorensystems sind und deshalb vor allem definitorische Zusammenhänge und Wirkungsketten im Kontext der Treibhausgasminderung auf nationaler Ebene bestehen.

Die Unterteilung der Ariadne-Indikatoren sowohl in Sektoren und Leitziele erlaubte interessante Zusammenhangsanalysen – sowohl zwischen den Einzelsektoren und dem Gesamtsystem als auch zwischen den Handlungszielen der Transformationsbestrebungen. Aus dieser Unterteilung und der Vielzahl an nationalen Indikatoren ergibt sich eine gewisse thematische Enge, die viel Potential für weiterführende Korrelationsanalysen bietet. Die inhaltlichen Anforderungen sind daher erfüllt.

Statistische Anforderungen

Ein großer Vorteil von Zeitreihen zum Thema Treibhausgasemissionen ist deren Länge. In der Regel reichen sie bis 1990 zurück, wodurch sich zum Berichtszeitpunkt differenzierte Korrelationsanalysen für drei Dekaden oder aber eine umfassende Analyse über 30 Jahre durchführen ließen.

Insgesamt 34 der 47 Indikatoren bestehen aus 21 Datenpunkten oder mehr. Sieben der 37 Indikatoren des Ariadne Indikatorensystem bestehen aus 10 bis 20 Datenpunkten und nur sechs Indikatoren weisen weniger als 10 Datenpunkte auf. Von den 6 Indikatoren, die weniger als 10 Datenpunkte haben, ist der Indikator mit der geringsten Anzahl an Datenpunkten der Indikator „Anteil des öffentlichen Personenverkehrs an der Personenverkehrsleistung“ mit sieben Datenpunkten. Der Indikator mit den meisten Datenpunkten ist der Indikator „Absatz von Wärmepumpen pro Jahr“ mit 46 Datenpunkten von 1978 – 2023. Eine Sonderrolle spielt der Indikator „Stahlproduktion über wasserstoffbasierte Direktreduktion (Ist+Projekte)“. Da es aktuell und in den letzten Jahren keinerlei Stahlproduktion über wasserstoffbasierte Direktreduktion gibt/gab, sind alle Datenpunkte gleich null. Würde man diesen Indikator in die Korrelationsanalyse mit einbeziehen, würden alle Koeffizienten für Indikatorenpaare, bei denen der Indikator Teil von ist, gleich null sein. Es würde Jahre dauern, bis der Indikator für Korrelationsanalysen genutzt werden könnte. Aus diesem Grund wurde er für eine weitere Analyse aus dem Indikatorensystem entfernt.

Die langen Zeitreihen ließen die Erkennung möglicher Zusammenhangsveränderungen zwischen den Dekaden zu. Dies ermöglichte eine Absenkung des Schwellenwertes für die Bewertung, da bei vielen Datenpunktpaaren auch kleinere Koeffizienten und dementsprechend mittelstarke Zusammenhänge¹⁹ statistisch signifikant sein können. Aus statistischer Sicht bieten sich bei umfangreichen Korrelationsanalysen größere Anpassungsspielräume von Bewertungsparametern.

Auf Grundlage dieser Ersteinschätzung wurde das Ariadne-Indikatorensystem als geeignete Grundlage für das im vorliegenden Projekt zu erstellende Muster-Indikatorensystem beurteilt. Vor allem die thematische Enge und das Datenfundament erfüllten hier zum Großteil die gewünschten Anforderungen.

Im nächsten Schritt wurde mithilfe des entwickelten Tools geprüft, ob im Ariadne-System aus quantitativer Sicht „genügend“ Zusammenhänge zwischen den Indikatoren bestehen, um das Indikatorensystem weiter zu nutzen. Entsprechend der methodischen Parameter und Bewertungsparameter, die im Anschluss des Workshops vorläufig festgelegt wurden, wurden mehrere Korrelationsanalysen durchgeführt; zunächst geordnet nach Kategorien, anschließend geordnet nach Sektoren.

Für die Analyse wurde sich aus den folgenden beiden Gründen für die Verwendung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman entschieden:

¹⁹ Mittelstarke Zusammenhänge nach Cohen (1992) werden durch Koeffizienten zwischen 0,3 und 0,5 bzw. -0,3 und -0,5 widergespiegelt.

1. Spearman ist robust gegenüber Ausreißern, da absolute Werte in Ränge umgerechnet werden. Unter Pearson haben diese Ausschläge einen bedeutenden Einfluss auf den resultierenden Koeffizienten, unter Spearman nicht. Somit stellt Spearman eine robustere Alternative zu Pearson dar, insbesondere im Kontext der vergangenen Corona-Jahre.
2. Pearson setzt normalverteilte Daten voraus; Spearman nicht. Indikatoren haben die Tendenz nicht-normalverteilt zu sein, da sie bspw. Trends folgen. Damit eine Zeitreihe normalverteilt ist, müssten die einzelnen Datenpunkte symmetrisch um einen Mittelwert verteilt liegen. Dies ist bei einem Trend nicht der Fall. Aufgrund der Tatsache, dass der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman diese Anforderung nicht erfüllen muss, liegt hier ein Vorteil, Spearman gegenüber Pearson vorzuziehen.

4.2.1.2 Kategoriale Ordnung

Um für die nähere Betrachtung der Ergebnisse eine Parameterzusammenstellung der Korrelationsanalyse zu definieren, wurden zunächst die Unterschiede der Ergebnisse unter unterschiedlichen Bewertungsklassen ermittelt. Eine Veränderung der Bewertungsschwellen von -0.5/0.5 auf -0.3/0.3 ist empfehlenswert²⁰, d.h., dass bereits statistisch signifikante Koeffizienten kleiner als -0.3 als Zielkonflikte und statistisch signifikante Koeffizienten größer als 0.3 als Synergien bewertet werden.

Es wurden deshalb zwei Analysen für den Zeitraum von 1990-2022 mit den alternierenden Bewertungsschwellen unter Spearman durchgeführt (Tabelle 15 & Tabelle 16):

Tabelle 15: Methodische Parameter (1. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)

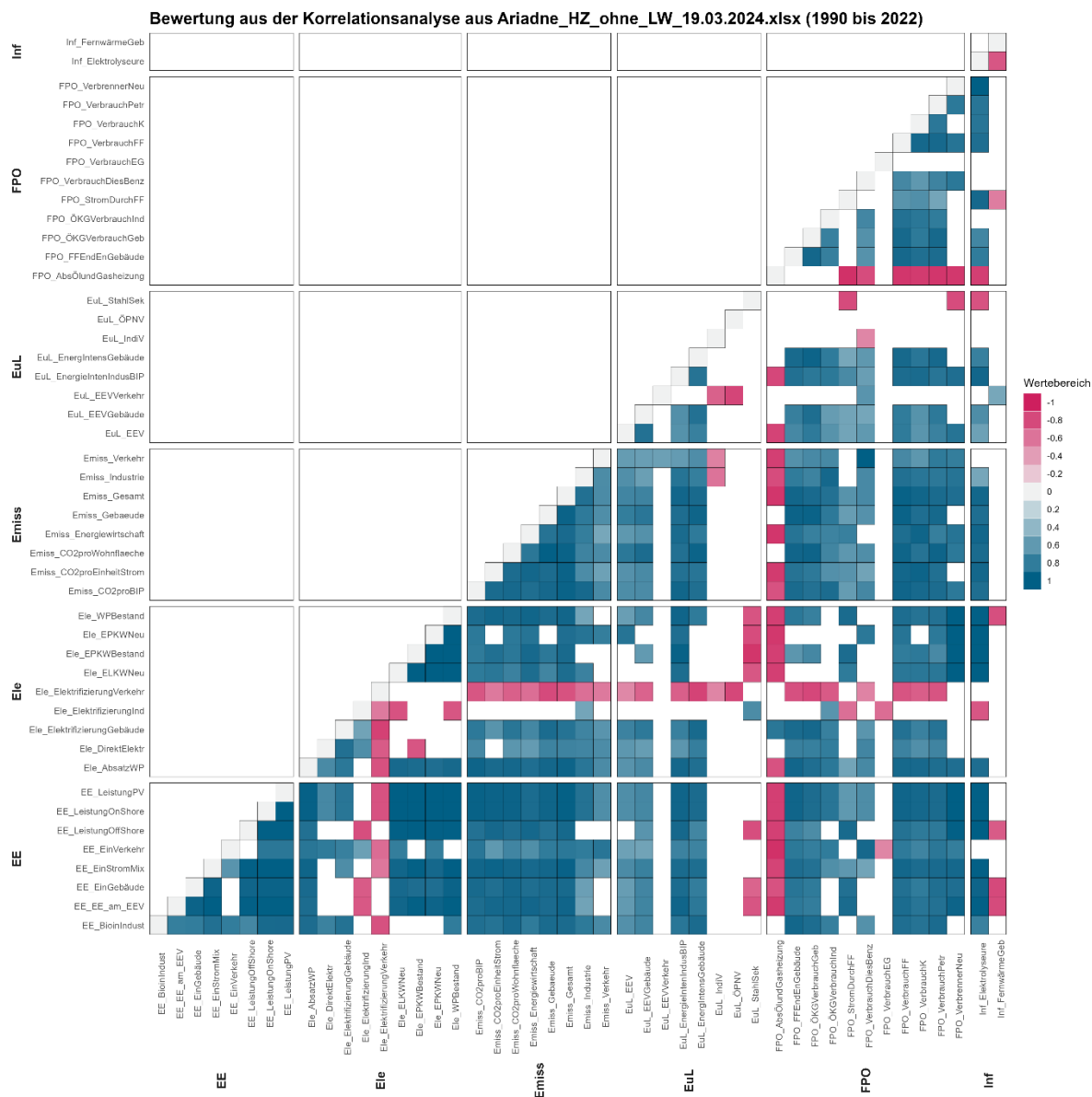
Koeffizient	Zeitraum	Signifikanzniveau	Bewertungsschwelle	Ordnung
Spearman	1990-2022	5%	-0.5/0.5	Handlungsziele

Quelle: Eigene Darstellung, UBA.

Die Ergebnisse können Anhang B.5 und B.6, als auch Abbildung 24 bzw. Abbildung 25 entnommen werden

²⁰ In diesem Sinne würden bereits mittelstarke Zusammenhänge, d.h. statistisch signifikante Koeffizienten zwischen -0.3 und -0.5 und 0.3 und 0.5 als Zielkonflikt, respektive Synergie eingestuft werden.

Abbildung 24: Heatmap (1. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)



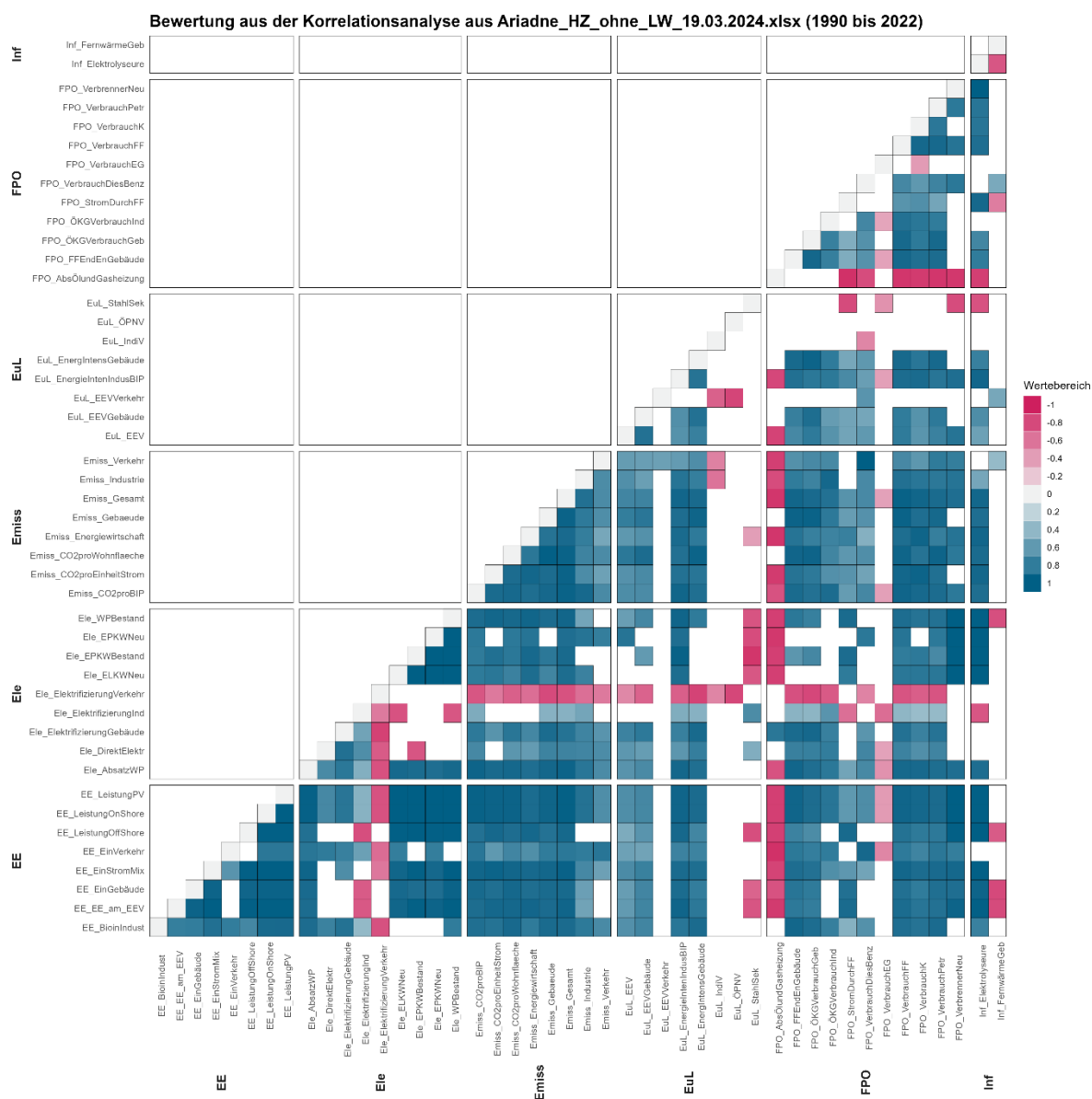
Quelle: Eigene Darstellung, UBA; Berechnungen auf Grundlage der Ariadne-Indikatoren (Kopernikus Projekt Ariadne, 2024). Für ausführliche Quellen siehe Tabelle 14.

Tabelle 16: Methodische Parameter (2. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)

Koeffizient	Zeitraum	Signifikanzniveau	Bewertungsschwelle	Ordnung
Spearman	1990-2022	5%	-0.3/0.3	Handlungsziele

Quelle: Eigene Darstellung, UBA.

Abbildung 25: Heatmap (2. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)

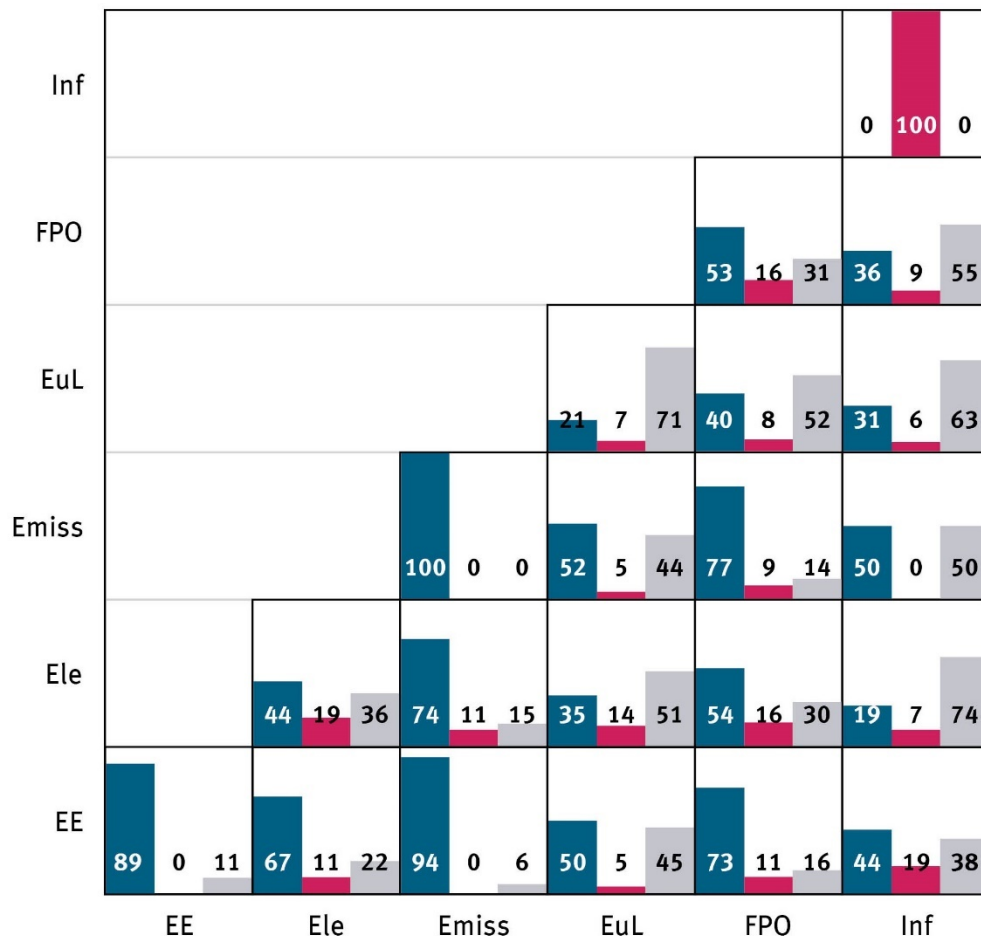


Quelle: Eigene Darstellung, UBA; Berechnungen auf Grundlage der Ariadne-Indikatoren (Kopernikus Projekt Ariadne, 2024). Für ausführliche Quellen siehe Tabelle 14.

Zunächst fiel auf, dass eine Änderung der Schwellenwerte auf -0.3 für Zielkonflikte und 0.3 für Synergien für eine Zunahme der bewerteten Koeffizienten sorgte (erkennbar in den Unterschieden zwischen Abbildung 24 und Abbildung 25). Dies war erwartbar, da längere Zeitreihen die Wahrscheinlichkeit erhöhen, auch niedrige statistisch signifikante Korrelationskoeffizienten zu erhalten. Um auch mittelstarke Zusammenhänge einzubeziehen, wurden die Parameter -0.3/0.3 ausgewählt.

Zum besseren Verständnis der Ergebnisse der Analyse wurden auch hier die Synergie- und Zielkonfliktanteile und die Anteile von Indikatorenpaaren, die keinen Zusammenhang aufweisen (sowohl zwischen als auch innerhalb der Kategorien) aus Abbildung 25 entnommen und in eine anschaulichere Darstellung (Abbildung 26) überführt.

Abbildung 26: Anteile von Synergien, Zielkonflikten und Anteile von Indikatorenpaaren, die keine statistisch belegbaren Zusammenhänge aufweisen (2. Analyse, Ariadne Transformation Tracker)



Quelle: Eigene Darstellung, UBA. Orientiert sich an der Abbildung 20.1 von Eurostat, 2022, S. 351. Für genaue Quellenangaben siehe Tabelle 14.

Zwischen den Kategorien

Der größten Synergieschwerpunkt zwischen den Kategorien ließ sich bei den Kategorien „Ausbau Erneuerbarer Energien“ und „Emissionsminderung“ ausmachen. Von insgesamt 64 Indikatorenpaaren ließen sich bei 60 Paaren (94%) Synergien identifizieren. Daran schloss sich das Paar „Emissionsminderung“ und „Fossil Phase-Out“ an. Hier ließen sich bei 68 der 88 Indikatorenpaare (77%) synergistische Beziehungen nachweisen. Ebenfalls ließen sich bei den Paaren „Elektrifizierung“ und „Emissionsminderung“ (74%) sowie „Ausbau Erneuerbarer Energien“ und „Fossil Phase-Out“ (73%) deutliche Synergieschwerpunkte feststellen.

