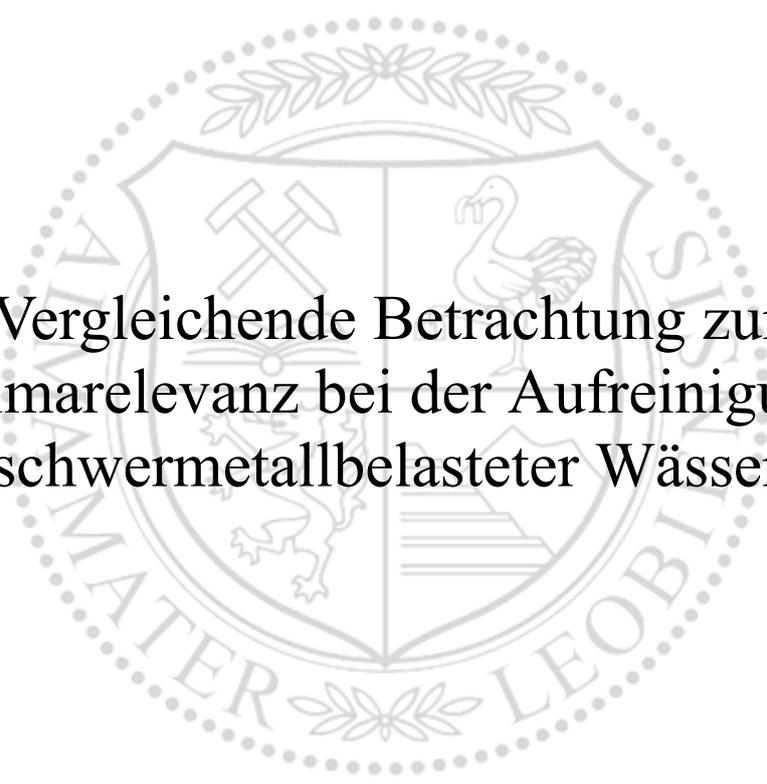




Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften

Masterarbeit



Vergleichende Betrachtung zur
Klimarelevanz bei der Aufreinigung
schwermetallbelasteter Wässer

Alain Jean Pierre Abi Fadel-Gampersberger, BSc

August 2022

Aufgabenstellung

Herr Alain Abi Fadel-Gampersberger, BSc. wird das Thema

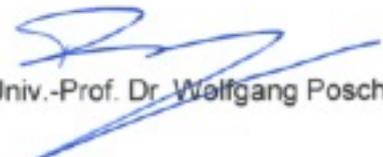
Vergleichende Betrachtung zur Klimarelevanz bei der Aufreinigung schwermetallbelasteter Wässer

zur Bearbeitung in einer Masterarbeit gestellt.

Im ersten Abschnitt der Masterarbeit sind die theoretischen Grundlagen im Themenbereich der Nachhaltigkeit herauszuarbeiten. Ein wesentlicher Bestandteil der Arbeit liegt in der Erarbeitung der Themenstellung des Life-Cycle Assessments sowie der Integration nachhaltigen Handelns in Geschäftsmodelle, welche für eine dementsprechende Ausrichtung von Unternehmen relevant sind. Für die Themenbearbeitung sind Kenntnisse über die Energiewirtschaft und Grundlagen der Bewertung der Nachhaltigkeit von Geschäftsprozessen aus der einschlägigen Fachliteratur zu gewinnen.

Den Schwerpunkt des praktischen Teils bildet die Durchführung eines Life-Cycle Assessments für die Aufreinigung schwermetallbelasteter Wässer bei einem Industriepartner. Gewünschtes Ziel der Arbeit ist zu ermitteln, wie der Aufreinigungsprozess ebengenannter Wässer im Vergleich zu alternativen Methoden abschneidet. Im Zuge dessen sind die im theoretischen Teil ausgearbeiteten Inhalte zur Durchführung eines Life-Cycle Assessments anzuwenden und daraus ableitbare Optimierungspotenziale aufzuzeigen.

Leoben, Oktober 2021


Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Posch



EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Ich erkläre, dass ich die Richtlinien des Senats der Montanuniversität Leoben zu "Gute wissenschaftliche Praxis" gelesen, verstanden und befolgt habe.

Weiters erkläre ich, dass die elektronische und gedruckte Version der eingereichten wissenschaftlichen Abschlussarbeit formal und inhaltlich identisch sind.

Datum 29.08.2022

Unterschrift Verfasser/in

Alain Jean Pierre Abi Fadel-Gampersberger

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Es wird ausdrücklich festgehalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich beim Anfertigen dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Zuerst gilt mein Dank Dipl. -Ing. Stefan Kernbauer und seiner Kollegin Dipl. -Ing. Alexandra Groß, die meine Masterarbeit betreut sowie begutachtet haben. Ich bedanke mich für die konstruktive Kritik und die zahlreichen hilfreichen Anregungen. Besonderer Dank gebührt ebenfalls Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Wolfgang Posch, dass er die Bearbeitung dieser Arbeit ermöglicht hat.

Auch bedanke ich mich besonders beim Geschäftsführer der Firma ferroDECONT GmbH Dipl.-Ing. Peter Müller für seine Unterstützung, Expertise und die zu Verfügung gestellten Informationen, sowie für die Zusammenarbeit.

Darüber hinaus danke ich meinen Kommilitonen und Freunden Alice Füreder, Elisabeth Dottolo, Julia Hinterkircher, Stella Veneziano, Ulrich Palzer und vor allem meinem Ehemann Gerald Gampersberger ohne deren Hilfe und vor allem mentale Unterstützung diese Arbeit und der dazugehörige Abschluss nicht möglich gewesen wäre.

Dankbar bin ich auch Christiane Palzer, die meine Masterarbeit korrekturgelesen hat.

Abschließend bedanke ich mich herzlichst bei meinen Eltern Eva und Hanna Abi Fadel die mir das Studieren erst ermöglicht haben und für die Unterstützung während des gesamten Studiums, sowie bei meiner Großmutter Felizitas Maszynski die mir mit ihren Lebensweisheiten in vielen Situation weitergeholfen haben.

Kurzfassung

Der Klimawandel und globale Probleme wie Pandemien und politische Krisen belasten die Umwelt nachhaltig und zwingen Gesellschaft, Wirtschaft und Politik dazu, Verantwortung zu übernehmen. Es braucht ein Umdenken und die Sensibilisierung der Gesellschaft, Innovationen und nachhaltige Entwicklungen in der Wirtschaft und Anstöße sowie Gesetze durch die Politik. Alle drei Bereiche sind miteinander verbunden und es erfordert Kooperationen und gemeinsame Ziele, die auf Mensch und Umwelt einen positiven Einfluss haben. Ziel ist es, dass bestehende und zukünftige Generationen ohne Einschränkungen ihr Leben gestalten können, ganz im Sinne der Nachhaltigkeit.

Diese Arbeit befasst sich eindringlich mit dem Thema der Nachhaltigkeit. Ein besonderer Fokus liegt auf der Erläuterung der Sustainable Development Goals, die zum Ziel haben, die Welt in eine nachhaltige Zukunft zu führen. Des Weiteren wird darauf eingegangen, wie Nachhaltigkeit qualitativ und quantitativ bewertet und wie sie in die Sichtweise der Wirtschaft eingeführt und aktiv betrieben werden kann, sowie sich daraus nachhaltige Geschäftsmodelle entwickeln lassen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Beschreibung des Life Cycle Assessment, welches sich als effektives und zielführendes Instrument ergibt, um einen Prozess zu analysieren und im Sinne der Nachhaltigkeit anzupassen.

Die Firma ferroDECONT beschäftigt sich mit der Reinigung schwermetallbelasteter Wässer durch die Reduktion von sechswertigem Chrom mit Hilfe von Eisen-Granalien. Im Sinne der Sustainable Development Goals entschied sich die Firma ferroDECONT ihr Verfahren in Bezug auf Klimarelevanz und Einwirkungen auf die Umwelt zu analysieren und anderen Verfahren zur Reinigung schwermetallbelasteter Wässer gegenüberzustellen. Als Vergleich dient eine in Spanien ansässige Firma, die Metallplatten verchromt und ebenfalls mit sechswertigem Chrom verseuchtes Abwasser reinigen muss. Dabei wird eine standardisierte Abwasserreinigung mittels Chemikalien durchgeführt, als auch eine alternative Methode, wie dies beim ferrodcont-Verfahren der Fall ist. Die Prozesse beider Firmen wurden unter festgelegten Rahmenbedingungen analysiert und gegenübergestellt, wodurch sich die Situation ergab, dass die Effizienz der Aufreinigung je nach Höhe der Chrom-Konzentration variiert. So ist bei höheren Konzentrationen die standardisierte chemiebehafte Methode effektiver, hingegen bei geringeren Konzentrationen das ferrodcont-Verfahren.

Der Prozess von ferroDECONT bietet sich als effiziente Alternative an, um schwermetallbelastete Wässer zu reinigen, da durch den Entfall von konventionellen Chemikalien in Form von anorganischen Salzen die Auswirkungen auf die Umwelt auf ein Minimum reduziert werden und durch den Aufbau der Anlage eine hohe Anpassungsmöglichkeit gewährleistet werden kann. Die Firma ferroDECONT versucht mit Erfolg, Nachhaltigkeit in ein Unternehmen zu integrieren und im Sinne der Sustainable Development Goals zu handeln.

Abstract

Climate change and global problems such as pandemics and political crises are placing a lasting burden on the environment and forcing society, economy and politics to take responsibility. There is a need for a rethinking and raising awareness in society, a need for innovations and sustainable developments in the economy and impulses as well as laws by politics. All these three areas are interconnected, and it requires cooperation and common goals that have a positive impact on humans and the environment. The goal is that existing and future generations can shape their lives without restrictions, in the spirit of sustainability.

This thesis deals forcefully with the topic of sustainability. A special focus lies on the explanation of the Sustainable Development Goals, which aim to lead the world into a sustainable future. Furthermore, it elaborates how sustainability can be assessed qualitatively and quantitatively and how it can be implemented and actively pursued in the economy, as well as how sustainable business models develop from it. Another focus is the description of the Life Cycle Assessment, which is an effective and target-oriented instrument to analyze a process and to adapt it in terms of sustainability.

The company ferroDECONT deals with the treatment of heavy metal contaminated water by the reduction of hexavalent chromium with the help of iron grains. In accordance with the Sustainable Development Goals, the company ferroDECONT decided to analyze its process in terms of climate relevance and environmental impact and to compare it with other processes for the treatment of water contaminated with heavy metals. A company based in Spain, which is a chrome plating company for metal plates also must treat wastewater contaminated with hexavalent chromium, serves as a comparison. Here, standardized wastewater-treatment using chemicals is carried out, as well as an alternative method, as is the case with the ferrodcont process. The processes of both companies were analyzed and compared under specified conditions, resulting in the situation that the efficiency of the treatment varies depending on the level of chromium concentration. Thus, at higher concentrations, the standardized chemicals-based method is more effective, whereas at lower concentrations, the ferrodcont process takes the lead.

The company ferroDECONT offers an efficient alternative to purify heavy metal contaminated waters, since the elimination of chemicals reduces the impact on the environment to a minimum and the design of the plant ensures a high adaptability. ferroDECONT tries with success to integrate sustainability in a company and to act in the sense of the Sustainable Development Goals.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung und Forschungsfrage	2
1.3	Methodische Vorgehensweise	3
1.4	Aufbau der Arbeit.....	3
2	Theoretische Grundlage	4
2.1	Einführung in die Sustainable Development Goals	4
2.1.1	Die SDGs und deren Inhalt	4
2.1.2	Die Integration der SDGs in ein Unternehmen	9
2.1.3	Gründe zur Implementierung der SDGs	15
2.2	Einführung in die Nachhaltigkeit und in mögliche Bewertungsmethoden	16
2.2.1	Der Begriff Nachhaltigkeit	16
2.2.2	Integration von Nachhaltigkeit: Gründe und Ziele	18
2.2.3	Grundzüge der Nachhaltigkeitsbewertung	19
2.3	Das nachhaltige Geschäftsmodell	38
2.3.1	Definition Geschäftsmodell	38
2.3.2	Integration von Nachhaltigkeit in das Unternehmen	39
2.3.3	ISO 26000	41
2.3.4	Sustainable Balanced Scorecard.....	43
2.4	Life-Cycle-Assessment (LCA).....	44
2.4.1	Der Begriff Lebenszyklus und Lebenszyklusmanagement	44
2.4.2	Nachhaltigkeits- und Life-Cycle-Management	45
2.4.3	Ergebnisse und Ausblick.....	46
2.4.4	Aufbau einer LCA-Analyse.....	46
2.4.5	Inhalte der einzelnen LCA-Phasen	48
2.4.6	Mögliche Bewertungsmethoden.....	51
3	Praktische Fallstudie	55
3.1	Prozess von ferroDECONT	55
3.1.1	ferroDECONT und Nachhaltigkeit.....	57
3.1.2	Ziel definieren und Systemgrenzen festlegen.....	60
3.1.3	Sachbilanz erstellen.....	63
3.1.4	Wirkungsabschätzung.....	65
3.1.5	Interpretation.....	67
3.2	Erster Vergleichsprozess	68

3.2.1	Ziel definieren und Systemgrenzen festlegen.....	69
3.2.2	Sachbilanz erstellen.....	72
3.2.3	Wirkungsabschätzung.....	74
3.2.4	Interpretation.....	75
3.3	Zweiter Vergleichsprozess.....	77
3.3.1	Ziel definieren und Systemgrenzen festlegen.....	78
3.3.2	Sachbilanz erstellen.....	80
3.3.3	Wirkungsabschätzung.....	82
3.3.4	Interpretation.....	83
3.4	Kritische Würdigung des Vergleichsprozesses.....	85
3.5	Optimierungspotenziale	89
3.5.1	Die Rückgewinnung von Chrom	90
3.5.2	Nutzung erneuerbarer Energie	93
4	Zusammenfassung und Ausblick	95

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufzählung der durch die Vereinten Nationen beschlossen 17 SDGs ..5	
Abbildung 2: Grafische Darstellung des SDG Compass	10
Abbildung 3: Darstellung des Drei-Säulen-Modells als gesamtes System.....	17
Abbildung 4: Einreihung der Bewertungsmethoden nach den drei Säulen der Nachhaltigkeit	37
Abbildung 5: Darstellung des Aufbaues eines Geschäftsmodells	39
Abbildung 6: Controllingkreislauf in Form eines PDCA-Zyklus.....	41
Abbildung 7: Schematische Darstellung zur Durchführung der ISO 26000.....	42
Abbildung 8: Mögliche Darstellung einer SBSC	44
Abbildung 9: Darstellung des Lebenszyklus am Beispiel einer Lithium-Ionen-Batterie	45
Abbildung 10: Vorgehensweise bei der LCA-Analyse nach DIN EN ISO 14040/44.	47
Abbildung 11: Veranschaulichung wie Systemgrenzen gesetzt werden können	49
Abbildung 12: Beispiel einer Sachbilanz zur Extraktion von Aluminium.....	50
Abbildung 13: Allgemeine Struktur des Life Cycle Impact Assessment	51
Abbildung 14: Aufbau der Abwasseraufbereitungseinheit der Firma ferroDECONT	56
Abbildung 15: Vereinfachte Darstellung des ferroDECONT Verfahrens bei der Reinigung von kontaminiertem Grundwasser.....	57
Abbildung 16: Typischer Aufbau einer Granshot Anlage.....	61
Abbildung 17: Darstellung des Sprühkopfs zum Produzieren der Fe(0)-Granalien..	61
Abbildung 18: Gesamter Prozess von der Rohstoffgewinnung für die Roheisenproduktion bis hin zum behandelten und dekontaminierten Wasser durch das ferrodcont-Verfahren.....	62
Abbildung 19: Sachbilanz des Prozesses von ferroDECONT inkl. Inputs (grün) und Outputs (rot).....	63
Abbildung 20: Indikatoranteil jedes Teilschritts des Prozesses der Firma ferroDECONT	67
Abbildung 21: Vorgehensweise zur Verchromung von Metallplatten der Vergleichsarbeit	69
Abbildung 22: Vollständiger Prozess des alternativen Reinigungsverfahrens inkl. der Systemgrenzen des ersten Vergleichsprozesses.....	71
Abbildung 23: Sachbilanz der ersten Reinigungsstufe des Vergleichsprozesses	72
Abbildung 24: Indikatoranteile der ersten Reinigungsstufe der Vergleichsarbeit	75
Abbildung 25: Abgrenzung der Untersuchungsrahmens des zweiten Vergleichsprozesses.....	79
Abbildung 26: Sachbilanz der zweiten Reinigungsstufe des Vergleichsprozesses..	80

Abbildung 27: Indikatoranteile der zweiten Reinigungsstufe der Vergleichsarbeit...	83
Abbildung 28: Aus der Vergleichsarbeit entnommene Ergebnisse Berechnung der Indikatoren	86
Abbildung 29: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus der Vergleichsarbeit und der eigenen Analyse	88
Abbildung 30: Darstellung des Rückgewinnungsverfahrens	92

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Inhalte der SDGs	6
Tabelle 2: Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit.....	22
Tabelle 3: Bewertungsmethoden in Umberto	53
Tabelle 4: Quantifizierung der Stoffströme des Prozesses von ferroDECONT	64
Tabelle 5: Ergebnisse der Indikatoren der Firma ferroDECONT	66
Tabelle 6: Quantifizierung aller Ströme des ersten Vergleichsprozess	74
Tabelle 7: Errechneten Indikatoren des ersten Vergleichsprozess bezogen auf eine Stunde	74
Tabelle 8: Gegenüberstellung ferroDECONT mit der ersten Reinigungsstufe des Vergleichsprozess	76
Tabelle 9: Gegenüberstellung der Indikatoren beim ersten Vergleichsprozess bezogen auf die gleiche Menge reduziertem Cr(VI)	77
Tabelle 10: Quantifizierung der Stoffströme der zweiten Reinigungsstufe des Vergleichsprozesses.....	82
Tabelle 11: Berechneten Indikatoren der zweiten Reinigungsstufe des Vergleichsprozess	82
Tabelle 12: Gegenüberstellung ferroDECONT mit der zweiten Reinigungsstufe des Vergleichsprozess	84
Tabelle 13: Gegenüberstellung der Indikatoren beim zweiten Vergleichsprozess bezogen auf die gleiche Menge reduziertem Cr(VI)	85
Tabelle 14: Aus der Literatur entnommenen Vergleichsdaten	86
Tabelle 15: Angepasste Daten des Vergleichsprozesses aus der Vergleichsarbeit bezogen auf eine Stunde.....	87
Tabelle 16: Summe der Ergebnisse aus dem ersten und zweiten Vergleichsprozess	87

Abkürzungsverzeichnis

ALOP	Agricultural Land Occupation (Landnutzung)
Bspw.	beispielsweise
Bzgl.	bezüglich
Bzw.	beziehungsweise
Cr(III)	dreiwertiges Chrom
Cr(VI)	sechswertiges Chrom
CSR	Corporate Sustainable Responsibility
CSRD	Corporate Sustainable Reporting Directive
FDP	Fossil Depletion (Fossile Erschöpfung)
GWP	Global Warming Potential (Erderwärmungspotenzial)
H ₂ SO _s	Schwefelsäure
Hrsg.	Herausgeber
HTP_INF	Human Toxicity (Menschliche Toxizität)
IRR_HE	Ionising Radiation (ionisierende Strahlung)
ISO	International Organization for Standardization
kg	Kilogramm
kg 1,4DCB-Eq	Kilogramm 1,4 Dichlorbenzol-Äquivalent
kg CO ₂ -Eq	Kilogramm Kohlendioxid-Äquivalent
kg Fe-Eq	Kilogramm Eisen-Äquivalent
kg oil-Eq	Kilogramm Öl-Äquivalent
kg SO ₂ -Eq	Kilogramm Schwefeldioxid-Äquivalent
kg U ₂₃₅ -Eq	Kilogramm Uran 235-Äquivalent
kWh	Kilowattstunden
KPI	Key Performance Indicator
LCA	Life Cycle Assessment
m ² a	Quadratmeter mal Jahre
m ² water-Eq	Quadratmeter Wasser-Äquivalent
MDP	Metal Depletion (Metallabbau)
NaOH	Natriumhydroxid
NFRD	Non-Financial Reporting Directive
o.ä.	oder ähnliche
PDCA	Plan-Do-Check-Act (kontinuierlicher Verbesserungsprozess)
RS	Reinigungsstufe
S.	Seite

SDG	Sustainable Development Goals
TAP	Terrestrial Acidification (Terrestrische Versauerung)
TiO ₂	Titandioxid
u.a.	unter anderem
Et al.	Et alii = und andere
Vgl.	vergleiche
WDP	Water depletion (Wassermangel)
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Das erste Kapitel der vorliegenden Masterarbeit gibt eine allgemeine Einführung in die Thematiken die erarbeitet und wie diese wissenschaftliche Arbeit zustande gekommen ist. Es wird zuerst auf die Ausgangssituation und die Problemstellung eingegangen. Anschließend werden die Zielsetzungen und die Forschungsfrage formuliert. Danach wird die methodische Vorgehensweise beschrieben und den Abschluss bildet die Beschreibung des Aufbaus dieser Arbeit.

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Am 21.04.2021 veröffentlichte die EU-Kommission eine Empfehlung für die „Reform der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen in der Europäische Union“, die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD). Das Ziel ist die Änderung der bestehenden Berichterstattungspflicht der Non-Financial Reporting Directive (NFRD) mit der Absicht, die Transparenz, die Vergleichbarkeit zwischen den Unternehmen und die Digitalisierung innerhalb von Unternehmen zu erhöhen.¹ Ausschlaggebend sind die Veröffentlichungen von Unternehmen, die die Nachhaltigkeit betreffen.² Weiters wurden 2015 in der Agenda 2030 der Vereinten Nationen die 17 Sustainable Development Goals formuliert, die einerseits dafür sorgen sollen, den größten Problemen auf ökonomischer, ökologischer und sozialer Ebene entgegen zu wirken und andererseits Länder in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung auf diesen Ebenen zu unterstützen.³

Gesetzesvorschläge dieser Art beabsichtigen, das Handeln von Unternehmen in Bezug auf die Umwelt positiv zu beeinflussen. Sie werden aufgefordert, die Gesetze effektiv umzusetzen, sowie eine transparente Einsicht in die Ergebnisse für interne und externe Stakeholder zu ermöglichen.⁴ Durch das steigende Bewusstsein der Bevölkerung für den Klimawandel und die unterstützenden Gesetzesänderungen, steigt auch die Notwendigkeit, die nachhaltige Lebensweise und das nachhaltige Wirtschaften in Unternehmen einzubinden.⁵ Die sich aufgrund der Direktiven ergebende Problematik der Nachhaltigkeitsberichterstattung soll mit dieser Masterarbeit zuerst theoretisch aufgearbeitet werden.

Nachhaltiges Wirtschaften bedeutet, sämtliche Lebensphasen eines Produktes oder einer Dienstleistung zu beachten und nicht nur einzelne Prozessschritte, das heißt vom Abbau der Ressourcen, über die Herstellung bzw. Bereitstellung und den Gebrauch, bis hin zur Entsorgung, Wiederverwertung und -verwendung.⁶ Dabei müssen sämtliche Aspekte der einzelnen Phasen berücksichtigt werden wie CO₂-Fußabdruck, Kosten,

¹ vgl. EU-Kommission (2021), S. 1 ff.

² vgl. EU-Kommission (2021). S. 2 f.

³ vgl. Wittpahl, V. (2020), S. 14.

⁴ vgl. Schmid, E. et al. (2020), S. 8.

⁵ vgl. Wittpahl, V. (2020), S. 15.

⁶ vgl. Posch, W. et al. (2019), S. 5.

Wirtschaftlichkeit, Materialverbrauch, Energieeffizienz, Erfüllen von gesetzlichen Vorgaben usw. Dies hat Auswirkungen auf die Ressourcen-, Energie- und Finanzplanung. Die Herausforderung des nachhaltigen Wirtschaftens ist die Datenbeschaffung, da eine ausreichende Datengrundlage notwendig ist, um einerseits die firmeninternen Prozesse vollständig und wahrheitsgetreu darzustellen und andererseits die Weiterentwicklung des Unternehmens zu ermöglichen.⁷

Es existiert eine Vielzahl von Methoden und Tools, wie ein Unternehmen bezogen auf Umwelt und Nachhaltigkeit beurteilt und bewertet werden kann.⁸ Eine bewährte Methode ist das Life-Cycle-Assessment (LCA).

Unternehmen, die bei der Produktion oder Bereitstellung von Dienstleistungen Abwässer produzieren, welche mit Schwermetallen belastet sind, haben die Verpflichtung, diese zu reinigen, damit Grenzwerte nicht überschritten werden. Abwässer können unterschiedliche Bestandteile besitzen wie z.B. Metalle, lösliche und unlösliche Stoffe, Schlacke, kanzerogene und umweltschädigende Stoffe usw. Einer dieser Bestandteile, auf den sich diese Arbeit konzentriert, ist das hochgiftige sechswertige Chrom (Cr(VI)). Hierfür gibt es eine Reihe anerkannter und standardisierter Verfahren, auf welche Art und Weise die Reinigung durchgeführt werden kann.⁹ Eine der gängigsten Methoden ist die Reduktion von Cr(VI) durch Chemikalien, die wiederum selbst umweltschädlich sein können.¹⁰ Zu beachten ist, dass die Produktion dieser Chemikalien eine erhebliche Menge an Energie erfordert, was wiederum den ökologischen Fußabdruck deutlich vergrößert.¹¹ Genau diesen Punkt macht den Prozess der Firma ferroDECONT so speziell, da hier diese konventionellen Chemikalien wegfallen.

Die Firma ferroDECONT hat zum Ziel, einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten und einen Schritt in Richtung Nachhaltigkeit zu setzen. Dabei sollen die Ergebnisse für Transparenz in die unternehmerischen Tätigkeiten sorgen. Mit Hilfe einer umfassenden Umweltbetrachtung wird die Firma ferroDECONT bzw. der Prozess, welcher hier eingesetzt wird, genauer analysiert.

1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

Der theoretische Teil soll jene Themen erarbeiten, die im Zuge des praktischen Teils von Relevanz sind. Es soll ein Basiswissen über Nachhaltigkeit, gesetzliche Vorgaben und möglicher ökologischer Bewertungsmethoden erarbeitet werden.

Ziel des praktischen Teils der Arbeit ist es, eine vollständige Lebenszyklusanalyse des Abwasserreinigungsprozesses der Firma ferroDECONT durchzuführen. Dazu muss ein vergleichbarer Prozess ausfindig gemacht werden, die Grenzen der zu analysierenden Prozesse festgelegt werden und sämtliche benötigten Daten müssen erhoben werden.

⁷ vgl. Posch, W. et al. (2019), S. 5.

⁸ vgl. Gminder, C. U. (2006), S. 3 f.

⁹ vgl. Neuwahl, F. et al., (2019), S.235.

¹⁰ vgl. Rodríguez, R. et al. (2017), S. 2359.

¹¹ vgl. Umweltbundesamt, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltwirtschaft/industrie/branchenabhaengiger-energieverbrauch-des#der-energiebedarf-deutschlands>, (Zugriff: 6.7.2022)

Die Frage, die beantwortet werden soll, lautet: Wie hoch ist die Klimarelevanz und der damit verbundene negative Einfluss auf die Umwelt der durch den Abwasserreinigungsprozess der Firma ferroDECONT, im Gegensatz zu einem vergleichbaren Abwasserreinigungsprozess, entsteht und welche Maßnahmen können in weiterer Folge noch gesetzt werden?

1.3 Methodische Vorgehensweise

Den Ausgangspunkt für die Arbeit stellt eine Literaturrecherche dar, in der zum einen ein Vergleichsprozess ausfindig gemacht wird, mit dem die Reinigung von Wässern mit jenem Prozess von ferroDECONT verglichen werden kann. Zum anderen werden die Vorgehensweise und der Inhalt einer LCA-Analyse, sowie die Notwendigkeit eine solche durchzuführen, detailliert beschrieben. Ergänzend dazu wird auf die SDGs eingegangen, als auch die Methoden zur Bewertung von Nachhaltigkeit und auf die Merkmale von nachhaltigen Geschäftsmodellen.

In einem nächsten Schritt wird eine vollständige Lebenszyklusanalyse durchgeführt und mit Hilfe des Programms Umberto modelliert. Anhand der Berechnungen und Ergebnisse können Vergleiche durchgeführt und Optimierungspotentiale definiert werden.

1.4 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn dieser Arbeit wird im Sinne der Nachhaltigkeitsberichterstattung auf den Inhalt der SDGs eingegangen, welchen Zweck diese haben und wie diese aktiv in ein Unternehmen eingebunden werden können. Des Weiteren werden Methoden beschrieben, wie Nachhaltigkeit qualitativ und quantitativ bewertet werden kann. Ebenso wird der Aufbau eines nachhaltigen Geschäftsmodells beschrieben und wie dieser umgesetzt wird. Den Abschluss des theoretischen Teils bildet die Auseinandersetzung mit der Methode des Life Cycle Assessment. Dies beinhaltet neben einer Erläuterung, aus welchen Gründen eine LCA-Analyse durchgeführt wird und was der Anstoß dafür sein kann, auch den Aufbau, sowie jede Phase, die eine LCA beinhaltet und mögliche Bewertungsverfahren.

In der praktischen Fallstudie wird zum einen der Referenzprozess genau beschrieben und zum anderen eine vollständige LCA-Analyse durchgeführt. In einem ersten Schritt werden die Ausgangssituation und die Randbedingungen beschrieben. Anschließend erfolgt die Erstellung des LCA-Modells, in der die Datenbeschaffung und die Ausarbeitung sowie die Modellierung anhand des Programms Umberto durchgeführt wird. Abschließend werden die Ergebnisse präsentiert und die Optimierungspotentiale aufgezeigt.

Zum Schluss werden die Resultate und gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst und mögliche Ausblicke erstellt.

2 Theoretische Grundlage

In einem ersten Schritt werden der Inhalt und der Hintergrund der SDGs beschrieben. Es wird auf die angestrebten Ziele eingegangen und wie Unternehmen diese aktiv umsetzen können. Danach werden die Methoden beschrieben, mit denen der Aspekt der Nachhaltigkeit qualitativ und quantitativ bewertet werden kann. In einem dritten Schritt werden nachhaltige Geschäftsmodelle genauer erklärt, wodurch sie gekennzeichnet sind, deren Aufbau und wie deren Einsatz für eine nachhaltigere Zukunft sorgen können. In einem letzten Schritt werden der Sinn und Zweck einer LCA-Analyse erklärt, sowie ihr Aufbau und der Inhalt in den einzelnen Phasen. Abschließend werden eine Aufzählung und eine Definition möglicher Bewertungsmethoden beschrieben anhand derer, nach durchgeführter und abgeschlossener Analyse, Entscheidungen für ein Unternehmen getroffen werden.

2.1 Einführung in die Sustainable Development Goals

Gesellschaft und Wirtschaft sind einem ständigen Wandel unterworfen und jeder Fortschritt führt zu neuen Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt. Von diesen Herausforderungen sind besonders ökonomische, ökologische und soziale Bereiche betroffen. Weltweite Krisen verstärken diese und machen es schwieriger, den Fortschritt aufrecht zu halten, ohne dabei Verluste hinnehmen zu müssen. Die Formulierung der SDGs durch die Vereinten Nationen ist ein Resultat dieser Herausforderungen.¹²

2.1.1 Die SDGs und deren Inhalt

Die SDGs definieren Ziele, die beschlossen wurden, um Gesellschaft, Wirtschaft und Politik in eine nachhaltigere Richtung zu lenken und die Herausforderungen, die damit verbunden sind. Es gilt, diese Ziele bis 2030 zu erfüllen und umzusetzen. Die SDGs umfassen insgesamt 17 Ziele, siehe Abbildung 1.

¹² vgl. Tulder Van, R. (2008), S. 11.



Abbildung 1: Aufzählung der durch die Vereinten Nationen beschlossen 17 SDGs¹³

Jedes SDG behandelt speziell eine Thematik, wie in Tabelle 1 dargestellt, und wird zudem in 169 Unterziele unterteilt, die konkrete Probleme behandeln.

¹³ Quelle: Bundeskanzleramt (2020)

Tabelle 1: Inhalte der SDGs¹⁴

Ziel	Inhalt
1. Keine Armut	Armut in allen ihren Formen und überall beenden
2. Kein Hunger	Den Hunger beenden, Ernährungssicherheit und eine bessere Ernährung erreichen und eine nachhaltige Landwirtschaft fördern
3. Gesundheit und Wohlergehen	Ein gesundes Leben für alle Menschen jeden Alters gewährleisten und ihr Wohlergehen fördern
4. Hochwertige Bildung	Inklusive, gleichberechtigte und hochwertige Bildung gewährleisten und Möglichkeiten lebenslangen Lernens für alle fördern
5. Geschlechtergleichheit	Geschlechtergleichstellung erreichen und alle Frauen und Mädchen zur Selbstbestimmung befähigen
6. Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen	Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten
7. Bezahlbare und saubere Energie	Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle sichern

¹⁴ Quelle: Vereinten Nationen (2015), S. 15.

Tabelle 1 (Fortsetzung): Inhalte der SDGs

8. Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum	Dauerhaftes, breitenwirksames und nachhaltiges Wirtschaftswachstum, produktive Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeit für alle fördern
9. Industrie, Innovation und Infrastruktur	Eine widerstandsfähige Infrastruktur aufbauen, breitenwirksame und nachhaltige Industrialisierung fördern und Innovationen unterstützen
10. Weniger Ungleichheiten	Ungleichheit in und zwischen Ländern verringern
11. Nachhaltige Städte und Gemeinden	Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten
12. Nachhaltige/r Konsum und Produktion	Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen
13. Maßnahmen zum Klimaschutz	Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen
14. Leben unter Wasser	Ozeane, Meere und Meeresressourcen im Sinne nachhaltiger Entwicklung erhalten und nachhaltig nutzen
15. Leben an Land	Landökosysteme schützen, wiederherstellen und ihre nachhaltige Nutzung fördern, Wälder nachhaltig bewirtschaften, Wüstenbildung bekämpfen, Bodendegradation beenden und umkehren und dem Verlust der biologischen Vielfalt ein Ende setzen

Tabelle 1 (Fortsetzung): Inhalte der SDGs

16. Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen	Friedliche und inklusive Gesellschaften für eine nachhaltige Entwicklung fördern, allen Menschen Zugang zur Justiz ermöglichen und leistungsfähige, rechenschaftspflichtige und inklusive Institutionen auf allen Ebenen aufbauen
17. Partnerschaften zur Erreichung der Ziele	Umsetzungsmittel stärken und die globalen Partnerschaften für nachhaltige Entwicklung mit neuem Leben erfüllen

2.1.2 Die Integration der SDGs in ein Unternehmen

Um Unternehmen die Implementierung der SDGs zu erleichtern, wurde der sogenannte SDG Kompass veröffentlicht. Dieser soll dabei helfen, die SDGs zu verstehen, welche Vorteile diese mit sich bringen und wie sie effektiv in das Unternehmen integriert werden können.¹⁵ Der Kompass ist ein Leitfaden in 5 Schritten, der Unternehmen unterstützt, ihre eigenen Ziele mit den SDGs abzustimmen und ihre Strategien anzupassen, siehe Abbildung 2. Gleichzeitig verpflichten sich Unternehmen, sich an die weltweit festgelegten Richtlinien zu halten, sowie die Menschenrechte zu priorisieren.¹⁶ In erster Linie richtet sich der Kompass an internationale Großkonzerne, da diese den größten Einfluss und daher auch die markantesten Auswirkungen haben. Es können sich auch kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) an dem Kompass orientieren.¹⁷

¹⁵ vgl. Van Tulder, R. (2018), S. 93.

¹⁶ vgl. SDG Compass, https://sdgcompass.org/wp-content/uploads/2015/12/019104_SDG_Compas_Guide_2015.pdf (Zugriff: 8.7.2022)

¹⁷ vgl. Verboven, H.; Vanherck, L. (2016), S. 167.

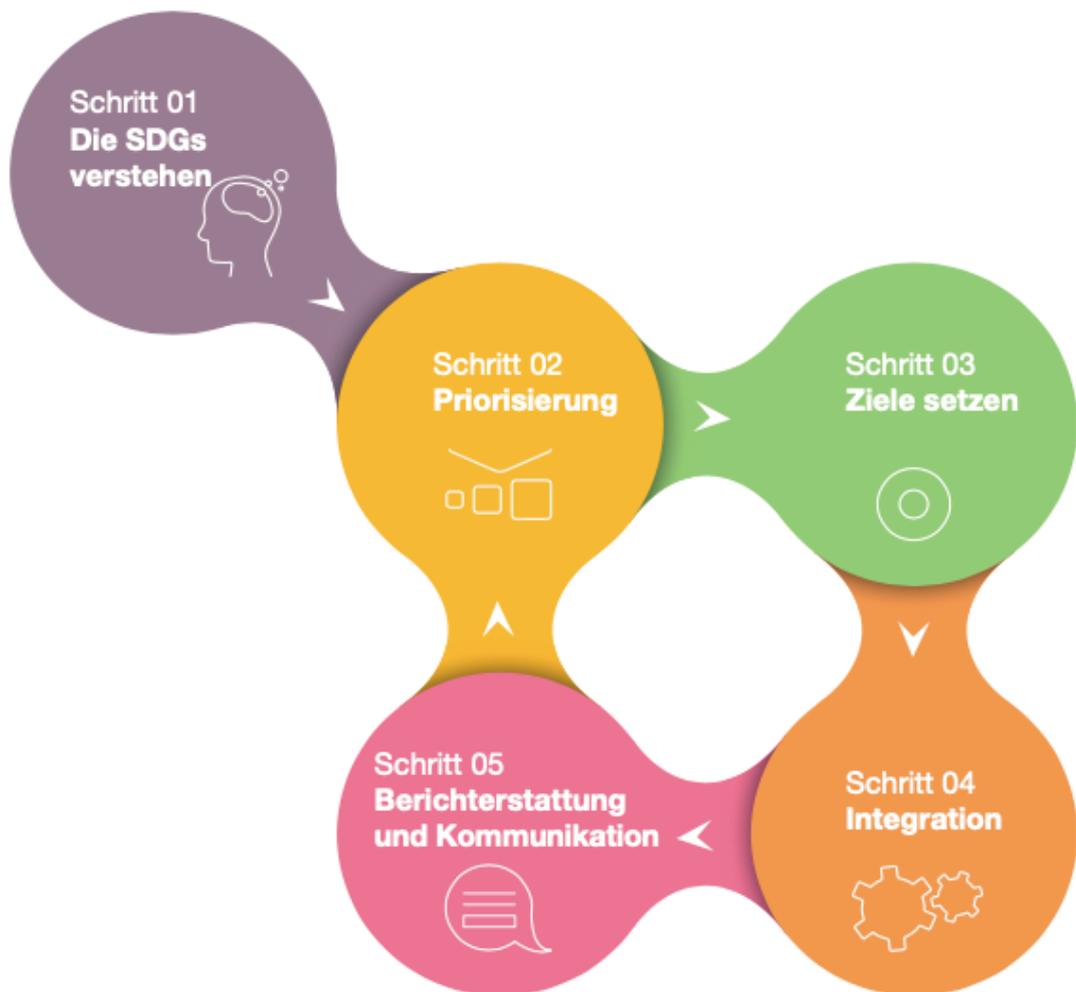


Abbildung 2: Grafische Darstellung des SDG Compass¹⁸

In einem ersten Schritt muss sich das Unternehmen mit den SDGs auseinandersetzen. Es wird der Inhalt der SDGs beschrieben und wie sie gewinnbringend in ein Unternehmen integriert werden können. Ziel ist das Geschäftsmodell so zu gestalten, dass es Vorteile für das Unternehmen mit sich bringt bei gleichzeitiger Erfüllung der SDGs.¹⁹ Dabei muss grundsätzlich jedes Unternehmen Verantwortung übernehmen, unabhängig davon, ob es sich um ein KMU oder einen internationalen Konzern handelt.²⁰

Der zweite Schritt im SDG Kompass ist die Priorisierung. Verständlicherweise können nicht alle SDG Ziele integriert werden bzw. nicht gleich stark ausgeprägt sein, da jedes Unternehmen andere Werte vertritt, und nicht jedes SDG-Ziel die gleiche Relevanz für das jeweilige Unternehmen hat.²¹ Zunächst müssen die Auswirkungen des

¹⁸ Quelle: SDG Compass (2015), S. 5.

