

Fachbereich Wirtschaftswissenschaft

DILEMMA ODER SCHEINDILEMMA?

**Lehren aus der Gegenüberstellung von ressourcenorientiertem
Nachhaltigkeitsmanagement und der *Theorie zum Lösen von
Erfindungsaufgaben (TRIZ)***

Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

durch den

Promotionsausschuss Dr. rer. pol.

der Universität Bremen

vorgelegt von

JUSTUS SCHOLLMAYER

BREMEN, 03.04.2023

GUTACHTER:

PROF. DR. GEORG MÜLLER-CHRIST (ERSTGUTACHTER)

PROF. DR. MARTIN G. MÖHRLE (ZWEITGUTACHTER)

VERTEIDIGUNG:

BREMEN, 06.09.2023

Offizielle Bestätigung vom Promotionsausschuss Dr. rer. pol.:

BREMEN, 19.10.2023

Dilemma oder Scheindilemma?

Lehren aus der Gegenüberstellung von ressourcenorientiertem
Nachhaltigkeitsmanagement und der *Theorie zum Lösen von
Erfindungsaufgaben (TRIZ)*

Justus Schollmeyer: Synopse meiner kumulativen Dissertation

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Danksagungen.....	3
Änderungen im Vergleich zur Version der Verteidigung.....	5
1. Einleitung.....	6
1.1 Vorgeschichte.....	7
1.2 Entwicklung der Grundidee.....	8
1.3 Ziele der Promotion.....	10
1.3.1 Primärziel.....	10
1.3.2 Sekundärziel.....	11
1.4 Aufbau der Synopse.....	12
2. Nachhaltigkeitsmanagement.....	15
2.1 Ansätze von Nachhaltigkeitsmanagement.....	15
2.2 Widerspruchsmanagement nach Müller-Christ.....	16
2.3 Der Widerspruchsbegriff bei Müller-Christ.....	18
3. Widerspruch oder Scheinwiderspruch?.....	21
3.1 Ansätze Widerspruchsorientierten Problemlösens.....	21
3.2 Exkurs: Trade-offs in Unternehmen aus Sicht der Angestellten.....	24
3.3 Epistemologische Herausforderung.....	28
3.4 Wege zum Falsifizieren von Dilemmas.....	28
3.4.1 Haltbarkeits-Kritik.....	29
3.4.2 Aktive Kritik.....	30
4. Test auf Scheindilemmatizität.....	32
4.1 Kurzzusammenfassung der Denkbewegung im verallgemeinerten Algorithmus zum Lösen von Erfindungsaufgaben.....	32
4.2 Ausführliches Anwendungs-Beispiel.....	33
4.2.1 Das Trolley-Dilemma.....	33
4.2.2 Ergebnisse der kulturübergreifenden Umfrage.....	35
4.2.3 Einfache Haltbarkeits-Kritik zum Test auf Scheindilemmatizität.....	36
4.2.4 Aktive Kritik zum Test auf Scheindilemmatizität.....	38
Schritt 1 — Verstehen des Systemkonflikts.....	38
Schritt 2 — Formulierung der Aufgabe.....	39
Schritt 3 — Suche nach möglichen Ressourcen, die dabei helfen könnten, die Aufgabe zu lösen.....	40
Schritt 4 — Entwicklung von Lösungsansätzen.....	41
Schritt 5 — Was, wenn keine Lösung gefunden werden kann?.....	44
4.2.5 Umfrage: Trolley-Dilemma mit Entgleisungs-Option.....	44
4.3 Ergänzungen zum Widerspruchsmanagement.....	46
5. Ressourcenknappheit und Nachhaltigkeit.....	49

5.1 Ressourcen-Typen aus thermodynamischer Sicht.....	49
5.2 Nachhaltiger Ressourcenverbrauch.....	55
5.3 Unnachhaltiger Energieverbrauch der Menschheit.....	56
5.4 Nachhaltigkeit der Ressourcennutzung in TRIZ ist nicht garantiert.....	58
6. Fazit.....	63
6.1 Ergebnisse.....	63
6.1 Kritische Reflexion und künftige Forschung.....	64
7. Appendix.....	67
7.1 Zusammenfassung der drei Artikel.....	67
7.1.1 Artikel 1: Verallgemeinerung des Algorithmus zum Lösen von Erfindungsaufgaben.....	67
7.1.2 Artikel 2: Ableitung der „Gesetze“ der Technikentwicklung.....	70
7.1.3 Artikel 3: NLP zur Identifizierung von Trade-offs in Unternehmensbewertungen.....	72
Bibliographie.....	75

Danksagungen

Dass diese Arbeit zur heutigen Form gefunden hat, verdanke ich vielen wunderbaren Menschen, die mich in unterschiedlichen Phasen dieser Arbeit unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt **Georg Müller-Christ**. Ohne seinen Mut, diese zwischen so unterschiedlichen Disziplinen wie Betriebswirtschaftslehre, Philosophie und Ingenieurwesen angesiedelte Arbeit anzunehmen und zu betreuen, würde diese Dissertation heute nicht existieren. Großer Dank gilt auch meiner Partnerin, **Isabel Estevez**, die nicht nur im buchstäblichen Sinne viele meiner Arbeiten korrigiert, sondern auch in Diskussionen zur Schärfung der Ideen beigetragen hat (Unschärfen und Fehler sind natürlich meine). Ebenso danke ich meinen Eltern, meinen Großeltern, meinem Bruder **Jonas** und meiner Schwester **Mirjam** für ihre Unterstützung.

Ganz besonderer Dank gilt auch **Axel Popp**, über den ich 2015 allererst von *Erfinderschulen* und der *Theorie zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (kurz: TRIZ) erfahren habe und der mich mit den ersten Texten und Informationen über diese faszinierende Theorie versorgt hat. Mit Nachdruck möchte ich auch **Dietmar Zobel** danken, der mir immer mit Rat, Tat und Literatur zur Seite stand und dessen Bücher ich mit großem Gewinn gelesen habe. Das Gleiche gilt für **Rainer Thiel**, von dessen gemeinsamen Arbeiten mit Hans-Jochen Rindfleisch ich viel gelernt habe. Ihm, Rainer, ist diese Arbeit gewidmet.

Mein besonderer Dank gilt auch **Hans-Gert Gräbe** für die Gesprächsrunden und Veranstaltungen, die er in und außerhalb der Uni Leipzig organisiert hat, **Olaf Weber** für die vielen inspirierenden Gespräche, Impulse und Experimente, **Kartik Ariyur** für den mittlerweile weit über 1000-seitigen Email-Austausch, der mein Denken (und damit auch diese Arbeit) stark geprägt hat, **Christoph Göttert** für die tolle und lehrreiche Zeit, in der wir als Berater TRIZ-Methoden auf Ingenieur- und Nachhaltigkeitsprobleme angewendet haben, **Marco Meyer** für die Ermunterungen, diese Arbeit fertigzustellen und für die Gespräche und Hinweise insbesondere im Zusammenhang mit dem Glassdoor-Artikel, **Isak Bukhman** für seine Unterstützung und unermüdliche Leidenschaft, die Arbeit Genrich Altschullers am Leben zu halten, **Viesturs Tamuzs** für die intensiven Diskussionen, die zu zwei Artikeln geführt haben, **Sabine Lautenschläger**, über deren Arbeit ich auf Georg Müller-Christ gestoßen bin, **Jens van't Klooster**, mit dem ich seit 2007 so ziemlich jede meiner Überlegungen diskutiert habe und dessen Einfluss ich daher nicht hoch genug schätzen kann, **Will Bateman** und **Benjamin**

Folit-Weinberg für die vielen inspirierenden Gespräche und Impulse, **Christina Wildgrube** für die schöne finale Zeit in der Albertina in Leipzig, allen **Teilnehmerinnen und Teilnehmern am Bremer Promovierenden-Kolloquium** sowie allen anonymen **Peer-Reviewerinnen und -Reviewern** der **ETRIA** für ihre Hinweise.

Änderungen im Vergleich zur Version der Verteidigung

Im Vergleich zu der Datei, die im April 2023 eingereicht wurde und die die Grundlage des Kolloquiums am 6.9.2023 bildete, habe ich folgende Änderungen vorgenommen:

1. Es wurden Danksagungen hinzugefügt.
2. Die Einleitung wurde stilistisch leicht verändert.
3. Hinweise auf die mittlerweile veröffentlichten Artikel, die aus der Synopse hervorgegangen sind, wurden der Einleitung, dem Fazit und der Bibliographie hinzugefügt.
4. Es wurden leichte Änderungen im Fazit vorgenommen (bezogen auf die Ankündigungen dessen, was in den mittlerweile veröffentlichten Artikeln behandelt wird).
5. Ein Rechtschreibfehler im Fazit wurde entfernt.

1. Einleitung

Bei der hier vorliegenden Arbeit handelt es sich um die Synopse meiner kumulativen Dissertation, die den Zusammenhang zwischen drei Artikeln darstellt, die in den Jahren 2018, 2019 und 2022 SCOPUS-gelistet publiziert wurden. Indem weitere Schlussfolgerungen, Anwendungen und Grenzen der in den drei Artikeln entwickelten Verfahren vorgestellt werden, geht die Synopse als eigenständige Arbeit jedoch über bloßes Zusammenfassen hinaus. Die wesentlich neuen Teile der Synopse (Kapitel 3.4 bis einschließlich 4 und Kapitel 5) sind seit dem Einreichen der Dissertation im April 2023 mittlerweile als eigenständige Arbeiten veröffentlicht worden.

- Artikel 1 (Schollmeyer/Tamuzs, 2018) zeigt, wie Widersprüche mit Hilfe des verallgemeinerten Algorithmus zum Lösen von Erfindungsaufgaben (Altshuller, 1985) auf potentielle Scheinwidersprüchlichkeit geprüft werden können. Dieser Artikel dient als Grundlage für die Entwicklung eines qualitativen Tests auf Scheindilemmatizität, der in Kapitel 4 dieser Synopse anhand des *Trolley-* bzw. *Wagenlenker-Dilemmas* vorgestellt wird.
- Artikel 2 (Schollmeyer/Tamuzs, 2019) zeigt, dass die Gesetzmäßigkeiten der Technikentwicklung nach Altschuller (1984) mit Hilfe eines deduktiven Verfahrens abgeleitet und entsprechend korrigiert werden können. Das gewonnene Verfahren wird in Kapitel 5 dieser Synopse auf die Ressourcenabhängigkeit technischer Systeme angewendet, wodurch Altschullers Sammlung von Gesetzmäßigkeiten um Regeln zum nachhaltigen Umgang mit Ressourcen erweitert wird.
- Artikel 3 (Schollmeyer, 2022) entwickelt ein Verfahren, um mit Hilfe von *Natural Language Processing* Unternehmensbewertungen (die von Angestellten auf Glassdoor verfasst wurden) so zu analysieren, dass sektorspezifische Trade-offs – samt quantitativem Test auf Scheindilemmatizität – identifiziert werden können. Die Schlüsse, die aus diesem Verfahren gezogen werden können, werden in Abschnitt 3.2 dieser Synopse vorgestellt.
- Artikel 4 (Schollmeyer, 2023c) entwickelt den in Artikel 1 angelegten Test auf Scheindilemmatizität (siehe Kapitel 4).

- Artikel 5 (Schollmeyer/Ariyur, 2023) greift auf den in Artikel 2 entwickelten Ansatz zurück und führt die *Gesetzmäßigkeit der zuverlässigen Ressourcenversorgung* ein (siehe Kapitel 5).

1.1 Vorgeschichte

Anfang 2015 erfuhr ich durch eine Reihe glücklicher Zufälle davon, dass es in der ehemaligen DDR *Erfinderschulen* gab (Rindfleisch/Thiel, 1994), die sich der *Theorie zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (kurz *TRIZ*)¹ bedienten, um kreatives Problemlösen lehrbar zu machen.² Die Theorie war auf verschlungenen Wegen aus der damaligen Sowjetunion in den deutschsprachigen Raum gelangt (siehe z.B. Mareis, 2015; Schollmeyer, 2016b; 2018) und wurde vor einigen Jahren in Form der VDI-Richtlinie 4521 normiert (*Value Management und Wertanalyse*, 2018; 2020; 2021).

Als ich vor acht Jahren mit *TRIZ* in Berührung kam, hatte ich gerade mein Philosophiestudium abgeschlossen. Während des Studiums habe ich mich vor allem mit Fragen der Logik beschäftigt. Dazu gehörten auch die Logik-Debatten des Deutschen Idealismus und die Rolle des Widerspruchs bei Hegel (siehe Schollmeyer 2016a; 2017). Als Axel Popp mir 2015 von *TRIZ* und der in dieser Theorie zentralen Rolle von Widersprüchen erzählte, wurde ich hellhörig. Die Lektüre von Rindfleisch/Thiel (1989), Koltze/Souchkov (2010) und Altschuller (1984) machten deutlich, dass es sich bei der *TRIZ* in der Tat um eine besondere Anwendung der dialektischen Logik Hegels in der Technik handelte. Trotz langjähriger Beschäftigung mit dem Thema hatte ich während des Studiums überraschenderweise nichts von dieser Theorie gehört.³

¹ *TRIZ* ist das Akronym für теория решения изобретательских задач (*teoriya resheniya izobretatelskikh zadatch*) und kann wörtlich als Theorie zum Lösen von Erfindungsaufgaben übersetzt werden.

² Siehe z.B. Altschuller, 1973; Herrlich/Zadek, 1982; Altschuller/Seljuzki, 1983; Altschuller, 1984; Zobel, 1985; Rindfleisch/Thiel, 1986; 1989).

³ Während des Kalten Kriegs im Ostblock entstanden, dürfte die Abschottung zwischen Ost und West eine wesentliche Rolle dabei gespielt haben, dass die *TRIZ* trotz existierender Übersetzung ins Englische (Altschuller, 1984) keinen Eingang in westliche Diskurse zur Dialektik fand. Hinzu kommt, dass die Beschäftigung mit Dialektik vor allem in den Geisteswissenschaften und nicht in der Technik stattfindet (Ausnahmen bestätigen die Regel, wie die VDI-Richtlinie 4521 zeigt). Außerhalb der Technikgeschichte und Technikfolgenabschätzung spielt Technologie in den Geisteswissenschaften allerdings selten eine Rolle. In den STEM-Fächern wird wiederum eine stärkere Fundierung in der Mathematik erwartet. Die qualitative Vorgehensweise der *TRIZ* wirkt hingegen teils idiosynkratisch und es bedarf der Übersetzungsarbeit, um sie auf die Diskurse der mathematischen Optimierungstheorie zu beziehen (siehe z.B. Ariyur, 2011; 2018). Dass die Methode ungewöhnlich voraussetzungsreich, theoretisch und mitunter rigide erscheint, ist ein weiterer ihrer Rezeption im Wege stehender Faktor (siehe z.B. die Umfrage von Ilevbare, 2013). Auch Vorurteile gegenüber einer Erfindungstheorie, die ausgerechnet aus dem Block stammt, in dem das Innovationsrennen verloren gegangen war, dürften die Rezeption erschwert haben.

Über die besondere Rolle, die Widersprüche in der TRIZ einnehmen, stieß ich schließlich auf die Arbeiten von Prof. Georg Müller-Christ zu nachhaltigem Management. Müller-Christ (2014) führt Dilemmas, die sich Unternehmen im Nachhaltigkeitskontext stellen, auf die widersprüchlichen Management-Rationalitäten von *Effizienz* und *Nachhaltigkeit* (im Sinne der Wiedererneuerung von Ressourcen) zurück. Bei näherer Betrachtung wurde klar, dass Müller-Christ's *Theorie zum Umgang mit Widersprüchen im Management* und die *Theorie zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (TRIZ) einander wechselseitig bereichern würden. Im Jahr 2017 begann daraufhin mein Austausch mit Prof. Georg Müller-Christ. Seitdem nehme ich regelmäßig an seinen Kolloquien teil – seit Januar 2019 offiziell als Promovierender.

1.2 Entwicklung der Grundidee

In der TRIZ werden Widersprüche als Hinweise auf innovative Entwicklungspotenziale verstanden. Die Essenz erfinderischer Tätigkeit bzw. kreativen Problemlösens besteht demnach in der Überwindung oder Auflösung von Widersprüchen (Altschuller, 1984). Zurecht stand Müller-Christ diesem Begriffsgebrauch von Anfang an skeptisch gegenüber. Widersprüche, die sich auflösen lassen, sind keine echten Widersprüche, sondern nur Scheinwidersprüche (Müller-Christ/Weßling, 2007). Aus dieser Kritik ergibt sich, dass die Methoden, die in der TRIZ zur Überwindung von Widersprüchen entwickelt wurden, eigentlich als Methoden zur Überprüfung auf Echtheit von Widersprüchen bzw. als Methoden zur Überprüfung auf Scheinwidersprüchlichkeit bezeichnet werden sollten. So gesehen findet ein kreativer Durchbruch im Sinne der TRIZ immer dann statt, wenn ein vermeintlicher Widerspruch, der vormals als echter Widerspruch gehandelt worden war, als Scheinwiderspruch erkannt wird.

Auf die entscheidungslogische Ebene gehoben ist damit die erkenntnistheoretische Frage verbunden: *Wie lässt sich wissen, ob ein vermeintliches Dilemma tatsächlich oder nur dem Anschein nach ein Dilemma ist?* Diese Frage betrifft auch Müller-Christ's (2014) Empfehlungen zum Umgang mit Widersprüchen in dilemmatischen Entscheidungssituationen. Denn bevor es in einer solchen Situation zu einer bewussten Trade-off-Entscheidung kommt, sollte Gewissheit darüber bestehen, dass es sich tatsächlich um ein Dilemma und nicht doch nur um ein Scheindilemma handelt.

Der entscheidende Beitrag der vorliegenden Dissertation besteht dementsprechend in der Entwicklung einer Methode, um mutmaßliche Dilemmas auf Echtheit zu prüfen (siehe Kapitel 3 und 4). Die Methode setzt an der Logik dilemmatischer Schlüsse an. Sie kann somit allgemein in dilemmatischen Entscheidungssituationen zum Einsatz kommen und direkt ins Nachhaltigkeitsmanagement nach Müller-Christ (2011, 2014) aufgenommen werden. Die konkrete Schrittfolge basiert größtenteils auf einer Verallgemeinerung des *Algorithmus zum erfinderischen Problemlösen* (ARIZ-85C) – dem Herzstück der TRIZ. In Schollmeyer/Tamuzs (2018) wird der ursprünglich für den Ingenieur-Kontext entwickelte Algorithmus so weit verallgemeinert, dass er sich generell auf Systeme überhaupt anwenden lässt.

Umgekehrt kann eines der zentralen Werkzeuge der TRIZ – die Trends der Technikentwicklung (die von Altschuller als *Gesetze der Entwicklung technischer Systeme* bezeichnet werden) – um die für Müller-Christ's Ansatz zentrale Reflektion auf notwendige Ressourcen-Abhängigkeiten erweitert werden. In Schollmeyer/Tamuzs (2019) wurde gezeigt, dass die Methode der TRIZ, Gesetzmäßigkeiten der Technikentwicklung durch Patentanalyse zu generieren, zu Ungereimtheiten führt. Statt induktiv auf Patentanalysen zu setzen, lassen sich die gleichen Gesetzmäßigkeiten deduktiv aus einer Analyse eines allgemeinen Begriffs instrumenteller Systeme im Kontext von Knappheit und Wettbewerb generieren. Dieser deduktive Ansatz hat zweierlei Vorteile: Zum einen können die jeweiligen Gültigkeitsbedingungen der Gesetzmäßigkeiten explizit gemacht werden (siehe Schollmeyer/Tamuzs, 2019). Zum anderen können Gesetzmäßigkeiten identifiziert werden, die als Trends erst in Zeiträumen, die weit über den im Patent-Fundus abgedeckten Zeitraum hinausreichen, hervortreten können (siehe Kapitel 5). Der Methode aus Schollmeyer/Tamuzs (2019) folgend, wird in Kapitel 5 eine weitere Gesetzmäßigkeit eingeführt: die Gesetzmäßigkeit der zuverlässigen Ressourcenversorgung. In den sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen besteht der zweite Beitrag für das Nachhaltigkeitsmanagement.

Während der erste Beitrag dieser Arbeit eine qualitative Methode an die Hand gibt, um ein Dilemma von einem Scheindilemma unterscheiden zu können, besteht der dritte Beitrag darin, quantitativ Trade-offs in spezifischen Wirtschaftssektoren mit Hilfe von *Natural Language Processing* anhand von qualitativen Unternehmensbewertungen auf Glassdoor.com zu identifizieren. Diese neuartige Methode wurde erstmals in Schollmeyer (2022) entwickelt und auf 439599 Bewertungen, die von Angestellten in US-Finanzunternehmen zwischen 2008 und

2020 verfasst wurden, angewendet. Sie basiert auf einem statistischen Verfahren, um Trade-offs anhand von Text zu identifizieren und auf Echtheit zu prüfen (siehe Schollmeyer 2022, und Abschnitt 3.2). Dieser Echtheits-Test ist jedoch kein Ersatz für den Test, der im ersten Beitrag dieser Dissertation entwickelt wurde. Die in Schollmeyer (2022) entwickelte Methode ist auf die Identifizierung sektor-spezifischer Trade-offs anhand von großen Textsammlungen, in denen Angestellte ihre Unternehmen bewerten, ausgelegt. Derartige Trade-offs können im Management zu dilemmatischen Entscheidungssituationen führen. Bevor sie vom Management als echte Dilemmas anerkannt werden, sollte deren Echtheit jedoch mit Hilfe der qualitativen in Schollmeyer/Tamuzs (2018) und Kapitel 4 vorgestellten Methode geprüft werden.

1.3 Ziele der Promotion

1.3.1 Primärziel

Mit dieser Arbeit möchte ich die *Theorie zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (kurz: TRIZ⁴ – Altshuller, 1984) für die Methoden zum Umgang mit Widersprüchen im Nachhaltigkeitsmanagement nach Müller-Christ (2014) nutzbar machen. Dabei gehe ich von der Grundüberlegung aus, dass *konträre* und *kontradiktorische* Widersprüche nur dann als solche gelten können, wenn sie hinreichend auf Scheinwidersprüchlichkeit geprüft worden sind. Das Gleiche gilt für die sich aus derartigen Widersprüchen ergebenden Dilemmas. Sie können nur dann als echte Dilemmas gelten, wenn sie den Test auf Scheindilemmatizität überstehen.

Ein Test auf Scheindilemmatizität existiert bisher weder in der Managementlehre noch in der Logik, denn er bedürfte einer Formalisierung erfinderischen Denkens (siehe Tomić, 2013). Die TRIZ wiederum versteht die Überführung von Widersprüchen in Scheinwidersprüche als die Essenz erfinderischen Denkens, da dadurch Möglichkeiten eröffnet werden können, die vorher als undenkbar erschienen. Sie nutzt diese Überlegung für die Analyse entsprechender Transformationen in der Technik. Es liegt daher nahe, sie auf der Suche nach einem solchen Test zum Ausgangspunkt zu nehmen.

Das Primärziel dieser Arbeit ist somit die Entwicklung eines Tests auf Scheindilemmatizität und dessen Eingliederung in das ressourcenorientierte Nachhaltigkeitsmanagement nach Müller-Christ (2014). Die Grundlage zur Erreichung des

⁴ TRIZ ist ein Akronym für „теории решения изобретательских задач“ (*Theorie des Lösens von Erfindungsaufgaben*).

Primärziels wurde in Schollmeyer/Tamuzs (2018) mit der Verallgemeinerung des *Algorithmus zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (kurz: *ARIZ-85C* – Altshuller, 1985)⁵ gelegt. Die Überführung in einen qualitativen Test auf Scheindilemmatizität erfolgt in Kapitel 4. Dort wird die Schrittfolge anhand des berühmten *Trolley-* bzw. *Wagenlenker-Dilemmas* im Detail nachvollzogen. Verblüffenderweise erweist sich dieses Dilemma, das als Paradebeispiel für moralisches Handeln im Kontext von Künstlicher Intelligenz fungiert (Awad et al., 2018; Wolkenstein, 2018; Gramer, 2019), als Scheindilemma.

Neben dem weitestgehend in Schollmeyer/Tamuzs (2018) entwickelten qualitativen Test auf Scheindilemmatizität wird in Schollmeyer (2022) ein quantitativer Test entwickelt. Dieser Test ist eine Teilfunktion in einem automatisierten Verfahren zur Trade-off-Erkennung anhand von Texten, die von Angestellten zur Beurteilung ihrer Unternehmen auf Glassdoor verfasst wurden. Das in Schollmeyer (2022) entwickelte Verfahren wird in Abschnitt 3.2 vorgestellt. Als statistisches Verfahren kann es nur auf existierende Daten zurückgreifen. Mögliche noch nicht realisierte zukünftige Lösungen sind also nicht enthalten. Daher kann dieses Verfahren nicht ausschließen, dass sich als echt identifizierte Trade-offs mit Hilfe des qualitativen Tests eventuell doch als unecht entpuppen. Der quantitative Test sollte daher nicht als finaler Test dilemmatischer Echtheit verwendet werden.

1.3.2 Sekundärziel

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit besteht darin, Erkenntnisse des Nachhaltigkeitsmanagements auf Methoden der TRIZ zu beziehen. Die Grundlage hierfür wurde in Schollmeyer/Tamuzs (2019) gelegt, indem gezeigt wurde, dass die Gesetzmäßigkeiten der Technikentwicklung (Altshuller, 1984) aus dem Begriff instrumenteller Systeme im Kontext von Knappheit und Wettbewerb deduktiv abgeleitet werden können (statt induktiv aus Patent-Studien erschlossen werden zu müssen). In Kapitel 5 wird die in Schollmeyer/Tamuzs (2019) entwickelte Methode zur Identifizierung von Gesetzmäßigkeiten der Technikentwicklung auf die Notwendigkeit der Verfügbarkeit systemrelevanter Ressourcen angewendet. Auf diese Weise können Vorgaben aus einer weiteren Gesetzmäßigkeit geschlussfolgert werden. Es stellt sich heraus, dass die Entwicklung biologischer Systeme diesen Vorgaben gefolgt ist.

⁵ *ARIZ* ist das Akronym für „алгоритма решения изобретательских задач“ (*Algorithmus zum Lösen von Erfindungsaufgaben*).

1.4 Aufbau der Synopse

Um die gesteckten Ziele zu erreichen, wird in Abschnitt 2.1 zunächst die Landschaft des Nachhaltigkeitsmanagements beschrieben. Auf diese Weise können der Ansatz des Widerspruchsmanagements (2.2) nach Müller-Christ (2014) im Kontext des Nachhaltigkeitsmanagements verortet und grundlegende Begriffe (2.3) geklärt werden. Das Kapitel schließt mit der Einführung des Begriffs des *Scheinwiderspruchs* und wirft die methodologische Frage auf, wie echte Widersprüche von Scheinwidersprüchen zu unterscheiden seien.

Auf der Suche nach einer Antwort auf diese Schwierigkeit führt der nächste Abschnitt (3.1) wichtige Grundbegriffe widerspruchsoientierter Problemlösemethoden am Beispiel der TRIZ ein. Es wird gezeigt, dass es sich dabei der Sache nach um die gleichen Unterscheidungen wie in Müller-Christ's Widerspruchsmanagement (2.2) handelt, weshalb beide Ansätze gut aufeinander bezogen werden können. Das, was in Müller-Christ's Widerspruchsmanagement als *Scheinwiderspruch* erscheint, wird in der TRIZ als *starke Lösung* bezeichnet. Eine starke Lösung besteht dann, wenn ein vermeintlicher Widerspruch in einen Scheinwiderspruch überführt werden konnte. Daraus wird gefolgert, dass widerspruchsoorientierte Problemlösemethoden im Sinne der TRIZ die Möglichkeit bieten, einen Test zu entwickeln, um zu prüfen, ob es sich bei einem Widerspruch bzw. dem daraus folgenden Entscheidungsdilemma um einen echten Widerspruch oder eventuell doch nur um einen Scheinwiderspruch mit nicht-dilemmatischer Lösung handelt.