Auf der übergeordneten kategoriellen Ebene scheinen die Synergieschwerpunkte plausibel. Durch den fortschreitenden „Ausbau Erneuerbarer Energien“ werden treibhausgasarme Energien genutzt, welche zu einer „Emissionsminderung“ führen. Gleichsam gehen Fortschritte beim „Fossil Phase-Out“ mit einer „Emissionsminderung“ einher, weil weniger fossile Brennstoffe genutzt werden. Bei beiden Zusammenhängen liegen kausale Mechanismen nahe, die zu entsprechend hohen Synergieanteilen führen. Im selben Kontext substituieren erneuerbare Energien fossile Energieträger, wodurch sich der große Anteil an Synergien zwischen den „Ausbau Erneuerbarer Energien“ und „Fossil Phase-Out“ erklärt. Auch der große Anteil an Synergien zwischen „Elektrifizierung“ und „Emissionsminderung“ ist plausibel, vor allem wenn man beachtet, dass der Anteil an erneuerbaren Energien an der Netto-

Stromerzeugung in den letzten Jahren zugenommen hat und der Anteil fossiler Energieträger entsprechend abgenommen hat (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., 2023). Bei fortsetzendem Trend könnten entsprechende Synergieanteile zunehmen.

Die Zielkonfliktschwerpunkte waren, im Vergleich zu den Synergieschwerpunkten, überschaubar. Die größten Anteile zwischen den Kategorien fanden sich bei den Kategorien „Ausbau Erneuerbarer Energien“ und „Infrastruktur“. Hier wurde bei 3 von 16 Indikatorenpaaren (19%) ein Zielkonflikt nachgewiesen. Daran schlossen sich „Elektrifizierung“ und „Fossil Phase-Out“ mit 16 von 99 Indikatorenpaaren (16%) und bei „Elektrifizierung“ und „Effizienz und Lebensstil“ 10 von 72 Indikatorenpaare (14%) an, bei denen Zielkonflikte nachgewiesen wurden.

Die relativen Anteile an Zielkonflikten zwischen den Kategorien waren recht klein – nicht nur im Vergleich zu den Synergien, sondern auch, wie sich im folgenden Abschnitt zeigen wird, im Vergleich zu den Anteilen von Indikatorenpaaren ohne statistisch belegbare Zusammenhänge.

Ein größerer Teil der Indikatorenpaare wies keinen statistisch signifikanten Zusammenhang in dem vordefinierten Bewertungsbereich auf: 63% der Paare zwischen „Effizienz und Lebensstil“ und „Infrastruktur“, 61% der Paare zwischen „Elektrifizierung“ und „Infrastruktur“, 55% der Paare zwischen „Fossil Phase-Out“ und „Infrastruktur“, 52% der Paare zwischen „Effizienz und Lebensstil“ und „Fossil Phase-Out“, 51% der Paare zwischen „Elektrifizierung“ und „Effizienz und Lebensstil“ sowie 50% der Paare zwischen „Emissionsminderung“ und „Infrastruktur“.

Auffällig war, dass hier insbesondere die Kategorien „Infrastruktur“, „Elektrifizierung“ und „Effizienz und Lebensstil“ die Themen waren, welche zumindest aus einer rein statistischen Perspektive – relativ gesehen – die größten Unabhängigkeiten zu anderen Kategorien aufwiesen.

Innerhalb der Kategorien

Innerhalb der Kategorien fanden sich die meisten Synergien (relativ zur Gesamtzahl an Indikatorenpaaren) bei der Kategorie „Emissionsminderung“: Von 28 Indikatorenpaaren wiesen alle Paare synergistische Zusammenhänge auf. Von den ebenfalls 28 Indikatorenpaaren innerhalb der Kategorie „Ausbau Erneuerbarer Energien“ wiesen 25 (89%) Synergien auf. In der Kategorie „Fossil Phase-Out“ hingen 29 von 55 Indikatorenpaaren (53%) synergistisch zusammen.

Innerhalb der Kategorie „Infrastruktur“ ergab sich ein Zielkonflikt-Anteil von 100%. Dies sollte allerdings in seiner Bedeutung nicht überbewertet werden, da die Kategorie lediglich aus einem Indikatorenpaar bestand. Bei 7 von 36 Indikatorenpaaren (19%) innerhalb der Kategorie „Elektrifizierung“ sowie bei 9 von 55 Indikatorenpaaren (16%) der Kategorie „Fossil Phase-Out“ wurden Zielkonflikte festgestellt.

Der größte Anteil an Indikatorenpaaren innerhalb einer Kategorie, die nicht bewertet wurden, fand sich in der Kategorie „Effizienz und Lebensstil“. Hier wurden 20 der 28 Indikatorenpaare (71%) nicht bewertet, befanden sich also außerhalb der festgelegten Bewertungsparameter. An „Effizienz und Lebensstil“ schloss sich die Kategorie „Elektrifizierung“ an. Hier wurden 13 von 36 Indikatorenpaaren (36%) nicht bewertet.

4.2.1.3 Sektorale Ordnung

Zudem war von Interesse, ob eine alternative Ordnung der Indikatoren andere Zusammenhangsschwerpunkte erkennen lässt. Beim Ariadne Transformation Tracker sind die Indikatoren nicht nur nach Handlungszielen, sondern auch nach Sektoren geordnet. Diese Ordnung bildete die Grundlage für eine weitere Korrelationsanalyse.

Die Ergebnisse der Analysen werden im Folgenden dargestellt:

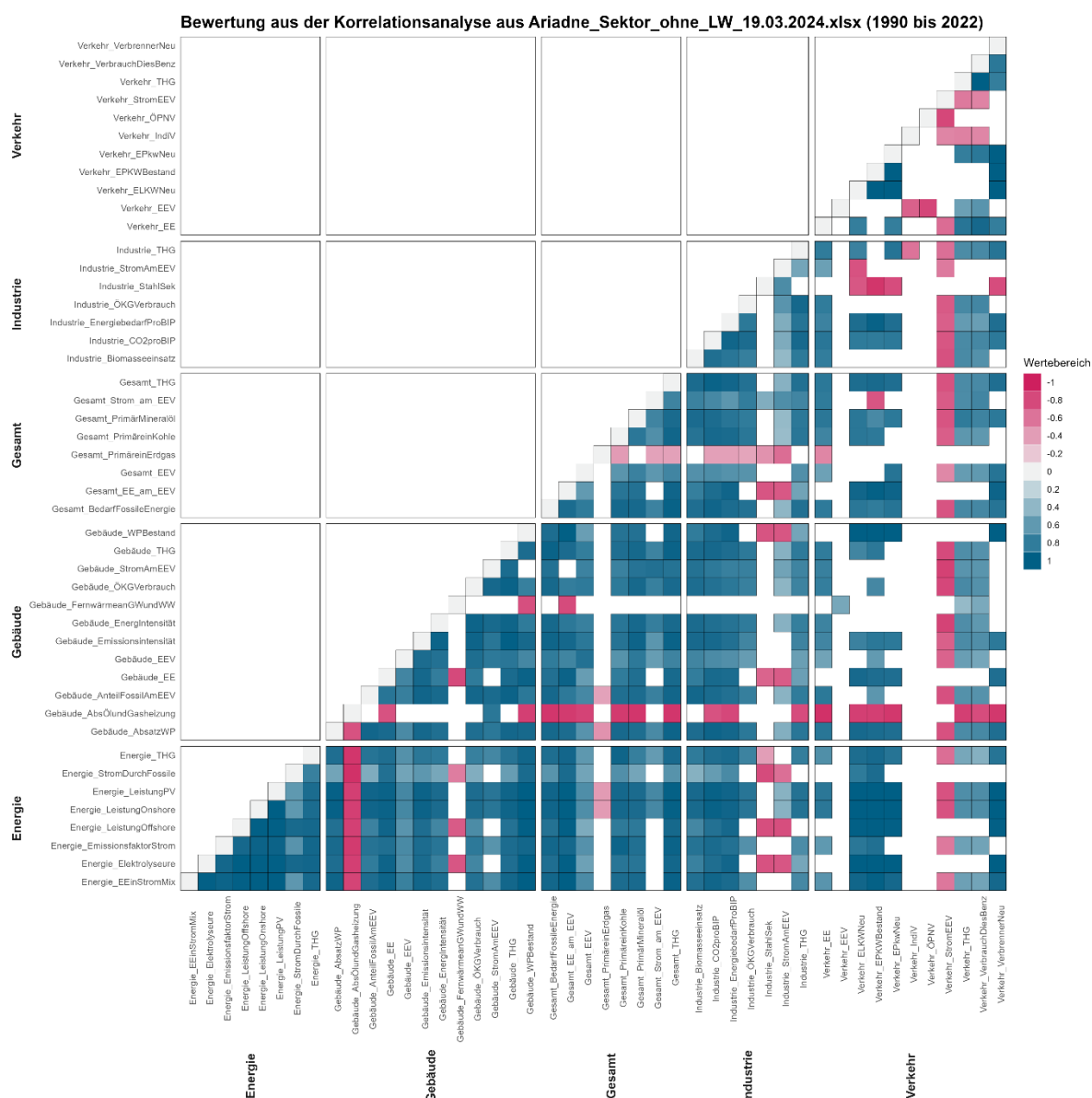
Tabelle 17: Methodische Parameter (3. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)

Koeffizient	Zeitraum	Signifikanzniveau	Bewertungsschwellen	Ordnung
Spearman	1990-2022	5%	-0.3/0.3	Sektoren

Quelle: Eigene Darstellung, UBA.

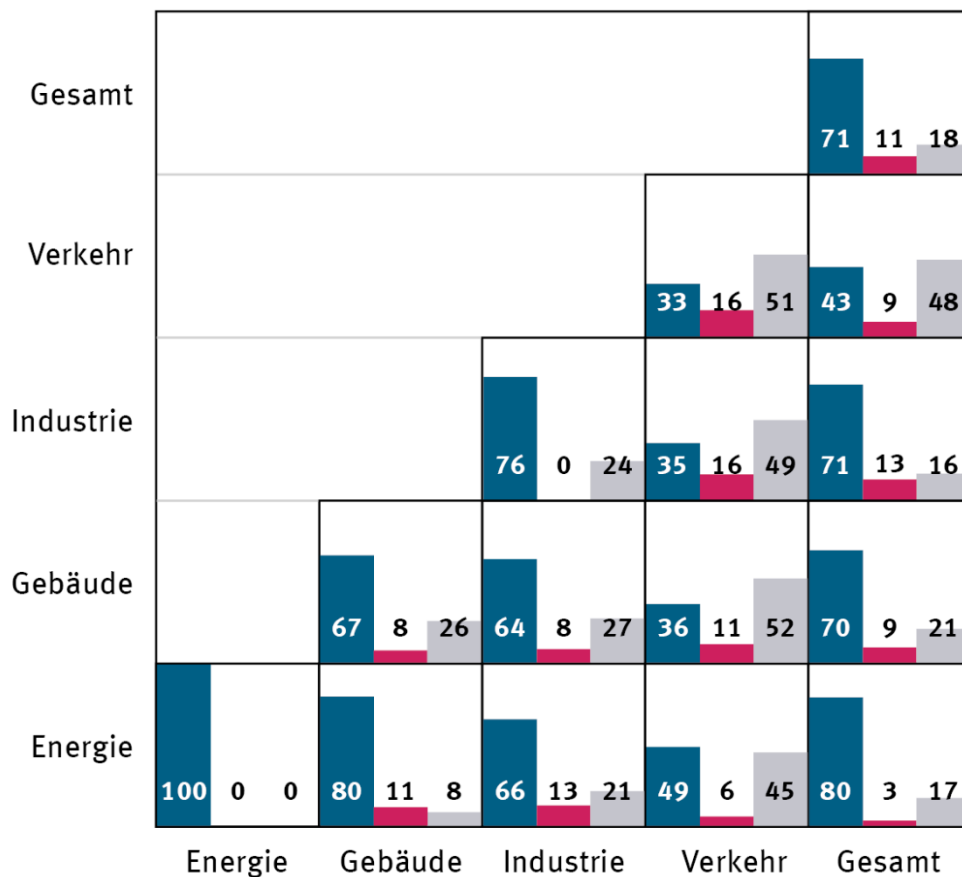
Die ermittelten Koeffizienten können Anhang B.7, die Bewertung Abbildung 27 bzw. Abbildung 28 entnommen werden.

Abbildung 27: Heatmap (3. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)



Quelle: Eigene Darstellung, UBA; Berechnungen auf Grundlage der Ariadne-Indikatoren (Kopernikus Projekt Ariadne, 2024). Für vollständige Quellenangabe siehe Tabelle 14.

Abbildung 28: Anteile von Synergien, Zielkonflikten und Anteile von Indikatorenpaaren, die keine statistisch belegbaren Zusammenhänge aufweisen (3. Analyse, Ariadne Transformation Tracker)



Quelle: Eigene Darstellung, UBA. Orientiert sich an der Abbildung 20.1 von Eurostat, 2022, S. 351. Für genaue Quellenangaben siehe Tabelle 14.

Die vorangestellten Analysen führten zu den folgenden Ergebnissen:

Zwischen den Sektoren

Der größte Synergieschwerpunkt fand sich zwischen den Sektoren „Energiewirtschaft“ und „Gebäude“. Von 96 Indikatorenpaaren wiesen 77 Paare (80%) Synergien auf. Ähnlich sah es bei dem Paar „Energiewirtschaft“ und „Gesamtsystem“ aus. Hier wurden bei 51 von 64 (80%) der Indikatorenpaare statistisch signifikante Synergien nachgewiesen. Daran schlossen sich der Industriesektor und das Gesamtsystem an. Hier wurden bei 40 von 56 Indikatorenpaaren (71%) Synergien ermittelt. Zwischen dem Gesamtsystem und dem Gebäudesektor betrug der Anteil an Synergien 70%. Auch zwischen dem Energiesystem und der Industrie war der Synergieanteil hoch. Von 56 Indikatorenpaaren wurden bei 37 Indikatorenpaaren (66%) Synergien nachgewiesen. Zwischen dem Gebäudesektor und der Industrie betrug der Anteil an synergistischen Beziehungen zwischen Indikatorenpaaren 64%, d.h. 54 von 84 Indikatoren wurden entsprechend der Bewertungsklassen als Synergie eingestuft.

Wie schon bei der Ordnung nach Kategorien waren die Anteile an Zielkonflikten innerhalb des Ariadne Indikatorensystems überschaubar. Der größte Anteil an Zielkonflikten zwischen den Sektoren fand sich zwischen der Industrie und dem Verkehrssektor. Hier wurde bei 12 von 77 (16%) der Indikatorenpaare ein Zielkonflikt nachgewiesen. Daran schlossen sich der Industriesektor und das Gesamtsystem sowie auch der Energiesektor und die Industrie an. In

beiden Sektorenpaaren wurden jeweils bei 7 von 56 Indikatorenpaaren Zielkonflikte nachgewiesen.

Die größten Anteile an Indikatorenpaaren, zwischen denen keine Zusammenhänge festgestellt wurden, fanden sich zwischen den Sektoren „Verkehr“ und „Gebäude“. Hier wurde bei 69 der 132 Paare (52%) keinerlei statistisch belegbarer Zusammenhang nachgewiesen. Daran schließen sich nochmals der Verkehrs- und Industriesektor an. Hier wurden bei 38 von 77 (49%) Indikatorenpaaren keine statistisch belegbaren Zusammenhänge nachgewiesen. Zwischen dem Gesamtsystem und dem Verkehrssektor konnte bei 42 von 88 Indikatorenpaaren (48%) kein Zusammenhang festgestellt werden.

Innerhalb der Sektoren

Innerhalb der Sektoren war der größte Synergieschwerpunkt im Energiesektor zu finden. Von 28 Indikatorenpaaren wiesen alle 28 einen statistisch signifikanten positiven Korrelationskoeffizienten auf. An den Energiesektor schloss sich die Industrie an. Im Industriesektor konnten bei 16 von 21 (76%) Indikatorenpaaren Synergien ermittelt werden. Im Gesamtsystem wurden bei insgesamt 20 von 28 Indikatorenpaaren (71%) synergistische Beziehungen festgestellt. Im Gebäudesektor konnte bei 44 von 66 Indikatorenpaaren (67%) Synergien nachgewiesen werden.

Der größte Zielkonfliktschwerpunkt lag im Verkehrssektor. Bei 9 von 55 Indikatorenpaaren (16%) wurden statistisch signifikante Zielkonflikte festgestellt. Damit übersetzte sich die Bedeutung des Verkehrssektors für Zielkonflikte zwischen den Sektoren auch innerhalb des Sektors.

Der Verkehrssektor bildete nicht nur den Zielkonfliktschwerpunkt, sondern auch den Schwerpunkt an „Nicht-Bewertungen“. So wurde bei etwa der Hälfte der 55 Indikatorenpaare (51%) keinerlei statistisch signifikanter Zusammenhang nachgewiesen. Darauf folgte der Gebäudesektor mit 26% an Indikatorenpaaren, bei denen weder eine Synergie noch ein Zielkonflikt festgestellt wurde.

4.2.1.3.1.1 Erweiterung des Indikatorensystems um den Landwirtschaftssektor

Um die Treibhausgasneutralität umfassender zu analysieren sollte auch der Landwirtschaftssektor einbezogen werden. Die Landwirtschaft zählt in Deutschland zu den bedeutendsten Sektoren in Bezug auf THG-Emissionen: Im Jahr 2022 verursachte sie 7,1% der nationalen Emissionen von Kohlenstoffdioxid, Methan und Lachgas. Dies entspricht einem vergleichsweise geringen Rückgang von 25,5% gegenüber 1990 (Umweltbundesamt, 2024c). Für das vorliegende Projekt wurde daher entschieden, dass Ariadne-Indikatorensystem um den Sektor „Landwirtschaft“ zu ergänzen. Hierzu wurde zunächst ein Pool von Indikatoren mit Bezug zu Treibhausgasneutralität auf nationaler Ebene zusammengestellt und möglichen Handlungszielen zugeordnet. Teilweise wurde sich an bestehenden Ariadne-Indikatoren orientiert, sodass sich die ergänzten Indikatoren nahtlos in das Gesamtbild einfügten (z. B. Anteil von Strom am Endenergiebedarf des Landwirtschaftssektors). Anschließend wurden diese Indikatoren entsprechend modifizierter RACER-Kriterien (vgl. Tabelle 18) bewertet. Hierbei diente das Vorgehen der Europäischen Kommission (Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016, 126 f.) als Vorbild: Traf ein Qualitätskriterium voll zu, so wurde der Qualitätsaspekt mit „grün“ bewertet, traf er teilweise zu, wurde er mit „gelb“ bewertet und traf er gar nicht zu, so wurde dieser mit „rot“ bewertet (Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll et al., 2016). Bei einigen Qualitätsaspekten bot es sich an, die Klassen weiter zu spezifizieren. Anschließend wurden – um eine anschließende Filterung der besten Indikatoren zu vereinfachen – den Farben Zahlen zugeordnet (grün = 3, gelb = 2 und rot = 1), die schließlich addiert wurden. Die Indikatoren mit

den höchsten Punktzahlen wurden anschließend entsprechend der Qualitätskriterien für Korrelationsanalysen bewertet (vgl. Tabelle 19). Das detaillierte Vorgehen wurde hier angewendet und dokumentiert, da die entsprechenden Indikatoren aus vielen verschiedenen Quellen stammen und in vielen Fällen noch nicht Bestandteil existierender Indikatorensysteme waren (sondern als reine Zeitreihe vorlagen). Auf eine vergleichbar detaillierte Prüfung wurde bei den Ariadne-Indikatoren verzichtet, da diese bereits das Ergebnis umfangreicher Abwägung durch das bearbeitende wissenschaftliche Projektteam darstellen.

Tabelle 18: Operationalisierung der RACER-Kriterien

Die nachfolgende Tabelle zeigt die operationalisierten RACER-Qualitätsaspekte und Bewertungsschemata.