¹⁹ vgl. Tulder, R. (2018), S. 105.

²⁰ vgl. SDG Compass (2015), S. 7 - 10.

²¹ vgl. SDG Compass (2015), S. 11.

Unternehmens auf die Umwelt analysiert werden. Es muss die gesamte Wertschöpfungskette in Betracht gezogen werden.²² Das gesamte Unternehmen wird übersichtlich dargestellt und in einzelne Bereiche gegliedert, um sowohl die positiven als auch negativen Einflüsse auf die Umwelt zu erfassen. Gleichzeitig wird bei dieser Vorgangsweise herausgefunden, in welchen Bereichen das größte Potential liegt. Jeder Bereich wird dahingehend untersucht, welche Aspekte er beinhaltet, die zur positiven Umsetzung eines oder mehrerer SDGs beitragen können. Zusätzlich wird analysiert, welche Geschäftsaktivitäten sich negativ auf einen oder mehrere SDGs auswirken. Dafür steht eine Vielzahl an Werkzeugen zur Verfügung. Beispiele wären das Environmentally extended input-output (EEIO) Modell oder aber auch die Ökobilanzierung bzw. die LCA-Analyse.²³

Ein weiterer Punkt im zweiten Schritt ist das Bestimmen von Indikatoren. Der Zweck der Indikatoren ist es, eine Relation zwischen einer Unternehmensaktivität und ihrer Auswirkung zu finden, damit diese quantitativ beurteilt werden kann. Für jedes SDG existieren bereits vorgefertigte Indikatoren, jedoch kann das Unternehmen auch selbst einen Indikator bestimmen.²⁴ Sobald sie festgelegt wurden, gilt es Daten für jeden Indikator zu sammeln.²⁵

Zum Schluss müssen im zweiten Schritt Prioritäten gesetzt werden. Nach Identifizierung und Bewertung aller Auswirkungen, ermittelt das Unternehmen, in welchen Bereichen das größte Ausmaß auf ökonomischer, ökologischer und sozialer Ebene entsteht. Ziel ist es, ein Gleichgewicht zwischen Nutzen und Aufwand zu finden. Eine erfolgversprechende Methode wäre eine regelmäßige Durchführung des zweiten Schrittes und regelmäßige Untersuchungen des Unternehmens.²⁶

Im dritten Schritt werden Ziele gesetzt. Diese leiten sich direkt von den Ergebnissen aus dem zweiten Schritt und der Analyse der Auswirkungen ab. Ziele zu formulieren und vor allem innerhalb des Unternehmens zu kommunizieren sind essenziell, damit diese auch von jedem Mitarbeiter verfolgt und umgesetzt werden können. Zunächst müssen der Umfang der Ziele und passende Key-Performance-Indicators (KPIs) bestimmt werden.²⁷ Anhand der festgelegten Bereiche im zweiten Schritt werden die Ziele so formuliert, dass sie einen positiven Effekt auf die SDGs haben und negative Auswirkungen minimiert werden. Dabei ist darauf zu achten, dass der Fokus der Ziele auf allen drei Ebenen der Nachhaltigkeit liegt.²⁸

Eine Herausforderung bei der Festlegung der Ziele ist die Formulierung dieser, um ein messbares Ergebnis zu erreichen. Nur mit Hilfe eines klaren Resultats ist eine Beurteilung möglich. Deshalb spielen die KPIs eine entscheidende Rolle, denn anhand dieser Kennzahlen können allgemein und vage formulierte Ziele konkretisiert und bewertet werden. Die KPIs werden an die Indikatoren aus dem zweiten Schritt angelehnt.

²² vgl. Montiel, I. et al. (2020), S. 1002.

²³ vgl. SDG Compass (2015), S. 12-13.

²⁴ vgl. MacFeely, S. (2019), S. 121.

²⁵ vgl. SDG Compass (2015), S. 14.

²⁶ vgl. Verboven, H.; Vanherck, L. (2016), S. 171.

²⁷ vgl. Govindan, K. et al. (2020), S. 1703.

²⁸ vgl. SDG Compass (2015), S. 17.

Zu jedem Ziel wird im Anschluss daran ein Ausgangswert definiert, wie z.B. durch Festlegung eines konkreten Zeitpunkts.²⁹ Anhand dieses Ausgangswertes kann der Fortschritt bis zum Ziel ermittelt und analysiert werden.

Ebenso gilt es, die Art des Ziels zu definieren. Hier wird zwischen absoluten und relativen Zielen unterschieden. Der Unterschied liegt darin, dass absolute Ziele konkrete Werte liefern und sich somit leicht kommunizieren und vergleichen lassen. Die einzelnen Zwischenschritte bis zur Erreichung des Zieles werden nicht erfasst. Bei den relativen Zielen wiederum wird eine Leistung pro Einheit (Output) angegeben und bietet somit eine bessere Vergleichsmöglichkeit, gibt jedoch keine konkreten Informationen über die Folgen in Bezug auf das Ziel.^{30,31}

Sobald sämtliche Ziele festgelegt wurden, muss der Ambitionsgrad definiert und interne sowie externe Stakeholder mit einbezogen werden.³² Ein engagiertes Unternehmen setzt höhere Ziele als die vorher festgelegten. Somit wird Druck auf die Konkurrenz ausgeübt. Die Vorgehensweise eines Unternehmens basiert auf Erfahrung, den Trends und den Benchmarks. Da bei dieser Vorgangsweise die ökonomischen Komponenten im Vordergrund stehen und daher die ökologischen und sozialen Komponenten in den Hintergrund rücken, hat sich der Outside-In-Ansatz durchgesetzt. Bei dieser Herangehensweise werden Ziele auf Basis wissenschaftlich fundierter Daten festgelegt.³³ Es ist darauf zu achten, die Balance zwischen Aufwand und Nutzen zu halten. Das heißt, der Ambitionsgrad sollte immer an das Unternehmen, an die Branche und dem Erreichen der SDGs angepasst werden.³⁴

Die letzte Phase innerhalb des dritten Schritts ist das Bekenntnis zu den SDGs. Durch das Veröffentlichen der Ziele wird die Kommunikation mit internen und auch externen Stakeholdern gefördert und bietet gleichzeitig eine Motivationsquelle für Mitarbeiter und Geschäftspartner.³⁵

Der vierte Schritt dient der Integration der Nachhaltigkeit im gesamten Unternehmen, wobei das SDG 17 „Partnerschaften zur Erreichung der Ziele“ eine Rolle spielt. Zu allererst muss von der Geschäftsleitung der erste Schritt zur Integration gesetzt werden, denn sie fällt die Entscheidung ob und wie ein neuer Weg für das Unternehmen beschlossen und gestaltet wird. Aus diesem Grund ist die Verantwortung, die diese bei der Umsetzung übernimmt, von Bedeutung, denn eine solche Integration wird nicht von jedem Stakeholder gleich stark akzeptiert, sei es intern oder extern.³⁶

Damit die Integration jedoch funktioniert, gibt es zwei Grundsätze:

- Es muss für ein Verständnis im gesamten Unternehmen gesorgt werden, indem die Mitarbeiter sensibilisiert werden.

²⁹ vgl. SDG Compass (2015), S. 18.

³⁰ vgl. SDG Compass (2015), S. 18.

³¹ vgl. Waldforst, S. (2007), S. 4.

³² vgl. Hasenmüller, M. (2013), S. 202.

³³ vgl. Zhou, Y. et al. (2019), S. 136.

³⁴ vgl. Müller-Christ, G. (2012), S. 70-71.

³⁵ vgl. Schaefer, S. (2012), S. 259.

³⁶ vgl. SDG Compass (2015), S. 21-22.

- Die Motivation der Mitarbeiter zur aktiven Beteiligung muss gefördert werden, indem die Integration der Nachhaltigkeitsziele in die Leistungsbeurteilung und in das Vergütungssystem übernommen wird.

Das Unternehmen hat die Aufgabe, den Aspekt der Nachhaltigkeit als fixen Bestandteil der Unternehmensphilosophie in Bezug auf operative, finanzielle und strategische Ziele zu integrieren. Das Einbeziehen der Nachhaltigkeit in alle Prozesse des Unternehmens ist jedoch nicht nur Aufgabe der Führungsebene, sondern bedarf der Zusammenarbeit und Unterstützung aller Beteiligten.³⁷ Es sollte für jedes beschlossene Nachhaltigkeitsziel in jeder Abteilung eine verantwortliche Person bestimmt werden. Damit die Änderungen und die Integration der Nachhaltigkeit im Unternehmen Erfolge erzielen bedarf es verschiedener Methoden. Dazu gehören Sensibilisierung der Mitarbeiter, Schulungsprogramme, Informationsverkehr und Motivation von außen. Eine Hilfe für Unternehmen kann die Einstellung eigener Nachhaltigkeitsexperten und -teams sein, welche laufend die Umsetzung unterstützen.³⁸

Im Zuge der Integration kann es für Unternehmen von Vorteil sein, Partnerschaften einzugehen, da unterschiedliche Unternehmen jeweils unterschiedliche Kompetenzen besitzen und somit andere Unternehmen mit ihren Expertisen und ihrem Know-How behilflich sein können.³⁹ Es wird zwischen drei Partnerschaften unterschieden:⁴⁰

- Partnerschaften entlang der Wertschöpfungskette, das heißt man nutzt die Erfahrung der Partner innerhalb dieser, um neue Lösungen zu finden.
- Brancheninitiativen, bei denen Unternehmen gemeinsam die Standards und Methoden einer gesamten Branche weiterentwickeln.
- Multi-Stakeholder Partnerschaften bei denen die Zivilgesellschaft, die Regierung und der Privatsektor zusammenarbeiten.

Im fünften und letzten Schritt der Integration der SDGs in ein Unternehmen erfolgen die Berichterstattung und die Kommunikation. Eine Entwicklung diesbezüglich sind jährlich veröffentlichte Nachhaltigkeitsberichte, in denen Stakeholder die Entwicklungen, Ziele und Fortschritte von Unternehmen verfolgen können.⁴¹ Die Berichterstattung wird dadurch forciert, dass Richtlinien und Regeln beschlossen wurden, die großteils verpflichtend sind.⁴² Es ist darauf zu achten, dass diese Berichte aussagekräftig und effektiv gestaltet sind. Anhand dieser Berichte werden interne Veränderungs- und Entscheidungsprozesse angeregt, sie schaffen Vertrauen und führen zu einer Wertsteigerung des Unternehmens. Dabei sollen sowohl finanzielle als auch nicht-finanzielle Erfolge dokumentiert werden.⁴³ Bedingt durch die Weiterentwicklung von Gesellschaft und Unternehmen kann die Reichweite der Berichterstattung vergrößert werden, indem neben konventionellen Methoden auch über neue und moderne Kanäle

³⁷ vgl. Tschandl, M. et al. (2012), S. 20-21.

³⁸ vgl. SDG Compass (2015), S. 22-23.

³⁹ vgl. Hasenmüller, M. (2013), S. 283.

⁴⁰ vgl. SDG Compass (2015), S. 23.

⁴¹ vgl. Schmid, E. et al. (2020), S. 31.

⁴² vgl. Jasch, C. (2012), S.503.

⁴³ vgl. Jasch, C. (2012), S.507.

das Bekenntnis zur Nachhaltigkeit verbreitet werden kann. Möglichkeiten sind Internet-Seiten, Social-Media, aber auch Veranstaltungen und Werbungen.⁴⁴

Bei der Berichterstattung müssen Unternehmen darauf achten, festgelegte Standards anzuwenden, die international anerkannt sind wie die GRI, CPD, UNGP Reporting Framework und das CDSB Framework.⁴⁵ Diese Standards haben sich mit der Zeit weiterentwickelt und sich stets den Entwicklungen angepasst. Eine der bedeutendsten ist die GRI, welche 10 zentrale Prinzipien beinhaltet.⁴⁶

- Nachhaltigkeitskontext
- Vollständigkeit
- Vergleichbarkeit
- Aktualität
- Verlässlichkeit
- Einbeziehung der Stakeholder
- Wesentlichkeit
- Ausgewogenheit
- Genauigkeit
- Klarheit

Diese gelten als Basis, damit Unternehmen einen effektiven und inhaltlich wertvollen Nachhaltigkeitsbericht erstellen können. Unternehmen sollten sich auf jene Informationen konzentrieren, die den größten Erfolg bzw. im Bereich der ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen die stärksten Entwicklungen ermöglichen, da diese für die Stakeholder am wesentlichsten sind. Unternehmen haben darauf zu achten, sowohl über positive als auch negative Aspekte und Auswirkungen zu berichten. Durch diese realitätsgetreue Darstellung gewinnt das Unternehmen an Seriosität und berichtet gleichzeitig, wie dieses auf negative Auswirkungen reagieren kann bei gleichzeitiger Übernahme der Verantwortung der Gesellschaft, der Politik und der Einhaltung der SDGs gegenüber. Ein mögliches Instrument zur Darstellung der Wesentlichkeitsanalyse ist die Erstellung einer Matrix, in der die Bedeutung von wirtschaftlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen des Unternehmens dem Einfluss auf die Beurteilung und Entscheidungen der Stakeholder gegenübergestellt wird.⁴⁷

Unternehmen haben die Möglichkeit, ihre Berichterstattung in Bezug auf Qualität und Glaubwürdigkeit von einer externen Stelle begutachten zu lassen.⁴⁸ Ziel der Berichterstattung ist ebenfalls, die Fortschritte bei der Einhaltung der SDGs zu kommunizieren. Richten sich alle Unternehmen nach diesem Grundsatz, ist die Gegenüberstellung und Analyse dieser einfacher. Für die Stakeholder wird eine "gemeinsame Sprache" gesprochen, wodurch die Kommunikation vereinfacht wird. Wie bereits erwähnt ist nicht für alle Unternehmen die Relevanz einzelner SDGs gleich. Jedes Unternehmen priorisiert jene SDGs, mit denen es die größten Auswirkungen

⁴⁴ vgl. SDG Compass (2015), S. 25-26.

⁴⁵ vgl. SDG Compass (2015), S. 27.

⁴⁶ GRI, www.globalreporting.org, (Zugriff: 19.08.2022).

⁴⁷ vgl. SDG Compass (2015), S. 27.

⁴⁸ vgl. Jasch, C. (2012), S.506.

erreichen kann und formuliert die Ziele und erreichten Fortschritte, sowie Strategien und Methoden, um die Folgen zu managen. Zum Beschreiben der Erfolge werden unter anderem die KPIs aus dem dritten Schritt genutzt.⁴⁹ Im Zuge der gesamten Berichterstattung hat auch die Gestaltung eine wesentliche Bedeutung. Spezifische Interessensgruppen haben dadurch die Möglichkeit, auf einen Blick jene Punkte zu finden, welche für sie am relevantesten sind, womit die Navigation innerhalb des Berichts vereinfacht wird.⁵⁰

2.1.3 Gründe zur Implementierung der SDGs

Der Grundgedanke der SDGs ist, dass sämtliche Unternehmen ihre Entscheidungen und Investitionen basierend auf diesen treffen, um somit einem nachhaltigen Kurs folgen zu können. Dies bringt mehrere Vorteile mit sich.

Jedes Unternehmen hat mit Hilfe der SDGs die Möglichkeit, Chancen von morgen zu erkennen.⁵¹ Die Gesellschaft sowie die Politik entwickeln sich immer mehr in Richtung eines umweltbewussten und nachhaltigen Denkens. Somit kann ein Unternehmen, welches sich bereits nach den SDGs richtet, zukünftigen Tendenzen zuvorkommen und sowohl innovative als auch nachhaltige Lösungen präsentieren, die in der Gesellschaft akzeptiert und befürwortet werden. Darauf basierend ist die Image-Bildung ein weiterer Vorteil. Setzt sich ein Unternehmen stark für die Umwelt ein und richtet sich nach den SDGs, sieht die Gesellschaft dies als eine positive Entwicklung und das Interesse und die Zufriedenheit steigen.⁵²

Neben den gesellschaftlichen Vorzügen bringen die SDGs einem Unternehmen auch wirtschaftliche Vorteile. Die junge Generation und somit die zukünftigen Mitarbeiter haben ein stark ausgeprägtes Interesse an der Umwelt und der Nachhaltigkeit. Wenn diese Aspekte aktiv in die Firmenphilosophie einbezogen werden, steigt das Interesse am Unternehmen für neue Mitarbeiter.

Ein letzter Vorteil sind neue Partnerschaften. Auch wenn kein Unternehmen dem anderen gleicht, sie aber jeweils aktiv die Ziele der SDGs verfolgen, besitzen sie eine gemeinsame Basis. Dies vereinfacht die Kommunikation, aber vor allem die Zusammenarbeit zwischen den Unternehmen und hat wirtschaftliches Wachstum zur Folge.⁵³

Das Verfolgen und Implementieren der SDGs bringt keine sofortigen Vorteile mit sich. Auf lange Sicht jedoch bringt das Verfolgen der SDGs ökologische, ökonomische und soziale Vorteile, sowohl für ein Unternehmen als auch für die Gesellschaft und ist der erste Schritt in Richtung Nachhaltigkeit. Diese drei Aspekte bilden gleichzeitig die drei Säulen der Nachhaltigkeit nach dem Triple-Bottom-Line Prinzip.

⁴⁹ vgl. Gastinger, K.; Gaggl, P. (2012), S. 250.

⁵⁰ vgl. SDG Compass (2015), S. 28.

⁵¹ vgl. Tulder, R. Van (2018), S. 73.

⁵² vgl. Darnhofer, I. (2020), S. 31.

⁵³ vgl. Perl-Vorbach, E.; Vorbach, S. (2012), S. 318.

Die Implementierung der SDGs kann aber auch Nachteile mit sich bringen. Die SDGs wurden für Wirtschaft, Gesellschaft und Politik auf der ganzen Welt formuliert. Das heißt, dass die positiven Auswirkungen ebenfalls in diesem Maßstab spürbar und messbar sein sollen. Das wiederum ist nur möglich, wenn sich so gut wie alle wirtschaftlichen Akteure sich daran beteiligen und diese Ziele auch verfolgen. Des Weiteren kann die Implementierung zu erhöhten Kosten aufgrund neuer Investitionen führen oder einem verringerten Komfort, da es zu Einschränkungen in einem Unternehmen führen kann.⁵⁴

2.2 Einführung in die Nachhaltigkeit und in mögliche Bewertungsmethoden

Das folgende Kapitel befasst sich mit dem Thema Nachhaltigkeit, was genau dieser Begriff bedeutet und wie dieser bewertet werden kann. Zunächst wird der Begriff definiert, wie dieser zustande gekommen ist und worauf sich das Konzept der Nachhaltigkeit bezieht. Anschließend wird erläutert, welche Gründe es geben kann, Nachhaltigkeit innerhalb eines Unternehmens zu bewerten und welche Ziele dabei verfolgt werden. Abschließend werden unterschiedliche Methoden aufgezählt und definiert, anhand derer Nachhaltigkeit im Unternehmen qualitativ und quantitativ bewertet wird und wovon die Auswahl der Bewertungsmethode abhängt.

2.2.1 Der Begriff Nachhaltigkeit

Der Begriff „Nachhaltigkeit“ geht bis ins 18. Jahrhundert zurück. Hans Carl von Carlowitz veröffentlichte im Jahr 1713 sein Werk "Sylvicultura Oeconomica" und gilt als Gründer der Nachhaltigkeit. Zu diesem Zeitpunkt herrschte eine Energiekrise und es drohte eine kritische Abforstung der Wälder. In seinem Werk fordert er die Menschen dazu auf, verantwortungsvoll mit der Natur umzugehen.⁵⁵ Hier liegt allerdings auch der größte Unterschied zur Betrachtung der Nachhaltigkeit in der heutigen Zeit, denn die Idee der Nachhaltigkeit von Carlowitz beruht auf einem rein wirtschaftlichen Aspekt.

Mit den steigenden Problemen in Gesellschaft und Natur, wie es bereits in den Zielen und Prioritäten der SDGs beschrieben wurde, wird die Politik gezwungen, sich stärker mit dem Thema der Nachhaltigkeit zu befassen, wodurch der Begriff „Nachhaltigkeit“ ganzheitlicher definiert wurde.⁵⁶ 1983 kam es zur Gründung der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung mit Gro Harlem Brundtland als Vorsitzende. Der Brundtland-Bericht aus dem Jahr 1987 definiert Nachhaltigkeit bzw. nachhaltige Entwicklung als „die Befriedigung der Bedürfnisse der heutigen Generation unter der Bedingung, dass zukünftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse ebenso befriedigen können“.⁵⁷

Die Nachhaltigkeit hat somit zum Ziel, eine geeignete Zukunft für kommende Generationen zu sichern ohne jede Art von Verzicht (intergenerationale Gerechtigkeit), als auch, dass alle Menschen die gleichen Möglichkeiten haben (intragenerationale

⁵⁴ vgl. Corsten, H.; Roth, S. (2012), S. 7.

⁵⁵ vgl. Carl von Carlowitz, H. (1713)

⁵⁶ vgl. Hauff, M. v. (2012), S. 38.

⁵⁷ vgl. Kruppe, C. et al. (2020), S. 57.

Gerechtigkeit).⁵⁸ Diese stützt sich auf den Tripple-Bottom-Line Ansatz bzw. auf das Dreisäulenmodell. Bei diesem Modell wird der Unterschied zum nachhaltigen Denken von Hans Carl von Carlowitz verdeutlicht. Sie stellt nicht nur den wirtschaftlichen Gedanken in den Vordergrund, sondern den ökonomischen Aspekt auf gleiche Ebene mit dem ökologischen und dem sozialen.⁵⁹

Im Grunde bedeutet dies, dass ein finanzieller Erfolg möglich sein soll, ohne Verlust der sozialen und ökologischen Komponenten. Die drei Dimensionen sollten aber nicht einzeln betrachtet werden, sondern als ein ganzes, sich gegenseitig beeinflussendes System, wie in Abbildung 3 dargestellt.

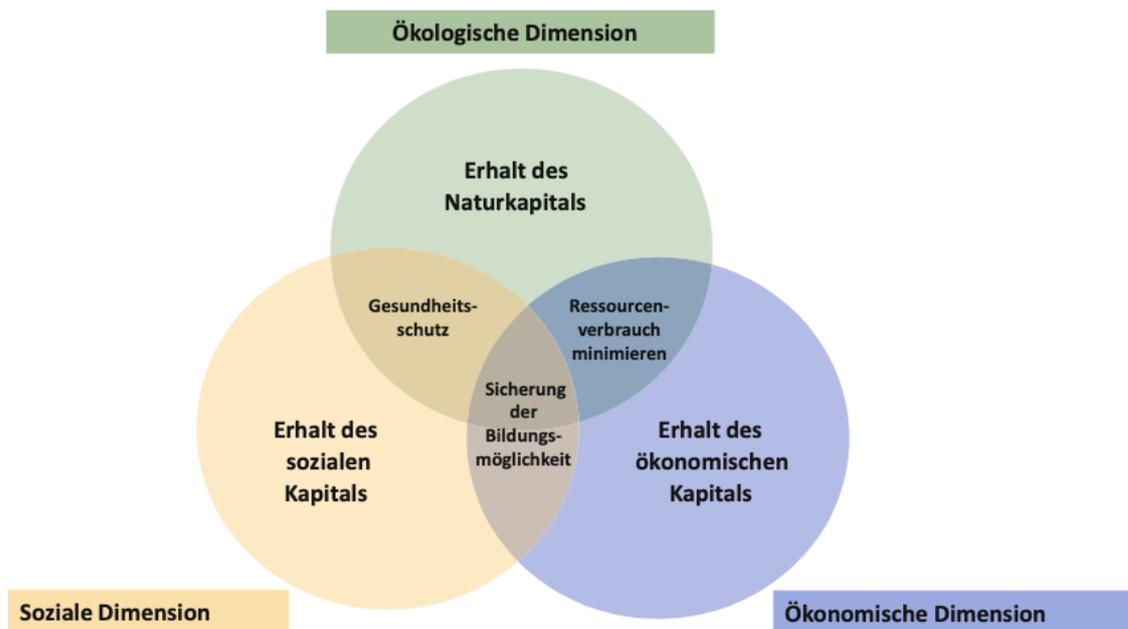


Abbildung 3: Darstellung des Drei-Säulen-Modells als gesamtes System⁶⁰

Die Darstellungsoption Abbildung 3 verdeutlicht, dass Änderungen in einem Bereich auch Änderungen in einem anderen Bereich zur Folge haben, aber auch, dass eine Veränderung oder ein Standpunkt sich auf zwei oder mehrere Dimensionen gleichzeitig beziehen kann. Für Unternehmen gilt es, diesen Gedanken zu berücksichtigen, nämlich dass durch Verfolgen eines Zieles nicht nur einer der drei Aspekte betrachtet werden muss, sondern alle.⁶¹

⁵⁸ vgl. Reineck, M. et al. (2013), S. 8.

⁵⁹ vgl. Corsten, H.; Roth, S. (2012), S. 2.

⁶⁰ Quelle: Reineck, M. et al. (2013), S. 11.

⁶¹ vgl. Reineck, M. et al. (2013), S. 11.

2.2.2 Integration von Nachhaltigkeit: Gründe und Ziele

Die Bedeutung von Nachhaltigkeit im Unternehmen hat einen anderen Stellenwert als die Bedeutung von Nachhaltigkeit für die Gesellschaft.⁶² Unternehmen haben die Aufgabe, ein Gleichgewicht zwischen den drei Säulen der Nachhaltigkeit zu bewerkstelligen bei gleichzeitigem wirtschaftlichem Wachstum unter Berücksichtigung sämtlicher Auswirkungen auf interne und externe Felder.⁶³ In der Gesellschaft betrachten ganzen Gruppen bzw. einzelne Personen sich selbst, welche Auswirkungen das eigene Verhalten auf die Umwelt haben kann. Hier liegt es am eigenen Interesse, welche Maßnahmen getroffen werden und in welchem Ausmaß.⁶⁴ Der wesentliche Unterschied zwischen der Gesellschaft und einem Unternehmen liegt darin, dass das Unternehmen Verpflichtungen gegenüber Stakeholdern und der Gesellschaft hat und unter ständiger Beobachtung steht, sowie Vorgaben erfüllen muss wie z.B. der Berichterstattungspflicht.⁶⁵ Das eigentliche Ziel und der im Vordergrund stehende Grund, die Lebensweise oder die Unternehmensphilosophie nachhaltig zu gestalten, ist, Verantwortung zu übernehmen. Laut Duden bedeutet Verantwortung „[mit einer bestimmten Aufgabe, einer bestimmten Stellung verbundene] Verpflichtung, dafür zu sorgen, dass (innerhalb eines bestimmten Rahmens) alles einen möglichst guten Verlauf nimmt, das jeweils Notwendige und Richtige getan wird und möglichst kein Schaden entsteht“.⁶⁶

Nachhaltigkeit in der Gesellschaft ist eine Frage der Lebenseinstellung und des Bewusstseins in Bezug auf das eigene Konsumverhalten.⁶⁷ Die Weiterentwicklung des Menschen hatte Entwicklung neuer Technologien zur Folge, um die rasant steigende Bevölkerung zu ernähren und gleichzeitig die steigenden Bedürfnisse dieser zu erfüllen. Dies hatte als Konsequenz, dass immer mehr in die Natur und die Umwelt eingegriffen werden musste, wodurch sich im Laufe der Jahrhunderte unser Klima stark veränderte.⁶⁸ Spätestens nach den ersten Berichten und dem Aufschrei in Bezug auf die Erderwärmung sowie den menscheninduzierten Klimawandel hat der Mensch die Verpflichtung, Verantwortung dafür zu übernehmen und diesen entgegenzuwirken. Die Folgen des Klimawandels sind unter anderem Hunger, Armut, Naturkatastrophen und politische Konflikte.⁶⁹ Deshalb ist eine nachhaltige Lebensweise zielführend, denn auf diesem Weg wird die eigene Lebensqualität und die Umwelt positiv beeinflusst, aber vor allem auch die Lebensqualität anderer.

Wenn es um die Nachhaltigkeit in einem Unternehmen geht, spricht man auch von der CSR, der Corporate Sociable Responsibility, also der gesellschaftlichen Verantwortung von Unternehmen. Das heißt, die Verantwortung in der Gesellschaft wird übergeführt in die Verantwortung des Unternehmens.⁷⁰ Es kommen jedoch noch Gesetze und Pflichten

⁶² vgl. Gminder, C. U. et al. (2006), S. 89 - 96.

⁶³ vgl. Gminder, C. U. et al. (2006), S. 93.

⁶⁴ vgl. Gminder, C. U. et al. (2006), S. 90.

⁶⁵ vgl. Melde, T. (2017), S. 326.

⁶⁶ Dudenredaktion (o.J.): "Haus" auf Duden online, www.duden.de/node/193474/revision/970973, (Zugriff: 31.07.2022).

⁶⁷ vgl. Balderjahn, I.; Peyer, M. (2012), S. 94.

⁶⁸ vgl. Blättel-Mink, B. et al. (2021), S. 1.

⁶⁹ vgl. Nikendei, C. et al. (2020), S. 59.

⁷⁰ vgl. Gminder, C. U et al. (2006), S. 92.

hinzu, welche das Unternehmen zu erfüllen hat. Wie bereits erwähnt, basiert die Nachhaltigkeit in einem Unternehmen auf dem Triple-Bottom-Line Prinzip. Somit muss ein Unternehmen die Auswirkungen der gesamten Wertschöpfungskette innerhalb und außerhalb des Unternehmens genauestens betrachten und detailliert analysieren, und zwar auf jeder möglichen Ebene, in denen die einzelnen Schritte einen Einfluss haben (könnten).⁷¹ Durch die Übernahme der Verantwortung hat ein Unternehmen die Aufgabe, eine zufriedenstellende Lösung für alle Interessensgruppen zu finden.⁷² Auf dieser Basis werden nachhaltige Geschäftsmodelle konzipiert, um diesen Anforderungen gerecht zu werden (siehe Kapitel 2.3).

2.2.3 Grundzüge der Nachhaltigkeitsbewertung

Im praktischen Teil dieser Masterarbeit wird eine Nachhaltigkeitsanalyse in Form einer LCA-Analyse in Kombination mit einer geeigneten Bewertungsmethode der Firma ferroDECONT durchgeführt. Eine Nachhaltigkeitsbewertung basiert auf dem bereits erläuterten Drei-Säulen-Modell. Das heißt, dass bei der Bewertung der Einfluss auf diese drei Perspektiven beurteilt wird und sich Unternehmen in diesen drei Bereichen engagieren müssen, um einem nachhaltigen Führungsstil gerecht zu werden.⁷³ Sobald das Unternehmen beschlossen hat, seinen Beitrag zu einer nachhaltigen Zukunft zu bewerten und zu analysieren, muss die am besten geeignete Methode gefunden werden.⁷⁴ Die Schwierigkeit liegt darin, dass es keine einheitliche oder universelle Beurteilungsmethode gibt.⁷⁵ Dieses Kapitel soll einen Überblick geben, welche Methoden existieren, wie dabei vorgegangen wird und welche Ergebnisse diese liefern können.

Die gewählte Methode zur Nachhaltigkeitsanalyse und -bewertung muss in der Lage sein, die unternehmerischen Tätigkeiten korrekt darzustellen, sowie sie zielorientiert zu bewerten. Sie muss ein Ergebnis liefern können mit dessen Hilfe das Unternehmen weitere Schritte setzen oder Entscheidungen in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung treffen kann.⁷⁶

Genaue Richtlinien zur Durchführung der Nachhaltigkeitsbewertung existieren nicht. Grund dafür ist, dass es u.a. dem Unternehmen überlassen wird, solch eine Bewertung durchzuführen. Kein Unternehmen gleicht dem anderen, weshalb eine vorgefertigte Anleitung nichtzutreffend sein kann.⁷⁷ Allerdings kann zur Bewertung der Nachhaltigkeit eine wiederholte Vorgehensweise beobachtet werden, welches im Zuge des praktischen Teils durchgeführt wird.⁷⁸

Zu Beginn der Bewertung wird eine Bilanz in Form einer Energie-, Massen- und/oder Stoffbilanz erstellt, um den Ist-Zustand des Unternehmens oder des zu bewertenden Systems darzustellen. Im Anschluss werden darauf basierende Wirkungskategorien

⁷¹ vgl. Isenmann, R. (2012), S. 48.

⁷² vgl. Burckhardt, G. (2013), S. 3.

⁷³ vgl. Corsten, H.; Roth, S. (2012), S. 1.

⁷⁴ vgl. Schaltegger, S.; Zvezdov, D. (2012), S. 275.

⁷⁵ vgl. Wimmer, R. et al. (2003), S. 3.

⁷⁶ vgl. Colman, B. (2013), S. 50.

⁷⁷ vgl. Andes, L. (2019), S. 2.

⁷⁸ vgl. Andes, L. (2019), S.60.

mittels z.B. Ökobilanz analysiert. Der ökonomische Faktor wird oft integrativ bearbeitet. Das heißt, der ökonomische Aspekt wird nicht gesondert, sondern in Kombination mit anderen Faktoren z.B. in Form einer Kosten-Nutzen-Analyse, einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse oder einer Ökoeffizienz-Analyse betrachtet. Auf diese Art und Weise werden die entstandenen Kosten immer mit einem anderen Faktor in Verbindung gesetzt. Gleiches gilt für den sozialen Aspekt. Dieser kann bspw. in Form einer Sozio-Ökoeffizienz-Analyse berücksichtigt werden. Unabhängig von der Analyse müssen die Interessen und Hintergründe in der Planungsphase in Form von Zielen und festgelegten Systemgrenzen erläutert werden und anhand welcher Daten ein Vergleich durchgeführt werden kann. In der folgenden Umsetzungsphase werden die benötigten Daten erhoben, sowie die gewählte Methode umgesetzt. In einer abschließenden Bewertungsphase werden die Daten analysiert, interpretiert und gegebenenfalls weitere Schritte formuliert.

Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie hat im Jahr 2004 ein Dokument mit dem Namen „Eignung und Anwendbarkeit von Bewertungsmethoden für nachhaltiges Wirtschaften“, verfasst von R. Wimmer, M. Drack und L. Rehse, veröffentlicht. In diesem Dokument wird erklärt, wie bei einer Bewertungsmethode im Bereich Nachhaltigkeit vorgegangen wird und welche Ziele dabei verfolgt werden. Ergänzend beschreibt es typische Anwendungsfälle, sowie Vor- und Nachteile der einzelnen Bewertungsmethoden, wie in Tabelle 2 dargestellt. Nachfolgend eine Auflistung aller beschriebenen und anwendbaren Methoden für nachhaltiges Wirtschaften:⁷⁹

- ABC-Analyse (ABC)
- Climate and environmental data retrieval and archiving System (CERA)
- ECO-Indicator (ECO)
- Ecological Footprint (EFP)
- Environmental Priority Strategies (EPS)
- Indikatoren-Systeme von UNIDO, OECD, EFA, EU (IND)
- Input-Output-Analyse (I/O)
- Kumulierter Energie Aufwand (KEA)
- Kosten-Nutzen-Analyse (KNA)
- Methode der kritischen Volumina (KrV)
- Life Cycle Costing (LCC)
- Life-Cycle-Impact-Assessment (LCIA)
- Leonardo (LEO)
- Materialinput pro Service (MIPS)
- Multikriterienanalyse (MKA)
- Aktien-Indizes (NAI/NAX, FTSE, DJSI)
- Nachhaltigkeitskompass (NHK)
- Nettoprimärproduktion (NPP)
- Nutzwertanalyse (NWA)
- Richtlinien des ökologischen Landbaues (ÖLB)
- Ökosozialprodukt (ÖSP)
- Pollution Control Costs (PCC)

⁷⁹ vgl. Wimmer, R. et al. (2004), Anhang C 1.