Bevor dieser Test auf Scheindilemmatizität vorgestellt wird, kommt es in Abschnitt 3.2 zur Einführung einer auf *Natural Language Processing* basierenden Methode zur automatisierten Trade-off-Erkennung. Über diese neu entwickelte Methode wird anhand von Unternehmensbewertungen, die in Textform von Angestellten auf Glassdoor verfasst wurden, der in der Literatur bekannte Trade-off zwischen Work-Life-Balance und Aufstiegsmöglichkeiten identifiziert und als echt nachgewiesen. Ebenso wird dafür argumentiert, dass es nicht möglich ist, mit Hilfe eines solchen statistischen Verfahrens auszuschließen, dass es sich nicht vielleicht doch – zumindest der Möglichkeit nach – um einen Schein-Trade-off (bzw. um einen

Scheinwiderspruch) handeln könnte. Daraufhin wird die epistemologische Herausforderung eines Tests auf Scheindilemmatizität anhand der entsprechenden Literatur entwickelt (3.3) mit dem Resultat, dass ein solcher Test deshalb nicht vorliegt, weil er mit der Formalisierung erfinderischen Denkens einhergehen müsste (3.4).

Mit dieser Diagnose aus Abschnitt 3.4 wird der Grundstein für das vierte Kapitel gelegt, in dem eine verallgemeinerte Form des *Algorithmus zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (kurz: ARIZ – Altshuller, 1985) als Test auf Scheindilemmatizität eingeführt wird. Zur Demonstration dient das berühmte *Trolley-* bzw. *Wagenlenker-Dilemma* (4.2.1 und 4.2.2). Nachdem zunächst offensichtliche Wege zur Lösung des Dilemmas aufgezeigt werden, die keiner besonderen Denkmethodik bedürfen (4.2.3), werden die Anforderungen an die Problemstellung so zugespitzt, dass es zunächst keine offensichtliche Lösung zu geben scheint. Mit Hilfe des ARIZ-basierten Tests auf Scheindilemmatizität wird dann sukzessive eine Lösung erarbeitet. Dadurch kann gezeigt werden, dass es sich bei diesem für die Ethik so bedeutenden Dilemma in der Tat um ein Scheindilemma handelt. Ausgehend von einer der umfangreichsten empirischen Studien zum Trolley-Dilemma werden anschließend die Ergebnisse einer eigens durchgeführten Umfrage vorgestellt, in der den Befragten neben den üblichen dilemmatischen Entscheidungsoptionen zusätzlich die hier entwickelte Lösungsoption zur Auswahl gestellt wurde. Erwartungsgemäß wählte die deutliche Mehrheit der Befragten den entwickelten Ausweg als die moralisch richtige Entscheidung. Im darauffolgenden Abschnitt (4.3) wird daher vorgeschlagen, den Prozess zur Entscheidungsfindung in dilemmatischen Entscheidungssituationen in Müller-Christ's Widerspruchsmanagement um diesen Test auf Scheindilemmatizität zu ergänzen.

Im fünften Kapitel dieser Synopse wird schließlich ein blinder Fleck in der dem ARIZ zugrundeliegenden *Theorie zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (kurz: TRIZ – Altschuller, 1984) aus Sicht des Nachhaltigkeitsmanagements beleuchtet. Auf der Suche nach den nötigen begrifflichen Grundlagen kommt es in Abschnitt 5.1 zur Unterscheidung von drei Ressourcen-Typen. Für jeden dieser Typen wird anschließend bestimmt, wie ein nachhaltiger Umgang damit aussehen würde (5.2), gefolgt von einem Blick auf den derzeitigen unnachhaltigen Energieverbrauch der Menschheit (5.3) und die entsprechenden Schlussfolgerungen für die Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung technischer Systeme nach Altschuller (1984) (5.4).

Die Synopse endet mit einem Fazit, in dem die Ergebnisse aufgelistet (6.1) und kritische Reflexionen auf die geleistete Arbeit angestellt werden (6.2). Im gleichen Zusammenhang werden auch künftige Forschungsmöglichkeiten diskutiert. Im Appendix der Arbeit (7) finden sich drei Kurzzusammenfassungen der dieser kumulativen Dissertation zugrunde liegenden Artikel.

2. Nachhaltigkeitsmanagement

2.1 Ansätze von Nachhaltigkeitsmanagement

Die Begriffe *Nachhaltigkeitsmanagement* und *Corporate Social Responsibility* werden im deutschsprachigen Raum weitestgehend synonym verwendet, sind jedoch aus verschiedenen historischen Zusammenhängen hervorgegangen (Hasenmüller, 2013). Versuche, die Themenkomplexe trennscharf zu fassen, führten zu konkurrierenden Definitionen und dementsprechender Verwirrung (ebd.). Dass Nachhaltigkeit und deren Management die drei Dimensionen *Ökonomie*, *Ökologie* und *Soziales* umfassen sollte, ist seit dem Brundtland-Bericht (World Commission on Environment and Development, 1987) allerdings unstrittig (Wühle, 2022). Knödler (2019) führt die Schwierigkeit, Nachhaltigkeitsmanagement zu definieren, auf unterschiedlich lange Untersuchungszeiträume zurück. Abhängig davon, welcher Zeithorizont gewählt wird, treten unterschiedliche Zielkonflikte hervor.

Müller-Christ/Giesenbauer (2019) teilt die Landschaft des Nachhaltigen Managements anhand der Denklogiken ein, mittels derer die zwei Kernprobleme – das Ressourcenproblem und das Problem unerwünschter Nebenwirkungen entlang der Dimensionen von Ökonomie, Ökologie und Sozialem – angegangen werden. Je nach Denklogik unterscheiden sie dabei vier Ansätze:

1. auf Compliance (Ordnung und Gesetzen) basiert (siehe z.B. Woitzik, 2017),
2. auf Ökoeffizienz und Wettbewerbsvorteil basiert (siehe z.B. Wilkens, 2009; Zeyen et al., 2011; Wühle, 2019; Effizienzstrategie bei Baumast, 2022),
3. auf Rücksicht und Überzeugung basiert (siehe z.B. Hauff, 2018; Konsistenz- und Suffizienzstrategie bei Baumast, 2022) und
4. auf systemischem Widerspruchsmanagement basiert (siehe Müller-Christ, 2011; 2014; Zapp, 2016; Albert et al., 2017; Pfennig, 2018; Müller-Christ/Sohn, 2019).

Müller-Christ/Giesenbauer (2019) weist darauf hin, dass es sich bei den meisten Formen von Nachhaltigkeitsmanagement um Mischformen handelt. Dementsprechend orientiert sich die obige von mir gewählte Zuordnung von Beispielen auch nur an der Schwerpunktsetzung des jeweiligen Ansatzes, ohne behaupten zu wollen, dass es keine Überschneidungen gäbe.

2.2 Widerspruchsmanagement nach Müller-Christ

Die zeitlich und inhaltlich am weitesten gefasste Perspektive auf Nachhaltigkeitsmanagement findet sich im systemischen Widerspruchsmanagement (Müller-Christ, 2014). Es ist intergenerational auf den vergleichbar weitesten Zeithorizont ausgerichtet und scheut nicht davor zurück, Zielkonflikte, die zu dilemmatischen Entscheidungssituationen führen, in ihrer Widersprüchlichkeit anzuerkennen. Dilemmas dieser Art gehen laut Müller-Christ (2007, 2014) primär auf die widersprüchlichen Management-Rationalitäten von *Effizienz* und *Nachhaltigkeit* zurück: Um das Verhältnis von Nutzen zu Kosten zu optimieren, ist die Logik der Effizienz auf Kostenreduzierung aus. Dem widersprechend verursacht die Rückerneuerung von Ressourcen zusätzliche Kosten (Müller-Christ, 2014). Da der Nutzen dieser vorausschauenden Ausgaben oft erst später (und möglicherweise nicht im eigenen Ressort) zu Buche schlägt, verschlechtert sich dadurch die kurzfristiger gedachte Kosten-Nutzen-Rechnung. Aus diesen gegenläufigen Tendenzen entspringt das Gros dilemmatischer Entscheidungssituationen im Kontext von Unternehmensmanagement.

Statt der Versuchung zu erliegen, derartige Spannungen zu ignorieren oder sie gekonnt wegzuabstrahieren, werden sowohl Maßnahmen zur Stärkung von Ambiguitäts- und Ambivalenz-Toleranz (Müller-Christ/Weßling, 2007) als auch Ansätze zum bewussten Umgang mit Widersprüchen empfohlen (Müller-Christ, 2007; Müller-Christ, 2014). Für den bewussten Umgang mit Widersprüchen stehen laut Müller-Christ (2014) drei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Sequentialisierung der widersprüchlichen Anforderungen nach dem Bild eines Pendulums,
- Segmentierung der widersprüchlichen Anforderungen nach dem Bild der goldenen Mitte,
- dynamisches Ausbalancieren der widersprüchlichen Anforderungen nach dem Bild des Seiltanzers.

Wird die Widersprüchlichkeit in einer dilemmatischen Entscheidungssituation nicht anerkannt, kommt es zu *Mixed Messaging*. Müller-Christ (2014) formuliert den Prozess der Entstehung und Manifestierung einer *Mixed Message* im Anschluss an Argyris (1988) in vier Stufen. Erst wird eine inkonsistente Botschaft entworfen und anschließend wird so gehandelt, als wäre die

Botschaft konsistent. Weiterhin wird dafür gesorgt, dass die Inkonsistenzen in Botschaft und Handeln selbst undiskutierbar werden. Die vollständige Abschirmung der Inkonsistenz erfolgt schließlich dadurch, dass auch die Tatsache der Undiskutierbarkeit undiskutierbar wird. Die Entscheidungs-Aporie, die in der anfänglichen dilemmatischen Entscheidungssituation zum Ausdruck kam, bleibt bestehen.

Eine Übersicht der Prozessschritte zum Umgang mit Widersprüchlichkeit nach Müller-Christ/Weßling (2007) ist in Fig. 1 dargestellt.

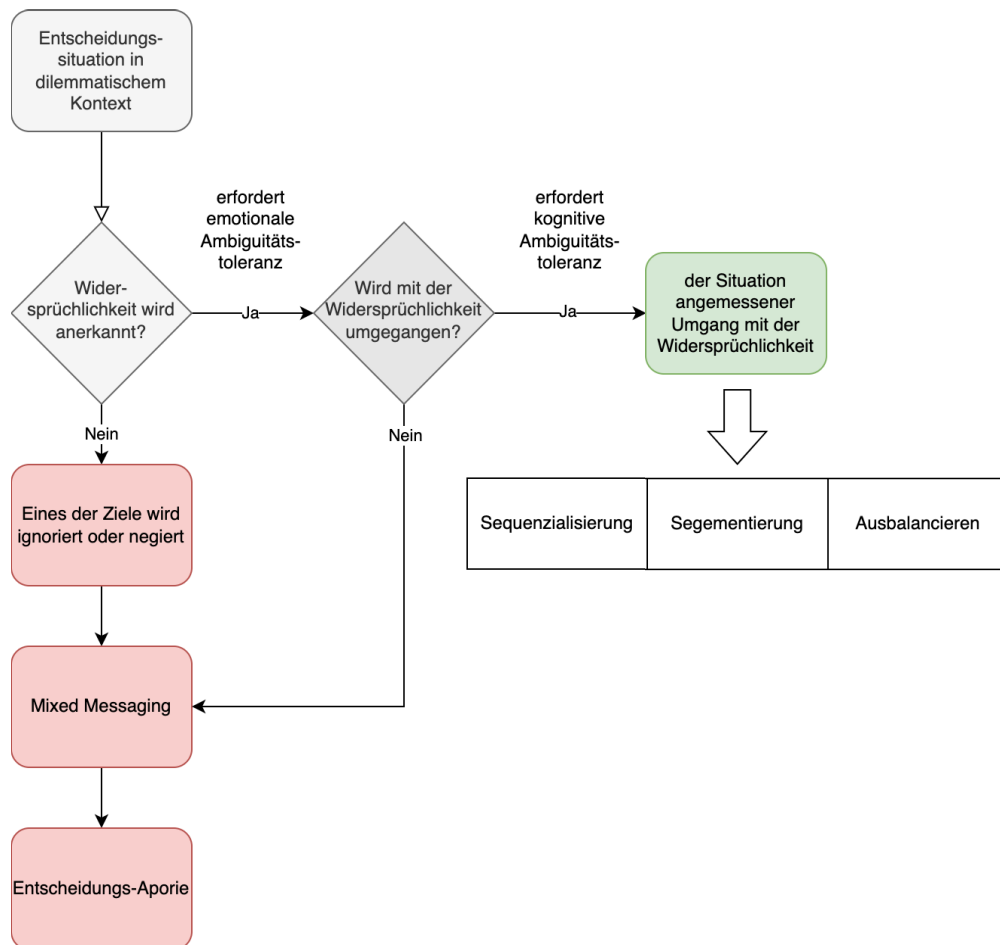


Fig. 1: Modifizierte, Sinn erhaltene Darstellung der Prozessschritte des Umgangs mit Widersprüchlichkeit in dilemmatischen Entscheidungssituationen. Quelle: Müller-Christ/Weßling, 2007 (modifiziert durch J.S.).

Auch wenn nicht in allen Ansätzen zum Nachhaltigkeitsmanagement explizit auf Widersprüche eingegangen wird, so ist das Thema doch mindestens implizit allgegenwärtig. So sprechen etwa Pichel et al. (2022) zwar nicht von Widersprüchen, Trade-offs oder Dilemmas, stattdessen aber von „hohe[r] Komplexität“ und „einem fortwährenden Abwägungsprozess“, der sich aus der Verpflichtung gegenüber den verschiedenartigen Dimensionen der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie, Soziales) ergibt. Abwägen bzw. Ausbalancieren steht dabei für den Versuch, ein Optimum zwischen einander widerstrebenden Tendenzen zu finden. Auch bei Eisele (2021) kommt Widerspruchsmanagement nicht explizit zum Ausdruck, allerdings ist davon die Rede, dass die ganzheitliche Integration einzelner Managementsysteme Redundanzen und Widersprüche reduzieren kann (Eisele, 2021, 14). Knödler (2019, 4) versteht „Nachhaltigkeitsfragen als mehrdimensionale konfliktäre Zielbeziehungen, die viele Akteure betreffen“, während Kurkin (2018) von negativen Interdependenzen bzw. Trade-offs zwischen Nachhaltigkeitszielen spricht. Auch Wilkens (2009) geht zwar nicht explizit auf Widersprüche ein, dafür ist aber von Zielkonflikten und deren Ausbalancierung die Rede. Lohre (2015) spricht von Spannungsfeldern und Denčić-Mihajlov/Stojanović-Blab (2018) verweisen auf unvermeidliche Trade-offs zwischen Investment in Nachhaltigkeit und Profitabilität. Die Simulationen von Algunaibet et al. (2019) wiederum zeigen, welche Konflikte zwischen Nachhaltigkeitsstrategien entstehen, wenn das 2°C Ziel erreicht werden soll und gleichzeitig planetare Grenzen mit einbezogen werden, die über atmosphärisches CO₂ hinausgehen.

2.3 Der Widerspruchsbegriff bei Müller-Christ

Insgesamt unterscheidet Müller-Christ (2007) vier Widerspruchs-Typen: den *Grundwiderspruch zwischen Idee und Realität*, *konträre Widersprüche*, *kontradiktorische Widersprüche* und *Scheinwidersprüche* (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Widerspruchs-Typen bei Müller-Christ (2007).

Widerspruchstypen	Müller-Christ, 2007
<p>1) Idee vs. Realität</p> <p><i>Eine Idee lässt sich in der Realität nicht zufriedenstellend verwirklichen.</i></p>	<p><i>„Zwischen Idee und Realität besteht in der Regel eine mehr oder weniger große Spannung, die nur dann beseitigt wäre, wenn die Realität gänzlich der Idee unterworfen werden könnte oder wenn die Idee selbst ein reines Produkt der Realität wäre“ (S. 142; Zitat aus Remer, 2004).</i></p>
<p>2) Konträrer Widerspruch</p> <p><i>Es ist nicht möglich, dass A und B gleichzeitig in System S realisiert werden.</i></p>	<p><i>„Durch bipolare Begriffspaare (Antonyme) werden zwei verschiedene Zustände beschrieben, die nicht zu einer Einheit zusammengeführt werden können (im Sinne von konträr)“ (S. 140).</i></p>
<p>3) Kontradiktorischer Widerspruch</p> <p><i>A kann nicht sowohl B als auch nicht-B sein.</i></p>	<p><i>„Der kontradiktorische [...] Widerspruch [...] umfasst einen Begriff und seine gleichzeitige Verneinung“ (S. 140).</i></p>
<p>4) Scheinwiderspruch</p> <p><i>Ein vermeintlicher Widerspruch erweist sich bei genauerer Untersuchung als Scheinwiderspruch.</i></p>	<p><i>„Der Scheinwiderspruch basiert auf einer versteckten Inkonsistenz in den Gedanken bzw. der Argumentation“ (S. 140).</i></p>

Als Beispiel für einen Scheinwiderspruch verweist Müller-Christ (2007, 140) darauf, dass *Kostenführerschaft* und *Differenzierung* für lange Zeit wegen technologischer Restriktionen als widersprüchliche Marktstrategien angesehen wurden. Mit der Überwindung dieser Restriktionen in der Massenproduktion konnte dieser vermeintliche Widerspruch jedoch als Scheinwiderspruch überführt werden (siehe dazu Fleck, 2013). Ein weiteres Beispiel für einen Widerspruch, der

durch technische Entwicklung in einen Scheinwiderspruch überführt wurde, findet sich bei Bosch et al. (2019). Demnach habe die Blockchain-Technologie zu einer Überwindung des Trade-offs zwischen Manipulationssicherheit und Übertragbarkeit in der Informationstechnik geführt.

Diese Beispiele verdeutlichen, dass Änderungen im Verständnis des ursprünglichen Systems das, was ein konträrer Widerspruch zu sein scheint, zu einem Scheinwiderspruch werden lassen können. Entscheidungslogische Probleme des Typs „Mit welchem Übel bzw. mit welchem Kompromiss soll ich mich abfinden?“ gehen einher mit dem epistemologischen Problem: „Wie kann ich wissen, dass meine Entscheidungsoptionen wirklich nur dilemmatischer Art sind und es sich hier nicht vielleicht doch nur um ein Scheindilemma handelt?“ Diese Schwierigkeit ist Methoden zum Umgang mit Widersprüchen und den sich daraus ergebenden Dilemmas immanent. Um den Ansatz von Müller-Christ (2007, 2011, 2014) um eine Methode zur Prüfung auf Scheinwidersprüchlichkeit bzw. Scheindilemmatizität zu erweitern, wende ich mich daher der Gattung widerspruchsoptionierter Problemlösemethoden in Form der TRIZ zu.

3. Widerspruch oder Scheinwiderspruch?

3.1 Ansätze Widerspruchorientierten Problemlösens

In Zweigen der Philosophie werden Widersprüche — die aus Denkweisen, Maximen oder Funktionsweisen resultieren — traditionell als *systemische* bzw. *dialektische* Widersprüche rekonstruiert (siehe z.B. Kant, 1998; Hegel, 2007 V, VI; Marx, 2019; Adorno, 2013; Stahl, 2013; Jaeggi, 2014; etc.). Nicht selten werden derartige Widersprüche sogar als die eigentlichen Triebfedern progressiver Transformationsprozesse angesehen (siehe z.B. Hegel, 2007 V, VI; Marx, 2019; Jaeggi, 2014). Aufbauend auf dieser Beobachtung entstanden in der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts Methoden kreativen Problemlösens, die sich erfindungsmethodisch dem Identifizieren und Auflösen systemischer Widersprüche in der Technik widmeten (z.B. Altshuller/Shapiro, 1956; Altschuller, 1973; 1984; 1985; Altschuller/Seljuzki, 1983; Altshuller, 1996; Rindfleisch/Thiel, 1986; 1989; Linde/Hill, 1993; Fey/Rivin, 2005; Cavallucci/Khomenko, 2007; Zobel, 2018; VDI 4521). „Auflösen von Widersprüchen“ meint hier die Entwicklung von Lösungen, von deren Standpunkt her konträre oder kontradiktorische Widersprüche in Scheinwidersprüche überführt werden. Die dafür vorauszusetzenden Systemveränderungen lassen sich im Fall technischer Systeme anhand ausgewählter Patente untersuchen.

Die *Theorie erfinderischen Problemlösens* (TRIZ) hat in begrifflicher Hinsicht eine vierteilige Stufung bei der Analyse und Auflösung von Widersprüchen entwickelt. Sie entspricht den in Tabelle 1 aufgeführten vier Widerspruchstypen bei Müller-Christ (2007), wie aus Tabelle 2 ersichtlich wird:

Tabelle 2: Widerspruchs-Typen in der TRIZ und bei Müller-Christ (2007).

	Müller-Christ	TRIZ
Stufe 1	Widerspruch zwischen Realität und Idee: siehe Tabelle 1.	Administrativer Widerspruch: Wir wollen etwas (Idee), aber wir wissen nicht, wie wir es unter den gegebenen Umständen in die Realität umsetzen sollen.
Stufe 2	Konträrer Widerspruch: siehe Tabelle 1.	Technischer Widerspruch/Systemwiderspruch: Wird Parameter A im System S verbessert, verschlechtert sich Parameter B. Es ist nicht möglich, beide Parameter zugleich in S zu maximieren.
Stufe 3	Kontradiktorischer Widerspruch: siehe Tabelle 1.	Physikalischer Widerspruch: Um den Anforderungen A_{1-n} genügen zu können, müsste Parameter P sowohl Z als auch Nicht-Z sein.
Stufe 4	Scheinwiderspruch: siehe Tabelle 1.	Starke Lösung: Eine starke Lösung ist die Lösung einer einen Systemwiderspruch enthaltenden Aufgabe. Die Aufgabe wird so gelöst, dass der Widerspruch verschwindet.

Ein Dilemma oder einen Widerspruch aufzulösen heißt letztlich nichts anderes, als ihn in einen Scheinwiderspruch zu überführen. Kann keine Auflösung des Widerspruchs erreicht werden, müssen Trade-offs in Kauf genommen werden. Sich für eine der Seiten in einem zwei oder

mehrteiligen Trade-off entscheiden zu müssen, erzeugt eine dilemmatische Entscheidungssituation. Da die TRIZ auf die *Auflösung von Widersprüchen* zielt, werden Kompromisslösungen – in denen es also nicht gelingt, einen Widerspruch zu überwinden – als *schwache Lösungen* bezeichnet. Kompromisslösungen sind deshalb aber nicht prinzipiell abzulehnen. Vielmehr liegt der heuristische Wert der Forderung nach Auflösung darin, die Wege, auf denen eine starke Lösung erreicht werden könnte, systematisch zu durchdenken und somit möglicher Scheinwidersprüchlichkeit vorzubeugen. Die von Müller-Christ unterschiedenen Umgangsmöglichkeiten mit Tradeoffs (2007, 171f.) entsprechen daher dem, was in der TRIZ *schwache Lösung* genannt wird (siehe dazu Tabelle 3).

Tabelle 3: Trade-offs in der TRIZ und bei Müller-Christ (2007).

	Müller-Christ	TRIZ
Stufe 5	<p>Umgangsmöglichkeiten mit Tradeoffs (siehe Müller-Christ, 2007,171f.):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ein Ziel wird aufgegeben 2. Einseitige Anspruchsnivellierung 3. Beidseitige Anspruchsnivellierung 4. Intensivierung 	<p>Schwache Lösungen:</p> <p>Kompromisslösungen, bei denen die Wurzel des Widerspruchs erhalten bleibt (wobei <i>Intensivierung</i> bei Müller-Christ (2007) dem Streben nach maximal möglicher Optimierung sämtlicher Komponenten im bestehenden System entspricht).</p>

Wie können wir aber wissen, ob einer dilemmatischen Entscheidungssituation ein echter Widerspruch oder doch nur ein Scheinwiderspruch zugrunde liegt? Diese Frage ist die Leitfrage der vorliegenden Arbeit. Ein erster Versuch der Beantwortung folgt im kommenden Abschnitt, indem ein in Schollmeyer (2022) entwickelter automatisierter Ansatz zur Erkennung echter Trade-offs vorgestellt wird. Wie alle statistischen Verfahren krankt dieser Ansatz jedoch daran, dass die zugrundeliegenden Daten im besten aller Fälle nur den Raum des Gewesenen abdecken. Der Ansatz ist daher blind für mögliche künftige Auflösungen identifizierter Trade-offs und kann die Leitfrage nicht zufriedenstellend beantworten. Dennoch kann er dafür verwendet werden, existierende Trade-offs in qualitativen Daten aufzuspüren.

3.2 Exkurs: Trade-offs in Unternehmen aus Sicht der Angestellten

In Schollmeyer (2022) – einer der Veröffentlichungen dieser kumulativen Dissertation – wurden automatisiert hunderttausende Glassdoor-Unternehmensbewertungen analysiert, um Widersprüche in der Form von Trade-offs zu identifizieren. Der Ansatz ist als verbesserungsfähiger *Proof of Concept* angelegt und zeigt, dass es möglich ist, Trade-offs mit Methoden der automatisierten Textverarbeitung zu identifizieren. Als Ausgangspunkt dienen die Texte aus 439599 Bewertungen, die Angestellte in Finanzunternehmen in den USA zwischen 2008 und 2020 auf Glassdoor.com verfasst haben.

Texte in Glassdoor-Bewertungen sind nach *Pros* und *Cons* klassifiziert. Unter *Pros* werden Angestellte dazu angehalten, etwas Positives über ihr derzeitiges oder vormaliges Unternehmen zu äußern. Unter *Cons* sollen die negativen Seiten beschrieben werden. Zur Veranschaulichung zeigt Tabelle 4 zwei Bewertungen (A und B), die jeweils aus einem *Pro*- und einem *Con-Teil* bestehen.

Tabelle 4: Zwei Glassdoor-Beispiel-Bewertungen aus Schollmeyer (2022).

	Pros	Cons
A	<i>Opportunities for growth and advancement</i>	<i>Work/Life balance could be better</i>
B	<i>Family oriented, balanced life, encourage learning</i>	<i>Opportunity for advancement and lack of growth</i>

Die Texte werden mit Blick auf die am häufigsten verwendeten Themen klassifiziert (zur Identifizierung der Themen-Kategorien, siehe Schollmeyer 2022, 212). Im Fall des Beispieltexts A ergibt sich folgendes Pro-Con-Paar:

- Opportunity (pro) & Work-Life Balance (con)

Für Beispieltext B ergeben sich die Pro-Con Paare:

- Work-Life Balance (pro) & Opportunity (con), und

- Learning (pro) & Opportunity (con)

Die Text-Elemente *Opportunity* und *Work-Life Balance* treten in beiden Kommentaren in jeweils entgegengesetzter Funktion auf: jeweils einmal als *Pro* und einmal als *Con*. Wenn derart konträre Paare signifikant häufig in Unternehmensbewertungen, die zum gleichen Sektor gehören, auftreten, deutet dies auf einen sektorspezifischen Trade-off hin.⁶ Um zu testen, ob dafür innerhalb des Sektors eine Lösung vorliegt, wird die Häufigkeit des Vorkommens der Pro-Pro Paarung überprüft (in diesem Fall wäre das die Kombination: *Opportunity* (pro) und *Work-Life Balance* (pro)). Taucht sie signifikant selten auf, deutet dies darauf hin, dass innerhalb des Sektors keine Auflösung des Trade-offs vorliegt. Eine signifikant häufige Pro-Pro Paarung wiederum zeigt an, dass die Auflösung innerhalb des Sektors durchaus üblich ist. Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Methode.