Anforderung	Definition	Trifft vollständig zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu
relevant	Der Indikator sollte eine enge Verbindung zum Ziel aufweisen.	Trifft vollständig zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu
accepted	Der Indikator sollte von relevanten Stakeholdern akzeptiert sein.	Viele Anwendungen als Indikator im entsprechenden Kontext.	1-2 Anwendungen als Indikator im entsprechenden Kontext.	Datenreihe ausschließlich in Statistik, ohne Kontext/Indikatoren-rolle.
credible	Für Politiker*innen und Laien sollte der Indikator eindeutig und leicht verständlich sein.	Trifft vollständig zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu
easy	Für den Indikator sollten jährlich Werte vorliegen und die Werte sollten zeitnah vorliegen.	Jährlich; Werte für das letzte Jahr. (Hier: 2022, da Bewertung Anfang 2024 erfolgte)	Jährlich	Nicht jährlich
robust	Der Indikator sollte theoriegestützt sein. Er sollte sich tendenziell am Ende der Ursache-Wirkungskette befinden (eher Output/Outcome-Indikator als Input-Indikator).	Trifft vollständig zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu
Bewertungsfarbe		Grün	Gelb	Rot
Bewertungspunktzahl		3	2	1

Quelle: Eigene Darstellung, UBA. Für die RACER-Kriterien wurden die Kriterien relevant, accepted und credible übernommen aus: Europäische Kommission, 2023, S. 364. Die zeitnahe Bereitstellung orientierte sich an: Europäische Kommission, 2023, S. 365, und die Robustheit an der Funktion von Indikatoren von Peters, 2022a, S. 26.

Tabelle 19: Operationalisierung der Qualitätskriterien für Korrelationsanalysen

Anforderung	Definition	Trifft vollständig zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu
inhaltliche Anforderungen	Handelt es sich um einen nationalen Indikator?	Ja	-	Nein
statistische Anforderungen	Ist die Zeitreihe lang genug?	≥ 21 Datenpunkte	10 – 20 Datenpunkte	< 10 Datenpunkte
Bewertungsfarbe		Grün	Gelb	Rot
Bewertungspunktzahl		3	2	1

Quelle: Eigene Darstellung, UBA.

Die Ergebnisse der Bewertung können Anhang C entnommen werden.

Das neue Indikatorensystem zum Thema Treibhausgasneutralität Deutschlands – von nun an „Net Zero“ genannt – umfasste nun die folgenden Sektoren:

1. Gesamtsystem (Gesamt_)
2. Energiewirtschaft (Energie_)
3. Gebäude (Gebäude_)
4. Verkehr (Verkehr_)
5. Industrie (Industrie_)
6. Landwirtschaft (LW_)

Der Sektor Landwirtschaft beinhaltet die folgenden Indikatoren:

- 1.1 THG-Emissionen aus der Landwirtschaft: Gesamtmenge inkl. energiebedingter Emissionen (Emiss_THGInsLW/ LW_THG)
- 1.2 THG-Emissionen aus der Landwirtschaft nach Sektoren des Klimaschutzgesetzes: hier land- und forstwirtschaftliche Maschinen (Emiss_THG_Verkehr_LW/ LW_THGVerkehr)
- 1.3 Milchleistung von Kühen unter Milchleistungskontrolle (EuL_MilchleistungKontroll/ LW_MilchleistungMilchkontrolle)
- 1.4 Milchleistung von Kühen insgesamt (EuL_MilchleistungIns/LW_MilchleistungInsgesamt)
- 1.5 Endenergieverbrauch Landwirtschaft pro Einheit Bruttowertschöpfung (EuL_EEVLWProBWP/LW_EEVProBWP)
- 1.6 Biogasanlagen in Deutschland (EE_Biogasanlagen/LW_BiogasanlagenAnz)
- 1.7 Gesamte installierte elektrische Kapazität der Biogasanlagen in Deutschland (EE_KapazitätBiogas/LW_BiogasanlagenKap)
- 1.8 Jährlicher Bedarf an fossilen Energieträgern im Landwirtschaftssektor (FPO_FossileEnergieLW/LW_BedarfFossil)
- 1.9 Anteil von Strom am Endenergiebedarf des Landwirtschaftssektors (Ele_AnteilStromEEVLW/LW_Strom)
- 1.10 Jährlicher Biomasseeinsatz in der Landwirtschaft (EE_Biomasseeinsatz/ LW_Biomasseeinsatz)

Tabelle 20: Quellen Landwirtschaftsindikatoren

Indikator	ID	Quelle	Link
THG-Emissionen aus der Landwirtschaft: Gesamtmenge inkl. energiebedingter Emissionen	Emiss_THGInsLW/ LW_THG	Umweltbundesamt 2025; Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes	Link
THG-Emissionen aus der Landwirtschaft nach Sektoren des Klimaschutzgesetzes: hier land- und forstwirtschaftliche Maschinen	Emiss_THG_Verkehr_LW/ LW_THGVerkehr	Umweltbundesamt 2023, Nationale Treibhausgas-Inventare 1990 bis 2023 (Stand EU-Berichterstattung 03/2025)	Link
Milchleistung von Kühen unter Milchleistungskontrolle	EuL_MilchleistungKontroll/ LW_MilchleistungMilchkontrolle	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2025, Statistisches Jahrbuch, verschiedene Jahre	Link
Milchleistung von Kühen insgesamt	EuL_MilchleistungIns/LW_MilchleistungInsgesamt	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2025, Statistisches Jahrbuch, verschiedene Jahre	Link
Endenergieverbrauch Landwirtschaft pro Einheit Bruttowertschöpfung	EuL_EEVLWProBWP/LW_EEVProBWP	AG Energiebilanzen 2025; Auswertungstabellen zur Energiebilanz 1990 - 2024	Link
Biogasanlagen in Deutschland	EE_Biogasanlagen/LW_BiogasanlagenAnz	Fachverband Biogas 2023; Branchenzahlen 2022 und Prognose der Branchenentwicklung 2023	Link

Indikator	ID	Quelle	Link
Gesamte installierte elektrische Kapazität der Biogasanlagen in Deutschland	EE_KapazitätBiogas/LW_BiogasanlagenKap	Fachverband Biogas 2023; Branchenzahlen 2022 und Prognose der Branchenentwicklung 2023	Link
Jährlicher Bedarf an fossilen Energieträgern im Landwirtschaftssektor	FPO_FossileEnergieLW/LW_BedarfFossil	AG Energiebilanzen 2025; Auswertungstabellen zur Energiebilanz 1990 - 2024	Link
Anteil von Strom am Endenergiebedarf des Landwirtschaftssektors	Ele_AnteilStromEEVLW/LW_Strom	AG Energiebilanzen 2025; Auswertungstabellen zur Energiebilanz 1990 - 2024	Link
Jährlicher Biomasseeeinsatz in der Landwirtschaft	EE_Biomasseeeinsatz/LW_Biomasseeeinsatz	AG Energiebilanzen 2025; Auswertungstabellen zur Energiebilanz 1990 - 2024	Link

Quelle: Analyse mit Stand der Indikatoren zum Zeitpunkt des 19.03.2024. Quellen wurden – wenn verfügbar – für aktuellen Stand der Indikatoren (07/2025) angegeben.

Die genannten Landwirtschaftsindikatoren wurden dann in die Excel-Tabelle eingepflegt und in das Korrelations-Tool geladen. Nachfolgend wird die Heat-Map geordnet nach Handlungszielen und Sektoren dargestellt. Die Analyse wurde mit den folgenden Parametern ausgeführt:

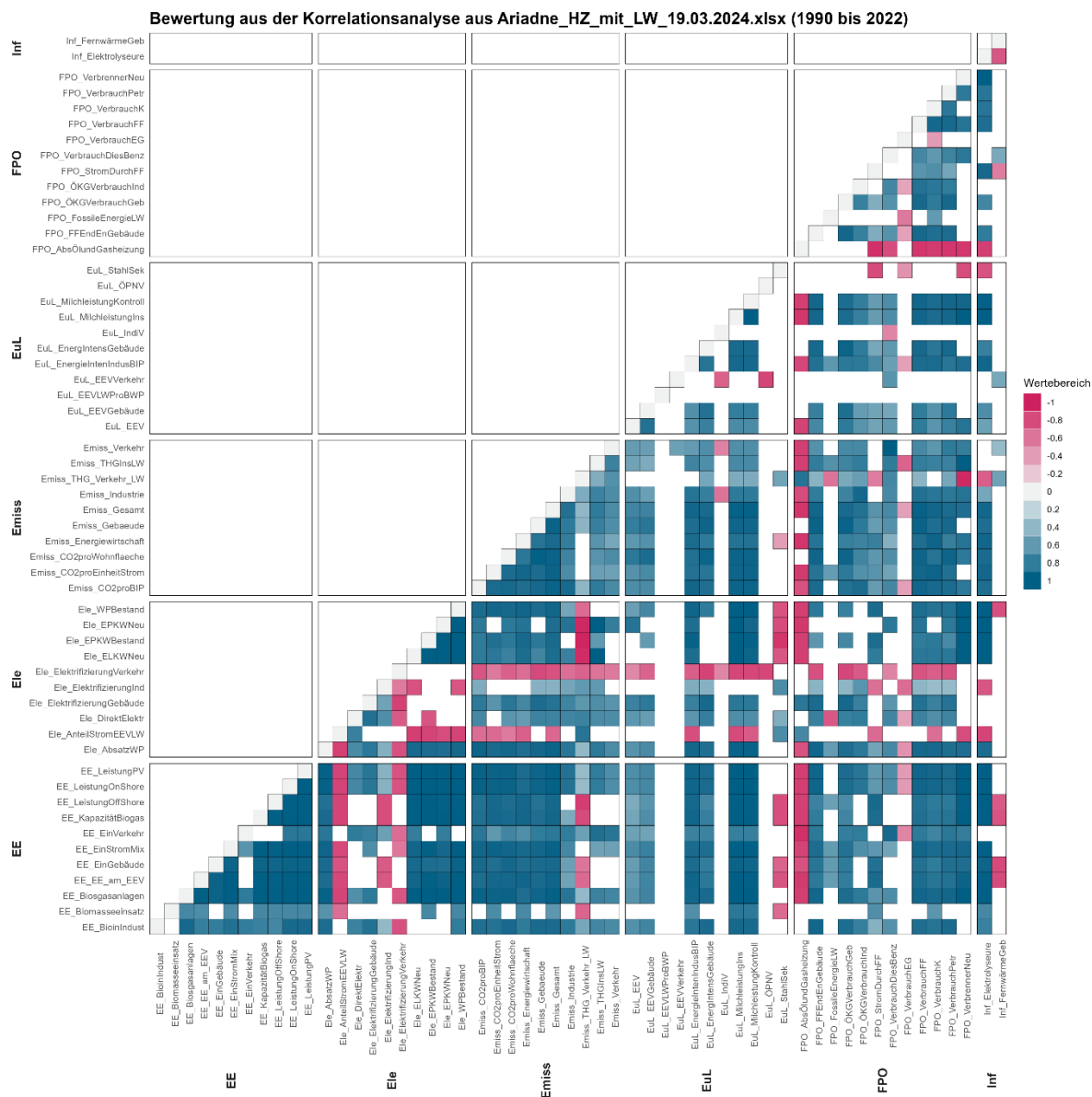
Tabelle 21: Methodische Parameter (1. Korrelationsanalyse, Net Zero)

Koeffizient	Zeitraum	Signifikanzniveau	Bewertungsschwelle	Ordnung
Spearman	1990-2022	5%	-0.3/0.3	Handlungsziele

Quelle: Eigene Darstellung, UBA.

Die ermittelten Koeffizienten können Anhang B.8, die Bewertung Abbildung 29 entnommen werden.

Abbildung 29: Heatmap (1. Korrelationsanalyse, Net Zero)



Quelle: Eigene Darstellung, UBA. Grundlage bildeten die Indikatoren des Ariadne Transformation Tracker (Kopernikus Projekt Ariadne, 2024) und der ergänzten Landwirtschaftsindikatoren. Siehe Tabelle 14 und Tabelle 20 für genaue Quellenangabe.

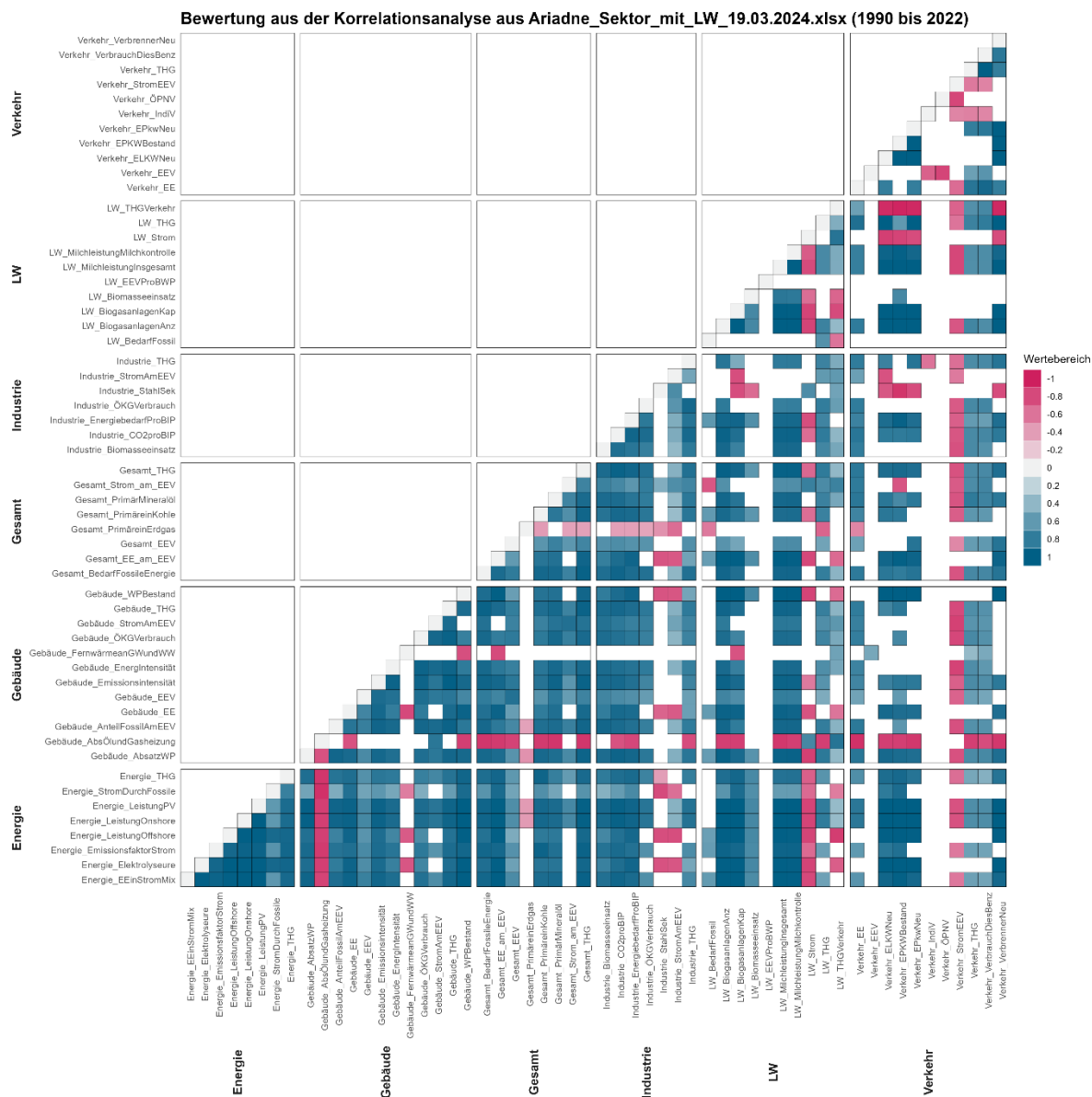
Tabelle 22: Methodische Parameter (2. Korrelationsanalyse, Net Zero)

Koeffizient	Zeitraum	Signifikanzniveau	Bewertungsschwelle	Ordnung
Spearman	1990-2022	5%	-0.3/0.3	Sektoren

Quelle: eigene Darstellung, UBA.

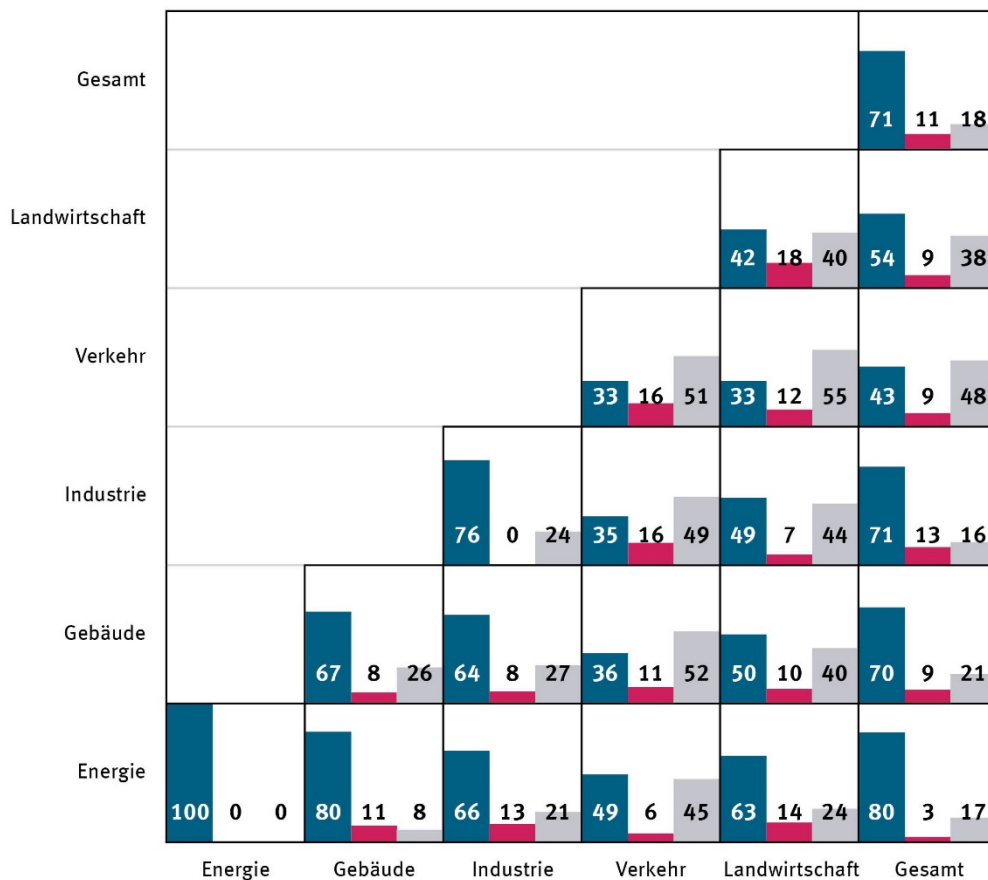
Die ermittelten Koeffizienten können Anhang B.9, die Bewertung Abbildung 30 und Abbildung 31 entnommen werden.

Abbildung 30: Heatmap (2. Korrelationsanalyse, Net Zero)



Quelle: eigene Darstellung, UBA. Grundlage bildeten die Indikatoren des Ariadne Transformation Tracker und der ergänzten Landwirtschaftsindikatoren. Siehe Tabelle 14 und Tabelle 20 für genaue Quellenangabe.

Abbildung 31: Anteile von Synergien, Zielkonflikten und Anteile von Indikatorenpaaren, die keine statistisch belegbaren Zusammenhänge aufweisen (2. Analyse, Net Zero)



Quelle: eigene Darstellung. Orientiert sich an Abbildung 20.1 von Eurostat, 2022, S. 351. Siehe Tabelle 14 und Tabelle 20 für genaue Quellenangabe.

Bei der Ordnung nach Sektoren fielen folgende Dinge auf, insbesondere im Vergleich zu den anderen Sektoren:

1. Die Ergebnisse aus den vorangegangenen Analysen ließen sich mit dem Landwirtschaftssektor zum Großteil replizieren: Der Synergieschwerpunkt lag bei den Indikatoren des Energiesektors (63% Synergien). Am wenigsten Synergiebeziehungen (relativ) bestanden bei den Landwirtschaftsindikatoren mit den Indikatoren des Verkehrssektors (33% Synergien). Der Anteil an Zielkonflikten hingegen war zwischen der Landwirtschaft und dem Energiesektor am höchsten (14% Zielkonflikte). Die wenigstens Zielkonflikte bestanden mit den Indikatoren der Industrie (7% Zielkonflikte). Der Anteil an nicht signifikanten Zusammenhängen war mit den Indikatoren des Verkehrssektors am höchsten (55%).
2. Die Landwirtschaftsindikatoren korrelierten weniger stark unter sich. Es wiesen 18 Indikatorenpaare entsprechend der gewählten Bewertungsparameter keinerlei Zusammenhang, 19 Indikatorenpaare Synergien und 8 Indikatorenpaare Zielkonflikte auf (42% Synergien, 18% Zielkonflikte, 40% keine Zusammenhänge). Es ergab sich ein ähnliches Bild wie bei Verkehr und Industrie.