- Produktlinienanalyse (PLA)
- Risk Assessment (RA)
- Sensitivitätsanalyse nach Vester (SAV)
- Stoff und Material Fluss Analyse (MFA,SFA)
- Sustainable Process Index (SPI)
- Sustainable Societal Index (SSI)
- Szenariotechnik (SZT)
- Technikfolgen-Abschätzung (TA)
- Total Cost Assessment (TCA)
- Umweltbelastungspunkte (UBP)
- Umweltkennzahlen, Benchmarking (UKZ)
- Umweltmanagementsysteme (UMS)
- Umweltzeichen (UWZ)
- Waste Potential Entropy (WPE)

Tabelle 2: Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit⁸⁰

Bewertungsmethode	Beschreibung	Einsatzgebiet	Vor-/Nachteile
ABC	Ist keine rein ökologische Bewertungsmethode, sondern kann vielseitig eingesetzt werden. Dabei wird eine Klassifizierung in 6 bis 7 Kategorien durchgeführt. Dabei wird unterschieden zwischen (A) besonders dringlichen, (B) weniger akute und (C) untergeordnete Probleme. Durch eine XYZ-Erweiterung kann die Analyse verfeinert werden.	Überall einsetzbar (mehr Vorteile für Einzelbetriebe)	+ leicht durchführbar + leicht darstellbar + mehrere Einsatzmöglichkeiten - geringer Informationsgehalt - subjektive Methode
CERA	Raumbezogenes Datenmodell, das auf einem computerunterstützten Geo-Informationssystem basiert.	Klimaveränderungsprognosen, Wasserwirtschaft und weitere Umweltfragen	+ liefert guten Überblick mehrerer Regionen - erhebliche Mengen an Daten notwendig
ECO	Schadstoffemissionen werden unterschiedlichen Wirkungskategorien zugeteilt und durch das durchschnittliche europäische Gesamtwirkungspotenzial dividiert. Im Anschluss erfolgt eine Zuteilung der Schadenskategorien.	Bei Umweltfragen	+ liefert vollaggregiertes Resultat + Ergebnisse flexibel wählbar (Einzelwert oder aggregiert) - relativ Komplex

⁸⁰ vgl. Wimmer, R. et al. (2004), Anhang C 2 - 140.

Tabelle 2 (Fortsetzung): Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit

EFP	Stellt die Fläche dar, die das Betrachtungsobjekt (Mensch, Gruppe, Region) benötigt, um die Einwirkungen auf die Umwelt auszugleichen (Luft zum Atmen, Ressourcen, Abfälle, Emissionen etc.). Es soll vor Augen geführt werden, welche Auswirkungen der eigene Lebensstil hat.	Nationen, Regionen, einzelne Personen	<ul style="list-style-type: none"> + Verdeutlichung von regionalen und globalen Unterschieden + direkter Vergleich zwischen Ländern möglich - nicht anwendbar für Abfall- und Energiewirtschaft (da Emissionen/Abfälle von Faktoren vernachlässigt) - starke Aggregation führt zu Informationsverlusten
EPS	Modell erfasst die Auswirkungen auf die Bereiche Biodiversität, abiotische Ressourcen, menschliche Gesundheit, ästhetische Werte und Produktionskapazität des Ökosystems. Die Auswirkungen werden auf eine monetäre Einheit umgerechnet.	Produktentwicklungsprozess	<ul style="list-style-type: none"> + sehr anschaulich - niedriger Informationsgehalt
IND	Es werden Indikatoren bestimmt und berechnet, um Entwicklungen zu bewerten. Eine Zusammenstellung von Indikatoren wird Umweltkennzahlensystem genannt. So wird eine Beziehung erstellt zwischen Indikator und einer Situation, die auf ein Umweltschutzziel ausgerichtet ist.	Vergleich auf nationaler Ebene	<ul style="list-style-type: none"> + einfach zu vergleichende Ergebnisse + leicht kommunizierbar - Mengen an Daten erforderlich - erfasst momentane Situation

Tabelle 2 (Fortsetzung): Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit

I/O	Basis für jede Sachbilanz, die die ein- und austretenden Flüsse an den Systemgrenzen erfasst. Flüsse können jede Form annehmen (Energie, monetäre Werte, physikalische Stoffe usw.) unter Berücksichtigung der Massenerhaltung (Input = Output)	Umweltmanagementsystem, Ökocontrolling, Erstellung eines Abfallkonzepts Grundlage für die meisten Bewertungsmethoden	+ flexibel anwendbar (Gesamtprozess o. Teilprozess) - fehlende Information über Flüsse innerhalb der Systemgrenzen - quantifiziert die Ströme, gibt aber noch keine Bewertung
KEA	Dabei wird der Energieaufwand entlang der gesamte Wertschöpfungskette ermittelt und zusammengefasst (kumulierte Energie)	Produktvergleich (Benchmarking)	+ viele Vergleichswerte vorhanden + gut kommunizierbar - Flächenbedarf und Emissionen werden nicht berücksichtigt - alle Energiearten werden gleichbehandelt - schwache Abhängigkeit der verwendeten Daten und des Wirtschaftssystems

Tabelle 2 (Fortsetzung): Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit

KANN	Es wird die Rentabilität von Investitionen untersucht. Dabei soll für die Entscheidungsfindung ein Vorhaben ökonomisch bewertet werden.	Bewertung von öffentlichen Vorhaben als Vorbereitung für politische Entscheidungen.	+ aufgrund der monetären Einheit sehr verständlich und anschaulich - Gefahrenpotenziale werden nicht immer berücksichtigt
KrV	Die Umwelt, die es zu schützen gilt, wird in drei Bereiche geteilt: Luft, Boden, Wasser. Für jeden Bereich wird für jeden Schadstoff bestimmt, welches Volumen auf den Grenzwert belastet wird. Die Ergebnisse werden in m ³ , kg und l angegeben.	Bestimmung der Umweltbelastung	+ anschauliche Ergebnisse - vernachlässigt Ressourcenverbräuche, Strahlung, Lärm und Treibhauseffekt - rein rechnerische Größen, basieren nicht auf wissenschaftlichen Erkenntnissen - keine internationale Einigung bzgl. der Grenzwerte
LCC	Verbindet Umweltaspekte mit Strategien über die Kostenebene. Dabei wird der kosteneffektivste Weg für einen Produktionsprozess oder Erfüllung einer Dienstleistung ermittelt. Es wird der gesamte Lebenszyklus betrachtet. So können z.B. die Kosten der gesamten Lebensdauer eines Produktes ermittelt werden.	Für einzelne Produkte und Dienstleistungen. Vor allem bei Verkehrsbetrieben	+ ermöglicht Kostentransparenz + zeigt Vorteile über die gesamte Lebensdauer teurer Investitionen + gut geeignet für Kostenabschätzung

Tabelle 2 (Fortsetzung): Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit

LCIA	ISO 14042 ist eine Wirkungsanalyse, die in 4 Schritten erfolgt: Klassifizierung, Charakterisierung, Normalisierung und Bewertung. Handelt sich um keine aggregierende Methode. Jede Umwelteinwirkung wird durch einen Index beschrieben. Stoffe werden so klassifiziert.	Breite Anwendungsmöglichkeiten, vorwiegend bei wissenschaftlichen Studien	+ wirkungsorientierte und anschauliche Zusammenfassung von Belastungen - gewichtet die Einzelbelastungen nicht einander gegenüber
LEO	Assessment-Verfahren, mit der die Leistung von Teams innerhalb einer Organisation analysiert und verbessert werden soll. Dabei sollen Potenziale bei Mitarbeitern gefunden und gefördert werden. Wird mittels Fragenbogen (80 Fragen) durchgeführt.	Firmen in Italien und Schweiz	- kein didaktischer Wert zu erkennen

Tabelle 2 (Fortsetzung): Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit

MIPS	Berechnet den Quotienten zwischen Materialinput in kg Masse und der Serviceeinheit. Mit dieser Methode kann eine Abschätzung der Umweltbelastung in Bezug auf den Ressourceneinsatz erfolgen. Ergebnisse werden in 5 Klassen aggregiert (abiotische, biotische, Wasser, Luft, Boden).	Anwendung in Unternehmen und Volkswirtschaft, bei der Entwicklung neuer Produkte	<ul style="list-style-type: none"> - kaum anwendbar für strategische Fragen + einfach kommunizierbare Ergebnisse + Bewusstsein für Massenströme wird geschärft - keine Informationen über Emissionen an der Output-Seite - keine Informationen über langfristige Umweltschäden - reines Benchmark-Verfahren
MKA	Entscheidungshilfe zur Auswahl mehrere Alternativen zur Erreichung eines festgelegten Ziels. Hilfreich bei Problemen mit Nutzen oder Kosten die nicht monetär bewertet werden können. Dynamische Probleme werden vereinfacht. Ist ein Instrument zur Entscheidungsfindung und nicht Bewertung.	Entscheidungsfindung in der Wirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> + strukturiert und einfach zu verstehen - zeitliche Veränderung nicht berücksichtigbar

Tabelle 2 (Fortsetzung): Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit

NAI/NAX, FTSE, DJSI	Es handelt sich um Aktien-Indizes die in Bündeln zusammengefasst und an der Börse notiert sind. Vor allem Aktien in Bezug auf Nachhaltigkeit werden gebündelt. Die Kriterien können menschenrechts-, umwelt- und sozialbezogen sein.	Orientierungshilfe für Aktionäre	- Evaluierung teilweise fragwürdig, da sie nur vom Unternehmen bestätigt wird
NHK	In einem Spinnendiagramm werden die Veränderungen von Indikatoren über einen festgelegten Zeitraum dargestellt. Zahl und Art der Indikatoren sind variabel. Nach Ablauf der Zeit wird der Wert des Indikators neu ermittelt und in das Diagramm eingetragen. Die Werte werden in den Nachhaltigkeitskompass eingetragen und miteinander verbunden, wodurch sich eine Fläche ergibt. So kann ermittelt werden, welche Bereiche sich verbessert haben, bzw. noch Potenzial besteht. Ist ein Monitoring-Werkzeug.	Anwendung in Lokalen Agenda 21 Prozessen	+ qualitative und quantitative Daten verwendbar + gut kommunizierbar + einfache bildliche Darstellung - keine Vorab-Entscheidungen möglich, da nur Monitoring-Werkzeug

Tabelle 2 (Fortsetzung): Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit

NPP	Liefert Daten der Produktivität eines Ökosystems und ist keine Bewertungsmethode. Dient zur Charakterisierung von Biomassezuwachs. NPP ist die Menge, die Pflanzen mittels Photosynthese aus anorganischen Substanzen produziert und nicht selbst verbraucht. Wird auch als Maß für den Eingriff der Menschen auf die Natur und den Naturverbrauch verwendet.	Anwendung in der Wissenschaft	+ gut kommunizierbar + sehr stabile Bewertungsgrundlage + Bewusstsein zum Verbrauch begrenzter Flächen wird vermittelt - nur der Biomasseverbrauch wird ermittelt - Bewertungsgrundlage von Region zu Region unterschiedlich
NWA	Kriterien werden im Vorhinein bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt, die keinen monetären Charakter haben. Es ist ein Indexierungsverfahren in drei Phasen: Konzeptionsphase, Bewertungsphase, Ergebnisphase.	Messung alternativer Investitionsobjekte Bereiche wären: Systemtechnik, Raumplanung, Stadtplanung, Landschaftsplanung	+ transparente Kommunikation + strukturierte Entscheidungsvorbereitung
ÖLB	Es werden Formen der Landbewirtschaftung, nach bestimmten Richtlinien, zusammengefasst. Voraussetzung, um Produkte mit „aus kontrolliert biologischer Landwirtschaft“ zu bezeichnen.	Landwirtschaft und Konsum	- keine Methode zur Bewertung von Umweltauswirkungen

Tabelle 2 (Fortsetzung): Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit

ÖSP	Soll die fehlende ökologische Betrachtung des Bruttosozialproduktes ausgleichen. Ergibt sich aus dem BSP und Abzug durch Verminderung ökologischer Aspekte.	Volkswirtschaft, Erweiterung des Bruttosozialproduktes	<ul style="list-style-type: none"> + ökologische Aspekte werden in BSP miteinbezogen - erhebliche statistische Defizite bei den Daten
PCC	Vermeidungskostenansatz. Es wird bewertet, welche Kosten beim Nicht-Ausstoßen von Schadstoffen entstehen, das heißt die Kosten für z.B. eine Abgasreinigungsanlage.	Industrie, Bereiche der Emissionsoptimierung	<ul style="list-style-type: none"> + genauere Aufschlüsselungen der Gesamtkosten + externe Effekte werden mitberücksichtigt - dient weniger der strategischen Bewertung - abhängig von schnell ändernden Gesellschaft und Technologien

Tabelle 2 (Fortsetzung): Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit

PLA	Umfassende Ermittlung der Auswirkungen eines Produktes von Abbau der Rohstoffe bis hin zum Recycling bzw. Entsorgung. Betrachtungsebenen sind: Umwelt, Wirtschaft, Gesellschaft. Im Gegensatz zu anderen Methoden wie Ökobilanzierung, werden auch gesellschaftliche und ökonomischen Aspekte miteinbezogen. PLA erfolgt in 5 Schritten: Scoping, Sachbilanz, Wirkungsbilanz, Bilanzbewertung, Schwachstellen- und Optimierungsanalyse.	Beurteilung von Produkten	+ anschauliche und ganzheitliche Bewertung - benötigt große Mengen an Daten - komplexe Vorgehensweise
RA	Risikoanalyse bei der die Wahrscheinlichkeit für Gewinne und Verluste ermittelt wird. Risiko wird definiert als Eintrittswahrscheinlichkeit mal Schadensausmaß. Quantitative Abschätzung von technisch/naturwissenschaftlichen Unsicherheiten für politische Entscheidungen.	Angewendet in Ökonomie, Versicherung, Politik und Technologie.	+ vielseitig einsetzbar + gut kommunizierbar - abhängig von Qualität der Daten
SAV	Bei einer ganzheitlichen Betrachtung von komplexen Systemen wird mittels Instrumenten die Komplexität reduziert. Ermöglicht die Einbeziehung aller Lebensbereiche bei der Untersuchung eines Systems.	Angewendet in der Systemtechnik, Raumplanung, Stadtplanung, Landschaftsplanung und komplexen wirtschaftlichen, technischen und gestalterischen Projekten.	+ Transparenz und Kommunikation nach außen - komplexe Vorgehensweise - in erster Linie Mediations- und Moderationsinstrument

Tabelle 2 (Fortsetzung): Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit

MFA, SFA	Relevanzen und Größenordnungen von Stoffströmen werden ermittelt, damit die größten Verursacher bestimmt werden können. Dient nicht der Bewertung, sondern der Analyse. Bei Verknüpfung mit definierten Zielen kann ein Handlungsrahmen simuliert werden. SFA bezieht sich auf Elemente und chemische Verbindungen, MFA auf Güter bestehend aus mehreren Stoffen.	Bereich Verfahrens- und Produktionstechnik	+ didaktisch wertvolle Ergebnisse - keine Bewertungsmethode
SPI	Fasst Auswirkungen einer Anlage auf Basis von Flächen zusammen. Mit Hilfe dieser Aggregation können Emissionen und Ressourceneinsatz in einer vergleichbaren Dimension dargestellt werden. Ziel ist, umfassendes Bewertungstool im Umweltbereich zur Verfügung zu stellen.	Anwendung in der Industrie, Land- und Forstwirtschaft, Verkehrssystemen	+ unterstützt Kommunikation bei Behörden + verdeutlicht globale und regionale Verantwortung der Umwelt gegenüber + stabile Bewertungsgrundlage mit ausreichend vorhandenen Daten - Unterschiede von Region zu Region

Tabelle 2 (Fortsetzung): Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit

SSI	Bewertungstool für den sozialen Bereich (soziale Nachhaltigkeit). Es werden Partizipation, Abläufe, Betroffenheit und Handlungsspielräume bewertet. Setzt voraus, dass Menschen sich am Planungsprozess für eine gemeinsame Zukunft beteiligen. Bewertungsmethode ist dimensionslos und setzt Betroffenheitsindex und Partizipationsindex in Relation zueinander.	Bisher nur bei Fallbeispielen angewendet	<ul style="list-style-type: none"> + für ganze Regionen können Aussagen bzgl. Entwicklungsprozess und Entscheidungsqualität getroffen werden - mangelnde Erfahrung und Beispiele - eher schwierig kommunizierbar - didaktisch nicht voll ausgereift
SZT	Es sollen realistische Entwicklungsmöglichkeiten bei relativ großer Unsicherheit und abhängig von Rahmenbedingungen, für die Zukunft beschrieben werden. Wird eingesetzt bei langfristigen Zeitspannen, bei denen andere Methoden nicht zielführend sind und die Unsicherheiten zu groß wären. Im Gegensatz zur RA, stehen mögliche Faktoren und Wirkungszusammenhänge im Vordergrund.	Szenarioanalyse z.B. im Energiesektor, Raum- und Umweltplanung	<ul style="list-style-type: none"> + hoher didaktischer Wert + leicht zu verstehen

Tabelle 2 (Fortsetzung): Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit

TA	Ziel ist die Bereitstellung von Entscheidungsgrundlagen für Politiker. Es werden mögliche Folgen beim Einsatz bestimmter Technologien analysiert. Darauf basierend werden Handlungsoptionen im Bereich der Technologiepolitik beschrieben. Im Fokus stehen unbeabsichtigte Sekundär- und Tertiär-Wirkungen. Zur Analyse wird eine Vielzahl an Methoden verwendet, wie Brainstorming, Dokumentaranalyse, Literaturrecherche, Computer-Simulation u.v.m. Die gewählte Methode wird der Fragestellung angepasst.	Informations- und Telekommunikationstechnologien, Gesundheitstechnologien, Biotechnologien und umweltrelevante Technologie.	+ sehr umfassendes Tool - Kommunikation schwierig, aufgrund komplexer Vorgänge
TCA	Vorteile bei der Durchführung von Maßnahmen zum Umweltschutz und erweitert die Kostenbetrachtung um interne Kosten, Gesundheitskosten und haftungsrechtliche Kosten. Life-Cycle Ansatz dient als Basis. Es werden die entstehenden Kosten einzelner Prozesse verdeutlicht.	Produktionsprozesse	+ Darstellung der genauen Kostenaufteilung möglich - abhängig von Unsicherheiten zukünftiger Entwicklungen

Tabelle 2 (Fortsetzung): Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit

UBP	Es wird das Verhältnis zwischen Umweltbelastungen und kritischen Belastungen betrachtet. Der Verbrauch von Energieressourcen und die Emissionen verschiedener Substanzen werden zu Umweltbelastungspunkten zusammengefasst. Die UBP ergeben sich aus dem Produkt von Öko-Faktor und Emissionsmenge. Eine Aggregation der UBP kann durchgeführt werden.	Produktionsprozesse	<ul style="list-style-type: none"> + bei bekannten kritischen Flüssen, recht einfache Methode + transparente und nachvollziehbare Methode - kritische Flüsse werden politisch und nicht wissenschaftlich bestimmt - natürliche Verläufe können ganz anders verlaufen, als im linearen Ökofaktor berücksichtigt wird
UKZ	Bei einem Umweltkennzahlensystem werden Kennzahlen zusammengefasst, die in einer logischen Beziehung zueinanderstehen und einen Bezug zum Umweltschutz haben. Der Umweltaspekt kann auf die Art und Weise auf jeder Ebene miteinbezogen werden. Kennzahlen beschreiben ein System in seiner Gesamtheit oder Teile eines Systems. Diese sind notwendig für Benchmarking.	Auf unternehmerischer Ebene	<ul style="list-style-type: none"> + einfach handzuhaben - bei internen Veränderungen müssen Kennzahlen angepasst werden - Benchmarking nur bedingt möglich aufgrund fehlender Daten der Konkurrenz

Tabelle 2 (Fortsetzung): Beschreibung einzelner Bewertungsmethoden von Nachhaltigkeit

UMS	Ziel der EMAS-Verordnung, ist eine kontinuierliche Anpassung und Verbesserung eines Unternehmens in Bezug auf den Umweltschutz. Dabei müssen regional spezifische Umweltgesetze eingehalten werden. Der Umweltschutz-Aspekt muss im gesamten Unternehmen aktiv integriert werden, ohne wirtschaftliche Verluste hinnehmen zu müssen.	Auf unternehmerischer Ebene	+ didaktischer Wert sowohl intern als auch für Kunden - muss nach außen kommuniziert werden - aufwendig durch wiederholende Durchführung und Überprüfung
UWZ	Es werden Dienstleistungen und Produkte mit niedrigen Umweltauswirkungen gekennzeichnet. Dabei müssen Kriterien erfüllt werden, die durch ein Gutachten überprüft werden. Grundlage der Bewertung sind: Produktkonzept, Rohstoff- und Energieverbrauch, Toxizität, Emissionen, Entsorgung/Recycling, Verpackung, Vertrieb und Transport, Qualität.	Konsumenten	+ einfach + umfassender Ansatz + gut kommunizierbar - Kriterien schwierig zu verstehen
WPE	Stellt die erzeugte Menge an Entropie dar, die durch ein Produkt bis zur Benutzung verursacht werden. Ziel ist jenes Produkt zu finden mit der geringsten Menge an Entropie. Es wird die potenzielle Gefährdung der Umwelt durch einen Schadstoff ermittelt.	Industrielle Prozesse, vor allem chemische Industrie und verfahrenstechnische Prozesse	- existiert kein Standard bzgl. Umweltreferenz - mögliche fehlbehaftete Ergebnisse durch Nichtberücks. von Kinetik, Interaktion und Aggregation - keine leichte Kommunikation

Jede Methode hat eine andere Herangehensweise. Abbildung 4 allerdings zeigt dass nicht jede Methode jede der drei Perspektiven der Nachhaltigkeit berücksichtigt.

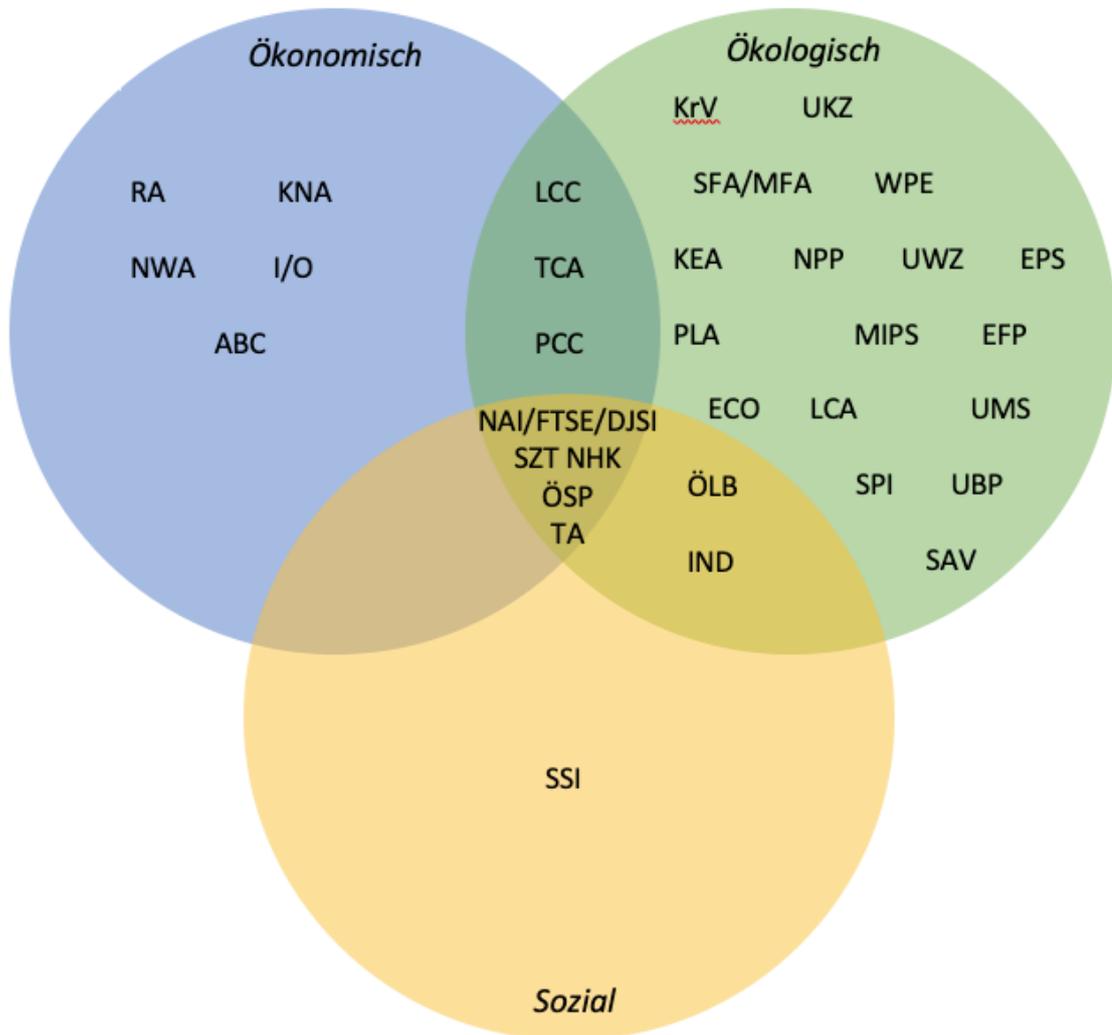


Abbildung 4: Einreihung der Bewertungsmethoden nach den drei Säulen der Nachhaltigkeit ⁸¹

Es ist erkennbar, dass einige Bewertungsmethoden lediglich zwei Perspektiven oder nur eine berücksichtigen. Es gibt sogar Bewertungsmethoden, die in Abbildung 4 nicht vorkommen, da sie mehr zur allgemeinen Bewertung dienen, wie die Multikriterienanalyse oder die Leonardo-Methode. Somit hat ein Unternehmen die Möglichkeit, sich eine Methode auszusuchen, abhängig davon auf welche Perspektive der Einfluss untersucht werden soll.

⁸¹ Quelle: Wimmer, R. et al. (2004), S. 45. (leicht modifiziert)

Die Ergebnisse einer solchen Bewertung können unterschiedlich genutzt werden. Unternehmen können die errechneten Werte im Zuge der Erstellung eines Nachhaltigkeitsberichts veröffentlicht werden.⁸² Dies kann dem Unternehmen zugutekommen, da Stakeholder einen Einblick in die Entwicklungen und das Engagement des Unternehmens im Bereich der Nachhaltigkeit haben, was wiederum die Zufriedenheit der Stakeholder sicherstellt. Auch können die Ergebnisse einen strategischen Nutzen haben. Das Unternehmen kann die Daten verwenden, um sich mit der Konkurrenz zu vergleichen und um sich einen strategischen Vorteil zu sichern.⁸³ Es besteht die Möglichkeit, dass die erhaltenen Daten Risiken und Schwächen im Unternehmen oder Abweichungen der durch die Unternehmensführung formulierten Ziele offenbaren.

Nachhaltigkeit zu bewerten ist ein komplizierter und aufwendiger Prozess, da es keine einheitliche Vorgehensweise der Durchführung gibt. Die Bewertung ist jedoch notwendig, wenn ein Unternehmen sich dazu entschließt, nachhaltig zu wirtschaften. Einmal durchgeführt, können die Daten dazu verwendet werden, weiterführende Schritte zu planen und die unternehmerischen Tätigkeiten zu verbessern oder anzupassen. Das heißt, eine Nachhaltigkeitsbewertung ist keine einmalige Vorgehensweise, sondern ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess, der stets überwacht und kontrolliert gehört, damit der Aspekt der Nachhaltigkeit aktiv in die Unternehmenspolitik mit einbezogen werden kann.⁸⁴

2.3 Das nachhaltige Geschäftsmodell

Die Firma ferroDECONT hat sich entschieden, ihren Prozess in Bezug auf die Umweltwirkung zu bewerten. Ziel ist es einerseits, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, andererseits Nachhaltigkeit in das Unternehmen zu integrieren, ganz im Sinne der SDGs. Dieses Kapitel befasst sich mit der Thematik des Geschäftsmodells, wie dieses aufgebaut ist und wie es individuell gestalten werden kann, um ein nachhaltiges Geschäftsmodell zu implementieren. Zum Schluss werden zwei Methoden erläutert mit Hilfe derer Nachhaltigkeit in ein Unternehmen integriert werden kann.

2.3.1 Definition Geschäftsmodell

Es existiert keine einheitliche Definition des Begriffs „Geschäftsmodell“.⁸⁵ Wie SCHALLMO, D. (2013) in seinem Werk "Geschäftsmodelle erfolgreich entwickeln und implementieren" zusammenfasst, ist die Definition des Begriffes Geschäftsmodell keine einheitliche, sondern eine subjektive und an das Unternehmen angepasste Beschreibung. Daraus abgeleitet ergibt sich folgende Definition: Ein Geschäftsmodell spiegelt die Unternehmensstrategie und -philosophie wider. Das Modell beschreibt die verschiedenen Elemente in unterschiedlichen Dimensionen im Unternehmen und deren

⁸² vgl. Müller, G. (2012), S. 157.

⁸³ vgl. Weber, J. (2012), S. 221.

⁸⁴ vgl. Wehrum, K. et al. (2013), S. 63.

⁸⁵ vgl. Schallmo, D. R. A. (2013), S. 12.

Verzweigung untereinander. Zusätzlich dazu werden Beziehungen formuliert bzw. dargestellt, wie das Unternehmen durch interne und externe Faktoren beeinflusst wird und umgekehrt. Es beantwortet die Fragen, mit welchen Instrumenten ein Unternehmen welche Aufgaben erfüllen kann und zu welchem Zweck.⁸⁶

Es ergibt sich daraus ein holistisches Gerüst des Unternehmensaufbaus, welche in Abbildung 5 dargestellt ist. Dabei gilt es, das Geschäftsmodell so zu formulieren und zu gestalten, dass die Ziele der Unternehmensführung erfüllt werden. Wenn das Ziel z.B. lautet, die Prozesse firmenintern effizienter zu gestalten, dann muss dies auf allen Ebenen innerhalb des Unternehmens durchgeführt werden.

Um Nachhaltigkeit in das Geschäftsmodell zu integrieren, muss dieses auf allen Ebenen durchgeführt werden. Auf diese Art und Weise wird klar formuliert, wie ökonomische, ökologische und soziale Aspekte in das Unternehmen integriert werden (siehe Kapitel 2.3.2).

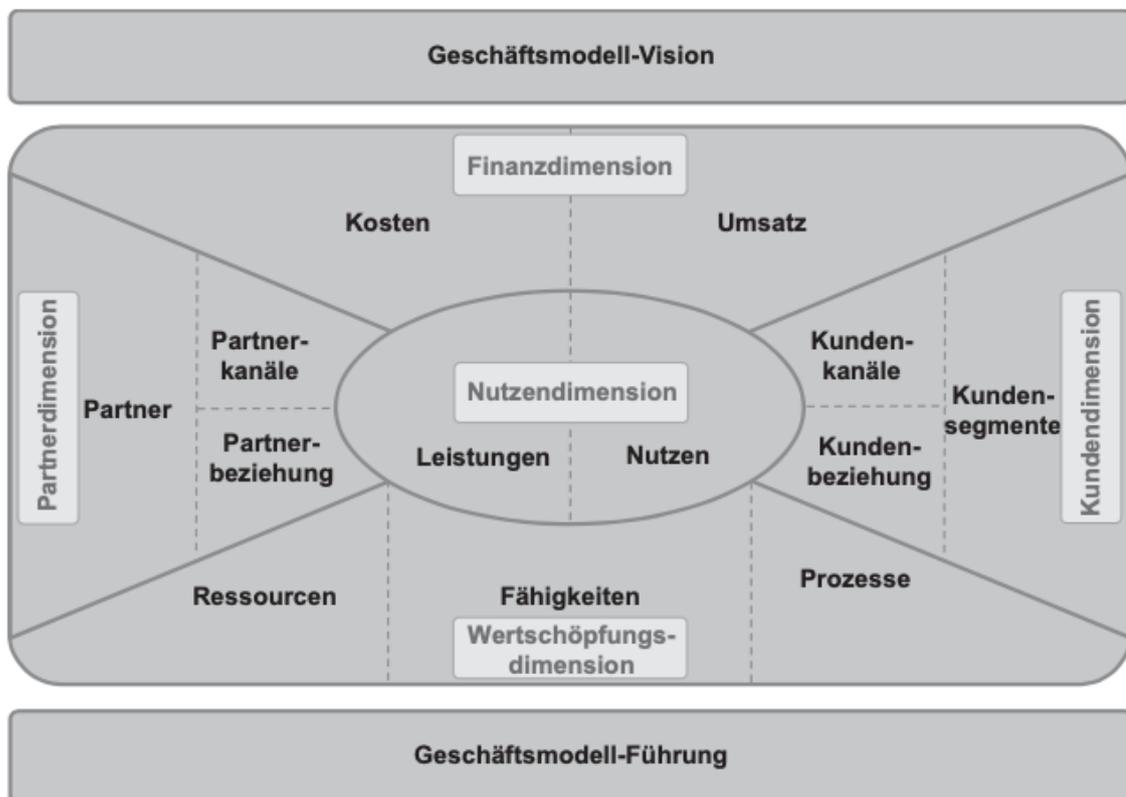


Abbildung 5: Darstellung des Aufbaus eines Geschäftsmodells⁸⁷

2.3.2 Integration von Nachhaltigkeit in das Unternehmen

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei einem Geschäftsmodell um den spezifischen Aufbau eines Unternehmens und wie dieses nach innen und außen verflochten ist. Nachhaltigkeit befasst sich mit der inter- und intragenerationalen Gerechtigkeit und stützt sich auf dem Triple-Bottom-Line Ansatz. Das heißt, um ein nachhaltiges

⁸⁶ vgl. Schallmo, D. R. A (2013), S. 16

⁸⁷ Quelle: Schallmo, D. R. A. (2013), S. 52

Geschäftsmodell zu erstellen, müssen ökologische, ökonomische und soziale Werte auf jeder Ebene des Unternehmens integriert werden.⁸⁸

Eine wichtige Entwicklung, die sich in den letzten Jahrzehnten abgezeichnet hat, ist die konzeptionelle Entwicklung. Das bedeutet, dass nicht nur der Profit und einzelne Kundenanforderungen einen hohen Stellenwert haben, sondern ganze Interessensgruppen. Außerdem haben neben dem finanziellen Erfolg auch die Auswirkungen auf der sozialen und ökologischen Ebene eine hohe Priorität.⁸⁹ Es wird immer wichtiger, bestehende Geschäftsmodelle neu zu gestalten, bzw. weiterzuentwickeln, damit ein nachhaltiges Geschäftsmodell entstehen kann, welches Inhalt der Geschäftsmodellinnovation (Business Model Innovation) ist.⁹⁰

Ein Unternehmen definiert sich über folgende Instrumente:⁹¹

- Unternehmensphilosophie
- Unternehmenspolitik
- Unternehmensstrategie
- Unternehmenskultur
- Unternehmensethik
- Unternehmensvision.

An oberster Stelle steht die Unternehmensphilosophie. Diese beinhaltet die Grundwerte und die übergeordneten Ziele, die vom gesamten Unternehmen respektiert und gelebt werden müssen. Das heißt, sie gilt sowohl für Angestellte als auch für das übergeordnete Management.⁹² Daraus folgt, dass der Aspekt der Nachhaltigkeit bereits als Grundwert in der Unternehmensphilosophie formuliert und verankert werden muss.

Es existieren unterschiedliche Methoden, wie Nachhaltigkeit in ein Unternehmen integriert werden kann. Wie bei der Bewertung von Nachhaltigkeit in einem Unternehmen, gibt es auch hier keine einheitliche Vorgehensweise. Ein aktives Umweltcontrolling kann sowohl bei der Integration von Nachhaltigkeit behilflich sein als auch die von der Unternehmensführung festgelegten Ziele in Bezug auf die Nachhaltigkeit erfüllen.⁹³ Dabei kann Nachhaltigkeit ganzheitlich oder partiell integriert werden.⁹⁴ In beiden Fällen müssen die Aufgaben und Ziele zur Integration der Nachhaltigkeit mit dem Management in Einklang gebracht werden.

Bei einer holistischen Integration erfolgt in einem ersten Schritt eine Analyse des Unternehmensumfeldes, wie Kunden, Politik und Umwelt, sowie der internen und externen Stärken und Schwächen des Unternehmens. Es werden Pläne zur Erreichung der Ziele erstellt. Mit Hilfe des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses werden diese Schritte wiederholt und bei Bedarf angepasst.⁹⁵ Nach erfolgter Integration ist es ebenfalls Inhalt des Umweltcontrollings, die bestehenden Ist- und Sollwerte ständig zu

⁸⁸ vgl. Gminder, C. U. (2006), S. 3

⁸⁹ vgl. Glinik, M. et al. (2019), S. 11.

⁹⁰ vgl. Hasenmüller, M. (2013), S. 286.

⁹¹ vgl. Isenmann, R. (2012), S. 47.

⁹² vgl. Hecker, F. (2012), S. 19.

⁹³ vgl. Tschandl, M. (2012), S. 12.

⁹⁴ vgl. Tschandl, M. (2012), S. 21.

⁹⁵ vgl. Gelbmann, U.; Baumgartner, R. J. (2012), S. 287.

überwachen und zu vergleichen. Das heißt, es wird fortlaufend eine Abweichungsanalyse durchgeführt, die die Abweichung von den geplanten Zielen erfasst. Das Ziel ist, Maßnahmen zu setzen, um die Abweichung zu minimieren und geplante Erfolge zu erreichen. Ein effektives Umweltcontrolling benötigt einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess, der in Form eines PDCA-Zyklus durchgeführt wird und in Abbildung 6 dargestellt wird.