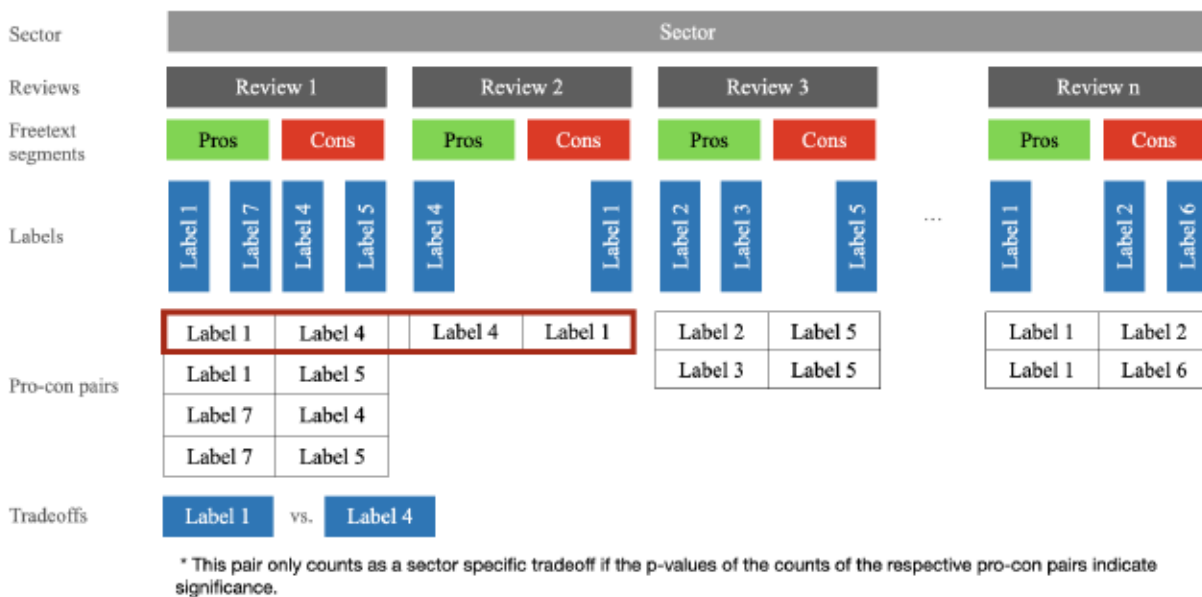


Fig. 2: Die Pros- und Cons-Abschnitte in Unternehmensbewertungen werden nach Kategorien klassifiziert (Label), die für den Sektor (in diesem Fall die US-Finanzindustrie) relevant sind. Nur solche Paare, die signifikant häufig auftreten, gelten als Pro-Con-Paar. Wenn auch das gegenteilige Pro-Con Paar signifikant häufig vorkommt, zählt die Paarung als sektorspezifischer Trade-off-Kandidat. Ob echt oder unecht hängt von der Verteilung der Pro-Pro-Paarungen ab. Quelle: Schollmeyer (2022).

⁶ Zur Messung von Signifikanz siehe Schollmeyer (2022, 212 ff.).

Aus der Analyse mit 13 Kategorien (156 mögliche Trade-offs) gingen zwei Trade-offs hervor: ein echter und ein Pseudo-Trade-off (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Übersicht der identifizierten Trade-offs (Schollmeyer, 2022).

con	pro	count	p-val (adj.)	cons pairing	pros pairing
management	work life balance	870	0	insignificant	frequent
work life balance	management	118	0		
opportunity	work life balance	47	0	infrequent	infrequent
work life balance	opportunity	54	0		

Der Pseudo-Trade-off besteht aus den Kategorien *Management & Work-Life Balance*. Er wird hier als Pseudo-Trade-off bezeichnet, da beide Kategorien auch als Pro-Pro-Paar signifikant häufig auftauchen. Das heißt, es ist nicht unüblich, dass sowohl Management als auch Work-Life-Balance aus Sicht von Mitarbeitenden positiv bewertet werden. Dass sie oft als Gegensatzpaar auftreten, deutet auf einen Mechanismus hin, der näher untersucht werden müsste. Eine erste Literatursuche führte zu keinen Ergebnissen. Ob es eine negative Korrelation zwischen Managementqualität und Work-Life-Balance gibt, sollte sich jedoch über Umfragen ermitteln lassen. So könnte es sein, dass schlechtes Management mitunter dazu führt, dass weniger Arbeit anfällt und somit die Work-Life-Balance verhältnismäßig gut erscheint. Umgekehrt könnte gutes Management mit straffem Arbeitspensum und in Folge dessen mit einer schlechteren Work-Life-Balance einhergehen. Dass hier kein notwendiger Zusammenhang besteht, ist naheliegend und im Pro-Pro-Paar reflektiert.

Um einen tatsächlichen Trade-off scheint es sich hingegen beim Paar *Opportunity & Work-Life-Balance* zu handeln. Die Pro-Pro-Paarung ist signifikant selten, während die jeweiligen Pro-Con-Paarungen signifikant häufig auftreten. Verbesserte Karrierechancen bei

schlechter Work-Life-Balance stehen somit verminderten Karrierechancen bei verbesserter Work-Life-Balance gegenüber. Dass es für diesen Konflikt keine gängige Lösung zu geben scheint, zeigt sich daran, dass gute Karrierechancen bei guter Work-Life-Balance die Ausnahme bilden.

Der Trade-off zwischen Karrierechancen und Work-Life-Balance ist lang bekannt. Sturges/Guest (2004) zeigt dies insbesondere für den Berufseinstieg und Darcy et al. (2012) über die verschiedenen Karriere-Etappen hinweg.⁷ In der Vergangenheit wurde anstelle von *Work-Life-Balance* der Begriff *Work/Family* verwendet (Lockwood, 2003). Auf diese Spielart des Konflikts bezieht sich auch Müller-Christ (2011, 152) mit seinem Beispiel für einen echten Trade-off zwischen dem Aufbau tiefer Familienbeziehungen und der Entwicklung der beruflichen Karriere.⁸

Damit wird deutlich, dass die in Schollmeyer (2022) vorgeschlagene Methode zwar einerseits Trade-offs identifizieren kann, andererseits aber nicht garantieren kann, dass die identifizierten Trade-offs auf echten Widersprüchen basieren. Denn aus der Tatsache, dass es für einen Trade-off keine Lösung gibt, folgt nicht, dass es keine Lösung geben könnte. Die Arbeit im Home-Office etwa hat im Zuge der COVID-19-Maßnahmen zu Änderungen im System Arbeit geführt. So kommt beispielsweise Wu et al. (2022) zu dem Schluss, dass sich Familienbeziehungen durch die Arbeit von Zuhause tendenziell verbessern. Diese Änderung löst den von Müller-Christ (2011, 152) beschriebenen Trade-off zwischen Karriereerfolg und Familienbeziehungen zwar nicht auf, zeigt aber, wie schnell eine Änderung im System zu einer Verschiebung der zugrundeliegenden Optimierungsfunktion zwischen *Zeit für Familienbeziehungen* und *Zeit für Arbeit* führen kann.

Die primäre Frage dieser Arbeit bleibt also bestehen: Wie können wir wissen, dass einer dilemmatischen Entscheidungssituation ein echter Trade-off, ein echtes Dilemma bzw. ein echter Widerspruch zugrunde liegt?

⁷ Die Ergebnisse der Studie von Lyness/Judiesch (2008) mit 9000 Managern aus 33 Ländern scheinen diesem Befund zu widersprechen. Demnach sei bei Managern gute Work-Life-Balance mit hohem Potenzial zur Karriereentwicklung in Selbst- und Fremdwahrnehmung korreliert. Ob das Potenzial zur Karriereentwicklung bei gleichzeitiger Bewahrung einer gesunden Work-Life-Balance entfaltet wurde, wird in der Studie jedoch nicht überprüft.

⁸ „The trade-off between work and family confronts every educated employee with the problem of not being able to simultaneously make a career and have a family.“ (Müller-Christ, 2011, 152).

3.3 Epistemologische Herausforderung

Einem Widerspruch oder Dilemma sieht man seine Echtheit der Form nach nicht an. Echtheit kann nur so lange angenommen werden, bis das Gegenteil nachgewiesen wurde. Es verhält sich hier wie mit allen verallgemeinernden wahrheitsfähigen Sätzen: Nur Falschheit lässt sich nachweisen – Wahrheit nicht. Popper (2005) hat das Falsifizieren von Annahmen daher sogar zum Wesen der wissenschaftlichen Methode erhoben. Derartige Falsifizierung kann vereinfacht gesagt auf folgenden Wegen zustande kommen: (i) durch Erfahrung, wie im Falle überraschender Änderungen, die mit den Maßnahmen zu COVID-19 einhergingen, (ii) durch Denken oder (iii) durch die Kombination von beidem. Für eine Methodik zur Prüfung auf Echtheit empfiehlt sich Letzteres, um womöglich auch in Abwesenheit von direkter Evidenz Auswege frühzeitig zu erkennen.

3.4 Wege zum Falsifizieren von Dilemmas

In Entscheidungssituationen zeigen sich Widersprüche und Trade-offs als Dilemmas. Argumentations-logisch lassen sich nach Tomić (2013; 2021) vier Dilemma-Typen unterscheiden (siehe Tabelle 6):

Tabelle 6: Dilemmatische Schlussmuster nach Tomić (2013, 2021)

	Simpel (nur eine Option in der Konklusion)		Komplex (mehrere Optionen in der Konklusion)	
	konstruktiv	destruktiv	konstruktiv	destruktiv
1.	Entweder A oder B	Wenn E, dann G	Entweder A oder B	Wenn F, dann J
2.	Wenn A, dann C	Wenn E, dann H	Wenn A, dann P	Wenn K, dann L
3.	Wenn B, dann C	Entweder nicht G oder nicht H	Wenn B, dann Q	Entweder nicht J oder nicht L
4.	Also C	Also nicht E	Also entweder P oder Q	Also entweder nicht F oder nicht K

Formal sind die Schluss-Schemata in Tabelle 6 korrekt. Sofern sich hinter der Form eines dieser Muster ein falsches Dilemma präsentiert, kann der Fehlschluss somit nur in den Prämissen liegen. In diesem Zusammenhang sind zwei Prämissen-Typen zu unterscheiden: Prämisse (1) bildet die für Dilemmas entscheidende Disjunktion, während die Prämissen (2) und (3) die konsequentialistischen „wenn ..., dann ...“-Beziehungen bilden. Nur dann, wenn sowohl sämtliche Prämissen wahr sind als auch das Schlusschema korrekt ausgeführt ist, handelt es sich um ein echtes Dilemma (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Echtes Dilemma versus Falsches Dilemma

	“Wenn ..., dann ...” Prämissen sind wahr	Mindestens eine „Wenn ..., dann ...” Prämisse ist falsch
Disjunktion ist wahr	Echtes Dilemma	Falsches Dilemma
Disjunktion ist falsch	Falsches Dilemma	Falsches Dilemma

Für alle vier Dilemma-Typen (Tabelle 6) gibt es somit jeweils zwei unterschiedliche Weisen, zum falschen Dilemma zu werden. So kann es sein,

1. dass die Disjunktion falsch ist (Prämisse 1), oder
2. dass mindestens eine der „Wenn ..., dann ...“-Beziehungen falsch ist (Prämisse 2 und 3).

Selbstverständlich können aber auch sowohl die Disjunktion als auch mindestens eine der beiden „Wenn ..., dann ...“-Prämissen falsch sein (siehe Tomić, 2013, 365). Ein Dilemma, das formal-logisch korrekt ist (siehe Tabelle 6), aber in dem mindestens eine der Prämissen falsch ist, wird im Folgenden *Scheindilemma* genannt.

3.4.1 Haltbarkeits-Kritik

Die zwei Prämissen-Typen eröffnen zwei unterschiedliche Angriffsstrategien. Tomić (2013) nennt Angriffe, die auf den Wahrheitsgehalt der Disjunktion abzielen, Haltbarkeits-Kritik (*tenability criticism*), da hier in Frage gestellt wird, ob das Argument als Dilemma überhaupt

haltbar ist. Um die Vollständigkeit der Disjunktion in Frage stellen zu können, muss nur gezeigt werden, dass es mehr als die dargestellten Optionen gibt.

3.4.2 Aktive Kritik

Schwieriger ist es, die Echtheit eines Dilemmas anzugreifen, wenn die Disjunktions-Prämisse wahr ist. Tomić (2013) nennt Kritik, die auf die „Wenn ..., dann ...“-Beziehungen in einem Dilemma-Argument abzielt, aktive Kritik (*active criticism*). „Ein spezifisches Merkmal aktiver Kritik besteht darin, dass es erfinderischen Denkens bedarf“, so Tomić (Tomić, 2013, 366; Übersetzung von JS):

Normalerweise konzentriert sie (dh. aktive Kritik) sich nicht nur darauf, die behauptete logische Struktur des Arguments oder die Evidenz, die erwartet werden würde, um den Wahrheitsgehalt der Prämissen zu begründen, zu prüfen. Stattdessen gehört es dazu, zu verstehen, dass für das Argument relevante Informationen fehlen, wobei sie [(d.h. die aktive Kritik), JS] relevante Wege aufzeigt, das Argument zu beeinflussen, wenn neue relevante Informationen hinzugefügt werden.⁹ Tomić (2013, 366; Übersetzung von JS)

Aktive Kritik ist anspruchsvoll, denn sie erfordert, sich in das Problem hineinzudenken und zu überprüfen, ob die Problembeschreibung in Form des Dilemmas tatsächlich stimmig ist, oder ob nicht Informationen bewusst oder unbewusst unterschlagen wurden, um das Dilemma zu konstruieren. Tomić (2013) hätte es nicht besser formulieren können: Für aktive Kritik bedarf es *erfinderischen Denkens*. Wenig überraschend entwickelt Tomić (2013; 2021) keine Methode der aktiven Kritik, denn erfinderisches Denken gilt gemeinhin als nicht formalisierbar.¹⁰ Kein

⁹ „Usually, it does not focus only on checking the stipulated logical structure of the argument or on checking the evidence that is typically expected to prove the truth of the given premises. Instead, it commonly involves realizing that some information relevant for the argument is missing, but also shows the relevant ways of influencing the initial argument when the new relevant information is added.”

¹⁰ Auch in Unternehmensethik und Entscheidungstheorie konnte ich keinen Ansatz finden, der einen Test für Scheindilemmatizität anbietet. Ferrell et al. (2021) etwa präsentieren ein Vielzahl dilemmatischer Szenarien, um ethische Entscheidungsfindung zu trainieren. Ein Test auf Scheindilemmatizität fehlt jedoch. Gleiches gilt für die Fallstudien in Shapiro/Stefkovich (2016). Schwartz (2017) weist darauf hin, dass die Art, in der ein Dilemma formuliert wird, die Entscheidung beeinflussen kann. Doch ein Test, um ein vermeintliches Dilemma auf Echtheit zu prüfen, findet sich nicht. Gleiches gilt für die neun Schritte in Maddalena (2007). Zwar enthält der Schritt „list all options“ implizit die Möglichkeit, dass es einen Ausweg geben könnte, doch wie Lösungsansätze, die ein Dilemma aufbrechen, kreierte werden können, bleibt unbestimmt. Auch bei Pimental et al. (2010) wird die Echtheit vermeintlicher Dilemmatizität nicht weiter in Frage gestellt und die fünf Fragen bei Rossy (2011) bieten keine Hilfe, um Scheindilemmatizität aufzudecken.

Geringerer als Thomas Kuhn etwa schreibt in seinem bahnbrechenden Buch über Revolutionen in der Wissenschaft:

“Was die Natur dieser finalen Stufe ist – wie ein Individuum eine neue Art, die gesammelten Daten zu ordnen, erfindet (oder bemerkt sie erfunden zu haben) – muss hier als unergründlich angenommen werden und wird dies womöglich für immer bleiben.”¹¹

Kuhn (1970, 90; Übersetzung von JS)

In Schollmeyer/Tamuzs (2018) – einer Veröffentlichung dieser kumulativen Dissertation – wurde diese Aussage Kuhns mit Hilfe der Schrittfolge des *Algorithmus zum Lösen von Erfindungsaufgaben* – kurz ARIZ (Altshuller, 1985) – herausgefordert. Der ARIZ ist das Herzstück der *Theorie zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (TRIZ), deren Ziel darin besteht, erfinderisches Denken lehrbar zu machen. In Schollmeyer/Tamuzs (2018) wurde die dem Algorithmus zugrunde liegende Logik, die von Altshuller (1985) ursprünglich für die Anwendung in der Technik entwickelt worden war, so verallgemeinert, dass sie auf Systeme im weitesten Sinne angewendet werden kann. Das wurde anhand einer der berühmtesten wissenschaftlichen Revolutionen demonstriert: dem Übergang vom Ptolemäischen geozentrischen Weltbild zu Kopernikus’ heliozentrischem Weltbild. Es wurde gezeigt, dass Kopernikus’ Lösung in Form dieser Denklogik als Lösung einer Aufgabe erfinderischen Problemlösens rekonstruiert werden kann. Dadurch konnte nicht nur die Essenz der Schrittfolge herausgestellt werden, sondern es konnte darüber hinausgehend gezeigt werden, dass der ARIZ-85C denklogisch am Systembegriff ansetzt und sich auch auf die abstrakte Form erklärender Denksysteme beziehen lässt. Da Widersprüche und daraus folgende Dilemmas nicht gelöst werden, sondern nur in Scheinwidersprüche bzw. Scheindilemmas überführt werden können, kann diese Schrittfolge als eine Logik zur Prüfung der Echtheit von Dilemmas bezeichnet werden.

In den folgenden Abschnitten soll die Abfolge der generalisierten Logik des ARIZ anhand eines der meist diskutierten Dilemmas in der modernen Moralphilosophie und -psychologie demonstriert werden: dem *Trolley-* bzw. *Wagenlenker-Dilemma*.

¹¹ „What the nature of that final stage is—how an individual invents (or finds he has invented) a new way of giving order to data now all assembled—must here remain inscrutable and may be permanently so.”

4. Test auf Scheindilemmatizität

Der ARIZ-85C ist Altschullers finale Version des *Algorithmus zum Lösen von Erfindungsaufgaben* und wurde über einen Zeitraum von gut 30 Jahren entwickelt. Die erste Version erschien 1956 (Altshuller/Shapiro, 1956) und die letzte im Jahr 1985 (Altshuller, 1985). In diesem Zeitraum wandelte sich die Schrittfolge erheblich. Auch das Vokabular veränderte sich hin zu erhöhter Allgemeinheit (Schollmeyer/Tamuzs, 2018). Im folgenden Abschnitt wird die in Schollmeyer/Tamuzs (2018) verallgemeinerte Form des Algorithmus als Test auf Scheindilemmatizität eingeführt.

4.1 Kurzzusammenfassung der Denkbewegung im verallgemeinerten *Algorithmus zum Lösen von Erfindungsaufgaben*

Der Test beginnt mit einer Systemanalyse, die zur Formulierung eines Dilemmas¹² führt. Ausgehend von einer der Seiten des Dilemmas wird der Konflikt weiter verschärft, entweder (i) indem die Komponente, auf die ein negativer Effekt zurückgeht, gedanklich beseitigt wird, oder (ii) indem der Konflikt durch massive Erhöhung der Anforderungen zugespitzt wird.¹³ Beide Gedanken-Operationen führen dazu, das System aus der Perspektive einer früheren Entwicklungsstufe zu sehen. Ausgehend von dieser per Gedankenexperiment verschärften Situation wird das zu lösende Problem formuliert. Daraufhin werden Ressourcen jeglicher Art aufgelistet, in der Konfliktzone beginnend und von dort aus weiter in die Umgebung fortschreitend. Die zu lösende Aufgabe wird nun sinngemäß so formuliert, dass eine Ressource gefunden werden soll, die – wenn leicht modifiziert – zur Lösung des zuvor zugespitzten Problems führt. In dieses Formulierungsschema wird anschließend jeweils eine der Ressourcen aus der Liste eingesetzt. Es wird gefragt, wie diese Ressource dazu beitragen könnte, das Problem zu lösen. Falls keine Lösung gefunden werden kann, wird gefragt, ob die Ressource eventuell widersprüchliche Eigenschaften annehmen müsste, um die Lösung zu ermöglichen. Dieser Schritt ist zentral und dient dazu, dem Denken auch diejenigen Wege zu eröffnen, die durch die Konditionierung auf Widerspruchsfreiheit verborgen bleiben könnten. Sollte sich

¹² Trilemmata, Tetralemmata und mehr könnten hier ebenfalls verwendet werden.

¹³ Welche der beiden Optionen gewählt wird, hängt davon ab, ob es sich bei der Komponente, die für den negativen Effekt verantwortlich ist, um den Träger der Primärfunktion des Systems handelt oder nicht. Falls nein, wird Option (i) gewählt, andernfalls Option (ii).

herausstellen, dass widersprüchliche Anforderungen an die Ressource die Aufgabe lösen würden, wird dazu angehalten, die widersprüchlichen Anforderungen entweder in der Zeit, im Raum oder auf unterschiedlichen Systemebenen zu separieren, um so Möglichkeiten der Umsetzung der gegensätzlichen Anforderungen zu entwickeln. Die daraus entstehenden Ideen werden gesammelt, bevor zur nächsten Ressource auf der Liste übergegangen wird.

4.2 Ausführliches Anwendungs-Beispiel

Um diese Schrittfolge im Folgenden detailliert vorzuführen, soll ein klassisches Dilemma aus Moralphilosophie und -psychologie auf seine Echtheit hin geprüft werden. Dabei wird exakt die gleiche Schrittfolge verwendet wie auch schon in Schollmeyer/Tamuzs (2018).

4.2.1 Das Trolley-Dilemma

Eines der populärsten Gedankenexperimente in Moralphilosophie und -psychologie ist das auf Foot (1967) und Thomson (1976) zurückgehende Trolley-Dilemma. Es wird u.a. dafür verwendet, zu messen, unter welchen Umständen Menschen es für richtig halten, das Leben einer Person für das Leben mehrerer Personen zu opfern.¹⁴ Das Experiment ist mittlerweile zu solcher Berühmtheit gelangt, dass das Interesse am Suchbegriff „trolley problem“, das Interesse an den Begriffen „moral philosophy“ und „moral psychology“ zwischenzeitlich übertroffen hat (siehe Fig. 3).

¹⁴ Ein guter Überblick über die unterschiedlichen Weisen, das Trolley-Dilemma zu systematisieren, findet sich bei Bruers/Braeckman (2014).

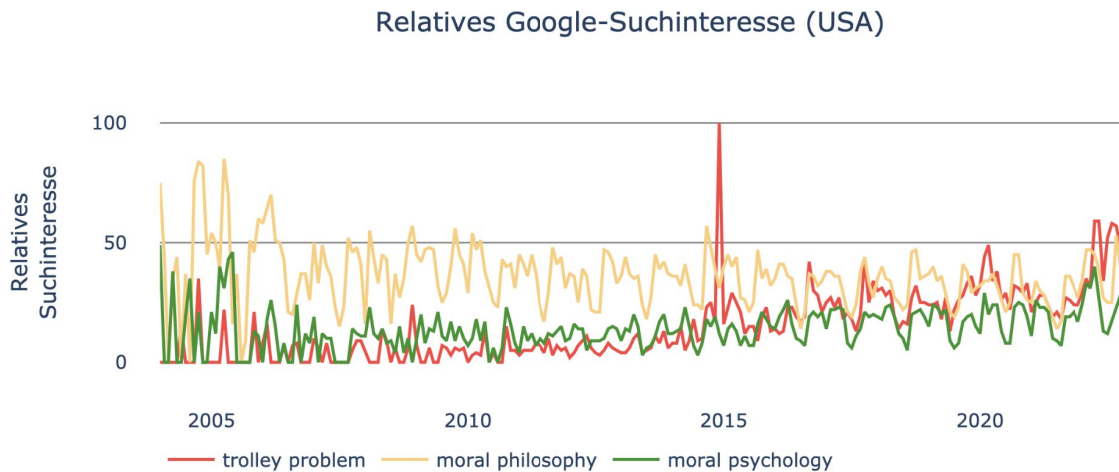


Fig. 3: Relatives Suchinteresse auf Google für die Begriffe *trolley problem*, *moral philosophy* und *moral psychology* in den USA zwischen 2004 und 14.12.2022. Die Zahlen auf der y-Achse repräsentieren das relative Suchinteresse verglichen mit dem höchsten Wert im Graphen für die gewählte Region im angegebenen Zeitraum. Dort, wo der Wert 100 beträgt, war das Suchinteresse maximal. Ein Wert von 50 zeigt an, dass der Begriff zu diesem Zeitpunkt nur halb so oft gesucht wurde. Dort, wo die Werte 0 betragen, liegen für den Begriff nicht genug Daten vor.

Neben seiner Bedeutung für Überlegungen zur Ethik im Kontext autonomen Fahrens (z.B. Awad et al., 2018; Wolkenstein, 2018; Gramer, 2019) ist die Eignung für Umfragen (z.B. Waldmann/Dietrich, 2007; Hauser et al., 2008; Awad et al., 2020) ein weiterer Grund für die Popularität dieses Gedankenexperiments. In Awad et al. (2020) wurden 70,000 Individuen aus 42 Ländern in 10 Sprachen zu drei verschiedenen Trolley-Szenarien befragt. Eines der Szenarien lautet wie folgt:

Ein in blau gekleideter Mann steht neben einem Bahngleis, als er bemerkt, dass ein leerer Güterwagen außer Kontrolle gerät. Er rollt so schnell das Gleis entlang, dass diejenigen, die vom Wagen getroffen werden, ums Leben kommen würden. Auf der Hauptstrecke des Gleisverlaufs befinden sich fünf Personen. Auf einer Nebenstrecke, die sich nicht wieder mit der Hauptstrecke verbindet, steht eine einzelne Person. Wenn der in blau gekleidete Mann nichts tut, wird der Güterwagen die fünf Personen auf der Hauptstrecke treffen, aber nicht die einzelne Person auf der Nebenstrecke. Bewegt er den Weichen-Hebel, der

sich neben ihm befindet, kann der in blau gekleidete Mann den Güterwagen auf die Nebenstrecke umleiten, wo er die einzelne Person treffen wird, aber nicht die fünf Personen, die sich auf der Hauptstrecke befinden. Was sollte der blau gekleidete Mann tun?¹⁵ (Awad et al., 2020, Übersetzung durch JS)

Die Befragten haben die Möglichkeit zwischen zwei Möglichkeiten zu wählen: „Lege den Hebel um.“ oder „Tue nichts“. Tomiás (2013) Klassifizierung zufolge handelt es sich also um ein komplex-konstruktives Dilemma, da beide Entscheidungsmöglichkeiten zu verschiedenen unerwünschten Resultaten führen.

1. Wenn (A) der Weichenhebel aktiviert wird, (P) dann tötet der Güterwagen eine Person.
2. Wenn (B) nichts getan wird, (Q) dann tötet der Güterwagen fünf Personen.
3. Entweder (A) wird der Weichenhebel aktiviert oder (B) der Weichenhebel wird nicht aktiviert.
4. Es wird entweder (P) eine Person getötet oder (Q) es werden fünf Personen getötet.

4.2.2 Ergebnisse der kulturübergreifenden Umfrage

Laut Awad et al. (2020) entschieden sich 84% der 70,000 Befragten dafür, den Hebel umzulegen und also die einzelne Person auf dem Nebengleis zugunsten der fünf Personen auf dem Hauptgleis zu opfern. In der Regel wird dieser Befund so gedeutet, dass 84% der Befragten es für moralisch geboten halten, in einer solchen Situation das Leben eines unbeteiligten Einzelnen zu opfern, um das der fünf anderen zu retten (Bruers/Braeckman, 2014). Die verbleibenden 16% wären wiederum nicht dazu bereit, das Leben eines Einzelnen zugunsten der Leben von fünf anderen zu opfern.

Doch liegt das moralisch Richtige tatsächlich auf einer der beiden Seiten oder handelt es sich vielleicht doch nur um ein Schein-Dilemma? Sollte eine derart folgenreiche Schlussfolgerung nicht erst dann gezogen werden, wenn vorher geprüft wurde, ob die Opferung von mindestens einer Person wirklich notwendig ist? Angenommen, das Szenario könnte ganz

¹⁵ „A man in blue is standing by the railroad tracks when he notices an empty boxcar rolling out of control. It is moving so fast that anyone it hits will die. Ahead on the main track are five people. There is one person standing on a side track that doesn't rejoin the main track. If the man in blue does nothing, the boxcar will hit the five people on the main track, but not the one person on the side track. If the man in blue flips a switch next to him, it will divert the boxcar to the side track where it will hit the one person, and not hit the five people on the main track. What should the man in blue do?“

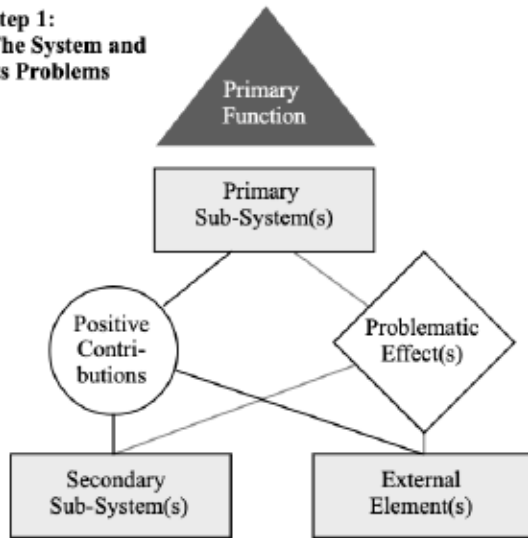
ohne Todesfall aufgelöst werden, wäre es dann nicht unmoralisch, auch nur eine einzige Person zu Tode kommen zu lassen?