4.3 Zwischenfazit

Aufgabe war es, in Kapitel 4 ein Indikatorensystem zu finden, welches den Ansprüchen der im 1. AP vorgeschlagenen erweiterten Korrelationsanalyse genügt: thematische Enge und die Notwendigkeit nationaler Indikatoren auf der einen Seite, lange Zeitreihen und „viele“ statistisch signifikante Zusammenhänge auf der anderen.

In diesem Kapitel wurden die Indikatoren des Ariadne Transformation Tracker zum Thema Treibhausgasneutralität als Indikatorensystem ermittelt, welches die funktionale Erweiterung um systemische Zusammenhangsanalysen über die Grenzen klassischer Indikatorenbewertungen²¹ erlaubt. Vor allem die langen nationalen Treibhausgas- und Energieindikatoren, gekoppelt mit einer Vielzahl an statistisch signifikanten Zusammenhängen, entschieden über die Eignung des Ariadne Transformation Tracker für die erweiterte Korrelationsanalyse.

Das Indikatorensystem zum Thema „Treibhausgasneutralität“ zeigt den Fortschritt der deutschen Energiewende auf. Es umfasst die Sektoren nach dem Klimaschutzgesetz (KSG), d.h. Verkehr, Gebäude, Industrie, Energiewirtschaft und das Gesamtsystem. Das Indikatorensystem wurde um den Landwirtschaftssektor ergänzt. Nachdem sich auf Qualitätskriterien (RACER) festgelegt wurde, wurden 44 Indikatoren bewertet. Zehn der 44 Indikatoren erfüllten sowohl die RACER-Kriterien als auch die inhaltlichen und statistischen Kriterien für die erweiterte Korrelationsanalyse und wurden mit in das Indikatorensystem aufgenommen. Das neue Indikatorensystem (Ariadne Transformation Tracker + Sektor Landwirtschaft, genannt Net Zero) eignet sich – mit Blick auf die inhaltlichen und statistischen Anforderungen – für das methodische Vorgehen, welches im 1.AP des Eigenforschungsprojekts erstellt wurde.²² In diesem Sinne wurde entsprechend der ursprünglichen Projektidee ein Indikatorensystem zum Thema „Treibhausgasneutralität“ gefunden, welches die gestellten Anforderungen erfüllt.

²¹ Hier sind nicht Qualitätsbewertungen gemeint, sondern Bewertungen der Indikatoren i.S. von Trendbewertungen oder Statusbewertungen.

²² Die organisatorischen Anforderungen konnten – wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben – noch nicht geprüft werden.

5 Praxistest systemische Bewertung & Leitfaden IT-Analyse

5.1 Methodentest

5.1.1 Auswahl eines geeigneten Sektorenpaars

Die Methode zur Darstellung systemischer Zusammenhänge sieht vor, Aussagen von Experten*Expertinnen in die Analyse einzubeziehen. Im Anschluss an die Korrelationsanalyse soll daher mittels Fragebogen der Koeffizient mit einer Fachmeinung abgeglichen werden. Hier sollen qualitative Aussagen der Experten*Expertinnen genutzt werden, um zu evaluieren, ob die ermittelten statistischen Zusammenhänge zum einen einen kausalen Zusammenhang widerspiegeln und zum anderen auch in ihrer Stärke plausibel sind. Dieser Schritt ist notwendig, um die Ergebnisse der Korrelationsanalyse einzuordnen. Einerseits ist es interessant zu erfahren, ob ein kausaler Zusammenhang vorliegt und wenn ja, welche Richtung dieser hat (Korrelationskoeffizienten sind ungerichtet). Andererseits sollen die Zusammenhänge aussortiert werden, welche lediglich rein statistisch vorhanden sind, jedoch keinen kausalen Charakter besitzen. Korrelationskoeffizienten spiegeln in allererster Linie statistische Zusammenhänge wider und müssen nicht auf einen Ursache-Wirkungsmechanismus zurückzuführen sein. Anschließend erfolgt im dritten Schritt der Abgleich der Koeffizienten mit der Einschätzung der Fachseite.

Das vorgestellte Net-Zero Indikatorensystem zur Treibhausgasneutralität Deutschlands wäre für einen Praxistest in diesem Arbeitspaket schlicht zu groß. Das Indikatorensystem umfasst insgesamt 56 Indikatoren, wodurch insgesamt ca. 1000 zu analysierende Indikatorenpaare für eine Analyse in Frage kommen würden. Daher war eine Auswahl zu treffen.

Es war sinnvoll, den Methodentest in einen thematischen Kontext mittels konkreter Fragestellungen einzubetten.: Zwischen welchen Sektoren sind kausale Zusammenhänge zu vermuten? Welche Sektoren haben 2023 ihre Emissionsziele nach KSG verfehlt und welche haben sie eingehalten? Zunächst war es von Relevanz, Sektoren zu wählen, bei denen auf den ersten Blick Zusammenhänge zu vermuten sind. Zudem wurde eine Kombination angestrebt aus einem Sektor, der im letzten Jahr die gesetzten jährlichen Emissionshöchstmenge laut KSG überschritten hat und einem anderen Sektor, der sie erreicht hat. Mit dem ersten Praxistest soll damit in Erfahrung gebracht werden, ob hier ein Sektor ggf. einen anderen Sektor durch Synergieeffekte auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität unterstützen kann. Energie und Industrie hatten letztes Jahr die Emissionsmenge unterschritten bzw. die Emissionsziele erreicht, Gebäude und Verkehr überschritten bzw. nicht erreicht (Umweltbundesamt 2024, 15. März). Für den Praxistest wurden die Sektoren Energie und Verkehr ausgewählt.

Zur Auswahl der Indikatoren im Verkehrssektor wurden zunächst die Zusammenhänge der Indikatoren mit den Treibhausgasemissionen im Sektor gesichtet.²³ Es wurde entschieden, nur Verkehrsindikatoren zu wählen, die einen statistisch signifikanten Zusammenhang sowohl mit den Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors als auch mit einem Energieindikator aufweisen. Für die Energiewirtschaft wurden die Energieindikatoren gewählt, die mit den vorausgewählten Indikatoren aus dem Verkehrssektor signifikante Korrelationen aufwiesen. Gab es für einen vorausgewählten Verkehrsindikator keinen Zusammenhang mit einem Energieindikator, so wurde dieser aussortiert.

²³ **Koeffizient:** Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman, **maximaler Analysezeitraum:** 1990 – 2022, **Signifikanzniveau:** $\alpha = 0.05$, **Schwellenwert:** -0.3/0.3. Der Analysezeitraum für einzelne Indikatorenpaare weicht, je nach Datenverfügbarkeit, vom maximalen Analysezeitraum ab.

Dies führte zur folgenden Indikatorenkonstellation:

1. Verkehr

- 1.1. Treibhausgasemissionen im Verkehr (Verkehr_THG)
- 1.2. Anteil von Strom am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors (Verkehr_StromEEV)
- 1.3. Anteil der Neuzulassungen von vollelektrischen Pkw (Verkehr_EPkwNeu)
- 1.4. Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors (Verkehr_EE)
- 1.5. Jährlicher Bedarf von fossilem Benzin- und Dieselmotor im Verkehrssektor (Verkehr_VerbrauchDiesBenz)
- 1.6. Anteil von Pkw mit Verbrennungsmotor an Neuzulassungen pro Jahr (Verkehr_VerbrennerNeu)

2. Energie

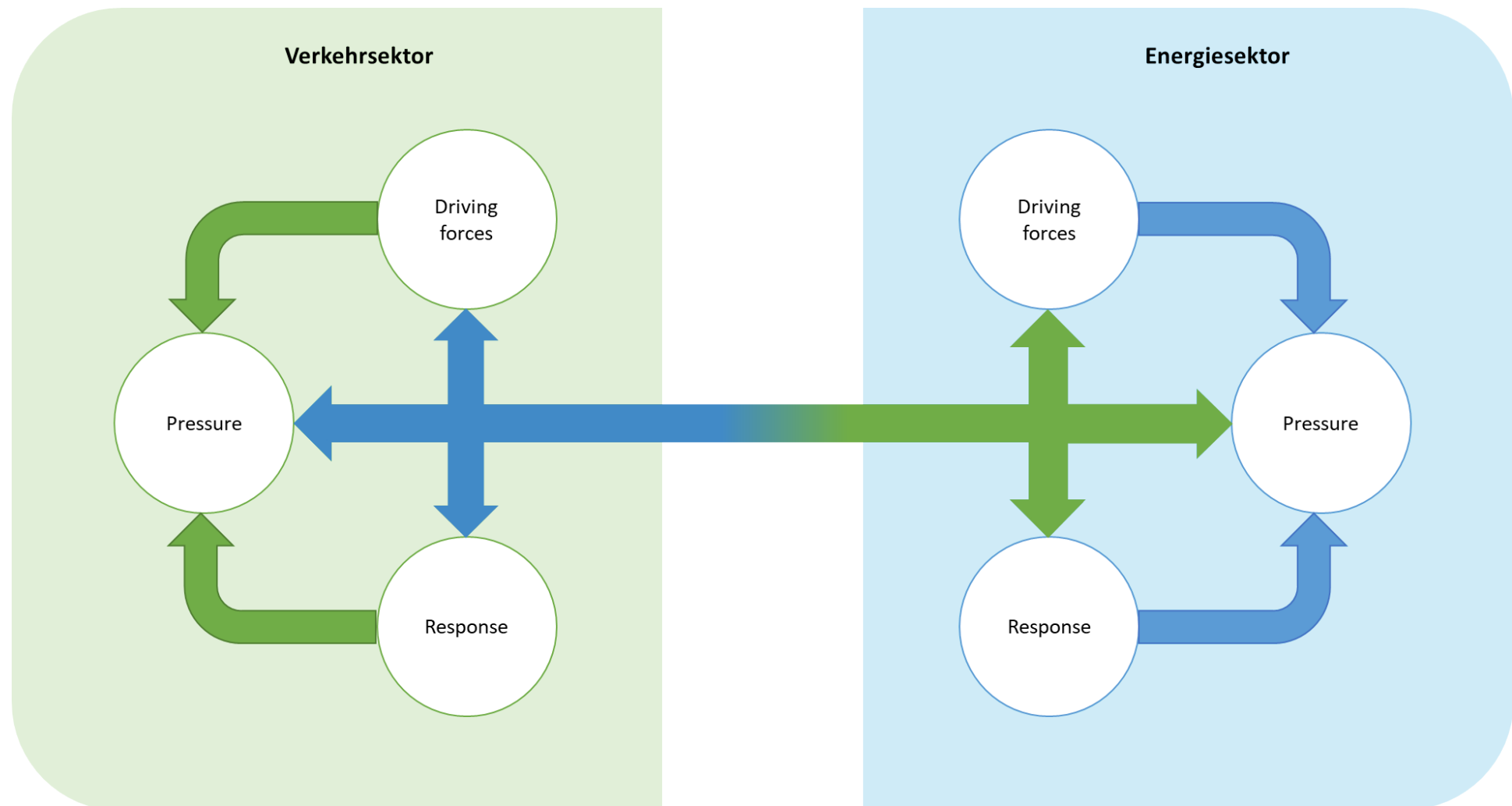
- 2.1. Treibhausgasemissionen Energiesektor (Energie_THG)
- 2.2. CO₂-Emissionen pro erzeugter Einheit Strom (Energie_EmissionsfaktorStrom))
- 2.3. Anteil des erneuerbar erzeugten Stroms an der Nettostromerzeugung (Energie_EEinStromMix)
- 2.4. Installierte Netto-Leistung von Erneuerbaren Energien (Energie_EEinStromGesamt)²⁴
- 2.5. Elektrische Leistungsaufnahme installierter und geplanter Elektrolyseure (Energie_Elektrolyseure)

Das Projekt sollte Wege identifizieren, um Zusammenhänge auch entlang der DPSIR-Kette quantifizieren zu können. Um zu testen, ob die Methode die erwartbaren Zusammenhänge entlang dieser Logik ermitteln kann, wurde entschieden, die Indikatoren untereinander konzeptionell zu unterscheiden. Hier wurde sich entsprechend am DPSIR-Modell orientiert (Siehe Abbildung 32). Zum einen gibt es in jedem Sektor mindestens einen Belastungsindikator zu Treibhausgasemissionen (Pressure-Indikatoren), zum anderen Maßnahmeindikatoren, die treibhausgasreduzierenden Maßnahmen der Bundesrepublik (Response-Indikatoren) widerspiegeln, aber auch Indikatoren, die gesellschaftliche und ökonomische Prozesse und Faktoren indizieren, die für Treibhausgasemissionen verantwortlich sind (Driving forces-Indikatoren). Die Treibhausgasemissionsindikatoren stellen – entsprechend der DPSIR-Kette – Pressure-Indikatoren dar, da sie den aktuellen Stand und die Veränderungen der Treibhausgasemissionen quantifizieren. Im Verkehrssektor sind das „Treibhausgasemissionen im Verkehr“ und im Energiesektor „Treibhausgasemissionen im Energiesektor“. Im Energiesektor gibt es zudem noch einen Effizienzindikator als Belastungsindikator: „CO₂-Emissionen pro erzeugter Einheit Strom“. Driving forces-Indikatoren messen ökonomische und gesellschaftliche Prozesse, die zum Treibhausgasausstoß beitragen. Im Verkehrssektor sind dies „Jährlicher Bedarf von fossilem Benzin- und Dieselmotor im Verkehrssektor (Verkehr_VerbrauchDiesBenz)“ und „Anteil von Pkw mit Verbrennungsmotor an Neuzulassungen pro Jahr (Verkehr_VerbrennerNeu)“. Response-Indikatoren messen Gegenmaßnahmen, die die Treibhausgasemissionen mindern sollen. Im Verkehrssektor wären das „Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors (Verkehr_EE)“,

²⁴ Für den Praxistest wurde entschieden, die Einzelindikatoren des Indikatorensystems „Installierte Netto-Leistung von Windenergieanlagen auf See“, „Installierte Netto-Leistung von Windenergieanlagen an Land“ und „Installierte Netto-Leistung von Photovoltaik“ zusammenzufassen.

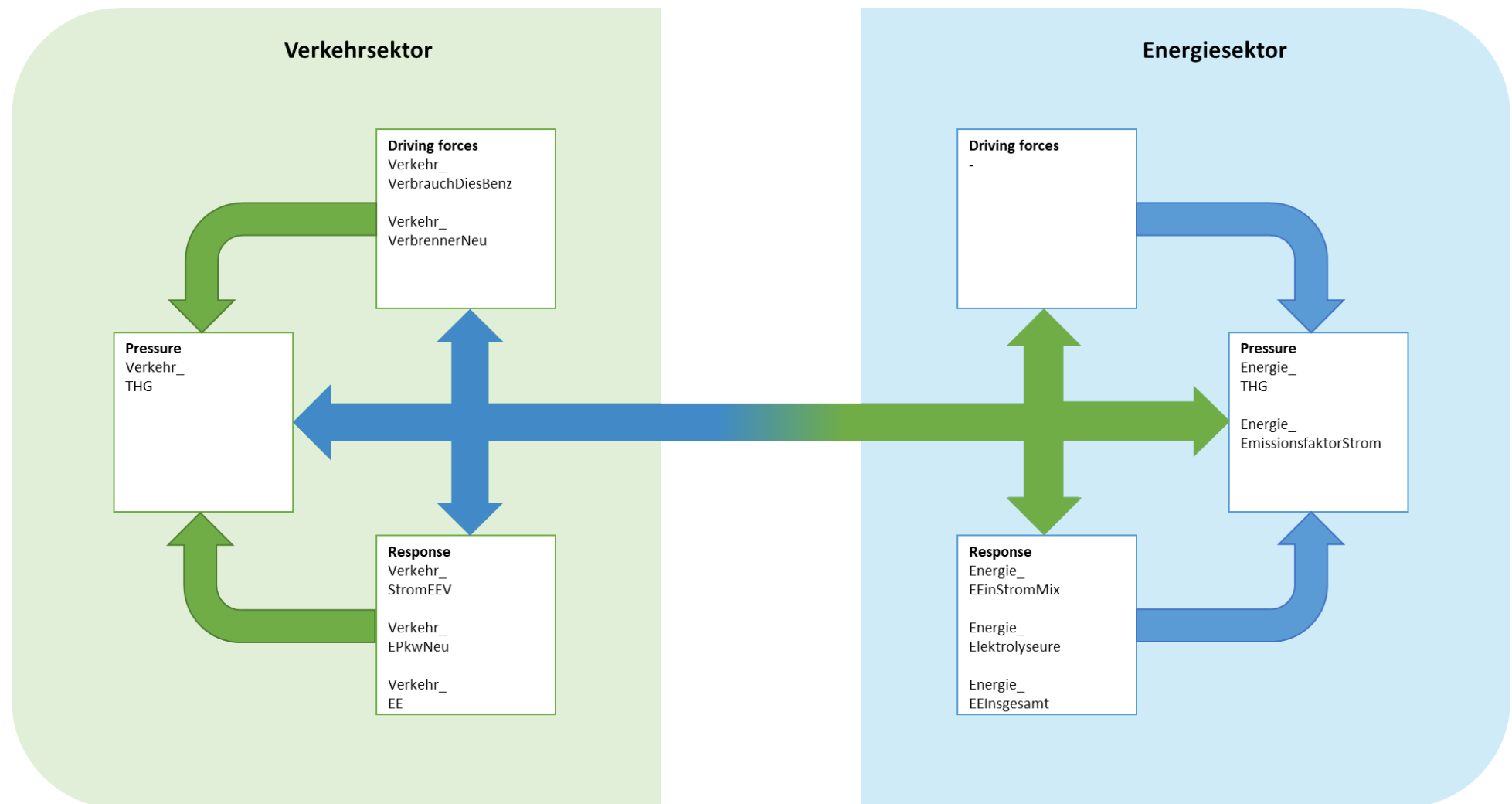
„Anteil der Neuzulassungen von vollelektrischen Pkw (Verkehr_EPkwNeu)“ und „Anteil von Strom am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors (Verkehr_StromEEV)“. Indikatoren im Energiesektor sind „Anteil des erneuerbar erzeugten Stroms an der Nettostromerzeugung (Energie_EEinStromMix)“, „Installierte Netto-Leistung von Erneuerbaren Energien (Energie_EEinInsgesamt)“ und „Elektrische Leistungsaufnahme installierter und geplanter Elektrolyseure (Energie_Elektrolyseure)“. Die Zuordnungen können Abbildung 32 entnommen werden.

Abbildung 32: Konzeptionelle Ausgestaltung der Zusammenhangsanalyse und Differenzierung der Indikatoren



Quelle: eigene Darstellung, UBA.

Abbildung 33: Auswahl der Indikatoren für Zusammenhangsanalyse



Quelle: eigene Darstellung, UBA. Die Pfeile sollen lediglich die Richtung einer möglichen Kausalkette insinuieren.