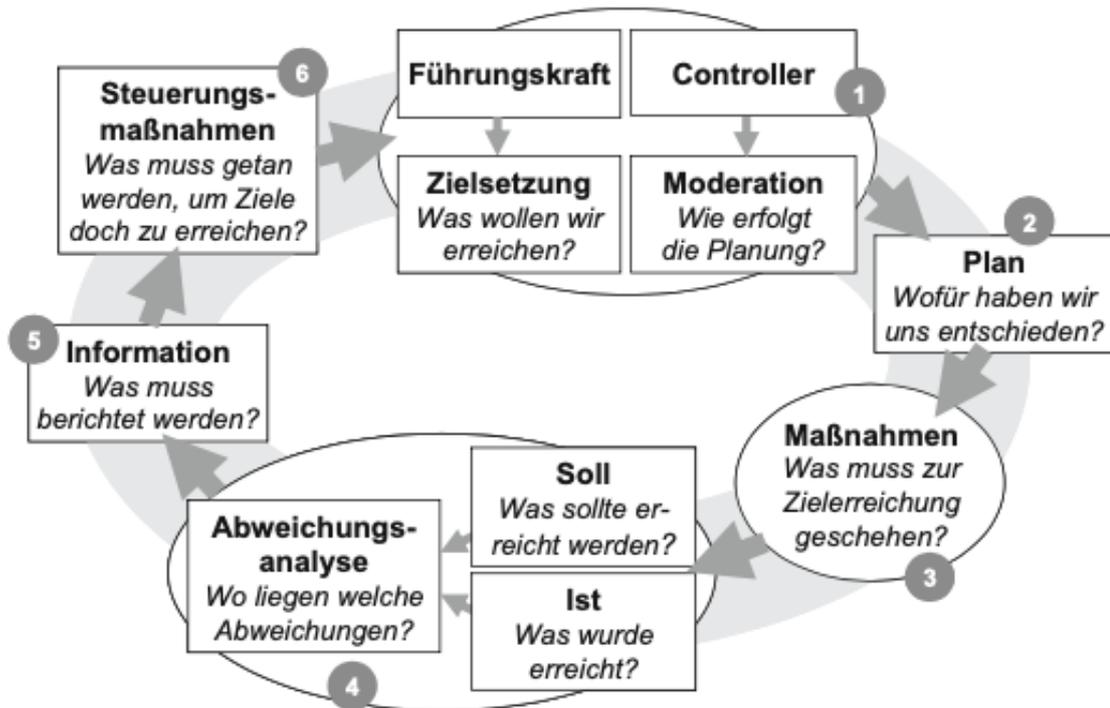


Abbildung 6: Controllingkreislauf in Form eines PDCA-Zyklus⁹⁶

Es existieren Leitfäden, die die holistische Integration von Nachhaltigkeit in einem Unternehmen unterstützen. Im Folgenden werden zwei Methoden genauer beschrieben: die ISO 26000 und die Sustainable Balanced Scorecard (SBSC).

2.3.3 ISO 26000

Bei der ISO 26000 werden zur Integration von Nachhaltigkeit in ein Unternehmen, sieben Kernthemen definiert, siehe Abbildung 7. Ein ganzheitlicher Blick auf die gesellschaftliche Verantwortung wird damit gewährleistet.

⁹⁶ Quelle: Tschandl, M. (2012), S. 16.

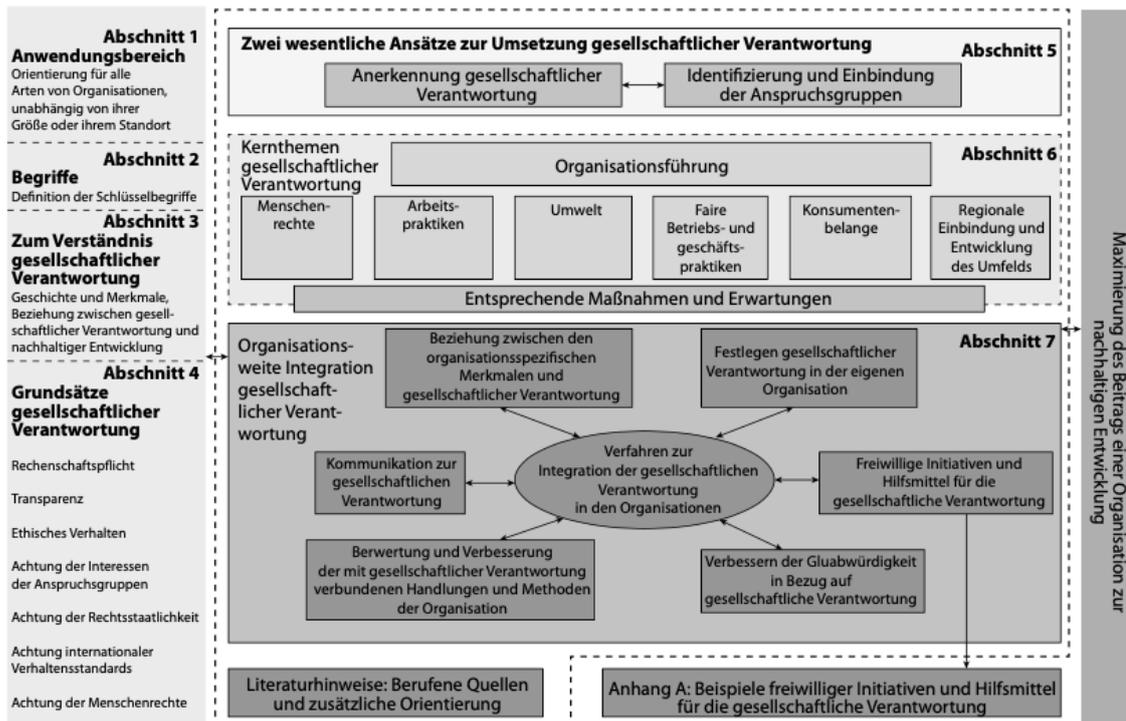


Abbildung 7: Schematische Darstellung zur Durchführung der ISO 26000⁹⁷

Der Abbildung 7 sind die 7 Kernthemen zu entnehmen:

- Organisationsführung
- Menschenrechte
- Arbeitspraktiken
- Umwelt
- Faire Betriebs- und Geschäftspraktiken
- Konsumentenbelange und regionale Einbindung
- Entwicklung des Umfelds.

Es ist darauf zu achten, dass die Wechselwirkungen zwischen den Kernpunkten berücksichtigt werden. Die ISO 26000 empfiehlt, sich bei der Wahrnehmung gesellschaftlicher Verantwortung an folgenden sieben Prinzipien zu orientieren:⁹⁸

- Transparenz
- Ethisches Verhalten
- Achtung der Interessen der Stakeholder
- Achtung der Rechtsstaatlichkeit
- Achtung internationaler Verhaltensstandards
- Achtung der Menschenrechte
- Rechenschaftspflicht

⁹⁷ Quelle: Colman, B. (2013), S. 17.

⁹⁸ vgl. Schmiedeknecht, M. H.; Wieland, J. (2012), S. 264.

2.3.4 Sustainable Balanced Scorecard

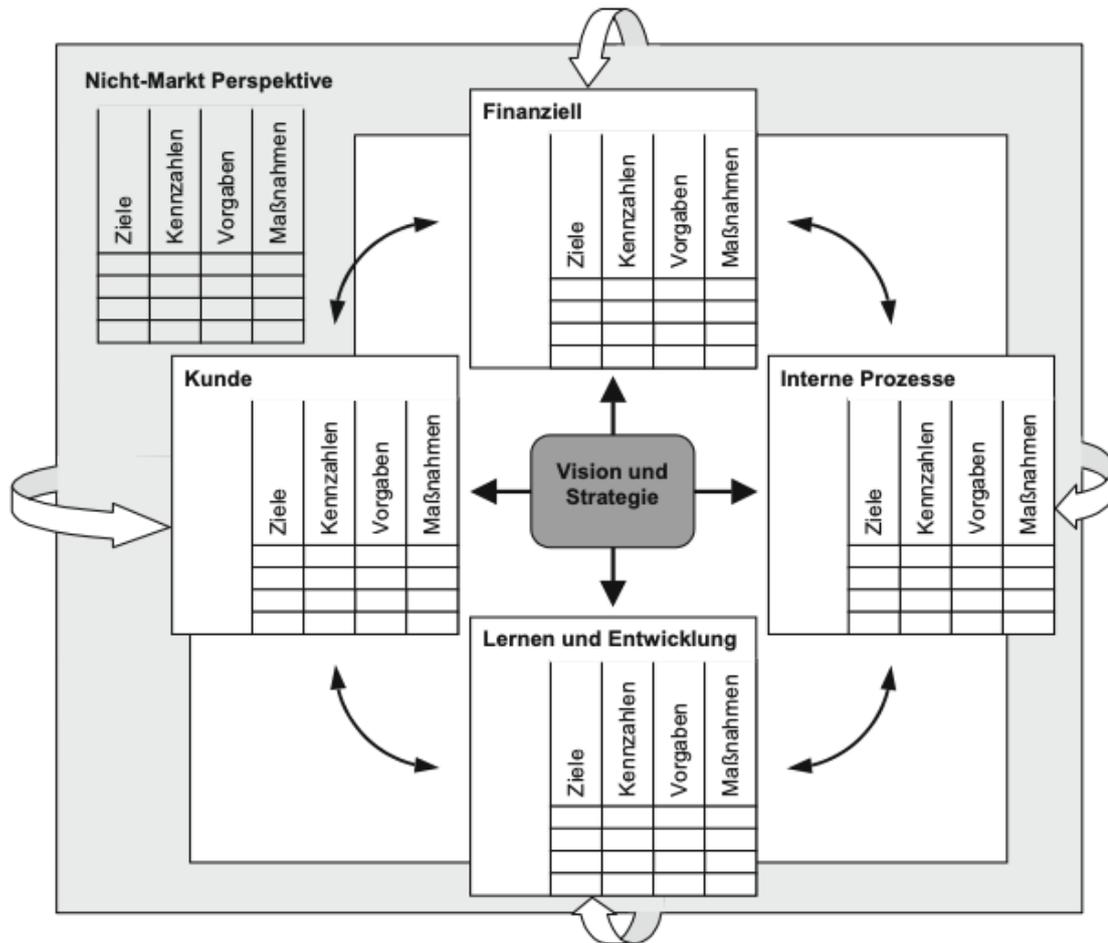
Eine weitere Möglichkeit zur holistischen Betrachtung und Integration von Nachhaltigkeit in ein Unternehmen kann mit Hilfe der Balanced Scorecard erreicht werden.⁹⁹ Dabei handelt es sich um ein System von Kennzahlen zur Führungsunterstützung. Sie unterstützt das Unternehmen dabei, die festgelegten Ziele und Strategien zu erfüllen bzw. zu verfolgen, bei gleichzeitiger Erhaltung des Gleichgewichts der folgenden vier Perspektiven:

- Finanzielle Zielsetzungen
- Kunden
- Interne Prozesse
- Lernen bzw. Entwicklung

Es gibt zwei Möglichkeiten, Nachhaltigkeit in das Balanced Scorecard System zu integrieren. Es können soziale und ökologische Aspekte sowohl in einer eigenen fünften Perspektive berücksichtigt werden als auch zusätzlich in jeder der vier Perspektiven.¹⁰⁰ Abbildung 8 stellt die Integration der drei Perspektiven der Nachhaltigkeit dar.

⁹⁹ vgl. Funkl, E. et al. (2012), S. 179.

¹⁰⁰ vgl. Corsten, H.; Roth, S. (2012) S. 7.

Abbildung 8: Mögliche Darstellung einer SBSC¹⁰¹

2.4 Life-Cycle-Assessment (LCA)

Das folgende Kapitel definiert in einem ersten Schritt den Begriff Lebenszyklus und Lebenszyklusmanagement. Anschließend werden Ziele und Ausblicke einer LCA-Analyse erläutert, bevor der Aufbau und Inhalt dieser beschrieben werden.

2.4.1 Der Begriff Lebenszyklus und Lebenszyklusmanagement

Wird die Nachhaltigkeit eines Prozesses, eines Produktes, einer Dienstleistung o.ä. betrachtet und bewertet, geht diese meist mit einer Analyse des Lebenszyklus einher.¹⁰² Als Lebenszyklus wird jede Phase eines der genannten Systeme bezeichnet, welches im Laufe seines „Lebens“ das System durchläuft.¹⁰³ Das kann vom Abbau der Rohstoffe bis hin zum Recycling, als auch von der Idee eines Programms bis hin zur Ausführung jede Art von Phase sein. Abbildung 9 stellt ein Beispiel dar.

¹⁰¹ Quelle: Möller, A.; Schaltegger, S. (2012), S. 296.

¹⁰² vgl. Sonnemann, G. et al. (2015), S. 7.

¹⁰³ vgl. Sonnemann, G et al. (2015), S. 11.

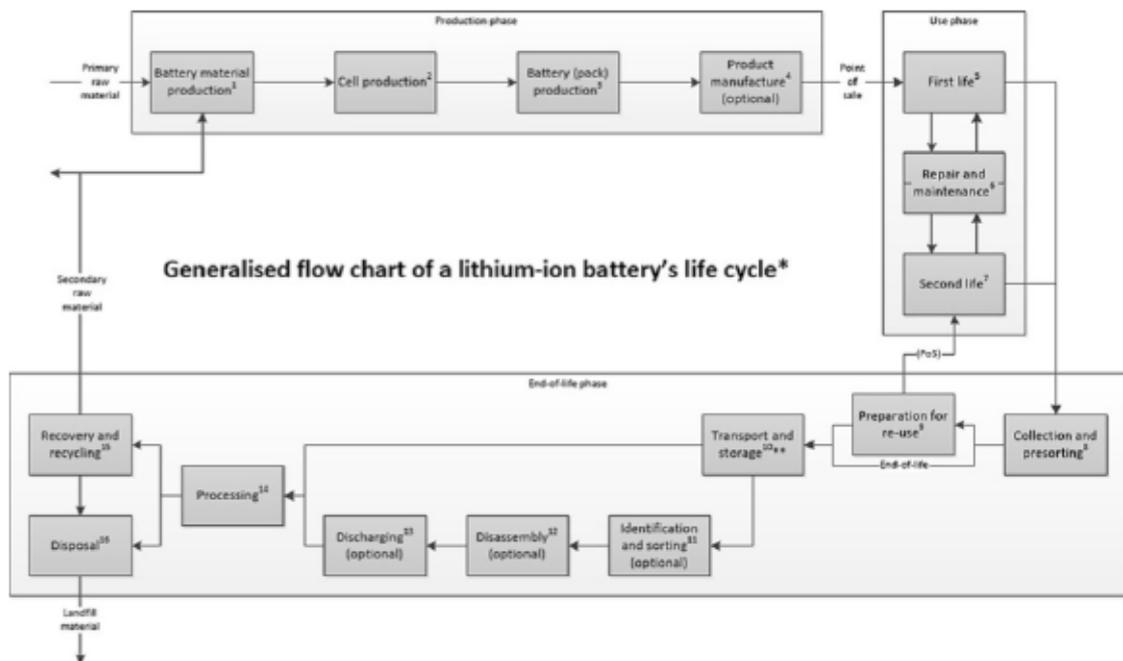


Abbildung 9: Darstellung des Lebenszyklus am Beispiel einer Lithium-Ionen-Batterie¹⁰⁴

In diesem Beispiel wird der Lebenszyklus einer Lithium-Ionen-Batterie dargestellt. Dieser wird in die Produktions-, Nutzungs- und End-of-Life-Phase unterteilt, sowie die einzelnen Prozessschritte innerhalb jeder Phase.

Das Suffix „Zyklus“ legt nahe, dass es sich dabei nicht um eine einfache Kette von Phasen handelt, mit einem absoluten Anfang und Ende, sondern um einen sich schließenden Kreis, bei dem das Ende der letzten Phase gleichzeitig der Anfang der ersten Phase ist. Dies ist zum Beispiel möglich, indem ein Produkt recycelt und ein Teil, oder sogar das ganze Produkt, erneut verwendet wird.

Ein Life-Cycle- und Nachhaltigkeitsmanagement bzw. -controlling kann dabei helfen, die bereits erwähnte Integration von Nachhaltigkeit in einem Unternehmen effektiv zu gestalten.

2.4.2 Nachhaltigkeits- und Life-Cycle-Management

Wie Nachhaltigkeit effektiv in ein Unternehmen mit einbezogen wird, wurde bereits erläutert. Im Zuge dessen ist es die Aufgabe des Nachhaltigkeitsmanagement, dass Nachhaltigkeit kontinuierlich im ganzen Unternehmen überwacht, aktualisiert und bei der Verbesserung oder Veränderung von Prozessen stets berücksichtigt wird. Setzt ein Unternehmen sich als Ziel, den gesamten Lebenszyklus eines Produkts oder einer Dienstleistung zu optimieren und die Aspekte der Nachhaltigkeit in jeder Phase zu berücksichtigen, ist es Aufgabe des Life-Cycle-Management dieses durchzuführen und zu überwachen.

¹⁰⁴ Quelle: Nigl, T. et al. (2021), S. 145.

Life-Cycle-Management ist ein Konzept, welches als Ziel hat, den Lebenszyklus eines Produktes oder eines Prozesses so zu verbessern, dass dieses nachhaltiger wird. Dies wird erreicht, indem negative Auswirkungen auf die Umwelt reduziert bzw. unterbunden werden, ohne dabei die Qualität des betrachteten Systems zu beeinflussen. Somit muss das Life-Cycle-Management das System auf lange Zeit betrachten.¹⁰⁵

In vielen Firmen, ob regional oder international, ist die Nachhaltigkeit und das Nachhaltigkeitsmanagement bereits fester Bestandteil der Unternehmenspolitik, indem u.a. jährliche Nachhaltigkeitsberichte veröffentlicht werden.¹⁰⁶ Die Integration von Nachhaltigkeit in ein Unternehmen ist unabhängig von dessen Größe.

2.4.3 Ergebnisse und Ausblick

Life-Cycle-Management, sowie bereits beschrieben das Nachhaltigkeitsmanagement, sind maßgebliche Instrumente, wenn es darum geht ein Unternehmen nachhaltig zu gestalten, sowie schnell und flexibel auf die sich weiterentwickelnde Welt zu reagieren.¹⁰⁷ Sowohl das Bewusstsein als auch die Forderungen von ganzen Interessensgruppen und Stakeholdern haben sich in den letzten Jahren in Richtung einer nachhaltigen, grünen und umweltschonenden Zukunft verändert.¹⁰⁸ Ein solches Umdenken, als auch das Einführen und Implementieren neuer und nachhaltiger Geschäftsmodelle sind ausschlaggebend, um aktuellen Problemen und Krisen entgegenzuwirken und einen positiven Beitrag gegen den Klimawandel zu leisten. Deshalb nehmen umweltorientierte Werkzeuge und Tools eine entscheidende Rolle ein, da nur mit geeigneten Methoden ein solches Vorhaben gelingen kann.

2.4.4 Aufbau einer LCA-Analyse

Die DIN EN ISO 14040/44 beinhaltet die Vorgangsweise der LCA-Analyse. Sie beschreibt, welche Phasen die Analyse beinhaltet, als auch den Inhalt der einzelnen Phasen. Abbildung 10 stellt schematisch die Vorgehensweise dar.

¹⁰⁵ vgl. Sonnemann, G. et al. (2015), S. 7.

¹⁰⁶ vgl. Ganse, J. et al. (2012), S. 1.

¹⁰⁷ vgl. Jolliet, O. et al (2016), S. 207.

¹⁰⁸ vgl. Isenmann, R. (2012), S. 49.

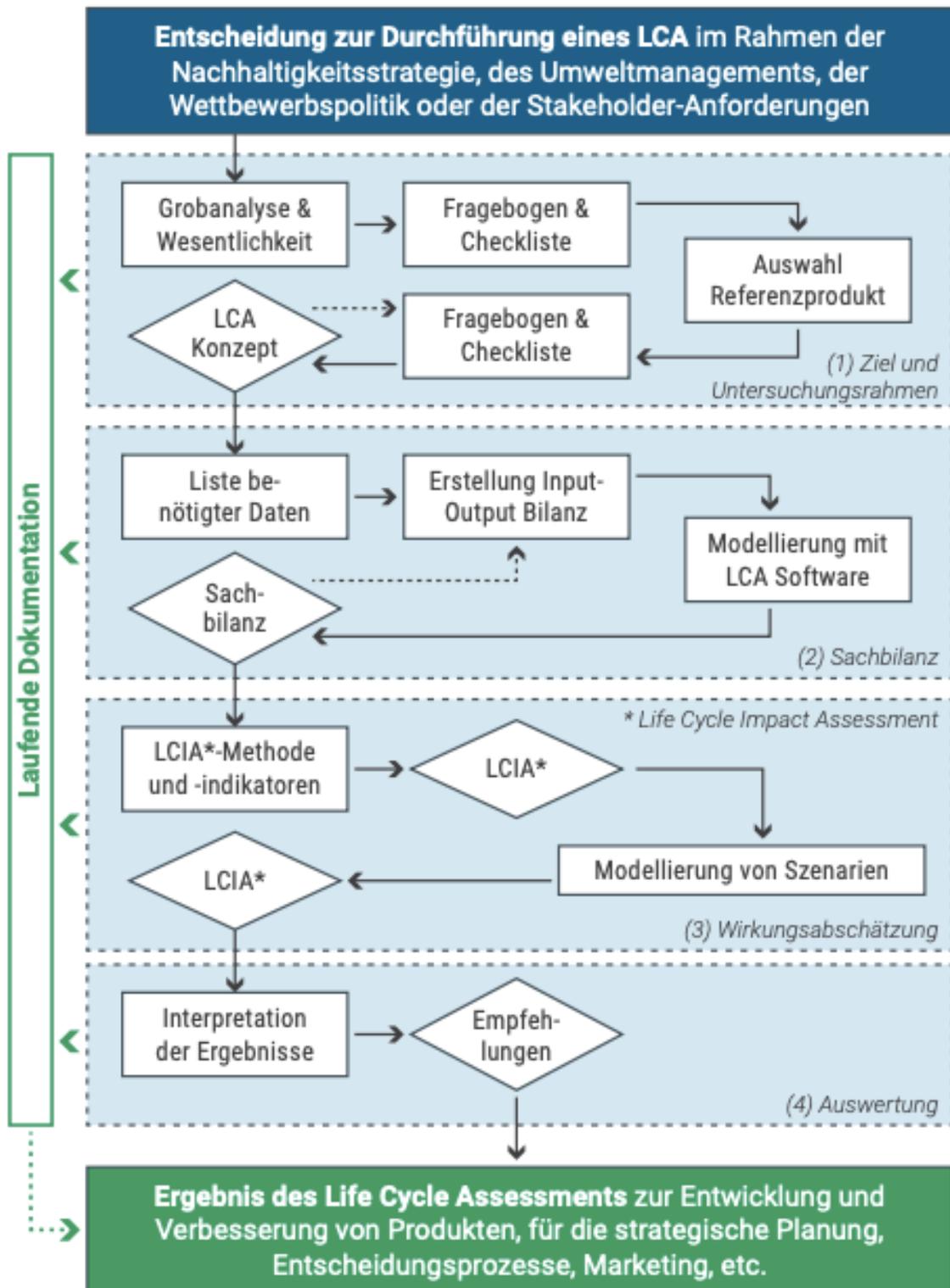


Abbildung 10: Vorgehensweise bei der LCA-Analyse nach DIN EN ISO 14040/44¹⁰⁹

¹⁰⁹ Quelle: Tschiggerl, K. (2018), S. 5.

Wie in Abbildung 10 zu erkennen ist, besteht die LCA-Analyse aus den folgenden vier Phasen:

1. Ziel und Untersuchungsrahmen festlegen
2. Eine Sachbilanz erstellen
3. Die Wirkungsabschätzung durchführen
4. Ergebnisse interpretieren und Optimierungspotentiale beschreiben

Ebenfalls wird verdeutlicht, dass Wechselwirkungen zwischen einzelnen Phasen möglich sind und dass während der gesamten Analyse laufend eine Dokumentation durchgeführt wird. Zum Schluss werden die Ergebnisse präsentiert und Strategien und mögliche Vorgehensweisen für das Unternehmen, basierend auf Empfehlungen, entwickelt und formuliert.

2.4.5 Inhalte der einzelnen LCA-Phasen

Bei der LCA-Analyse wird auf folgende Weise vorgegangen.

Phase 1: Zielformulierung und Festlegung des Untersuchungsrahmens

Die erste Phase ist die Formulierung des Ziels und des Untersuchungsrahmens.¹¹⁰ Bevor die Analyse tatsächlich durchgeführt wird, muss sinnvollerweise ein Ziel definiert werden, auf das ein Unternehmen hinarbeiten möchte. Ziele können von Unternehmen zu Unternehmen variieren. Beispiele hierfür wären:

- Reduzierung des CO₂-Fußabdruckes bei gleichbleibender Qualität
- Vergleich von Prozessen und Auswahl jenes Prozesses mit positivem Einfluss auf die Umwelt
- Bewertung des eigenen Unternehmens in Bezug auf Konkurrenzfähigkeit

Wenn das Ziel formuliert ist, wird der Betrachtungsrahmen festgelegt. Dieser setzt die Grenzen innerhalb derer die Analyse durchgeführt wird.¹¹¹ Nach dem Prinzip des Nachhaltigkeits- und Life-Cycle-Managements ist es am sinnvollsten, den gesamten Lebensweg eines Prozesses bzw. Produktes zu bewerten, das heißt vom Abbau der Rohstoffe bis hin zur Endlagerung oder zum Recycling.¹¹² Allerdings liegt es hier am Unternehmen, diese Grenzen festzulegen und mit dem vorher definierten Ziel abzustimmen. Abbildung 11 stellt ein Beispiel zur Festlegung der Systemgrenzen dar.

¹¹⁰ vgl. Jolliet, O. et al. (2016), S. 23.

¹¹¹ vgl. Jolliet, O. et al. (2016), S. 24.

¹¹² vgl. Jolliet, O. et al. (2016), S. 37.

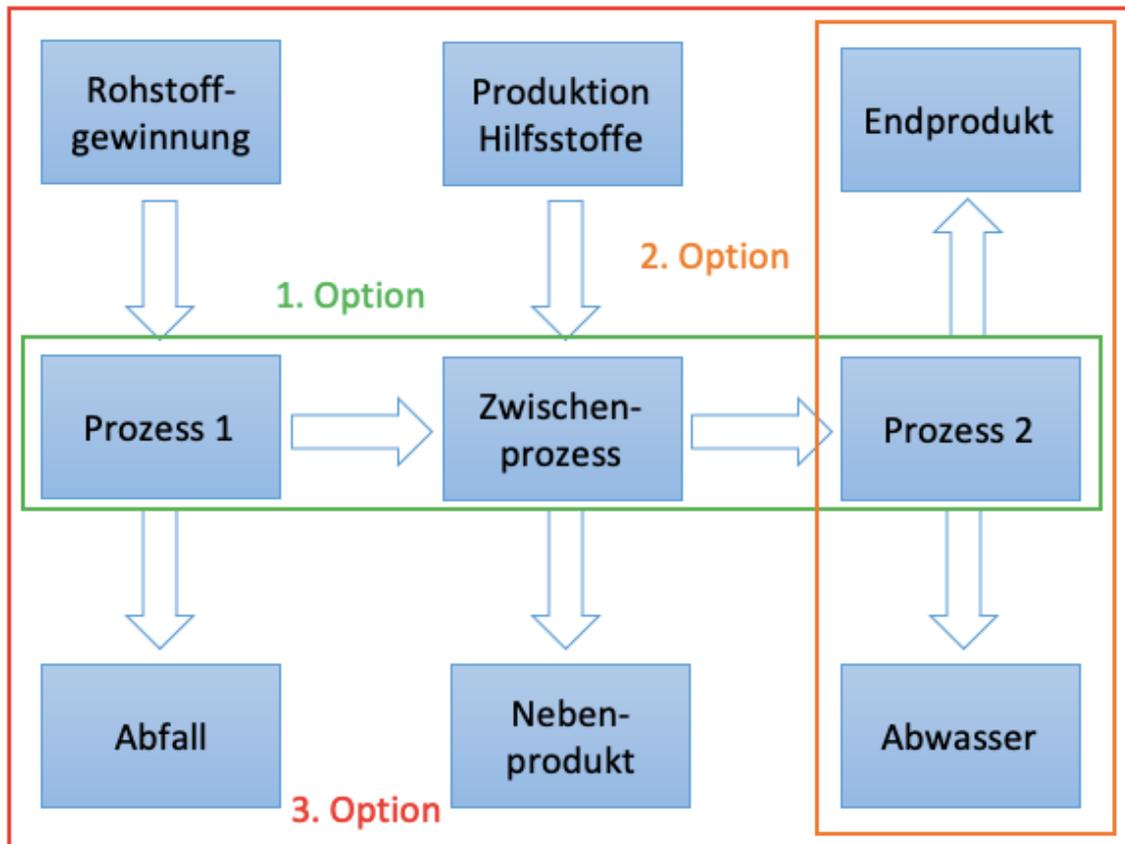


Abbildung 11: Veranschaulichung wie Systemgrenzen gesetzt werden können¹¹³

Phase 2: Erstellung einer Sachbilanz

Nachdem die Grenzen in der ersten Phase festgelegt wurden, liegt das Ziel der zweiten Phase darin, alle Inputs und Outputs, das heißt alle zu- und abfließenden Ströme an den Betrachtungsgrenzen zu erfassen.¹¹⁴ Darunter fallen alle Arten von Roh-, Hilfs- und Nebenstoffen wie z.B. die benötigte Energie für den Prozess, benötigte Chemikalien, Abwässer, Nebenprodukte usw.

Dafür ist eine umfangreiche und ausführliche Datenerhebung notwendig. Dies ist wichtig, damit der betrachtete Prozess so realitätsgetreu wie möglich dargestellt werden kann, wofür eine erhebliche Datenmenge erforderlich ist. Eine Herausforderung dabei ist die Qualität der Daten. Diese muss gewährleistet werden, damit aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden können.¹¹⁵

Bei der Quantifizierung der Ströme werden jedem Material, das in das System eingebracht wird, ein Wert zugeschrieben, der sich auf einen vorher festgelegten Parameter bezieht. Das beinhaltet sowohl jene Stoffe, die benötigt werden zur Produktion der einzelnen Materialien, die in das System eingebracht werden, als auch jene Stoffe die bei der Entsorgung oder Ablagerung entstehen. Der Parameter, auf den sich jeder Stoff bezieht, wird „Functional Unit“ genannt und kann bspw. eine Anzahl von

¹¹³ Quelle: Eigene Darstellung.

¹¹⁴ vgl. Jolliet, O. et al. (2016), S. 48.

¹¹⁵ vgl. Jolliet, O. et al. (2016), S. 65.

Stücken, die in einer Stunde produziert wurden, sein oder die Konzentration eines Stoffes in einem Liter behandeltem Abwasser.¹¹⁶

Im Anschluss kann mit Hilfe spezieller Programme eine Sachbilanz erstellt werden, um den gesamten Prozess besser veranschaulichen zu können, wie in Abbildung 12 als Beispiel für die Extraktion von Aluminium aus Erzen dargestellt wird.

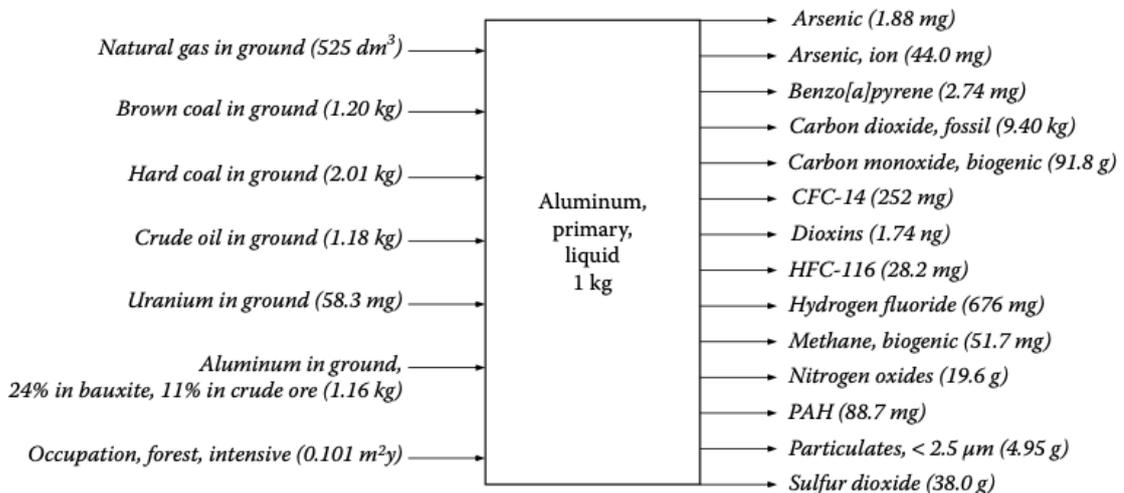


Abbildung 12: Beispiel einer Sachbilanz zur Extraktion von Aluminium¹¹⁷

Phase 3: Wirkungsabschätzung

Die dritte Phase befasst sich mit der Wirkungsabschätzung, auch Life Cycle Impact Assessment (LCIA) genannt. Die Stoffe, welche in der Sachbilanz erfasst werden, werden qualitativ bewertet.¹¹⁸ So können die Auswirkungen der einzelnen Stoffe kategorisiert und separat bewertet werden. Auf diese Art und Weise wird unterschieden, welche Stoffe z.B. einen CO₂-Fußabdruck hinterlassen, eine Toxizität für Mensch und Umwelt darstellen oder ein Potential zur Ozonbildung aufweisen. Das heißt, es wird berechnet, wie groß der Schaden oder der negative Einfluss in definierten Kategorien ist. Diese werden als „Midpoint“-Kategorien bezeichnet. Die „Midpoint“-Ebene befindet sich zwischen den Ergebnissen aus der LCIA-Berechnung und der „Endpoint“-Ebene. Die Kategorien auf „Midpoint“-Ebene werden im Anschluss Schadenkategorien auf der „Endpoint“-Ebene zugeordnet.¹¹⁹

Je nach Fragestellungen werden Kategorien auf der „Midpoint“-Ebene oder der „Endpoint“-Ebene ausgewählt. Abbildung 13 veranschaulicht die Differenzierung beider. Anhand von Datenbanken, wie jene von Eco-Invent und GaBi können die ausgewählte Indikatoren berechnet werden.

¹¹⁶ vgl. Jolliet, O. et al. (2016), S. 47.

¹¹⁷ Quelle: Jolliet, O. et al. (2016), S. 50.

¹¹⁸ vgl. Jolliet, O. et al. (2016), S. 105.

¹¹⁹ vgl. Jolliet, O. et al. (2016), S. 107.

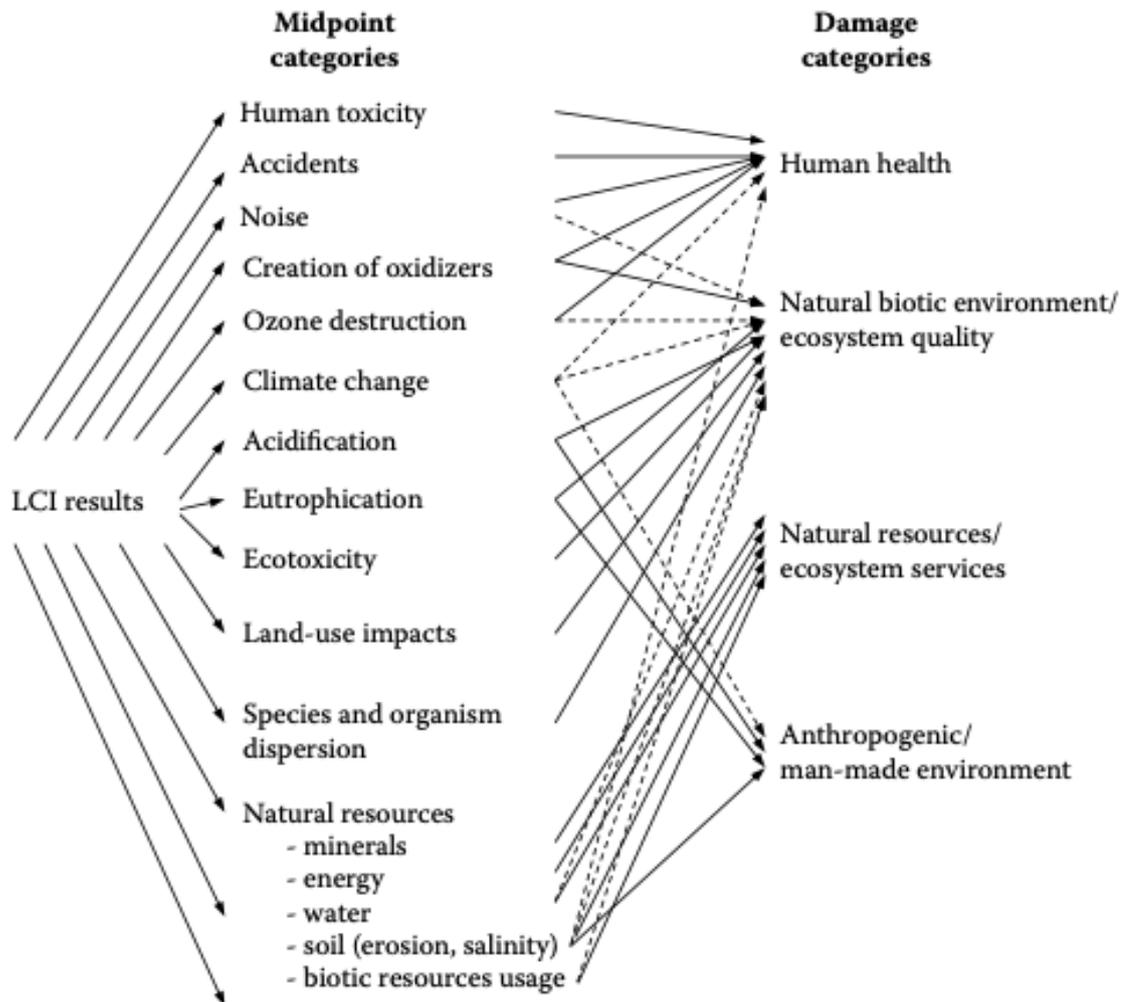


Abbildung 13: Allgemeine Struktur des Life Cycle Impact Assessment¹²⁰

Phase 4: Auswertung

In der letzten Phase erfolgt die Auswertung.¹²¹ Es werden die Ergebnisse der dritten Phase interpretiert und eine Gewichtung vorgenommen. Basierend auf den Ergebnissen aller Phasen werden Empfehlungen und Optimierungspotentiale formuliert.

2.4.6 Mögliche Bewertungsmethoden

Es existieren verschiedene Methoden der Bewertung einer Sachbilanz, anhand derer die Wirkungsabschätzung durchgeführt wird. Je nach formuliertem Ziel und dem beabsichtigten Zweck der LCA-Analyse wird eine geeignete Methode ausgewählt, um passende und aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Im Kapitel 2.2.3 wurden bereits mögliche Methoden aufgelistet.

¹²⁰ Quelle: Jolliet, O. et al. (2016), S. 108.

¹²¹ vgl. Jolliet, O. et al. (2016), S. 149.

Das Programm Umberto bietet neben der Möglichkeit zur Simulation einer Sachbilanz im Zuge einer LCA-Analyse auch eine Vielzahl an Tools zur Berechnung der Auswirkungen auf die Umwelt.¹²² Folgende Berechnungstools stehen zur Verfügung:

- CML 2001
- Cumulative Energy Demand
- Eco-indicator 99
- Ecological footprint
- Ecological scarcity
- EDIP / EDIP2003
- EPS 2000
- IMPACT 2002+
- IPCC 2001 / IPCC 2007 / IPCC 2013
- ReCiPe
- Selected LCI results
- TRACI
- USEtox

Bei jedem Tool werden unterschiedliche und mehrere Indikatoren berechnet, die es je nach Fragestellung auszuwählen gilt. In Tabelle 3 werden die Bewertungsmethoden aufgelistet und beschrieben.