4.2.3 Einfache Haltbarkeits-Kritik zum Test auf Scheindilemmatizität

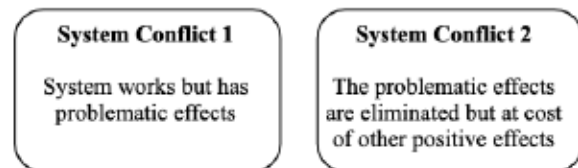
Haltbarkeits-Kritik nach Tomić (2013) zielt darauf ab, die Vollständigkeit der Disjunktions-Prämisse anzugreifen. Bestehen hier wirklich nur die Möglichkeiten entweder den Hebel umzulegen oder nichts zu tun? Könnte der in blau gekleidete Mann den Personen auf dem Gleis nicht einfach zurufen, dass sie aus dem Weg gehen sollen? Tatsächlich scheinen derartige Einwände ins Feld geführt worden zu sein, weshalb sich die Formulierungen des Szenarios mit der Zeit weiter verengt haben, um solche Lösungsmöglichkeiten auszuschließen. So wurden etwa die betroffenen Personen auf den Gleisen festgebunden (siehe z.B. die Formulierung des Dilemmas in Andrade, 2019).

Um den Schwierigkeitsgrad zu erhöhen, soll angenommen werden, dass die Personen tatsächlich auf den Gleisen festgebunden sind und dass die Dichotomie-Prämisse soweit vollständig ist. Handelt es sich unter diesen Umständen dann um ein echtes Dilemma, oder liegt nicht vielleicht doch nur ein Scheindilemma vor? Um das vermeintliche Trolley-Dilemma in ein Scheindilemma zu überführen, bedarf es nach Tomić (2013) der *aktiven Kritik*, die ihrerseits – wie eingangs diskutiert – auf erfinderisches Denken angewiesen ist: eine gute Gelegenheit also, den verallgemeinerten ARIZ aus Schollmeyer/Tamuzs (2018) anzuwenden (siehe Fig. 4).

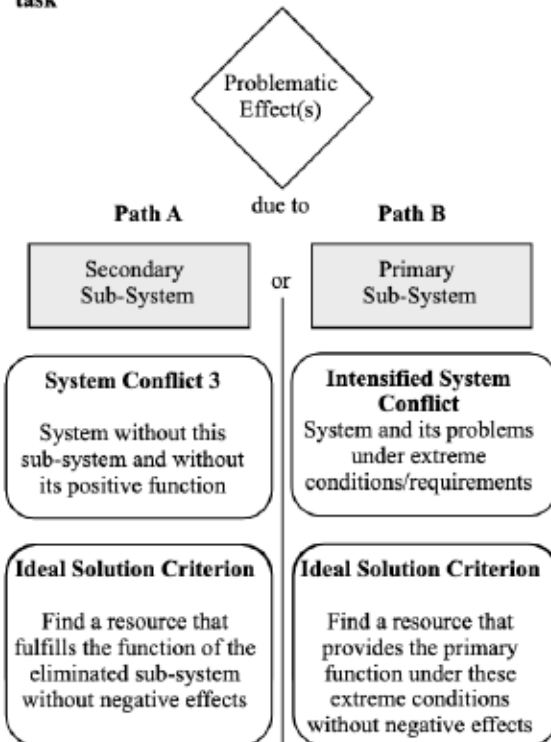
**Step 1:
The System and
its Problems**



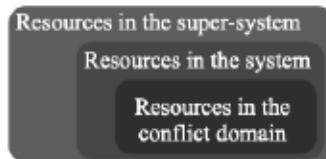
**State the Dilemma
(Tradeoff)**



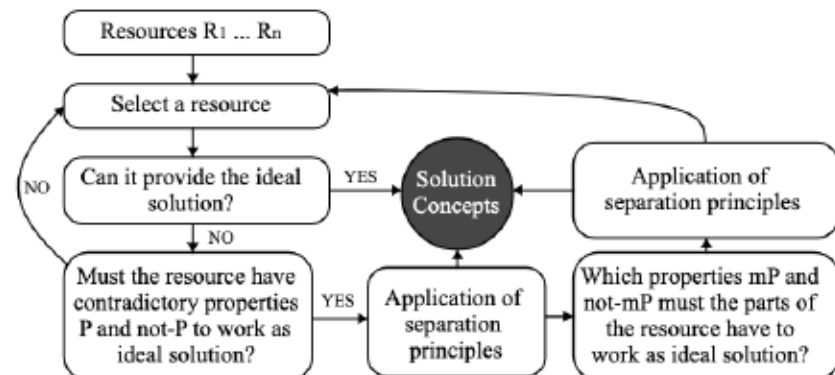
**Step 2:
Define the
task**



**Step 3:
Resources**



**Step 4:
Solution Concepts**



**Step 5:
No solution found?**

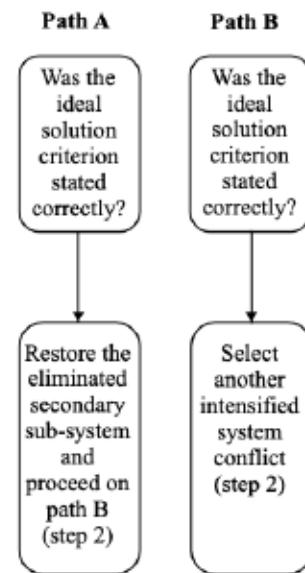


Fig. 4: Schrittfolge des verallgemeinerten ARIZ (Quelle: Schollmeyer/Tamuzs, 2018).

4.2.4 Aktive Kritik zum Test auf Scheindilemmatizität

Schritt 1 — Verstehen des Systemkonflikts

Schritt 1.1: Was ist die Primärfunktion des Systems?

Die Primärfunktion des Systems, dessen sich der in blau gekleidete Mann bedient, besteht darin, das Leben der fünf Personen auf dem Gleis zu retten.

Schritt 1.2: Beschreibe das System anhand seiner Komponenten und Funktionen.

Ein Wagen rollt mit hoher Geschwindigkeit ein Gleis entlang. Das Gleis führt die Räder des Wagens auf zwei Schienen. Es verläuft über eine Weiche in Richtung A, wo sich fünf Gleisarbeiter befinden. Mittels zweier beweglicher Zungen ermöglicht die Weiche, den Schienenverlauf so zu verändern, dass das Gleis die Räder des Wagens in Richtung B führen würde. Auf dem anschließenden Streckenteil (Richtung B) befindet sich ein einzelner Gleisarbeiter.

Über einen Schalter kann der blau gekleidete Mann den Weichen-Mechanismus auslösen, der die Zungen so bewegt, dass die Verlaufsrichtung des Gleises in die eine oder andere Richtung gestellt wird. Die Weiche ist somit der Träger der Primärfunktion, da sie es erlaubt, die fünf Gleisarbeiter davor zu bewahren, überrollt zu werden.

Systemkonflikt 1: Fünf Gleisarbeiter werden überfahren, wenn der Wagen nicht umgelenkt wird.

Systemkonflikt 2: Die fünf Arbeiter werden nicht überfahren, wenn der Wagen umgelenkt wird. Allerdings wird der Gleisarbeiter in Richtung B überfahren.

Schritt 1.3: Handelt es sich um einen Trade-off/Systemkonflikt?

Systemkonflikt 1 und Systemkonflikt 2 hängen systematisch miteinander zusammen, in dem Sinne, dass einer aus der Wahl des anderen folgt. Wie anfangs bereits etabliert, haben wir es mit einem Trade-off bzw. mit einem Dilemma zu tun. Somit ist die Bedingung für den Übergang zum

zweiten Schritt gegeben. Da Systemkonflikt 2 zumindest die Primärfunktion erfüllt, arbeiten wir mit diesem Konflikt weiter.

Schritt 2 — Formulierung der Aufgabe

Schritt 2.1: Ist der Systemkonflikt die Folge der Ausübung einer Sekundärfunktion?

Nein, der Konflikt, dass der Gleisarbeiter im Streckenabschnitt B überfahren wird, ergibt sich direkt aus dem Gebrauch der Weiche. Die Weiche wiederum ist das primäre Werkzeug, um die fünf Gleisarbeiter zu retten (Primärfunktion). Diese Rettung erfolgt auf Kosten des Gleisarbeiters auf Streckenabschnitt B. Der Tod dieses Arbeiters ist somit eine schädliche Nebenwirkung der Ausübung des primären Werkzeugs zur Rettung der fünf Arbeiter.

Angenommen, diese schädliche Nebenwirkung wäre die Folge eines sekundären Werkzeugs, das nicht direkt für die Primärfunktion verantwortlich wäre, dann lautete die Empfehlung des ARIZ, dieses Werkzeug zu entfernen und sich die Problemstellung unter diesen neu geschaffenen Bedingungen anzuschauen (siehe dafür das Beispiel in Schollmeyer/Tamuzs, 2018).

Da dies nicht der Fall ist, lautet die Empfehlung, die Erfolgskriterien weiter zuzuspitzen. Das Problem wird dadurch – zumindest dem Anschein nach – komplizierter. In beiden Fällen zwingt dieser Schritt dazu, den ausgetretenen Lösungspfad zu verlassen und einen neuen Lösungsweg einzuschlagen.

Schritt 2.2: Wie sieht der Systemkonflikt nach der Zuspitzung aus?

Die Lösungsanforderung zuzuspitzen heißt, statt den Tod von entweder fünf Gleisarbeitern oder einem einzelnen Gleisarbeiter in Kauf zu nehmen, keinen einzigen Gleisarbeiter zu Tode kommen zu lassen. Der neu formulierte Konflikt lautet daher: Rette das Leben der sechs Gleisarbeiter, in einem Szenario, in dem der Wagen ungebremst auf die fünf Arbeiter zurollt.

Schritt 2.3: Formuliere die Aufgabe im Ressourcen-Schema

Um zu einer Lösung zu gelangen, muss das in Frage stehende System in irgendeiner Form modifiziert werden. Damit der Eingriff möglichst gering gehalten wird, empfiehlt der ARIZ (Altshuller, 1985), die Aufgabe im Ressourcen-Schema zu formulieren (siehe Fig. 4). Im vorliegenden Fall ergibt sich daraus folgende Aufgabenstellung:

Finde eine Ressource, die – wenn leicht verändert – dafür sorgt, dass der Wagen keinen einzigen Gleisarbeiter überrollt.

Schritt 3 — Suche nach möglichen Ressourcen, die dabei helfen könnten, die Aufgabe zu lösen

Schritt 3: Erstelle eine Liste von Ressourcen

Wie das zur Formulierung der Aufgabe herangezogene Schema nahelegt, besteht die Lösung darin, ungenutzte Ressourcen neu oder anders einzusetzen als bisher. Nur abstrakte Probleme können den Anschein erzeugen, kontextfrei zu sein. Konkrete Probleme sind hingegen in ihren je eigenen Umgebungen verwurzelt. Es liegt nahe, dass in diesen Umgebungen mehr vorhanden ist, als die Problemstellung vermuten lässt. Der ARIZ empfiehlt daher, Ressourcen, die eventuell bei der Lösungsfindung helfen könnten, systematisch aufzulisten – beginnend in der Problemzone und von dort aus in die weitere Umgebung fortschreitend. Darüber hinaus wird empfohlen, den Zeitverlauf genau zu untersuchen, um sich potentiell ungenutzter Zeitreserven zu vergewissern.

Für eine Liste von Ressourcen in der Problemzone kommen z.B. in Frage: die Weiche samt Schaltmechanismus, die Gleisarbeiter, der Wagen, die Räder des Wagens, das Gleis, der Boden, auf dem das Gleis verläuft. Im näheren Umfeld der Problemzone ließe sich der Bahnhof weiter absuchen, was aufgrund der Abstraktheit der Problemstellung im Gedankenexperiment jedoch wenig sinnvoll erscheint.

Schritt 4.1: Formuliere die Aufgabenstellung für eine konkrete Ressource

Um Lösungsansätze für die in Schritt 2.3 formulierte Aufgabe zu entwickeln, wird empfohlen, durch die Ressourcenliste hindurchzugehen – Eintrag um Eintrag. Die erste Ressource auf der Liste führt zu folgender Formulierung:

Wie könnte die Weiche so verwendet werden, dass der heranrollende Wagen keinen der sechs Gleisarbeiter überfährt?

Wäre die Antwort auf diese Frage offensichtlich, würde es sich vermutlich nicht um ein schwer zu durchschauendes Problem handeln. Sollte die Formulierung dennoch bereits in diesem Schritt den Gedanken zu einer Lösung triggern, umso besser. Im vorliegenden Fall scheint das Problem jedoch tiefer zu liegen.

Schritt 4.2: Könnte es sein, dass die gewählte Ressource widersprüchliche Eigenschaften annehmen müsste (P und nicht-P), um das Problem zu lösen?

Dieser Schritt ist der vielleicht interessanteste im gesamten ARIZ, denn jetzt erfolgt die Aufforderung, zu prüfen, ob eventuell ein Widerspruch im Sinne einer Kontrarität vorliegen müsste, um die Aufgabe lösen zu können. Einen Widerspruch vorzustellen läuft logischem Denken zuwider, da Logik auf dem Satz des ausgeschlossenen Widerspruchs basiert (Aristoteles, 1994). Um der Tendenz des Denkens Widersprüche zu meiden entgegenzuwirken, wird dazu angeleitet, den Widerspruch bewusst zu konstruieren, um ihn anschließend wieder aufzulösen. Dadurch kann eventuell ein Weg gefunden werden, der andererseits wegen der Scheuklappen konditionierten Denkens übersehen worden wäre.

Angewendet auf die Weiche stellt sich zunächst die Frage nach ihrer Funktion. Letztere besteht darin, die Räder des Wagens entweder in Richtung A oder in Richtung B zu führen. Sollte sich die Aufgabe etwa dadurch lösen lassen, dass die Räder des Wagens sowohl in Richtung A als auch in Richtung B geführt werden?

Hypothese: Dadurch, dass die Weiche sowohl in Richtung A als auch in Richtung B führt, überfährt der heranrollende Wagen keinen der sechs Gleisarbeiter.

In der Tat könnte ein Wagen, der zugleich in beide Richtungen geführt wird, in keine der beiden Richtungen fahren. Stattdessen würde er entgleisen. Es scheint demnach eine Lösung möglich, nämlich dann, wenn die Weiche sowohl auf Fahrtrichtung A als auch auf Ihr Gegenteil, nämlich Fahrtrichtung B, eingestellt werden könnte. Sollte dieser vermeintliche Widerspruch in einen Scheinwiderspruch überführt werden können, wäre eine Lösung gefunden.

Schritt 4.3: Anwendung der Separationsprinzipien

Um einen Widerspruch des Typs „*X soll sowohl P als auch nicht-P sein*“ in einen Scheinwiderspruch zu überführen, empfiehlt der ARIZ die Anwendung dreier Separationsprinzipien. Es wird angeregt, die widersprüchlichen Prädikate als entweder in der Zeit, im Raum oder in der Systemhierarchie unterschiedene Zustände zu denken. Daraus ergeben sich folgende Optionen:

- 1) *Separierung in der Zeit*: Zum Zeitpunkt T_1 führt die Weiche die Räder des Wagens auf das Gleis in Richtung A und zum Zeitpunkt T_2 führt sie die Räder in Richtung B.
- 2) *Separierung im Raum*: Im räumlichen Teil P_1 ist die Weiche so gestellt, dass die Räder des Wagens in Richtung A geführt werden, während sie im räumlichen Teil P_2 so eingestellt ist, dass die Räder des Wagens in Richtung B geführt werden.
- 3) *Separierung zwischen System und Subsystemen*: Die Weiche ist als System so gestellt, dass der Wagen in Richtung A fährt, während die Subsysteme so eingestellt sind, dass der Wagen in Richtung B fährt.

Die erste Formulierung leuchtet unmittelbar ein: Wenn es gelingt die Weiche dann zu verstellen, wenn die ersten Räder des Wagens den Stellmechanismus passiert haben, so dass nur die nachfolgenden Räder umgeleitet werden, dann sorgt die Weiche tatsächlich dafür, dass die Räder sowohl in Richtung A (die Vorderräder) als auch in Richtung B (die nachfolgenden Räder) geführt werden. Der Wagen sollte entgleisen und aller Wahrscheinlichkeit nach zum Stillstand

kommen. Folgerichtig würden die Gleisarbeiter nicht überfahren werden und das Ziel wäre erreicht.

Dass diese Lösung in der Tat zum Ziel führen könnte, zeigt u.a. der Fall eines entgleisten ICEs am 17.2.2019 in Basel. Dem Schlussbericht der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle zufolge ist die Entgleisung „auf das versehentliche, unzulässige Hilfsauflösen [einer] Zufahrstrasse und dem folgenden Einstellen einer anderen Zufahrstrasse zurückzuführen, wodurch unter dem fahrenden Zug eine Weiche umgesteuert wurde“ (SUST, 2019).¹⁶

Selbst wenn es sich bei dem Trolley um einen mit Fahrgästen besetzten Zug handelte, scheint das Verhältnis von Todesfällen zu Entgleisungen verhältnismäßig niedrig zu sein. Für den Zeitraum 1990 bis 2021 zählte die US-Behörde für Transport und Verkehr 54539 Zugunfälle mit Entgleisungen, bei denen insgesamt 131 Menschen ums Leben kamen (Schlepp, 2022).

Die übrigen Separationsprinzipien könnten eventuell zu weiteren Lösungen führen, Separierung in der Zeit scheint jedoch am intuitivsten und kann direkt über den Weichenhebel gesteuert werden. Darüber hinaus empfiehlt der ARIZ für jedes der Separationsprinzipien, den Widerspruch auf Ebene kleinster Subsysteme (Moleküle, Atome und kleiner) zu denken, um auf diesem Weg zu tiefer liegenden und vermutlich noch weniger offensichtlichen Lösungsansätzen zu gelangen. Für das hier gegebene Beispiel reicht die gewonnene Lösung jedoch aus.

Wiederholung von Schritt 4

Um den Lösungsraum möglichst vollständig auszuschöpfen, werden die Schritte in Abschnitt 4 für jede weitere der gelisteten Ressourcen wiederholt. Wie bereits angedeutet, zeigt die Geschichte des Trolley-Dilemmas, dass diejenigen, die mit dem Dilemma konfrontiert wurden, offensichtlich nach Auswegen gesucht haben, um keinen der Arbeiter töten zu müssen. Dabei scheint die offensichtlichste Lösung zu sein, den Gleisararbeitern zuzurufen, aus dem Weg zu gehen. Wie bereits erwähnt wurden in Varianten der Formulierung des Szenarios die Arbeiter daraufhin auf den Gleisen festgebunden, was die Wahrscheinlichkeit, dass das dem Dilemma zugrundeliegende Szenario tatsächlich stattfinden könnte, verringert. Doch selbst dann, wenn

¹⁶ Weichen sind derart kritische Komponenten der Eisenbahn-Infrastruktur, dass ein Großteil des Maintenance-Budgets auf die Wartung von Weichen entfällt (Shih, 2022). Laut Liu et al. (2012) gingen in den USA zwischen 2001 und 2010 14% der Entgleisungen auf Rangier- und Abstellgleisen auf fehlerhafte Weichenstellungen zurück.

eine Problemstellung als derart ausweglos konstruiert wird, ist es durchaus möglich, einen Ausweg zu finden, wie der hier gegebene Anwendungsfall zeigt.¹⁷

Schritt 5 — Was, wenn keine Lösung gefunden werden kann?

Falls keine Lösung gefunden werden kann, empfiehlt der ARIZ, zurück zu Schritt 2 zu gehen, um zu prüfen, ob das Problem anders formuliert werden sollte. Je weniger Beschränkungen der Lösung auferlegt werden, desto weiter ist der Lösungsraum. Der Schritt der Ressourcenaufzählung im ARIZ macht deutlich, dass der Lösungsraum im Prinzip weit über die Grenzen der Problemzone hinaus ausgedehnt werden könnte. Wenn man bedenkt, dass zumindest aus logischer Sicht auch Ressourcen an den Grenzen des Universums einbezogen werden könnten, wird deutlich, dass echte Dilemmas eher die Ausnahme bilden dürften.

4.2.5 Umfrage: Trolley-Dilemma mit Entgleisungs-Option

Mit Hilfe des ARIZ konnte gezeigt werden, dass es sich bei dem Trolley-Gedankenexperiment um ein Scheindilemma handelt und dass die Prämisse „Wenn (A) der Weichenhebel aktiviert wird, (P) dann tötet der Güterwagen eine Person.“ unvollständig ist. Vielmehr müsste es heißen:

Wenn (A) der Weichenhebel aktiviert wird, (P) dann tötet der Güterwagen eine Person, es sei denn, der Güterwagen befindet sich im Moment der Weichenstellung auf der Weiche.
In diesem Fall entgleist der Wagen.

Um zu testen, welcher Prozentsatz sich für die hier entwickelte Auflösung des Dilemmas entscheiden würde, habe ich die gleiche Frage wie in Awad (2020) gestellt, aber zusätzlich zu den beiden dort verwendeten Optionen eine dritte Möglichkeit zur Auswahl hinzugefügt:

¹⁷ Um die Entgleisungsmethode als Lösungsansatz zu unterbinden, könnte in der Problembeschreibung festgelegt werden, dass sich die Gleisarbeiter unmittelbar hinter der Weiche befinden sollen. Dadurch könnte mit hoher Wahrscheinlichkeit garantiert werden, dass auch ein entgleisender Zug die Arbeiter treffen würde. Um auch in diesem Fall einen Ausweg zu finden, müsste der Wagen genau in die Mitte der Gleisrichtungen abgelenkt werden. Ob dies auf dem Weg der ungenutzten Separationsprinzipien erreicht werden könnte, wäre zu prüfen. Dass es mehrere (für Laien unerwartete) Möglichkeiten gibt, einen Zug zu stoppen, zeigt diese ca. 30000 Wörter lange Diskussion, die im Mai 2002 in einem Online-Forum zum Thema Bahnsicherheit geführt wurde (Anonymous, 2002). Die die Diskussion auslösende Frage lautete: „Wie kann ich einen Zug stoppen?“

Lege den Hebel in dem Moment um, in dem der Güterwagen die Weiche überfährt, sodass dessen Vorderräder und Hinterräder auf unterschiedliche Spuren geraten, entgleisen und der Wagen also zum Stillstand kommt.¹⁸

Die Umfrage wurde auf SurveySwap online gestellt und erhielt zwischen dem 3.11.2022 und 01.02.2023 97 Antworten (siehe die erhobenen Daten in Schollmeyer, 2023a). Der Prozentsatz derer, die sich dafür entschieden, nichts zu tun, lag bei 15,5%. 75,2% entschieden sich dafür, den Versuch zu unternehmen, den Wagen zum Entgleisen zu bringen, während 9,3% angaben, die Weiche so umstellen zu wollen, dass der Wagen auf das Nebengleis mit einer einzelnen Person gerät. Erwartungsgemäß war die mit Abstand populärste Option also die über den ARIZ gewonnene Entgleisungs-Lösung (siehe Fig. 5).

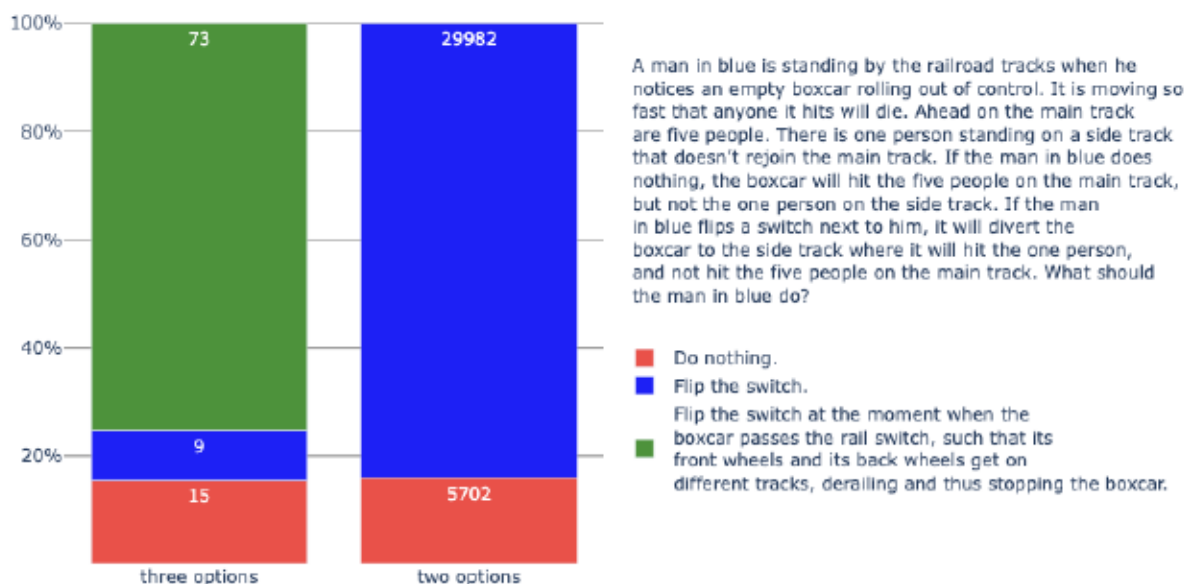


Fig. 5: Umfrageergebnisse aus Awad et al. (2020) (rechts) und Ergebnisse einer Umfrage, die bei gleicher Fragestellung und gleichen Antwortmöglichkeiten eine dritte Option enthält, die einen Ausweg aus dem Dilemma anbietet (links). Wenig überraschend entscheidet sich die Mehrheit der Befragten dafür, zu versuchen, keinen der Gleisarbeiter zu töten. Überraschenderweise ist der Anteil derer, die sich dafür entscheiden, nichts zu tun (und damit die fünf Gleisarbeiter aller

¹⁸ „Flip the switch at the moment when the boxcar passes the rail switch, such that its front wheels and its back wheels get on different tracks, derailing and thus stopping the boxcar.”

Voraussicht nach ums Leben kommen zu lassen) in beiden Umfragen gleich (15,4% vs. 16%, p-value 0,89). Der der Analyse zugrunde liegende Code findet sich in Schollmeyer 2023b.

Dass sich am Prozentsatz derer, die sich dafür entschieden haben, nichts zu tun, mit dem Hinzufügen der dritten Option nichts Wesentliches ändert, ist erstaunlich (p-value 0,89). Denn gemeinhin wird die Entscheidung, nichts zu tun, so gedeutet, dass das Leben von fünf Personen nicht über das Leben von einer Person gestellt werden soll. Diese Interpretation wird durch den Befund, dass der Anteil derer, die diese Entscheidung treffen, unverändert bleibt, herausgefordert, da die dritte Option die Möglichkeit eröffnet, das Leben aller zu retten.

Das wesentliche Fazit dieser Umfrage ist jedoch, dass ein Großteil der Befragten es für moralisch geboten hält, den Wagen zum Entgleisen zu bringen (75%). Um diese Möglichkeit aber überhaupt erst sehen zu können, musste das Dilemma – entweder für den Tod einer Person oder für den Tod von fünf Personen verantwortlich zu werden –, in ein Scheindilemma überführt werden. Damit wird deutlich, dass es moralisch geboten ist, in einer dilemmatischen Situation zunächst zu überprüfen, ob es sich tatsächlich um ein Dilemma handelt. Dafür ist laut Tomić (2013) erfinderisches Denken nötig und es hat sich gezeigt, dass der ARIZ in seiner verallgemeinerten Form (Schollmeyer/Tamuzs, 2018) diesen Typ von Denken unterstützen kann und sich somit als Test auf Scheindilemmatizität eignet.

4.3 Ergänzungen zum Widerspruchsmanagement

Es wurde gezeigt, wie Altschüllers *Algorithmus zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (ARIZ) in der verallgemeinerten Version von Schollmeyer/Tamuzs (2018) genutzt werden kann, um Dilemmas auf ihre Echtheit zu prüfen. In dilemmatischen Entscheidungssituationen wird daher empfohlen, das Problem zuallererst im Sinne dieser Schrittreihenfolge zu analysieren, um den Fehlschluss des falschen Dilemmas möglichst zu vermeiden. Sollte sich das Problem als ein echtes Dilemma erweisen, greift die von Müller-Christ (2007) vorgeschlagene Methodik.