5.1.2 Ergebnisse der Korrelationsanalyse

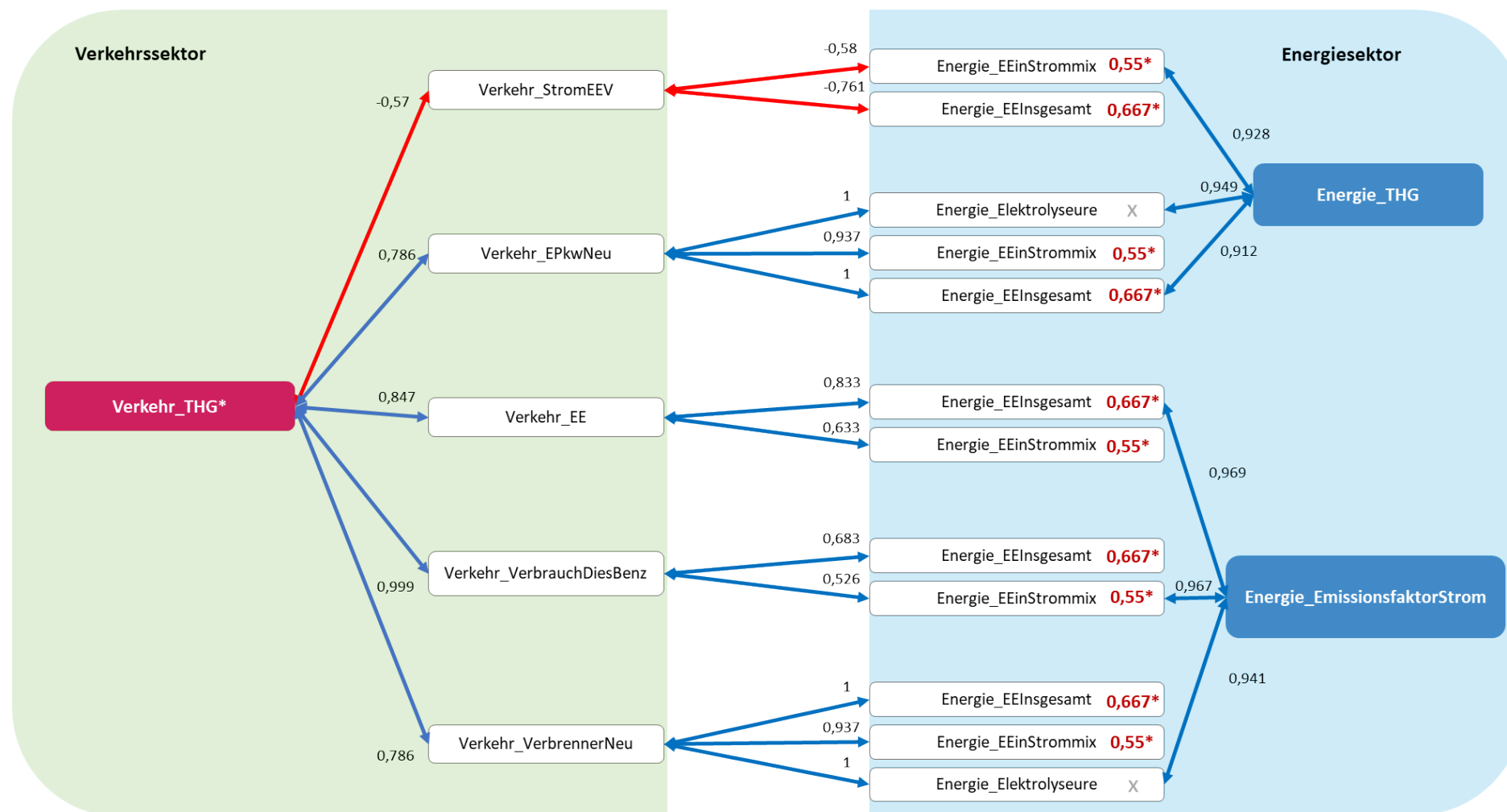
Primär war von Interesse, wie die Indikatoren des Verkehrssektors mit denen des Energiesektors zusammenhängen. Die Kernfrage bei der Wahl der Sektoren: Wie können Sektoren, die die jährlichen Emissionszielwerte überschreiten, von Sektoren profitieren, die die jährlichen Emissionszielwerte unterschreiten? Die Intersektorale Perspektive auf Zusammenhänge zwischen Indikatoren konnte im vorliegenden Fall interessante Wechselwirkungen zwischen den beiden Sektoren offenbaren. Dies betraf zum einen Zusammenhänge zwischen den Driving forces- und Response-Indikatoren zwischen den Sektoren, aber auch Zusammenhänge zwischen Driving forces- und Response-Indikatoren des Energiesektors und den Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors. In Anlehnung an (Zhou et al., 2021) wurden Zusammenhänge hierbei in *mittelbare* und *unmittelbare* Zusammenhänge eingeteilt. Zum einen kann es sein, dass die Zielerreichung bzw. die wünschenswerte Entwicklung der Driving forces- und Response-Indikatoren des Energiesektors Einfluss auf die Driving forces- und Response-Indikatoren im Verkehrssektor hat. Das würde bedeuten, dass entsprechende Entwicklungen *mittelbar* die Erreichung der Treibhausgasneutralität im Verkehrssektor fördern oder beeinträchtigen. Zum anderen ist denkbar, dass die Zielerreichung der Driving forces- und Response-Indikatoren des Energiesektors *unmittelbaren* Einfluss auf Treibhausgasneutralität im Verkehrssektor hat.

Intrasektoral hingegen, also innerhalb der Sektoren, waren – der Logik des Indikatorensystems nach – ausschließlich Synergien zwischen den Driving forces-Indikatoren und den Pressure-Indikatoren bzw. zwischen Response-Indikatoren und Pressure-Indikatoren zu erwarten. Die Zielerreichung und damit auch die Entwicklung der einzelnen Indikatoren in eine wünschenswerte Richtung – d.h. weniger gesellschaftliche Prozesse, die Treibhausgase emittieren, kombiniert mit effektiven Umweltschutzmaßnahmen – sollten positiv zur Treibhausgasneutralität beitragen. Die ausgewählte Methode an sich kann jedoch unter Umständen teilweise zu gegensätzlichen Ergebnissen führen²⁵ und möglicherweise abweichende Zielbereichszusammenhänge auf statistischer Ebene indizieren. Dadurch werden die Grenzen der Methode ersichtlich.

In der nachfolgenden Abbildung 34 können die statistisch ermittelten Zusammenhänge abgelesen werden. Das grüne Feld stellt den Verkehrssektor, das blaue Feld den Energiesektor dar. In den Feldern finden sich die einzelnen Indikatoren, die mit den entsprechenden IDs dargestellt werden. Die farblich hinterlegten Indikatoren stellen die Pressure-Indikatoren im Sektor dar, die weiß-hinterlegten Indikatoren die Driving forces- und Response-Indikatoren. Die Pfeile zwischen den Indikatoren illustrieren den ermittelten Zusammenhang: blau bedeutet, dass zwischen den entsprechenden Indikatoren ein *Indiz für eine Synergie* besteht, während rot anzeigt, dass ein *Indiz für einen Zielkonflikt* ermittelt wurde. Die Stärke kann ebenfalls abgelesen werden; diese wird in Form des ermittelten Koeffizienten am Pfeil dargestellt. Zusammenhänge zwischen den Treibhausgasemissionen aus dem Verkehrssektor mit Indikatoren aus dem Energiesektor können der Abbildung ebenfalls entnommen werden. Entsprechende Zusammenhänge finden sich in den Indikatorenkästchen im Energiesektor und sind mit einem * markiert. Ein graues X bedeutet, dass keine statistischen Zusammenhänge bestehen.

²⁵ Darauf wurde bereits in Kapitel x hingewiesen.

Abbildung 34: Korrelationen zwischen ausgewählten Indikatoren des Verkehrssektors und des Energiesektors



*Korrelationskoeffizient zwischen diesem Indikator und Indikator Verkehr_THG

X kein Zusammenhang zwischen diesem Indikator und Indikator Verkehr_THG

Quelle: eigene Darstellung, UBA. Ergebnisse basieren auf Indikatoren des Ariadne Projekts und eigenen Berechnungen. Für Quellenangaben und vollständige Indikatorenennamen siehe Tabelle 14.

Zwischen den Indikatoren bestanden überwiegend Indizien für Synergien. Lediglich der Verkehrsindikator „Anteil von Strom am Endenergieverbrauch im Verkehr“ korrelierte negativ mit dem Treibhausgasindikator und mit den zwei ausgewählten Indikatoren des Energiesektors. Hier signalisierte der Koeffizient sowohl mit dem Treibhausgasindikator des Verkehrssektors als auch mit den Indikatoren „Anteil des erneuerbar erzeugten Stroms an der Nettostromerzeugung (Energie_EEinStromMix)“ und „Installierte Netto-Leistung von Erneuerbaren Energien (Energie_EEInsgesamt) einen Zielkonflikt. Grundsätzlich lagen jedoch viele Indizien für Synergien vor. Von 25 ermittelten Zusammenhängen wiesen 22 Koeffizienten starke positive Korrelationen und damit Indizien für starke Synergien auf. Welche davon tatsächlich kausaler Natur sind, sollte durch die Plausibilitätsprüfung der Experten und Expertinnen geklärt werden.

5.1.3 Ergebnisse der Plausibilitätsprüfung

Die Ergebnisse der Fachprüfung wurden als Excel-Datei übermittelt und können im Anhang A.1 nachvollzogen werden. Die Tabelle zeigt die Indikatorenpaare (Indikator A und Indikator B) und den ermittelten statistischen Zusammenhang. In der Spalte Korrelation befindet sich neben dem Korrelationskoeffizienten (in Klammern) auch die entsprechende Interpretation aus dem 1. AP, welche sich an der Skala von (Cohen, 1992) orientiert. In der Spalte $A \rightarrow B$ und $B \rightarrow A$ wird dann die Einschätzung, wie sie im Fragebogen ausgefüllt werden sollte, aufgeführt. In der Kommentarspalte konnte die Fachseite entsprechende Hinweise und Anmerkungen geben.²⁶ Wurde sowohl statistisch als auch von der Fachseite eine Wirkungsrichtung übereinstimmend identifiziert, so wurden entsprechende Wirkungsrichtungen grün markiert. Weicht die statistische Korrelation und die Einschätzung der Fachseite marginal ab, z.B. weil die Fachseite einen schwächeren oder stärkeren Zusammenhang vermuten würde, so wurden entsprechende Wirkungsrichtungen gelb bewertet. Abgelehnte Zusammenhänge werden nicht dargestellt. Sowohl „grün“ als auch „gelb“ wurden als Bestätigung der statistischen Zusammenhänge eingestuft. Zum besseren Verständnis werden die Ergebnisse in der nachfolgenden Abbildung 35 schematisch dargestellt. Die Pfeile orientieren sich an den eben beschriebenen Farbschema.

²⁶ In seltenen Fällen kam es vor, dass, obwohl ein statistischer Zusammenhang vollumfänglich bestätigt wurde der zusätzliche Kommentar eine gewisse Unsicherheit bei der Einschätzung indizierte. In diesem Fall wurde sich bei der Bewertung für eine Orientierung am Kommentar entschieden.

Intrasektoral

Zunächst haben sich aus intrasektoraler Perspektive fast alle Indizien für Synergien bestätigt. Lediglich beim Indikatorenpaar „Jährliche THG-Emissionen des Verkehrssektors“ und „Anteil von Strom am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors“ wurde ein Zielkonflikt statistisch indiziert, den die Fachseite so nicht bestätigen konnte.

Bestätigt haben sich demnach die synergetischen Beziehungen innerhalb des Verkehrssektors nach der DPSIR-Logik (Pressure $\leftarrow$ Response und Pressure $\leftarrow$ Driving forces). Hier wurden alle Indizien für Synergien in ebenjener Richtung als kausale Wirkungszusammenhänge bestätigt. Das bedeutet, dass die Umsetzung von effektiven Umweltmaßnahmen (Response) zu Minderungen von Umweltbelastungen (Pressure) führt und die Abschwächung von sozio-ökonomischen Faktoren (Driving forces) eine Reduzierung von Umweltbelastungen (Pressure) zur Folge hat. Gleiches galt für den Energiesektor.

Im Energiesektor selbst wurden alle Indizien für synergetische Wirkungszusammenhänge bestätigt, ausgehend von den Response-Indikatoren „Installierte Netto-Leistung Erneuerbare Energien (alle)“, „Anteil des erneuerbar erzeugten Stroms an der Nettostromerzeugung“ und „Elektrische Leistungsaufnahme installierter und geplanter Elektrolyseure“ auf die beiden Pressure-Indikatoren „Jährliche THG-Emissionen der Energiewirtschaft“ und „CO₂-Emissionen pro erzeugter Einheit Strom“. Lediglich bei den zwei Indikatorenpaaren war zwar klar, dass ein synergetischer Effekt vorliegt, jedoch konnte nicht eingeschätzt werden in welchem Umfang.

Intersektoral

Zwischen den Sektoren wurden fünf Indizien für Synergien, ausgehend vom Energiesektor in Richtung des Verkehrssektors, bestätigt. Auch wurde ein direkter synergetischer Wirkungszusammenhang von einem Response-Indikator des Energiesektors auf die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors bestätigt. Grundsätzlich zeigen diese bestätigten Zusammenhänge, dass wünschenswerte Entwicklungen im Energiesektor die Anstrengungen und Maßnahmen im Verkehrssektor unterstützen, die auf die Absenkung der Treibhausgase abzielen. Dieser Effekt begründet sich einerseits durch mittelbare Wirkungen auf die Emissionen, als auch durch unmittelbare.

5.1.4 Diskussion und Limitation

Der Praxistest sollte zeigen, inwieweit die Methode im UBA funktional ist, d.h. eine systemische Bewertung auf Grundlage der in 1. AP vorgeschlagenen Methode unter den organisatorischen Voraussetzungen funktionieren kann. Folgende Aspekte wurden zur abschließenden Beurteilung ausgewertet:

- ▶ War die Anwendung des methodischen Verfahrens erfolgreich?
- ▶ Welche Teile des Praxistests liefen gut, welche eher schlecht?
- ▶ Welche Stellschrauben bieten Optimierungspotenzial?
- ▶ Welche prozessbezogenen Komplikationen wurden durch die Gestaltung des Praxistests nicht berücksichtigt und können später eventuell auftreten?

Hilfreich war es auch, den Prozess zum besseren Verständnis in folgende Bereiche aufzuteilen:

- ▶ Indikatorenauswahl
- ▶ Korrelationsanalyse

► Kommunikation mit Fachpersonen und Plausibilitätsprüfung

Im weitesten Sinne gehörte auch die Indikatorenauswahl zum Praxistest dazu. Diese beinhaltete nicht nur die Prüfung der einzelnen Qualitätskriterien für die Indikatoren eines Systems (2. AP), sondern auch die anschließende Auswahl der Indikatoren, welche für den Praxistest genutzt wurden (3. AP).

Die **Indikatorenauswahl** für den Praxistest orientierte sich einerseits an den Voraussetzungen für Korrelationsanalysen aus dem 2. AP und den gesetzten Fragen zum Thema „Treibhausgasneutralität“ im Kontext des Klimaschutzgesetzes

Die **Berechnung der einzelnen Korrelationskoeffizienten** erfolgte durch das Korrelationsanalysetool schnell und unproblematisch. Die Indikatorenwerte wurden zuvor in eine Excel-Datei überführt und anschließend in die App geladen, welche die Berechnungen durchführte. Die Befüllung der Excel-Datei mit den Indikatorenwerten war zeitaufwändig, da es sich einerseits um ein externes Indikatorensystem handelte. Andererseits enthielten die Primärquellen teilweise längere Zeitreihen als der Ariadne Transformation Tracker, sodass einige Indikatoren aus Basis der Originaldaten neu berechnet wurden. Die Befüllung der einzelnen Fragebögen und die Berechnungen der individuellen Analysezeiträume für jedes Indikatorenpaar wurden von der App nicht übernommen und mussten händisch durchgeführt werden.

Die **Plausibilitätsprüfung** verlief insgesamt erfolgreich. Einerseits gab es aus explorativer Sicht viele Korrelationen, welche als plausibel eingeschätzt wurden, zum anderen war der organisatorische Prozess um den Methodentest unproblematisch. Das Projekt wurde in einem Meeting vorgestellt, die zu bearbeitenden Dokumente im Nachgang an die Fachseite weitergeleitet. Die Bearbeitung erfolgte ohne Rückfragen, was bedeutet, dass die gestellten Aufgaben und der gesamte Prozess als eingängig eingestuft werden können. Die Fragebögen wurden zeitnah vollumfänglich bearbeitet. In diesem Sinne kann davon ausgegangen werden, dass der Workload überschaubar war, der Prozess gut kommuniziert wurde und leicht verständlich war.

Die Frage nach möglichen Wirkungszusammenhängen konnte beantwortet werden und es zeigten sich spannende synergetische Effekte. Sowohl mittelbar als auch unmittelbar führen wünschenswerte Entwicklungen der Energiewirtschaft zu treibhausgasreduzierenden Effekten im Verkehr. Auch konnten die erwartbaren Zusammenhänge entlang der DPSIR-Kette repliziert werden. Wünschenswerte Entwicklungen in der sozio-ökonomischen und umweltpolitischen Dimension gehen mit sinkenden Treibhausgasemissionen einher. Lediglich bei drei Indikatorenpaaren gab es problematische Korrelationskoeffizienten, die Zielkonflikte indizierten, fachlich jedoch als Synergie eingeordnet wurde. Bei diesen Zusammenhängen war stets der Indikator „Anteil von Strom am Endenergieverbrauch im Verkehr“ beteiligt. Der Grund hierfür ist eine Lücke der Methode, die an dieser Stelle näher ausgeführt werden soll. Korrelationskoeffizienten können keine nicht-monotonen Zusammenhänge erkennen. Diese können vor allem dann vorliegen, wenn Indikatoren mit relativen Einheiten Teil der Analyse sind. Dies ist bei der Plausibilitätsprüfung stets zu beachten und kann ggf. nachträgliche redaktionelle Aufbereitung/Einordnung voraussetzen.

Im Zweifel können die unterschiedlichen Variablen innerhalb eines relativen Indikators jedoch derart verzerren, dass eine redaktionelle Aufbereitung in dieser Form nicht unbedingt möglich ist. Bei den Indikatorenpaar „Jährlichen THG-Emissionen des Verkehrssektors“ und „Anteil von Strom am Endenergieverbrauch im Verkehr“ wurde ein Zielkonflikt indiziert, der durch die Fachseite nicht bestätigt wurde. Hier wurde eine Synergie erwartet. Laut Fachseite liegt das daran, dass die sinkenden Stromanteile durch eine erhöhte Fahrleistung (d. h. mehr gefahrene

Kilometer) überlagert wurden. Das bedeutet, dass ein Anstieg des gesamten Endenergiebedarfs im Verkehr zu einer Reduzierung der Anteile über die Jahre führt. In diesem Fall war die Verzerrung jedoch so stark, dass die Korrelationsanalyse einen Zielkonflikt indizierte. In Bewertungssituationen, in denen die Fachseite eine gegenteilige Art des Zusammenhangs indiziert als die Korrelationsanalyse, sollte das Ergebnis – der Projektempfehlung nach – nicht kommuniziert werden. Demnach wäre es bei dieser Konstellation nicht möglich, die Problematik redaktionell für die Öffentlichkeit aufzuarbeiten. Als sinnvolle Alternative bietet sich an, die Korrelationsanalysen noch einmal mit den absoluten Werten – hier in TWh oder PJ - durchzuführen.

Auch wenn die grundsätzliche Art des Zusammenhangs bestätigt wurde, konnte eine konkrete Einschätzung, inwieweit die Synergie tatsächlich dem Koeffizienten entspricht oder ggf. schwächer ausfällt, nicht immer abgegeben werden. Diese Problematik ist ebenfalls als Schwäche der Methode zu benennen. Der Koeffizient verdichtet möglicherweise vielschichtige Wirkungszusammenhänge in einer Zahl. Für die Fachseite kann es dann schwierig sein, diese konkrete Zahl zu bestätigen. Durch eine anschließende redaktionelle Aufbereitung der Ergebnisse für die externe Kommunikation kann dann qualitativ versucht werden den Zusammenhang genauer zu erklären. Die Fachseite kann an dieser Stelle eruieren warum der tatsächliche Zusammenhang ggf. unscharf ist und in welchem Maße der tatsächliche Zusammenhang vielleicht schwächer oder stärker ausfallen kann.