¹²² iPoint-systems GmbH: Umberto LCA-Plus

Tabelle 3: Bewertungsmethoden in Umberto¹²³

Methoden	Beschreibung
CML 2001	Bei dieser Methode wird eine Vielzahl an Auswirkungskategorien geboten, die im Zuge der Wirkungsabschätzung bei einer LCA-Analyse zum Einsatz kommt. Dabei wird differenziert zwischen problemorientiert und schadensorientiert.
Cumulative Energy Demand	Es wird der gesamte Energieeinsatz innerhalb des betrachteten Bereichs ermittelt. Dies beinhaltet sowohl direkte als auch indirekt genutzte Energie, also jene die z.B. für die Produktion der Einsatzstoffe benötigt wird.
Eco-Indicator 99	Die ECO-Methode wird ebenfalls im Zuge der Wirkungsabschätzung einer LCA-Analyse verwendet, die mehrere Auswirkungsfaktoren beinhaltet. Berechnet wird der Faktor in 3 Stufen: der Schadensfaktor wird berechnet, normalisiert und zum Schluss gewichtet.
Ecological footprint	Dabei handelt es sich um die Wirkungsabschätzung der flächenmäßigen Landbesetzung und Änderung.
Ecological scarcity	Bei der Methode der ökologischen Knappheit werden aktuelle Belastungen der Umwelt mit maximal erlaubten kritischen Toleranzmengen verglichen.
EDIP / EDIP2003	Es werden ebenfalls vordefinierte Indikatoren berechnet, welche die Dispersion und die Exposition sowie Hintergrundexposition berücksichtigt.
EPS 2000	Misst die Umweltauswirkungen eines jeden Verursachers, wobei Schutzgüter mitberücksichtigt werden. Diese werden monetär erfasst, womit Kosten für nachhaltige Entwicklungen bestimmt werden.
IMPACT 2002+	Es werden wirkungs- und schadensbasierte Faktoren miteinander kombiniert, wodurch die Vorteile beider Faktoren miteinander kombiniert werden.
IPCC 2001 / IPCC 2007 / IPCC 2013	Bei dieser Methode wird der Faktor zur Klimaerwärmung errechnet.

¹²³ Quelle: Hischer, W. et al. (2010), S. 24-163.

Tabelle 3 (Fortsetzung): Bewertungsmethoden in Umberto

ReCiPe	Man hat die Auswahl zwischen einer Vielzahl von schadens- oder wirkungsbasierten Indikatoren.
Selected LCI results	Dabei handelt es sich um eine Auswahl von Indikatoren, die selbst gewählt werden können
TRACI	Beinhaltet wirkungsbasierte Indikatoren die speziell für den US-amerikanischen Bereich
USEtox	Es werden insgesamt 4 LCIA-Faktoren berechnet: einen bzgl. Ökotoxizität und drei bzgl. Humantoxizität.

3 Praktische Fallstudie

Der folgende Abschnitt befasst sich mit der Analyse und Auswertung unterschiedlicher Abwasserreinigungsprozesse, wobei für die in Abschnitt 2 definierten und beschriebenen Schritte der LCA-Analyse eingesetzt werden. Zunächst wird der Prozess von ferroDECONT analysiert und bewertet. Danach erfolgt dieselbe Analyse eines Vergleichsprozesses. Die erhaltenen Ergebnisse werden einander gegenübergestellt und interpretiert. In einem letzten Schritt werden die Differenzen aller Prozesse hervorgehoben, Vor- und Nachteile ermittelt und zu guter Letzt Optimierungspotenziale aufgezeigt.

3.1 Prozess von ferroDECONT

Die Firma ferroDECONT hat sich zum Ziel gesetzt, verunreinigte und kontaminierte Wässer zu reinigen und das ohne Einsatz von konventionellen Chemikalien zu erreichen. Bei diesem Prozess können unterschiedliche Schwermetalle behandelt werden. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich ausschließlich auf die Reduktion des hochgiftigen Cr(VI) zum ungiftigen Cr(III).

Der Prozess von ferroDECONT wird zurzeit bei der Altlastensanierung K22 „Lederfabrik Dr. Hans Neuner“ in Kärnten eingesetzt. Altlasten werden im § 2 Abs. 1, Altlastensanierungsgesetz folgendermaßen definiert: „Altlasten sind Altablagerungen und Altstandorte sowie durch diese kontaminierten Böden und Grundwasserkörper, von denen – nach den Ergebnissen einer Gefährdungsabschätzung – erhebliche Gefahren für die Gesundheit des Menschen oder die Umwelt ausgehen. [...]“.¹²⁴

Der Aufbau der Abwasserreinigungsanlage von ferroDECONT ist in Abbildung 14 dargestellt.

¹²⁴ § 2 Abs. 1, ALSAG.

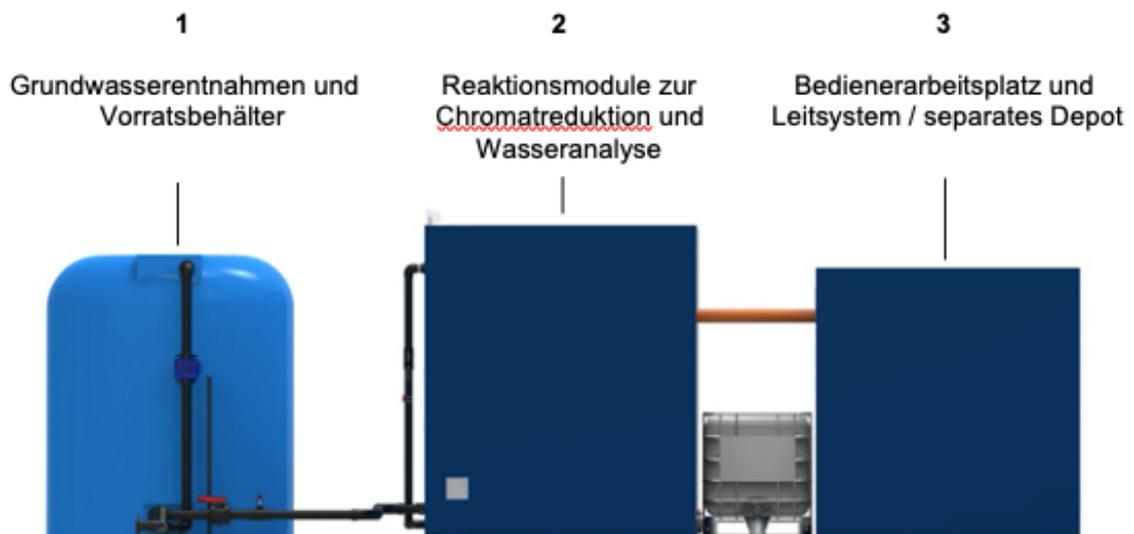


Abbildung 14: Aufbau der Abwasseraufbereitungseinheit der Firma ferroDECONT¹²⁵

Wie Abbildung 14 zu entnehmen ist, besteht der Aufbau aus drei Einheiten:

- Grundwasserentnahmen und Vorratsbehälter (1)
- Reaktionsmodule zur Chromatreduktion und Wasseranalyse (2)
- Bedienerarbeitsplatz und Leitsystem / separates Depot (3)

In der ersten Einheit wird das Grundwasser des kontaminierten Gebiets nach oben gepumpt und gepuffert.

In der zweiten Einheit erfolgt die eigentliche Reduktion. Das an die Oberfläche gepumpte kontaminierte Grundwasser wird in einer Wirbelschicht mit nullwertigem Eisen in Kontakt gebracht. Bei diesem Vorgang wird das sechswertige Chrom zu dreiwertigem Chrom reduziert. Das nun dekontaminierte und ungiftige Grundwasser kann entweder an den Einsatzort zurückgeleitet oder weiterverarbeitet werden.

In der dritten Einheit befinden sich die Bedienelemente sowie Elektronik und Ersatzteile.¹²⁶

Abbildung 15 stellt den gesamten Dekontaminierungsprozess vereinfacht dar.

¹²⁵ Quelle: ferroDECONT (2021), S. 1 (leicht modifiziert).

¹²⁶ vgl. ferroDECONT (2021), S. 1.

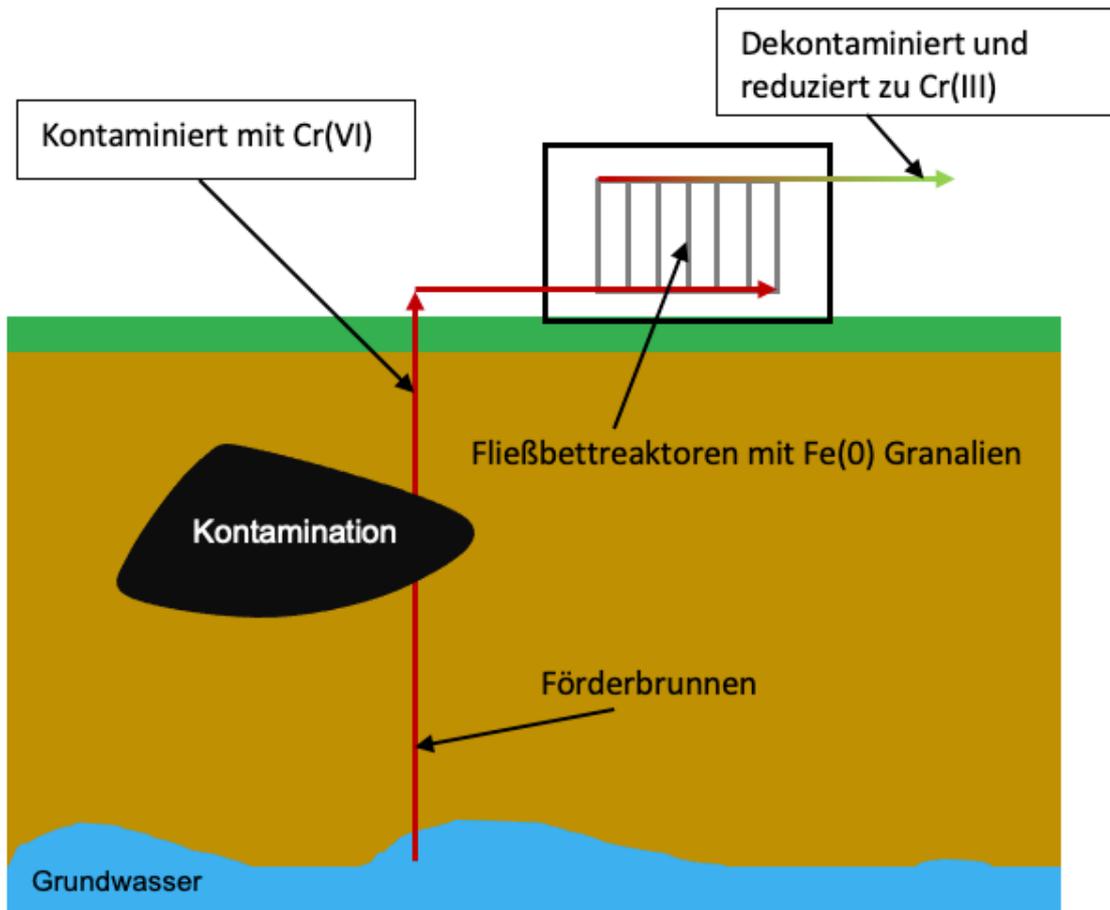


Abbildung 15: Vereinfachte Darstellung des ferroDECONT Verfahrens bei der Reinigung von kontaminiertem Grundwasser¹²⁷

3.1.1 ferroDECONT und Nachhaltigkeit

Durch den Beschluss, den eigenen Prozess auf klimarelevante Umweltwirkungen zu bewerten, leistet die Firma ferroDECONT aktiv einen Beitrag zum Erreichen der SDGs. Im Folgenden wird genauer auf jene SDGs eingegangen bei denen die Firma ferroDECONT das Erreichen der SDGs unterstützen wird.

Ziel Nummer 6 der SDGs bezieht sich auf sauberes Wasser und Sanitärversorgung. Es beinhaltet Themen wie die Gewährleistung von sauberem und bezahlbarem Wasser, der Effiziente Umgang mit Wasser, angemessene Sanitäreinrichtungen, die verantwortliche Bewirtschaftung von Wasserressourcen und dem Schutz von wasserverbundenen Ökosystemen.¹²⁸ SDG 6 hat insofern einen hohen Stellenwert beim Erreichen aller SDGs, da das Recht auf sauberes Wasser 2010 als Menschenrecht deklariert wurde und es mit dem Erreichen anderer SDGs verknüpft ist.¹²⁹ Es braucht Ressourcen in allen Bereichen, um diese Ziele zu erreichen. Die Forcierung des Schutzes von natürlichen

¹²⁷ Quelle: in Anlehnung an Höllen, D. et al. (2014), S. 411.

¹²⁸ vgl. Germann, V.; Langergraber, G. (2022), S. 6.

¹²⁹ vgl. Germann, V.; Langergraber, G. (2022), S. 1.

Wässern auf politischer Ebene und die Aufklärung zum verantwortungsvollen Umgang mit Wasserressourcen in der Bevölkerung sind zusätzlich notwendig.¹³⁰ Ebenfalls werden die Themen Verbesserung der Wasserqualität durch Verringerung der Verschmutzung dieser durch belastende Chemikalien (SDG 6.3) und die Abwasserbehandlung, sowie dazugehörige Wiederaufbereitungstechnologien beschrieben (SDG 6.a). Die Firma ferroDECONT richtet sich aktiv an diese Themen.

Ziel Nummer 9 der SDGs umfasst Industrie, Innovation und Infrastruktur. Es soll sichergestellt werden, dass Infrastrukturen in den Bereichen Transport, Information und Kommunikation gewährleistet, sowie die Entwicklung neuer Technologien, um für eine nachhaltige Wirtschaft zu sorgen.¹³¹ Ein weiterer Punkt ist die Modernisierung der Industrie, um sie durch Steigerung der Ressourceneffizienz nachhaltiger zu machen (SDG 9.4). In diesem Fall bietet sich das ferrodcont-Verfahren als Alternative im Bereich der Reinigung belasteter Wässer durch den Einsatz einer sauberen und umweltverträglichen Technologie an. Wie andere SDGs auch, sind die Unterziele von SDG 9 mit anderen SDG Zielen verknüpft, wodurch diese sich gegenseitig bei der Erreichung unterstützen.¹³²

Ziel Nummer 12 der SDGs befasst sich mit dem Konsum- und Produktionsverhalten. Neben dem Verbrauch der privaten Haushalte und dem damit verbundenen Abfallaufkommen, spielt die Gewässerverschmutzung bei der Produktion eine große Rolle.¹³³ Natürliche Gewässer müssen geschützt werden, um für eine gesunde Umwelt sorgen zu können.¹³⁴ Aus diesem Grund werden Unternehmen und Gesellschaft dazu aufgefordert, Maßnahmen, Innovationen, Technologien und neue Produktionsverfahren zu entwickeln und umzusetzen, um die Schadstoffe, die in Gewässer abgeleitet werden, zu minimieren. Um die Schadstoffe bereits bei der Produktion zu verringern, ist die Analyse der Wertschöpfungskette ein essenzieller Schritt von Unternehmen, um zu erkennen, an welcher Stelle die meisten Schadstoffe produziert und abgegeben werden.¹³⁵ Die Firma ferroDECONT leisten ihren Beitrag beim umweltverträglichen Umgang mit Chemikalien und die Freisetzung dieser in Wasser zu verringern (SDG 12.4) und das Abfallaufkommen durch Verminderung und Wiederverwertung zu verringern (SDG 12.5).

Ziel Nummer 13 der SDGs beinhaltet das Umsetzen von Maßnahmen für den Klimaschutz. Das Erreichen der Ziele, für eine nachhaltige Zukunft zu sorgen und den Klimawandel zu verhindern bzw. in einem ersten Schritt zu verlangsamen, sind beides Ziele, die sich gegenseitig verstärken können, da z.B. durch die Verhinderung des Klimawandels automatisch für eine nachhaltigere Zukunft gesorgt wird.¹³⁶ Maßnahmen für den Klimaschutz und gegen den Klimawandel sind insofern zielführend, weil damit gleichzeitig weitere SDGs berücksichtigt werden.¹³⁷ So könnte die Hungersnot, vor allem in den Entwicklungsländern, verringert oder gar verhindert werden, denn der

¹³⁰ vgl. Mycoo, M. A. (2018), S. 64.

¹³¹ vgl. Küfeoğlu, S. (2022), S. 349.

¹³² vgl. Krauss, J. E. et al. (2022), S. 6.

¹³³ vgl. Gasper, D. et al. (2019), S. 86.

¹³⁴ vgl. Rauchbüchl, A. et al. (2013), S. 162.

¹³⁵ vgl. Schmidt, M. (2012), S. 244.

¹³⁶ vgl. Riphahn, R. T; Schmidt, K. M. (2022), S. 329 -330.

¹³⁷ vgl. Pakkan, S. et al. (2022), S. 13.

Klimawandel bzw. die Erderwärmung haben Dürren, Lebensmittelknappheit und Ernteaussfällen zur Folge.¹³⁸ Das gilt sowohl für Energie-, Industrie- und Verkehrssysteme, als auch für Lebensmittel-, Land- und Forstwirtschaftssysteme. In diesem Sinne müssen Maßnahmen gesetzt werden, um Verluste auszugleichen, sich neuen Situationen anzupassen und sich auf zukünftige Situationen vorbereiten zu können. Diesbezüglich werden bereits erste Erfolge verzeichnet. Auf politischer Ebene werden Gesetze verabschiedet, die Unternehmen dazu auffordern, ihre Emissionen zu senken und Maßnahmen zur Verhinderung der Emissionen zu setzen.¹³⁹ Auch das Pariser-Abkommen im Jahr 2015 war ein essenzieller erster Schritt in eine nachhaltige Richtung. Auf gesellschaftlicher Ebene ist ein steigendes Bewusstsein erkennbar, welches sich im Konsumverhalten widerspiegelt, wie mit Ressourcen, Abfällen oder auch mit der Lebensmittelverschwendung umgegangen wird.^{140,141} Auf Wirtschafts- und Industrieebene lässt sich eine klare Tendenz in Richtung Nachhaltigkeit und Klimaschutz erkennen. Unternehmen verpflichten sich immer mehr dazu, Maßnahmen zu setzen und Innovationen zu entwickeln, die das Ziel haben, den negative Einfluss auf das Klima zu minimieren. Beispiele wären der Ausbau der Fernwärme, um die Nutzung von Öl und Gas zu minimieren oder die Entwicklung neuer Kühlmethoden wie die Fernkälte, damit die Stadt Wien bis 2040 klimaneutral wird, was den Nachhaltigkeitsberichten der Wien Energie GmbH zu entnehmen ist. Ein wesentlicher Schritt beim Umsetzen solcher Maßnahmen, ist die Kommunikation nach außen und innen, damit Stakeholder einen Einblick in die Firmenphilosophie und -entwicklung erhalten. Das erfordert jährlich verfasste Nachhaltigkeitsberichte, die veröffentlicht werden müssen.¹⁴²

Ziel Nummer 15 der SDGs, Leben am Land, ist im Zuge dieser Arbeit ebenfalls von Relevanz. Neben der Sicherung der Forstwirtschaft, Bekämpfung der Desertifikation und der drastischen Minimierung der biologischen Vielfalt ist auch das Stoppen der Bodendegradation ein zu behandelnder Punkt.¹⁴³ Die Priorität liegt darauf, jene Regionen zu schützen, die noch unberührt sind, den Lebensraum der Flora und Fauna zu erhalten und in jenen Bereichen, in denen bereits eine Veränderung oder Schädigung stattgefunden hat, Korrekturen vorzunehmen, um den ursprünglichen Zustand wiederherzustellen.¹⁴⁴ Im Sinne dieses SDG ist es für Unternehmen wesentlich, sich stets bei ihren Prozessen und Durchführungen die Frage zu stellen, ob durch ein Verfahren Schädigungen oder Veränderungen am Ökosystem verursacht werden. Ist dies der Fall, gilt es zu bestimmen, auf welche Art und Weise und in welchem Ausmaß diese ausgeprägt sind. Unternehmen haben auch die Möglichkeit im Vorhinein Analysen und Abschätzungen über mögliche negative Einflüsse durchzuführen, um Gefahren zu vermeiden und andere Optionen abzuwägen, damit wirtschaftliche Ziele bei gleichzeitiger Schonung der Umwelt erreicht werden können.¹⁴⁵ Im Sinne der

¹³⁸ vgl. Nikendei, C. et al. (2020), S. 61.

¹³⁹ vgl. Bechberger, M. et al. (2020), S. 75.

¹⁴⁰ vgl. Fritsch, S. et al. (2020), S. 218.

¹⁴¹ vgl. Abel, S.; Michelmann, J. (2020), S. 200.

¹⁴² vgl. Darnhofer, I. (2020), S. 31.

¹⁴³ vgl. Tisdell, C. A. (2021), S. 26.

¹⁴⁴ vgl. Beckmann, V. (2021), S. 3-4.

¹⁴⁵ vgl. Isenmann, R. (2012), S. 49 - 50.

Altlastensanierung leistet die Firma ferroDECONT einen Beitrag zur Wiederherstellung natürlicher Systeme.

Ziel Nummer 17 der SDGs richtet sich an die Allgemeinheit. Es gilt, Partnerschaften zur Erreichung aller Ziele zu knüpfen. Es erfordert, dass Politik, Gesellschaft und Wissenschaft miteinander arbeiten müssen.¹⁴⁶ Aus diesem Grund richten sich die 17 Ziele der SDGs an alle Länder. Es ist notwendig, Innovationen, Ressourcen und finanzielle Mittel bereitzustellen, aber vor allem Partnerschaften zu knüpfen, denn es braucht Fachleute und Expertisen aus unterschiedlichen Bereichen, um das Ziel einer nachhaltigeren Zukunft zu erreichen.¹⁴⁷

3.1.2 Ziel definieren und Systemgrenzen festlegen

Der Prozess von ferroDECONT hat sich als effektives Reinigungsverfahren erwiesen und mit der Grundwasserreinigungsanlage in Kärnten im Bereich der Industrie und Altlastensanierung im größeren Maßstab erste Schritte gesetzt.¹⁴⁸ Wie bereits erwähnt, wurde bislang noch keine ausführliche Analyse des Prozesses in Bezug auf die Einwirkungen auf die Umwelt durchgeführt, womit sich folgende Ziele dieser LCA-Analyse ergeben:

- Einflüsse auf die Umwelt quantifizieren und qualifizieren
- Vorteile und Nachteile des Prozesses aufzeigen
- Mögliche Optimierungspotenziale ausfindig machen

Beim Prozess von ferroDECONT handelt es sich um ein sogenanntes „Pump and Treat“ Verfahren. Das heißt, das zu reinigende Grundwasser wird an die Oberfläche gepumpt und behandelt. Deshalb wird dieses Verfahren auch als „ex-situ“ bezeichnet. Im Gegensatz dazu wird bei einer „in-situ“ Behandlung das Grundwasser direkt im Boden behandelt z.B. durch eine reduzierende Reaktionswand.¹⁴⁹

Das nullwertige Eisen, welches für die Reduktion von Cr(VI) verwendet wird, entsteht als sog. Pufferprodukt bei der Stahlerzeugung. Die Produktion von Stahl ist umso effizienter und von gleichmäßiger Qualität, je weniger Schwankungen im Hochofenbetrieb auftreten. Bei unerwarteten Störungen im nachgeschalteten Prozess des Hochofens oder bei geplanten Wartungsarbeiten kann mithilfe des Granshot-Verfahrens überschüssiges Roheisen in Form von Fe(0)-Granalien in einem Zwischenlager gepuffert werden.¹⁵⁰ Hierbei wird das flüssige Eisen über einen Sprühkopf zerstreut und die flüssigen Eisentropfen fallen in ein darunter liegendes Wasserbecken, wo die Tropfen schlagartig abkühlen und sich verfestigen.¹⁵¹ Abbildung 16 stellt den Aufbau der Anlage, zur Produktion der Fe(0)-Granalien, dar.

¹⁴⁶ vgl. Schnurbein von, G. (2020), S. 1 - 2.

¹⁴⁷ vgl. Schnurbein von, G. (2020), S. 5.

¹⁴⁸ vgl. Pausweg, A.; Müller, P. (2020), S. 1-6.

¹⁴⁹ vgl. Höllen, D. et al. (2014), S. 408.

¹⁵⁰ vgl. Beskow, K. et al. (2009), S. 2.

¹⁵¹ vgl. Beskow, K. et al. (2009), S. 1-2.

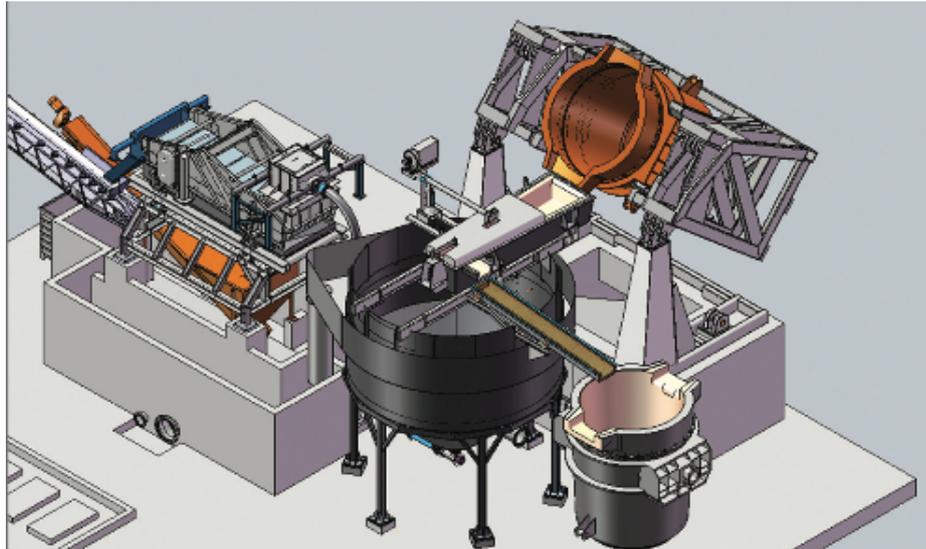


Abbildung 16: Typischer Aufbau einer Granshot Anlage¹⁵²

Abbildung 17 stellt den Sprühkopf dar, unmittelbar nachdem das flüssige Eisen darauf fällt und zerstäubt wird, um anschließend in das darunter liegende Wasserbecken zu fallen.

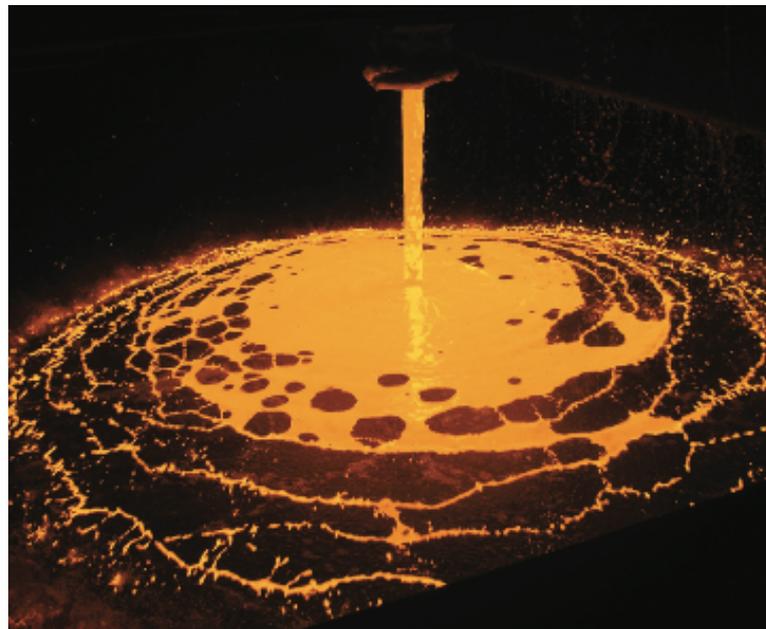


Abbildung 17: Darstellung des Sprühkopfs zum Produzieren der Fe(0)-Granalien¹⁵³

¹⁵² Quelle: Beskow, K. et al. (2009), S. 2.

¹⁵³ Quelle: Beskow, K. et al. (2009), S. 2.

Abbildung 18 stellt den gesamten Prozess, von der Rohstoffgewinnung für die Eisenproduktion bis hin zum aufbereitetem und dekontaminiertem Abwasser durch das ferroDECONT-Verfahren, dar.

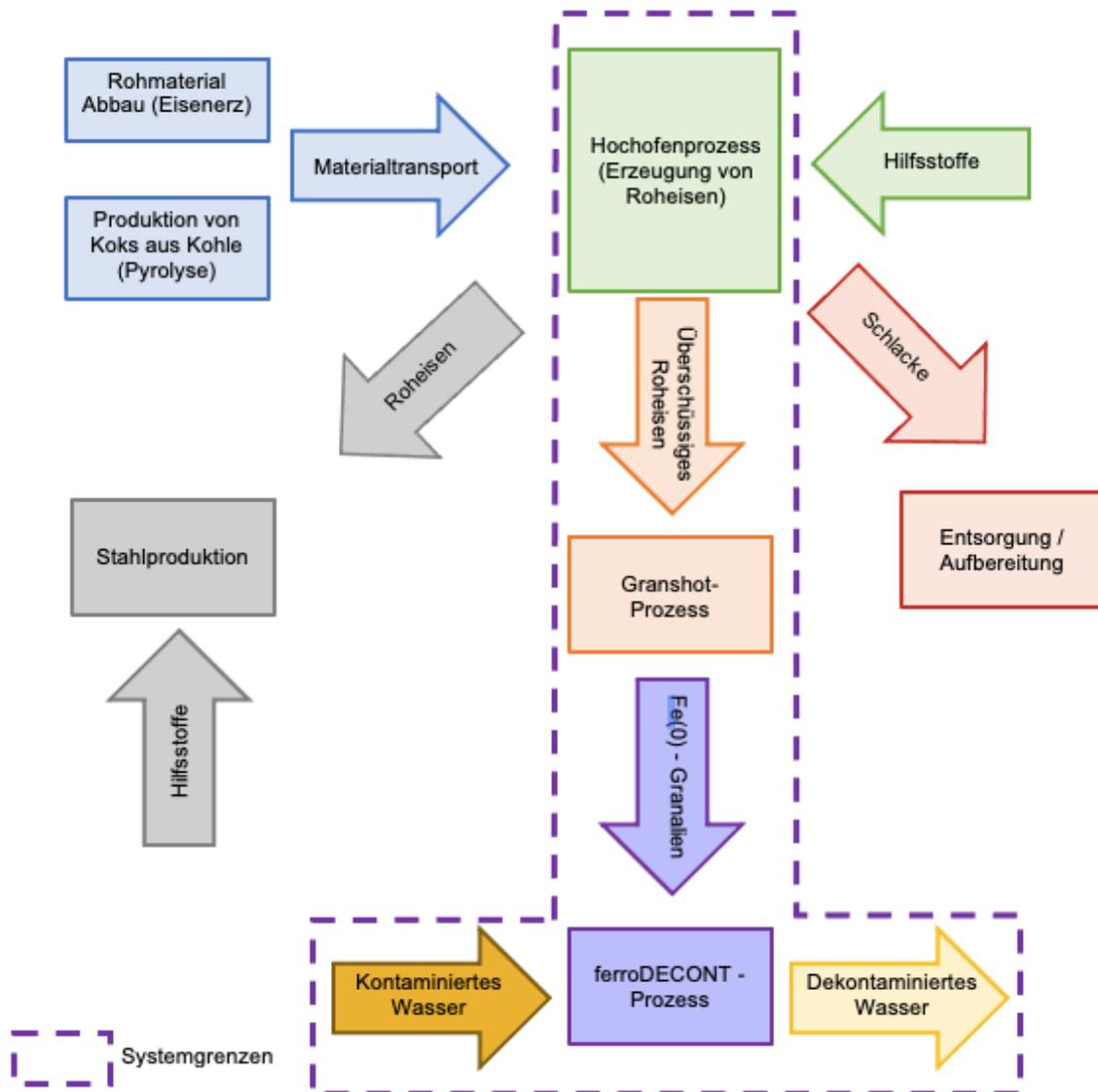


Abbildung 18: Gesamter Prozess von der Rohstoffgewinnung für die Roheisenproduktion bis hin zum behandelten und dekontaminierten Wasser durch das ferrodecont-Verfahren¹⁵⁴

Der in Abbildung 18 herausgehobene violette Bereich stellt die Systemgrenzen dar, innerhalb welcher die Ökobilanzierung durchgeführt wird. Um das Verfahren von ferroDECONT mit der gewählten Alternative vergleichbar zu machen, umfassen die

¹⁵⁴ Quelle: Eigene Darstellung.

Systemgrenzen aus Abbildung 18 den gleichen Bereich wie jenen aus der Vergleichsarbeit. Das heißt sie beinhaltet den Prozess der Reinigung, sowie jene Materialien, die für den Reinigungsprozess zum Einsatz kommen und deren Ursprung.

3.1.3 Sachbilanz erstellen

Basierend auf den definierten Systemgrenzen in Abbildung 18 kann die Sachbilanz erstellt werden. Es wird für die Reduktion von Cr(VI) nullwertiges Eisen in Form von kleinen Kugeln eingesetzt. Das zu reinigende Abwasser wird in einer Wirbelschicht mit den Fe(0)-Granalien in Kontakt gebracht. Bei diesem Prozess wandelt das Eisen das giftige und lösliche Cr(VI) in ungiftiges und unlösliches Cr(III) um.¹⁵⁵ So sind die Fe(0)-Granalien neben dem zu reinigenden Abwasser und die dafür benötigte Pumpenergie in Form von Strom die Inputs für diesen Prozess.

Das nullwertige Eisen kommt von der Voestalpine in Leoben und ist ein Zusatzprodukt bei der Roheisenerzeugung. Nach der Reinigung wird das Abwasser mit dem reduzierten Cr(III) wieder in den Boden abgeführt. Abbildung 19 stellt den beschriebenen Prozess dar.

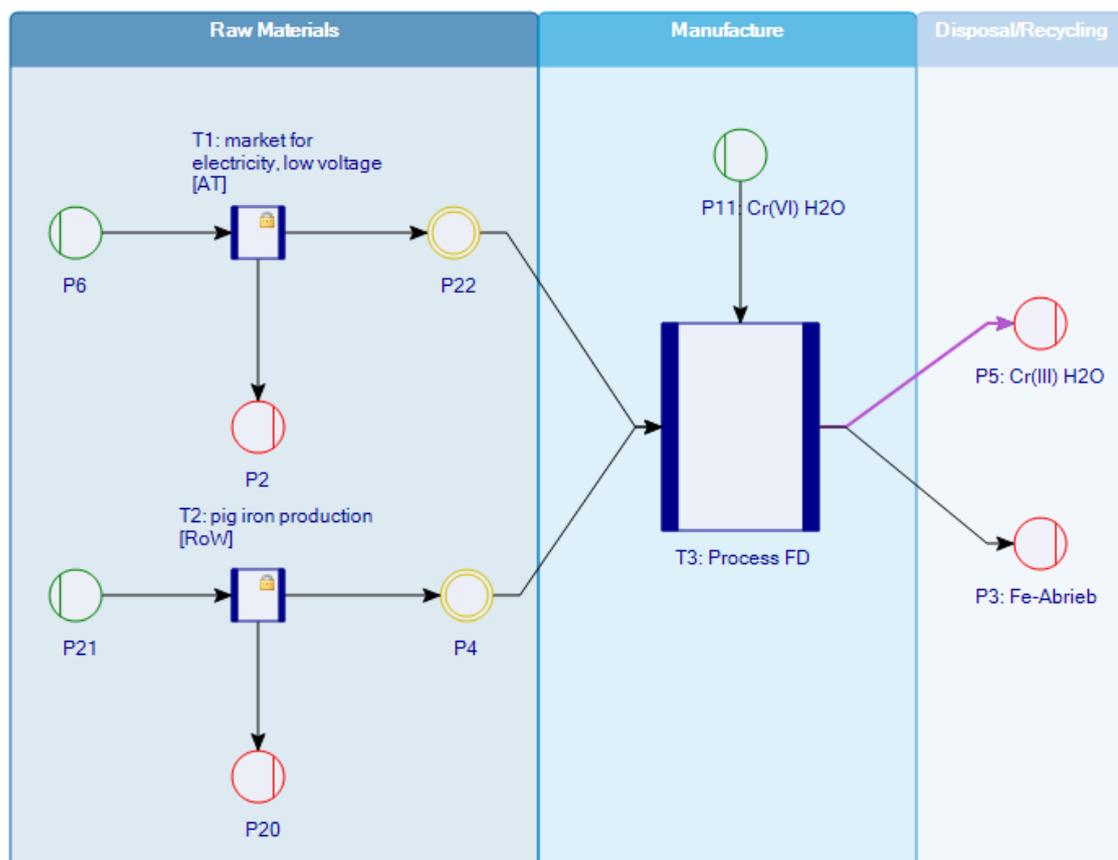


Abbildung 19: Sachbilanz des Prozesses von ferroDECONT inkl. Inputs (grün) und Outputs (rot)¹⁵⁶

¹⁵⁵ vgl. Höllen, D. et al. (2014), S. 409.

¹⁵⁶ Quelle: Eigene Darstellung.

Für die benötigte Energie wurden die Daten für den österreichischen Strommarkt auf dem Niveau der Niederspannung, bis 1 kV, gewählt, da die von ferroDECONT eingesetzte Anlage eine Anschlussleistung von 400 VAC benötigt. Das Datenset beinhaltet die Darstellung der Übertragung von 1 kWh Strom bei Niederspannung. Diese Option wurden ebenfalls bei den Vergleichsprozessen angewendet, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Für die Fe(0)-Granalien wurden die Daten für die Roheisenproduktion gewählt, da bei der Voestalpine, welche zu diesem Zeitpunkt die Fe(0)-Granalien lieferte, dieses Verfahren zum Einsatz kam. Das Datenset berücksichtigt Inputs und Emissionen in die Luft aus verschiedenen Quellen.