Damit kann Müller-Christ's Ansatz (siehe Fig. 1 in 2.2) um diesen einfachen Schritt ergänzt werden, über den sichergestellt werden soll, dass schmerzliche Entscheidungen in dilemmatischen Ausgangslagen nach bestem Wissen und Gewissen getroffen werden können.

Zusätzlich dazu wird vorgeschlagen, die drei Formen zum Umgang mit echten Widersprüchen – Sequentialisierung, Segmentierung und Balancieren – durch die Separationsprinzipien, die in der TRIZ verwendet werden – Zeit, Raum und System-Ebene (siehe Schritt 4 im ARIZ) – zu ersetzen. Diese in der TRIZ verwendeten Prinzipien können auf die erkenntnistheoretisch allgemeinste Unterscheidung der Transzendental-Philosophie bei Immanuel Kant (1998) zurückgeführt werden: Die Unterscheidung von Anschauung und Verstand. Die allgemeinsten Formen der Anschauung nach Kant sind *Raum* und *Zeit*. Der Verstand wiederum ist als das Vermögen begrifflichen Denkens definiert, wobei der Zusammenhang von Begriffen untereinander als hierarchisches System gedacht wird. Die Gesichtspunkte Raum, Zeit und System-Ebene umfassen somit die allgemeinsten, wesentlich voneinander unterschiedenen Gesichtspunkte, den Lösungsraum der Separierung einzuteilen (*Sequentialisierung*, *Segmentierung* und *Balancieren* sind darin enthalten). Die Lösungsprinzipien der TRIZ (siehe etwa Alschuller, 1984; Zobel, 2018) können als weitere Inspirationsquelle herangezogen werden, um Ideen zum Umgang mit widersprüchlichen Anforderungen zu generieren. Die Vorschläge zur Ergänzung des Ansatzes von Müller-Christ (2007, 2011, 2014) sind in Fig. 6 zusammengefasst.

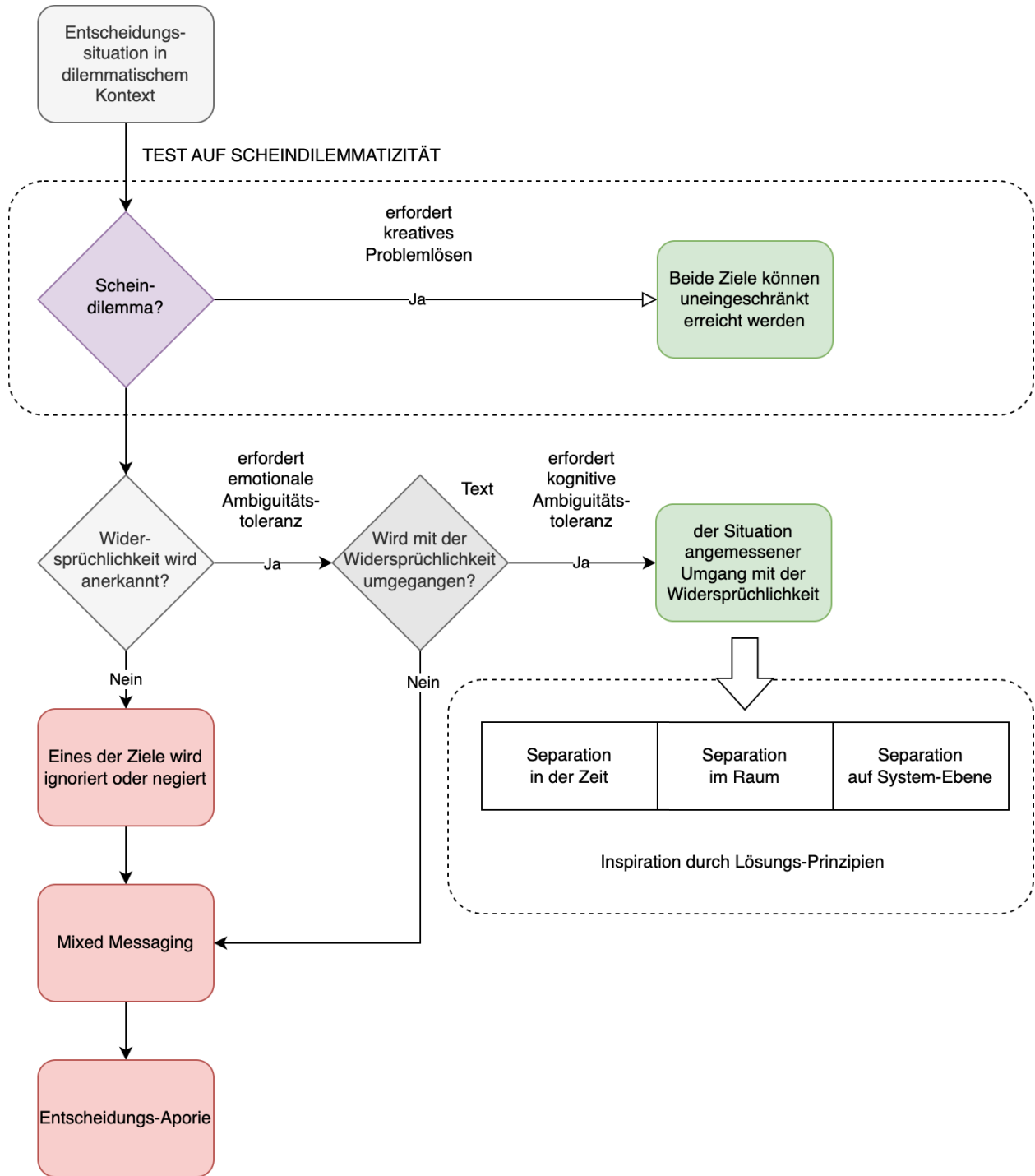


Fig. 6: Darstellung der vorgeschlagenen Ergänzungen zur Entscheidungsfindung in dilemmatischen Entscheidungssituationen nach Müller-Christ/Weßling (2007), die in Fig. 1 dargestellt wurde. Die gestrichelt umrandeten Kästen zeigen die Ergänzungen: (i) den Test auf Scheindilemmatizität und (ii) die Modifizierung der Umgangsweisen mit echten Widersprüchen.

5. Ressourcenknappheit und Nachhaltigkeit

Wie schon der Titel von Müller-Christ (2014) suggeriert,¹⁹ ruht die Essenz dieses Ansatzes zum Nachhaltigkeitsmanagement auf zwei Schwerpunktsetzungen: *Management von Widersprüchen* und *Ressourcenorientierung*. Während sich der erste Teil dieser Synopse mit dem Management von Widersprüchen auseinandersetzt, soll es im kommenden Teil um die Ressourcenorientierung gehen. In der Absicht die *Theorie zum erfinderischen Problemlösen* (TRIZ) und Nachhaltigkeitsmanagement nach Müller-Christ (2014) aufeinander zu beziehen, konnte gezeigt werden, dass der Ansatz von Müller-Christ (2014) um einen Test auf Scheindilemmatizität ergänzt werden kann (siehe Kapitel 3 und 4). Umgekehrt ist es möglich, die TRIZ um Schlussfolgerungen aus der Ressourcenorientierung des Nachhaltigkeitsmanagements zu erweitern. Darum wird es in den folgenden Abschnitten gehen.

5.1 Ressourcen-Typen aus thermodynamischer Sicht

Als instrumentelle Grundlage sämtlicher wirtschaftlicher Aktivität bzw. Arbeit spielen Ressourcen eine zentrale Rolle in Müller-Christ's Ansatz zum Nachhaltigkeitsmanagement (2011, 8). Genau wie in der TRIZ werden sie im weitesten Sinne als Mittel in Mittel-Zweck-Beziehungen verstanden. Obwohl diese Formulierung sowohl materielle als auch immaterielle Ressourcen einbezieht, möchte ich mich hier auf materielle Ressourcen beschränken und eine thermodynamische Perspektive einnehmen, um Schlussfolgerungen für die Trends der Technikentwicklung nach Altschuller (1984) zu ziehen.

Die in einem geschlossenen System zur Verfügung stehende Materie bzw. Energie ist begrenzt und kann nach dem ersten Satz der Thermodynamik weder erschaffen noch vernichtet, sondern nur umgeformt werden. Folgerichtig ist der maximal mögliche Wirkungsgrad (d.h. das Verhältnis von genutzter Energie zu aufgewendeter Energie) bei der Verrichtung von Arbeit I . Da nur ein Teil der aufgewendeten Energie in Arbeit umgewandelt werden kann und der Rest in Form von Wärme abgegeben wird, ist – mit Ausnahme von Systemen, die Nutzenergie in Wärme umwandeln – der Wirkungsgrad immer niedriger als I . Prozesse des Wirtschaftens führen wegen des ersten und zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik daher zu einer ständigen Energie- und

¹⁹ Der Titel lautet: *Nachhaltiges Management: Einführung in Ressourcenorientierung und widersprüchliche Managementrationalitäten*.

Ressourcen-Abwertung, d.h. zur Erzeugung von Wärme, die nicht 1:1 zurückverwandelt werden kann (siehe Baehr/Kabelac, 2006, 94ff.).

Dass sich auf dem Planeten Erde dennoch der Reichtum des Lebens entwickeln konnte, ist primär möglich, weil die im Fusionsprozess ihre eigenen Wasserstoff-Ressourcen aufbrauchende Sonne Energie frei zur Verfügung stellt. Schätzungsweise reichen diese Ressourcen noch etwa 5 Milliarden Jahre, bevor unsere Sonne sich in einen roten Riesen verwandelt und voraussichtlich die Erde samt Merkur und Venus verschlingt (Hendrix/Thompson, 2020). Das Potential der Solarenergie auf der Erde liegt global bei etwa 100000 TW und ist damit etwa 4 Größenordnungen höher als die 18 TW (Stand 2018) des gesamten Energieverbrauchs der Menschheit (Platt et al., 2022). Etwa 1% der Solarenergie wird in Wind umgewandelt (ebd.). Der nukleare Zerfall im Erdinneren steuert mit weniger als 50 TW einen um 4 Größenordnungen kleineren Anteil zum Energiehaushalt der Erde bei (ebd.). Eine weitere Größenordnung darunter befindet sich die Gezeitenenergie (ebd., siehe Fig. 7).

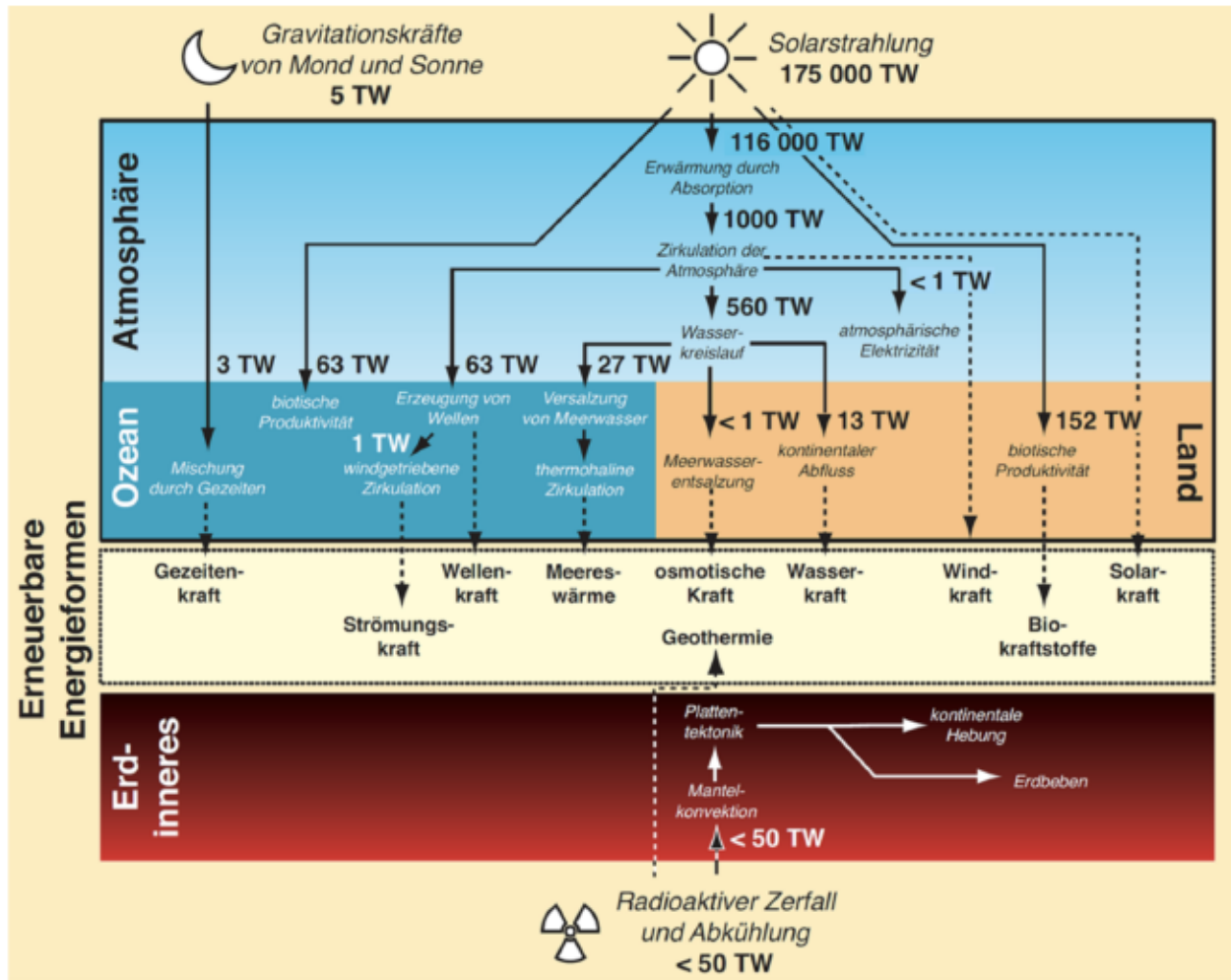


Fig. 7: Abschätzung der Raten von Erzeugung und Übertragung „freier“ Energie auf der Erde.
Quelle: Platt et al., 2022.

Die verbleibenden 5 Milliarden Jahre, in denen die Sonne die Erde mit Energie versorgt, ist auch in etwa der Zeitraum (4,6 Milliarden Jahre), der vergangen ist, seitdem sich die Erde zusammen mit den übrigen Planeten unseres Sonnensystems aus Sternenstaub und Gas geformt hat (Hendrix/Thompson, 2020). Die chemischen Elemente, aus denen sich diese Materie zusammensetzt, blicken auf eine noch längere Geschichte in unserem etwa 14 Milliarden Jahre alten Universum zurück (ebd.). Ihr Vorkommen im Sonnensystem und auf der Erde ist somit absolut knapp. Ein Überblick über ihren Ursprung findet sich in Fig. 8.

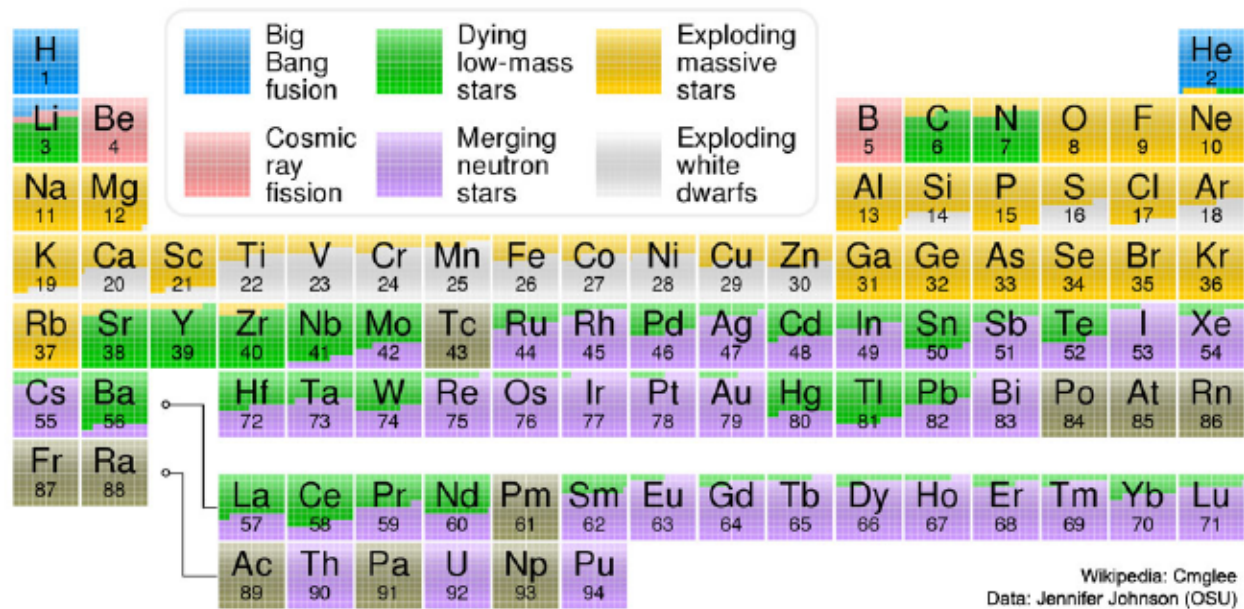


Fig. 8: Periodensystem der Elemente mit Informationen über die Art der Entstehung der jeweiligen Atome (NASA, 2017).

Aufgrund heftiger Kollisionen und radioaktiven Zerfalls war die Materie der Erde zur Zeit ihrer Entstehung weitestgehend geschmolzen. Die dichteren Elemente sanken ins Erdinnere, während die leichteren an der Oberfläche blieben und abkühlten. Bis heute verfügt die Erde daher über einen dichten metallischen Kern, der im Zentrum etwa 6000°C heiß ist und den Planeten von innen für weitere Milliarden Jahre mit Wärme versorgt (siehe Fig. 7). Dieser Kern wird von einem weniger dichten Gesteinsmantel eingeschlossen, der wiederum von einer noch weniger dichten Erdkruste umgeben ist (Hendrix/Thompson, 2020).

Diese beständige Energiezufuhr von außen (Sonnenenergie, Gravitation in Sonnensystem und Galaxie) und von innen (Wärme vom Erdkern) war und ist dafür nötig, dass sich Leben über Jahrmillionen hinweg auf der Erde entwickeln konnte. Denn ähnlich wie alle Formen des Wirtschaftens basiert auch Leben auf einem fortwährenden Stoffwechsel, für den die gleichen Gesetzmäßigkeiten der Energieumwandlung gelten. Ohne stabile Energiezufuhr würde die mit dem lebensnotwendigen Stoffwechsel verbundene Energie-Abwertung in vergleichsweise kurzer Zeit zum Ende allen Lebens führen.

Die Evolution von Leben auf der Erde ist somit nur deshalb möglich, weil (i) die ständiger Abwertung unterliegenden Energieressourcen über die Zeit hinweg stabil zur Verfügung gestellt werden (Sonne, Erdrotation, Geothermie, etc.), während (ii) das endliche

Kontingent der übrigen lebensnotwendigen Ressourcen (z.B. Kohlenstoff, Wasser, etc.) ohne nennenswerten Qualitätsverlust in den Kreislauf zurückgegeben wird. Dank der von außen frei zur Verfügung gestellten Energie sorgt das organische System von Primärproduzenten (Produktion von Biomasse durch Phototrophie),²⁰ Konsumenten (Herbivore und Carnivore), Destruenten (Bakterien und Pilze) und Detritivoren (Tiere, die sich von toter organischer Materie ernähren) dafür, dass die Qualität von Ressourcen aus Sicht des Lebens sogar aufgewertet wird (Topsoil, etc.), was wegen der zusätzlich gespeicherten Energie immer komplexeres Leben möglich macht (siehe Begon et al., 2017).

Um Ressourcen-Typen einzuteilen, wird gemeinhin von *erneuerbaren* und *nicht erneuerbaren* Ressourcen gesprochen (siehe etwa Begon et al., 2017; Tiwary et al., 2022). Diese Unterscheidung ist jedoch irreführend, da Erneuerung oder Nicht-Erneuerung primär davon abhängt, ob die Energie für den jeweils erforderlichen Prozess aufgewendet wird. In diesem Sinne ist nahezu alles erneuerbar. Aus Sicht der Energiebilanz wiederum ist nichts im radikalen Sinne erneuerbar, zumindest so lange an den ersten beiden Sätzen der Thermodynamik festgehalten wird. Vielmehr findet eine Umformung statt, bei der ein Teil absolut knapper Energie als Wärme verloren geht.

Statt der üblichen Unterscheidung von erneuerbar und nicht erneuerbar wird für den Zweck dieser Arbeit eine alternative Unterscheidung von Ressourcentypen anhand ihrer prinzipiellen Konsumrate getroffen. Die Konsumrate ist definiert als das Verhältnis von konsumierter Quantität zu produzierter Quantität in einem beliebigen Zeitintervall:

$$\text{Konsumrate} = \frac{\text{konsumierte Quantität}}{\text{produzierte Quantität}}$$

- Typ 1: Eine Konsumrate, die prinzipiell kleiner ist als 1, liegt dann vor, wenn Ressourcen angezapft werden, die so oder so frei zur Verfügung stehen. In diesem Fall kann nie mehr konsumiert als produziert werden, weshalb der Grenzwert der Konsumrate maximal 1 beträgt. Dies ist der Fall für die Verwendung von Solarenergie, Windenergie, Geothermie und Gezeitenenergie.

²⁰ Zur Taxonomie und Produktivität phototrophen Lebens siehe Overmann/Garcia-Pichel (2013).

- Typ 2: Ressourcen mit einer Konsumrate, die prinzipiell größer als oder gleich 1 ist, bezieht sich auf Ressourcen, deren Vorkommen absolut knapp ist. Durch Recycling kann der Verbrauch derartiger Ressourcen wieder ausgeglichen werden.²¹
- Typ 3: Ressourcen, deren Konsumrate größer, kleiner oder gleich 1 sein kann, sind nachwachsende Ressourcen, wie z.B. Biomasse, fossile Brennstoffe, Mutterboden (Topsoil) oder Müll.

Tabelle 8: Unterscheidung von Ressourcen-Typen anhand ihrer Konsumrate.

Typ 1 Konsumrate < 1	Typ 2 Konsumrate > 1	Typ 3 Konsumrate < > =
Solar, Wind, Gezeiten, Geothermie	Mineralien, Metalle, Nuklearer Treibstoff	Biomasse, Mutterboden, Fossile Brennstoffe, Müll

Alle drei Ressourcen-Typen sind auf ihre je eigene Weise knapp:

- Typ 1: Die Rate der Energiezufuhr ist begrenzt (im Fall der Sonne z.B. etwa 1000 Watt pro Quadratmeter an einem wolkenlosen Mittag am Äquator – generell ist die Rate stark orts- und zeitabhängig).
- Typ 2: Das absolute Vorkommen einer bestimmten Ressource ist begrenzt (z.B. Goldvorkommen auf der Erde; für einen Überblick über typische Konzentrationen ausgewählter Metalle in der Erdkruste siehe z.B. Begon et al., 2017, 90).
- Typ 3: Sowohl das Vorkommen als auch dessen Reproduktionsrate sind begrenzt (siehe z.B. Reserven an fossilen Brennstoffen in International Energy Agency, 2022, 467; die Reserven fossiler Brennstoffe, die die Menschheit in nur wenigen hundert Jahren aufgebraucht hat, sind über einen Zeitraum mehrerer 100 Millionen Jahre entstanden).

²¹ Durch beispielsweise nukleare Transmutation kann die Produktion einer Ressource de facto größer sein als der Konsum derselben. Zwar scheint dies aus pragmatischen Gesichtspunkten eher abwegig zu sein, aber die Möglichkeit besteht. Sollte es sich dabei um einen sinnvollen Prozess handeln, könnte die entsprechende Ressource als Typ-3 Ressource umklassifiziert werden.

5.2 Nachhaltiger Ressourcenverbrauch

Nachhaltiger Umgang mit Ressourcen liegt dann vor, wenn die Konsum- und Reproduktionsrate von Ressourcen des Typs 2 und 3 ausgeglichen sind. Da dafür zusätzliche Energie nötig ist, ist dies nur dann möglich, wenn dafür als Energiezufuhr Quellen des Typs 1 verwendet werden. Wenig überraschend ist daher auch nahezu alles Leben entweder direkt oder indirekt von der Typ-1-Ressource Sonnenenergie abhängig (siehe z.B. Begon et al., 2017). Direkt von Sonnenenergie abhängig, verwandeln phototrophe Bakterien und Pflanzen Sonnenenergie in organisch-chemische Energieträger, während Lebewesen, die sich von Pflanzen oder von in der Nahrungspyramide entfernteren Lebewesen ernähren, diese Energie nach dem Räuber-Beute-Schema als Typ-3-Ressource konsumieren.

Konsum im Räuber-Beute-Schema führt zu Lotka-Volterra-Zyklen (siehe z.B. Begon et al., 2017, 254), die das Verhältnis von Räuber- und Beute-Populationen beschreiben (siehe Fig. 9). Je größer die Beutepopulation, desto größer die Nahrungsquelle, die der Räuberpopulation zur Verfügung steht. Infolge dieser günstigen Versorgungslage wächst die Räuberpopulation, was mit dem erhöhten Konsum der Beutepopulation einhergeht. Folgerichtig schrumpft die Beutepopulation, weshalb sich die Versorgungslage der Räuberpopulation zunehmend verschlechtert. Daraufhin schrumpft auch die Räuberpopulation wieder, weshalb der Druck auf die Beutepopulation entsprechend abfällt. Allmählich erholt sich nun auch die Beutepopulation wieder (dh. sie wächst) und der Zyklus beginnt von Neuem.

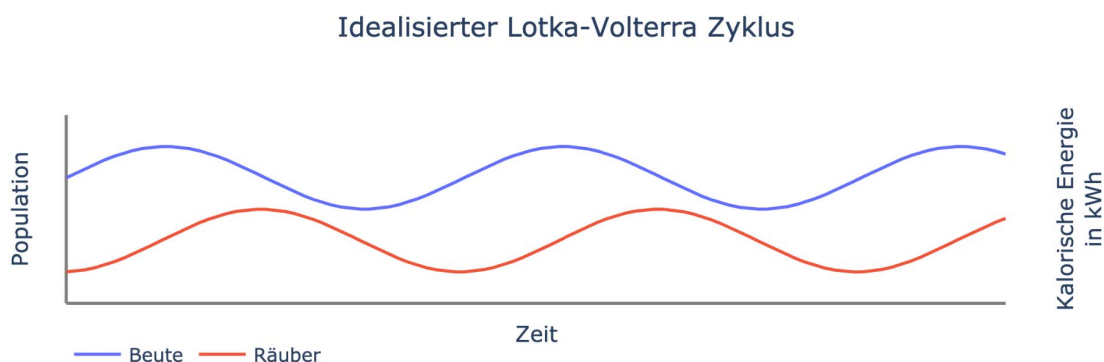


Fig. 9: Idealisierter Lotka-Volterra-Zyklus. Je größer die Beutepopulation, desto mehr Nahrungsreserven stehen der Räuberpopulation zur Verfügung. Wächst die Räuberpopulation,

wird die Beutepopulation schneller dezimiert. Die Versorgungslage für die Räuberpopulation wird schlechter, ihr Bestand geht zurück und infolgedessen kann sich der Bestand der Beutespezies wieder erholen. Für reale Messungen dieser Kopplung siehe Begon et al. (2017, 257), die die Daten von Yoshida et al. (2003) und MacLulich (1937) präsentieren.

Die Population der Beute auf der y-Achse kann ebenso gut als kalorische Energiemenge wiedergegeben werden (siehe Fig 9). Eine Räuberpopulation, deren Konsumrate an die Regenerationsrate der Beutepopulation angepasst wäre, würde solchen Schwankungen nicht unterliegen und wäre nachhaltig.