5.2 Zwischenfazit

Insgesamt war der Praxistest erfolgreich. Diese Einschätzung bezieht sich auf den gesamten Workflow – vom Einpflegen der Indikatoren in das Korrelationstool über die Einbindung von Fachexperten und -expertinnen. Zusammenhänge vom Energie- zum Verkehrssektor wurden identifiziert und die kausalen Zusammenhänge entlang der DPSIR-Kette konnten größtenteils bestätigt werden. Die Erkenntnis: Synergetische Effekte, die vom Energiesektor ausgehen, können sowohl unmittelbar als auch mittelbar zur Treibhausgasneutralität im Verkehr beitragen. Die erwartbaren Zusammenhänge entlang der DPSIR-Kette innerhalb der Sektoren konnten im Energiesektor vollständig und im Verkehrssektor größtenteils bestätigt werden. Die Fachseite wies darauf hin, dass Indikatoren mit relativen Maßeinheiten wie Prozent ggf. zu Interpretationsproblemen der Korrelationskoeffizienten führen können und damit zu einer erschwerten Einschätzung der Kausalwirkung. Bestandteile solcher Indikatoren können in einem nicht-monotonen Verhalten des Zusammenhangs resultieren. Deutlich wurde dies bei dem Einfluss des „Anteils Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch im Verkehr“ auf die Treibhausgasemissionen des Sektors. Diese Komplexitäten können jedoch redaktionell aufbereitet werden. Im Falle von Indikatorenpaaren mit relativen Indikatoren, deren Koeffizienten das Gegenteil der Expert*inneneinschätzungen suggerieren, ist redaktionelle Aufarbeitung keine Lösung für die Diskrepanz. Dies war der Fall bei dem Einfluss von „Anteil von Strom am Endenergieverbrauch im Verkehr“ auf die Treibhausgasemissionen im Sektor. Hier wurde der Anteil durch die gesteigerte Fahrleistung derart überlagert, dass quantitative Analyse und Fachmeinung auseinandergingen. Hier empfiehlt es sich stattdessen, eine erneute Analyse mit den absoluten Bestandteilen des oder der Indikatoren durchzuführen. Auch in anderen Fällen gestaltete sich die Einschätzung mancher Wirkungszusammenhänge schwierig, aber nicht unmöglich. Problematisch war hier die Beurteilung, ob der Zusammenhang dem errechneten Koeffizienten entspricht oder schwächer ausfällt. Auch hier eignet sich die redaktionelle Aufbereitung. Beide Aspekte der Methode sind ernst zu nehmen und können als Schwäche aufgefasst werden. In der Regel bietet redaktionelle Aufbereitung jedoch eine Lösung.

IT-gestützte Analysen können durch die Verwendung des Korrelationsanalysetools einfach durchgeführt werden. Der manuelle Aufwand beschränkt sich auf das Einpflegen der Daten in eine Excel-Datei sowie der Koeffizienten in die Fragebögen. Hinzu kommt die Kommunikation mit der Fachseite. Die Durchführung benötigt keine vertiefte Einarbeitung in komplexe statistische Verfahren. Die Anwendbarkeit auf verschiedene Indikatorensystem ist gegeben. Die Beschränkung auf eine einzige Kenngröße pro Zusammenhang (Korrelationskoeffizient) reduziert den Kommunikationsaufwand nach innen und außen auf ein Minimum.

6 Kommunikationskonzept

Auf Basis der wissenschaftlichen Ergebnisse sollte abschließend „ein Kommunikationskonzept entwickelt werden, um die breite Verwertung der Ergebnisse zu unterstützen (z. B. Social Media-Kanäle, verschiedene zielgruppenspezifische Formate, interaktive Formate im Internetauftritt).“ Das Konzept wurde aus UBA-interner Perspektive erarbeitet und berücksichtigt die konkreten Rahmenbedingungen und Strukturen des Umweltbundesamts zum Zeitpunkt der Erstellung. Dieses Kapitel stellt in einer Zusammenfassung die wesentlichen Empfehlungen vor.

6.1 Ziele

Das Konzept definiert zunächst strategische und dazugehörige operative Ziele. Die strategischen Ziele lauten:

- ▶ Die Zielgruppen verstehen die Inhalte.
- ▶ Die Zielgruppen erhalten die Daten und Informationen, die sie brauchen.
- ▶ Die Inhalte erreichen die Zielgruppen.
- ▶ Die Zielgruppen vertrauen uns und den Inhalten.

Zu den operativen Zielen zählt u. a., die Inhalte auf unterschiedlichen Komplexitätsniveaus anzubieten, da sich die Bedürfnisse der Zielgruppen in diesem Punkt stark unterscheiden. Von verständlicher Sprache, prägnanten Kernbotschaften und klaren Strukturen profitieren hingegen alle Rezipient*innen. Aber auch die lückenlose Nachvollziehbarkeit der Methodik und die schnelle Beantwortung von Rückfragen in den sozialen Medien als Zeichen der Dialogbereitschaft sind hier beispielsweise verankert.

Spezifische Herausforderungen, die mit diesem Ansatz adressiert werden sind: Umweltthemen sind komplex in der Darstellung, mit einer Reihe von Unsicherheiten behaftet und berühren nicht nur ökologische, sondern eine Reihe anderer Interessen. Sie richten sich häufig an mehr als eine Zielgruppe, darunter die Politik, Wissenschaft, Medien oder auch die breite Öffentlichkeit – Zielgruppen, die unterschiedliche Interessen haben und unterschiedliche Bedürfnisse an Informationsgehalt und -aufbereitung stellen (Brunn et al., 2023).

6.2 Zielgruppen und Komplexitätsstufen

Die Zielgruppen wurden entlang der Tiefe ihres Detailbedürfnisses aufsteigend gerankt:

- I. allgemeine interessierte Öffentlichkeit
- II. Journalist*innen, Politiker*innen
- III. Autor*innen, Content Creator*innen, zivilgesellschaftliche Engagierte/Organisationen
- IV. Studierende und Wissenschaftler*innen, beruflich Interessierte aus dem SDG-Kontext, Datenjournalist*innen

Analog werden Kommunikationsformate in zunehmender Komplexität empfohlen. Ein niedrigschwelliger Einstieg (I-II) sollte verpflichtend angeboten werden, mit Optionen zum tieferen, selektiven Eintauchen (III-V):

- I. prägnante, verständliche Aussage zu Zusammenhängen
- II. kurze Einordnung dieser Aussage
- III. Factsheet zur Methodik

- IV. ausführlicher Abschlussbericht
- V. Paper mit Peer Review (+ ggf. persönlichen Kontakt)

Wichtig ist dabei: Niedrigschwellige Angebote helfen allen – was sie umso zentraler macht. Auch Zielgruppen, für die Formate in maximaler Detailtiefe erstellt werden, profitieren von den vorgelagerten Komplexitätsstufen. Konkurrierende Bedürfnisse nach mehr Tiefe und mehr Einfachheit lassen sich so miteinander vereinbaren.

6.3 Reichweite

Um Reichweite zu generieren, enthält das Konzept eine Übersicht der zur Verfügung stehenden und geeigneten Formate und Kanäle, um die Methode und/oder deren Ergebnisse extern zu bewerben. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, den praktischen Mehrwert der Analyse und ihrer Ergebnisse überzeugend zu vermitteln. Entsprechende Botschaften für die interne und externe Kommunikation sind ebenfalls im Konzept hinterlegt:

- Botschaft für die rein interne Kommunikation:

Die App für Korrelationsanalysen ist ein neues internes Arbeitsmittel, das als Eigenentwicklung dem ganzen Haus uneingeschränkt zur Verfügung steht.

- Botschaften für die interne und externe Kommunikation:

Die Analyse ...

- ... liefert Anhaltspunkte für interessante tiefergehende Betrachtungen
- ... bietet mit dokumentierter Methodik eine Hilfestellung, um konkrete Synergien/Zielkonflikte näher zu untersuchen
- ... bietet ein mögliches Kriterium für die Auswahl von Headline-Indikatoren (Anzahl und Stärke der Effekte auf andere Bereiche)
- ... kann die Grundlage für Zusammenfassungen/Visualisierungen auf Systemebene bilden
- ... generiert wertvolle Botschaften für die Kommunikation

Zur Steigerung der Reichweite gehört auch, wichtige Multiplikator*innen gezielt(er) anzusprechen. Im vorliegenden Fall lautet die konkrete Empfehlung, den Nachrichtenwert der Inhalte stärker herauszuarbeiten. Damit wird ein zentrales Bedürfnis von Journalist*innen aufgegriffen. Der Nachrichtenwert eines Inhalts setzt sich aus Nachrichtenfaktoren zusammen. Je ausgeprägter diese Merkmale sind und je mehr Faktoren auf einen Inhalt zutreffen, desto größer ist dessen Chance, als Nachricht beachtet zu werden (Schulz, 1997). Für indikatorenbasierte Inhalte des UBA sind vor allem (nicht ausschließlich) folgende Nachrichtenfaktoren auf der Grundlage von Schulz (1997) relevant:

- Erfolg/Misserfolg: je ausgeprägter der Erfolg oder Fortschritt bzw. der Misserfolg ist
- Tragweite: je größer die Tragweite des Ereignisses ist
- Betroffenheit: je mehr das Ereignis persönliche Lebensumstände oder Bedürfnisse von Menschen in Deutschland berührt
- Thematisierung: je stärker eine Affinität des Ereignisses zu den wichtigen Themen der Zeit besteht
- Vorhersehbarkeit: je mehr das Ereignis vorherigen Erwartungen entspricht
- Ungewissheit: je ungewisser, offener der Ereignisablauf ist

► Überraschung: je überraschender das Ereignis eintritt oder verläuft

Da viele der in Indikatoren ausgedrückten Themen sehr wissenschaftlicher Natur sind, ist auch die Frage nach guten Bildern nicht zu vernachlässigen. Das Konzept liefert detaillierte Informationen zur UBA-internen Bildauswahl und -beschaffung; es gilt die im Corporate Design-Handbuch des UBA definierte Bildsprache (UBA, 2018).

Weiterhin ergibt sich aus dem wissenschaftlichen Charakter häufig die Notwendigkeit einer Art „Anmoderation“: Während sich Daten-zur-Umwelt-Artikel grundsätzlich an der umgekehrten Nachrichtenpyramide orientieren (Lead → weitere Informationen → Hintergrund), kann bei sehr komplexen Themen der Hintergrund an erste Stelle rücken. In diesem Fall wird zunächst die Relevanz eines Themas erläutert, bevor die eigentliche Neuigkeit folgt.

6.4 Sprache und Tonalität

Bei der sprachlichen Vermittlung der Projektergebnisse sollte Verständlichkeit die höchste Priorität haben. Diese Empfehlung ergibt sich aus dem gesetzlichen Auftrag, die gesamte Öffentlichkeit über den Zustand der Umwelt und aktuelle Umweltveränderungen in Deutschland in gut zugänglichen und einfach verständlichen Formaten zu informieren (§ 10 Umweltinformationsgesetz). Sie spiegelt aber auch wiederholtes Feedback von Nutzer*innen sowie internen und externen Expert*innen bzw. Analysen wider. Zudem greift sie auf die exemplarische Anwendung kommerzieller Textanalysetools zur Beurteilung existierender Indikatorentexte zurück.

Diese Tipps fassen die Grundsätze verständlicher Formulierung für zukünftige Redakteur*innen von indikatorenbasierten Inhalten zusammen:

- kurze Sätze (maximal 15 bis 20 Wörter)
- ein Satz, ein Gedanke
- Fremdwörter vermeiden oder, wenn unverzichtbar, erklären
- Aktiv statt Passiv
- Verben statt Substantive
- erst der Hauptsatz, dann der Nebensatz
- überflüssige Wörter und Floskeln streichen

Insbesondere die Empfehlungen zum Umgang mit Fachbegriffen führt das Konzept näher aus. So kann der Einsatz von Fachbegriffen in bestimmten Fällen durchaus sinnvoll sein – z. B., wenn der Begriff einen hohen Bekanntheitsgrad hat oder im Text immer wieder auftaucht und so die häufige Wiederholung umständlicher Umschreibungen verhindert. In beiden Fällen ist es essenziell, den Begriff bei der ersten Verwendung einzuführen und nachvollziehbar zu erklären. Grundsätzlich ist jedoch eine deutlich geringere Fremdwortdichte anzustreben als bisher üblich.

Diese Empfehlungen werden ergänzt durch Anforderungen an die Textstruktur. Hierzu zählen u. a. eine klare Kernbotschaft (befördert durch die o. g. Komplexitätsstufen, die eine prägnante Aussage auf Ebene I fordern) und ein logischer Aufbau mit übersichtlicher Gliederung. Es wird angeregt, die bestehende Struktur der UBA-Indikatorenartikel um einen eigenen Gliederungspunkt zu erweitern, der die Zusammenhänge zwischen Indikatoren charakterisiert. Hierbei ist zwingend zu klären, ob es diesen Gliederungspunkt immer geben sollte – auch wenn keine Zusammenhänge ermittelt wurden (= Empfehlung) – oder nur dann, wenn (selektiv)

Zusammenhänge ermittelt wurden. Diese Entscheidung ist kapazitätsabhängig und sollte vor allem davon abhängig gemacht werden, wie umfassend nach Zusammenhängen analysiert werden kann und wird. Variante 1 (immer einblenden) birgt die Gefahr, dass ein Artikel suggeriert, es existieren keine Zusammenhänge bzw. es wurden keine identifiziert – während in der Realität die Kapazitäten für diese Prüfung fehlten. Es muss zudem sehr klar werden, dass Zusammenhänge nur zwischen den Indikatoren des UBA betrachtet werden. Variante 2 (selektiv einblenden) macht wiederum angreifbar, da ein Eindruck von Willkür bzw. einer zugrundeliegenden Agenda entstehen könnte. Hier sollte sehr eindeutig und plausibel klar werden, nach welchen Kriterien die Auswahl erfolgte. Für beide Varianten sind umfassende Textbausteine im Konzept hinterlegt.

Die Tonalität sollte positiv sein und – wo möglich – Handlungsoptionen, Lösungswege und Erfolgsszenarien aufzeigen. Dies kann z. B. bedeuten, die positiven Folgen einer Veränderung hervorzuheben, statt die negativen Folgen bisherigen Handels aufzuzeigen. Dennoch sollte zugunsten der Transparenz und Ausgewogenheit darauf geachtet werden, negative Zusammenhänge zwischen Indikatoren ebenfalls in die Kommunikation einfließen zu lassen. Auch warnende, eindringliche Narrative, die z. B. aus Zielkonflikten zwischen Indikatoren, Indikatoren mit stagnierendem Fortschritt oder nicht wünschenswerten Verstärkungseffekten zwischen Indikatoren hervorgehen, sollten kommunikativ mindestens einen positiv gerichteten Ausblick enthalten. Ein entsprechender Beitrag könnte beispielsweise gesellschaftliches Engagement oder Initiativen mit Signalwirkung in diesem Bereich würdigen, die modellierte Wirkung konkreter Maßnahmen aufzeigen, Positivbeispiele aus anderen Ländern nennen oder die Rezipient*innen mit einem Call-to-Action direkt ansprechen. Darüber hinaus ist es wichtig, den Bezug zur Lebenswelt der Rezipient*innen herzustellen. Hier bietet es sich z. B. an, die Vorteile politischer Maßnahmen oder individueller Verhaltensweisen für den Einzelnen und für die Gesellschaft aufzuschlüsseln. Anschauliche Orientierung bietet hier ein Instagram-Beitrag der WDR Wissensredaktion Quarks vom 5. März 2025 zum Thema Fasten (Quarks, 2025): Hier wird unterschieden in „Das bringt es dir“ und „Das bringt es, wenn wir alle es tun“. Konkret für Fleischverzicht bedeutet das beispielsweise: „Du lebst gesünder und beugst Übergewicht vor“ (das bringt es dir) und „Unser Klima wird besser geschützt, denn Treibhausgase gehen zurück“ (das bringt es, wenn wir alle es tun). Eine solche Unterscheidung von persönlichen und gesamtgesellschaftlichen Vorteilen eignet sich vor allem für die Kommunikation von Indikatoren mit besonders alltagsnahen Inhalten. Geeignete Bereiche wären z. B. Energieverbrauch, Nachhaltiger Konsum, Engagement im Umweltschutz, Kunststoffmüll und Umweltfreundlicher Personenverkehr.

6.5 Social Media

Klar empfohlen wird die regelmäßige Aufbereitung indikatorenbasierter Inhalte für die Sozialen Medien. Das Konzept bietet an dieser Stelle umfangreiche Hinweise zu hausinternen Abläufen einschließlich eines im Projekt entwickelten und erprobten Prozesses zur fachbereichsübergreifenden Zusammenarbeit an gemeinsamen Social-Media-Projekten. Die Handreichung erklärt den gesamten Prozess von der Themenfindung, Auswahl der passenden Plattform und Entwicklung der Storyline über die textliche und grafische Erstellung der Inhalte bis hin zum Community Management nach Veröffentlichung. Dabei wird immer wieder betont: Ein klar erkennbarer roter Faden und eine übersichtliche Gliederung sind für Social Media genauso wichtig wie für andere Formate – ebenso wie verständliche Sprache, zielgruppengerechte Botschaften und ansprechendes Bildmaterial. Übergeben werden detaillierte Templates zur Erstellung der Inhalte und zur Kommunikation mit den zu involvierenden Fachleuten. Zu den strategischen Empfehlungen zählt in diesem Kontext, zukünftig mehr Co-Creations anzustreben (z. B. mit dem BMUKN) und Informationen zu

Zusammenhängen zwischen Indikatoren in ohnehin geplante Posts mit anderem Fokus einzubinden, wo immer passend und möglich. Letzteres entspricht bereits dem etablierten Vorgehen bei Daten-zu-Umwelt-Inhalten, könnte – kapazitätsabhängig – aber noch umfangreicher und systematischer verfolgt werden. Sinnvoll wäre eingangs neben den eigentlichen Inhalten der Indikatoren auch ein Post, der die neuen Funktionen des Systems im Hinblick auf Zusammenhänge bewirbt. Passende Textbausteine können dem Konzept entnommen und vielseitig verwendet werden.

7 Fazit

Das Projektziel bestand darin, ein Konzept zur Abbildung von systemischen Zusammenhängen zwischen Umweltindikatoren vorzulegen. Ein exemplarisches Indikatorensystem zum Thema Treibhausgasneutralität, das im Rahmen des Projekts erstellt wurde, diente als Testobjekt zum Erproben der Analysen in einem umweltrelevanten Kontext. Auch die Zusammenarbeit mit Fachexperten und -expertinnen des UBA an konkreten Analysen konnte auf dieser Basis getestet werden, sodass sowohl die inhaltliche als auch die organisatorische Realisierbarkeit der vorgeschlagenen Methodik bestätigt werden konnte. Eine im Projekt entwickelte Webanwendung zur effizienten Durchführung von Korrelationsanalysen zwischen Indikatoren bedient die Vorgabe zur Nutzung und Auswertung IT-gestützter Analysen. Unterstützung zur breiten Verwertung der Ergebnisse bietet das projektbezogene Kommunikationskonzept.

Als geeignete Methode wurde konkret eine Korrelationsanalyse mit Fachprüfung identifiziert. Das dreistufige Verfahren basiert auf Korrelationsanalysen auf Indikatorebene (Schritt 1). Die auf diese Weise ermittelten Zusammenhänge werden anschließend von Fachexperten und -expertinnen auf Plausibilität geprüft und inhaltlich eingeordnet (Schritt 2). Abschließend erfolgt ein Abgleich der statistischen und fachlichen Ergebnisse, dessen Endergebnis die Grundlage für eine redaktionelle Aufbereitung zur Kommunikation nach außen bildet (Schritt 3). Die Notwendigkeit des zweiten und dritten Schrittes ergibt sich daraus, dass die Ergebnisse der Korrelationsanalyse keine Schlüsse über etwaige zugrundeliegende Kausalzusammenhänge zulassen. Auch die Richtung dieser Wirkung (wer beeinflusst wen) lässt sich aus dem Koeffizienten nicht ableiten. Wichtig dabei: Das vorliegende Konzept sieht die fachliche Prüfung als verpflichtenden Bestandteil der Analyse vor. Der erhöhte Kapazitätseinsatz einer obligatorischen Prüfung schafft erhebliche Zugewinne bei der Transparenz und Reproduzierbarkeit der Analyseverfahren und -ergebnisse. Angesichts zunehmender Desinformationskampagnen und Angriffe auf die Glaubwürdigkeit (staatlicher) Akteure im Umwelt- und insbesondere Klimaschutzbereich priorisierte das Projekt diese Faktoren.