Als geografische Lage wurde „Rest of the World“ (RoW) gewählt. Dabei wird ein Durchschnitt globaler Daten gebildet von dem länderspezifischen Daten abgezogen werden.¹⁵⁷ Diese Option wurde gewählt, da die anderen wählbaren Datensets länderspezifisch und auf einzelne Regionen beschränkt sind, was den Vergleich zwischen dem Verfahren von ferroDECONT in Österreich und dem Vergleichsprozess in Spanien erschweren würde. Diese Option wurde für alle Analysen in dieser Arbeit gewählt.

Als weiterer Zusatz wurde die Allokationsmethode „Allocation at the Point of Substitution“ (APOS) für jedes Material gewählt. Bei diesem Modell werden Erweiterungen der Produktsysteme verwendet, um Allokationen in den Behandlungssystemen zu vermeiden. Tätigkeiten, wie z.B. das Einsammeln von recyclebarem Material und der Transport zu einer Aufbereitungsanlage, erfolgen innerhalb von Behandlungssystemen, wodurch es schwierig ist für jeden einzelnen Schritt Allokationsfaktoren, wie z.B. Gewinne und Verluste, ausfindig zu machen. Die APOS Methode umgeht diese Problematik indem wertvolle Nebenprodukte der Behandlungssysteme den Tätigkeiten zur Erzeugung des Materials zugeordnet werden.¹⁵⁸

Die Ergebnisse der Quantifizierung der Ströme werden in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Quantifizierung der Stoffströme des Prozesses von ferroDECONT¹⁵⁹

	Input	Output
Durchfluss [l/h]	36 000	36 000
Cr(VI) Konzentration [mg/l]	0,04	-
Benötigte Energie [kWh]	4	-
Verbrauch an Fe(0) [g/h]	58	-
Cr(III) Konzentration [mg/l]	-	0,04
Fe(0)-Abrieb [g/h]	-	58

¹⁵⁷ Ecoinvent (o.J.): <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/geographies/#!/global> (Zugriff: 10.08.2022).

¹⁵⁸ Ecoinvent (o.J.): <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/system-models/#!/allocation> (Zugriff: 10.08.2022).

¹⁵⁹ Quelle: Eigene Darstellung.

3.1.4 Wirkungsabschätzung

Zur Abschätzung der Auswirkungen wurde die Methode gewählt, die ebenfalls in der Vergleichsarbeit eingesetzt wurde, nämlich die ReCiPe Methode. Die Software Umberto bietet eine Auswahl an verschiedenen ReCiPe Methoden. Die Wahl fiel auf die Methode „ReCiPe Midpoint (H) V1.13 no LT“. Die in der Vergleichsarbeit verwendete Methode ReCiPe 1.06 wurde nicht angewendet, da es sich um eine ältere Version handelt. Es wurde eine Alternative gewählt, die den Ergebnissen aus dem Vergleich nahekommt.

Bei der ReCiPe Methode wird eine Vielzahl von Indikatoren berechnet:

- Klimawandel
- Ozonabbau
- Menschliche Toxizität
- Photochemische Oxidationsmittelbildung
- Feinstaubbildung
- Ionisierende Strahlung
- Terrestrische Versauerung
- Eutrophierung von Süßwasser
- Marine Eutrophierung
- Terrestrische Ökotoxizität
- Süßwasser Ökotoxizität
- Marine Ökotoxizität
- Landnutzung
- Urbane Landbesetzung
- Natürliche Landumwandlung
- Wassermangel
- Metallabbau
- Fossile Erschöpfung

Es gibt zwei Methoden, die Indikatoren zu berechnen:

- auf der Midpoint-Ebene
- auf der Endpoint-Ebene

Die Berechnung der Indikatoren, beschrieben im Kapitel 2.4.5, ist auf der Midpoint-Ebene wirkungsorientiert, auf der Endpoint-Ebene schadensbasiert.¹⁶⁰ Bei der Berechnung und Wirkungsabschätzung im praktischen Teil werden die Indikatoren auf der Midpoint-Ebene verwendet. Es wurden diejenigen Indikatoren gewählt und berechnet, die auch in der Vergleichsarbeit errechnet wurden, um einen möglichst genauen Vergleich zu erzielen. Tabelle 5 stellt die Ergebnisse dar.

¹⁶⁰ vgl. Jolliet, O. et al. (2016), S. 105.

Tabelle 5: Ergebnisse der Indikatoren der Firma ferroDECONT

Indikator	Ergebnis
Landnutzung [m ² a]	0,27
Wassermangel [m ² water-Eq]	0,03
Terrestrische Versauerung [kg SO ₂ -Eq]	0,0044
Fossile Erschöpfung [kg oil-Eq]	0,43
Klimawandel [kg CO ₂ -Eq]	1,53
Ionisierende Strahlung [kg U ₂₃₅ -Eq]	0,07
Menschliche Toxizität [kg 1,4 DCB-Eq]	0,14
Metallabbau [kg Fe-Eq]	0,07

Die Ergebnisse aus Tabelle 5 beziehen sich auf den gesamten Abwasserreinigungsprozess von ferroDECONT. Daraus ist jedoch nicht ersichtlich, welche Anteile der einzelnen Indikatoren dem Reinigungsprozess, der Stromproduktion und der Eisenproduktion zuzurechnen sind. Das Programm Umberto hat die Möglichkeit diese Anteile darzustellen, wie in Abbildung 20 dargestellt.

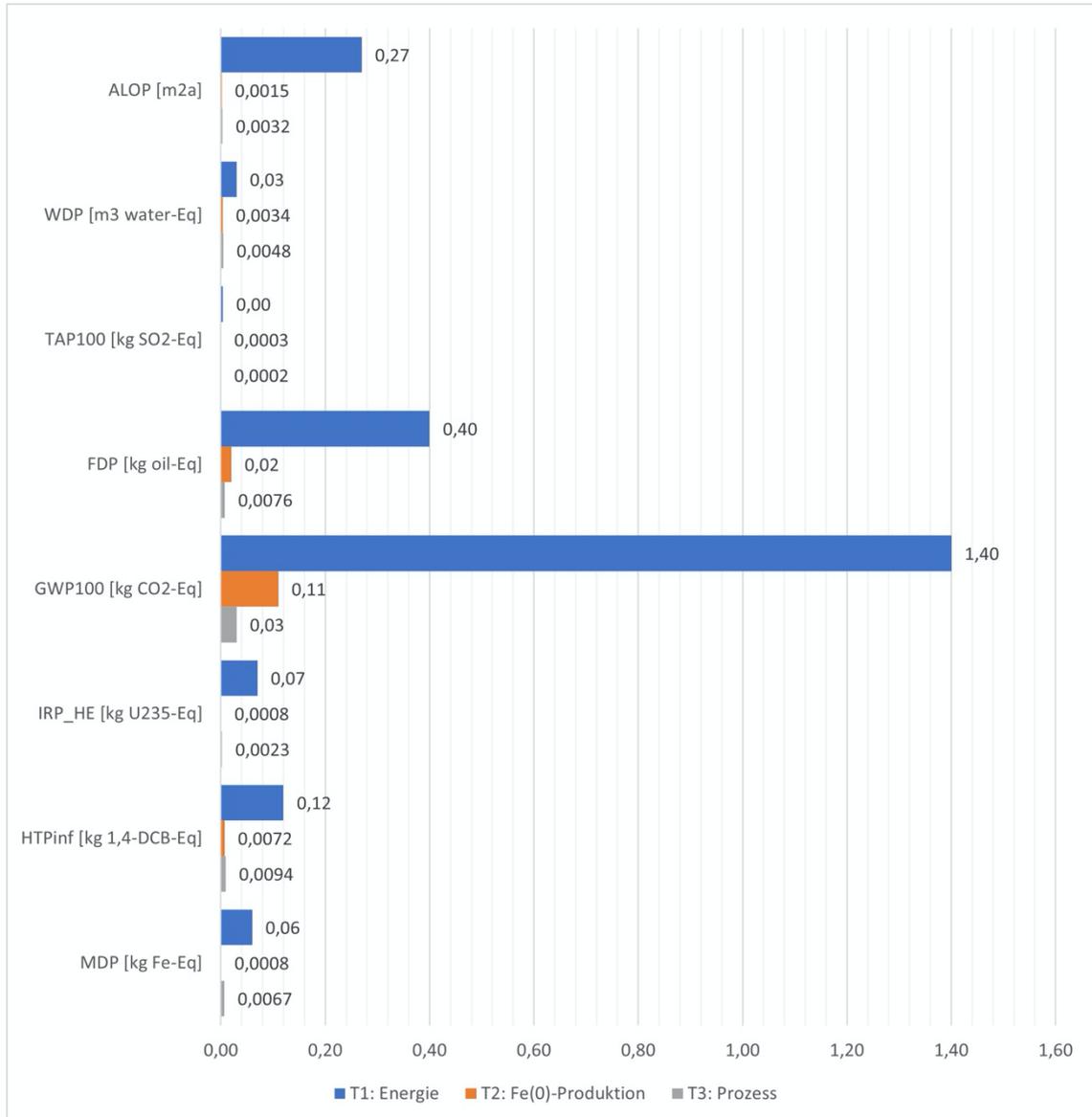


Abbildung 20: Indikatoranteil jedes Teilschritts des Prozesses der Firma ferroDECONT¹⁶¹

3.1.5 Interpretation

Abbildung 20 ist zu entnehmen, dass die Produktion des Stroms für jeden Indikator den größten Anteil hat, da bei 7 von 8 Indikatoren diese einen Anteil von über 90 % hat. Bei der Betrachtung der Kilogramm CO₂-Äquivalente, die für die Klimarelevanz von Bedeutung ist, sind 91 % bei ihrer Entstehung der Produktion der benötigten Energie zuzuschreiben.

Daraus folgt, dass beim Einsatz der benötigten Energie das größte Potenzial liegt, die Einwirkungen auf die Umwelt zu minimieren. Mögliche Optimierungspotenziale werden im Kapitel 3.5 erarbeitet.

¹⁶¹ Quelle: Eigene Darstellung.

3.2 Erster Vergleichsprozess

Als Vergleich dient eine wissenschaftliche Arbeit von RODRIGUEZ ET AL. (2018), in welcher der Prozess einer spanischen Firma analysiert wurde. Diese Firma verchromt Platten aus Metall, wobei Cr(VI) ebenfalls ins Abwasser gelangt. Wie in Österreich gelten in Spanien Grenzwerte für den Gehalt an Schwermetallen in abgeleitete Gewässer. Da diese bei der Verchromung der Platten überschritten werden, wird bei der spanischen Firma ebenfalls eine Abwasserreinigung durchgeführt.¹⁶²

In der Veröffentlichung von RODRIGUEZ ET AL. (2018) wurde, wie auch in dieser Arbeit, eine vollständige LCA-Analyse durchgeführt. Dabei wurde sowohl eine Standardmethode zur Abwasserreinigung untersucht als auch eine alternative Methode, die in zwei Schritten durchgeführt wird.¹⁶³ Die vorliegende Masterarbeit konzentriert sich auf die alternative Methode, da sich die Standardmethode nicht im gleichen Schadstoff-Konzentrationsbereich wie jener von ferroDECONT befindet.

Die Arbeit beschreibt die Verchromung der Metallplatten und die Reinigung des entstandenen Abwassers. Nach einer Reinigungs- und Vorbereitungsphase wird eine Entfettung der Platten durchgeführt. Es kommt zur ersten Reinigung, „rinse 1“. Danach erfolgt der Schritt, bei dem mit Säure gebeizt wird, sowie die zweite Reinigung „rinse 2“. Das Reinigungswasser aus beiden Schritten wird gesammelt, mittels Ionenaustausch aufbereitet und zum Schluss in die Kanalisation abgeleitet. Nach der zweiten Reinigungsstufe kommt es zur Beschichtung der Metallplatten mit Chrom, gefolgt von einer zweistufigen dritten Reinigung „rinse 3“.¹⁶⁴ Abbildung 21 stellt den gesamten Prozess dar.

¹⁶² vgl. Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2351.

¹⁶³ vgl. Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2352.

¹⁶⁴ vgl. Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2353.

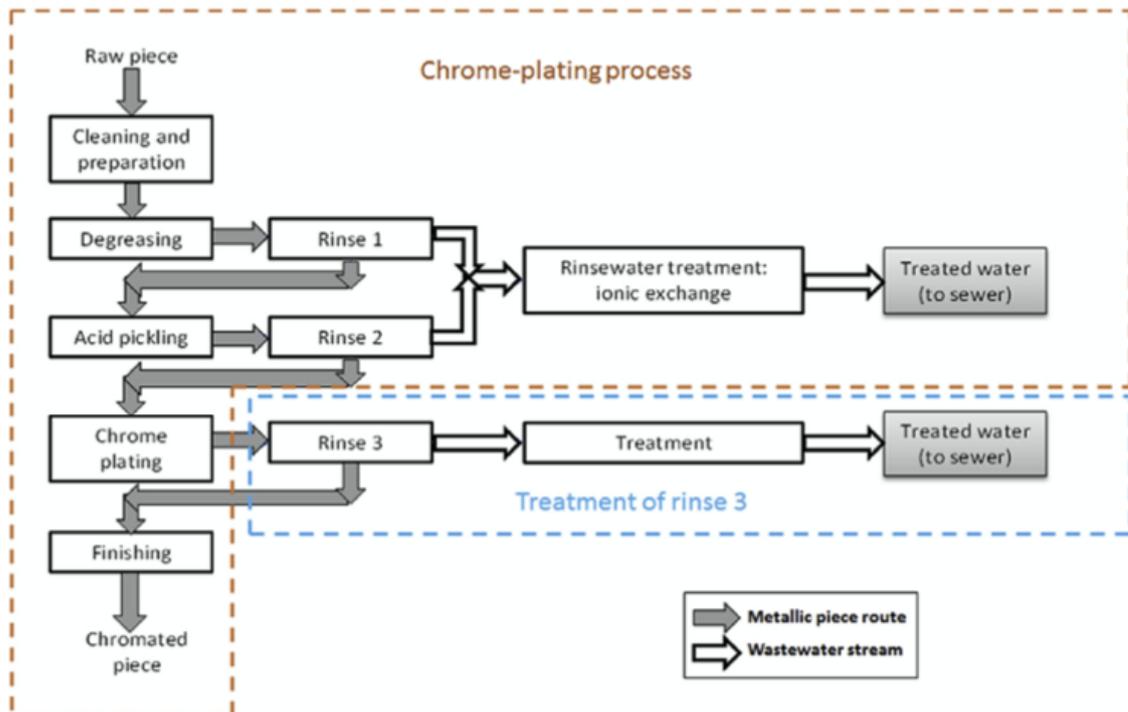


Abbildung 21: Vorgehensweise zur Verchromung von Metallplatten der Vergleichsarbeit¹⁶⁵

In den folgenden Kapiteln wird eine vollständige LCA-Analyse durchgeführt. Die einzelnen Reinigungsstufen des alternativen Abwasserreinigungsprozesses aus der Vergleichsarbeit von RODRIGUEZ ET AL. (2018) werden gesondert analysiert, da bei beiden Stufen unterschiedliche Mengen an Cr(VI) umgewandelt werden. Das Abwasser in der ersten Reinigungsstufe hat eine viel höhere Cr(VI) Konzentration als bei der zweiten Reinigungsstufe und dem Prozess von ferroDECONT. Bezüglich der Konzentration ähnelt die zweite Reinigungsstufe, also der zweite Vergleichsprozess, mehr dem Prozess von ferroDECONT, weshalb diese Untersuchung im Vordergrund steht.¹⁶⁶ Aus Interessensgründen und für eine ganzheitliche Betrachtung wird das ferroDECONT Verfahren jedoch mit beiden Reinigungsstufen verglichen.

Da die LCA-Analyse bereits in der Arbeit von RODRIGUEZ ET AL. (2018) durchgeführt wurde, die erste und zweite Reinigungsstufe der alternativen Abwasserreinigungsmethode aber nicht gesondert, sondern als ein gesamter Prozess betrachtet wurde,¹⁶⁷ erfolgt abschließend eine kritische Betrachtung und Gegenüberstellung der errechneten Daten aus der LCA-Analyse dieser Arbeit mit jenen Daten aus der Vergleichsarbeit.

3.2.1 Ziel definieren und Systemgrenzen festlegen

Die fehlenden Daten und Quellen, auf denen die Analyse in der Vergleichsarbeit aufbaut, erforderte eine Wiederholung der Analyse des Vergleichsprozesses. Des Weiteren

¹⁶⁵ Quelle: Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2354.

¹⁶⁶ vgl. Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2351.

¹⁶⁷ vgl. Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2356.

wurde die alternative Abwasserreinigungsmethode als gesamter Prozess untersucht, wohingegen der Prozess von ferroDECONT mit je einer Reinigungsstufe des alternativen Prozesses verglichen wird.

Das Ziel der ersten Untersuchung ist der Vergleich der Ergebnisse zwischen der Analyse des ferrodcont-Verfahrens und der wiederholten Analyse der ersten Reinigungsstufe des alternativen Reinigungsprozesses aus der Vergleichsarbeit. Dabei werden die Daten herangezogen, die bei der Analyse des ferrodcont-Verfahrens eingesetzt wurden. Abbildung 22 stellt das Verfahren des alternativen Prozesses dar, sowie die Abgrenzung der ersten Reinigungsstufe und die Systemgrenzen des ersten Vergleichsprozesses.

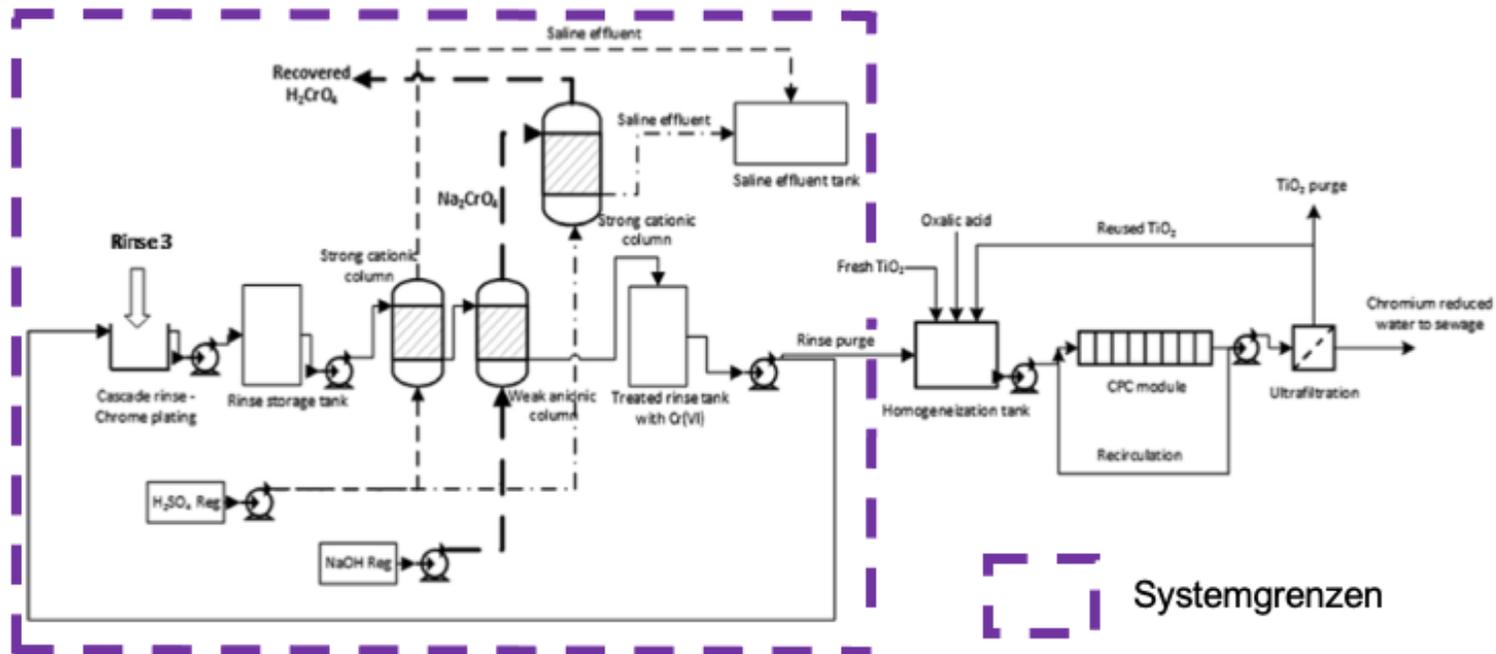


Abbildung 22: Vollständiger Prozess des alternativen Reinigungsverfahrens inkl. der Systemgrenzen des ersten Vergleichsprozesses¹⁶⁸

¹⁶⁸ Quelle: Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2354 (leicht modifiziert)

Wie in Abbildung 22 ersichtlich, befindet sich innerhalb der definierten Systemgrenzen ein Auffangbehälter, in dem das Abwasser nach der dritten Reinigung („rinse 3“) gesammelt wird. Das gesammelte Abwasser läuft im Anschluss daran durch mehrere anionische bzw. kationische Kolonnen, in denen das Cr(VI) im Abwasser mit den zugeführten Chemikalien reagiert. Die verbrauchten Chemikalien werden in einem separaten Tank gesammelt, ebenso das behandelte Abwasser mit einem Rest an ungelöstem Cr(VI). Ein Teil des gereinigten Abwassers wird in den Reinigungsprozess rückgeführt, um weniger Ressourcen zu verbrauchen. Die im separaten Tank gesammelten Salze, die für den Prozess nicht relevant sind, werden nachbehandelt.¹⁶⁹

3.2.2 Sachbilanz erstellen

Der Bereich innerhalb der Systemgrenzen wird in Abbildung 23 in Form einer Sachbilanz dargestellt.

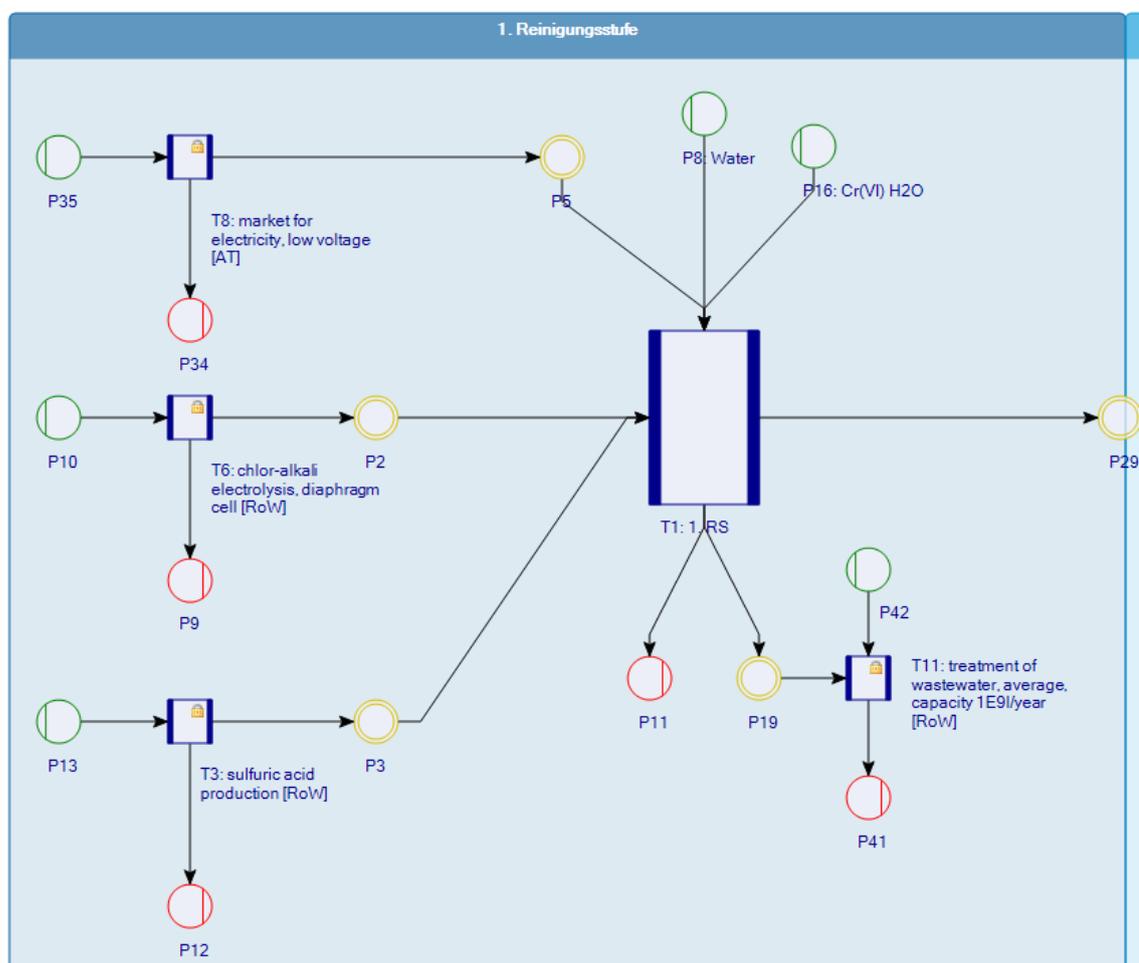


Abbildung 23: Sachbilanz der ersten Reinigungsstufe des Vergleichsprozesses¹⁷⁰

¹⁶⁹ vgl. Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2354.

¹⁷⁰ Quelle: Eigene Darstellung.

Für den Strom wurden die Daten des österreichischen Strommarktes im Niederspannungsbereich verwendet, wie bei der Analyse des Prozesses von ferroDECONT. Das zu behandelnde Cr(VI) im Abwasser wurde als eigener Eintrag in der Materialliste hinzugefügt.

Die benötigte Schwefelsäure wird durch den Datensatz zur Produktion der Chemikalie dargestellt. Dieser beinhaltet die Daten für die Produktion von 1 kg Schwefelsäure. Die produzierte Schwefelsäure ist ein farbloses bis gelbes, öliges, dichtes Fluid mit einem scharf-stechendem Geruch.

Des Weiteren wurde für das zusätzlich benötigte Wasser der Datensatz für Wasser von natürlichen Ressourcen mit nicht spezifiziertem Ursprung ausgewählt, da in der Vergleichsarbeit keine genaueren Daten diesbezüglich angegeben sind.

Der Datensatz für das benötigte Natriumhydroxid repräsentiert dessen Produktion als auch die Produktion von Chlorid mittels Chlor-Alkali-Elektrolyse durch die Nutzung einer Diaphragmazelle. Der Chlor-Alkali-Prozess stellt die gängigste Methode zur Produktion dieser Chemikalien dar. Sie werden durch die Elektrolyse einer Salzlösung mittels Quecksilberzelle, Diaphragmazelle oder Membranzelle produziert.

Als Output dieses Prozesses ergeben sind jene Materialien, die als Input dem Prozess zugefügt wurden und im Zuge der Reinigung umgewandelt werden. Diese werden zum Teil in den Verchromungsprozess rückgeführt und zum Teil in einem Tank gesammelt, welcher in einer konventionellen Abwasserreinigungsanlage aufbereitet wird. Diese Option kann gewählt werden, da es sich um salzhaltige und ungefährliche Abwässer handelt. Für die Simulation wurde der Datensatz einer Aufbereitungsanlage von Abwasser mit einer durchschnittlichen Reinigungsmenge von $1 \cdot 10^9$ l/a gewählt. Dabei handelt es sich um eine kleine kommunale Abwasserreinigungsanlagen der Kapazitätsklasse 4 mit einer durchschnittlichen Kapazitätsgröße von 5320 per-capita-equivalents (PCE). Aufgrund fehlender Angaben in der Vergleichsarbeit ist die Simulation durch die Verwendung dieses Datensatzes kritisch zu betrachten. Laut Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie müssen solche Abwässer mit Konzentraten in einer chemisch-physikalischen-Anlage aufbereitet werden¹⁷¹, welches in den genutzten Versionen der Datenbanken von Ecoinvent und GaBi nicht vorhanden sind.

Des Weiteren wird das behandelte Cr(VI) zu 99,97% in Cr(III) umgewandelt, wofür ebenfalls ein eigenes Material in der Materialliste des Programms erstellt wurde und in weiterer Folge das übrig geblieben Cr(VI) in der zweiten Reinigungsstufe behandelt wird. In nachstehender Tabelle 6 werden die Ergebnisse der Quantifizierung der ein- und austretenden Ströme aufgelistet.

¹⁷¹ vgl. Bundesabfallwirtschaftsplan 2022

Tabelle 6: Quantifizierung aller Ströme des ersten Vergleichsprozess¹⁷²

	Input	Output
Durchfluss [l/h]	482	160
Cr(VI)-Konzentration [mg/l]	550	0,55
Strom [kWh]	0,16	-
Gelöstet Cr(VI) im Abwasser [mg/h]	264 000	88
Natriumhydroxid [kg/h]	1,02	-
Schwefelsäure [kg/h]	1,96	-
Wasser [m ³ /h]	0,06	-
Cr(III) [mg/h]	-	263 912
Abwasser zur Aufbereitung [m ³ /h]	-	0,04

3.2.3 Wirkungsabschätzung

Zur Wirkungsabschätzung des ersten Vergleichsprozesses wird, wie auch für den Prozess für ferroDECONT, die „ReCiPe Midpoint (H) V1.13 no LT“ Methode genutzt, um die gleichen Indikatoren zu berechnen, wie in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Errechneten Indikatoren des ersten Vergleichsprozess bezogen auf eine Stunde¹⁷³

Indikator	Ergebnis
Landnutzung [m ² a]	0,12
Wassermangel [m ² water-Eq]	0,12
Terrestrische Versauerung [kg SO ₂ -Eq]	0,027
Fossile Erschöpfung [kg oil-Eq]	0,69
Klimawandel [kg CO ₂ -Eq]	1,75
Ionisierende Strahlung [kg U ₂₃₅ -Eq]	0,08
Menschliche Toxizität [kg 1,4 DCB-Eq]	0,28
Metallabbau [kg Fe-Eq]	0,2

Wie beim Prozess der Firma ferroDECONT werden hier die Anteile der einzelnen Indikatoren den entsprechenden Teilprozessen bei der ersten Reinigungsstufe zugeordnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 24 dargestellt.

¹⁷² Quelle: Eigene Darstellung.

¹⁷³ Quelle: Eigene Darstellung.

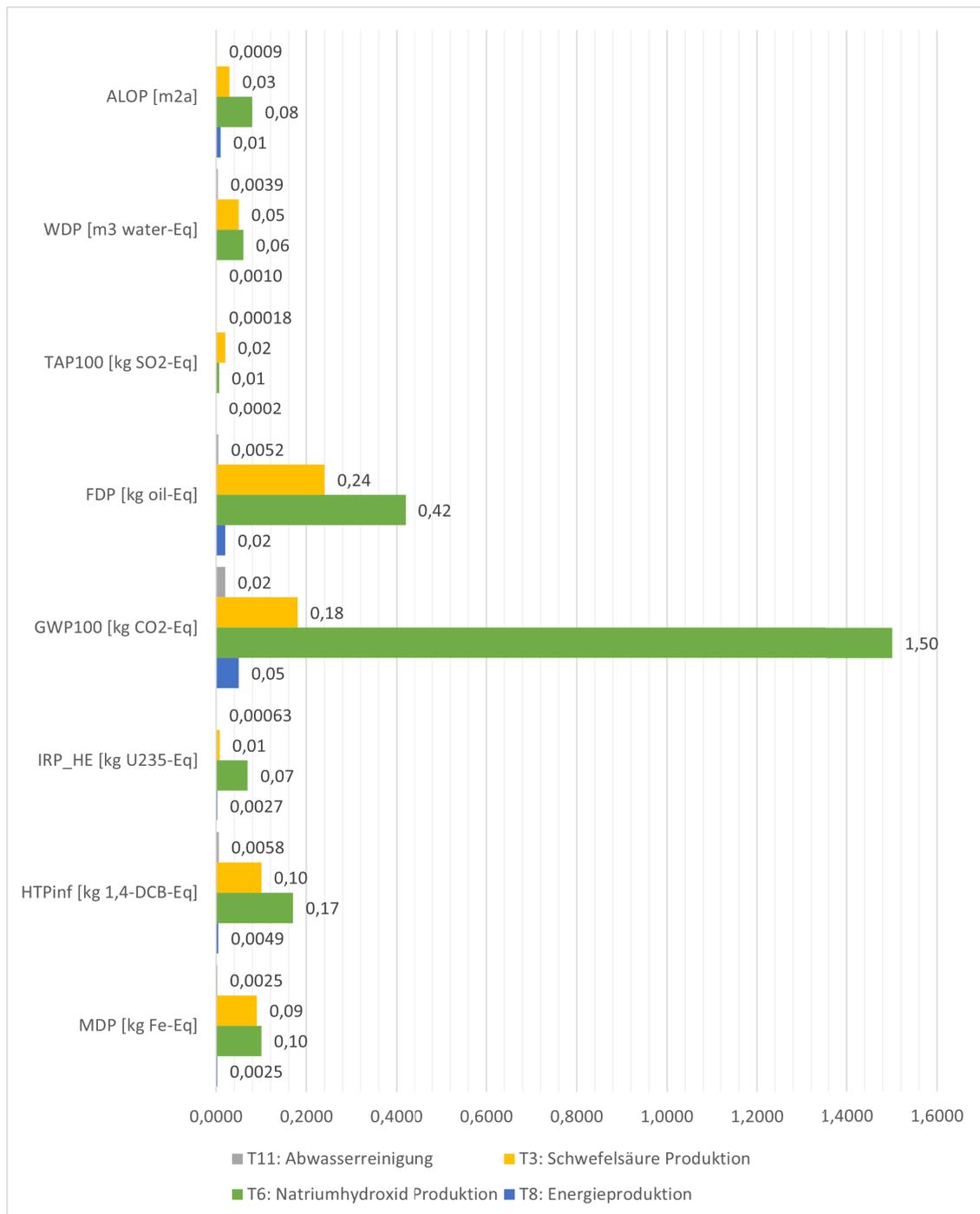


Abbildung 24: Indikatoranteile der ersten Reinigungsstufe der Vergleichsarbeit¹⁷⁴

3.2.4 Interpretation

Abbildung 24 ist zu entnehmen, dass die Produktion von Strom einen (vergleichsweise) niedrigen Anteil bei jedem Indikator hat. Ebenso kann die Abwasserreinigung bei jedem Indikator vernachlässigt werden, was darauf zurückzuführen ist, dass nur ein sehr

¹⁷⁴ Quelle: Eigene Darstellung.

geringer Teil aufbereitet werden muss. Dies deckt sich mit den Ergebnissen aus der Vergleichsarbeit. Die Produktionen der Chemikalien Schwefelsäure und Natriumhydroxid machen wiederum den größten Anteil bei jedem der Indikatoren aus. Vor allem die Produktion des Natriumhydroxids überwiegt bei 7 von 8 Indikatoren die Produktion von Schwefelsäure.

Das heißt, die Produktion der benötigten Chemikalien für die erste Reinigungsstufe macht in Bezug auf die Einwirkungen auf die Umwelt den größten Anteil aus. Dies deckt sich einerseits mit den Daten aus der Vergleichsarbeit und andererseits mit der Aussage zu Beginn dieser Arbeit, dass die Produktion von Chemikalien energie- und rohstoffintensiv ist.

Zur Veranschaulichung werden die Ergebnisse der Indikator-Berechnungen der Firma ferroDECONT den Ergebnissen der ersten Reinigungsstufe des Vergleichsprozess in Tabelle 8 gegenübergestellt.

Tabelle 8: Gegenüberstellung ferroDECONT mit der ersten Reinigungsstufe des Vergleichsprozess¹⁷⁵

Indikator	ferroDECONT	1. Reinigungsstufe
Landnutzung [m ² a]	0,27	0,12
Wassermangel [m ² water-Eq]	0,03	0,12
Terrestrische Versauerung [kg SO ₂ -Eq]	0,00435	0,027
Fossile Erschöpfung [kg oil-Eq]	0,43	0,69
Klimawandel [kg CO ₂ -Eq]	1,53	1,75
Ionisierende Strahlung [kg U ₂₃₅ -Eq]	0,07	0,08
Menschliche Toxizität [kg 1,4 DCB-Eq]	0,14	0,28
Metallabbau [kg Fe-Eq]	0,07	0,2

Auf den ersten Blick scheint es, als hätte der Prozess von ferroDECONT einen weniger negativen Einfluss auf die Umwelt als der Vergleichsprozess. Da das Ziel beider Reinigungsverfahren jedoch die Reduktion von Cr(VI) zu Cr(III) ist, muss die reduzierte Menge ebenfalls betrachtet werden. Die angegebenen Daten aus Tabelle 8 beziehen sich auf die Menge Abwasser, die in einer Stunde gereinigt werden.

Im Fall der Firma ferroDECONT wird in einer Stunde 36.000 l Abwasser gereinigt mit einer Cr(VI) Konzentration von 0,04 mg/l. Das heißt in dieser Zeit werden 1.440 mg bzw. 1,4 g Cr(VI) reduziert.

Bei der spanischen Firma wird in der gleichen Zeit bei der ersten Reinigungsstufe 482 l Abwasser gereinigt mit einer Cr(VI) Konzentration von 550 mg/l. Das bedeutet, dass in diesem Fall in einer Stunde 265.100 mg bzw. 265,1 g Cr(VI) reduziert werden. Somit wird beim Vergleichsprozess 189,4-mal mehr Cr(VI) reduziert, als bei dem Prozess von ferroDECONT.

Das heißt in Bezug auf die Menge an reduziertem Cr(VI) schneidet der Vergleichsprozess besser ab, da in der gleichen Zeit mehr Cr(VI) reduziert wird und dieser Prozess somit effizienter ist. Würde die gleiche Menge Cr(VI) der spanischen

¹⁷⁵ Quelle: Eigene Darstellung.

Firma beim Prozess von ferroDECONT reduziert werden, würden dementsprechend die errechneten Indikatoren und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Umwelt, um ein Vielfaches höher sein. Da in der gleichen Zeit bei der ersten Reinigungsstufe des alternativen Prozesses der spanischen Firma 189,4-mal mehr Cr(VI) gereinigt wird, werden die Indikatoren der Firma ferroDECONT mit diesem Faktor multipliziert. Auf die Art und Weise wird die gleiche Menge an reduziertem Cr(VI) verglichen, siehe Tabelle 9.

Tabelle 9: Gegenüberstellung der Indikatoren beim ersten Vergleichsprozess bezogen auf die gleiche Menge reduziertem Cr(VI)¹⁷⁶

Indikator	ferroDECONT	1. Reinigungsstufe
Landnutzung [m ² a]	51,138	0,12
Wassermangel [m ² water-Eq]	5,682	0,12
Terrestrische Versauerung [kg SO ₂ -Eq]	0,824	0,027
Fossile Erschöpfung [kg oil-Eq]	81,442	0,69
Klimawandel [kg CO ₂ -Eq]	289,782	1,75
Ionisierende Strahlung [kg U ₂₃₅ -Eq]	13,258	0,08
Menschliche Toxizität [kg 1,4 DCB-Eq]	26,516	0,28
Metallabbau [kg Fe-Eq]	13,258	0,2

Es ist zu beachten, dass bei dem in Tabelle 9 dargestelltem Gedankenexperiment, die angenommene lineare Beziehung (durch die Multiplikation mit einem Faktor) nicht richtig ist. Der ferrodcont-Prozess ist für Abwässer mit niedrigeren Konzentrationen und höheren Durchsätzen konzipiert. Würde der ferrodcont-Prozess mit den viel niedrigeren Durchsätzen wie im Vergleichsprozess arbeiten, ergibt sich eine längere Kontaktzeit und die benötigte Pumpenergie würde sich verringern. Durch den Einsatz einer größeren Menge Fe(0)-Granalien, könnte wiederum die Reinigungszeit verkürzt werden

3.3 Zweiter Vergleichsprozess

Obwohl die erste Reinigungsstufe des Vergleichsprozesses mit einer Reduktionsrate von 99,97 % sehr effektiv ist und das Abwasser nach der Reinigung eine Cr(VI)-Konzentration von 0,55 mg/l hat (siehe Kapitel 3.2.2), benötigt es eine zweite Reinigungsstufe. In Spanien liegt der Grenzwert für mit Cr(VI)-verseuchte Abwässer bei 0,5 mg/l.¹⁷⁷ Aus diesem Grund benötigt es eine weitere Behandlung des Abwassers, um unter diesen Grenzwert zu kommen.

In diesem Kapitel wird wie im vorherigen Kapitel eine LCA-Analyse der 2. Reinigungsstufe des Abwasserreinigungsprozesses aus der Vergleichsarbeit durchgeführt.

¹⁷⁶ Quelle: Eigene Darstellung.

¹⁷⁷ vgl. Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2354.

3.3.1 Ziel definieren und Systemgrenzen festlegen

Das Ziel folgender Analyse ist abermals, die zweite Reinigungsstufe der alternativen Reinigungsmethode des Vergleichsprozesses unter Anwendung der gleichen Rahmenbedingungen wie beim Prozess von ferroDECONT, durchzuführen. Wie bei der Firma ferroDECONT handelt es sich bei der zweiten Reinigungsstufe um eine alternative Methode, bei der im Gegensatz zur Standardmethode, keine Chemikalien zur direkten Reduktion von Cr(VI) zum Einsatz kommen. Nachstehende Abbildung 25 stellt die Systemgrenzen dar, in denen die LCA-Analyse durchgeführt wird.

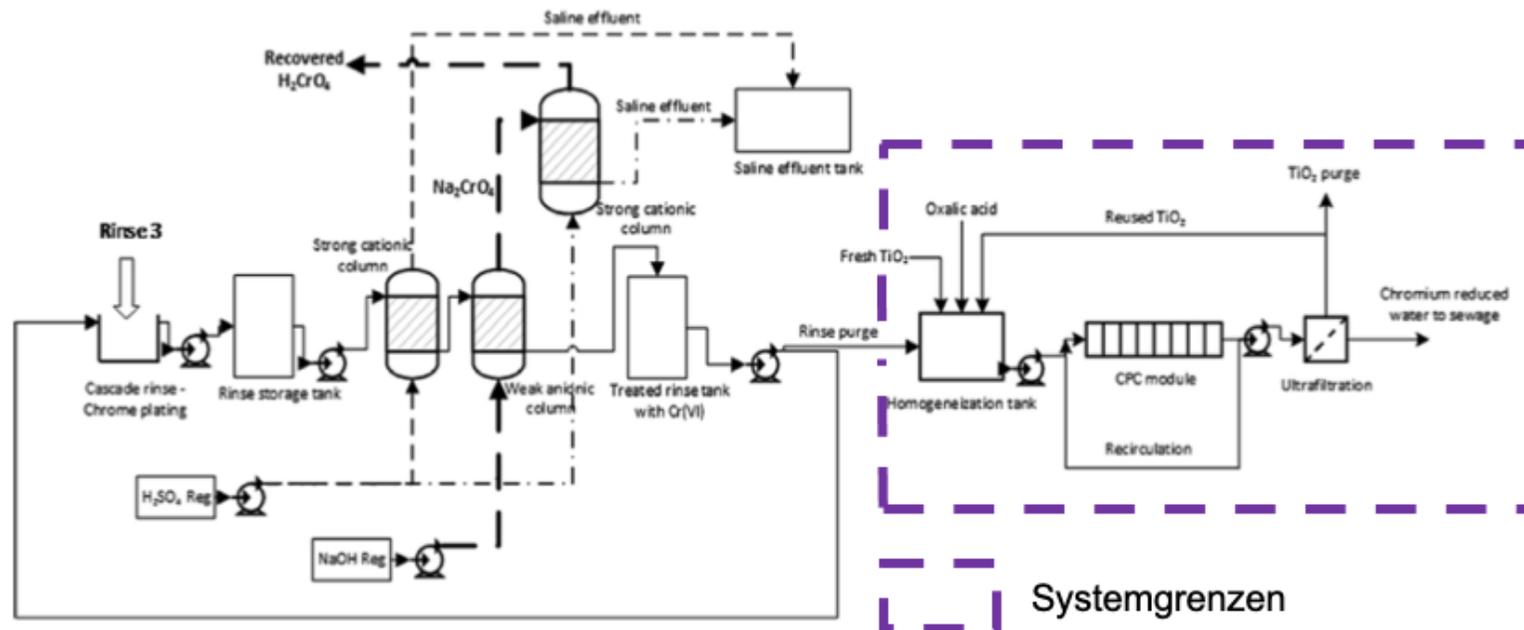


Abbildung 25: Abgrenzung der Untersuchungsrahmens des zweiten Vergleichsprozesses¹⁷⁸

¹⁷⁸ Quelle: Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2354 (leicht modifiziert)

Bei dieser Methode wird das vorbehandelte Abwasser aus der ersten Reinigungsstufe mit Chemikalien, die als Katalysatoren dienen, in einem Tank homogenisiert. Das Gemisch wird in Compound Parabolic Converter (CPC) Module gepumpt, in denen mit Hilfe von UV-Strahlen eine photokatalytische Reduktion von Cr(VI) zu Cr(III) bewirkt wird. Ein Teil des reduzierten Abwassers wird dem zu reinigendem Strom vor den CPC-Module rückgeführt, um den Abwasserstrom einerseits zu verdünnen und andererseits zur Ressourcenschonung. Das Cr(VI)-freie Abwasser wird gefiltert, um die Katalysatoren wiederzugewinnen bzw. abzuscheiden, und anschließend abgeführt.¹⁷⁹

3.3.2 Sachbilanz erstellen

Anhand der definierten Systemgrenzen wird erneut mit Hilfe der Software Umberto eine Sachbilanz erstellt, wie in Abbildung 26 dargestellt.

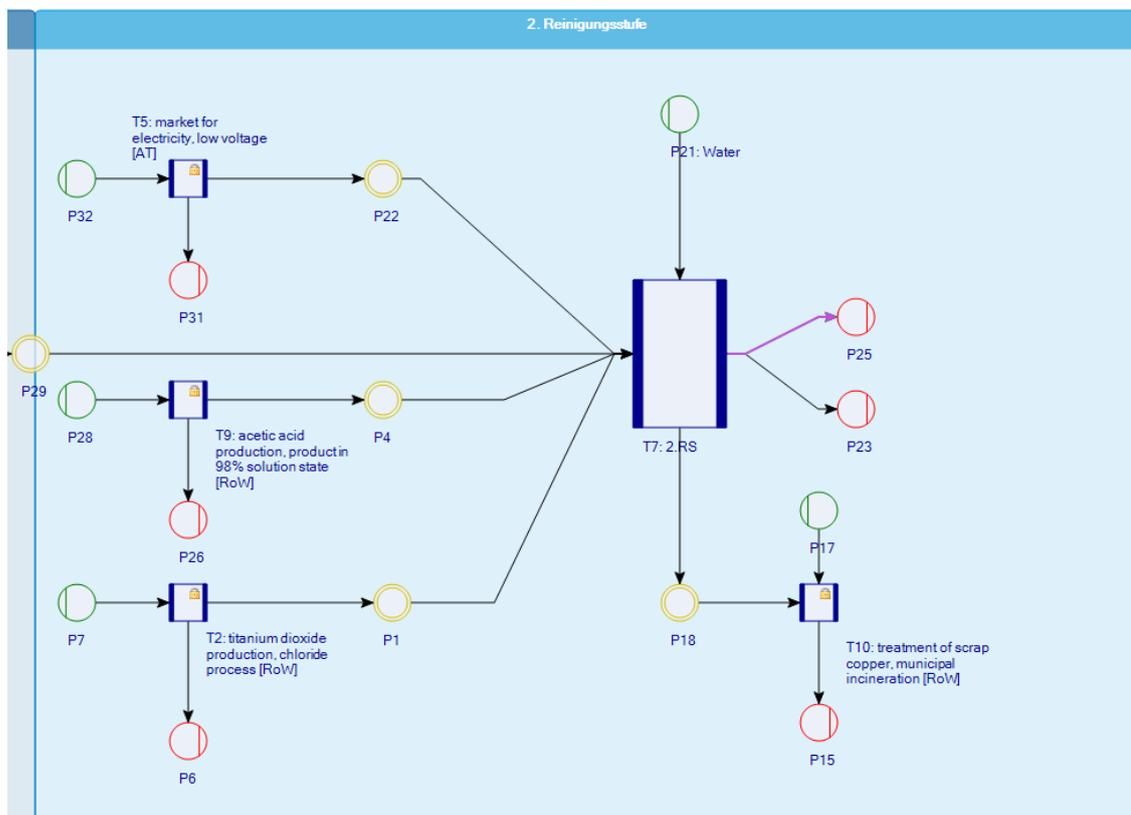


Abbildung 26: Sachbilanz der zweiten Reinigungsstufe des Vergleichsprozesses¹⁸⁰

Für den Strom wurden, wie in der vorherigen Analyse, die Daten für den österreichischen Strommarkt im Bereich der Niederspannung herangezogen.

In der Vergleichsarbeit wurde ursprünglich Oxalsäure als weiterer Katalysator verwendet. Da sich jedoch diese Chemikalie nicht in der Datenbank von Ecoinvent und GaBi befindet, wurden stattdessen die Daten zur Produktion von Essigsäure verwendet.

¹⁷⁹ vgl. Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2354.

¹⁸⁰ Quelle: Eigene Darstellung.

Da dieser Ersatz bereits in anderen wissenschaftlichen Arbeiten angewendet wurde und die Produktion von Oxalsäure und Essigsäure sich im industriellen Maßstab gleichen, ist diese Vorgehensweise anwendbar.¹⁸¹ Somit wurde als Ersatz der Datensatz des Produktionsprozesses für Essigsäure in 98% Lösungszustand angewendet. Dieses ist ein klares, farbloses und korrosives Fluid mit einem scharfen und essigartigen Geruch. Es kommt in verdünnter Form in vielen Systemen der Flora und Fauna vor. Essigsäure wird vorwiegend für die Produktion von Vinylacetat und Essigsäureanhydride verwendet. Für das benötigte Titandioxid wurde der Datensatz des Produktionsprozesses mittels Chlorid-Prozess gewählt, was dem Produktdatenblatt des Herstellers zu entnehmen ist. Titandioxid wird durch Chlorgas als Input produziert und ist als weißes Pulver verfügbar, welches stabil und nicht-toxisch ist. Es existiert ebenfalls in natürlichen Mineralen, wie in Rutil. Das nach dem Chloridverfahren hergestellte Titandioxid wird bevorzugt bei der Produktion von Papier, Tinte, Gummi und einer Vielzahl von Spezialanwendungen verwendet.

Die Daten für das zusätzlich benötigte Wasser wurde dem Datensatz für Wasser von natürlichen Ressourcen mit nicht spezifiziertem Ursprung entnommen, da in der Vergleichsarbeit keine genaueren Daten diesbezüglich angegeben werden.

Wie beim ersten Vergleichsprozess wurden die Abwasserströme, die Cr(VI) bzw. Cr(III) enthalten, als eigenes Material in die Materialliste hinzugefügt.

In der Vergleichsarbeit wurde angegeben, dass feste Reststoffe, wie die verbrauchten Katalysatoren, in einer Verbrennungsanlage verarbeitet werden, was in diesem Fall ebenfalls simuliert und mitberücksichtigt wird.¹⁸² Da in der Datenbank von Umberto kein Datensatz einer Verbrennungsanlage für die Verarbeitung erschöpfter und chemischer Katalysatoren (in diesem Fall TiO_2) vorhanden ist, wurden mehrere Simulationen durchgeführt. Es wurde die Verbrennung von Klärschlamm, festen Siedlungsabfällen und Kupferschrott simuliert. Alle drei Optionen ergaben, dass die zu berechnenden Indikatoren sich gleichen. Nach Rücksprache mit der Firma ferroDECONT wurde letztere Option gewählt, aufgrund der Inertheit des Metalls, da sich dieses am ehesten mit dem TiO_2 vergleichen lässt.

In nachstehender Tabelle 10 werden die Ergebnisse der Quantifizierung aller Ströme angegeben.

¹⁸¹ vgl. Vahidi, E.; Zhao, F. (2017), S. 7.

¹⁸² vgl. Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2355.

Tabelle 10: Quantifizierung der Stoffströme der zweiten Reinigungsstufe des Vergleichsprozesses¹⁸³

	Input	Output
Durchfluss [l/h]	160	-
Cr(VI) Konzentration [mg/l]	0,55	-
Cr(VI) [mg/h]	88	-
Benötigte Energie [kWh]	0,05	-
Essigsäure [kg/h]	0,39	-
Titanium-Dioxid [kg/h]	0,0042	-
Wasser [m ³ /h]	0,28	-
Cr(III) [mg/h]	-	88
Abfallstoffe zur Verbrennung [g/h]	-	3,92
Abwasser in die Kanalisation [m ³]	-	0,24

3.3.3 Wirkungsabschätzung

Zur Wirkungsabschätzung wurde ebenfalls die „ReCiPe Midpoint (H) V1.13 no LT“ Methode verwendet, wobei die gleichen Indikatoren wie im ersten Vergleichsprozess ausgerechnet wurden. Die Ergebnisse werden in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Berechneten Indikatoren der zweiten Reinigungsstufe des Vergleichsprozesses¹⁸⁴

Indikator	Ergebnis
Landnutzung [m ² a]	0,039
Wassermangel [m ² water-Eq]	0,041
Terrestrische Versauerung [kg SO ₂ -Eq]	0,0033
Fossile Erschöpfung [kg oil-Eq]	0,5
Klimawandel [kg CO ₂ -Eq]	0,78
Ionisierende Strahlung [kg U ₂₃₅ -Eq]	0,044
Menschliche Toxizität [kg 1,4-DCB-Eq]	0,099
Metallabbau [kg Fe-Eq]	0,057

Auch bei dieser Analyse werden die Indikatoren anteilmäßig den einzelnen Prozessen zugeordnet, wie in Abbildung 27 dargestellt.

¹⁸³ Quelle: Eigene Darstellung.

¹⁸⁴ Quelle: Eigene Darstellung.

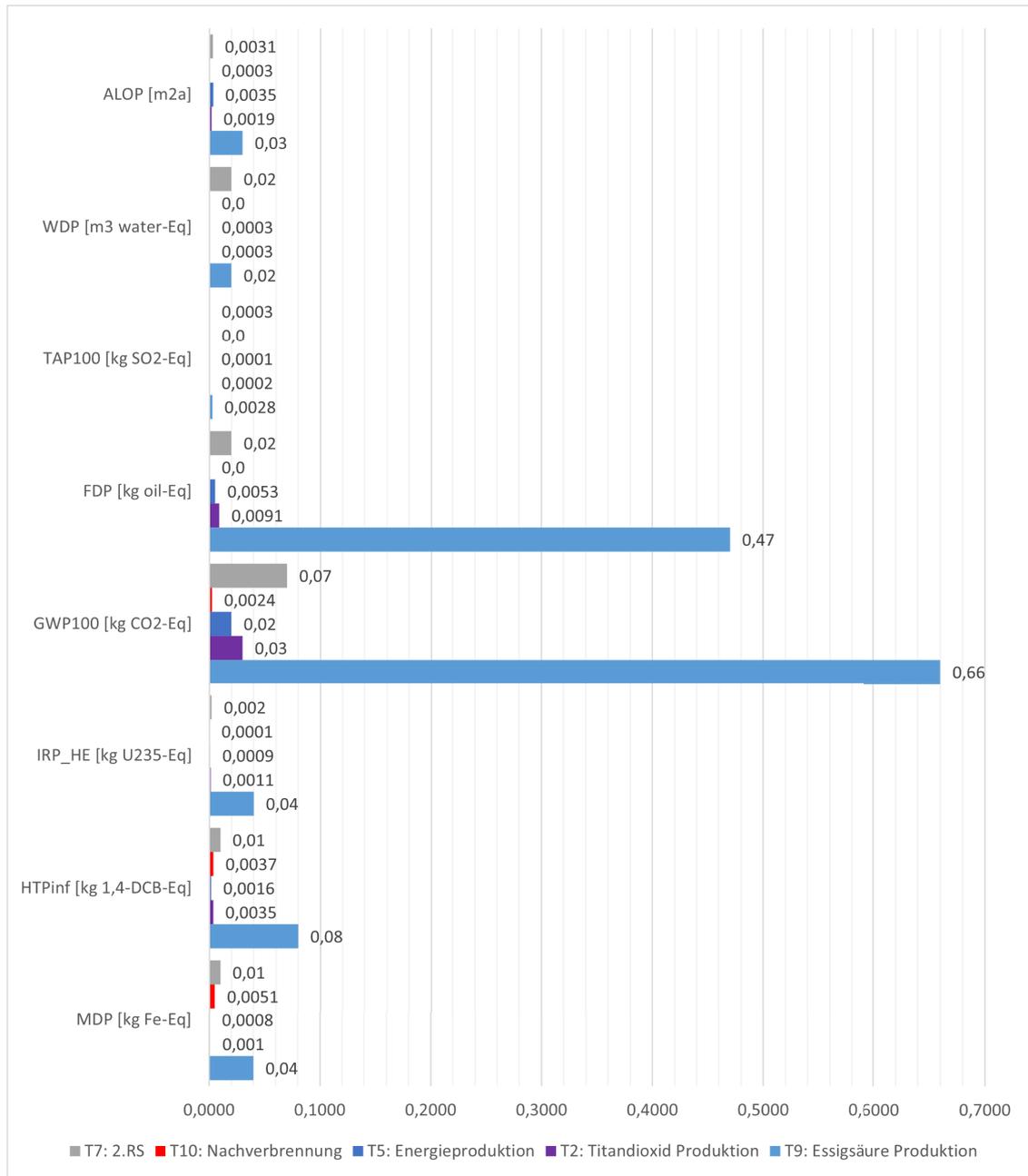


Abbildung 27: Indikatoranteile der zweiten Reinigungsstufe der Vergleichsarbeit¹⁸⁵

3.3.4 Interpretation

Bei der Betrachtung der Abbildung 27 lässt sich ein ähnlicher Trend erkennen, wie bei der Analyse der ersten Reinigungsstufe. Die Produktion von Essigsäure hat mit über 90% bei 7 von 8 Indikatoren den größten Anteil in Bezug auf die Auswirkungen auf die Umwelt. Die Produktion von Titandioxid, der benötigten Energie und der Prozess der Nachverbrennung, indem die erschöpften Katalysatoren verbrannt werden, machen im Vergleich einen sehr geringen Anteil aus.

¹⁸⁵ Quelle: Eigene Darstellung.

Der Abwasserreinigungsprozess selbst macht dennoch bei 4 von 8 Indikatoren einen Anteil von 10 - 40 % aufgrund des dekontaminierten und ungefährlichen Abwassers, welches über die Kanalisation abgeleitet wird.

Für eine bessere Übersicht werden in Tabelle 12 wie beim ersten Vergleichsprozess die Ergebnisse der Indikatoren der Firma ferroDECONT und der zweiten Reinigungsstufe gegenübergestellt.

Tabelle 12: Gegenüberstellung ferroDECONT mit der zweiten Reinigungsstufe des Vergleichsprozesses¹⁸⁶

Indikator	ferroDECONT	2. Reinigungsstufe
Landnutzung [m ² a]	0,27	0,039
Wassermangel [m ² water-Eq]	0,03	0,041
Terrestrische Versauerung [kg SO ₂ -Eq]	0,00435	0,0033
Fossile Erschöpfung [kg oil-Eq]	0,43	0,5
Klimawandel [kg CO ₂ -Eq]	1,53	0,78
Ionisierende Strahlung [kg U ₂₃₅ -Eq]	0,07	0,044
Menschliche Toxizität [kg 1,4 DCB-Eq]	0,14	0,099
Metallabbau [kg Fe-Eq]	0,07	0,057

Wie den Daten aus Tabelle 12 entnommen werden kann, gleichen sich beide Prozesse in Bezug auf den Einfluss auf die Umwelt. Es muss, wie beim ersten Vergleichsprozess, auch die Menge an reduziertem Cr(VI) zu Cr(III) betrachtet werden.

Die Firma ferroDECONT reduziert 1,4 g Cr(VI) pro Stunde. Bei der zweiten Reinigungsstufe der spanischen Firma wird in einer Stunde 160 l Abwasser gereinigt mit einer Cr(VI)-Konzentration von 0,55 mg/l. Das ergibt eine Menge von 88 mg bzw. 0,088 g Cr(VI), die in einer Stunde reduziert werden. Das bedeutet, dass in der gleichen Zeit, im Vergleich zum ersten Reinigungsprozess, die Firma ferroDECONT 15,9-mal mehr Cr(VI) reduziert und somit effizienter arbeitet als der Vergleichsprozess.

Würde die gleiche Menge Cr(VI) wie im Prozess von ferroDECONT bei der zweiten Reinigungsstufe der spanischen Firma reduziert werden, würden dementsprechend die errechneten Indikatoren und somit die Auswirkungen auf die Umwelt, um ein Vielfaches höher sein. Tabelle 13 verdeutlicht diesen Umstand, indem die Indikatoren aus Tabelle 12 des 2. Vergleichsprozesses mit dem Faktor 15,9 multipliziert werden.

¹⁸⁶ Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 13: Gegenüberstellung der Indikatoren beim zweiten Vergleichsprozess bezogen auf die gleiche Menge reduziertem Cr(VI)¹⁸⁷

Indikator	ferroDECONT	2. Reinigungsstufe
Landnutzung [m ² a]	0,27	0,62
Wassermangel [m ² water-Eq]	0,03	0,65
Terrestrische Versauerung [kg SO ₂ -Eq]	0,00435	0,052
Fossile Erschöpfung [kg oil-Eq]	0,43	7,95
Klimawandel [kg CO ₂ -Eq]	1,53	12,40
Ionisierende Strahlung [kg U ₂₃₅ -Eq]	0,07	0,70
Menschliche Toxizität [kg 1,4 DCB-Eq]	0,14	1,57
Metallabbau [kg Fe-Eq]	0,07	0,91

3.4 Kritische Würdigung des Vergleichsprozesses

Folgendes Kapitel stellt die Ergebnisse des ersten und zweiten Vergleichsprozesses den Ergebnissen aus der Vergleichsarbeit gegenüber, um die Plausibilität der erhaltenen Daten zu überprüfen, da die selben Analysen im Zuge dieser Arbeit wiederholt wurden. In der Vergleichsarbeit wird ebenfalls eine LCA-Analyse durchgeführt und die Ergebnisse mit der ReCiPe Methode 1.06 berechnet.¹⁸⁸ Abbildung 28 stellt die Ergebnisse dar.

¹⁸⁷ Quelle: Eigene Darstellung.

¹⁸⁸ vgl. Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2356.

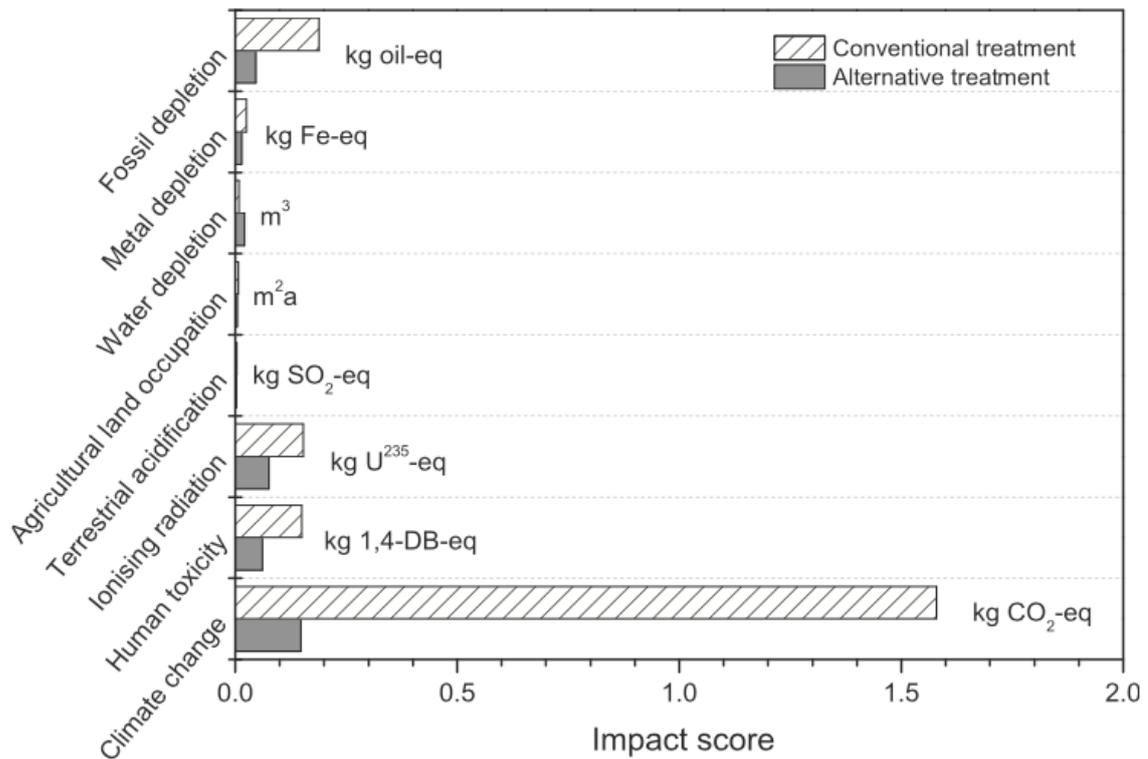


Abbildung 28: Aus der Vergleichsarbeit entnommene Ergebnisse Berechnung der Indikatoren¹⁸⁹

Abbildung 28 stellt die Ergebnisse der Indikatoren von zwei Abwasserreinigungsprozessen gegenüber. Dabei wurde die Standardmethode zur Cr(VI)-Reduktion mittels Chemikalien analysiert, ebenso die alternative Methode, die in zwei Stufen abläuft. Die erste Stufe der alternativen Methode stellt den ersten Vergleichsprozess dar, wie in Kapitel 3.2 erarbeitet, und die zweite Stufe den zweiten Vergleichsprozess, siehe Kapitel 3.3.

Um die Daten aus Abbildung 28 in weiterer Folge besser vergleichen zu können, werden sie in der Tabelle 14 aufgelistet.

Tabelle 14: Aus der Literatur entnommenen Vergleichsdaten¹⁹⁰

Indikator	Ergebnis
Landnutzung [m ² a]	0,005
Wassermangel [m ² water-Eq]	0,02
Terrestrische Versauerung [kg SO ₂ -Eq]	0,001
Fossile Erschöpfung [kg oil-Eq]	0,05
Klimawandel [kg CO ₂ -Eq]	0,15
Ionisierende Strahlung [kg U ₂₃₅ -Eq]	0,08
Menschliche Toxizität [kg 1,4 DCB-Eq]	0,06
Metallabbau [kg Fe-Eq]	0,015

¹⁸⁹ Quelle: Rodríguez, R. et al (2018), S. 2358.

¹⁹⁰ Quelle: Eigene Darstellung.

Da die Ergebnisse der Analyse aus Abbildung 28 grafisch und nicht numerisch angeführt werden, besteht die Möglichkeit, dass die Werte aus Tabelle 14 sich innerhalb einer minimalen Schwankungsbreite befinden.

Die Daten aus Tabelle 14 beziehen sich auf 1 m² verchromte Platte. Die Daten von ferroDECONT beziehen sich allerdings auf die Menge an reduziertem Cr(VI), die in einer Stunde gereinigt wird. Da laut Angaben in der spanischen Firma in einer Stunde 14 m² Metallplatten verchromt werden, werden die Daten aus Tabelle 14 mit dem Faktor 14 multipliziert, wodurch sich folgende Zahlen in Tabelle 15 ergeben.¹⁹¹

Tabelle 15: Angepasste Daten des Vergleichsprozesses aus der Vergleichsarbeit bezogen auf eine Stunde¹⁹²

Indikator	Ergebnis
Landnutzung [m ² a]	0,07
Wassermangel [m ² water-Eq]	0,28
Terrestrische Versauerung [kg SO ₂ -Eq]	0,014
Fossile Erschöpfung [kg oil-Eq]	0,7
Klimawandel [kg CO ₂ -Eq]	2,1
Ionisierende Strahlung [kg U ₂₃₅ -Eq]	1,12
Menschliche Toxizität [kg 1,4 DCB-Eq]	0,84
Metallabbau [kg Fe-Eq]	0,21

In der Vergleichsarbeit wird nicht zwischen der ersten und zweiten Reinigungsstufe des alternativen Abwasserreinigungsprozesses unterschieden. Somit beziehen sich die Daten aus Tabelle 15 auf den gesamten alternativen Abwasserreinigungsprozess. Um die Ergebnisse der Indikatoren aus der Vergleichsarbeit mit den Ergebnissen der im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Analysen vergleichen zu können, müssen die Ergebnisse der Indikatoren aus dem ersten Vergleichsprozess (Kapitel 3.2) mit denen aus dem zweiten Vergleichsprozess (Kapitel 3.3) summiert werden, siehe Tabelle 16.

Tabelle 16: Summe der Ergebnisse aus dem ersten und zweiten Vergleichsprozess¹⁹³

Indikator	Ergebnis
Landnutzung [m ² a]	0,16
Wassermangel [m ² water-Eq]	0,16
Terrestrische Versauerung [kg SO ₂ -Eq]	0,02
Fossile Erschöpfung [kg oil-Eq]	1,18
Klimawandel [kg CO ₂ -Eq]	2,55
Ionisierende Strahlung [kg U ₂₃₅ -Eq]	0,13
Menschliche Toxizität [kg 1,4 DCB-Eq]	0,39
Metallabbau [kg Fe-Eq]	0,25

¹⁹¹ vgl. Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2356.

¹⁹² Quelle: Eigene Darstellung.

¹⁹³ Quelle: Eigene Darstellung.

Nun können die Ergebnisse aus Tabelle 15 und Tabelle 16 einander gegenübergestellt werden, wodurch der gesamte alternative Abwasserreinigungsprozess aus der Vergleichsarbeit mit den Ergebnissen der wiederholten Analysen dieser Arbeit verglichen werden können. Die Gegenüberstellung ist in Abbildung 29 dargestellt.

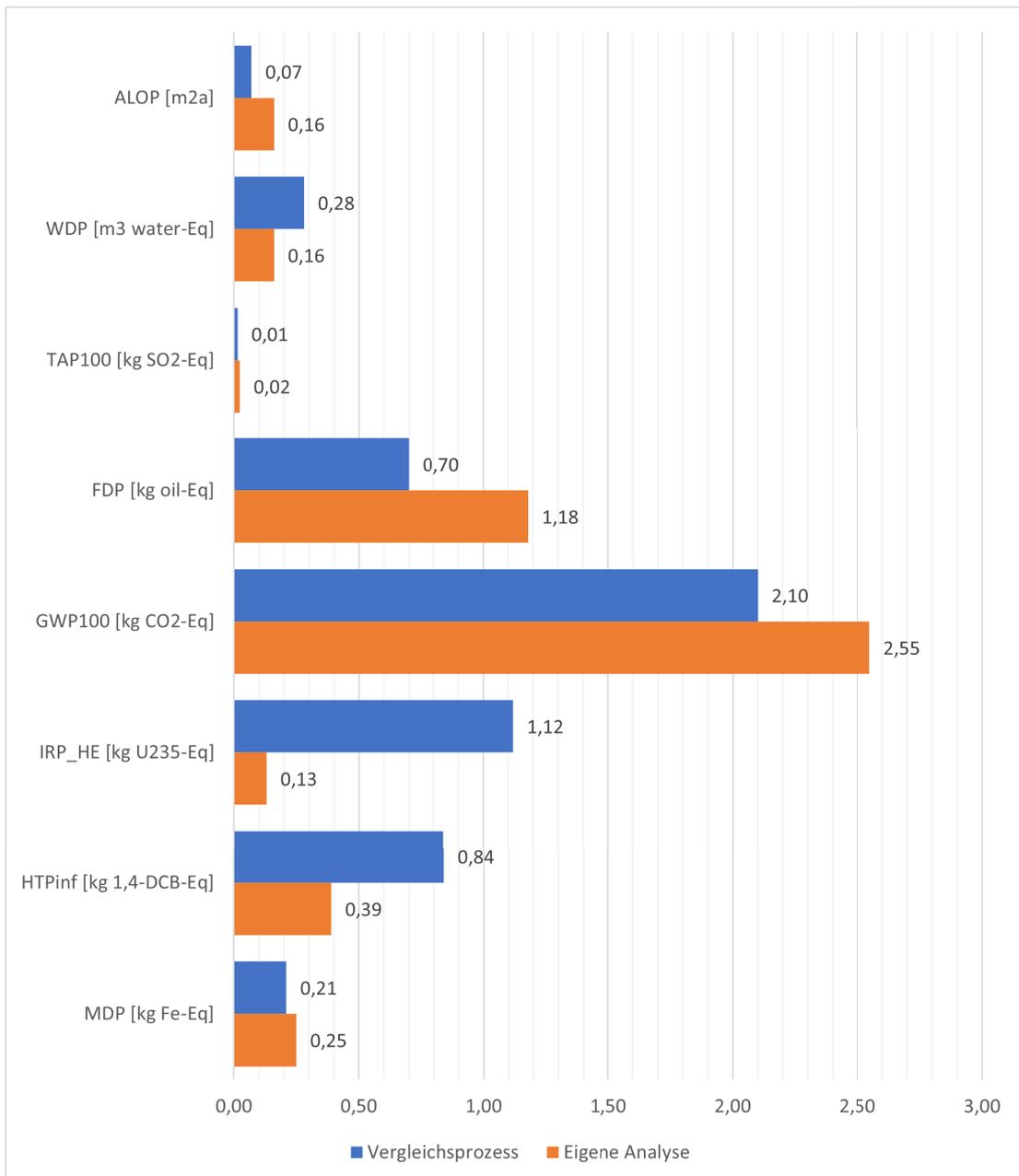


Abbildung 29: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus der Vergleichsarbeit und der eigenen Analyse¹⁹⁴

In Abbildung 29 ist zu erkennen, dass bei jedem berechneten Indikator eine Differenz in den Ergebnissen vorhanden ist. Eine minimale Differenz ist bei der terrestrischen

¹⁹⁴ Quelle: Eigene Darstellung.

Versauerung und dem Metallabbau zu erkennen. Hingegen weisen die anderen Indikatoren höhere Unterschiede auf. Diese Differenzen können mehrere Gründe haben. Die wissenschaftliche Arbeit, aus der der Vergleich entnommen wurde, wurde im Jahr 2017 veröffentlicht. Des Weiteren wurde zur Bewertung die ReCiPe 1.06 Version verwendet, welche eine deutlich ältere Version ist als die in dieser Arbeit verwendete. Da sich sowohl die wissenschaftliche Arbeit als auch die genutzte Bewertungsmethode nicht auf dem aktuellen Stand befinden, besteht die Möglichkeit, dass die eigens durchgeführte Analyse andere Ergebnisse liefert.

Wie im Zuge des praktischen Teils durchgeführt, wurden Annahmen getroffen, die ebenfalls Einfluss auf die Ergebnisse haben können. Da sich die in der Vergleichsarbeit benötigte Oxalsäure nicht in der Datenbank der verwendeten Version von Ecoinvent und GaBi befand, wurde sie aus genannten Gründen durch Essigsäure ersetzt. Auch wenn bestätigt werden konnte, dass dieser Austausch plausibel ist, besteht dennoch die Möglichkeit, dass die Substitution zu einer Veränderung des Ergebnisses führen kann. Ebenso wurde erwähnt, dass in der Vergleichsarbeit nicht beschrieben wird, aus welchen Quellen die einzelnen Materialien zur Abwasserreinigung stammen. Um alle Prozesse miteinander vergleichen zu können, wurde als geografische Datenbank die Option „Rest of the World“ (RoW), also ein Durchschnitt der globalen Daten und die Allokation APOS gewählt. So konnte die Vergleichbarkeit gewährleistet werden.

Gleiches gilt für den Bezug der benötigten Energie. Aus der Vergleichsarbeit ist zu entnehmen, dass bei der Analyse die Daten des Stroms aus dem spanischen Netz genutzt wurden.¹⁹⁵ Um jedoch diesen Prozess und jenen von ferroDECONT vergleichbar zu machen, wurden in beiden Fällen die Daten des österreichischen Strommarkts im Bereich der Niederspannung gewählt.

Somit kann eine Reihe von Substitutionen und Annahmen dazu führen, dass die Ergebnisse der wiederholten Analyse nicht mit den Ergebnissen der Vergleichsarbeiten übereinstimmen. Da sich allerdings die vorliegende Masterarbeit als Ziel gesetzt hat, bei gleichen Bedingungen den Prozess von ferroDECONT einem Vergleichsprozess gegenüberzustellen, können die getroffenen Annahmen und Substitutionen zugelassen werden.

3.5 Optimierungspotenziale

Im Zuge der Analyse und genauen Betrachtung des Prozesses der Firma ferroDECONT, ergaben sich zwei Möglichkeiten, den Prozess zu optimieren. Es entstanden die Überlegungen, zum einen, das zu Cr(III) reduzierte Cr(VI) aus dem aufbereiteten Wasser zu entnehmen und zu recyceln, zum anderen an Ort und Stelle, mittels erneuerbarer Energiequelle, die benötigte Energie zu produzieren.

¹⁹⁵ vgl. Rodríguez, R. et al. (2018), S. 2355.

3.5.1 Die Rückgewinnung von Chrom

Chrom ist ein für die Metall-, Chemie- und Textilindustrie wichtige Substanz.¹⁹⁶ Bei diesem handelt es sich um ein kritisches bzw. potenziell kritisches Element. Als solches werden Elemente bezeichnet, „wenn mangels einer ausreichenden Eigenproduktion eines für die österreichische Wirtschaft bedeutenden Rohstoffes zufolge der Importabhängigkeit die Versorgungskette empfindlich gestört oder völlig unterbrochen wird“. Aus diesem Grund entstand die Idee, das ungiftige Chrom dem Abwasser zu entnehmen, zu recyceln und dem Stoffkreislauf wieder zuzuführen. Folgende Elemente werden als kritisch (k) bzw. potenziell kritisch (pk) definiert:¹⁹⁷

- Antimon (k)
- Baryt (k)
- Beryllium (k)
- Borate (k)
- Flußspat (k)
- Gallium (k)
- Germanium (k)
- Graphit (k)
- Hafnium (k)
- Helium (k)
- Indium (k)
- Kobalt (k)
- Koks Kohle (k)
- Magnesium (k)
- Niob (k)
- Metalle der Platingruppe (k)
- Phosphat (k)
- leichte und schwere seltene Erden (k)
- Scandium (k)
- metallurgisches Silizium (k)
- Tantal (k)
- Vanadium (k)
- Wismuth (k)
- Wolfram (k)
- Bauxit (pk)
- Chrom (pk)
- Eisenerz (pk)
- Magnesit (pk)
- Molybdän (pk)
- Nickel (pk)
- Rhenium (pk)
- Tellur (pk)
- Zinn (pk)
- Zink (pk)

¹⁹⁶ vgl. Jacobs, J. A.; Testa, S. M. (2005), S. 17.

¹⁹⁷ Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2018), S. 2.

Im Zuge der Recherchen ergab sich die Situation, dass diese Möglichkeit bereits analysiert und experimentell durchgeführt wurde. Die Entwicklung des ferrodecont-Verfahrens erfolgte im Rahmen eines Projektes des Instituts für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik der Montanuniversität Leoben zur „In-situ-Sanierung von Chromschäden durch Reduktionsprozesse“. Basierend auf diesem Projekt wurde in weiterer Folge die Firma ferroDECONT gegründet.¹⁹⁸

Das ferrodecont-Verfahren wurde im Zuge von zwei darauf aufbauenden Projekten weiterentwickelt. Das Projekt ChromSan befasste sich mit der weiteren Untersuchung des Prozesses von ferroDECONT zur In-situ-Sanierung von Chromschäden in der Altlastensanierung und das Projekt RECOMET mit der Rückgewinnung von verschiedenen Metallen in der recyclingorientierten Abwasserbehandlung.

Bei dem Projekt RECOMET wird auf gleiche Weise vorgegangen wie bei der bereits beschriebenen Abwasserreinigung. Kontaminiertes Prozesswasser aus der Industrie wird durch ein Fließbett mit den Fe(0)-Granalien gepumpt und dort in Kontakt gebracht. Der Unterschied beider Projekte liegt darin, dass das gereinigte und reduzierte Abwasser nicht wieder rückgeführt, sondern nachbehandelt wird, um (potenziell) kritische Metalle zu gewinnen, siehe Abbildung 30.¹⁹⁹

¹⁹⁸ vgl. Höllen, D. et al. (2014), S. 409.

¹⁹⁹ vgl. Höllen, D. et al. (2014), S. 411.

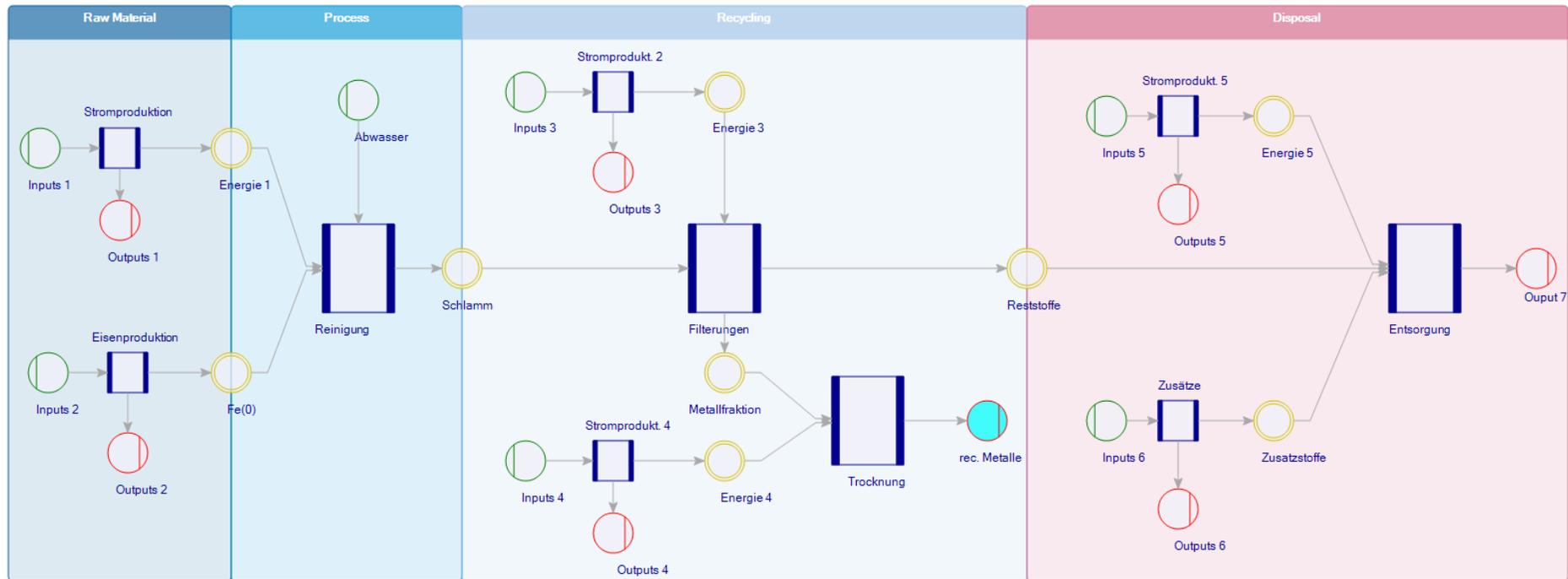


Abbildung 30: Darstellung des Rückgewinnungsverfahrens²⁰⁰

²⁰⁰ Quelle: in Anlehnung an Höllen, D. et al. (2014), S. 412.

Der Abbildung 30 ist zu entnehmen, dass die Nachbehandlung zur Rückgewinnung von (potenziell) kritischen Metallen (als Türkis hervorgehobenes Endprodukt) eine Filtration in mehreren Stufen mit unterschiedlichen Maschenweiten und eine nachgeschaltete Trocknung beinhaltet.

Den Ergebnissen der Analysen des Projektes RECOMET, sowie den Daten der derzeit laufenden Altlastensanierung in Kärnten durch das ferrodcont-Verfahren ist zu entnehmen, dass das angewendete Verfahren zur Reduktion von Cr(VI) durch Fe(0)-Granalien zielführend und effektiv ist. Die Ergebnisse zeigen, dass 100 % des giftigen Cr(VI) zum ungiftigen Cr(III) reduziert werden²⁰¹ und als Metall bei Bedarf wiedergewonnen werden kann. Dadurch, dass es sich bei Chrom um ein potenziell kritisches Metall handelt, das eine wirtschaftliche Bedeutung für Österreich hat, bietet sich das ferrodcont-Verfahren als aussichtsreiche Option im Bereich der Rückgewinnung von kritischen Metallen in Abwässern an.²⁰²

Ebenfalls ist den Ergebnissen zu entnehmen, dass diese Vorgehensweise nicht nur für Chrom, sondern auch für die meisten anderen (potenziell) kritischen Metallen eine effektive Methode darstellt. Das macht den Prozess von ferroDECONT vielseitig einsetzbar und trägt erheblich zur Ressourcenschonung bei.²⁰³

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung sind in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit weitere Aspekte zu bedenken. Die Gewinne der Menge an rückgewonnenem Chrom müssen die allfälligen Verfahrens- und Betriebskosten überschreiten, wodurch sowohl die Effektivität als auch die Wirtschaftlichkeit des Prozesses gewährleistet wird. Nach Rücksprache mit der Firma ferroDECONT stand die Wirtschaftlichkeit beim Projekt RECOMET nicht im Vordergrund, sondern in erster Linie die Effektivität des ferrodcont-Verfahrens zur Rückgewinnung von Metallen. Die Versuche liefen im Labor- und Technikumsmaßstab ab. Für eine fundierte Aussagen bzgl. der Wirtschaftlichkeit müssten die Versuche in größerem Maßstab durchgeführt werden, was eine höhere Schlammmenge zur Verwertung bedeuten würde. Im Zuge dessen müssten einerseits Schlammengen in diesen Mengen vorhanden sein und andererseits die gleichbleibende Qualität, also die Zusammensetzung, gewährleistet werden, damit ein aussagekräftiges Ergebnis in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit getätigt werden kann.

Die Rückgewinnung kann jedoch zu einer Kostenreduktion in der Aufreinigung führen, durch Minimierung der Entsorgungskosten, durch kostenneutrale Weitergabe oder Verkauf wertstoffhaltiger Schlämme. Dies hängt allerdings davon ab, welche Metalle sich im Schlamm befinden und wie hoch der Marktpreis dieser Metalle zum gegebenen Zeitpunkt ist.

3.5.2 Nutzung erneuerbarer Energie

Wie bereits im Kapitel 3.1.4 erläutert, entstehen bei der Produktion der benötigten Energie beim Prozess von ferroDECONT die meisten klimarelevanten

²⁰¹ Anmerkung: Cr(VI) befand sich nach dem Verfahren unterhalb der Bestimmungsgrenze

²⁰² vgl. Höllen, D. et al. (2014), S. 413.

²⁰³ vgl. Höllen, D. et al. (2014), S. 414.

Umwelteinwirkungen. Da diese nicht selbst produziert, sondern aus dem öffentlichen Netz bezogen wird, besteht hier nur eingeschränkt eine Möglichkeit, die Produktion des benötigten Stroms zu beeinflussen, z.B. über Abschluss von Verträgen mit Stromproduzenten die grüne Energie erzeugen. Eine Option, um den Bedarf aus dem öffentlichen Stromnetz zu reduzieren, wäre, die Installation einer Photovoltaik-Anlage, um den Strom oder einen Teil des benötigten Stroms vor Ort zu produzieren.

Somit wird bei günstigen Wetterbedingungen weniger vom öffentlichen Netz bezogen, wodurch die negativen Auswirkungen auf die Umwelt reduziert werden. Für eine realitätsgetreu Analyse müsste allerdings diese Option ganzheitlich betrachtet werden. Das heißt, bei der Bewertung der Einwirkungen auf die Umwelt, müsste auch hier die Produktion der Solarpaneele mit einbezogen werden, um zu verhindern, dass die Ergebnisse verfälscht werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Gesellschaft, Politik und Wirtschaft stehen vor großen Herausforderungen. Zunehmende Probleme und Krisen zwingen Organisationen, Lösungen zu finden und zu formulieren, um diesen entgegenzuwirken. Die SDGs wurden formuliert, um Unternehmen, Gesellschaft und Politik vor Augen zu führen, was getan werden muss, damit der Planet nachhaltig bestehen kann und die Menschen ein langes, gesundes und sicheres Leben führen können.

Die Firma ferroDECONT leistet ihren Beitrag zur Nachhaltigkeit, indem sie sich der Herausforderung stellt, den durch die Firma angewendeten Prozess auf die Klimarelevanz zu untersuchen und einem vergleichbaren Prozess gegenüberzustellen. Das Ziel dieser Arbeit ist einen Abwasserreinigungsprozess ausfindig zu machen, mit dem das Verfahren der Firma ferroDECONT verglichen werden kann. Des Weiteren wird sowohl beim Vergleichsprozess als auch beim Verfahren der Firma ferroDECONT unter festgelegten Rahmenbedingungen eine vollständige und detaillierte Lebenszyklusanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse werden einander gegenübergestellt, um Aussagen bzgl. Effizienz und Umweltbelastung zu formulieren.

In der theoretischen Ausarbeitung wurde eine Einführung in die SDGs gegeben, welche Ziele diese verfolgen und wie sie in ein Unternehmen aktiv integriert werden können. Es wurde näher auf die Nachhaltigkeit eingegangen, wie diese zu verstehen ist, wie sie in ein Unternehmen integriert und bewertet werden kann, um darauf aufbauend das nachhaltige Geschäftsmodell zu definieren. Ebenso wurde der Leitfaden zur Durchführung einer Lebenszyklusanalyse beschrieben, die im Zuge des praktischen Teils angewendet wurde.

Für die praktische Durchführung wurde eine Firma ausfindig gemacht, die in einem Bereich tätig ist, in dem Cr(VI)-Verbindungen im Abwasser reduziert werden müssen. Konkret wurde eine spanische Firma gefunden, die im Zuge ihres Produktionsprozesses Metallplatten verchromt. Dabei entsteht ein mit Cr(VI) angereichertes Abwasser, das es zu reinigen gilt. Aus der Arbeit von RODRIGUEZ ET AL. (2018), welche als Vergleichsprozess herangezogen wurde, ist zu entnehmen, dass zwei unterschiedliche Aufreinigungsprozesse untersucht wurden. Eine standardisierte Reinigung mittels Chemikalien und eine alternative Methode die in zwei Stufen abläuft, welche gleichzeitig den zum Vergleich herangezogenen Prozess darstellt. Das Verfahren der Firma ferroDECONT wird zurzeit im Bereich der Altlastensanierung eingesetzt, wo am Standort einer ehemaligen Gerberei das mit Cr(VI) belastete Grundwasser gereinigt wird. Bei beiden Firmen wird eine alternative Methode zur herkömmlichen Cr(VI) Reduktion mittels Chemikalien durchgeführt. Die zwei Reinigungsstufen des alternativen Prozesses aus der Vergleichsarbeit erfolgt mit jeweils unterschiedlichen Einsatzmaterialien, Durchflussmengen und Cr(VI) Konzentrationen. Aus diesem Grund wurde der Prozess von ferroDECONT mit jeder Reinigungsstufe des alternativen Vergleichsprozesses einzeln verglichen. Bei jedem Vergleich wurde eine Lebenszyklusanalyse durchgeführt und mittels ReCiPe-Methode bewertet.

Beim ersten Vergleich wurde die erste Reinigungsstufe des Vergleichsprozesses mit einer hohen Konzentrationsbelastung herangezogen, in der mit Hilfe von Chemikalien

eine Reduktion von Cr(VI) zu Cr(III) durchgeführt wurde. Bei der zweiten Reinigungsstufe des Vergleichsprozesses der spanischen Firma mit einer niedrigeren Konzentrationsbelastung, wurde eine neuwertige Methode zur Reduktion von Cr(VI) gewählt. Mit Hilfe von CPC-Modulen und UV-Strahlung, unter Zuhilfenahme von chemischen Katalysatoren, konnte eine Reduktion durchgeführt werden.

Zusammenfassend kann durch den Vergleich beider Prozesse mit dem ferrodcont-Verfahren gesagt werden, dass bei größeren Konzentrationen konventionelle Reduktionsmethoden, unter Zuhilfenahme von Chemikalien, effektiver und ökologischer sind als beim Prozess der Firma ferroDECONT. Im Gegensatz dazu ist bei niedrigeren Konzentrationen der Prozess der Firma ferroDECONT effektiver und ökologischer. Die Stärke der Firma ferroDECONT liegt in der Reinigung belasteter Wässer bei hohen Durchsätzen und niedriger Belastungskonzentration, was im Zuge des zweiten Vergleiches bewiesen werden konnte. Da die Effektivität beim Prozess von ferroDECONT vom Aufbau der Anlage abhängig ist (eine höhere Anzahl von Wirbelschichtkolonnen führen zu einer erhöhten Menge an reduziertem Cr(VI)), gibt es einen Spielraum nach oben. Das heißt, es könnten Überlegungen angestellt werden, die Anlage zu vergrößern, um sie in Bereichen mit höheren Konzentrationen anzuwenden.

Des Weiteren wäre es von Interesse, das ferrodcont-Verfahren im Sinne der recyclingorientierten Abwasserreinigung zur Rückgewinnung wichtiger Metalle einzusetzen. Es bedarf weiterer Untersuchungen im industriellen Maßstab, um sowohl die Effizienz als auch die Wirtschaftlichkeit in dieser Größenordnung zu untersuchen.

Herausforderungen im Zuge der praktischen Durchführung waren der Vergleich eines österreichischen Unternehmens mit einem spanischen die unter verschiedenen Rahmenbedingungen arbeiten, und die fehlenden Daten und Quellen, mit denen die Analyse in der Vergleichsarbeit durchgeführt wurden. Vor allem die fehlende Genauigkeit in Bezug auf die Nachbehandlung der flüssigen und festen Reststoffe in der Vergleichsarbeit erschwerten eine korrekte Gegenüberstellung. Dieser Problematik konnte unter Zuhilfenahme getroffener Annahmen und das Setzen einheitlicher Rahmenbedingungen entgegengewirkt werden.

Da der Prozess, der als Vergleich diente, bereits in der Arbeit von RODRIGUEZ ET AL. (2018) mittels Lebenszyklusanalyse untersucht wurde, erfolgte zur Überprüfung der Plausibilität eine Gegenüberstellung der Ergebnisse aus der Vergleichsarbeit mit jenen Ergebnissen der eigens wiederholten Analyse des Vergleichsprozesses.

Das Verfahren von ferroDECONT stellt sich als eine effiziente, kostengünstige und vor allem, unter bestimmten Rahmenbedingungen, ökologische Alternative zu herkömmlichen Abwasserreinigungsprozessen heraus, die das Ziel haben, den Gehalt an Schwermetallen im Abwasser zu reduzieren.

Anhand der durchgeführten Analyse und Vergleiche in dieser Arbeit, konnte die Klimarelevanz des ferrodcont-Verfahrens detailliert beschrieben und Optimierungspotenziale formuliert werden. Der Aspekt der Nachhaltigkeit wird durch die gewonnenen Erkenntnisse in das Unternehmen eingebracht, wodurch der Prozess von ferroDECONT im Sinne der SDGs einen Beitrag zu einer nachhaltigeren Zukunft leistet.

Literaturverzeichnis

- Abel, S.; Michelmann, J. (2020): Zukunft unter Klima-Unsicherheiten agil und nachhaltig gestalten. In: Wittpahl, V. (Hrsg.): Klima. Berlin: Springer. DOI 10.1007/978-3-662-62195-0_11.
- Andes, L. (2019): Methodensammlung zur Nachhaltigkeitsbewertung. Karlsruher Institut für Technologie KIT.
- Balderjahn, I.; Peyer, M. (2012): Soziales Konsumbewusstsein: Skalenentwicklung und Validierung. In: Roth, S. (Hrsg.); Corsten, H.: Nachhaltigkeit. Wiesbaden: Gabler Verlag. DOI 10.1007/978-3-8349-3746-9_5.
- Bechberger, M.; Thiele, Y.; Neumann, K. (2020): European Green Deal: Hebel für internationale Klima- und Wirtschaftsallianzen. In: Wittpahl, V. (Hrsg.): Klima. Berlin: Springer. DOI 10.1007/978-3-662-62195-0_4.
- Beskow, K.; Lundström, P.; Dupon, E. (2009): Granshot® iron granulation technology. In: Millenium Steel, 2009.
- Posch, W. (Hrsg.); Biedermann, H.; Vorbach, S. (2019): Industrial Life Cycle Management: Innovation durch Lebenszyklusdenken. Augsburg: Rainer Hampp Verlag. DOI 10.978.395710/3451.
- Blättel-Mink, B.; Hickler, T. (2021): Nachhaltige Entwicklung in einer Gesellschaft des Umbruchs – Zur Einführung“. In: Becker, H. (Hrsg.): Nachhaltige Entwicklung in einer Gesellschaft des Umbruchs. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. DOI 10.1007/978-3-658-31466-8_1.
- Bundeskanzleramt (2016): Nachhaltige Entwicklung - Agenda 2020 /SDGs. URL: <https://www.bundeskanzleramt.gv.at/themen/nachhaltige-entwicklung-agenda-2030.html>
- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2022): Bundes-Abfallwirtschaftsplan: Teil 1.
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2018): Definition: Kritische Rohstoffe und potenziell kritische Rohstoffe mit Bezug zu Österreich.
- Burckhardt, G. (2013): Einführung und Überblick. In: Burckhardt, G. (Hrsg): Corporate Social Responsibility - Mythen und Maßnahmen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. DOI 10.1007/978-3-658-02842-8_1.
- Colsmann, B. (2013): Nachhaltigkeitscontrolling: Strategien, Ziele, Umsetzung. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. DOI 10.1007/978-3-8349-3599-1_3.
- Corsten, H.; Roth, S. (2012): Nachhaltigkeit als integriertes Konzept. In: Roth, S. (Hrsg.): Nachhaltigkeit. Wiesbaden: Gabler Verlag. DOI 10.1007/978-3-8349-3746-9_1.
- Dudenredaktion (o.J.): "Haus" auf Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/193474/revision/970973>. (Zugriff: 31.07.2022).
- Ecoinvent (o. J.). URL: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent->

- database/geographies/#!/global. (Zugriff: 10.08.2022).
- Ecoinvent (o. J.). URL: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/system-models/#!/allocation>. (Zugriff: 10.08.2022)
- EU-Kommission (2021): Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2013/34/EU, Directive 2004/109/EC, Directive 2006/43/EC and Regulation (EU) No 537/2014, as regards corporate sustainability reporting. Pub. L. No. 2021/0104 (2021). Brüssel.
- ferroDECONT (Hrsg.) (2021): Groundwater Treatment Facility for Chromate: Ferrodecont®-Process.
- Fritsch, S.; Thiem, C.; Sartori, O. (2020): Anders denken und handeln – Bewusstsein für das Klima. In: Wittpahl, V. (Hrsg.): Klima. Berlin: Springer Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-662-62195-0_12.
- Funkl, E.; Tschandl, M.; Heinrich, J. W. (2012): Die Balanced Scorecard als Instrument im Umweltcontrolling. In: Posch, A. (Hrsg.): Integriertes Umweltcontrolling. Wiesbaden: Gabler Verlag. DOI 10.1007/978-3-8349-6844-9_10.
- Ganse, J.; Werhahn, F. ; Gschmack, S. (2012): Nachhaltigkeit im Supply ChainManagement. In: Controlling & Management, 56. Jg. 2012, Nr. 4. S. 260–65. DOI 10.1365/s12176-012-0403-9.
- Gasper, D.; Shah, A.; Tankha, S. (2019): The Framing of Sustainable Consumption and Production in SDG 12. In: Global Policy 10, Nr. S1, S. 83–95. DOI 10.1111/1758-5899.12592.
- Gastinger, K.; Gaggl, P. (2012): CSR als strategischer Managementansatz. In: Schneider, A. (Hrsg.): Corporate Social Responsibility. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-642-25399-7_16.
- Gelbmann, U.; Baumgartner, R. J. (2012): Strategische Implementierung von CSR in KMU. In: Schneider, A. (Hrsg.): Corporate Social Responsibility. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-642-25399-7_19.
- Germann, V.; Langergraber, G. (2022): Going Beyond Global Indicators—Policy Relevant Indicators for SDG 6 Targets in the Context of Austria. In: Sustainability 14, Nr. 3, 1647. DOI 10.3390/su14031647.
- Glinik, M.; Vorbach, S. (2019): Sustainable Business Models. In: Posch, W. (Hrsg.): Industrial Life Cycle Management. Augsburg: Rainer Hampp Verlag. DOI 10.978.395710/3451
- Gminder, C. U. (2006): Nachhaltigkeitsstrategien systemisch umsetzen: Exploration der Organisationsaufstellung als Managementmethode. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. ISBN 3-8350-0225-2
- Govindan, K.; Aditi; Darbari, J. D.; Kaul, A.; Jha, P. (2021): Structural Model for Analysis of Key Performance Indicators for Sustainable Manufacturer–Supplier Collaboration: A Grey-decision-making Trial and Evaluation Laboratory-based Approach. In: Business Strategy and the Environment 30, Nr. 4, S. 1702–22. DOI 10.1002/bse.2703.
- GRI (2018): GRI 101: Grundlagen. www.globalreporting.org. (Zugriff: 19.08.2022)
- GRI, United Nations Global Impact, und WBCSD (2015): SDG Compass - Leitfaden für

- Unternehmensaktivitäten zu den SDGs. <https://sdgcompass.org>.
- Jacobs, J. A.; Testa, S. M. (2005): Overview of Chromium (VI) in the Environment: Background and History. In: IETEG (2005): Chromium (VI) handbook. Boca Raton, Fla: CRC Press. ISBN 1-56670-608-4/05/\$0.00+\$1.50.
- H. C. v. (1713): *Sylvicultura Oeconomica*.
- Hasenmüller, M. (2013): Herausforderungen im Nachhaltigkeitsmanagement. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN 978-3-658-02695-0
- Hauff, M. v. (2012): Von der Ökologischen Ökonomie zur Industrial Ecology Science. In: Müller-Christ, G. (Hrsg.): Industrial Ecology Management. Wiesbaden: Gabler Verlag. DOI 10.1007/978-3-8349-6638-4_2.
- Hecker, F. (2012): Management-Philosophie. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 978-3-8349-3096-5.
- Hischier, R.; Weidema, B. (2010): Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods, St. Gallen.
- Hölln, D.; Sedlazeck, P.; Müller, P.; Mischitz, R.; Pomberger, R. (2014): Das ferroDECONT-Verfahren zur Altlastensanierung und recyclingorientierten Abwasserbehandlung. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 66, Nr. 11–12, S. 408–16. DOI 10.1007/s00506-014-0189-4.
- iPoint-systems GmbH: Umberto, Reutlingen.
- Isenmann, R. (2012): Von der Industrial Ecology Science zum Industrial Ecology Management. In: Müller-Christ, G. (Hrsg.): Industrial Ecology Management. Wiesbaden: Gabler Verlag. DOI 10.1007/978-3-8349-6638-4_3.
- Jasch, C. (2012): CSR und Berichterstattung. In: Schneider, A. (Hrsg.): Corporate Social Responsibility. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-642-25399-7_32.
- Jolliet, O.; Saadé-Sbeith, M.; Shaked, S.; Jolliet, A.; Crettaz, P. (2016): Environmental life cycle assessment. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-4398-8766-0
- Krauss, J. E.; Cisneros, A. J.; Requenai-Mora, M. (2022): Mapping Sustainable Development Goals 8, 9, 12, 13 and 15 through a decolonial lens: falling short of 'transforming world'. o.O: Springer. DOI 10.1007/s11625-022-01112-3.
- Kruppe, C.; Kühl, R. (2020): Nachhaltigkeit systematisch steuern. In: Controlling & Management Review, Nr. 3, S. 56–63. DOI 10.1007/s12176-020-0093-7.
- Küfeoğlu, S. (2022): Emerging Technologies. Sustainable Development Goals Series. Cham: Springer International Publishing. DOI 10.1007/978-3-031-07127-0_11.
- MacFeely, S. (2019): The Big (Data) Bang: Opportunities and Challenges for Compiling SDG Indicators. In: Global Policy, Nr. 10, S. 121–33. DOI 10.1111/1758-5899.12595.
- Melde, T. (2021): Was kann die Soziologie für die unternehmerische Nachhaltigkeit leisten?. In: SONA - Netzwerk Soziologie der Nachhaltigkeit (Hrsg.): Soziologie der Nachhaltigkeit. Bielfeld: transcript Verlag. ISBN: 978-3-8376-5199-7, S. 325 - 336.

- Möller, A.; Schaltegger, S. (2012): Die Sustainability Balanced Scorecard als Integrationsrahmen für BUIS“. In: Posch, A. (Hrsg.): Integriertes Umweltcontrolling. Wiesbaden: Gabler Verlag. DOI 10.1007/978-3-8349-6844-9_15.
- Montiel, I.; Cuervo-Cazurra, A.; Park, J.; Antolín-López, R.; Husted, B. W. (2021): Implementing the United Nations’ Sustainable Development Goals in International Business. In: Journal of International Business Studies, Nr. 52, S. 999–1030. DOI 10.1057/s41267-021-00445-y.
- Müller, G. (2012): Intelligente Objekte und Softwaredienste als Beitrag für ein nachhaltigeres Lieferkettenmanagement. In: Roth, S. (Hrsg.): Nachhaltigkeit. Wiesbaden: Gabler Verlag. DOI 10.1007/978-3-8349-3746-9_8.
- Müller-Christ, G. (2012): Vom Industrial Ecology Management zur Entwicklung nachhaltiger Gewerbegebiete. In: Müller-Christ, G. (Hrsg.): Industrial Ecology Management. Wiesbaden: Gabler Verlag. DOI 10.1007/978-3-8349-6638-4_4.
- Mycoo, M. A. (2018): Achieving SDG 6: Water Resources Sustainability in Caribbean Small Island Developing States through Improved Water Governance. In: Natural Resources Forum, Nr. 42, S. 54–68. DOI 10.1111/1477-8947.12141.
- Neuwahl, F.; Cusano, G.; Benavides, J. G.; Holbrook, S.; Roudier, S. (2019): Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). ISBN 978-92-76-12993-6.
- Nigl, T.; Rutrecht, B.; Altendorfer, M.; Scherhauser, S.; Meyer, I.; Sommer, M.; Beigl, P. (2021): Lithium-Ionen-Batterien – Kreislaufwirtschaftliche Herausforderungen am Ende des Lebenszyklus und im Recycling. In: BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte Vol. 166, Nr. 3, S. 144–49. DOI 10.1007/s00501-021-01087-1.
- Nikendei, C.; Bugaj, T. J.; Nikendei, F.; J. Kühl, S. J.; Kühl, M. (2020): Klimawandel: Ursachen, Folgen, Lösungsansätze und Implikationen für das Gesundheitswesen. DOI 10.1016/j.zefq.2020.07.008.
- Pakkan, S.; Sudhakar, C.; Tripathi, S.; Rao, M. (2022): A Correlation Study of Sustainable Development Goal (SDG) Interactions. In: Quality & Quantity. O.O: Springer. DOI 10.1007/s11135-022-01443-4.
- Pausweg, A. und Müller, P. (2020): Sanierung Altlast K22 ,Lederfabrik Dr. Hans Neuer. Perl-Vorbach, E.; Vorbach, S. (2012): Ökoinformationssystem Mödling: Analyse einer industriellen Symbiose. In: Müller-Christ, G. (Hrsg.): Industrial Ecology Management. Wiesbaden: Gabler Verlag. DOI 10.1007/978-3-8349-6638-4_20.
- Rauchbüchl, A.; Wimmer, M. (2013): Regulatorische Maßnahmen zur Reduktion von anthropogenen Spurenstoffen. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Vol. 65, Nr. 5–6, S. 162–69. DOI 10.1007/s00506-013-0078-2.
- Reineck, M.; Pelzeter, A.; Techmeier, I. (2013): Konzepte für eine Nachhaltige Entwicklung. In: Pelzeter, A. (Hrsg.): Nachhaltiges Facility Management. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-642-24891-7_2.
- Riphahn, R. T.; Schmidt, K. M. (2022): Nachhaltigkeit in Wirtschaft und Gesellschaft. In: Wirtschaftsdienst, Vol. 102, S. 328–30. DOI 10.1007/s10273-022-3181-9.

- Rodríguez, R.; Espada, J. J.; Gallardo, M.; Molina, R.; López-Muñoz, M. J. (2018): Life Cycle Assessment and Techno-Economic Evaluation of Alternatives for the Treatment of Wastewater in a Chrome-Plating Industry. In: *Journal of Cleaner Production*, Vol. 172, S. 2351–62. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.11.175.
- Schaefer, S. (2012): Nachhaltigkeitskommunikation aus der Perspektive des Controllings. In: Roth, S. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit*. Wiesbaden: Gabler Verlag. DOI 10.1007/978-3-8349-3746-9_13.
- Schallmo, D. R. A. (2013): *Geschäftsmodelle erfolgreich entwickeln und implementieren: mit Aufgaben und Kontrollfragen*. Berlin Heidelberg: Springer Gabler. ISBN 978-3-642-37993-2
- Schaltegger, S.; Zvezdov, D. (2012): Wie werden Nachhaltigkeitsinformationen gemanagt? Eine Exploration in führenden deutschen und britischen Unternehmen. In: Roth, S. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit*. Wiesbaden: Gabler Verlag. DOI 10.1007/978-3-8349-3746-9_14.
- Schmid, E.; Mitter, H.; Winiwarter, V.; Pröll, T. (2020): Management für eine nachhaltige Zukunftsgestaltung. In: Schmid, E. (Hrsg.): *Umwelt- und Bioressourcenmanagement für eine nachhaltige Zukunftsgestaltung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-662-60435-9_1.
- Schmidt, J.; Wehrle, S.; Darnhofer, I.; Riefler, P.; Wallnöfer, L. (2020): Nachhaltiges Wirtschaften und Unternehmensmanagement. In: Schmid, E. (Hrsg.): *Umwelt- und Bioressourcenmanagement für eine nachhaltige Zukunftsgestaltung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020. DOI 10.1007/978-3-662-60435-9_2.
- Schmidt, M. (2012): Material Flow Cost Accounting in der produzierenden Industrie. In: Christ-Müller, G. (Hrsg.): *Industrial Ecology Management*. Wiesbaden: Gabler Verlag. DOI 10.1007/978-3-8349-6638-4_15.
- Schmiedeknecht, H. M.; Wieland, J. (2012): ISO 26000, 7 Grundsätze, 6 Kernthemen. In: Schneider, A. (Hrsg.): *Corporate Social Responsibility*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-642-25399-7_17.
- Schnurbein, G. v. (2020): *Transitioning to Strong Partnerships for the Sustainable Development Goals*. ISBN 978-3-03897-882-1.
- SONA - Netzwerk Soziologie der Nachhaltigkeit (2021): *Soziologie der Nachhaltigkeit*. Bielefeld, Germany: transcript Verlag, 2021. DOI 10.14361/9783839451991.
- Sonnemann, G.; Gemechu, E. D.; Remmen, A.; Frydendal, J.; Jensen, A. A. (2015): Life Cycle Management: Implementing Sustainability in Business Practice. In: Sonnemann, G. (Hrsg.): *Life Cycle Management*. Dordrecht: Springer Netherlands. DOI 10.1007/978-94-017-7221-1_2.
- Statistik Austria (2020): *Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung in Österreich - SDG-Indikatorenbericht*. ISBN 978-3-903264-39-7
- Beckmann, V. (2021): *Transitioning to Sustainable Life on Land*. MDPI. DOI 10.3390/books978-3-03897-879-4.
- Tisdell, C. A. (2021): Biodiversity and the UN's Sustainable Development Goals. In: Beckmann, V. (Hrsg.): *Transitioning to sustainable life on land*, Vol. 15. ISBN

- 978-3-03897-878-7, S. 25-42.
- Tschandl, M. (2012): Perspektiven der Integration im Umweltcontrolling. In: Posch, A. (Hrsg.): Integriertes Umweltcontrolling. Wiesbaden: Gabler Verlag. DOI 10.1007/978-3-8349-6844-9_1.
- Tschiggerl, K. (2018): Potenziale von Lebenszyklusanalysen für die Produktentwicklung und -gestaltung. In: wbw-inform, Vol. 2, 2018, S. 5.
- Tulder, R. v. (2018): Business & Sustainable Development Goals - A Framework for Effective Corporate Involvement. Rotterdam School of Management, Erasmus University.
- Umweltbundesamt (2022): Branchenabhängiger Energieverbrauch des verarbeitenden Gewerbes. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltwirtschaft/industrie/branchenabhaengiger-energieverbrauch-des#gesunkene-und-gestiegene-primarenergieintensitat->, (Zugriff: 06.07.2022).
- Vahidi, E.; Fu Zhao, F. (2017): Environmental Life Cycle Assessment on the Separation of Rare Earth Oxides through Solvent Extraction. In: Journal of Environmental Management, Vol. 203, S. 255–63. DOI 10.1016/j.jenvman.2017.07.076.
- Verboven, H.; Vanherck, L. (2016): Sustainability Management of SMEs and the UN Sustainable Development Goals. In: Uwf UmweltWirtschaftsForum, Vol. 24, Nr. 2–3, S. 165–78. DOI 10.1007/s00550-016-0407-6.
- Vereinten Nationen (2015): Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung.
- Waldforst, S. (2007): Die Wirkung von Zielen auf die Arbeitsleistung von Akteuren: eine experimentelle Untersuchung. Gabler Edition Wissenschaft Research in Management Accounting & Control. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag. ISBN 978-3-8350-0674-4
- Weber, J. (2012): Nachhaltigkeit als Thema für Controller. In: Controlling & Management, Vol. 56, Nr. 4, S. 221–221. DOI 10.1365/s12176-012-0390-x.
- Wehrum, K.; Mainoo, M. (2013): Nachhaltigkeit in Management-Systemen — Stakeholder als Erfolgsfaktor. In: Controlling & Management Review, Vol. 57, Nr. 2, S. 58–65. DOI 10.1365/s12176-013-0734-1.
- Wimmer, R.; Drack, M.; Rehse, L. im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2004): Eignung und Anwendbarkeit von Bewertungsmethoden für nachhaltiges Wirtschaften. In: Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 14/2004.
- Wittpahl, V. (2020): Globale Erwärmung: Ist ein Kurswechsel möglich?. In: Wittpahl, V. (Hrsg.): Klima. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-662-62195-0_1.
- Zhou, Y.; Liu, G.; Chang, X.; Hong, Y. (2021): Top-down, Bottom-up or Outside-in? An Examination of Triadic Mechanisms on Firm Innovation in Chinese Firms. In: Asian Business & Management, Vol. 20, Nr. 1, S. 131–62. DOI 10.1057/s41291-019-00085-z.