5.3 Unnachhaltiger Energieverbrauch der Menschheit

Der Blick auf den Energieverbrauch der Menschheit verrät eine starke Abhängigkeit von Typ-3-Ressourcen. Stand 2021, 77% des globalen Verbrauchs (Our World in Data, 2023; siehe Fig. 10)²² stammen von fossilen Energieträgern, die innerhalb von mehreren 100 Millionen Jahren entstanden sind (Hendrix, 2020, 99ff.). Die Konsumrate der Menschheit, die sämtliche Ressourcen in wenigen 100 Jahren aufgebraucht haben wird, liegt somit um etliche Größenordnungen höher als die Regenerationsrate fossiler Brennstoffe und ist entsprechend unnachhaltig (zu den verbleibenden Reserven siehe International Energy Agency, 2022, 467). Ebenfalls vom Typ 3 sind Biomasse und Biotreibstoffe. 7% des globalen Energieverbrauchs gehen auf sie zurück. Insoweit die Regenerationsraten der Konsumrate entsprechen, können sie in zumindest dieser Hinsicht als nachhaltig angesehen werden. Als Ressourcen des Typs 1 machen Windenergie, Sonnenenergie und Wasserkraft 11% der globalen Energieversorgung aus. Sie sind der Grund dafür, dass Nachhaltigkeit von Ressourcen des Typs 3 im System Erde überhaupt erst möglich wird (siehe 5.1). Von den übrigen Prozenten fallen 4% des globalen Verbrauchs auf Nuklearenergie, die als Typ-2-Ressource als nicht nachhaltig eingestuft werden muss. Die verbleibenden 1% sind andere erneuerbare Energien.

²² Die Daten in Our World in Data (2023) stammen von BP (2022) und Smil (2017). Our World in Data (2023) stellt Vergleichbarkeit zwischen den Energieformen und Datensätzen her, indem (i) in Terrawatt-Stunden umgerechnet wird und (ii) nicht fossile Energiequellen zu ihren fossilen Input-Äquivalenten konvertiert werden (dadurch werden nicht-fossile Energiequellen so behandelt als hätten sie die gleichen Ineffizienzen wie fossile Brennstoffe; ohne diese Konvertierung wäre der Prozentsatz an fossilen Brennstoffen im weltweiten Mix größer).

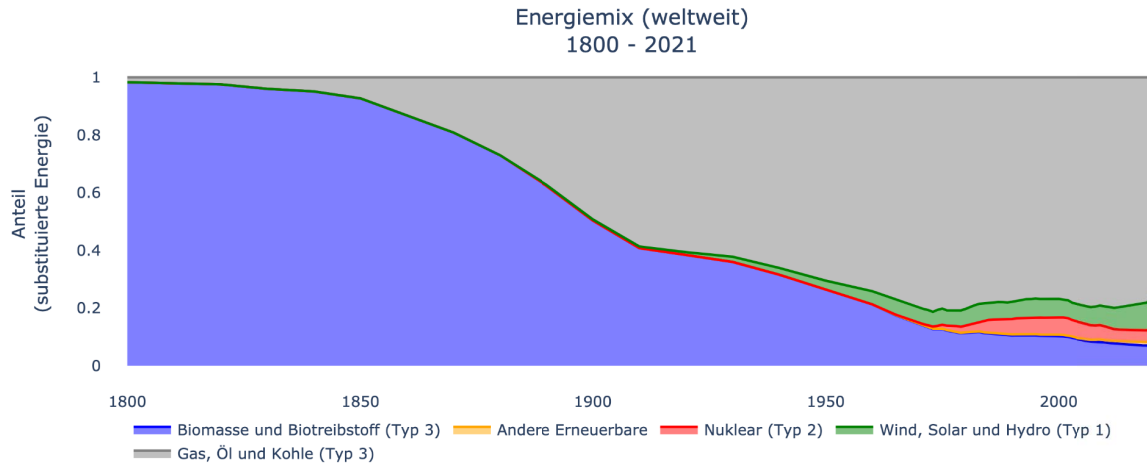


Fig. 10: Die Grafik zeigt Anteile von Energiequellen am globalen Primärenergie-Mix. Die zugrundeliegenden Daten stammen von *Our World in Data* (2023) und sind zusammengesetzt aus Daten von BP (2022) und Smil (2017). *Our World in Data* (2023) stellt Vergleichbarkeit zwischen den Energieformen und Datensätzen her, indem (i) in Terrawatt-Stunden umgerechnet wird und (ii) nicht fossile Energiequellen zu ihren fossilen Input-Äquivalenten konvertiert werden (dadurch werden nicht-fossile Energiequellen so behandelt als hätten sie die gleichen Ineffizienzen wie fossile Brennstoffe; ohne diese Konvertierung wäre der Prozentsatz an fossilen Brennstoffen im weltweiten Mix größer).

Mit Blick auf Lotka-Volterra-Dynamiken kann festgestellt werden, dass sich die Menschheit nach wie vor im Wachstumsmodus befindet, was folgerichtig mit einem Wachstum des Energieverbrauchs einhergeht (siehe Fig. 11). Da jedoch weniger als ein Fünftel dieses Verbrauchs nachhaltig ist, deutet sich hier eine Katastrophe an (ganz unabhängig vom Problem des Klimawandels). Denn selbst wenn unsere Technologien einen Wirkungsgrad von 100% hätten, bliebe das Problem der fehlenden Rückerneuerung der Energieträger – und damit die entsprechenden Lotka-Volterra-Dynamiken – bestehen. Maximale Effizienz in der Ressourcenverwertung ist somit nicht hinreichend für Nachhaltigkeit, weshalb sich Nachhaltigkeit auch nicht auf Effizienz reduzieren lässt (siehe dazu Müller-Christ 2011; 2014).

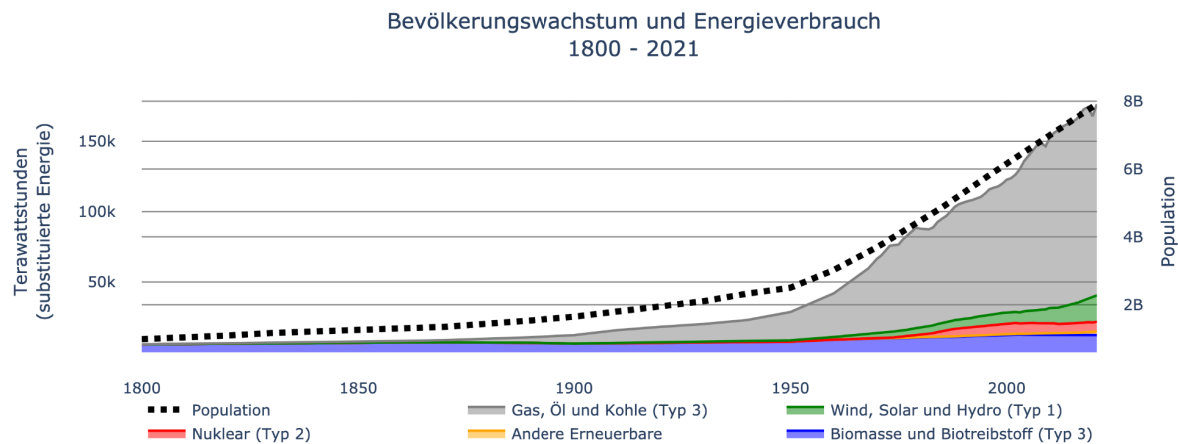


Fig. 11: Die Grafik zeigt den absoluten Primärenergie-Verbrauch nach Energiequellen und die Weltpopulation. Der große Anteil an Typ-3-Ressourcen deutet auf den Beginn eines Lotka-Volterra-Zyklus hin. Zu den zugrundeliegenden Daten und der Substitution von nicht-fossilen Energiequellen siehe Fig. 10. Der Datensatz zur Population stammt von Our World in Data (2022), welcher sich wiederum aus Daten von Gapminder (2022) und United Nations (2022) zusammensetzt.

Mit dem Ausbau der Energienutzung von Typ-1-Ressourcen ist die Menschheit dabei, wieder auf den Pfad bewährter biologischer Evolutionsprinzipien zurückzukehren. Doch um tatsächlich nachhaltig zu werden, müssten hier etliche weitere Abzweigungen genommen werden. Im Gegensatz zu biologischen Systemen der Energietransformation, die vollständig in den Ressourcenkreislauf zurückgehen, sind Wind- und Solaranlagen nicht nur abhängig von Typ-2-Ressourcen, ihr Recycling ist nicht garantiert. Curtis et al. (2021) beispielsweise schätzt, dass in den USA zur Zeit weniger als 10% der verbrauchten Photovoltaic-Module recycled werden. Von der erforderlichen Eleganz biologischer Stoffkreisläufe ist dieser Ausweg aus dem drohenden Lotka-Volterra-Kollaps somit noch weit entfernt.

5.4 Nachhaltigkeit der Ressourcennutzung in TRIZ ist nicht garantiert

Während der *Algorithmus zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (Altshuller, 1985) dem Widerspruchsmanagement nach Müller-Christ (2011; 2014) eine Methode zur Dilemma-Überprüfung anbietet (siehe Kapitel 4), wird mit Müller-Christ's Ansatz eine Schwachstelle der *Theorie zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (TRIZ) deutlich: das Fehlen einer

reflektierten Ressourcen-Perspektive. Seit Mitte des 19ten Jahrhunderts ist deutlich zu beobachten, dass die Menschheit beginnt, sich von nachwachsenden Rohstoffen des Typs 3 abzuwenden und sich stattdessen vermehrt fossiler Brennstoffe zu bedienen (siehe Fig. 10). Das Wachstum des Anteils fossiler Energieträger am weltweiten Energiemix hielt bis zu den frühen 1970er Jahren an und begann sich dann bei etwa 80% zu stabilisieren (siehe Fig. 10 und 12).

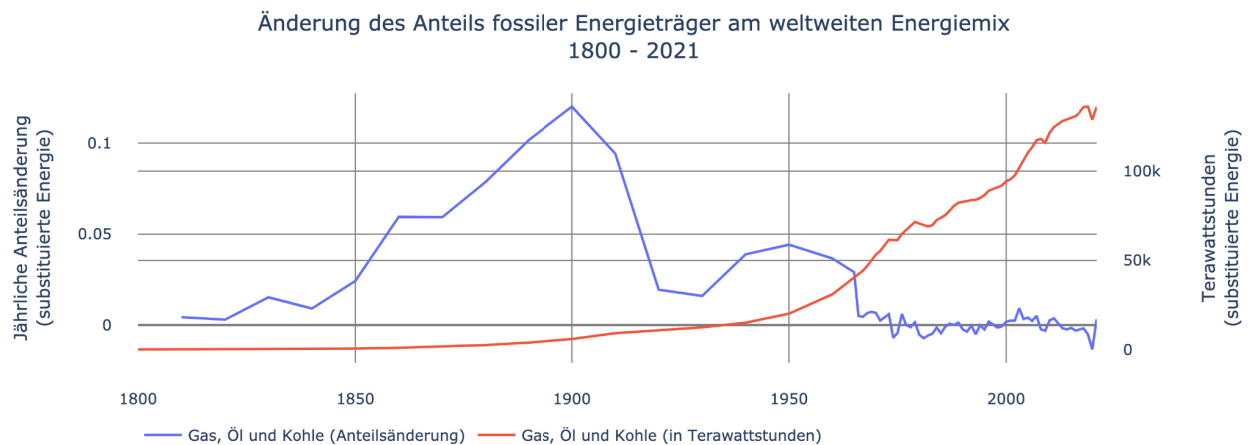


Fig. 12: Änderung des Anteils fossiler Energieträger am weltweiten Energiemix. Seit den 1970er Jahren findet kaum eine Änderung am relativen Verbrauch statt, wobei der absolute Verbrauch linear zunimmt.

Da Altschullers TRIZ auf der Analyse von Patenten basiert (Altschuller, 1984; Fey/Rivin, 2005) und im russischsprachigen Raum das erste Patentgesetz erst 1812 unterzeichnet wurde (siehe Presidential Library, n.d.), stammen die Patente, auf die er sich in seinen in den 1940/50er Jahren beginnenden Studien beziehen konnte, aus dieser Blütezeit der wachsenden Verwendung fossiler Energieträger. Dass sich Altschuller der Wichtigkeit von Energie bewusst ist, wird in seinen Gesetzmäßigkeiten der Technikentwicklung deutlich (Altschuller, 1984; Schollmeyer/Tamuzs, 2019). Dass technische Systeme Energie umwandeln, gehört sogar zum ersten seiner acht Gesetze der Technikentwicklung, die da lauten:

1. Die Gesetzmäßigkeit der System-Vollständigkeit
2. Die Gesetzmäßigkeit der Energie-Transmission
3. Die Gesetzmäßigkeit der Synchronisierung
4. Die Gesetzmäßigkeit wachsender Idealität

5. Die Gesetzmäßigkeit ungleichmäßiger Entwicklung der Sub-Systeme
6. Die Gesetzmäßigkeit des Übergangs zum Super-System-Level
7. Die Gesetzmäßigkeit des Übergangs vom Makro- zum Mikro-Level
8. Die Gesetzmäßigkeit des zunehmenden Gebrauchs von Substanz-Feld-Systemen

Für eine ausführlichere Bestimmung dieser Gesetzmäßigkeiten siehe Schollmeyer/Tamuzs (2019). Dort wurde auch gezeigt, dass Altschullers acht Gesetzmäßigkeiten aus dem Begriff instrumenteller Systeme und deren Konkurrenzfähigkeit im Kontext knapper Ressourcen und Wettbewerbs abgeleitet werden können. Altschuller hingegen bestand darauf, dass sie aus der Analyse von Patenten hervorgegangen sind (Altschuller, 1984; Schollmeyer/Tamuzs, 2019). Diese induktive Vorgehensweise Altschullers hat zwei Nachteile:

1. Da die Gesetzmäßigkeiten von keinem Prinzip abgeleitet worden sind, bleiben die Bedingungen ihrer Gültigkeit unklar. Die Grenzen der Gültigkeit von Altschullers Gesetzmäßigkeiten wurden in Schollmeyer/Tamuzs (2019) ausgeleuchtet und explizit gemacht. In diesem Zusammenhang wird gezeigt, dass Altschullers auf Patentanalyse basierender induktiver Ansatz eher dazu dienen kann, deduzierte Trends bzw. Gesetzmäßigkeiten zu validieren und zu falsifizieren.
2. Da sich Altschullers induktiver Ansatz nur auf eine begrenzte Technologiesgeschichte beziehen kann, bleibt er für bestimmte Langzeittrends blind.

Diese zweite Schwachstelle führt direkt zu Altschullers Missachtung der Ressourcenabhängigkeit instrumenteller Systeme und der sich daraus ergebenden Folgen. Für Müller-Christ's Ansatz ist diese Abhängigkeit hingegen fundamental und wird sogar als der Ursprung des Widerspruchs zwischen Nachhaltigkeit und Effizienz verstanden (Müller-Christ, 2011, 138f.).

In Abschnitt 5.2 wurde bereits darauf hingewiesen, was echte Nachhaltigkeit im Kontext von Typ-1, Typ-2 und Typ-3-Ressourcen impliziert. Hätte Altschuller nicht nur technische Patente analysiert, sondern auch die Lösungen, die in der Natur vorkommen (derartige Versuche finden sich z.B. bei Mann 2011 oder Bogatyrev/Bogatyreva, 2014), dann hätte ihm auffallen müssen, dass die Millionen Jahre währende Evolution von Leben zwangsläufig auf einen

nachhaltigen Gebrauch von Ressourcen angewiesen war. Für einen solchen nachhaltigen Gebrauch sind die Grundsätze der Thermodynamik entscheidend. Dass Energie weder erzeugt noch vernichtet, sondern nur umgewandelt werden kann, ist Altschuller selbstverständlich bewusst, doch die Konsequenzen ließen sich im Zeitalter fossiler Energieträger nur bedingt in Patenten finden und fanden daher keinen Eingang in Altschullers Gesetze der Technikentwicklung. Da die Rate, in der Energie mittels fossiler Energieträger bei Bedarf zur Verfügung gestellt werden kann, sehr viel höher ist als die Rate, in der die Sonne eine begrenzte Fläche mit Energie versorgt, konnten sich seit dem 18ten Jahrhundert immer energie-intensivere Systeme herausbilden. Diese Intensität wurde jedoch über den rasanten Verbrauch existierender Ressourcen erkaufte. Die sich daraus entwickelnden Systeme stehen daher auf unsicherem Grund. Gesetze der Technikentwicklung, die nur wenige hundert Jahre beschreiben können, sind weder Gesetze noch sind sie im evolutionären Kontext, in dem es um Jahrtausende geht, bedeutsam. Um einen stabilen Boden einzuziehen, müsste Altschuller seinen Gesetzmäßigkeiten daher eine weitere hinzufügen:

9. Die Gesetzmäßigkeit der zuverlässigen Ressourcenversorgung

Schollmeyer/Tamuzs (2019) macht deutlich, dass Altschullers Gesetzmäßigkeiten über das *Prinzip der Idealisierung* – d.h. durch die Annahme wünschenswerter Extremwerte für notwendige Parameter instrumenteller Systeme – generiert werden können. Auf die Ressourcenfrage angewendet, lässt sich feststellen, dass jedes instrumentelle System aus Ressourcen gefertigt wird und dass es, solange es seine Primärfunktion liefern soll, weitere Ressourcen konsumiert. Für diese Ressourcen lässt sich nach dem *Zeitraum ihrer Verfügbarkeit* fragen. Je länger dieser Zeitraum ist, desto besser sind die Aussichten für die potentielle Langlebigkeit des infrage stehenden Systems. Der Wert des Parameters des Zeitraums der Ressourcenverfügbarkeit sollte dem Prinzip der Idealisierung zufolge daher maximal sein. Aus dieser Forderung lassen sich Ableitungen für die drei Ressourcen-Typen (siehe Abschnitt 5.1) treffen, die als Design-Prinzipien verstanden werden können. So besagt die *Gesetzmäßigkeit der zuverlässigen Ressourcenversorgung*,

- dass Typ-2-Ressourcen (dh. nicht nachwachsende Ressourcen) recycelt werden,²³
- dass Typ-3-Ressourcen (dh. nachwachsende Ressourcen) nicht in höherem Maße konsumiert als regeneriert werden,
- dass Typ-1-Ressourcen so transformiert werden, dass dabei hinreichend viel Überschussenergie bereitgestellt wird, um die erforderlichen Typ-2-Ressourcen zu recyceln und die erforderlichen Typ-3-Ressourcen nachwachsen zu lassen und
- dass am Ende der Lieferkette der Energie, die für Recycling und Regenerierung von Typ-2- und Typ-3-Ressourcen notwendig ist, Typ-1-Ressourcen stehen.²⁴

Systeme, die sich entgegen dieser Gesetzmäßigkeit entwickeln, markieren Rückschritte, da sie aus energetischer Sicht früher untergegangen sein werden als diejenigen Systeme, die auf der Verwendung von Typ-1-Ressourcen basieren.²⁵

Doch auch Typ-1-Ressourcen halten nicht ewig. Die Sonne wird sich in etwa 5 Milliarden Jahren zum roten Riesen ausdehnen und die Erde aller Voraussicht nach verschlingen (Hendrix/Thompson, 2020). Sollte es gelingen, mit Hilfe von Typ-2-Ressourcen ähnlich lange Versorgungszeiträume zu erzeugen, könnten diese Artefakte als Quasi-Typ-1-Ressourcen angesehen werden. Kernfusion – gewissermaßen ein Nachbau der Sonne auf der Erde – ist hier der vielversprechendste Kandidat. Es wird geschätzt, dass die Menschheit dadurch für mehrere Millionen Jahre versorgt werden könnte (Bradshaw et al, 2011). Ob dies gelingen wird, ist jedoch offen. Daraus lässt sich ein weiteres Design-Prinzip formulieren:

- Nutze Typ-2- oder Typ-3-Ressourcen so, dass dadurch Versorgungszeiträume eröffnet werden können, die aus menschlicher Perspektive denen von Typ-1-Ressourcen entsprechen.

²³ Diese Forderung entspricht dem Prinzip der Zirkularität in der Bio-Ökonomie (siehe Jeschke, 2022).

²⁴ Zur thermodynamischen Notwendigkeit der Rückerneuerung von Typ-2 und -3 Ressourcen durch Typ-1-Ressourcen siehe etwa (Röhr 2021). Umgekehrt könnten Müller-Friemuths (2022) F&E-Prinzipien für bioökonomische Disruptionen von einer Reflektion auf die energetischen Voraussetzungen von Stoffwechselprozessen auf der Erde profitieren.

²⁵ Dies ist jedoch nur dann der Fall, wenn die unnachhaltigen energieintensiven Systeme die nachhaltigen nicht vollständig ausgerottet haben.

6. Fazit

6.1 Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wurden (i) Widerspruchsmanagement im Kontext von Nachhaltigkeitsmanagement nach Müller-Christ (2007, 2011, 2014) und (ii) widerspruchsorientierte Lösungsmethoden in Form der *Theorie zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (TRIZ) (Altshuller, 1984, 1985) wechselseitig aufeinander bezogen. Dabei konnte gezeigt werden, dass insbesondere der *Algorithmus zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (ARIZ-85C nach Altshuller, 1985) in seiner verallgemeinerten Form (Schollmeyer/Tamuzs, 2018) als Test auf Scheindilemmatizität verwendet werden kann. Dass es eines solchen Tests bedarf (siehe 3.3 und 3.4), zeigt nicht zuletzt das Beispiel des *Trolley- bzw. Wagenlenker-Dilemmas*. Trotz seiner breiten Verwendung in Moralphilosophie und -psychologie konnte gezeigt werden, dass das Dilemma den Test auf Scheindilemmatizität nicht besteht (siehe 4.2.4). Vielmehr stellte sich heraus, dass es sich um ein Scheindilemma handelt, für das es mindestens eine zufriedenstellende Lösung gibt.²⁶ Über eine Umfrage konnte bestätigt werden, dass die Mehrheit der Befragten diese Lösung für moralisch geboten hält (siehe 4.2.5). Die Lösung wäre jedoch nicht entwickelt worden, wenn das Dilemma nicht auf Scheindilemmatizität überprüft worden wäre. Als Resultat dieser Arbeit wird daher empfohlen, den Test auf Scheindilemmatizität in das Nachhaltigkeitsmanagement nach Müller-Christ (2014) aufzunehmen (siehe 4.3).

In Schollmeyer (2022) wurde unabhängig davon noch eine weitere Methode entwickelt, um anhand von qualitativen Daten (Texte von Angestellten, die ihre Arbeitgeber auf Glassdoor bewerten) sektorspezifische Trade-offs mit Hilfe von *Natural Language Processing* zu identifizieren. In diesem Zusammenhang wurde ein automatisierter Test für Scheindilemmatizität vorgeschlagen, der jedoch für mögliche, bisher nicht entwickelte Lösungen blind ist. Wie diese Methode auch für Texte, die nicht dem Pro-Con-Schema von Bewertungen auf z.B. Glassdoor oder Indeed folgen, weiterentwickelt werden könnte, wird in Schollmeyer (2022) beschrieben. Diese mögliche Weiterentwicklung könnte ein Verfahren an die Hand geben, um auch völlig unstrukturierte Texte für die Identifizierung von Trade-offs nutzbar zu machen.

²⁶ Dieser Beitrag wurde mittlerweile als Schollmeyer (2023c) publiziert.

Angesichts des Sekundärziels dieser Arbeit (siehe 1.3.2) wurde in Schollmeyer/Tamuzs (2019) gezeigt, wie die Gesetzmäßigkeiten der Technikentwicklung der TRIZ (Altshuller, 1984) unter Annahme von Knappheit und Wettbewerb aus dem Begriff instrumenteller Systeme abgeleitet werden können. Da das Verfahren der Ableitung explizit gemacht wurde, kann es auch zur Ableitung weiterer Trends herangezogen werden. Ausgehend von der Ressourcenorientierung des Nachhaltigkeitsmanagements nach Müller-Christ (2014) wurde in 5.4 ein weiterer notwendiger Parameter instrumenteller Systeme identifiziert: *der Zeitraum der Verfügbarkeit systemrelevanter Ressourcen*. Wird dieser Parameter gemäß dem Prinzip der Idealisierung maximal gesetzt (zu dieser Methode siehe Schollmeyer/Tamuzs, 2019), lassen sich unter dem Titel der *Gesetzmäßigkeit zuverlässiger Ressourcenversorgung* Schlussfolgerungen für die Verwendung der drei in 5.1 unterschiedenen Ressourcen-Typen treffen. In diesem Zusammenhang stellte sich auch heraus, dass die Evolution biologischer Systeme diesen abgeleiteten Regeln gefolgt ist.²⁷

6.1 Kritische Reflexion und künftige Forschung

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass beide Ansätze – das *Nachhaltigkeitsmanagement* nach Müller-Christ (2014) und die *Theorie zum erfinderischen Problemlösen* (TRIZ) nach Altshuller (1984) – durch den wechselseitigen Bezug aufeinander bereichert werden können. Es lag nahe, für beide Ansätze jeweils einen Punkt möglicher Verstärkung zu identifizieren. Die Schwerpunktsetzung hätte jedoch auch anders ausfallen können. Dass der Schwerpunkt auf den ARIZ-85C und auf die Gesetze der Technikentwicklung gelegt wurde und nicht etwa auf die Widerspruchsmatrix oder die 40 Lösungsprinzipien (siehe z.B. Altshuller, 1984) hängt damit zusammen, dass Letztere in der Spätphase der TRIZ für Altshuller keine Rolle mehr spielten²⁸ und die Nützlichkeit der Widerspruchsmatrix experimentell überzeugend infrage gestellt werden konnte (siehe Möhrle 2003, Zobel/Hartmann 2009).

Dennoch sind die Lösungsprinzipien und die Widerspruchsmatrix auch heute noch in Gebrauch (siehe z.B. Bukhman, 2021) und es wurden Versuche unternommen, sie auf das Thema der Nachhaltigkeit zu beziehen (siehe z.B. Russo/Spreafico, 2020). Statt über den ARIZ-85C

²⁷ Dieser Beitrag wurde mittlerweile als Schollmeyer/Ariyur (2023) publiziert.

²⁸ Dies wird nicht zuletzt daraus ersichtlich, dass weder die Widerspruchsmatrix noch die Lösungsprinzipien Eingang in die letzten Versionen des ARIZ fanden.

könnten Werkzeuge zum kreativen Problemlösen somit auch über die Lösungsprinzipien der TRIZ ins Nachhaltigkeitsmanagement eingebracht werden. Umgekehrt ließe sich untersuchen, inwieweit die Lösungsprinzipien der TRIZ – die von dem gleichen Induktionsproblem betroffen sind wie die Gesetze der Technikentwicklung (siehe Kapitel 5) – um Prinzipien aus Nachhaltigkeitsansätzen wie etwa der Permakultur (siehe z.B. Krebs/Bach, 2018) oder der Kreislaufwirtschaft (siehe z.B. Velenturf/Purnell, 2021) bereichert werden könnten. Auch hierfür gibt es bereits Arbeiten (siehe z.B. Bogatyrev/Bogatyreva, 2015; Schaumann, 2022).

In einem früheren Entwurf dieser kumulativen Dissertation lag der Fokus der Arbeit stärker auf Methoden systematischer Problemanalyse insgesamt und weniger stark auf der Frage nach Scheindilemmatizität. Mit der Fokussierung auf den Problemtypen des Dilemmas (mit zugrunde liegendem Widerspruch) habe ich mich darum bemüht, die wesentliche Besonderheit sowohl des Nachhaltigkeitsmanagements nach Müller-Christ (2014) als auch die der TRIZ in den Vordergrund zu stellen – zumal auch in der Argumentationstheorie bis heute kein Test auf Scheindilemmatizität existiert. Es wäre jedoch falsch, beide Ansätze auf diesen Problemtypen zu reduzieren. In dem sich in Arbeit befindenden Artikel *Problem Analysis for Green Industrial Policy* zeigen Isabel Estevez und ich anhand von Fallbeispielen, wie systematische Problemanalyse zu effektiverer Gesetzgebung führen könnte und schlagen einen entsprechenden Rahmen dafür vor. Dabei beziehen wir uns ebenfalls auf die Ressourcenorientierung im Nachhaltigkeitsmanagement und auf Tradeoffs im Sinne der TRIZ.²⁹

Doch auch der in dieser Dissertation eingeschlagene Weg, ausgehend vom verallgemeinerten ARIZ-85C einen Test auf Scheindilemmatizität zu entwickeln, bedarf weiterer Beispiele wie dem des Wagenlenker-Dilemmas. Eine umfassende Effektivitätsprüfung wäre wünschenswert, um zu ermitteln, welcher Prozentsatz von Management-Dilemmas bei sorgfältiger Untersuchung auf diesem Weg in Scheindilemmas überführt werden kann. Dafür bedürfte es einer repräsentativen Sammlung echter Fälle mit hinreichendem Kontext, um den Lösungsraum ausloten zu können.

Ein anderer Typ von Effektivitätstest könnte wie folgt aussehen: Probanden werden in drei Gruppen geteilt: Gruppe I wird darauf trainiert, Dilemmas auf Echtheit zu prüfen, Gruppe II wird darauf trainiert, in dilemmatischen Situationen das geringere Übel zu wählen (siehe Wagenlenker-Dilemma) und Gruppe III beschäftigt sich mit etwas völlig anderem. Nach dem

²⁹ Der Beitrag wurde mittlerweile als Estevez/Schollmeyer (2023) veröffentlicht.

Training werden alle Probanden mit einer dilemmatischen Situation konfrontiert, die sich bei näherer Betrachtung als Scheindilemma herausstellen würde. Über diesen Aufbau ließe sich der Einfluss von Training auf die Entscheidungsfindung in dilemmatischen Situationen ermitteln.

Die Verbesserungspotentiale des in Schollmeyer (2022) entwickelten quantitativen Tests zur Identifizierung von Trade-offs in Text können in mindestens vier Hinsichten weiterentwickelt werden. Erstens bedarf der Klassifizierungs-Algorithmus zur Kategorisierung von Kommentaren weiterer Verbesserung. Zur Zeit basiert er auf einem hohen Schwellenwert, um Fehler vom Typ I zu minimieren. Dieser Ansatz war vertretbar, um relativ häufige Paarungen zu ermitteln, ist jedoch ungeeignet, um absolute Häufigkeiten zu bestimmen oder um weniger häufige Trade-offs aufzudecken. Zweitens wäre es wünschenswert, mehr als 13 Labels zu verwenden, um weniger offensichtliche Trade-off-Kombinationen identifizieren zu können. Drittens sollte ein Vergleich zwischen den Branchen angestellt werden. Viertens hängt die Methode in ihrer derzeitigen Form von der Vorstrukturierung der Texte in Pros und Cons ab. Der Anwendungsbereich des Ansatzes könnte durch das Hinzufügen von Sentiment-Analyse über die Beschränkung auf Formate wie Glassdoor oder Indeed hinaus erweitert werden.

Der Vorschlag, Altschillers Sammlung von Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung technischer Systeme um die Gesetzmäßigkeit der zuverlässigen Ressourcenversorgung zu ergänzen, bedarf weiterer Vertiefung. So wäre es wünschenswert, die fünf abgeleiteten Design-Prinzipien (siehe Kapitel 5.4) mit konkreten Beispielen zu unterfüttern, um die Entwicklung von Lösungsansätzen zu erleichtern.

7. Appendix

7.1 Zusammenfassung der drei Artikel

7.1.1 Artikel 1: Verallgemeinerung des Algorithmus zum Lösen von Erfindungsaufgaben

Der erste Artikel dieser kumulativen Dissertation lautet: „*Discovery on Purpose? Toward the Unification of Paradigm Theory and the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)*“. Er wurde im Mai 2018 zum Peer-Review-Verfahren eingereicht. Nachdem alle vorgeschlagenen Änderungen eingearbeitet wurden, ist die Arbeit im Oktober 2018 bei Springer erschienen.³⁰

Das Ziel dieses Artikels besteht darin, Genrich Altshullers *Algorithmus zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (ARIZ bzw. ARIZ-85C³¹) so weit zu verallgemeinern, dass er auch außerhalb des Ingenieurwesens angewendet werden kann. Zu diesem Zweck wird (i) zunächst ein Vokabular systemischen Denkens eingeführt, in das die Schrittfolge des ARIZ übersetzt wird. Die Effektivität der Schrittfolge wird (ii) anhand eines der berühmtesten Paradigmenwechsel der Wissenschaftsgeschichte, dem Übergang vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild, vorgeführt. Auf diese Weise greift der Artikel die folgenden zwei Tendenzen auf, die bereits in der Entwicklung der *Theorie zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (TRIZ) angelegt sind, und führt sie konsequent in Richtung höherer Verallgemeinerbarkeit fort:

(i) Die Entwicklungsgeschichte der Versionen des ARIZ (von 1956 bis 1985) zeigt einen Trend hin zur Verallgemeinerung des Vokabulars, wobei die Verwendung ingenieur-spezifischer Begriffe ab-, der Gebrauch allgemeinerer Begriffe systemischen Denkens hingegen zunimmt. Dementsprechend beginnt der Artikel auch mit der Ausarbeitung eines Vokabulars systemischen Denkens, soweit es für die Verallgemeinerung des ARIZ-85C erforderlich ist.

(ii) Weiterhin greift der Artikel einen frühen unvollendeten Strang der Theorie zum Lösen von Erfindungsaufgaben auf, in dem Altshuller (1960) versuchte, kreatives Problemlösen in der Wissenschaft zu systematisieren und zu untersuchen. Dieser Strang ist für das Ziel der Verallgemeinerung des ARIZ-85C deshalb von Bedeutung, da wissenschaftliches Denken nahezu alle Bereiche menschlichen Lebens angeht (Wirtschaftswissenschaften, Lebenswissenschaften,

³⁰ Schollmeyer, J., Tamuzs, V. (2018). *Discovery on Purpose? Toward the Unification of Paradigm Theory and the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)*. In: Cavallucci, D., De Guio, R., Koziolok, S. (eds) *Automated Invention for Smart Industries*. TFC 2018. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 541. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02456-7_9

³¹ ARIZ-85C steht für die finale Version des ARIZ von 1985.

Sozialwissenschaften, Naturwissenschaften) und sich vom Alltagsdenken primär durch einen höheren Grad an Systematizität unterscheidet (siehe Hoyningen-Huene, 2013). Wenn es gelingt, die Schritte erfinderischen Problemlösens, wie sie im ARIZ-85C beschrieben sind, so zu verallgemeinern, dass sie auch auf wissenschaftliches Denken angewendet werden können, dann ist dies ein starkes Indiz dafür, dass sich dieser verallgemeinerte Ansatz insgesamt auf Bereiche, in denen systematisch gedacht werden kann, anwenden lässt.

Die Verbindung zwischen *Erfinden* (dh. kreativem Problemlösen in der Technik und Gegenstand der TRIZ) und *Entdecken* (dh. kreativem Problemlösen in der Wissenschaft) wird über Thomas Kuhns (1970) *Theorie der Paradigmenwechsel* hergestellt. Kuhn unterscheidet eine vor-normale, normale und revolutionäre Phase in der Entwicklung von Wissenschaftsfeldern. Mit Altshuller (1960) wiederum können drei Typen von Entdeckungen unterschieden werden: zufälliges Detektieren von vormals unbekanntem Phänomenen, absichtliches Detektieren von vormals unbekanntem Phänomenen, und die Entwicklung neuartiger Erklärungsansätze. Bewusstes kreatives Problemlösen im Sinne des ARIZ-85C wird auf den Bereich der Entwicklung neuartiger Erklärungsansätze eingeschränkt³² und fällt in die Entwicklungsphase, die Kuhn als *revolutionär* bezeichnet. Umbrüche in dieser Phase können mit Kuhn als Paradigmenwechsel bezeichnet werden.

Anschließend werden die Schritte der Logik des verallgemeinerten ARIZ-85C anhand eines der berühmtesten Paradigmenwechsel der Wissenschaftsgeschichte vorgeführt: dem Übergang vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild. Allgemein lässt sich die Schrittfolge wie folgt zusammenfassen: Auf Grundlage einer funktionalen Systemanalyse wird das zu lösende Problem in der Form eines Dilemmas beschrieben. Nachdem eine der Seiten des Dilemmas gewählt wurde, wird der Konflikt weiter verschärft, entweder (i) indem die Komponente, auf die ein negativer Effekt zurückgeht, gedanklich beseitigt wird, oder (ii) indem der Konflikt durch massive Erhöhung der Anforderungen zugespitzt wird (abhängig davon, ob das Problem von (i) einer Sekundär- oder (ii) einer Primärfunktion ausgeht). Beide Gedanken-Operationen führen dazu, das System aus Perspektive einer früheren Entwicklungsstufe zu sehen, ohne dabei von Null anfangen zu müssen. Ausgehend von dieser per Gedankenexperiment verschärften Situation wird anschließend eine Problembeschreibung formuliert. Daraufhin werden im System vorfindliche Ressourcen unterschiedlicher Art

³² Entdecken im Sinne absichtlichen Detektierens von vormals unbekanntem Phänomenen ist ebenfalls ein guter Kandidat für die Anwendung des ARIZ-85C, doch dieser Artikel hat sich aus praktischen Gründen auf neuartige Erklärungsansätze beschränkt.

aufgelistet, in der Konfliktzone beginnend und von dort aus weiter in die Umgebung fortschreitend. Die Aufgabe wird sinngemäß so formuliert, dass eine Ressource gefunden werden soll, die – wenn leicht modifiziert – zur Lösung des zuvor zugespitzten Problems führt. In dieses Schema wird jeweils eine der aufgelisteten Ressourcen eingesetzt, um weiterhin zu fragen, wie diese Ressource dazu beitragen könnte, das Problem zu lösen. Falls keine Lösung gefunden werden kann, wird gefragt, ob die Ressource eventuell widersprüchliche Eigenschaften annehmen müsste, um die Lösung zu ermöglichen. Dieser Schritt ist zentral und dient dazu, dem Denken auch diejenigen Wege zu eröffnen, die durch die Konditionierung auf Widerspruchsfreiheit verborgen bleiben könnten. Sollte sich herausstellen, dass widersprüchliche Anforderungen an die Ressource die Aufgabe lösen könnten, wird dazu angehalten, die widersprüchlichen Anforderungen entweder in der Zeit, im Raum oder auf unterschiedlichen Systemebenen zu separieren, um so eine Umsetzungsmöglichkeit zu entwickeln. Die daraus entstehenden Ideen werden gesammelt, bevor zur nächsten Ressource auf der Liste übergegangen wird.

Werden die Probleme, die sich im geozentrischen Weltbild ergeben – nämlich die Schwierigkeit, rückläufige Bewegungen der Himmelskörper präzise erklären zu können –, mit Hilfe der Schrittfolge des ARIZ analysiert, kommt es zu folgender Formulierung: Kann das Problem (der unerklärten Rückläufigkeit) gelöst werden, wenn gilt: *Aus Sicht des Gesamtsystems steht die Erde nicht im Zentrum; als Teilsystem steht sie aber im Zentrum?* Tatsächlich handelt es sich bei dieser Formulierung um eine deutliche Beschreibung der radikalen Lösung von Nikolaus Kopernikus, die Erde aus dem Zentrum des Sonnensystems zu entfernen und sie stattdessen nur als das Zentrum, von dem aus das Sonnensystem betrachtet wird, zu verstehen.

Mit dieser Anwendung des verallgemeinerten ARIZ-85C wird Kuhns Auffassung herausgefordert, dass das kreative Moment der Problemlösung, das Paradigmenwechseln zugrunde liegt, nicht erklärt werden könne. Zwar handelt es sich dabei nur um ein einzelnes rekonstruiertes Beispiel, für das die Lösung bereits bekannt ist, das berühmte Beispiel des Wagenlenkerdilemmas (siehe Kapitel 4.2) wird jedoch zeigen, dass dieselbe Schrittfolge, eine überraschende Lösung für ein bis dato als echtes Dilemma gehandeltes Problem zum Vorschein bringen kann. Dennoch sind weitere solcher Fallstudien erforderlich, um die Grenzen und Möglichkeiten dieser Methode auszuloten.

7.1.2 Artikel 2: Ableitung der „Gesetze“ der Technikentwicklung

Der zweite Artikel dieser kumulativen Dissertation heißt „*Deducing Altshuller's Laws of Evolution of Technical Systems*“ und wurde im Mai 2019 zum Peer-Review-Verfahren eingereicht. Alle vorgeschlagenen Änderungen wurden eingearbeitet und die Arbeit konnte im Oktober 2019 bei Springer veröffentlicht werden.³³

Einer der zentralen Bestandteile der *Theorie zum Lösen von Erfindungsaufgaben* (TRIZ) sind die acht Gesetzmäßigkeiten (bzw. Trends) der Entwicklung technischer Systeme. Laut Genrich Altshuller wurden sie induktiv mittels systematischer Patentanalysen gefunden. Das Ziel von Schollmeyer/Tamuzs (2019) ist es, zu zeigen, dass nicht ein einziges Patent untersucht werden muss, um diese Gesetzmäßigkeiten zu generieren. Vielmehr lassen sie sich aus einer Analyse des Begriffs instrumenteller Systeme im Kontext von Wettbewerb um knappen Ressourcen ableiten. Dank des hier vorgeschlagenen analytischen Ansatzes können die Gültigkeitsbedingungen der einzelnen Gesetzmäßigkeiten genau bestimmt und Abweichungen von den Trends entsprechend erklärt werden. Darüber hinaus wird die Methode zur Formulierung und Begründung solcher Gesetze explizit gemacht. Sie ist die Grundlage dafür, das Thema nachhaltiger Ressourcenorientierung im Sinne Müller-Christ's (2014) samt daraus ableitbarer Designprinzipien als neuntes Gesetz der Entwicklung technischer Systeme in Altshuller's Kanon aufzunehmen (siehe Kapitel 5).

Der Artikel beginnt damit, die Bedeutung des Begriffs *technisches Systems* als *gefertigtes instrumentelles System* zu bestimmen, um diese Bedeutung anschließend zu analysieren. Dafür wird zunächst der *Begriff des Systems* als ein Ganzes, das aus Teilen besteht, die gemeinsam einen oder mehrere Effekte hervorbringen, eingeführt. Systeme, die hinreichend kontrolliert werden können, damit sich ihr Vermögen Effekte hervorzubringen, zu bestimmten Zwecken einsetzen lässt, werden als *instrumentelle Systeme* bezeichnet. Biologische – bzw. lebendige – Systeme wiederum sind davon abhängig, ihre Umgebungen um ihrer selbst willen zu instrumentalisieren. Dabei werden Mängel, die – wenn unbefriedigt – die gesunde Existenz solcher lebendigen Systeme bedrohen, als *Bedürfnisse* bezeichnet und als solche von *Wünschen* abgegrenzt. Sowohl Bedürfnisse als auch Begierden äußern sich in lebendigen Systemen als

³³ Schollmeyer, J., Tamuzs, V. (2019). Deducing Altshuller's Laws of Evolution of Technical Systems. In: Benmoussa, R., De Guio, R., Dubois, S., Koziółek, S. (eds) *New Opportunities for Innovation Breakthroughs for Developing Countries and Emerging Economies*. TFC 2019. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 572. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32497-1_6

Wollen und erfordern problemlösende Aktivität, um befriedigt zu werden. Lebendige Systeme bewerkstelligen dies mit Hilfe von Techniken und technischen Systemen, welche als *instrumentelle Systeme* bezeichnet werden können (d.h. als Systeme, die zum Erreichen bestimmter Zwecke eingesetzt werden). Solche Systeme werden in der Natur vorgefunden oder eigens gefertigt bzw. bearbeitet. *Gefertigte instrumentelle Systeme* sind der eigentliche Gegenstand von Altschillers Entwicklungsgesetzen und bezeichnen das, was gemeinhin unter technischen Systemen verstanden wird.

Auf die Bestimmung der Bedeutung des Begriffs des technischen Systems als gefertigtes instrumentelles System folgt die genauere Analyse der darin enthaltenen Bedeutung. Im Begriff des instrumentellen Systems steckt beispielsweise der Begriff der Funktion und der funktionellen Teile. Anhand der Art, wie sie ihre Effekte hervorbringen, wird zwischen statischen und dynamischen instrumentellen Systemen unterschieden. Im Gegensatz zu statischen Systemen bedürfen dynamische Systeme der Aufwendung von Energie. Da Energie weder erschaffen noch vernichtet, sondern nur umgewandelt werden kann, ist Energieumwandlung ein wesentliches Merkmal dynamischer Systeme. Gleiches gilt für Energiezufuhr und Energietransmission.

Zahlreiche technische Systeme – wie beispielsweise ein Fahrrad – sind als solche statische Systeme und werden erst im Gebrauch zu dynamischen Systemen und zwar dadurch, dass sie Teilsystem eines umfassenderen Systems werden. So gilt allgemein: Um die Funktionen von instrumentellen Systemen zu verstehen, müssen sie im Kontext der dynamischen Supersysteme untersucht werden, in denen sie Bedürfnisse oder Wünsche befriedigen. Weiterhin gilt, dass je mehr Kontrolle ein dynamisches System über seine grundlegenden Betriebsfunktionen wie die eigene Energiezufuhr gewinnt, desto unabhängiger ist es.

Systeme können als Subsysteme weiterer Super-Systeme gefasst werden, gleichzeitig aber auch als Super-Systeme für kleinere Subsysteme. Welche Perspektive gewählt wird, hängt vom pragmatischen Kontext ab. Dieses Merkmal wird als pragmatische System-Hierarchie bezeichnet.

Da instrumentelle Systeme grundsätzlich für Zwecke eingesetzt werden, was wiederum des Verbrauchs von Ressourcen bedarf, Ressourcen jedoch knapp sind, ergibt sich ein Wettbewerb der Systeme um höhere Effizienz (d.h. höheren Ertrag bei vermindertem Aufwand). Indem die verschiedenen Möglichkeiten den Wert der Effizienz-Gleichung unter Berücksichtigung der notwendigen Eigenschaften gefertigter instrumenteller Systeme mit Blick

auf deren idealen Extremwert untersucht werden, können Altschullers acht Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung technischer Systeme schließlich abgeleitet werden.

Auf diese Weise wird das gesetzte Ziel des Artikels erreicht. Darüber hinaus wird gezeigt, wie Altschullers Gesetzmäßigkeiten zu verstehen sind, wo ihr eigentlicher Ursprung liegt und wie weitere Gesetzmäßigkeiten identifiziert werden können. Dies ist die Grundlage dafür, dass in Kapitel 5 Nachhaltigkeit samt entsprechender Designprinzipien als Gesetzmäßigkeit in den Kanon der (um ihre jeweiligen Gültigkeitskriterien ergänzten) Gesetze der Entwicklung technischer Systeme aufgenommen werden kann.

7.1.3 Artikel 3: NLP zur Identifizierung von Trade-offs in Unternehmensbewertungen

Der Titel des dritten Artikels dieser kumulativen Dissertation lautet: „*Using NLP to detect Tradeoffs in Employee Reviews*“. Er wurde im April 2022 zum Peer-Review-Verfahren eingereicht. Alle Vorschläge wurden berücksichtigt und die Arbeit wurde im September 2022 bei Springer veröffentlicht.³⁴

Ziel dieses Artikels ist es zu zeigen, dass frei verfasster Text in Mitarbeiterbewertungen von Online-Plattformen wie Glassdoor oder Indeed genutzt werden kann, um branchenspezifische Trade-offs zu identifizieren, mit denen Unternehmen aus Sicht ihrer Angestellten konfrontiert sind. Zu diesem Zweck werden 439599 Glassdoor-Bewertungen, die zwischen 2008 und 2020 von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus der US-Finanzindustrie verfasst wurden, mit Hilfe von Techniken des Natural Language Processings (NLP) verarbeitet.

Der Beitrag beginnt mit einer Erörterung der Frage, warum Trade-offs für Innovationen wichtig sind, gefolgt von einer kurzen Einführung in die Struktur der Bewertungen auf Glassdoor und der Verwendung von NLP für deren Analyse. Im darauf folgenden Abschnitt wird die Methode zur Identifizierung von Trade-offs entwickelt. Anschließend werden die Ergebnisse vorgestellt, gefolgt von einer kurzen Diskussion der Erkenntnisse und der Frage, wie der Ansatz weiter verbessert werden könnte. Der dieser Arbeit zugrundeliegende Code wurde auf Github zur Verfügung gestellt.

Glassdoor ist eine Website, auf der aktuelle und ehemalige Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ihre Unternehmen bewerten können, z.B. dadurch, dass sie dazu angehalten werden,

³⁴ Schollmeyer, J. (2022). Using NLP to Detect Tradeoffs in Employee Reviews. In: Nowak, R., Chrzyszcz, J., Brad, S. (eds) Systematic Innovation Partnerships with Artificial Intelligence and Information Technology. TFC 2022. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 655. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17288-5_19

in freier Textform Pros und Cons – d.h. Vor- und Nachteile – anzugeben. Um die am häufigsten verwendeten Kategorien zu ermitteln, wurden jeweils 4000 Kommentare aus den Pro- und Con-Abschnitten zufällig entnommen. Die daraus resultierenden 8000 Kommentare wurden verwendet, um die 15 am häufigsten vorkommenden Substantive zu ermitteln. Durch die Entfernung semantischer Duplikate wurde die Anzahl weiter auf 13 reduziert.

Die allgemeine Idee hinter der Methodik zur Ermittlung von Kompromissen wird in Fig. 2 beschrieben. Jede Bewertung hat einen Pro- und einen Con-Abschnitt. Diese Abschnitte werden den Kategorienamen in einem Eins-zu-Viele-Ansatz zugeordnet. Das Verfahren führt zu einer Liste von Pro-Con-Paaren (die maximale Anzahl der Paare ist gleich der Anzahl der Kategorien zum Quadrat; in diesem Fall 169 Paare). Paare mit demselben Label im Pro- und im Con-Abschnitt werden verworfen (es bleiben also maximal 156 Paare).

Die statistische Signifikanz der Anzahl der Paare wird im Vergleich zu einer auf 10000-maligem zufälligen Sampling generierten Normalverteilung der Anzahl von Paaren ermittelt. Ein Pro-Con-Paar gilt als signifikant, wenn der nach Holm-Bonferroni angepasste p-Wert der tatsächlichen Anzahl im Vergleich zur zufälligen bei $< .05$ liegt. Wenn sowohl ein Pro-Con-Paar als auch dessen Gegenteil den Signifikanztest bestehen, gilt die Kombination als Trade-off-Kandidat. Sollte dieselbe Paarung auch signifikant häufig als Pro-Pro-Paarung auftreten, handelt es sich um einen Pseudo-Trade-off, da die Bestandteile des vermeintlichen Gegensatzpaares einander nicht auszuschließen scheinen. Ist die Pro-Pro-Paarung der Bestandteile hingegen signifikant selten, liegt es nahe, von einem echten Trade-off auszugehen.

Mit Hilfe dieses Ansatzes wurden zwei Trade-offs ermittelt: *Management vs. Work-Life-Balance* und *Karrierechancen vs. Work-Life-Balance*. Ein Trade-off zwischen Management und Work-Life-Balance bedeutet, dass sich eine signifikant hohe Anzahl von Personen über schlechtes Management beschwert und gleichzeitig die gute Work-Life-Balance lobt (870, $P < .0001$), während eine andere Gruppe von Personen sich über schlechte Work-Life-Balance beschwert, aber das Unternehmen für gutes Management lobt (118, $P < .0001$). Dass eine gute Work-Life-Balance und ein gutes Management nicht unvereinbar sind, zeigt sich daran, dass beide Kategorien auch signifikant häufig zusammen als Pro-Pro-Paar auftreten (145, $P < .0001$). Es handelt sich hier also nur um einen Pseudo-Trade-off.

Der zweite Kompromiss zwischen Karrierechancen und Work-Life-Balance markiert hingegen einen echten Trade-off, da die entsprechende Pro-Pro-Paarung signifikant selten

auftaucht (signifikant seltene Pro-Pro-Paarung: 11, $P < .0001$). Der Trade-off deutet darauf hin, dass in der Finanzindustrie, mehr Zeit für eine gesunde Work-Life-Balance mit weniger Möglichkeiten für die berufliche Entwicklung einhergeht (47, $P < .0001$), während weniger Zeit außerhalb der Arbeit – und damit vermutlich mehr Arbeit – zusätzliche Möglichkeiten schafft (54, $P < .0001$). Dieser Trade-off ist in der Literatur bekannt (siehe Kapitel 3.2) und kann vermutlich darauf zurückgeführt werden, dass Zeit als Ressource knapp ist.

Der Artikel hebt vier Hauptaspekte für potentielle Verbesserungen hervor. So könnte erstens der Klassifizierungs-Algorithmus für die Zuordnung von Kategorien zu Kommentaren weiter verbessert werden. Zweitens wäre es wünschenswert, mehr als 13 Labels zu verwenden, um weniger offensichtliche Trade-off-Kombinationen identifizieren zu können. Drittens sollte ein Vergleich zwischen den Branchen angestellt werden. Viertens hängt die Methode in ihrer derzeitigen Form von der Vorstrukturierung der Texte in Pros und Cons ab. Der Anwendungsbereich des Ansatzes könnte mit Hilfe von Sentiment-Analyse jedoch über die Beschränkung auf Formate wie Glassdoor oder Indeed hinaus erweitert werden.

Dass der hier verwendete quantitative Ansatz zur Unterscheidung von echten und Pseudo-Trade-offs blind für mögliche unverwirklichte Lösungen ist, wird in Kapitel 3.2 der Synopse gezeigt.

Bibliographie

Adorno, T.W. (2013) *Negative Dialektik*. 6. Aufl. Suhrkamp (Adorno, Th. W., Gesammelte Schriften, 6).

Albert, M., Breßler, J. and Hüsiger, S. (2017) 'Expansive Learning through contradictions of sustainability', *Handbook of Sustainability in Management Education*, pp. 262–281.

Algunaibet, I.M. *et al.* (2019) 'Powering sustainable development within planetary boundaries', *Energy & Environmental Science*, 12(6), pp. 1890–1900. Available at: <https://doi.org/10.1039/C8EE03423K>.

Altschuller, G.S. (1973) *Erfinden-(k) ein Problem?: Anleitung für Neuerer und Erfinder*. Verlag Tribüne.

Altschuller, G.S. (1984) 'Erfinden. Wege zur Lösung technischer Probleme. Aus dem Russischen übertragen von Katrin und Rainer Thiel', *VEB Verlag Technik Berlin. Drei Auflagen* [Preprint].

Altschuller, G.S. and Seljuzki, A. (1983) 'Flügel für Ikarus', *Über die moderne Technik des Erfindens, Leipzig, Jena, Berlin* [Preprint].

Altshuller, G. (1985) *Algorithm for solving inventive problems ARIZ-85-V | Official Fund G.S. Altshuller (author of TRIZ-RTV-TRTL) | www.altshuller.ru*. Available at: <https://altshuller.ru/triz/ariz85v.asp#0> (Accessed: 31 December 2022).

Altshuller, G. (1996) *And Suddenly the Inventor Appeared: TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving*. Technical Innovation Center, Inc.

Altshuller, G.S. (1984) *Creativity as an exact science: the theory of the solution of inventive problems*. Gordon and Breach Science Publishers.

Altshuller, G.S. and Shapiro, R.B. (1956) 'On the psychology of inventive creation', *Psychol. Issues*, 6, pp. 37–39.

Andrade, G. (2019) 'Medical ethics and the trolley Problem', *Journal of Medical Ethics and History of Medicine*, 12, p. 3.

Anonymous (2002) *wie kann ich einen Zug stoppen?* Available at: <https://groups.google.com/g/de.etc.bahn.eisenbahntechnik/c/JJhmmT3Vk3g?pli=1> (Accessed: 31 December 2022).

Argyris, C. (1988) 'Crafting a theory of practice: The case of organizational paradoxes', *Paradox and transformation: Toward a theory of change in organization and management*, pp. 255–278.

Aristoteles (1994) *Metaphysik*. Rowohlt Taschenbuch Verlag.

- Ariyur, K. (2018) *Achieving Altshuller's Dream: Going from Heuristics to Algorithms to make Creativity Scientific*.
- Ariyur, K.B. (2011) 'A mathematical foundation for TRIZ methods', in *2011 IEEE International Systems Conference. 2011 IEEE International Systems Conference*, pp. 409–411. Available at: <https://doi.org/10.1109/SYSCON.2011.5929117>.
- Arnold, C. et al. (eds) (2019) *Herausforderungen für das Nachhaltigkeitsmanagement: Globalisierung - Digitalisierung - Geschäftsmodelltransformation*. Wiesbaden [Heidelberg]: Springer Gabler (Research). Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-27729-1>.
- Awad, E. et al. (2018) 'The Moral Machine experiment', *Nature*, 563(7729), pp. 59–64. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0637-6>.
- Awad, E. et al. (2020) 'Universals and variations in moral decisions made in 42 countries by 70,000 participants', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(5), pp. 2332–2337.
- Baehr, H.D. and Kaebler, S. (2006) *Thermodynamik: Grundlagen und technische Anwendungen ; mit zahlreichen Tabellen sowie 76 Beispielen*. 13., neu bearb. und erw. Aufl. Springer (Springer-Lehrbuch).
- Baumast, A. and Pape, J. (eds) (2022) *Betriebliches Nachhaltigkeitsmanagement. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer (UTB Betriebswirtschaft, Management, Unternehmensführung, 3676). Available at: <https://doi.org/10.36198/978-3-8385-5022-0>.
- Begon, M., Howarth, R.W. and Townsend (auth.), C.R. (2017) *Ökologie*. 3rd edn. Springer Spektrum.
- Bogatyrev, N. and Bogatyreva, O. (2014) 'BioTRIZ: A Win-Win Methodology for Eco-innovation', in S.G. Azevedo et al. (eds) *Eco-Innovation and the Development of Business Models: Lessons from Experience and New Frontiers in Theory and Practice*. Cham: Springer International Publishing (Greening of Industry Networks Studies), pp. 297–314. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-05077-5_15.
- Bogatyrev, N.R. and Bogatyreva, O.A. (2015) 'Permaculture and TRIZ – Methodologies for Cross-Pollination between Biology and Engineering', *Procedia Engineering*, 131, pp. 644–650. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.458>.
- Bosch, R. et al. (2019) 'Multi-Metall-Zertifizierung in der globalen Wertschöpfungskette mittels Blockchain-Technologie', in C. Arnold et al. (eds) *Herausforderungen für das Nachhaltigkeitsmanagement: Globalisierung – Digitalisierung – Geschäftsmodelltransformation*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, pp. 249–284. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-658-27729-1_12.

BP (2022) *Statistical Review of World Energy*, bp global. Available at: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (Accessed: 5 January 2023).

Bradshaw, A.M., Hamacher, T. and Fischer, U. (2011) 'Is nuclear fusion a sustainable energy form?', *Fusion Engineering and Design*, 86(9), pp. 2770–2773. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2010.11.040>.

Bruers, S. and Braeckman, J. (2014) 'A Review and Systematization of the Trolley Problem', *Philosophia*, 42(2), pp. 251–269. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11406-013-9507-5>.

Bukhman, I. (2021) *Technology for Innovation: How to Create New Systems, Develop Existing Systems and Solve Related Problems*. Springer Nature.

Cavallucci, D. and Khomenko, N. (2007) 'From TRIZ to OTSM-TRIZ: addressing complexity challenges in inventive design', *International Journal of Product Development*, 4(1–2), pp. 4–21.

Curtis, T. et al. (2021) *Solar Photovoltaic Module Recycling: A Survey of U.S. Policies and Initiatives*. NREL/TP-6A20-74124, 1774839, MainId:6273, p. NREL/TP-6A20-74124, 1774839, MainId:6273. Available at: <https://doi.org/10.2172/1774839>.

Darcy, C. et al. (2012) 'Work–life balance: One size fits all? An exploratory analysis of the differential effects of career stage', *European Management Journal*, 30(2), pp. 111–120. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.emj.2011.11.001>.

Denčić-Mihajlov, K. and Stojanović-Blab, M. (2018) 'Sustainability Reporting – Trends in Regulation and Challenges in Implementation', in A. Michalke, M. Rambke, and S. Zeranski (eds) *Vernetztes Risiko- und Nachhaltigkeitsmanagement: Erfolgreiche Navigation durch die Komplexität und Dynamik des Risikos*. Wiesbaden: Springer Fachmedien (Business, Economics, and Law), pp. 27–42. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-658-19684-4_4.

Eisele, O. (2021) *Nachhaltigkeitsmanagement - Handbuch für die Unternehmenspraxis: Gestaltung und Umsetzung von Nachhaltigkeit in kleinen und mittleren Betrieben*. Berlin [Heidelberg]: Springer Vieweg (ifaa-Edition). Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-63012-9>.

Englert, M. and Ternès, A. (eds) (2019) *Nachhaltiges Management: Nachhaltigkeit als exzellenten Managementansatz entwickeln*. Berlin [Heidelberg]: Springer Gabler (SpringerLink ; Bücher). Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57693-9>.

Estevez, I., Schollmeyer, J., (2023). *Problem Analysis for Green Industrial Policy*, in: Cavallucci, D., Livotov, P., Brad, S. (Eds.), *Towards AI-Aided Invention and Innovation*, IFIP Advances in Information and Communication Technology. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 268–280. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42532-5_21.

- Ferrell, O.C., Fraedrich, J. and Ferrell (2021) *Business Ethics: Ethical Decision Making and Cases (MindTap Course List)*. 13th edn. Cengage Learning. Available at: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=73A2CB346F9228291A7070D7F05AD9FE> (Accessed: 2 January 2023).
- Fey, V. and Rivin, E. (2005) *Innovation on Demand: New Product Development Using TRIZ*. Cambridge University Press.
- Fleck, A. (2013) *Hybride Wettbewerbsstrategien: Zur Synthese von Kosten- und Differenzierungsvorteilen*. Springer-Verlag.
- Foot, P. (1967) 'The Problem of Abortion and the Doctrine of the Double Effect', *Oxford Review*, 5, pp. 5–15.
- Gapminder (2022) *GM-Population - Dataset - v7, Google Docs*. Available at: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1c1luQNdpH90tNbMIeU7jD__59wQ0bdIGRFpbMm8ZBTK/edit?usp=embed_facebook (Accessed: 5 January 2023).
- Garmer, M. (2019) 'Das Trolley-Paradoxon: Über die Ethik der digitalen Welt', in C. Arnold et al. (eds) *Herausforderungen für das Nachhaltigkeitsmanagement: Globalisierung – Digitalisierung – Geschäftsmodelltransformation*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, pp. 125–142. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-658-27729-1_7.
- Global primary energy consumption by source* (2023) *Our World in Data*. Available at: <https://ourworldindata.org/grapher/global-energy-substitution> (Accessed: 5 January 2023).
- Google Trends* (no date) *Google Trends*. Available at: <https://trends.google.com/trends/explore?date=all&geo=US&q=trolley%20problem,moral%20philosophy,moral%20psychology> (Accessed: 31 December 2022).
- Hanslmeier, A. (2020) *Einführung in Astronomie und Astrophysik*. 4. Aufl. Springer Berlin Heidelberg; Springer Spektrum.
- Hasenmüller, M.-P. (2013) *Herausforderungen im Nachhaltigkeitsmanagement: Der Beitrag der Pfadforschung zur Erklärung von Implementationsbarrieren*. Springer Gabler (SpringerLink ; Bücher).
- Hauff, M. von (2018) *Fair Trade: ein Konzept nachhaltigen Handels*. 3., vollständig überarbeitete Auflage ; Studienausgabe. UVK Verlagsgesellschaft mbH (UTB ; 3671 ; Sozialwissenschaften, Wirtschaftswissenschaften).
- Hauser, M.D., Young, L. and Cushman, F. (2008) 'Reviving Rawls' linguistic analogy', *Moral psychology*, 2, pp. 107–143.
- Hegel, G.W.F. (2006) *Wissenschaft der Logik*. 1. Aufl., 7. Nachdr. Suhrkamp (Hegel, Georg Wilhelm Friedrich, Werke, 6).

- Hegel, G.W.F. (2007) *Wissenschaft der Logik*. 1. Aufl., [Nachdr.]. Suhrkamp (Hegel, Georg Wilhelm Friedrich, Werke, 5).
- Hendrix, M. and Thompson, G.R. (2020) *Earth Science: An Introduction*. 3rd edition. San Francisco, CA: Cengage Learning PTR.
- Herrlich, M. and Zadek, G. (1982) 'KDT-Erfinderschule: Lehrmaterial'. Kammer der Technik.
- Ilevbare, I.M., Probert, D. and Phaal, R. (2013) 'A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice', *Technovation*, 33(2), pp. 30–37. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.11.003>.
- International Energy Agency (2022) *World Energy Outlook*. 2022nd edn. International Energy Agency.
- Jaeggi, R. (2014) *Kritik von Lebensformen*. Originalausgabe. Suhrkamp (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft ; 1987).
- Jeschke, B.G. (2022) 'Leitfaden zur bioökonomischen Unternehmenspraxis', in B.G. Jeschke and T. Heupel (eds) *Bioökonomie: Impulse für ein zirkuläres Wirtschaften*. Wiesbaden: Springer Fachmedien (FOM-Edition), pp. 497–512. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-658-34322-4_24.
- Jeschke, B.G. and Heupel, T. (eds) (2022) *Bioökonomie: Impulse für ein zirkuläres Wirtschaften*. Wiesbaden [Heidelberg]: Springer Gabler (FOM-Edition). Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-34322-4>.
- Jr, H.M. and Huss, G. (2022) *Cosmochemistry*. Cambridge University Press.
- Kant, I. (1998) *Kritik der reinen Vernunft*. Meiner (Philosophische Bibliothek <Hamburg>, 505).
- Knödler, H. (2019) 'Nachhaltigkeitsmanagement zwischen Wirtschaft, Ethik, Politik und Gesellschaft', in C. Arnold et al. (eds) *Herausforderungen für das Nachhaltigkeitsmanagement: Globalisierung – Digitalisierung – Geschäftsmodelltransformation*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, pp. 3–19. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-658-27729-1_1.
- Koltze, K. and Souchkov, V. (2010) 'Systematische Innovation', in *Systematische Innovation*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, p. I–XV. Available at: <https://doi.org/10.3139/9783446426313.fm>.
- Krebs, J. and Bach, S. (2018) 'Permaculture—Scientific Evidence of Principles for the Agroecological Design of Farming Systems', *Sustainability*, 10(9), p. 3218. Available at: <https://doi.org/10.3390/su10093218>.
- Kuhn, T.S. (1970) *The structure of scientific revolutions*. Chicago University of Chicago Press.

- Kurkin, C. (2018) 'Risiko und Nachhaltigkeit im internationalen Wirtschaftsrecht', in A. Michalke, M. Rambke, and S. Zeranski (eds) *Vernetztes Risiko- und Nachhaltigkeitsmanagement: Erfolgreiche Navigation durch die Komplexität und Dynamik des Risikos*. Wiesbaden: Springer Fachmedien (Business, Economics, and Law), pp. 97–100. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-658-19684-4_11.
- Linde, H. and Hill, B. (1993) *Erfolgreich erfinden: widerspruchorientierte Innovationsstrategie für Entwickler und Konstrukteure*. Hoppenstedt.
- Liu, X., Saat, M.R. and Barkan, C.P.L. (2012) 'Analysis of Causes of Major Train Derailment and Their Effect on Accident Rates', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2289(1), pp. 154–163. Available at: <https://doi.org/10.3141/2289-20>.
- Lockwood, N.R. (2003) 'Work/life balance', *Challenges and Solutions, SHRM Research, USA*, 2(10).
- Lohre, D. (2015) *Nachhaltigkeitsmanagement für Logistikdienstleister: Ein Praxisleitfaden*. 1. Aufl. 2015. Springer Gabler (SpringerLink ; Bücher).
- Lyness, K.S. and Judiesch, M.K. (2008) 'Can a manager have a life and a career? International and multisource perspectives on work-life balance and career advancement potential', *Journal of Applied Psychology*, 93, pp. 789–805. Available at: <https://doi.org/10.1037/0021-9010.93.4.789>.
- MacLulich, D.A. (1937) *Fluctuations in the numbers of the varying hare (Lepus americanus)*. Univ. of Toronto Press (University of Toronto, University of Toronto studies / Biological series, 43).
- Maddalena, V. (2007) 'A practical approach to ethical decision-making', *Leadership in Health Services*, 20(2), pp. 71–75. Available at: <https://doi.org/10.1108/17511870710745402>.
- Mann, D. (2011) 'Natural world contradiction matrix: How biological systems resolve trade-offs and compromises', *Procedia Engineering*, 9, pp. 714–723. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.03.160>.
- Mareis, C. (2015) 'TRIZ in the Aftermath of a Transnational Post-war History', *Procedia engineering*, 131, pp. 500–508.
- Marx, K. (2019) *Das Kapital*. Felix Meiner Verlag (Philosophische Bibliothek <Hamburg>, Band 612).
- Michalke, A., Rambke, M. and Zeranski, S. (eds) (2018) *Vernetztes Risiko- und Nachhaltigkeitsmanagement: erfolgreiche Navigation durch die Komplexität und Dynamik des Risikos*. Wiesbaden [Heidelberg]: Springer Gabler (Business, Economics, and Law). Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-19684-4>.

- Möhrle, M.G. (2003) ‘Evaluation of Inventive Principles and Contradiction matrix, or: How useful is the Altshullerian theory today?’, in *Europäischer TRIZ-Kongress*.
- Müller-Christ, G. (2007a) ‘Formen der Bewältigung von Widersprüchen’, in. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=c4928dd2f18c613d4c676de98599bdfaac7b0952>.
- Müller-Christ, G. (2007b) ‘Nachhaltigkeit und Effizienz als widersprüchliche Managementrationalitäten’, *Nachhaltigkeit und Widersprüche. Eine Managementperspektive. Hamburg*, pp. 13–58.
- Müller-Christ, G. (2014) *Nachhaltiges Management: Einführung in Ressourcenorientierung und widersprüchliche Managementrationalitäten. 2.*, überarb. und erw. Aufl. Nomos-Verl.-Ges. (UTB ; 3528 ; Sozialwissenschaft).
- Müller-Christ, G. and Giesenbauer, B. (2019) ‘Konturen eines integralen Nachhaltigkeitsmanagements’, in M. Englert and A. Ternès (eds) *Nachhaltiges Management: Nachhaltigkeit als exzellenten Managementansatz entwickeln*. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 231–248. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-662-57693-9_12.
- Müller-Christ, G. and Sohn, S. (2019) ‘Sustainable Business Development Space – Skizze eines integralen Erfahrungsraumes’, in C. Arnold et al. (eds) *Herausforderungen für das Nachhaltigkeitsmanagement: Globalisierung – Digitalisierung – Geschäftsmodelltransformation*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, pp. 97–123. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-658-27729-1_6.
- Müller-Christ, G. and Weßling, G. (2007) ‘Widerspruchsbewältigung, Ambivalenz- und Ambiguitätstoleranz. Eine modellhafte Verknüpfung’, *Nachhaltigkeit und Widersprüche. Eine Managementperspektive. Hamburg*, 2007, pp. 179–198.
- Müller-Friemuth, F. (2022) ‘Möglichkeiten entdecken, statt vorschnell Lösungen erfinden – F&E-Prinzipien für bioökonomische Disruptionen’, in B.G. Jeschke and T. Heupel (eds) *Bioökonomie: Impulse für ein zirkuläres Wirtschaften*. Wiesbaden: Springer Fachmedien (FOM-Edition), pp. 421–445. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-658-34322-4_20.
- NASA (2017) *Where Your Elements Came From | Science Mission Directorate*. Available at: <https://science.nasa.gov/where-your-elements-came> (Accessed: 2 January 2023).
- Our World in Data (2022) *Population, Our World in Data*. Available at: <https://ourworldindata.org/grapher/population> (Accessed: 5 January 2023).
- Overmann, J. and Garcia-Pichel, F. (2013) ‘The Phototrophic Way of Life’, in E. Rosenberg et al. (eds) *The Prokaryotes: Prokaryotic Communities and Ecophysiology*. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 203–257. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-642-30123-0_51.

- Pal, D.B. and Jha, J.M. (eds) (2022) *Sustainable and clean energy production technologies*. 1st ed. 2022. Singapore: Springer (Clean energy production technologies).
- Pfennig, R. (2018) *Nachhaltigkeitsmanagement für Führungskräfte*. Springer Gabler (essentials).
- Pichel, K., Tschochohei, H. and Guta, L.-M. (2022) ‘Leadership für nachhaltiges Wirtschaften’, *Betriebliches Nachhaltigkeitsmanagement*, pp. 102–127. Available at: <https://doi.org/10.36198/9783838550220>.
- Pimentel, J.R.C., Kuntz, J.R. and Elenkov, D.S. (2010) ‘Ethical decision-making: an integrative model for business practice’, *European Business Review*. Edited by G. McDonald, 22(4), pp. 359–376. Available at: <https://doi.org/10.1108/09555341011056159>.
- Platt, U., Aeschbach, W. and Kahl, W. (2022) *Energie*. Heidelberg: Universitätsbibliothek. Available at: <https://doi.org/10.11588/heidok.00031287>.
- Popper, K. (2005) *The logic of scientific discovery*. Routledge.
- Presidential Library (no date) *The Manifesto „On privileges for various inventions and discoveries in crafts and arts”, the first patent law in Russia was signed, Presidential Library*. Available at: <https://www.prlib.ru/en/history/619346> (Accessed: 5 January 2023).
- Rindfleisch, H.-J. and Thiel, R. (1986) ‘Programm zum Herausarbeiten von Erfindungsaufgaben’, *Bau-Akademie der DDR* [Preprint].
- Rindfleisch, H.-J. and Thiel, R. (1994) *Erfinderschulen in der DDR: eine Initiative zur Erschliessung und Nutzung von technisch-ökonomischen Kreativitätspotentialen in der Industrieforschung: Rückblick und Ausblick*. Trafo-Verlag W. Weist.
- Rindfleisch, H.-J., Thiel, R. and Zadek, G. (no date) ‘KDT-Erfinderschule, Lehrbrief 2: Erfindungsmethodische Arbeitsmittel. Lehrmaterial zur Erfindungsmethode. Berlin 1989’.
- Röhr, T. (2021) ‘Kreislaufwirtschaft nach dem Cradle-to-Cradle-Vorbild: Wie kann ein geschlossener Ressourcenkreislauf erreicht werden?’ Available at: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa2-736590>.
- Rossy, G.L. (2011) ‘Five questions for addressing ethical dilemmas’, *Strategy & Leadership*, 39(6), pp. 35–42. Available at: <https://doi.org/10.1108/10878571111176619>.
- Russo, D. and Spreafico, C. (2020) ‘TRIZ-Based Guidelines for Eco-Improvement’, *Sustainability*, 12(8), p. 3412. Available at: <https://doi.org/10.3390/su12083412>.
- Schaumann, U. (2022) ‘The Application of TRIZ as a Simplified Approach to Developing Sustainable Technical Systems’, in O. Mayer (ed.) *TRIZ-Anwendertag 2022*. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 14–22. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-662-66201-4_3.

- Schlepp, T. (2022) ‘How often do trains derail? More than you think’, *The Hill*, 28 June. Available at: <https://thehill.com/homenews/3539221-how-often-do-trains-derail-more-than-you-think/> (Accessed: 31 December 2022).
- Schollmeyer, J. (2016a) ‘Hegels Wissenschaft der Logik als Lösungsversuch der methodologischen Probleme der kantischen Philosophie’, *Hegel-Jahrbuch*, 2016(1), pp. 435–440. Available at: <https://doi.org/10.1515/hgjb-2016-0173>.
- Schollmeyer, J. (2016b) *Michael Herrlich oder: Von der Arbeitsgemeinschaft Erfindertätigkeit und Methodik des Erfindens über die KDT-Erfinderschulen hin zur Deutschen Erfinder-Akademie*. Available at: <https://docplayer.org/62981960-Aus-gespraechen-mit-michael-herrlich-vom-und-vom-von-justus-schollmeyer-version-vom.html> (Accessed: 29 December 2022).
- Schollmeyer, J. (2017) ‘La philosophie transcendantale et la méthode de l’explication fonctionnelle en biologie’, in T. Ebke and C. Zanfi (eds) *Das Leben im Menschen oder der Mensch im Leben? La vie dans l’homme ou l’homme dans la vie?* Potsdam: Universitätsverlag Potsdam, pp. 273–284. Available at: https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/39609/file/ebke_S273-284.pdf.
- Schollmeyer, J. (2018) ‘Dialektische Theorien zur Lösung von Erfindungsaufgaben’, *Hegel-Jahrbuch*, 11(1), pp. 144–149. Available at: <https://doi.org/10.1515/hgjb-2018-110127>.
- Schollmeyer, J. (2022) ‘Using NLP to Detect Tradeoffs in Employee Reviews’, in R. Nowak, J. Chrzyszcz, and S. Brad (eds) *Systematic Innovation Partnerships with Artificial Intelligence and Information Technology*. Cham: Springer International Publishing (IFIP Advances in Information and Communication Technology), pp. 209–219. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17288-5_19.
- Schollmeyer, J. and Tamuzs, V. (2018) ‘Discovery on Purpose? Toward the Unification of Paradigm Theory and the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)’, in D. Cavallucci, R. De Guio, and S. Koziółek (eds) *Automated Invention for Smart Industries*. Cham: Springer International Publishing (IFIP Advances in Information and Communication Technology), pp. 94–109. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-02456-7_9.
- Schollmeyer, J. and Tamuzs, V. (2019) ‘Deducing Altshuller’s Laws of Evolution of Technical Systems’, in R. Benmoussa et al. (eds) *New Opportunities for Innovation Breakthroughs for Developing Countries and Emerging Economies*. Cham: Springer International Publishing (IFIP Advances in Information and Communication Technology), pp. 55–69. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-32497-1_6.

Schollmeyer, J. (2023a) *Trolley Question (Antworten)*, *Google Docs*. Available at: https://docs.google.com/spreadsheets/d/17gi3efN4MH78UaqiV0dw6fO1AR9azUysN11gHmic6B8/edit?usp=drive_web&oid=101522331103813331698&usp=embed_facebook (Accessed: 30 March 2023).

Schollmeyer, J. (2023b) *Trolley_survey_analysis.ipynb*. Available at: <https://colab.research.google.com/drive/1pXQInHz52oPMWj8iYiGVILcEg8KvRoeh#scrollTo=4128r7D9IS41> (Accessed: 30 March 2023).

Schollmeyer, J., (2023c). *Dilemma or False Dilemma: A Sequence of Steps to Avoid the Trolley*, in: Cavallucci, D., Livotov, P., Brad, S. (Eds.), *Towards AI-Aided Invention and Innovation*, IFIP Advances in Information and Communication Technology. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 544–557. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42532-5_42.

Schollmeyer, J., Ariyur, K.B., (2023) *The Law of Reliable Resource Supply: Making Altshuller's Laws of System Evolution Sustainable*, in: Cavallucci, D., Livotov, P., Brad, S. (Eds.), *Towards AI-Aided Invention and Innovation*, IFIP Advances in Information and Communication Technology. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 256–267. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42532-5_20.

Schwartz, M.S. (2017) *Business ethics : an ethical decision-making approach*. Wiley Blackwell. Available at: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=3254f4445bdfd10da857b35f035037ea> (Accessed: 2 January 2023).

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST (2019) *Schlussbericht der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST über Entgleisung eines ICE-Zuges vom 17. Februar 2019 in Basel Badischer Bahnhof (BS) Reg.-Nr. 2019021701*. Available at: https://www.sust.admin.ch/inhalte/BS/2019021701_SB_Basel_Bad_Bf.pdf.

Shapiro, J.P. and Stefkovich, J.A. (2016) *Ethical Leadership and Decision Making in Education: Applying Theoretical Perspectives to Complex Dilemmas*. Paperback. Routledge. Available at: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=bf8a2d8c79f334b387fdb2252a6a935f> (Accessed: 2 January 2023).

Shih, J.-Y. *et al.* (2022) 'Dynamic characteristics of a switch and crossing on the West Coast main line in the UK', *Railway Engineering Science*, 30(2), pp. 183–203. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40534-021-00269-4>.

Smil, V. (2017) *Energy Transitions: Global and National Perspectives, 2nd Edition*. ABC-CLIO.

Stahl, T. (2013) *Immanente Kritik: Elemente einer Theorie sozialer Praktiken*. Campus Verlag (Theorie und Gesellschaft, 78).

Sturges, J. and Guest, D. (2004) 'Working to live or living to work? Work/life balance early in the career', *Human Resource Management Journal*, 14(4), pp. 5–20. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1748-8583.2004.tb00130.x>.

Thomson, J.J. (1976) 'Killing, letting die, and the trolley problem', *The monist*, 59(2), pp. 204–217.

Tiwary, A.K. *et al.* (2022) 'Different Energy Management Strategies for Clean Energy', in D.B. Pal and J.M. Jha (eds) *Sustainable and Clean Energy Production Technologies*. Singapore: Springer Nature (Clean Energy Production Technologies), pp. 29–49. Available at: https://doi.org/10.1007/978-981-16-9135-5_2.

Tomić, T. (2013) 'False Dilemma: A Systematic Exposition', *Argumentation*, 27(4), pp. 347–368. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10503-013-9292-0>.

Tomic, T. (2021) 'The Distinction Between False Dilemma and False Disjunctive Syllogism', *Informal Logic*, 41(4), pp. 607–639. Available at: <https://doi.org/10.22329/il.v41i4.6233>.

United Nations (2022) *World Population Prospects - Population Division - United Nations*. Available at: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/> (Accessed: 5 January 2023).

Value Management und Wertanalyse (2018) *VDI 4521 Blatt 2 - Erfinderisches Problemlösen mit TRIZ - Zielbeschreibung, Problemdefinition und Lösungspriorisierung*. Available at: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4521-blatt-2-erfinderisches-problemloesen-mit-triz-zielbeschreibung-problemdefinition-und-loesungspriorisierung> (Accessed: 7 January 2023).

Value Management und Wertanalyse (2020) *VDI 4521 Blatt 3 - Erfinderisches Problemlösen mit TRIZ - Lösungssuche*. Available at: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4521-blatt-3-erfinderisches-problemloesen-mit-triz-loesungssuche> (Accessed: 7 January 2023).

Value Management und Wertanalyse (2021) *VDI 4521 Blatt 1 - Erfinderisches Problemlösen mit TRIZ - Grundlagen und Begriffe*. Available at: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4521-blatt-1-erfinderisches-problemloesen-mit-triz-grundlagen-und-begriffe> (Accessed: 7 January 2023).

Velenturf, A.P.M. and Purnell, P. (2021) 'Principles for a sustainable circular economy', *Sustainable Production and Consumption*, 27, pp. 1437–1457. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018>.

Waldmann, M.R. and Dieterich, J.H. (2007) 'Throwing a Bomb on a Person Versus Throwing a Person on a Bomb: Intervention Myopia in Moral Intuitions', *Psychological Science*, 18(3), pp. 247–253. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01884.x>.

- Wilkens, S. (2009) *Effizientes Nachhaltigkeitsmanagement*. Springer-Verlag.
- Woitzik, C. (2017) *Nachhaltigkeitsberichterstattung unter Compliance-Aspekten: Eine Analyse der DAX-Unternehmen*. Springer Gabler (BestMasters).
- Wolkenstein, A. (2018) ‘What has the Trolley Dilemma ever done for us (and what will it do in the future)? On some recent debates about the ethics of self-driving cars’, *Ethics and Information Technology*, 20(3), pp. 163–173. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10676-018-9456-6>.
- World Commission on Environment and Development (1987) *Our common future*. Oxford ; New York : Oxford University Press. Available at: <http://archive.org/details/ourcommonfuture00worl> (Accessed: 29 December 2022).
- Wu, H. *et al.* (2022) ‘Family Relationships Under Work From Home: Exploring the Role of Adaptive Processes’, *Frontiers in Public Health*, 10, p. 782217. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.782217>.
- Wühle, M. (2019) ‘Nachhaltigkeit als Erfolgsfaktor’, in M. Englert and A. Ternès (eds) *Nachhaltiges Management: Nachhaltigkeit als exzellenten Managementansatz entwickeln*. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 61–78. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-662-57693-9_3.
- Wühle, M. (2022) *Nachhaltigkeit messbar machen: Ein Praxisbuch für nachhaltiges Leben und Arbeiten*. 4th ed. 2022. Springer Berlin Heidelberg (Springer eBook Collection).
- Yoshida, T. *et al.* (2003) ‘Rapid evolution drives ecological dynamics in a predator–prey system’, *Nature*, 424(6946), pp. 303–306.
- Zapp, F. (2016) ‘Ambivalenzen und Widersprüche als Herausforderungen für Change-Manager’, *Organisationsberatung, Supervision, Coaching*, 23(4), pp. 371–379. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11613-016-0482-0>.
- Zeyen, A., Klewitz, J. and Hansen, E.G. (2011) ‘Ökoeffizienz in deutschen Unternehmen’, *Ökologisches Wirtschaften - Fachzeitschrift*, (3), pp. 47–47. Available at: <https://doi.org/10.14512/oew.v26i3.1147>.
- Zobel, D. (1985) ‘Erfinderfibel’, *Systematisches Erfinden für Praktiker*, Berlin, 1.
- Zobel, D. (2018) *TRIZ für alle: Der systematische Weg zur erfinderischen Problemlösung*. expert verlag.
- Zobel, D. and Hartmann, R. (2009) *Erfindungsmuster: TRIZ: Prinzipien, Analogien, Ordnungskriterien, Beispiele ; mit 12 Tabellen*. expert verlag.