Die Methode fußt auf einer umfassenden Analyse bestehender Ansätze zur Abbildung von Zusammenhängen zwischen Indikatoren. Die vorgeschlagene Methodik wurde einem umfangreichen Praxistest unterzogen. Das hierfür vorgesehene exemplarische Indikatorensystem behandelte das Thema Treibhausgasneutralität und wurde auf Basis des existierenden Ariadne Transformation Trackers erstellt. Dieses System überzeugte aus mehreren Gründen: Die Indikatoren waren statistisch geeignet, da sie lange Zeitreihen beinhalten und häufig untereinander korrelieren. Zudem besteht das Indikatorensystem ausschließlich aus nationalen Indikatoren und behandelt ein klar eingegrenztes Thema (Fortschritt der Energiewende in Deutschland) – beides wichtige thematische Kriterien. Es gliedert die Indikatoren in die Sektoren des Klimaschutzgesetzes (Gesamtsystem, Energiewirtschaft, Verkehr, Gebäude und Industrie) und in übergeordnete Handlungsziele (Emissionsminderung, Ausbau Erneuerbarer Energien, Fossil Phase-Out, Elektrifizierung, Effizienz und Lebensstil sowie Infrastruktur). Das Indikatorensystem wurde durch ein systematisches Verfahren um den Landwirtschaftssektor ergänzt. So entstand ein System aus 56 Indikatoren, die als Testdaten für alle 1540 Korrelationsanalysen (Schritt 1) verwendet wurden.

Schritt 2 hingegen erforderte ein selektives Vorgehen, da eine fachliche Prüfung aller Korrelationen kapazitiv unmöglich gewesen wäre und auch nicht notwendig ist, um den Prozess aussagekräftig zu beurteilen und zu optimieren. Der Test erfolgte daher beispielhaft an einem sorgfältig ausgewählten Sektorenpaar mit insgesamt 25 Indikatorvergleichen. Diese Empfehlung zielt jedoch ausschließlich auf die Effizienz des Prozesses ab. Indikatorenpaare können – inhaltlich oder durch Zuständigkeiten begründet – die Beteiligung mehrerer

Organisationseinheiten erfordern, insbesondere bei Indikatorensystemen mit einer hohen Themenvielfalt. Zudem wurden die Sektoren so gewählt, dass ein Sektor die Emissionsziele nach KSG verfehlt, während der andere Sektor sie erreicht. Dieses Kriterium ist optional und zielte darauf ab, politisch besonders interessante Synergieeffekte zu identifizieren. Auch sollte geprüft werden, inwieweit die Methode die Zusammenhänge entlang der DPSIR-Kette erfolgreich quantifizieren kann. Vor diesem Hintergrund fiel die Wahl auf die Sektoren Verkehr und Energie.

Der Praxistest war insgesamt erfolgreich und belegte die Anwendbarkeit der Methode. Diese Einschätzung bezieht sich auf den gesamten Workflow von der Analyse der Indikatoren mittels Korrelationstool über die Anfrage zur Fachprüfung bis hin zu deren Bearbeitung und Evaluation. Zusammenhänge vom Energie- zum Verkehrssektor wurden identifiziert und die kausalen Zusammenhänge entlang der DPSIR-Kette konnten größtenteils bestätigt werden. Die Erkenntnis: Synergetische Effekte, die vom Energiesektor ausgehen, können sowohl unmittelbar als auch mittelbar zur Treibhausgasneutralität im Verkehr beitragen. Die erwartbaren Zusammenhänge entlang der DPSIR-Kette innerhalb der Sektoren konnten im Energiesektor vollständig und im Verkehrssektor größtenteils bestätigt werden. Aber auch die interne Zusammenarbeit verlief effizient, spannungsfrei und konstruktiv. Prozessbezogene Anpassungsbedarfe, die sich aus dem Test ergaben, wurden umgesetzt.

Ein Fallstrick der Methode besteht darin, dass Indikatoren mit relativen Maßeinheiten (z. B. Prozent) zu Interpretationsproblemen der Korrelationskoeffizienten und damit zu einer erschwerten Einschätzung der Kausalwirkung führen können. Der Grund dafür ist das potenziell nicht-monotone Verhalten dieser Zusammenhänge. In der Regel lässt sich dieses Problem jedoch durch redaktionelle Aufarbeitung lösen. Wo eine zu große Diskrepanz zwischen Analyseergebnis und Fachurteil entsteht, empfiehlt sich die erneute Analyse mit den absoluten Bestandteilen des Indikators bzw. der Indikatoren.

Weitere Schwächen: Der Rangkorrelationskoeffizient erkennt keine Trendumkehr. Eine Veränderung des Zusammenhangs über Zeit, z. B. von Zielkonflikt zu Synergie, kann unentdeckt bleiben, wenn die Analyse nicht auf mehrere Analysezeiträume aufgeteilt wird. Auch zeitverzögerte Wirkungen zwischen Indikatoren – sogenannte Lags – bildet der Korrelationskoeffizient nicht ab. Zudem können Indikatoren weitere Einflussfaktoren enthalten, die das Ergebnis verzerren. Außerdem kann die Methode unter Umständen wichtige Einflussfaktoren nicht berücksichtigen. Diese Effekte können durch die fachliche Prüfung auffallen und häufig entsprechend berücksichtigt werden, z. B. durch Anpassung der Berechnungsgrundlage und/oder redaktionelle Aufarbeitung. Ein sicherer Kontrollmechanismus ist durch die Fachprüfung jedoch nicht gegeben.

Wichtig für die Interpretation ist auch, dass das Endergebnis zur Stärke des Zusammenhangs – also die Kombination aus statistischer Analyse und Fachprüfung – eher Richtwerte als exakte Aussagen liefert. Die fachlichen Expertinnen und Experten erhalten zur Prüfung hier die statistisch ermittelte Stärke des Zusammenhangs, ausgedrückt als einheitsloser Koeffizient. Die Abstraktheit dieses Werts stellt die Prüfer*innen vor eine Herausforderung und macht ihn zu einer Richtgröße. Schätzen die Prüfer*innen einen Zusammenhang stärker und schwächer ein, als der Koeffizient nahelegt, nehmen sie keine Konkretisierung in Form eines genauen Werts vor.

Insgesamt bildet die Methode einen sorgfältig und fundiert abgewogenen Kompromiss zwischen wissenschaftlicher Tiefe und praktischer Realisierbarkeit als themenübergreifende Daueraufgabe im Verwaltungskontext. Hierfür war unabdingbar, die Komplexität der Analysen und Prozesse auf ein vertretbares Maß zu reduzieren und Spezifika zu vermeiden, die einer Anwendbarkeit auf verschiedenste Indikatorensysteme des UBA im Weg gestanden hätten. Die

durch das Korrelationstool semiautomatisierte Methode, die thematisch nicht festgelegt ist, schafft genau diesen Spagat. Die detaillierte Dokumentation einschließlich eines Handbuchs zu den IT-gestützten Analysen sichert den vollständigen Wissenstransfer und damit die langfristige hausweite Anwendbarkeit der Projektergebnisse. Dazu zählt, dass der Code des Korrelationstools vollständig übergeben wird und jederzeit angepasst werden kann, um beispielsweise neue Funktionen zu integrieren oder das Tool an veränderte Umstände anzupassen. Auch die Empfehlungen und Bausteine des Kommunikationskonzepts sind auf langfristige, vielseitige Anwendbarkeit ausgelegt. Zusammen mit den im Projekt entstandenen Begleitmaterialien – z. B. einer Handreichung zu Qualitätskriterien für Umweltindikatoren – geht der Mehrwert der Projektergebnisse über eine Weiterentwicklung der Daten zur Umwelt hinaus und erlaubt vielfältige Verwertung innerhalb wie außerhalb der Umweltverwaltung.

8 Quellenverzeichnis

Akaike, H. (1973). Information theory as an extension of the maximum likelihood principle. In B. N. Petrov & F. Csaki (Hrsg.), *Second International Symposium on Information Theory* (S. 276–281). Akademiai Kiado.

Almende, B.V. & Thieurmel, B. (2022). *visNetwork: Network Visualization using ,vis.js‘ Library* (Version R package version 2.1.2) [Computer software]. (2022). <https://cran.r-project.org/web/packages/visNetwork/index.html>

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (2023). *Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern/Nettostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern*. https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/03/STRERZ22A11_Abg_0223.pdf

Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik. (2025). *Zeitreihen zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland*. <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren>

Bertelsmann Stiftung. (o.J.). *SDG-Portal*. <https://sdg-portal.de/de/>

Bertelsmann Stiftung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Deutscher Landkreistag, Deutscher Städtetag, Deutscher Städte- und Gemeindebund, Deutsches Institut für Urbanistik, ICLEI European Secretariat, Rat der Gemeinden und Regionen Europas / Deutsche Sektion. (2022). *SDG Indikatoren für Kommunen – Indikatoren zur Abbildung der Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen in deutschen Kommunen*. https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/Projekte/Monitor_Nachhaltige_Kommune/220902_SDG-Indikatoren_Kommunen.pdf

Bollen, K. A. & Pearl, J. (2014). Eight Myths About Causality and Structural Equation Models. In S. L. Morgan (Hrsg.), *Handbooks of sociology and social research. Handbook of causal analysis for social research* (1. softcover printing, S. 301–328). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6094-3_15

Bosch und Partner. (2021). *Monitoring zur DAS - Technische und inhaltliche Weiterentwicklung: 3. Sachstandsbericht*. (Unveröffentlicht)

Bours, D. (2014). *A good start with S.M.A.R.T. (indicators)*. <https://www.linkedin.com/pulse/20141022071803-18927814-a-good-start-with-s-m-a-r-t-indicators>

Brunn, C., Scherf, C.-S., Rausch, R., & Dolega, A. (2023). *Abschlussbericht: Wahrnehmung und Interesse der Öffentlichkeit an Umweltinformationen stärken. Strategien und Werkzeuge zur Erhöhung der Reichweite, Sichtbarkeit und weiteren Verwertung*.

Bundes-Klimaschutzgesetz (2019). <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/BJNR251310019.html>

Bundesministerium für Bildung und Forschung. (o.J.). *Forschung für die Energiewende - Was, warum und wie: Ein Überblick zu den Kopernikus-Projekten* <https://www.kopernikus-projekte.de/projekte>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. (2020). *Indikatorenbericht 2019 der Bundesregierung zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt*. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/indikatorenbericht_2019_bf.pdf

Chang, W. (2021). *shinythemes: Themes for Shiny* (Version R package version 1.2.0) [Computer software]. (2021). <<https://CRAN.R-project.org/package=shinythemes>>

Chang, W.; Cheng, J.; Allaire, J. J.; Sievert, C.; Schloerke, B.; Xie, Y.; Allen, J.; McPherson, J.; Dipert, A.; Borges, B. (2023). *shiny: Web Application Framework for R* (Version R package version 1.8.0) [Computer software]. (2023). <https://CRAN.R-project.org/package=shiny>

Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological bulletin*, 112(1). <https://doi.org/10.1037//0033-2909.112.1.155>

Dickey, D. A. & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427–431.

<https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531>

Die Bundesregierung. (2008). *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel*.

<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/1873516/9d73d857a3f7f0f8df5ac1b4c349fa07/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-barrierefrei-data.pdf>

Die Bundesregierung. (2021). *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie Weiterentwicklung 2021*.

<https://www.publikationen-bundesregierung.de/pp-de/publikationssuche/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-weiterentwicklung-2021-langfassung-1875178>

Doran, G. T. (1981). There's a SMART way to write managements's goals and objectives. *Management review*, 70(11), 35–36.

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=00251895&asa=n&an=6043491&h=yb9qcojb8uafs9nm11uozmwhu3e7syhfsyb5nmcqq72tvll9jmbfd8mwt%2fhp8%2f8fb6wekpmzkegdz7br17mva%3d%3d&crl=c>

Duncan, O. D. (1966). Path Analysis: Sociological Examples. *American Journal of Sociology*, 72(1), 1–16.

<https://doi.org/10.1086/224256>

Durbin, J. & Watson, G. S. (1950). Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression: I. *Biometrika*, 37(3/4), 409. <https://doi.org/10.2307/2332391>

Durbin, J. & Watson, G. S. (1951). Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression. II. *Biometrika*, 38(1/2), 159. <https://doi.org/10.2307/2332325>

ECA. (o.J.). *A good start with S.M.A.R.T. (indicators)*. [https://2012-](https://2012-2025.eca.state.gov/files/bureau/a_good_start_with_smart.pdf)

[2025.eca.state.gov/files/bureau/a_good_start_with_smart.pdf](https://2012-2025.eca.state.gov/files/bureau/a_good_start_with_smart.pdf)

E. J. Hannan & B. G. Quinn (1979). The Determination of the Order of an Autoregression. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 41(2), 190–195. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1979.tb01072.x>

Europäische Kommission. (2023). *Better regulation toolbox 2023*.

https://commission.europa.eu/document/download/9c8d2189-8abd-4f29-84e9-abc843cc68e0_en?filename=BR%20toolbox%20-%20Jul%202023%20-%20FINAL.pdf

Europäische Kommission (Generaldirektion Wettbewerb), Ramboll, Le Den, X., Blagoeva, T., Iliescu, A., Monti, G., Bonfils, W. & Attstrom, K. (2016). *Improving Monitoring Indicators System to Support DG Competition's Future Policy Assessments - Final report*. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/03a7c314-969c-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>

Eurostat. (2022). *Sustainable Development in the European Union: Monitoring Report on Progress Towards the SDGs in an EU Context*. <https://doi.org/10.2785/313289>

Eurostat. (2023a). *Circular economy action plan*. https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en

Eurostat. (2023b). *Improved circular economy monitoring framework now live*.

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/wdn-20230515-1>

Eurostat. (2024). *Circular Economy Database*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/database>

Fisher, R. A. (1915). Frequency Distribution of the Values of the Correlation Coefficient in Samples from an Indefinitely Large Population. *Biometrika*, 10(4), 507. <https://doi.org/10.2307/2331838>

Fuso Nerini, F., Tomei, J., To, L. S., Bisaga, I., Parikh, P., Black, M., Borrion, A., Spataru, C., Castán Broto, V., Anandarajah, G., Milligan, B. & Mulugetta, Y. (2018). Mapping synergies and trade-offs between energy and the Sustainable Development Goals. *Nature Energy*, 3(1), 10–15. <https://doi.org/10.1038/s41560-017-0036-5>

Gabrielsen, P. & Bosch, P. (2003). *Environmental Indicators: Typology and Use in Reporting*. <https://www.researchgate.net/publication/237573469> Environmental Indicators Typology and Use in Reporting

Ghali, K. H. (1997). Government spending and economic growth in Saudi Arabia. *Journal of economic development*, 22(2), 165–172. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=2f617c428b64ab7737045c3c525c1e6c45c4f99c>

Harrell, F. (2024). *Hmisc: Harrell Miscellaneous* (Version R package version 5.1-2) [Computer software]. (2024). <<https://CRAN.R-project.org/package=Hmisc>>

Jänicke, M. & Zieschank, R. (2004). Zielbildung und Indikatoren in der Umweltpolitik. In H. Wiggering & F. Müller (Hrsg.), *Umweltziele und Indikatoren* (Bd. 7, S. 39–62). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-18940-1_4

Jossin, J., Peters, O., Holz, P., Grabow, B. (2020). Übersichten der SDG-Indikatoren für Kommunen. In Bertelsmann Stiftung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Deutscher Landkreistag, Deutscher Städtetag, Deutscher Städte- und Gemeindebund, Deutsches Institut für Urbanistik, Engagement Global (Servicestelle Kommunen in der Einen Welt), Rat der Gemeinden und Regionen Europas / Deutsche Sektion (Hrsg.), *SDG Indikatoren für Kommunen – Indikatoren zur Abbildung der Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen in deutschen Kommunen* (S. 158–205). <https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/unsere-projekte/agenda-2030-nachhaltige-entwicklung-vor-ort/projektnachrichten/sdg-indikatoren-fuer-kommunen/>

Kevork, S. (2022). *trenda* [Computer software]. (2022). <https://github.com/kevorks/trendanalysis>

Komarov, O. (2025). *okomarov/schemaball*, <https://github.com/okomarov/schemaball>

Kopernikus Projekt Ariadne. (o.J.). *Kopernikus Projekt Ariadne*. <https://ariadneprojekt.de/>

Kopernikus Projekt Ariadne. (2024). *Ariadne Transformation Tracker*. <https://tracker.ariadneprojekt.de/de/>

Kostetckaia, M. & Hametner, M. (2022). How Sustainable Development Goals interlinkages influence European Union countries' progress towards the 2030 Agenda. *Sustainable Development*, 30(5), 916–926. <https://doi.org/10.1002/sd.2290>

Kruprianov, A. & Lupoletti, W. (1984). The economic outlook for fifth district states in 1984: Forecasts from vector autoregression models. *FRB Richmond Economic Review*, 70(1), 12–23. https://www.richmondfed.org/publications/research/economic_review/1984/er700102

Kwiatkowski, D., Phillips, P. C.B., Schmidt, P. & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. *Journal of Econometrics*, 54(1-3), 159–178. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y)

Le Blanc, D. (2015). *Towards Integration at Last? The Sustainable Development Goals as a Network of Targets*. <https://doi.org/10.1002/sd.1582>

LiKi. (2022). *Indikatorenspiegel 2022 Trend und Status ausgewählter Indikatoren*. <https://www.liki.nrw.de/fileadmin/liki/Dokumente/Indikatorenspiegel/LIKI-Indikatorenspiegel-2022-V15.2.pdf>

Lütkepohl, H. (1999). *Vector autoregressions* (SFB 373 Discussion Paper 1999, 4). <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/61762/1/722158815.pdf>

- Lütkepohl, H. (2009). Econometric Analysis with Vector Autoregressive Models. In D. A. Belsley & E. J. Kontoghiorghes (Hrsg.), *Handbook of Computational Econometrics* (S. 281–319). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9780470748916.ch8>
- MacCallum, R. C. & Austin, J. T. (2000). Applications of Structural Equation Modeling in Psychological Research. *Annual Review of Psychology*, 51(1), 201–226. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.51.1.201>
- Mainali, B., Luukkanen, J., Silveira, S. & Kaivo-oja, J. (2018). Evaluating Synergies and Trade-Offs among Sustainable Development Goals (SDGs): Explorative Analyses of Development Paths in South Asia and Sub-Saharan Africa. *Sustainability*, 10(3), 815. <https://doi.org/10.3390/su10030815>
- Martone, O. (2013). Die Methode der Trendanalyse. In Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder im Auftrag der Statistischen Ämter der Länder (Hrsg.), *Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder: Band 3 Analysen und Berichte Methodische Weiterentwicklung in den UGRdL* (S. 77–88). Information und Technik Nordrhein-Westfalen.
- Met Office Hadley Center. (2024). *Met Office Hadley Centre observations datasets – HadCRUT5*.
<https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5/>
- Miguel Ramos, C. de & Laurenti, R. (2020). Synergies and Trade-offs among Sustainable Development Goals: The Case of Spain. *Sustainability*, 12(24), 10506. <https://doi.org/10.3390/su122410506>
- Miola, A., Borchardt, S., Neher, F. & Buscaglia, D. (2019). Interlinkages and policy coherence for the Sustainable Development Goals implementation: An operational method to identify trade-offs and co-benefits in a systemic way. 1018-5593. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.2760/780152>
- Muthen, B. O. & Satorra, A. (1995). Complex Sample Data in Structural Equation Modeling. *Sociological Methodology*, 25, 267–316. <https://doi.org/10.2307/271070>
- National Research Council. (2000). *Ecological Indicators for the Nation*. The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/9720>
- Pearson, K. (1895). VII. Note on regression and inheritance in the case of two parents. *Proceedings of the Royal Society of London*, 58(347-352), 240–242. <https://doi.org/10.1098/rspl.1895.0041>
- Peters, O. (2022a). Methodik zur Entwicklung von SDG-Indikatoren für Kommunen. In Bertelsmann Stiftung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Deutscher Landkreistag, Deutscher Städtetag, Deutscher Städte- und Gemeindebund, Deutsches Institut für Urbanistik, ICLEI European Secretariat, Rat der Gemeinden und Regionen Europas / Deutsche Sektion (Hrsg.), *SDG Indikatoren für Kommunen – Indikatoren zur Abbildung der Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen in deutschen Kommunen* (S. 20–31).
<https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/unsere-projekte/agenda-2030-nachhaltige-entwicklung-vor-ort/projektnachrichten/sdg-indikatoren-fuer-kommunen/>
- Peters, O. (2022b). Übersichten der SDG-Indikatoren für Kommunen. In Bertelsmann Stiftung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Deutscher Landkreistag, Deutscher Städtetag, Deutscher Städte- und Gemeindebund, Deutsches Institut für Urbanistik, ICLEI European Secretariat, Rat der Gemeinden und Regionen Europas / Deutsche Sektion (Hrsg.), *SDG Indikatoren für Kommunen – Indikatoren zur Abbildung der Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen in deutschen Kommunen* (S. 32–85).
<https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/unsere-projekte/agenda-2030-nachhaltige-entwicklung-vor-ort/projektnachrichten/sdg-indikatoren-fuer-kommunen/>
- Pfaff, B. (2008a). *Analysis of Integrated and Cointegrated Time Series with R* (2. Auflage). Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-0-387-75967-8>
- Pfaff, B. (2008b). VAR, SVAR and SVEC Models: Implementation Within R Package vars. *Journal of Statistical Software*, 27(4). <https://www.jstatsoft.org/v27/i04/>

- Pfaff, B. & Stigler, M. (2024). *vars: VAR Modelling* (Version R package version 1.6-1) [Computer software]. (2024). <https://cran.r-project.org/web/packages/vars/index.html>
- Posit team (2025). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. Posit Software, PBC [Computer software]. (2025). <http://www.posit.co/>
- Pradhan, P., Costa, L., Rybski, D., Lucht, W. & Kropp, J. P. (2017). A Systematic Study of Sustainable Development Goal (SDG) Interactions. *Earth's Future*, 5(11), 1169–1179. <https://doi.org/10.1002/2017ef000632>
- (Quarks) @quarks.de. (2025, 5. März).   Fastest du auch? Von Aschermittwoch bis Karsamstag verzichten viele Menschen auf Fleisch, Alkohol oder Süßigkeiten [Pressemitteilung]. https://www.instagram.com/p/DGziAWrx6bf/?utm_source=ig_web_copy_link
- Quinn, B. G. (1980). Order Determination for a Multivariate Autoregression. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 42(2), 182–185. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1980.tb01116.x>
- R Core Team (2022). *R: A language and environment for statistical computing* [Computer software]. (2022). <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/fullrefman.pdf> Siehe auch: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rosseel, Y. (2012). lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling. *Journal of Statistical Software*, 48(2), 1–36. <https://doi.org/10.18637/jss.v048.i02>
- Scherer, L., Behrens, P., Koning, A. de, Heijungs, R., Sprecher, B. & Tukker, A. (2018). Trade-offs between social and environmental Sustainable Development Goals. *Environmental Science & Policy*, 90, 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.10.002>
- Schiavo-Campo, S. (1999). Strengthening “performance” in public expenditure management. *Asian Review of Public Administration*, 11(2), 23–44. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=0d5e8d32a26e01c02bb5086ed9c00fd8a1921031>
- Schloerke, B.; Chang, W.; Stagg, G.; Aden-Buie, G. (2024). *shinylive: Run ‘shiny’ Applications in the Browser* (Version R package version 0.3.0) [Computer software]. (2024). <https://cran.r-project.org/package=shinylive>
- Schulz, W. (1997). *Politische Kommunikation. Theoretische Ansätze und Ergebnisse empirischer Forschung zur Rolle der Massenmedien in der Politik*. SpringerLink Bücher. VS Verlag für Sozialwissenschaften. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-95617-0>
- Schwarz, G. (1978). Estimating the Dimension of a Model. *The Annals of Statistics*, 6(2). <https://doi.org/10.1214/aos/1176344136>
- Schwermer, S. (2022). *Beschreibung Eigenforschungsvorhaben: Indikatoren für eine systemische Umweltberichterstattung*, (FKZ 3722121020). Umweltbundesamt (unveröffentlicht).
- Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and Reality. *Econometrica*, 48(1), 1. <https://doi.org/10.2307/1912017>
- Singh, G. G., Cisneros-Montemayor, A. M., Swartz, W., Cheung, W., Guy, J. A., Kenny, T.-A., McOwen, C. J., Asch, R., Geffert, J. L., Wabnitz, C. C.C., Sumaila, R., Hanich, Q. & Ota, Y. (2018). A rapid assessment of co-benefits and trade-offs among Sustainable Development Goals. *Marine Policy*, 93, 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.030>
- Siragusa, A., Chaniotakis, E., Tzanis, D. & Stamos, I. (2024). Scoping SDG interlinkages and methods to infer them. *International Journal of Sustainable Development*, 1(1), Artikel 10065655. <https://doi.org/10.1504/IJSD.2024.10065655>

- Solomon, S., Daniel, J. S., Sanford, T. J., Murphy, D. M., Plattner, G.-K., Knutti, R. & Friedlingstein, P. (2010). Persistence of climate changes due to a range of greenhouse gases. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(43), 18354–18359. <https://doi.org/10.1073/pnas.1006282107>
- Spearman, C. (1904). The Proof and Measurement of Association between Two Things. *The American Journal of Psychology*, 15(1), 72. <https://doi.org/10.2307/1412159>
- Statistisches Bundesamt. (2021). *Nachhaltige Entwicklung in Deutschland Indikatorenbericht 2021*. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Nachhaltigkeitsindikatoren/Publikationen/Downloads-Nachhaltigkeit/indikatoren-0230001219004.html>
- Statistisches Bundesamt. (2025a). *Indikator 13.1.a Treibhausgasemissionen*. <https://dns-indikatoren.de/13-1-a/>
- Statistisches Bundesamt. (2025b). *Indikator 6.1.b Nitrat im Grundwasser*. <https://dns-indikatoren.de/6-1-b/>
- Statistisches Bundesamt. (2025c). *Indikatoren der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie*. <https://dns-indikatoren.de/>
- Sun, C., Wu, Y., Zou, W., Zhao, L. & Liu, W. (2018). A Rural Water Poverty Analysis in China Using the DPSIR-PLS Model. *Water Resources Management*, 32(6), 1933–1951. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1819-y>
- Tsay, R. S. (2013). *Multivariate Time Series Analysis: With R and Financial Applications*. John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/shop/general-introductory-statistics/multivariate-time-series-analysis-with-r-and-financial-applications-p-9781118617908>
- Tsay, R. S.; Wood, D.; Lachmann, J. (2022). *MTS: All-Purpose Toolkit for Analyzing Multivariate Time Series (MTS) and Estimating Multivariate Volatility Models* (Version R package version 1.2.1) [Computer software]. (2022). <https://cran.r-project.org/package=MTS>
- Umweltbundesamt. (o.J.). *Daten zur Umwelt*. <https://www.umweltbundesamt.de/daten>
- Umweltbundesamt. (2015). *Handbuch zur Verstetigung der indikatorbasierten Berichterstattung zur Umsetzung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)*. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/656/dokumente/das-indikatoren_organisationshandbuch.pdf
- Umweltbundesamt. (2018). *Corporate Design Manual des Umweltbundesamtes*. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/2019_uba_manual_screen.pdf
- Umweltbundesamt. (2019). *Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel*. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoringbericht_2019_barrierefrei.pdf
- Umweltbundesamt. (2021). *Daten zur Umwelt - Umweltmonitor 2020*. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/daten-zur-umwelt>
- Umweltbundesamt. (2023). *Monitoringbericht 2023 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung*. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/das-monitoringbericht_2023_bf_korr.pdf
- Umweltbundesamt. (2024a). *Abstand der durchschnittlichen Schadstoffkonzentrationen zu WHO-Empfehlungen im städtischen Hintergrund deutscher Ballungsräume*. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren>
- Umweltbundesamt. (2024b). *Daten zur Umwelt - Umweltmonitor 2024*. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltmonitor-2024>

- Umweltbundesamt. (2024c). *Treibhausgas-Emissionen in Deutschland*. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#treibhausgas-emissionen-nach-kategorien>
- Umweltbundesamt. (2024, 15. März). *Klimaemissionen sinken 2023 um 10,1 Prozent – größter Rückgang seit 1990: UBA-Projektion: Nationales Klimaziel bis 2030 erreichbar*. Pressemitteilung Nr. 11/2024 [Pressemitteilung]. <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/klimaemissionen-sinken-2023-um-101-prozent>
- Umweltbundesamt. (2025a). *Indikator: Anteil Erneuerbare am Bruttostromverbrauch und Bruttoendenergieverbrauch*. <http://www.uba.de/22626>
- Umweltbundesamt. (2025b). *Indikator: Emission von Treibhausgasen*. <https://www.umweltbundesamt.de/node/15214>
- Umweltbundesamt. (2025c). *Indikator: Nitrat im Grundwasser*. <http://www.uba.de/47328>
- Umweltbundesamt. (2025d). *Nationale Treibhausgas-Inventare 1990 bis 2023*. <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2025>
- Vandyck, T., Keramidas, K., Kitous, A., Spadaro, J. V., van Dingenen, R., Holland, M. & Saveyn, B. (2018). Air quality co-benefits for human health and agriculture counterbalance costs to meet Paris Agreement pledges. *Nature Communications*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06885-9>
- Viechtbauer, W. (2022). *mathjaxr: Using 'Mathjax' in Rd Files* (Version R package version 1.6-0) [Computer software]. (2022). <https://CRAN.R-project.org/package=mathjaxr>
- Warchold, A., Pradhan, P. & Kropp, J. P. (2021). Variations in sustainable development goal interactions: Population, regional, and income disaggregation. *Sustainable Development*, 29(2), 285–299. <https://doi.org/10.1002/sd.2145>
- Webb, R. H. (1984). Vector autoregressions as a tool for forecast evaluations. *Economic Review*, 70(Jan), 3–11. <https://fedinprint.org/item/fedrerr/7618>
- Wei, Y., Zhu, X., Li, Y., Yao, T. & Tao, Y. (2019). Influential factors of national and regional CO2 emission in China based on combined model of DPSIR and PLS-SEM. *Journal of Cleaner Production*, 212, 698–712. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.155>
- Weston, R. & Gore, P. A. (2006). A Brief Guide to Structural Equation Modeling. *The Counseling Psychologist*, 34(5), 719–751. <https://doi.org/10.1177/0011000006286345>
- Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D.'A., Francois, R., Grolemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pederson, T. L., Miller, E., Bache, S. M., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D. P., Spinu, V., . . . Yutani, H. (2019). "Welcome to the tidyverse.". *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. <<https://doi.org/10.21105/joss.01686>>
- Wickham, H. & Bryan, J. (2023). *readxl: Read Excel Files* (Version R package version 1.4.3) [Computer software]. (2023). <<https://CRAN.R-project.org/package=readxl>>
- Xie, Y.; Cheng, J.; Tan, X. (2023). *DT: A Wrapper of the JavaScript Library 'DataTables'* (Version R package version 0.31) [Computer software]. (2023). <<https://CRAN.R-project.org/package=DT>>
- Zhou, X., Moinuddin, M. & Li, Y. (2021). *SDG Interlinkages Analysis & Visualisation Tool (V4.0)*. Institute for Global Environmental Strategies. <https://sdginterlinkages.iges.jp/visualisationtool.html>

A Mathematischer Anhang

A.1 Modellgleichungen Trendanalyse IT.NRW (Martone, 2013, S. 77–88)

Legende:

Y	... Indikatorwert
t	... Zeitpunkt/Jahr
ε, v_i	... Fehlerterm
β, φ	... Koeffizient

A.1.1 Lineares Regressionsmodell

$$Y = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon$$

A.1.2 Quadratisches Regressionsmodell

$$Y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \varepsilon$$

A.1.3 Autoregressives Fehlermodell 1. Ordnung (FOAEM)

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 t_i + v_i$$

$$v_i = \varphi_1 v_{i-1} + \varepsilon$$

A.1.4 Autoregressives Fehlermodell 2. Ordnung (SOAEM)

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 t_i + v_i$$

$$v_i = \varphi_1 v_{i-1} + \varphi_2 v_{i-2} + \varepsilon$$

A.2 Korrelationskoeffizienten

Nachfolgend werden die Formeln zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson und des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman vorgestellt.

A.2.1 Pearson Korrelationskoeffizient

Formel zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson (Pearson, 1895)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2)}}$$

Legende

r	... Korrelationskoeffizient
i	... Jahr/Zeitpunkt
x_i	... Variable x zum Zeitpunkt i
y_i	... Variable y zum Zeitpunkt i
$\bar{x}$	... arithmetisches Mittel Variable x
$\bar{y}$	... arithmetisches Mittel Variable y
n	... Stichprobenumfang

A.2.2 Spearmans Rangkorrelationskoeffizient

Formel zur Berechnung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman (Spearman, 1904)

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (r_{x_i} - \bar{r_x})(r_{y_i} - \bar{r_y})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (r_{x_i} - \bar{r_x})^2)(\sum_{i=1}^n (r_{y_i} - \bar{r_y})^2)}}$$

Legende

ρ	... Rangkorrelationskoeffizient
i	... Jahr/Zeitpunkt
r_{x_i}	... Rang der Variable x zum Zeitpunkt i
r_{y_i}	... Rang der Variable y zum Zeitpunkt i
$\bar{r_x}$	... arithmetisches Mittel aller Ränge der Variablen x
$\bar{r_y}$	... arithmetisches Mittel aller Ränge der Variablen y
n	... Stichprobenumfang

A.3 T-Wert bei Korrelationskoeffizienten

Gleichung für die Berechnung des t-Werts von Korrelationskoeffizienten

$$t = \frac{r * \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

t ... t-Wert
r ... Korrelationskoeffizient
n ... Stichprobenzahl

A.4 Formeln für die Berechnung des Konfidenzintervalls von Korrelationskoeffizienten inkl. Fisher Transformation (Fisher, 1915)

A.4.1 Fisher Transformation

$$z_r = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1+r}{1-r} \right)$$

r ... Korrelationskoeffizient
z_r ... Fisher z

A.4.2 Berechnung der Untergrenze und Obergrenze

$$U = z_r - \left(\frac{z_{1-\alpha/2}}{\sqrt{(n-3)}} \right)$$

$$O = z_r + \left(\frac{z_{1-\alpha/2}}{\sqrt{(n-3)}} \right)$$

α ... Signifikanzniveau
n ... Stichprobenzahl
O ... Obergrenze Konfidenzintervall
U ... Untergrenze Konfidenzintervall
z ... Fisher z

A.5 Beispielhaftes VAR(1)-Modell

Das Modell besteht aus drei Indikatoren. Da es sich um ein VAR(1)-Modell handelt wird hier nur die erste Vorperiode in das Modell mit einbezogen. Bei einem VAR(2)-Modell würden sich das Modell in diesem Fall jeweils um 3 Variablen inkl. entsprechender Koeffizienten erweitern.

$$y_{1,t} = c_1 + \alpha_{1,1}y_{1,t-1} + \alpha_{1,2}y_{2,t-1} + \alpha_{1,3}y_{3,t-1} + \varepsilon_{1,t}$$

$$y_{2,t} = c_2 + \alpha_{2,1}y_{1,t-1} + \alpha_{2,2}y_{2,t-1} + \alpha_{2,3}y_{3,t-1} + \varepsilon_{2,t}$$

$$y_{3,t} = c_3 + \alpha_{3,1}y_{1,t-1} + \alpha_{3,2}y_{2,t-1} + \alpha_{3,3}y_{3,t-1} + \varepsilon_{3,t}$$

$y_{i,t}$... Indikatorwert des Indikators i zum Zeitpunkt t

c_i ... Konstante

$\alpha_{i,j}$... Koeffizient, d.h. Einfluss von $y_{j,t}$ auf $y_{i,t}$

B Daten

Die Ergebnisdaten werden aus Platzgründen nur als ein Archiv mit CSV-Dateien zusammen mit dem Bericht zur Verfügung gestellt.

B.1 Korrelationsanalyse mit den Indikatoren des Umweltmonitors: Indikatorenpaare (x,y) , Koeffizienten (coeff), P-Werte (p); max. Analysezeitraum, Schwellenwerte -0,5/0,5, Spearman's ρ , $\alpha \leq 0,05$

Die Ergebnisdaten finden sich in der Datei *B.1-corrspearman_1990-2022_alpha0.05_ts0.5.csv*, die zusammen mit dem Bericht veröffentlicht wird.

B.2 Korrelationsanalyse mit den Indikatoren des Umweltmonitors: Indikatorenpaare (x,y) , Koeffizienten (coeff), P-Werte (p); Analysezeitraum 2000 – 2010, Schwellenwerte - 0,5/0,5, Spearman's ρ , $\alpha \leq 0,05$

Die Ergebnisdaten finden sich in der Datei *B.2-corrspearman_2000-2010_alpha0.05_ts0.5.csv*, die zusammen mit dem Bericht veröffentlicht wird.

B.3 Korrelationsanalyse mit den Indikatoren des Umweltmonitors: Indikatorenpaare (x,y) , Koeffizienten (coeff), P-Werte (p); Analysezeitraum 2010 - 2020, Schwellenwerte - 0,5/0,5, Spearman's ρ , $\alpha \leq 0,05$

Die Ergebnisdaten finden sich in der Datei *B.3-corrspearman_2010-2020_alpha0.05_ts0.5.csv*, die zusammen mit dem Bericht veröffentlicht wird.

B.4 Korrelationskoeffizienten inkl. P-Werte (1. Korrelationsanalyse, Kreislaufwirtschaft Eurostat)

Die Ergebnisdaten finden sich in der Datei *B.4-corrspearman_2000-2022_alpha0.05_ts0.5.csv*, die zusammen mit dem Bericht veröffentlicht wird.

B.5 Korrelationskoeffizienten inkl. P-Werte (1. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)

Die Ergebnisdaten finden sich in der Datei *B.5-1.corrspearman_1990-2022_alpha0.05_ts0.5.csv*, die zusammen mit dem Bericht veröffentlicht wird.

B.6 Korrelationskoeffizienten inkl. P-Werte (2. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)

Die Ergebnisdaten finden sich in der Datei *B.6-2.corrspearman_1990-2022_alpha0.05_ts0.3 (1).csv*, die zusammen mit dem Bericht veröffentlicht wird.

B.7 Korrelationskoeffizienten inkl. P-Werte (3. Korrelationsanalyse, Ariadne Transformation Tracker)

Die Ergebnisdaten finden sich in der Datei *B.7-corrspearman_1990-2022_alpha0.05_ts0.3 (1).csv*, die zusammen mit dem Bericht veröffentlicht wird.

B.8 Korrelationskoeffizienten inkl. P-Werte (1. Korrelationsanalyse, Net Zero)

Die Ergebnisdaten finden sich in der Datei *B.8-corrspearman_1990-2022_alpha0.05_ts0.3 (1).csv*, die zusammen mit dem Bericht veröffentlicht wird.

B.9 Korrelationskoeffizienten inkl. P-Werte (2. Korrelationsanalyse, Net Zero)

Die Ergebnisdaten finden sich in der Datei *B.9-corrspearman_1990-2022_alpha0.05_ts0.3 (1).csv*, die zusammen mit dem Bericht veröffentlicht wird.

C Sonstige Anhänge

C.1 Fragebogen (Ausschnitt)

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen separat für jedes Indikatorenpaar.

Zu beurteilendes Indikatorenpaar:

- Indikator A – ...
- Indikator B – ...

Betrachtungszeitraum: ... bis ...

Ermittelter Zusammenhang: [Indiz für starke Synergie](#)

Wirkungsrichtung: Indikator A → Indikator B

Frage 1

Ist der ermittelte Zusammenhang in diesem Betrachtungszeitraum und für diese Wirkungsrichtung aus Ihrer Sicht plausibel?

- ☐ ja
- ☐ ja, aber ich würde einen schwächeren Zusammenhang erwarten
- ☐ ja, aber ich würde einen stärkeren Zusammenhang erwarten
- ☐ nein, ich würde einen gegenteiligen Zusammenhang erwarten
- ☐ nein, aus meiner Sicht besteht kein kausaler Zusammenhang

Wirkungsrichtung: Indikator B → Indikator A

Frage 2

Ist der ermittelte Zusammenhang in diesem Betrachtungszeitraum und für diese Wirkungsrichtung aus Ihrer Sicht plausibel?

- ☐ ja
- ☐ ja, aber ich würde einen schwächeren Zusammenhang erwarten
- ☐ ja, aber ich würde einen stärkeren Zusammenhang erwarten
- ☐ nein, ich würde einen gegenteiligen Zusammenhang erwarten
- ☐ nein, aus meiner Sicht besteht kein kausaler Zusammenhang

Sie wollen uns noch etwas mit auf den Weg geben? Hier ist Platz für Ihre Anmerkungen: