

MASTER THESIS

**Ansätze zur Energie- und CO₂-Bilanzierung bei dem Bau von
Entwässerungssystemen**

Abgabedatum: 27.04.2021

Vorgelegt von: Stefan Dollhopf, 6059310

im Studiengang Bauingenieurwesen

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Ingo Weidlich

Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Dickhaut

I. Inhaltsverzeichnis

I.	Inhaltsverzeichnis	I
II.	Abbildungsverzeichnis	V
III.	Tabellenverzeichnis	VI
IV.	Abkürzungsverzeichnis	VI
1	Einleitung	1
2	Grundlagen	4
2.1	Siedlungsentwässerung und Abwassertechnik.....	4
2.2	Kanalisation und Kanalbau	6
2.2.1	Allgemein	6
2.2.2	Zustand des Kanalnetzes und Bedarfsprognose	6
2.2.3	Lage, Tiefenlage und Randbedingungen	7
2.3	Rohrleitungen.....	8
2.3.1	Allgemein	8
2.3.2	Beton/Stahlbeton Rohrleitungen	9
2.3.3	Kunststoffrohre.....	10
2.3.4	Steinzeugrohre	13
2.4	Schächte	14
2.4.1	Allgemein	14
2.4.2	Beton/Stahlbeton Fertigteile.....	15
2.4.3	Schachtabdeckungen.....	16
2.5	Die offene Bauweise im Kanalbau.....	17
2.5.1	Allgemein	17
2.5.2	Leitungsgraben und Verbau	17
2.5.3	Aushub und Verfüll-Baustoffe	18
2.5.4	Bauablauf.....	20

2.6	Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung	20
2.6.1	Allgemein	20
2.6.2	Mulden-Rigolen-Versickerung	23
2.7	Anforderungen an Entwässerungssysteme	25
2.8	Energie- und CO2 Bilanzierung	26
2.8.1	Nachhaltiges Bauen und Bewertungssysteme	26
2.8.2	Ökobilanz (Life-Cycle-Assessment)	27
2.8.3	Treibhauspotential (englisch Global Warming Potential GWP)	28
2.8.4	Primärenergiebedarf	29
2.8.5	DIN EN 15978 und ökologische Baudaten	30
2.9	Bestehende Bilanzierungen für Entwässerungssysteme	31
3	Bilanzierungsansätze für einen Schmutzwasserkanal	33
3.1	Allgemein	33
3.2	Zieldefinition	34
3.3	Bilanzrahmen	35
3.3.1	Indikatoren und Wirkungskategorien	35
3.3.2	Definition der Einheiten	35
3.3.3	Festlegung der Systemgrenzen	36
3.3.4	Lebenszyklusbetrachtung	37
3.4	Alternativen und Datengrundlage	38
3.4.1	Rohrleitungen	38
3.4.2	Schächte	39
3.4.3	Mineralische Baustoffe	40
3.5	Bilanzierungsansätze	41
3.5.1	Massenermittlung	41

3.5.2	Herstellungsphase (Module A1 bis A3 - „cradle to gate“ für Bauprodukte)....	43
3.5.3	Errichtungsphase (Modul A4 - „Transport zur Baustelle“)	44
3.5.4	Errichtungsphase (Modul A5 - „Errichtung/Einbau“)	46
3.5.5	Entsorgungsphase und Recyclingpotential (Module C1, C2, C3 und D)	52
3.6	Berechnungsmethode und Automatisierung	53
3.7	Ergebnisse und Diskussion	54
3.7.1	Bilanzierung der Rohrleitungen (ohne Erd- und Oberbau sowie Schächte)	54
3.7.2	Bilanzierung Schmutzwasserkanalisation	57
3.8	Zusammenfassung und Ausblick	60
4	Bilanzierungsansätze für ein Mulden-Rigolen Element	62
4.1	Allgemein	62
4.2	Zieldefinition	63
4.3	Lage, Topografie und Bodenverhältnisse	63
4.4	Planung und Vorbemessung	64
4.5	Bilanzrahmen	68
4.6	Alternativen und Datengrundlage	70
4.7	Bilanzierungsansätze	72
4.7.1	Herstellungsphase (Module A1 bis A3 - „cradle to gate“ für Bestandteile)	72
4.7.2	Errichtungsphase (Modul A4 - „Transport zur Baustelle“)	72
4.7.3	Errichtungsphase (Modul A5 - „Errichtung/Einbau“)	73
4.7.4	Nutzungsphase (Modul B2 - „Instandhaltung“)	76
4.7.5	Entsorgungsphase und Recyclingpotential (Module C2, C3 und D)	76
4.8	Ergebnisse und Diskussion	77
4.9	Zusammenfassung und Ausblick	78
5	Zusammenfassung und Ausblick	80

Inhalt

6	Verwendete Gesetze, Normen und Regelwerke.....	82
7	Literaturverzeichnis	84

Anlagen:

Bilanzierung Schmutzwasserkanal:

3_1	Datengrundlage	4 Seiten
3_2	Bilanzierung Rohrwerkstoffe	6 Seiten
3_3	Vergleichende Bilanzierung Rohre	5 Seiten
3_4	Vergleichende Bilanzierung Gesamt	6 Seiten
3_5	Programmauszug	2 Seiten

Bilanzierung Mulden-Rigolen Element:

4_1	Übersichtsplan	1 Seiten
4_2	Bohrprofile	3 Seiten
4_3	Systemskizzen	2 Seiten
4_4	Vorbemessung nach DWA-A 138	4 Seiten
4_5	Datengrundlage	4 Seiten
4_6	Vergleichende Bilanzierung	3 Seiten

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel für Schacht aus Beton-Fertigteilen	16
Abbildung 2: Darstellung Leitungsgraben	18
Abbildung 3: Längsschnitt durch Mulden-Rigolen Element	24
Abbildung 4: Lebenszyklusphasen und Module für Gebäude nach DIN EN 15975	30
Abbildung 5: Festlegung äußere Systemgrenze am beispielhaften SW-Sammelkanal.....	36
Abbildung 6: Lebenszyklusbetrachtung des Produktsystems (Schmutzwasser-Kanal)	38
Abbildung 7: Ablauf und Kategorien der Massenermittlung	42
Abbildung 8: Ermittlung der Umweltwirkungen für Module A1 bis A3	43
Abbildung 9: Ermittlung der Umweltwirkungen für Modul A4.....	44
Abbildung 10: Ermittlung GWP/Energiebedarf für Modul A5.....	47
Abbildung 11: Ergebnisauszug Vergleichende Bilanzierung - DN 300	55
Abbildung 12: Ergebnisauszug Vergleichende Bilanzierung – DN 300 (Lebenszyklen).....	56
Abbildung 13: Ergebnisauszug Gesamt Bilanzierung - DN 300	58
Abbildung 14: Ergebnisauszug Gesamt Bilanzierung -DN 300 (Lebenszyklen)	59
Abbildung 15: Ergebnisauszug Gesamt Bilanzierung - DN 300 (Komponenten).....	60
Abbildung 16: Übersicht Baumaßnahme Königstraße	63
Abbildung 17: Beispielhafte Lage der Grünflächen, Ausschnitt aus	65
Abbildung 18: Lebenszyklusbetrachtung des Produktsystems (Mulden-Rigolen).....	69
Abbildung 19: Variantenvergleich Mulden-Rigole bzgl. GWP und Primärenergiebedarf.....	78

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über gewählte Produkte und Datengrundlagen für Rohrleitungen.....	39
Tabelle 2: Übersicht über gewählte Produkte und Datengrundlagen für Schachtbauteile.....	40
Tabelle 3: Übersicht über gewählte Produkte und Datengrundlagen für min. Baustoffe.....	41
Tabelle 4: Mittlere Transportentfernungen der Bauprodukte zum Einbauort.....	46
Tabelle 5: Übersicht Hauptbauleistungen.....	47
Tabelle 6: Übersicht der gewählten Bau-Produkte und Datengrundlagen.....	72
Tabelle 7: Mittlere Transportentfernungen der Baustoffe zum Einbauort (MRE).....	73
Tabelle 8: Übersicht Hauptbauleistungen Mulden-Rigolen Element.....	73

IV. Abkürzungsverzeichnis

AD	Außendurchmesser
AHP	Analytischer Entscheidungsprozess (englisch Analytic hierarchy process)
ATV	Abwassertechnische Vereinigung e.V.
BMI	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BSK	Biogene Schwefelsäure-Korrosion
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DN	Nennweite (französisch diamètre nominal)
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
EN	Europäische Norm
EPD	Umweltproduktdeklaration (englisch Environmental Product Declaration)
FHH	Freie und Hansestadt Hamburg
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
GSTT	German Society for trenchless Technology e. V.

GWP	Treibhausgaspotenzial (englisch Global Warming Potential)
ID	Innendurchmesser
ISO	Internationale Organisation für Normung (griechisch ἴσος isos)
KRV	Kunststoffrohrverband e.V.
LAGA	Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LCA	Ökobilanzierung (englisch Life-Cycle-Assessment)
MFA	Stoffstromanalyse (englisch Material Flow Analysis)
MIRO	Bundesverband Mineralische Rohstoffe e. V.
ND	Nenndurchmesser
PE-HD	Polyethylen hoher Dichte
PP	Polypropylen
PVC-U	Polyvinylchlorid weichmacherfrei
SN	Nennringsteifigkeit (englisch stiffness numb)
SW	Schmutzwasser
TEPPFA	Europäischer Kunststoffrohrverband (englisch The European Plastic Pipes and Fittings Association)
TP	Vollsickerrohr (englisch totally perforated pipe)
UP	Vollwandrohr (englisch unperforated)
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

1 Einleitung

Der anthropogene Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen für unsere und zukünftige Generationen. Um die weitere Erderwärmung zu begrenzen, müssen in allen Sektoren CO₂-Emissionen reduziert und Ressourcen nachhaltig eingesetzt werden. In Deutschland ermöglichen Bewertungsverfahren, wie das Bewertungssystem nachhaltiges Bauen, eine Berechnung und Bewertung von Umweltwirkungen im Bau-Sektor, jedoch beschränkt sich dies meist auf den Bau und die Nutzung von Gebäuden. Dies gibt den Anlass dazu, ergänzend auch die Herstellung von Infrastrukturbauwerken zu untersuchen.

Entwässerungssysteme bieten dafür ein geeignetes Forschungsfeld, denn Hauptbestandteile, wie beispielsweise Rohrleitungen, können mit Bauprodukten aus Kunststoffen aber auch mit Bauprodukten aus mineralischen Baustoffen, wie Steinzeug und Beton, hergestellt werden. Die unterschiedlichen Herstellungsverfahren, die verschiedenen Eigenschaften der Werkstoffe und die Auswirkungen auf den Bauablauf, machen dies zu einer interessanten Untersuchung, da nur eine gesamtheitliche Betrachtung des Lebenszyklus, Aufschluss über CO₂-Emissionen und den gesamten Primärenergiebedarf gibt.

Durch die zunehmende Urbanisierung besteht in der Branche auch zukünftig ein anhaltender Baubedarf durch Erschließungsmaßnahmen sowie den Umbau, die Vergrößerung und Erneuerung der bestehenden Entwässerungssysteme. Dabei ist von Vorteil, dass beim Bau von Entwässerungssystemen öffentliche Auftraggeber als Bauherren fungieren, die mittels ihrer Vorbild-Funktion neue Maßstäbe bei der Verwendung von ökologisch sinnvollen Baustoffen und Bauweisen setzen können. Um die CO₂-Emissionen und den gesamten Energiebedarf von Entwässerungssystemen zu reduzieren, müssen jedoch dafür geeignete Baustoffe und Bauweisen identifiziert werden. Es stellt sich deshalb die Frage:

„Wie wirkt sich die Wahl der Baustoffe und der Baubetrieb auf das Treibhauspotential und den Primärenergiebedarf aus, der bei dem Bau von Entwässerungssystemen, bei einer gesamtheitlichen Betrachtung des Lebenszyklus anfällt?“

Ziel dieser Arbeit ist demnach die Entwicklung von Bilanzierungsansätzen, welche eine Berechnung des Treibhauspotentials und des gesamten Primärenergiebedarfs von Entwässerungssystemen ermöglichen und diese in einer praktischen Anwendung zu erproben.

Mit der Modellrechnung werden typische Baustoffe und -produkte hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen bewertet und verglichen. Dies bedarf einer Berücksichtigung der maßgeblichen Prozesse, von der Herstellung der Bauprodukte, über die Transporte und Errichtung auf der Baustelle, bis hin zum Rückbau und der Entsorgung. Die Bilanzierungen basieren deshalb auf der Lebenszyklusbetrachtung und werden in Anlehnung an die Methode der Ökobilanzierung erstellt. Dazu werden technische und ökologische Baudaten zusammengeführt und mit baubetrieblichen Ansätzen ergänzt. Im Mittelpunkt der Arbeit steht damit der ökologische Teilaspekt der Nachhaltigkeitsbetrachtung von Baumaßnahmen und die Verknüpfung von Baustoffdaten mit der baubetrieblichen Kalkulation, stellt einen Teil des Building-Information-Modelling (BIM) dar. Deshalb werden in der Arbeit hier zwei bedeutende Themenbereiche vereint.

In den Grundlagen wird zunächst von der Siedlungsentwässerung bis hin zu den Entwässerungsverfahren in die Thematik eingeführt und im Weiteren der Fokus auf die Kanalisation und den Kanalbau gelegt. Es werden die vielfältigen Komponenten der Kanalisation, aber auch der Zustand, der zukünftige Bedarf und die Randbedingungen beleuchtet. Dies dient dazu den Betrachtungsrahmen hinsichtlich der Baustoffe, Bauweisen und Randbedingungen für die Bilanzierung abzustecken.

Um den Gesamtblick auf Entwässerungssysteme zu erweitern, wird auch die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung berücksichtigt, da diese einen bedeutenden Teil der integralen Siedlungsentwässerung darstellt. Im Weiteren werden Grundlagen zur Ökobilanzierung aufgeführt und die einschlägigen Methoden und Regelwerke der ökologischen Bilanzierung im Baubereich vorgestellt. Dadurch können Begrifflichkeiten festgelegt und eine systematische Vorgehensweise bei den Bilanzierungen gewährleistet werden. Anhand bestehender Bilanzierungen, von Entwässerungssystemen, werden bereits vorab wichtige Teilbereiche identifiziert. Die Grundlagen werden anhand einer Recherche der einschlägigen Literatur, der DIN- und DWA-Regelwerke sowie aktueller Fachartikel zum Themenbereich bearbeitet.

Der Hauptteil beinhaltet Bilanzierungsansätze für zwei Entwässerungssysteme. Diese werden in Anlehnung an die DIN EN ISO 14040 und in Anlehnung an die DIN EN 15978 erstellt. Damit handelt es sich um in sich geschlossene Teile mit Zieldefinition, Bilanzierung, Ergebnissen, Diskussion und abschließender Zusammenfassung.

Die erste Bilanzierung umfasst den Themenbereich der Schmutzwasserkanäle und vergleicht verschiedene Rohrwerkstoffe, wie Beton, Steinzeug und Kunststoff.

Hierfür werden zunächst der Betrachtungsrahmen und die Systemgrenzen definiert und daraufhin Ansätze und Annahmen für die jeweiligen Lebenszyklusphasen entwickelt. Grundlage dafür ist ein umfangreicher Bauteilkatalog, der gängige Bauprodukte enthält und eine Anwendung der Ansätze, für viele Kanalsysteme ermöglicht. Die Bilanzierung wird zunächst gesondert für Rohrleitungen durchgeführt, um den Vergleich der Rohrwerkstoffe hervorzuheben. Zur Vervollständigung wird die Bilanzierung um den Erd- und Oberbau und um einen Schacht ergänzt. Zusätzlich wird ein Berechnungsprogramm entwickelt, das die Anwendung der Bilanzierungsansätze für Kanalabschnitte mit bis zu 20 Haltungen ermöglicht und als Planungstool für die Mengenermittlung und Bilanzierung von Kanalnetzen eingesetzt werden kann und damit den BIM-Anteil der Arbeit hervorhebt.

Die zweite Bilanzierung umfasst zwei Varianten von Mulden-Rigolen Elementen, die als mögliche Entwässerungssysteme für den Umbau der Königstraße in Hamburg entwickelt werden. Es werden Konstruktionslösungen mit einer konventionellen Kies-Rigole und einer Ausführung mit Kunststoff-Rigolen bilanziert und verglichen. Der Entwurf und die Vorbemessung der Mulden-Rigolen Elemente erfolgt gemäß dem DWA Arbeitsblatt A-138. Die weitere Vorgehensweise entspricht der ersten Bilanzierung, jedoch werden konkrete Randbedingungen einer realen Baumaßnahme erfasst.

Abschließend werden die Arbeit und die erzielten Ergebnisse sowie Erkenntnisse der Bilanzierungen zusammengefasst dargestellt und ein weiterer Ausblick zum Themenbereich gegeben.

2 Grundlagen

2.1 Siedlungsentwässerung und Abwassertechnik

Die Siedlungsentwässerung beschreibt den Umgang mit anfallendem Wasser innerhalb bebauter Gebiete. Durch die Ableitung und Reinigung von Abwässern und dem Management von Niederschlagswasser, schützt die Siedlungsentwässerung die Bevölkerung vor Überflutung und trägt maßgeblich zur Gesundheit der Population sowie dem Erhalt von lebensnotwendigen Gewässern bei (Barjenbruch, 2015, S. 691-692).

Ein funktionierendes Entwässerungssystem wird in unserer Gesellschaft als Grundbedürfnis und als gegeben wahrgenommen. Dabei nehmen die Anforderungen an gute Entwässerungssysteme hinsichtlich wachsender Metropolregionen, einer zunehmenden Versiegelung der Böden und der Problematik des Klimawandels stetig zu. Neben den Ansprüchen an die Funktionalität und die Wirtschaftlichkeit, rücken zunehmend Kriterien der Nachhaltigkeit in den Fokus. Dies beinhaltet Themen, wie die dezentrale Bewirtschaftung, Dauerhaftigkeit von Systemen sowie lokale und globale Umweltwirkungen diskutiert. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, steht eine Vielzahl von Technologien zur Umsetzung der Siedlungsentwässerung zu Verfügung.

Der Begriff Abwassertechnik bezeichnet den Einsatz von technischen oder naturnahen Anlagen zur Sammlung, Ableitung, Behandlung und Beseitigung von Abwässern. Grundlegend für die Wahl der Technologien sind die Art bzw. der Ursprung und die Menge des anfallenden Abwassers. Die DIN EN 16323 kategorisiert Abwässer nach Ursprung und der Beschaffenheit und dabei findet eine grundlegende Unterscheidung statt, nach denen sich auch die verschiedenen Entwässerungsverfahren (vgl. Abschnitt 2.2) gliedern:

Schmutzwasser

Der Ursprung des Schmutzwassers lässt Rückschlüsse auf die Beschaffenheit und die anfallende Menge zu. So wird nach häuslichem Schmutzwasser, industriellem Abwasser und Fremdwasser unterschieden. Häusliches Schmutzwasser fällt beim täglichen Verbrauch von Trinkwasser in den privaten Haushalten an. Der Pro-Kopf-Wasserverbrauch hängt von Faktoren wie beispielsweise Siedlungsstruktur und Lebensgewohnheiten ab und unterliegt einer zeitlichen Schwankung bedingt durch den Tagesverlauf (Barjenbruch, 2015, S. 972-973). Auch bei der Beschaffenheit des Abwassers liegen große Unterschiede vor.

Neben organischer Belastung durch Eiweiße, Fette etc. befinden sich auch Salze wie Ammonium und Phosphor im häuslichen Abwasser (Barjenbruch, 2015, S. 979). Industrielles Abwasser fällt unter anderem in Arbeitsprozessen im gewerblichen und industriellen Bereich an. Dabei können große Abwassermengen und starke Verunreinigungen des Abwassers auftreten. Die Schmutzwasserfracht ist deshalb wesentlich durch die Bebauungsstruktur geprägt. (Barjenbruch, 2015, S. 982)

Fremdwasser umfasst nach DIN 4045 eindringendes Wasser, welches nicht gezielt in die (Schmutzwasser-) Kanäle zugeführt wird. Der Fremdwasserzuschlag kann nicht pauschalisiert werden, da er maßgeblich vom Zustand des Kanalnetzes abhängt (DWA, 2003, S. 6). Die Summe der genannten Abwässer fällt unabhängig von Niederschlagsereignissen ab, und wird deshalb als Trockenwetterabfluss bezeichnet.

Niederschlagswasser

Niederschlagswasser fällt bei Niederschlagsereignissen innerhalb bebauter Gebiete, durch mehr oder weniger versiegelte Flächen, an. Nach §54 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG, 2009) ist auch dieses Wasser als Abwasser deklariert. Der Regenwasserabfluss hängt von der Intensität des Niederschlagsereignis, dem Einzugsgebiet, den örtlichen Gegebenheiten (Bebauungsstruktur, Topografie, Art der berechneten Fläche) und dem Versiegelungsgrad ab (Barjenbruch, 2015, S. 976). Bei Starkregenereignissen treten, innerhalb bebauter Gebiete, große Abflussspitzen auf, die zu einer starken hydraulischen Belastung der Entwässerungssysteme führen. Meist liegt auch eine qualitative Belastung, bedingt durch die Beschaffenheit der Oberflächen vor

Beim Umgang mit Niederschlagswasser erlangt die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung gegenwärtig einen immer höheren Stellenwert (Umwelt Bundesamt, 2019). Ziel der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung ist ein lokaler, naturnaher Wasserhaushalt, mittels Verdunstung, Versickerung und Rückhalt (vgl. Abschnitt 2.6). Zusammenfassend fallen in bebauten Gebieten stark schwankende Mengen von Abwasser mit unterschiedlichem Verunreinigungsgrad an. Regenwasser sollte nach Möglichkeit dem lokalen Wasserhaushalt zugeführt oder getrennt von weiteren Abwässern gesammelt werden. Zum Transport oder zur Behandlung der Abwässer kommen unterschiedliche Entwässerungssysteme und Verfahren zum Einsatz.

2.2 Kanalisation und Kanalbau

2.2.1 Allgemein

Die Kanalisation dient als technische Anlage zur Sammlung und Transport der Abwässer in Siedlungsstrukturen. Mitte bis Ende des 20. Jahrhunderts war es auch noch üblich Schmutzwässer über offene Kanäle (z.B. Emscher Kanal) abzuleiten, was Beeinträchtigungen für Mensch und Umwelt zur Folge hatte (Emschergenossenschaft/Lippeverband, 2013, S. 8). Heutzutage wird der Großteil der Abwässer über unterirdische Kanäle gesammelt und abtransportiert.

Im Trennverfahren wird Schmutzwasser getrennt vom Niederschlagswasser gesammelt. Im Gegensatz dazu, werden im Mischverfahren diese Abwässer in einem gemeinsamen System gesammelt und abgeleitet. Demnach gibt es gegenwärtig Schmutzwasser-, Regenwasser- und Mischwasserkanäle. Mit dem 2010 in Kraft getretenen WHG ist die Trennung von Schmutzwasser und Niederschlagswassers, nach § 55 Abs. 2 WHG, gesetzlich vorgeschrieben:

„Niederschlagswasser soll ortsnah versickert, verrieselt oder direkt oder über eine Kanalisation ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer eingeleitet werden [...]“.

Dies bedeutet, dass das Trennverfahren zur Entwässerung von neu bebauten Gebieten gesetzlich vorgeschrieben ist und auch im Rahmen von Umbaumaßnahmen bei Mischwasserkanälen zum Tragen kommt.

2.2.2 Zustand des Kanalnetzes und Bedarfsprognose

Nach Angaben des statistischen Bundesamtes hat das öffentliche Kanalnetz in Deutschland eine Gesamtlänge von 594.335 km (Statistisches Bundesamt, 2018, S. 20). Den größten Anteil, mit 246.699 km Länge, verbuchen die Mischwasserkanäle, gefolgt von den Schmutzwasserkanälen mit einer Länge von 214.280 km und den Regenwasserkanälen mit 133.355 km Länge (Statistisches Bundesamt, 2018, S. 20). Daraus ist ersichtlich, dass immer noch ein großer Teil der Entwässerungssysteme im Mischverfahren betrieben wird.

Um einen Gesamtüberblick über den Zustand des Kanalnetzes zu erhalten, führt die DWA in regelmäßigen Abständen Befragungen bei den Kanalisationsbetreibern bzw. Trägern durch und veröffentlicht die Ergebnisse in dem Bericht „Zustand der Kanalisation“. Dabei ergeben die Hochrechnungen, dass etwa 19 % des Kanalnetzes kurz- bis mittelfristig sanierungsbedürftig sind (DWA, 2020d, S. 7).

Bei den Sanierungsmaßnahmen schlagen sich die Erneuerungen, also der Aus- und Neubau der Kanalhaltungen, mit einem Anteil von 24 % zu buche (DWA, 2020d, S. 8). Durch den Zustand der Kanalisation und dem Erneuerungsanteil lässt sich ein stetiger Bau-Bedarf für die kommenden Jahre ableiten. Neben den Aufwendungen für Sanierungen trägt auch der Umbau der Entwässerungssysteme vom Misch- zum Trennsystem dazu bei (Güteschutz Kanalbau, 2019, S. 7).

Der stetige und zukünftig noch zunehmende Bedarf des Kanalbaus lässt sich auch anhand der Umsätze der Branche des Rohrleitungstief-, Brunnen- und Kläranlagenbaus belegen. Diese stiegen von 2015 bis 2018 um 20,2 % (Statistisches Bundesamt, 2019, S. 585). Trotz stagnierendem Wachstum, bedingt durch die Covid-19 Pandemie, werden der Branche für das Jahr 2020 ein Umsatz von 6,7 Mrd. € und deutliche Umsatzsteigerungen in den kommenden Jahren prognostiziert (Statista, 2020).

2.2.3 Lage, Tiefenlage und Randbedingungen

Die Kanalisation teilt sich den unterirdischen Raum mit vielen weiteren Leitungen, Bauwerken und Einrichtungen. So spiegelt sich die Komplexität der Bebauungsstruktur auch in der unterirdischen Infrastruktur wider. Die Lage unterirdischer Leitungen ist in der DIN 1998 (DIN, 2018a) geregelt. Diese sieht eine Unterbringung der Versorgungsleitungen wie Gas, Wasser-, Strom- und Fernmeldeleitungen im Bereich der Gehwege vor, während Abwasserleitungen im Fahrbahnbereich verortet sind (DIN, 2018a, S. 6). Dies wird neben betriebstechnischen Aspekten, auch mit den meist großen Querschnitten der Abwasserkanäle begründet (ATV, 1994, S. 442 - 443).

Die Lage von Abwasser- und Regenwasserkanälen verläuft in unterschiedlichen Höhenlagen, was zur Entkoppelung der Entsorgungsträger führt. Die Höhe der abgehenden Abwasser Hausanschlussleitung befindet sich meist auf Kellerniveau, deshalb beginnen die ersten Haltungen der Schmutzwasserkanäle auf einer üblichen Tiefenlage von etwa 3,0 bis 4,0 m Tiefe (ATV, 1994, S. 445). Regenwasserkanäle werden in der Regel höher verlegt, da die Einleitungen über die Oberflächen erfolgen. Hier sind die Mindestabstände der Überdeckung einzuhalten, die eine Sicherheit gegenüber Bodenfrost beinhalten. Die Anfangshaltungen können je nach Höhe der Einleitung bereits in Tiefenlagen von ca. 1,5 m verlegt werden. (ATV, 1994, S. 443).

Die genannten Tiefenlagen sind jedoch, wie die örtliche Lage des Kanals, abhängig von weiteren Infrastrukturen und werden durch die Komplexität des bebauten, unterirdischen Raums beeinflusst.

2.3 Rohrleitungen

2.3.1 Allgemein

Das Herzstück der Kanalisation bilden die Kanalhaltungen, also die linearen Entwässerungseinrichtungen zum Abtransport des anfallenden Abwassers. Eine „Haltung“ wird nach DIN EN 16323 (DIN, 2014) als Leitungsabschnitt zwischen zwei Knotenpunkten definiert, beispielsweise zwischen zwei Schächten oder anderen Bauwerken der Kanalisation. Im Regelfall werden Kanäle als Freispiegelsystem betrieben, hierbei erfolgt die Entwässerung mit Hilfe der Schwerkraft unter einer Teilfüllung der Rohrleitungen (Stein & Stein, 2014, S. 5).

Die Abmessung, Materialien und der Querschnitt der Kanalhaltungen können unterschiedlicher Ausführung sein, dies ist maßgeblich von der Funktion im Leitungsnetz und den damit verbundenen, anfallenden Abflussmengen abhängig. Das Spektrum der Kanäle reicht von der einfachen Hausanschlussleitung aus Kunststoff bis hin zu den größten Sammelkanälen aus Mauerwerk oder Stahlbeton mit Querschnittsflächen von mehreren Quadratmetern (Hamburg Wasser, 2020).

Die am häufigsten verwendete Querschnittsform ist der Kreisquerschnitt. Der Anteil des Kreisquerschnitts liegt, nach den Hochrechnung, bei etwa 87% (ATV, 1998, S. 11). Neben der Querschnittsform sind auch die Abmessungen der Rohrleitung von großer Bedeutung. Das Arbeitsplatt DWA-A 118 (DWA, 2006b) nennt Mindestdurchmesser für die Rohrleitungen, um Rohrleitungsverschlüsse vorzubeugen und den Betriebsdienst zu gewährleisten. So beträgt der Mindestdurchmesser bei Schmutzwasserkanälen DN 250 und bei Regenwasserkanälen DN 300 (DWA, 2006b, S. 10). Generell ist zur Verteilung der Nennweiten zu sagen, dass der Großteil, ca. 89 % des Leitungsnetzes, aus Leitungen mit einem Durchmesser $DN \leq 800$ besteht (ATV, 1998, S. 14).

Die Haltungen bestehen meist aus vorgefertigten Rohren, die auf der Baustelle zusammengeslossen werden. Die verschiedenen Rohrwerkstoffe weisen unterschiedliche Eigenschaften, wie beispielsweise Wandrauigkeiten, Gewicht, Festigkeiten und Beständigkeit gegen chemische Angriffe auf und wirken sich auch auf den Bauprozess aus.

Die Wahl des Rohrwerkstoffs hängt von verschiedenen Faktoren, wie zum Beispiel der Größe der Rohrleitung, der Beschaffenheit des Abwassers und Randbedingungen wie der Überdeckungshöhe und den auftretenden Lasten ab.

Laut DWA-Umfrage sind die am meisten verwendeten Rohrwerkstoffe Beton bzw. Stahlbeton, mit einem Anteil von 39,3 %, Steinzeug mit einem Anteil von 30,8 % und Kunststoff mit anteilig 17,7 % (DWA, 2020d, S. 5). Anhand der vergangenen Umfragen ist ein stetiger Zuwachs beim Anteil der Kunststoffrohre zu verzeichnen (DWA, 2016, S. 11). Daneben gibt es auch zahlreiche weitere Rohrwerkstoffe, wie beispielsweise Glasfaserverstärkte- Kunststoffe (GFK) und Verbundrohre aus Kunststoff und Beton. Um den Bearbeitungsrahmen zu begrenzen, werden folgend die am meisten verwendeten Werkstoffe vorgestellt.

2.3.2 Beton/Stahlbeton Rohrleitungen

Beton ist der derzeit am häufigsten eingesetzte Rohrwerkstoff (DWA, 2016, S. 5). Die Kanalhaltungen können mit werkseitig hergestellten Stahlbeton- bzw. Beton-Fertigteiltröhen oder in Ortbetonbauweise errichtet werden. Überwiegend werden jedoch die Fertigteillösungen eingesetzt, wobei zwischen bewehrten und unbewehrten Röhren unterschieden wird.

Betonrohre

Betonrohre weisen eine große Steifigkeit auf und können deshalb auch bei hohen Lasten eingesetzt werden. Das Bauteilversagen zeichnet sich durch einen Bruch des Rohres bei einer Grenzlasterlast aus, deshalb werden Betonrohre auch als biegesteife Röhre bezeichnet. Je nach dem Widerstand gegen chemische Angriffe wird in Typ 1 und Typ 2 unterschieden. In Deutschland kommen für Abwasserkanäle (auch Niederschlagswasser) generell nur Rohrleitungen vom Typ 2 zur Anwendung. (Stein & Stein, 2014, S. 109)

Betonrohre des Typ 2 bestehen, gemäß DIN V 1201 (DIN, 2004) aus hochwertig verarbeitetem Beton der Druckfestigkeitsklasse C 35/45. Der Beton wird aus den Betonwerkstoffen Wasser, Zement, Gesteinskörnungen (Zuschlagsstoffen) und den betontypischen Zusatzmitteln und Zusatzstoffen hergestellt. Die Röhre erhärten innerhalb der Schalung, deshalb kann von einer energiesparsamen Fertigungsweise gesprochen werden. In den Fertigteiltröhenwerken werden die Röhre in üblichen Regelbaulängen von 2,0 m, 2,5 m oder 3,0 m hergestellt und zum Einbauort transportiert (Stein & Stein, 2014, S. 115).

Das Lieferprogramm der kreisrunden Fertigteil-Betonrohre nach DIN V 1201 reicht vom kleinen Durchmesser DN 100 mm bis zu großen Querschnitten mit einem Durchmesser bis zu DN 1500 mm (Stein & Stein, 2014, S. 116).

Neben der guten Beständigkeit gegen Lasteinwirkungen und dem vielfältigen Einsatzbereich, ist auch die gute Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe und die hohe Anzahl der Produktionsstandorte von Vorteil (Körkemeyer, Werkstoff Beton für Rohre, 2016, S. 305). Nach Ende der Nutzungszeit oder bei Bauteilversagen können die Betonrohre ausgebaut und recycelt werden. Der Betonaufbruch ist als hochwertiger Baustoff anzusehen, der meist vollständig als Zuschlagsstoff für neue Betone eingesetzt werden kann (Körkemeyer, 2016, S. 306) oder beispielsweise als Recyclingbaustoff in ungebundenen Tragschichten verbaut wird. Demnach weisen Betonrohre eine sehr gute Recycling-Fähigkeit auf.

Stahlbetonrohre

Die Bewehrung von Betonrohren erfolgt mit einem Bewehrungskorb, der in die Rohrwandung eingebracht wird. Die Rohre sind, wie die Betonrohre, in der DIN V 1201 genormt. Die Bewehrung dient zur Aufnahme der auftretenden Zugspannungen und macht die Rohrleitungen besonders tragfähig, bei vergleichsweise geringeren Wanddicken (Stein & Stein, 2014, S. 120).

Auch Stahlbetonrohre werden in unterschiedlichen Ausführungen gefertigt. Sie können beispielsweise mit Fuß (Bezeichnung KF) oder ohne Fuß (Bezeichnung K) hergestellt werden. Weiter wird auch zwischen der Art der Steckverbindungen, Falz- oder Muffen-Ausführung unterschieden. Durch die Anordnung der Zugbewehrung werden höhere Widerstandsfähigkeiten als bei Betonrohren erreicht. Deshalb reichen die Querschnitte der Stahlbetonrohrleitungen gemäß der DIN V 1201 vom Durchmesser DN 250 mm bis hin zu sehr großen Durchmessern DN 4000 mm. Beim Recycling führt der Verbund aus den Baustoffen Beton und Stahl zu einem höheren Aufwand. Die Baustoffe müssen unter Einsatz von Kosten und Energie voneinander getrennt werden bevor die einzelnen Baustoffe dem Recyclingprozess zugeführt werden.

2.3.3 Kunststoffrohre

Kunststoffe sind synthetisch hergestellte, vielfältige, langlebige und in der Regel flexible Rohrwerkstoffe, welche in unterschiedlichen Zusammensetzungen und unterschiedlichen Verfahren hergestellt werden.

Sie bestehen hauptsächlich aus ungesättigten Kohlenwasserstoffen, die aus dem Rohstoff Erdöl, im Destillationsverfahren, gewonnen werden (Hegger, Auch-Schwelk, Fuchs, & Rosenkranz, 2005, S. 91). Generell ist zu sagen, dass Kunststoffrohre aufgrund ihres vergleichsweise geringen Gewichts leicht zu handhaben sind, was sich positiv auf den Transport und die Bauzeit auswirkt.

Die Rohre besitzen im Gegensatz zu Beton- oder Steinzeug Rohren vergleichsweise sehr geringe Wandstärken, und werden deshalb als dünnwandige, biegeweiße Rohre bezeichnet (KRV, 2020). Aus dem Querschnitt resultiert ein biegeweicheres Tragverhalten, denn das Bauteilversagen wird meist durch eine Überschreitung der maximalen Verformung, hervorgerufen. Durch die geringen Wandstärken beziehen sich die Nennweiten meist auf den Außendurchmesser der Rohrleitungen.

Durch die Ausführung in unterschiedlichen Wandstärken werden Nenn-Ringsteifigkeitsklassen, SN 2 bis SN 16, abgeleitet, welche einen Aufschluss über die Tragfähigkeit geben. Gemäß der Steifigkeit eignen sich die Rohre für unterschiedliche Anwendungsgebiete bzw. auftretende Lasten oberhalb der Rohrleitung. Sie werden in verschiedenen Ausführungen, beispielsweise als Vollwand- oder Mehrschicht-Rohre, mit oder ohne Schlitzöffnungen, hergestellt und kommen deshalb auch oft in Drainage-Systemen zur Anwendung.

Die Recyclingfähigkeit von Kunststoffrohrleitungen muss differenziert betrachtet werden. Die Industrie hat sich durch eine Verpflichtungserklärung zur Sammlung und zum Recycling der Abfälle selbstverpflichtet, um die ausgebauten Rohre als Sekundärrohstoff zu verwerten. Jedoch ist bei der Herstellung von Kunststoffrohrleitungen der Anteil von bereits recyceltem Kunststoff (Recyclat) begrenzt (KRV, 2021), was zur Folge hat, dass zur Herstellung von neuen Abwasserrohren auch auf fossile Rohstoffe zurückgegriffen wird. Weiter müssen Abfälle zur Wiederverwertung sortenrein vorliegen, was nicht immer gewährleistet werden kann, deshalb wird auch ein Teil der Abfälle der thermischen Verwertung zugeführt (Hegger, Auch-Schwelk, Fuchs, & Rosenkranz, 2005, S. 93).

Geeignete und gängige Kunststoffarten für den Kanalbau sind beispielsweise: Polyvinylchlorid weichmacherfrei (PVC-U), Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) und Polypropylen (PP) (KRV, 2003, S. 18) welche im Folgenden betrachtet werden.

Polyvinylchlorid weichmacherfrei (PVC-U)

Der häufig verwendete Baustoff PVC-U wird im Bereich der Kanalisation schon seit den 60er Jahren eingesetzt. Es handelt sich um einen thermoplastischen Kunststoff aus Vinylchlorid, der eine hohe Härte und eine große Beständigkeit gegen chemische Angriffe aufweist. (KRV, 2003, S. 20).

Zur Herstellung wird neben Erdöl auch der Rohstoff Steinsalz, ein lokal vorhandenes Sedimentgestein in einem Anteil von 57 % verwendet (KRV, 2004, S. 3). Die Polymerisation des Baustoffs erfolgt bei vergleichsweise geringen Temperaturen zwischen 40 bis 80°C (KRV, 2020, S. 20).

Die Anforderungen an Abwasserrohrleitungen aus PVC-U sind in der DIN EN 1401-1 (DIN, 2019) definiert. Dabei wird durch die Norm ein Querschnittsbereich von DN 110 mm bis DN 1000 mm abgedeckt (DIN, 2019, S. 16), jedoch werden in der Praxis PVC-U Rohre nur bis zu einem Querschnitt von ca. DN 600 verwendet (Stein & Stein, 2014, S. 99).

Polyethylen hoher Dichte (PE-HD)

Polyethylen besteht aus Ethylen, welches aus den Rohstoffen Erdöl oder Erdgas (KRV, 1999, S. 2) und damit aus rein fossilen Rohstoffen gewonnen wird. Dem Ethylen wird in geringem Maße Kohlenstoff in Form von Ruß zugegeben, dies trägt zur Witterungsbeständigkeit der Rohrleitungen bei (KRV, 1999, S. 2). Neben den üblichen mechanischen Rohrverbindungen als Stecksysteme mittels Muffen und Dichtungen, können Rohrleitungen aus PE-HD auch geschweißt werden (KRV, 1999, S. 4).

Der Einsatz und die Anforderungen an die Abwasserrohrleitungen aus PE-HD sind in der DIN 12666-1 (DIN, 2011) geregelt. Der normativ abgedeckte Bereich der Nennweiten umfasst die Durchmesser von DN 110 bis DN 1600.

Polypropylen (PP)

Der Kunststoff Polypropylen besteht aus Propylen und Ethylen, welche aus Erdgas oder Erdöl gewonnen werden (KRV, 2001a, S. 2). Auf Grund der geringen Dichte des Materials von ca. 0,93 g/cm³ sind Rohrleitungen aus PP besonders leicht und ermöglichen einen zügigen Einbau auf der Baustelle mit geringem Geräteeinsatz (KRV, 2003, S. 26).

Für den Einsatz als drucklose Abwasserleitungen sind die Anforderungen für Rohrleitungen aus PP in der DIN EN 1852 (DIN, 2018b) definiert (Stein & Stein, 2014, S. 100).

Von der Norm wird ein Nennweitenbereich von DN 110 bis DN 1.600 abgedeckt, in der Regel werden jedoch nur Durchmesser bis ca. DN 800 hergestellt (Stein & Stein, 2014, S. 100).

2.3.4 Steinzeugrohre

Bei Steinzeugrohren kann auf eine sehr lange Nutzungsdauer zurückgeblickt werden, denn diese werden schon seit dem 19. Jahrhundert industriell hergestellt und seither im Bereich der Entwässerung und Trinkwasserversorgung eingesetzt. (Roscher & Helbig, 2016, S. 15). Die biegesteifen Rohre zeichnen sich durch eine hohe Beständigkeit gegen chemische Angriffe und gute hydraulische Eigenschaften aus.

Steinzeug wird durch das Brennen von Tonen unter Zugabe von Wasser hergestellt. Die Rohstoffe können deshalb als heimisch und nahezu unerschöpflich verfügbar bezeichnet werden. Im Brennprozess werden die Rohre unter Erhitzung bei 1.250°C ausgehärtet, dabei entsteht eine glatte Oberfläche (Bohle & Hahn, 2016, S. 245). Der Brennvorgang verursacht jedoch einen hohen Energiebedarf bei der Herstellung. Die Rohre zeichnen Sie sich durch ihre Langlebigkeit aus, da der Nutzungszeitraum dieser Rohrleitungen mit teilweise über 100 Jahren angegeben werden kann. (Bohle & Hahn, 2016, S. 247)

Die Rohrleitungen werden in Regelbaulängen zwischen 1,0 bis 3,0 m gefertigt (DIN, 2013c, S. 10) und auf der Baustelle meist mittels der vorhandenen Steckmuffen verbunden. Das Lieferprogramm von Rohrleitungen mit Steckmuffe umfasst Rohrleitungen von DN 100 bis DN 1200, diese werden mit Wandstärken von bis zu 100 mm hergestellt (Stein & Stein, 2014, S. 91). Die Anforderung an diese Rohrleitungssysteme werden in der DIN EN 295-1 (DIN, 2013c) aufgeführt. Steinzeugrohre sind deutlich schwerer als Kunststoffrohre und leichter als Betonrohre, deshalb fällt im Gegensatz zu Kunststoffrohrleitungen ein höherer Aufwand zum Transport und beim Einbau auf der Baustelle an.

Im Sinne der Kreislaufwirtschaft kann bei Steinzeug Rohren von einer sehr guten Recyclingfähigkeit gesprochen werden. Am Ende der Lebensdauer können die Rohrleitungen ausgebaut und gebrochen wieder zu 100 % dem Fertigungsprozess zugeführt werden, der Aufbruch wird als Schamotte der Produktion beigefügt (Bohle & Hahn, 2016, S. 269).

2.4 Schächte

2.4.1 Allgemein

Neben den Rohrleitungen können Schächte als integraler Bestandteil der Kanalisation bezeichnet werden. Sie dienen betriebstechnischen Zwecken wie der Kontrolle, der Be- und Entlüftung und der Zugänglichkeit der Kanalisation. Zur Gewährleistung der Betriebssicherheit, wird ein maximaler Abstand von ca. 100 m zwischen den Schächten empfohlen (DWA, 2020b). Ein weiterer, ebenso wichtiger Nutzungsaspekt ist der Anschluss von größeren Nebenzuläufen oder erforderliche Querschnitts- und Neigungsänderungen der Rohrleitungen. Rohrleitungen verlaufen zwischen Knotenpunkten meist geradlinig, nur die Anordnung von Schächten ermöglicht eine Richtungsänderung in der Lage.

Die durchschnittliche Länge zwischen zwei Schächten wird mit 39,1 m abgeschätzt (DWA, 2016, S. 4). Legt man eine Gesamtlänge der Kanalisation von 594.335 km (Statistisches Bundesamt, 2018, S. 20) zu Grunde, kann daraus eine Anzahl von ca. 15,2 Mio. Schachtbauwerken berechnet werden. Die Zahl der Schächte macht anschaulich, dass es sich um einen äußerst bedeutsamen Teil der Kanalisation handelt. Schächte werden deshalb auch den Regelbauwerken zugeordnet (Barjenbruch, 2015, S. 1008).

Schächte werden in unterschiedlichen Abmessungen und Querschnittsformen hergestellt. Grundlegendes Kriterium ist die Zugänglichkeit zur Kanalisation. Die E DIN EN 476 (DIN, 2020c) kategorisiert Schächte nach der Funktion in Einstiegs- und Kontrollschächte.

Für die Einstieg- und Zugangsmöglichkeit müssen Mindestabmessungen eingehalten werden. Grundsätzlich bietet ein lichter Innendurchmesser von 1,0 m eine gute Begehbarkeit von Schächten (DWA, 2020b, S. 56). Weiter werden Größe und Querschnitt des Schachts durch die Größe der Zu- und Ableitungen, Armaturen, wie beispielsweise Schieber oder Messeinrichtungen oder auch die Tiefe des Schachtes beeinflusst.

Die Zugänglichkeit wird mittels abnehmbarer Abdeckung, der sogenannten Schachtabdeckung ermöglicht. In der Regel handelt es sich bei begehbaren Schächten hierbei um runde Abdeckungen aus Gusseisen mit einem Minstdurchmesser von ca. 0,6 m. Der Anschluss der (Haupt-)Rohrleitungen erfolgt im Bodenteil des Schachtbauwerks. In diesem sogenannten Schachtunterteil werden zu- und abgehenden Rohre angeschlossen und der Nenndurchmesser des Unterteils definiert auch den Schachtdurchmesser.

Runde Schächte bieten dank der Querschnittsform die optimale Voraussetzung für Richtungsänderungen. Schachtbauwerke wurden früher vornehmlich aus Mauerwerk oder in Betonbauweise hergestellt (Stein & Stein, 2014, S. 154). Je nach Größe können diese Mauerwerk- oder Betonschächte auch monolithisch hergestellt werden, heutzutage wird jedoch der Großteil der Schächte aus Beton bzw. Stahlbeton in Fertigteil- und Systembauweise werkseitig hergestellt (Barjenbruch, 2015, S. 1009), geliefert und Vor-Ort eingebaut. Neben Beton kommen auch die Werkstoffe Kunststoff und Steinzeug zum Einsatz, da jedoch über 70 % der Schächte in Betonweise ausgeführt sind (Puhl, 2007, S. 8), werden diese im Weiteren näher beleuchtet.

2.4.2 Beton/Stahlbeton Fertigteile

Der Großteil der Schächte im Kanalnetz besteht, wie die Rohrleitungen (vgl. Abschnitt 2.3.2), aus Beton (Steger, Fekkak, & Bringezu, 2011, S. 104). Durch die massive Bauweise sind Betonschächte schwere Bauwerke, bei denen meist Gewichte von mehreren Tonnen anfallen. Die Fertigteilssysteme ermöglichen, durch das große Lieferprogramm, eine große Flexibilität und einen zügigen Einbau auf der Baustelle. Die Anforderungen für Einsteig- und Kontrollschächte aus Beton und Stahlbeton im Abwasserbereich sind in der EN 1917 (DIN, 2002) und ergänzend in der DIN 4034 (DIN, 2020a) geregelt. Für den Abwasserbereich werden Bauteile des Typs 2 eingesetzt.

Die Hauptbestandteile der Schächte sind das Schachtunterteil, Schachtringe, der Schachthals und die Abdeckung (vgl. Abbildung 1). Am Schachtunterteil werden die Rohrleitungen gelenkig angeschlossen. Es können in der Regel alle Rohrleitungen der gängigen Rohrwerkstoffe (vgl. Abschnitt 2.3) angeschlossen werden. Die Zu- und Ableitung am Schachtunterteil werden mit einem Gerinne verbunden, um eine gute hydraulische Durchgängigkeit und damit einen guten Abfluss zu gewährleisten. Das Gerinne wird beispielsweise mit Kanalklinkern oder in monolithischer Bauweise gefertigt. Die Schachtunterteile tragen die Bezeichnung SU-M.

Schachtringe dienen der Höhenanpassung und werden in verschiedenen, gestaffelten Höhen hergestellt. Die Regelbauhöhe für Schachtringe beträgt 1,0 m, aber sie werden auch in Höhen von 250, 500 und 750 mm hergestellt. Schachtringe mit Steckmuffe werden als SR-M bezeichnet (DIN, 2020a, S. 21). Für den Übergang zwischen dem Schachtdurchmesser und der Einstiegsöffnung werden Schachthälse mit Konus oder Übergangsplatten eingesetzt. Schachthälse mit Konus werden als SH-M bezeichnet und besitzen eine Regelbauhöhe von 600 mm (DIN, 2020a, S. 24).

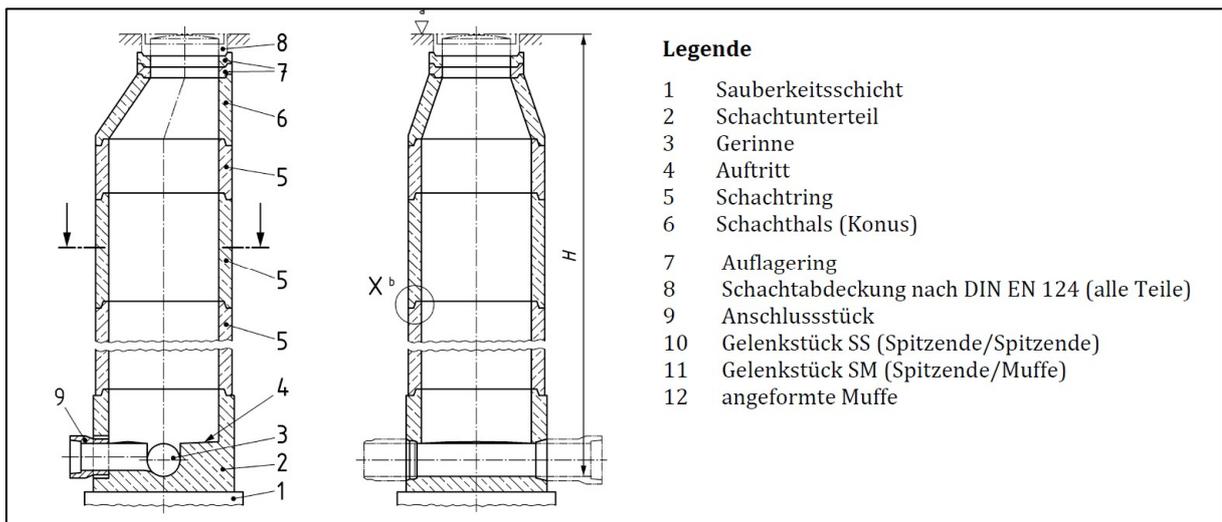


Abbildung 1: Beispiel für Schacht aus Beton-Fertigteilen¹

Abweichend von den genannten Bauhöhen und Durchmessern werden auch Fertigteile mit anderen Abmessungen durch die Norm abgedeckt, insofern diese den Anforderungen der Norm genügen (DIN, 2020a, S. 31).

2.4.3 Schachtabdeckungen

Die Einstiegsöffnungen von Schächten werden mit einem abnehmbaren Verschluss, der Schachtabdeckung, ausgestattet. Die Schachtabdeckung besteht aus dem Schachtrahmen und dem Schachtdeckel (Stein & Stein, 2014, S. 155). Allgemein sind die Anforderungen in der DIN EN 124-1 (DIN, 2015a) aufgeführt und in der Regel werden, auch wegen den Größen der Beton-Fertigteile (vgl. Abschnitt 2.4.2), Schachtabdeckungen mit einer Einstiegsöffnung von 625 mm verwendet (Ehlers, 2011, S. 3).

Weit verbreitet ist die Werkstoffkombination von Beton und Gusseisen, mit Gusseisen-Rahmen und Betoneinlage im Deckel (Ehlers, 2011, S. 4). Die Abdeckungen werden, nach bestimmten Lastfällen und Einbausituationen, verschiedenen Belastungsklassen zugeordnet. Häufig werden Schachtabdeckungen der Belastungsklasse B 125, für Flächen mit Fußgänger-verkehr und Parkplätzen und der Belastungsklasse D 400, in Straßenflächen eingesetzt.

¹ Abbildung angepasst aus (DIN, 2020a)

2.5 Die offene Bauweise im Kanalbau

2.5.1 Allgemein

Rohrleitungen können mit unterschiedlichen Bauverfahren hergestellt werden. Es wird grundsätzlich zwischen der offenen und der geschlossenen Bauweise unterschieden. Die offene Bauweise stellt für Abwasserrohrleitungen die gängige Baupraxis dar (Stein & Stein, 2014, S. 56). Die Herstellung von zahlreichen, lokalen Anschlüssen und die Komplexität des unterirdischen Raums machen die Anwendung der offenen Bauweise oft alternativlos. Zur Eingrenzung wird im Weiteren deshalb der Fokus auf die offene Bauweise gelegt und der Bauprozess sowie die Baumaterialien vorgestellt.

Bei der offenen Bauweise wird die Rohrleitung, in einer zuvor erstellen, offenen Baugrube, dem sogenannten Leitungsgraben, hergestellt (vgl. Abbildung 2). Die Herstellung des Grabens geht jedoch immer mit der Öffnung der Oberfläche einher und durch den Aushub wird der Gleichgewichtszustand des Bodens verändert (Köhler, 1997, S. 80). Bei der Wiederverfüllung ist deshalb eine gute Verdichtung des Bodens von besonderer Bedeutung, um Schäden an Rohrleitungen vorzubeugen, die durch Setzungen des Baugrunds verursacht werden. Die Bodenmechanik wirkt sich auch direkt auf den Lastabtrag der Rohrleitung aus, deshalb wird den Bettungsreaktionen, in den statischen Berechnungen nach dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 besonders Rechnung getragen. Dabei geht es um die Rohr-Boden Interaktion und die Interaktion zwischen gestörtem und ungestörtem Baugrund, mit oder ohne Verbau-Maßnahmen. (DWA, 2020c, S. 23)

2.5.2 Leitungsgraben und Verbau

Der Leitungsgraben muss zu jeder Zeit standsicher sein (DIN, 2012, S. 7), um die Arbeitssicherheit beim Rohrleitungsbau zu gewährleisten. Deshalb ist eine sorgfältige Planung unter Berücksichtigung aller Randbedingungen, wie beispielsweise die vorliegenden Bodenverhältnisse und auftretenden Lasten unabdingbar. Die Abmessungen des Leitungsgrabens sind abhängig vom Außendurchmesser des Rohres, dem benötigten Arbeitsraum und der Ausführung der Grabenwände. Durch die Lage innerhalb des Straßenraums und der Tiefe der Abwasserkanäle (vgl. Abschnitt 2.2.3) werden die Leitungsgräben in der Regel mit senkrechten, verbauten Grabenwänden ausgeführt.

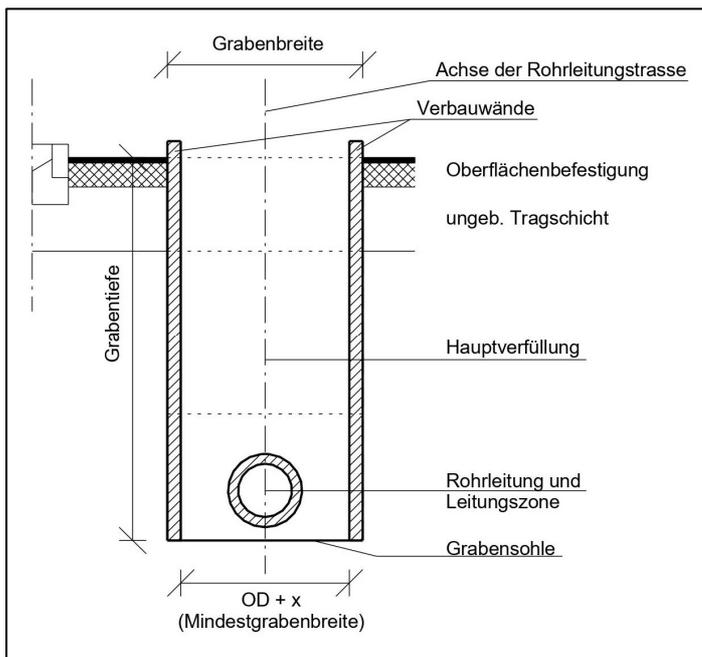


Abbildung 2: Darstellung Leitungsgraben ²

Zur Planung der Leitungsgräben dienen die Mindestgrabenbreiten der DIN EN 1610 als Anhaltspunkt, da hier der benötigte Arbeitsraum bereits berücksichtigt wird. Die Grabenbreite setzt sich demnach aus der Mindestgrabenbreite und der benötigten Breite zum Einbau eines Verbaus zusammen. Die Grabentiefe wird durch die Sohle der Rohrleitung, der Wandstärke der Rohrleitung und dem Auflager der Rohrleitung, der sogenannten Bettung, definiert.

Als Verbau werden die meist temporär eingebrachten Systeme zur Stützung der senkrechten Grabenwände bezeichnet. Ein Verbau der Grabenwände hat nach DIN 4124 in jedem Fall zu erfolgen, wenn bei senkrechten Grabenwänden eine Tiefe von 1,25 m überschritten wird (DIN, 2012, S. 10). Der Einsatz der verschiedenen Konstruktionen hängt neben der Tiefe des Leitungsgrabens auch von der Bindigkeit der Böden, der Lage des Leitungsgrabens und dem Grundwasserstand ab. Die meisten Verbau-Systeme bestehen aus einer Wandung, zur Stabilisierung der Grabenwände und den aussteifenden Elementen zwischen den Wandungen.

2.5.3 Aushub und Verfüll-Baustoffe

Je nach Eignung kann ein Teil des Aushubmaterials zur Wiederverfüllung des Grabens eingesetzt werden. Dies ist neben den Bodenmechanischen Eigenschaften und der Korngrößen auch davon abhängig, ob eine Schadstoff-Belastung des Bodenmaterials vorliegt.

² Eigene Darstellung in Anlehnung an (DIN, 2012) und (DIN, 2015b)

Generell ist eine Wiederverwertung des Aushubmaterials Vor-Ort anzustreben, um den Aufwand für Transport und Deponierung der Böden zu minimieren. Die Grenzwerte für Belastungen bei Bodenmaterial Böden sind durch die LAGA in der Mitteilung 20 (LAGA, 2003) definiert.

Neben der Rohrleitung werden weitere, mineralische Baustoffe in den Leitungsgraben eingebracht. Zum Einsatz kommen meist ungebundene, mineralische Gesteinskörnungen, wie Sand und Kies. Bei besonderen Anforderungen können aber auch Baustoffe, wie Beton oder zeitweise fließfähige selbstverdichtende Verfüllmaterialien eingesetzt werden. Es wird bei der Leitungsgrabenverfüllung zwischen der Leitungszone und der Hauptverfüllung unterschieden.

Die Leitungszone besteht aus der Bettung, der Seitenverfüllung und der Abdeckung der Rohrleitung. Aufgrund der direkten Rohr-Boden Interaktion tragen diese maßgeblich zum Lastabtrag bei. Für die Leitungszone sind deshalb geeignete Böden nach DIN EN 1610 klassifiziert und, je nach Größe der Rohrleitungen maximale Durchmesser der Korngröße einzuhalten (DIN, 2015b, S. 10). Daraus kann abgeleitet werden, dass innerhalb der Leitungszone häufig gelieferte Baustoffe, wie vorabgesiebte Sande und Kiese, zum Einsatz kommen.

Die Dicke und Ausführung des Rohr-Auflagers sind von der Art und der Größe der Rohrleitungen aber auch von der Beschaffenheit des anstehenden Baugrunds abhängig. Die Rohrleitungen werden in der Regel mit einer Bettungsschicht unterhalb der Rohrleitung, der sogenannten Bettung Typ 1, eingebaut. Dabei ist eine Mindestschichtdicke der unteren Bettungsschicht von mindestens zehn Zentimetern einzuhalten (DIN, 2015b, S. 18). Die Seitenverfüllung und die Abdeckung werden mit dem gleichen Material hergestellt. Die Mindestdicke der Abdeckung oberhalb dem Rohrscheitel beträgt 15 cm, muss jedoch beim Einsatz mechanischer Verdichtungsgeräte mindestens 30 cm betragen. Um Schäden an der Rohrleitung vorzubeugen, ist eine sehr gute Verdichtung des Materials der Leitungszone unabdingbar.

Die Anforderungen an die Hauptverfüllung des Leitungsgrabens sind geringer als die Anforderungen an die Leitungszone, jedoch muss auch hier das Material eine gute Verdichtbarkeit aufweisen. Hier wird nach Eignung oft das Aushubmaterial verwendet.

2.5.4 Bauablauf

Der Bauablauf kann grob in drei Arbeitsprozesse aufgeteilt werden. Zuerst muss eine Baugrube hergestellt werden, dann folgt der Einbau der Rohrleitung und abschließend die Verfüllung der Baugrube und Wiederherstellung der Oberfläche.

Zur Herstellung des Leitungsgrabens muss vorab die Oberflächen-Befestigung in der Grabenbreite abgetragen werden. Da die Leitungstrasse der Kanalisation meist im Bereich der Fahrbahn verläuft, handelt es sich um den Abtrag von Asphalt. Ausgebauter Asphalt ist ein hochwertiger Recycling-Baustoff und wird deshalb zu einem Asphaltwerk zur Wiederverwertung transportiert. Anschließend wird der anstehende Baugrund bis zur Grabensohle ausgebaut. Zum Lösen des Baugrunds wird ein Bagger eingesetzt, Versorgungsleitungen oder Kabel machen jedoch den begleitenden Handeinsatz unabdingbar. Vor oder während der Aushubarbeiten wird zur Sicherung des Grabens ein Verbau eingebracht.

Dabei ist auch die Höhe des anstehenden Grundwassers von baupraktischer Relevanz. Falls das Grundwasser oberhalb der Leitungsgrabensohle ansteht, werden wasserhaltende Maßnahmen erforderlich. Dies kann beispielsweise mit einer geschlossenen Grundwasserhaltung umgesetzt werden, in der das Grundwasser innerhalb des Baugrunds mit Brunnen und Pumpen abgesenkt wird. Alternativ kann eine offene Wasserhaltung während des Aushubs und einem abdichtenden Verbau durchgeführt werden. Wasserhaltungsmaßnahmen müssen für den konkreten Anwendungsfall unter Berücksichtigung aller Randbedingungen konzipiert werden.

Nach der Herstellung des Leitungsgrabens können die Rohrleitungen und die Leitungszone eingebaut werden. Im Weiteren erfolgt die Verfüllung des Leitungsgrabens bis zur Unterkante der Asphaltdecke. Abschließend wird der bituminöse Fahrbahnaufbau hergestellt und die Oberfläche damit wiederhergestellt.

2.6 Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung

2.6.1 Allgemein

Mit der Novelle des WHG (vgl. Abschnitt 2.2) wurde ein Paradigmenwechsel in der Regenwasserbewirtschaftung gesetzlich verankert. Im vergangenen Jahrhundert war es innerhalb bebauter Gebiete gängige Praxis, Niederschlagswasser zu fassen und abzuleiten.

Dazu wird das Niederschlagswasser entweder über die Mischwasserkanalisation gefasst und gemeinsam mit dem Schmutzwasser in eine zentrale Kläranlage zur Reinigung abgeleitet oder direkt in die umliegenden Fließgewässer eingeleitet. Diese direkte Ableitung von Niederschlagswasser bringt mehrere Probleme mit sich.

Durch die direkte Fassung und Weiterleitung des Regenwassers, werden Kanäle und folglich die Gewässer stark hydraulisch belastet. Die Kanalisation muss auf die großen Abflussspitzen der Starkregenereignisse bemessen werden, um eine Überflutung von bebauten Gebieten zu vermeiden. Dies erzeugt eine vergleichsweise geringe Auslastung der Mischwasserkanäle, da in Trockenperioden lediglich die Schmutzwasserfracht abgeleitet wird. Geringe Abflussschwindigkeiten und eine unangenehme Geruchsentwicklung sind die Folge.

Durch zahlreiche Einleitungen in die Gewässer, werden diese ebenso einer starken hydraulischen Belastung ausgesetzt. Bei Starkregenereignissen treten Gewässer innerhalb kurzer Zeit über die Ufer und verursachen große Schäden in den umliegenden, ufernahen Gebieten. Unnatürliche Abflüsse verursachen Erosionen der Uferbereiche und führen folglich zur Versandung der Fließgewässer, was sich wiederum negativ auf den ökologischen Zustand dieser auswirkt.

Durch die Versiegelung des Bodens und die sofortige Ableitung des Regenwassers wird auch der natürliche Wasserhaushalt gestört. Im natürlichen Gelände wird ein Großteil des Regenwassers lokal dem Wasserkreislauf, durch Verdunstung und Versickerung, zugeführt. Nur ein geringer Teil fließt, bedingt durch die Topografie, in Richtung Gewässer ab. In bebauten Gebieten mit versiegelten Oberflächen drehen sich diese Anteile um. Ein Großteil fließt schnell ab und nur ein geringer Teil des Wassers verdunstet oder versickert vor Ort. Dies macht es zudem nötig, dass Bepflanzungen und Stadtgrün, in immer länger anhaltenden Trockenperioden, künstlich bewässert werden müssen.

Um diese negativen Auswirkungen zu minimieren, ist die Stärkung des natürlichen Wasserhaushalts ein Ziel moderner Siedlungsentwässerung und Teil des Leitbilds integraler Siedlungsentwässerung (DWA, 2006a, S. 9). Mit der WHG-Vorgabe, Niederschlagswasser ortsnah zu versickern, ist nun zunächst zu prüfen, ob eine Möglichkeit der Versickerung oder Verdunstung besteht und damit ein naturnaher Wasserhaushalt ermöglicht werden kann.

Durch die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung werden Synergien erzielt, da Abflussspitzen reduziert und gleichzeitig positive Effekte, wie beispielsweise die erhöhte Grundwasserneubildung oder die Aufenthaltsqualität urbaner Lebensräume gefördert werden. Der Verdunstungs- und Versickerungsanteil des anfallenden Niederschlagswassers wird am Ort des Niederschlags gestärkt, nur der unbedingt notwendige Teil wird abgeführt.

Gleichzeitig muss gewährleistet werden, dass keine schadhaften Stoffeinträge in die Böden und folglich das Grundwasser gelangen. Abhängig von der Schadstoffbelastung der Oberfläche muss deshalb eine Vorreinigung des Abwassers vor der Versickerung gewährleistet werden. Auch die Konkurrenz um das Platzangebot der Städte macht dies zu einer Herausforderung, da der urbane Lebensraum einer Vielzahl von Aufgaben wie Wohnraum, Mobilität und Freizeit gerecht werden muss. Neben der Entsiegelung von Flächen, muss es daher auch ein Ziel sein, diese multifunktional zu gestalten. Dazu können beispielsweise Retentionsräume geschaffen werden, die in Trockenperioden gleichzeitig als Aufenthaltsflächen genutzt werden. Jedoch bestehen hier teils noch rechtliche Hürden, welche die Umsetzung von Konzepten erschweren.

Um den naturnahen Wasserhaushalt auch in Städten zu ermöglichen, kann jedoch auf zahlreiche, bewährte Technologien zurückgegriffen werden, welche bereits Nutzungserfahrungen von über 20 Jahren aufweisen (Sieker, 2018, S. Mulden-Rigolen Elemente [5]). Der Großteil dieser Techniken beruht auf der Nutzung der Versickerungsleistung der anstehenden Böden. Das Versickerungspotenzial der Böden wird mittels lokaler Retention genutzt, dadurch können befestigte Flächen und deren Abfluss von der Einleitung in die bestehenden Kanäle abgekoppelt werden.

Die Anlagen zur Versickerung, deren Ausführung, Anwendungsgrenzen, Bemessungsverfahren etc. werden im Arbeitsblatt DWA-A 138 (DWA, 2005a) beschrieben. Zur Anwendung kommen mehr oder weniger technische Anlagen wie beispielsweise Versickerungsflächen, Versickerungsmulden, unterirdische Rigolen-Versickerungen oder auch kombinierte Lösungen bis hin zu zentralen Lösungen wie Retentionsbodenfilteranlagen. Für die Bilanzierung wird im Weiteren die Mulden-Rigolen Versickerung erläutert.

2.6.2 Mulden-Rigolen-Versickerung

Die Mulden-Rigolen-Versickerung kombiniert zwei Elemente der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und nutzt die Versickerung, Retention, Verdunstung und Reinigung des Niederschlagswassers. Es können einzelne dezentrale Mulden-Rigolen Elemente ausgeführt werden oder mehrere Elemente zu einem zentralen System zusammengeschlossen werden.

Die Versickerungsmulde dient zur Sammlung und als oberflächennaher Retentionsraum, in dem das gesammelte Niederschlagswasser versickern kann. Die Versickerungsmulde dient also der Versickerung, der Retention und zum Teil auch der Verdunstung, da das gesammelte Wasser meist in der Mulde ansteht bevor es versickert. Unterhalb der Versickerungsmulde ist die Rigole angeordnet. Die Rigole bildet den ergänzenden, unterirdischen Retentionsraum, von dem aus weiter in den anstehenden Untergrund versickert wird. Je nach Abmessungen des Systems und der Durchlässigkeit des Untergrunds werden unterschiedliche Anteile versickert, verdunstet oder abgeleitet. Bei unvernetzten Mulden-Rigolen Elementen ohne Ableitung macht die Versickerung mit Abstand den größten Anteil aus (Sieker, 2021) .

Der Zufluss erfolgt an der Oberfläche über Rinnen oder geneigte angrenzende Oberflächen. Ein Freibord von 10 cm (DWA, 2020a, S. 69) gewährleistet Sicherheit gegenüber baubedingten Ungenauigkeiten und bietet einen Puffer um geringe Längsgefälle in der Mulde auszugleichen. Als maximale Einstauhöhe nennt das Arbeitsblatt DWA-A 135 eine Einstauhöhe von 30 cm (DWA, 2005a, S. 25). Flache Böschungen erleichtern Instandhaltungsmaßnahmen wie die regelmäßig durchzuführende Mahd der Mulde (Sieker, 2021) und eine Bepflanzung mit flachwurzelnden Gewächsen optimiert die Verdunstung und steigert die Aufenthaltsqualität des öffentlichen Raums.

In der Mulde folgt in der Regel eine Rasenansaat und eine Oberbodenandeckung von mindestens 10 cm (DWA, 2005a, S. 25 und 26). Da die die Oberbodenschicht die Vorreinigung des versickernden Wassers gewährleistet, werden jedoch größere Oberbodenandeckungen von 20 bis 30 cm empfohlen (vgl. Abbildung 3) (Sieker, 2021). Dabei sollte die Oberbodenschicht auch eine ausreichende Durchlässigkeit von $k_f \geq 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ aufweisen (DWA, 2005a, S. 26), um eine ausreichende Versickerung von der Mulde in den unterirdischen Rigolen-Raum zu ermöglichen. Das Mulden-Rigolen Element ist für beide Speicherräume nach DWA-A 138 nachzuweisen.

Die Mulde wird unter Annahme einer größeren Regenhäufigkeit bemessen, dies bedeutet, dass ein Überlauf von der Mulde in die Rigole angelegt werden muss. Bei einer Überlastung der Mulde erfolgt dann der direkte Überlauf in den Retentionsraum der Rigole.

Unterhalb der Oberbodenschicht und einer gut durchlässigen Sandschicht, befindet sich die Rigole. Hierbei handelt es sich um einen unterirdischen Speicher, der durch den Einbau einer Kiespackung oder durch Füllstoffkörper aus Kunststoff hergestellt wird (vgl. Abbildung 3). Bei Kies-Rigolen wird zur Ergänzung meist ein Sickerrohr eingebracht, welches eine bessere Verteilung, einen zusätzlichen Retentionsraum und ggf. einen Überlauf in einen außenstehenden Schacht ermöglicht. Der Schacht bietet Platz für den Notüberlauf der Rigole und wird in der Regel außerhalb des Mulden-Rigolen Elements angeordnet. Bei einem Überstau der Rigole folgt dadurch der entlastende Abfluss über den Rigolen-Überlauf an den Kanal, um Schäden durch Überschwemmung zu vermeiden.

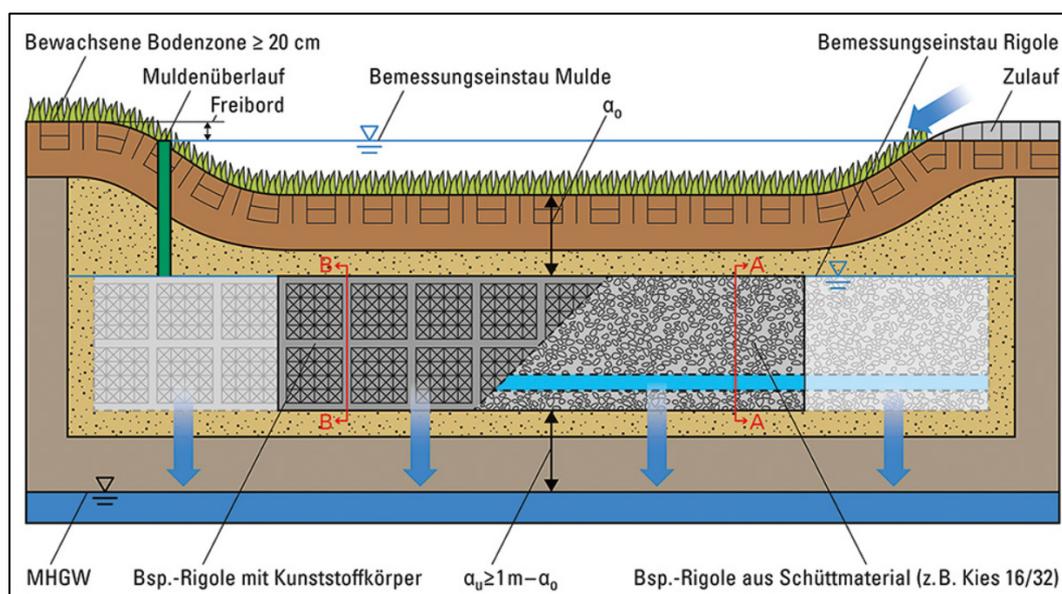


Abbildung 3: Längsschnitt durch Mulden-Rigolen Element³

Für die Rigole liegt ein Speicherkoeffizient s_R vor, der den Aufschluss über die vorhandenen Porenräume gibt und zur Bemessung der Versickerungsleistung angesetzt wird. Die Hohlräume von Kies-Rigolen werden mit einem Speicherkoeffizienten von $s_{R,Kies} = 0,35$ angesetzt, während Kunststoff-Füllkörper aus PP Speicherkoeffizienten $s_{R,PP}$ von bis zu 0,95 aufweisen. Dadurch werden bei gleichem Stauvolumen geringere Rigolen-Abmessungen erforderlich, was damit auch den Umfang der Erdarbeiten reduziert.

³ Abbildung von (LfU Bayern, 2021)

Um eine Versandung und den Verlust der Versickerungsleistung zu vermeiden, werden Rigolen in der Regel mit einem Geotextil (Vlies) ummantelt.

Eine Durchlässigkeit der anstehenden Böden (nicht geringer als $k_f \geq 1,0 \cdot 10^{-6}$) und ein ausreichende Mächtigkeit des Sickerraums unterhalb der Rigole gilt als Voraussetzung für den Einsatz von Mulden-Rigolen Elementen (DWA, 2005a, S. 16). Bei besonders undurchlässigen Böden mit einem Durchlässigkeitswert $k_f < 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ kann eine reine Versickerung meist nicht mehr gewährleistet werden (DWA, 2005a, S. 25). Jedoch können Mulden-Rigolen Elemente zusammengeschlossen und mit einem Drosselabfluss versehen werden. Die Drosselung des Abflusses wird in den Schachtbauwerken mit Schiebern oder ähnlichen Einrichtungen umgesetzt. Durch die Vernetzung der Mulden-Rigolen Elemente wandelt sich der Charakter der dezentralen Versickerungsanlage hin zu einem zentralen Versickerungssystem.

Die Unterhaltung von Versickerungsanlagen wie dem Mulden-Rigolen Element ist für die durchgehende Funktion unabdingbar. Feinteile und ein Eintrag von Fremdkörpern wie Müll können die Funktionsfähigkeit erheblich einschränken. Es sind deshalb regelmäßige Unterhaltungsmaßnahmen wie die Mahd der Mulde, das Auflockern des Bodens sowie Funktionsprüfungen durchzuführen.

2.7 Anforderungen an Entwässerungssysteme

Aus den vielfältigen Zielen der Entwässerungssysteme werden Anforderungen an die Planung, den Bau und den Betrieb gestellt. Diese Ziele und Anforderungen werden in der DIN 752 (DIN, 2017) detailliert beschrieben. Als die vier grundlegenden Ziele von Entwässerungssystemen werden die öffentliche Gesundheit und Sicherheit, die Gesundheit und Sicherheit des Betriebspersonals, der Umweltschutz und eine nachhaltige Entwicklung genannt (DIN, 2017, S. 14).

Weiter werden Anforderungen aufgeführt, die einem oder mehreren Zielen dienlich sind. Dies können Anforderungen wie beispielsweise der Schutz vor Überflutung, die Unterhaltbarkeit, die Wasserdichtheit, der bauliche Zustand und die Nutzungsdauer oder die nachhaltige Verwendung von Werkstoffen oder ein nachhaltiger Energieeinsatz sein. (DIN, 2017, S. 17)

Hier kommen die einschlägigen Planungsinstrumente, wie die Abflussermittlung oder die hydraulische Bemessung zur Anwendung, um den Anforderungen wie dem Schutz vor Überflutung und Anforderungen an baulichen Zustand, zu entsprechen.

Statische Berechnungen müssen den Anforderungen an den baulichen Zustand gerecht werden aber auch die Gefährdung angrenzender Bauten und Leitungen ausschließen (DIN, 2017, S. 57). Die Anforderungen an den Unterhalt können durch die Anwendung der Regelwerke berücksichtigt werden. Beispiel hierfür ist die Einhaltung von Mindestvorgaben, wie dem Mindestdurchmesser von Rohrleitungen (vgl. Abschnitt 2.3.1) und dem maximalen Abstand von Einstiegsschächten (vgl. Abschnitt 2.4.1).

Die fachgerechte Planung und Ausführung adressieren das Ziel der nachhaltigen Entwicklung, im Sinne einer funktionierenden Infrastruktur, die vielen Menschen über die angestrebte Nutzungsdauer dienlich ist. Weiter sind Anforderungen an die nachhaltige Verwendung von Werk- und Baustoffen und die Anwendung nachhaltiger Bauweisen aufgeführt (DIN, 2017, S. 19). Als Teil der Nachhaltigkeit wird die Minimierung von Energie- und Ressourcenverbrauchs beim Bau und Betrieb aber auch der Einsatz von wiederverwertbaren Baustoffen aufgeführt. Jedoch werden konkrete Bewertungsverfahren für die ökologische Bewertung von Bauteilen oder gesamte Entwässerungssysteme, wie die Ökobilanzierung von Gebäuden, hierfür nicht eingesetzt.

2.8 Energie- und CO2 Bilanzierung

2.8.1 Nachhaltiges Bauen und Bewertungssysteme

Nachhaltiges Bauen bedeutet, dass bei der Planung, der Herstellung, und Betrieb sowie Rückbau eines Bauwerks ökologische, ökonomische und soziokulturelle Aspekte berücksichtigt werden, um negative Auswirkungen auf zukünftige Generationen zu minimieren (Ströbele, 2017, S. 3). Diese drei Schutzgüter werden nach dem Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“ des Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) auch als Dimensionen der Nachhaltigkeit und als „Ausgangspunkt“ für Prinzipien und Bewertungsgrundlagen bezeichnet (BMI, 2019, S. 15).

International haben sich bereits kommerzielle Systeme wie CEEQUAL etabliert, die zur allgemeinen Bewertung von Infrastruktur Projekten herangezogen werden können (Zink, 2016, S. 25). In Deutschland gibt es allerdings noch kein konkretes Bewertungssystem für Infrastrukturen, welches mit dem Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“ des BMI vergleichbar ist. Nach dem Leitfaden, stehen bei der ökologischen Dimension, der Schutz der natürlichen Ressourcen und der Schutz der globalen und lokalen Umwelt im Vordergrund (BMI, 2019, S. 16).

Dies muss beispielsweise durch den schonenden Umgang mit Ressourcen, einem minimierten Energieverbrauch aber auch durch den Erhalt und Förderung von Biodiversität gewährleistet werden (BMI, 2019, S. 15). Das Bewertungssystem BNB sowie der Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“ ist bei der Bewertung der ökologischen Qualität an die Methode der Ökobilanz angelehnt.

2.8.2 Ökobilanz (Life-Cycle-Assessment)

Ökobilanzen oder englisch „Life-Cycle-Assessment“ (LCA), werden zur Abschätzung und Quantifizierung der Umweltauswirkungen von Produktsystemen angewendet. Erste vergleichbare Umwelt oder Ökobilanzen wurden bereits in den 1970er Jahren entwickelt (Eyerer & Reinhardt, 2000, S. 17) und 1996 wurde die Ökobilanz als standardisierte Methode durch die Internationale Organisation für Normung (ISO), mit Einführung der DIN EN ISO 14040 (DIN, 2021), genormt (Zink, 2016, S. 99).

Eine Ökobilanz dient zur Berechnung potentieller Umweltauswirkungen eines Produktsystems, während eines Lebenszyklus und beinhaltet grundsätzlich eine Festlegung des Ziel- und Untersuchungsrahmens, eine Sachbilanz, eine Wirkungsabschätzung und die zugehörige Auswertung (DIN, 2021, S. 8). Die Sachbilanz umfasst alle Grundlagen, die benötigt werden, um den In- und Output eines Produktes zu bestimmen und die Wirkungsabschätzungen zu quantifizieren (Eyerer & Reinhardt, 2000, S. 17). Beispielsweise können dies ökologische Datenbanken oder Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs eines PKW sein. In der Wirkungsabschätzung werden Wirkungskategorien, -indikatoren und Charakterisierungsmodelle ausgewählt (DIN, 2021, S. 25). Wirkungskategorien sind beispielsweise der Klimawandel oder der kumulierte Energieaufwand (KEA), zu denen die Sachbilanzergebnisse, wie CO₂-Werte oder der Energieaufwand aus fossilen Energieträgern zugeordnet und damit klassifiziert werden können (Frischknecht, 2019, S. 104 und 105).

Ein weiterer fester Bestandteil der Wirkungsabschätzung ist die Charakterisierung der Sachbilanzergebnisse. Dies ist beispielsweise das Treibhauspotential einzelner Treibhausgase, mit denen die konkrete Auswirkung auf die Wirkungskategorie anhand von Indikatoren erfasst wird (Frischknecht, 2019, S. 105). Erst die gesamte Wirkungsabschätzung macht es möglich, die Umweltwirkungen zu quantifizieren und vergleichbar zu machen (DIN, 2021, S. 24 und 25). In der Auswertung folgt der Rückschluss der Wirkungsabschätzung zu Sachbilanz und Zieldefinition, welcher zum Vergleich und zur Schlussfolgerung benötigt wird. (DIN, 2021, S. 11).

Als eine der geläufigsten Wirkungskategorien der Ökobilanzierung im Baubereich können das GWP und der Primärenergiebedarf genannt werden.

Der Zweck, Umfang und Erfolg der Ökobilanzierung hängt maßgeblich von dem gewählten Betrachtungsrahmen aber auch der konkreten Zielstellung ab. Bei der Bilanzierung von Gebäuden wird die umfassende Betrachtung, von der Rohstoffgewinnung zur Herstellung von Bauprodukten über den Transport und die Errichtung auf der Baustelle über die Nutzungsphase bis zum Rückbau bzw. Abbruch und der Verwertung bzw. Wiederaufbereitung geführt und damit der gesamte „Lebenszyklus“ eines Gebäudes erfasst (Eyerer & Reinhardt, 2000, S. 1). Dies macht die Betrachtung sehr umfangreich, zudem müssen zahlreiche Annahmen, wie beispielsweise die Nutzungsdauer und der Sanierungsbedarf getroffen werden. Bei Gebäuden ist die Nutzungsphase von besonderer Bedeutung, da bei der Nutzung durch beispielsweise der Heizung oder Warmwasser ein bedeutsamer Teil der Emissionen entstehen und Ressourcen aufgebracht werden müssen.

2.8.3 Treibhauspotential (englisch Global Warming Potential GWP)

Die Emission von Treibhausgasen, wie Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Stickstoff (N₂O) (Frischknecht, 2019, S. 110) führt zur Zunahme des Treibhauseffekts und kann als treibender Motor der globalen Erderwärmung angesehen werden. Das Kyoto-Protokoll, zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen (BMI, 2019, S. 29), schlägt sich auch in den nationalen Klimaschutzzielen der Bundesrepublik Deutschland nieder. Als konkretes Ziel wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) für das Jahr 2030 eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen von 55 Prozent gegenüber dem Bezugsjahr 1990 forciert und für das Jahr 2050 das Ziel der Treibhausgasneutralität genannt (BMWi, 2021).

Sowohl die Herstellung als auch die Nutzung und der Rückbau von Gebäuden und Infrastrukturen steht im Zusammenhang mit unzähligen Prozessen bei denen Treibhausgase emittiert werden. Diese reichen von der Gewinnung von primären Ressourcen, Transportwegen, Baugeräteeinsatz, über den Betrieb eines Bauwerks oder Gebäudes bis hin zum Recyclingprozess. Eine gesamtheitliche Ermittlung der Treibhausgasemissionen ist damit umfangreich, trägt aber wesentlich zur Bewertung der ökologischen Qualität eines Bauwerks bei.

Bei der Ökobilanzierung (vgl. Abschnitt 2.8.2) eines Vorhabens, werden die potenziellen Auswirkungen des Vorhabens auf die globale und lokale Umwelt in Bezug auf den Klimawandel erfasst abgebildet und bewertet (BMI, 2019, S. 30).

Der Klimawandel wird demnach als Wirkungskategorie/-indikator gewählt und durch den Parameter Treibhauspotential bzw. Treibhausgaspotential oder englisch Global Warming Potential (GWP) quantifiziert (Frischknecht, 2019, S. 110). Diese Vorgehensweise wird auch im Bewertungssystem BNB (vgl. Abschnitt 2.8.1), für die ökologische Dimension der Nachhaltigkeitsbewertung angewendet (BMI, 2019, S. 30).

Das GWP eines Vorhabens ist die Summe aller emittierten Gase, die den Treibhauseffekt fördern und wird als 1 kg CO₂-Äquivalent angegeben (Frischknecht, 2019, S. 110). Der Wert ist keine Messgröße, sondern als Rechenwert zu verstehen, da bei der Ermittlung zahlreiche Annahmen, wie beispielsweise Transportentfernungen oder die Herkunft von Energiequellen, getroffen werden. Durch die direkte Wirkung auf die globale Umwelt wird dem GWP eine hohe Bedeutung zugesprochen, was durch die Zuweisung des größten Bedeutungsfaktors (Bedeutungsfaktor 3) im BNB (BMI, 2019, S. 164) belegt wird.

2.8.4 Primärenergiebedarf

Eine weitere Wirkungskategorie zur Bewertung der ökologischen Qualität ist der aufgebrachte Energieaufwand oder Primärenergiebedarf, der zur Herstellung, zum Betreiben und Rückbauen benötigt wird. Die Betrachtung adressiert nach dem Leitfaden „Nachhaltig Bauen“ das zweite zentrale Schutzgut der Ökologie, die natürlichen Ressourcen (BMI, 2019, S. 31 und 32). Wie bei der Emission von Treibhausgasen, finden während des gesamten Lebenskreislauf eines Bauwerks Prozesse statt, bei denen Energie aufgewendet wird.

Bei Gebäuden wird besonderes Augenmerk auf den Energiebedarf bei Nutzung des Gebäudes, beispielsweise durch Einhaltung der Energieeinsparverordnung ENEC, gelegt. Jedoch wird auch ein bemerkenswerter Anteil bei der Herstellung und auch bei dem Rückbau aufgebracht. Etwa können dazu Prozesse bei der Herstellung von Baustoffen, wie die energieintensive Herstellung von Stahl, erheblich zum Energiebedarf beitragen. Im Gegensatz zum Endenergiebedarf, der die aufgebrachte Energie an der Abnahmestelle erfasst, beinhaltet der Primärenergiebedarf die gesamte, aufgebrachte Energie von der Rohstoffgewinnung bis zum Endenergiebedarf. Es handelt sich deshalb beim Primärenergiebedarf auch nicht um eine messbare Kenngröße, sondern einen auf Grund von Annahmen und Verallgemeinerungen berechneten Wert. Beim Primärenergiebedarf wird oft nach der Herkunft der bereitgestellten Energie in erneuerbare und nichterneuerbare Energieträger unterschieden, da dies auch eine unterschiedliche Nutzung energetischer Ressourcen darstellt.

2.8.5 DIN EN 15978 und ökologische Baudaten

Zur Standardisierung und Vergleichbarkeit der Ökobilanzierungen von Gebäuden kann die DIN EN 15978 (DIN, 2011) verwendet werden. Diese steckt Systemgrenzen ab und bietet auch eine Definition der Begrifflichkeiten. Der gesamte Lebenszyklus eines Bauwerks wird in vier Lebenszyklusphasen, die Herstellungs-, Errichtungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase kategorisiert (vgl. Abbildung 4). Ergänzend wird das Recyclingpotential in einem getrennten Modul (D) außerhalb der Systemgrenze eines Gebäudes erfasst. Die Phasen werden nochmals in Module geteilt die als Teilbereiche für das Erfassen einzelner Prozesse dienen.

Das Regelwerk erläutert, welche Prozesse für die Ökobilanzierung relevant sind. So wird etwa als Grenze für das Modul A4 genannt, dass Transporte der Baumaterialien und Geräte erfasst werden, jedoch Personentransporte nicht erfasst werden (DIN, 2011, S. 20). Es bietet damit ein strukturiertes Vorgehen für die jeweilige Phase und kann entsprechend als Leitfaden verwendet werden.

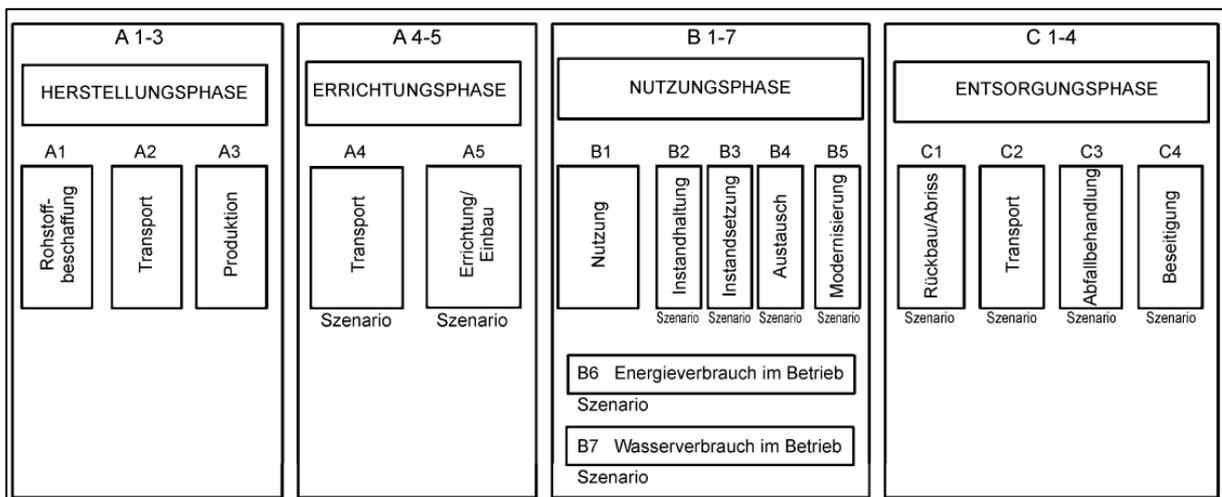


Abbildung 4: Lebenszyklusphasen und Module für Gebäude nach DIN EN 15975 ⁴

Von den Herstellern von Bauprodukten des Hochbau-Sektors werden zunehmend Umweltproduktdeklarationen (EPD) zur Verfügung gestellt, die auf den Phasen und Modulen der DIN EN 15978 basieren. Damit kann mit der Planung eines Gebäudes auch gleichzeitig die Ökobilanzierung entwickelt werden. Die EPDs werden durch die Hersteller explizit für Ihre Produkte oder Produktlinien erstellt. Sie werden jedoch auch von Fachverbänden unter Berücksichtigung verschiedener Hersteller erzeugt.

⁴ Abbildung von (DIN, 2011, S. 21)

Beispielsweise hat der Europäischer Kunststoffrohrverband (TEPPFA) zahlreiche EPDs zu verschiedenen Kunststoffrohrsystemen veröffentlicht (TEPPFA, 2021).

Die Ökobaudat bietet als frei zugängliche Datenbank eine Sammlung verschiedener Datensätze, die unter anderem auf diesen Deklarationen beruhen und damit eine Grundlage bilden mit der Ökobilanzierungen für gesamte Bauwerke oder Gebäude erstellt werden können. Weiter finden sich in der Datenbank auch Datensätze für den Transport oder Bauprozesse.

2.9 Bestehende Bilanzierungen für Entwässerungssysteme

Für Entwässerungssysteme und deren Komponenten wurden bereits vereinzelt Studien zur Nachhaltigkeitsbetrachtung oder beispielhafte Ökobilanzen durchgeführt. Es handelt sich um Bilanzierungen von Bestandteilen, wie Rohrleitungen aber auch Bilanzierungen von gesamten Entwässerungs-Infrastrukturen. Je nach Randbedingungen und untersuchten Komponenten kommen diese zu teils unterschiedlichen Ergebnissen.

Es muss beachtet werden, dass viele Studien außerhalb von Deutschland durchgeführt wurden und deshalb können die erzielten Ergebnisse nur bedingt auf die in Deutschland vorliegenden Verhältnisse übertragen werden. Dies wird damit begründet, dass sich beispielsweise Transportentfernungen von Primärressourcen oder auch der verwendete Strommix unterscheiden. Die Untersuchungen dienen dazu, eigene Ergebnisse auf Plausibilität zu prüfen und bereits vor Entwicklung der Bilanzierungsansätze wichtige Teilbereiche zu identifizieren.

Umfangreiche Untersuchungen, hinsichtlich der Umweltwirkungen von Kanalisationen und Bestandteilen wurden in (Specht & Lorenz, 2009) , (Vahidi, Jin, Das, & Singh, 2015), (Petit-Boixa, et al., 2014) und (Venkatesh, Hammervold, & and Brattebø, 2009) durchgeführt. Dabei kommen verschiedene Bewertungsverfahren wie beispielsweise die Ökobilanzierung aber ergänzend auch Kostenberechnungen und analytische Hierarchieprozesse zur Anwendung. Eine Übertragung auf konkrete Planungen von Entwässerungssystemen gestaltet sich mit den durchgeführten Studien als schwierig, da sich die Betrachtungen meist auf Kategorien von Rohrleitungen oder einzelne Durchmesser und Verallgemeinerungen stützen.

Die Wahl der Rohrwerkstoffe stellt sich bei den Untersuchungen als eine zentrale Fragestellung heraus. Generell erzielen hier Betonrohre meist gute Ergebnisse (Specht & Lorenz, 2009, S. 5) (Petit-Boixa, et al., 2014, S. 991).

Im Gegensatz dazu weisen auch die synthetisch hergestellten Rohrleitungen aus PVC gute Ergebnisse auf (Petit-Boixa, et al., 2014, S. 991) (Akhtar, et al., 2014, S. 976).

Während bei den Bilanzierungen teils ausschließlich Bezug auf die Rohrleitungen genommen wird, enthält die Untersuchung von (Petit-Boixa, et al., 2014, S. 991) auch verschiedene Konstruktionslösungen wie die Bettung und berücksichtigt auch Bauwerke. Die Errichtungsphase wird bei dieser Studie als besonders wichtig hervorgehoben (Petit-Boixa, et al., 2014, S. 991). Die Herstellungs- und Errichtungsphase werden von allen Untersuchungen als die Phasen mit den meisten Umweltwirkungen identifiziert. Um die Ergebnisse darzustellen werden oft Auszüge der GWP-Berechnung verwendet.

Auch für Anlagen der Regenwasserbewirtschaftung liegen Untersuchungen vor. Neben dem Vergleich von naturnahen und technischen Lösungen zur Entwässerung werden in (Byrne, Grabowski, Benitez, Schmidt, & Guest, 2017) und (Fathollahi & Coupe, 2021) auch verschiedene Entwässerungssysteme zur Versickerung wie beispielsweise Mulden und Rigolen bilanziert.

Hieraus geht hervor, dass die naturnahen Anlagen, wie die Versickerungsmulde und Versickerungsbecken auch die geringsten Umweltwirkungen verursachen (Fathollahi & Coupe, 2021, S. 10). Die Untersuchung (Fathollahi & Coupe, 2021) hebt aber ebenso wie Untersuchungen der Kanalisation die Bedeutung der Errichtungsphase hervor. Auch der Transport der Baumaterialien macht einen wichtigen Anteil aus (Fathollahi & Coupe, 2021, S. 9). Die Ergebnisse können jedoch nur bedingt zur Plausibilitätsprüfung eingesetzt werden, da sich die Abmessungen der Konstruktionen teils deutlich von den in dieser Arbeit untersuchten Konstruktionslösung unterscheiden und auch die Betrachtung von (Fathollahi & Coupe, 2021) auf einen längeren Nutzungszeitraum mit Instandsetzung ausgelegt wurde.

3 Bilanzierungsansätze für einen Schmutzwasserkanal

3.1 Allgemein

Im Folgenden werden Ansätze zur Bilanzierung eines Schmutzwasserkanals, bei Herstellung in offener Bauweise entwickelt und anhand eines Beispiels erprobt. Als übergeordnetes Ziel sollen Ansätze gebildet werden, die bereits in einem frühen Entwurfsstadium Aufschluss zu globalen Umweltauswirkungen geben und diese dadurch bewertbar zu machen. Die Idee zur Entwicklung universell anwendbarer Bilanzierungsansätze, für die Herstellung von Kanalisationen beruht darauf, dass es sich bei diesen Infrastrukturbauwerken um klar definierte Linienförmige Bauwerke handelt. Aufgrund der einschlägigen Richtlinien, wie beispielsweise zu den Leitungsgräben (vgl. Abschnitt 2.5.2), besteht die Möglichkeit, über die Art, die Tiefe und die Länge der Rohrleitung, konkrete Mengenermittlungen anzufertigen und Aussagen zum Arbeitsablauf zu treffen, die als Grundlage genutzt werden können.

Die Bearbeitung erfolgt in Anlehnung an die Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 sowie der DIN EN 15978 und bereits bestehenden Bilanzierungsansätzen. Dies ermöglicht eine systematische Vorgehensweise und erleichtert die Verständlichkeit der definierten Kategorien und Begriffe der Untersuchung. Es werden zunächst die technischen Grundlagen des Kanalbaus und dessen Bestandteile herangezogen, um bedeutsame und sinnvolle Teilbereiche zu identifizieren, den Betrachtungsrahmen zu definieren und Systemgrenzen abzustecken. Eine bestehende, ausreichende Datengrundlage ist die Voraussetzung für die weitere Bearbeitung. Dies setzt eine umfangreiche Datenrecherche und -erhebung voraus, um eine universelle Anwendung der Bilanzierungsansätze zu ermöglichen.

Technische Baudaten werden aus den Produktdatenblättern von Herstellern entnommen. Die öffentlich zugängliche Baustoffdatenbank Ökobaudat dient bei der Bearbeitung als Datengrundlage für die ökologischen Baudaten. Ergänzend werden baubetriebliche Ansätze genutzt, um die Errichtungsprozesse auf der Baustelle möglichst genau zu erfassen. Abschließend soll die Systematik in ein Excel-Programm implementiert werden, um die Ansätze auf konkrete Planungen von Kanälen zu übertragen und die Bilanzierung zu automatisieren.

3.2 Zieldefinition

Die Bilanzierungsansätze werden entwickelt, um mögliche Umweltauswirkungen von konkreten Kanalbaumaßnahmen zu quantifizieren und damit eine Bewertung und Vergleichbarkeit der eingesetzten Baustoffen und Bestandteile, hinsichtlich der gewählten Umweltwirkungen zu ermöglichen. Diese Bewertung kann bei Bedarf in den Abwägungsprozess der Planung einfließen. Um dieses Ziel zu erreichen, werden weitere Teilziele definiert:

- Definition eines sinnvollen Untersuchungsrahmens, der für eine Vielzahl von geplanten Maßnahmen eingesetzt werden kann.
- Die Umweltauswirkungen anhand von wenigen, jedoch maßgebenden Kennwerten zu quantifizieren, um eine Bearbeitung im Rahmen der Arbeit zu ermöglichen.
- Einen umfangreichen Bauteilkatalog erstellen, der die Komplexität von Kanalbaumaßnahmen adressiert und durch vorhandene ökologische Baudaten abgedeckt wird.
- Zielführende Annahmen für die Herstellungsprozesse der Kanalisation in Deutschland treffen.
- Erstellen von Berechnungsansätzen, die für den Betrachtungsrahmen universell einsetzbar sind und für sich für eine programmgestützte Automatisierung eignen.
- Rohrwerkstoffe bilanzieren, synthetisch hergestellte und mineralische Baustoffe zu vergleichen und deren Auswirkungen auf verschiedene Lebenszyklusphasen zu erfassen.
- Eine Vergleichende Bilanzierung mit allen wichtigen Bestandteilen des Kanalbaus für einen Schmutzwasserkanal in Deutschland durchführen.
- Die Evaluierung der Bilanzierung anhand einer Plausibilitätsprüfung und Diskussion der Ergebnisse

3.3 Bilanzrahmen

3.3.1 Indikatoren und Wirkungskategorien

Die Bilanzierung orientiert sich an den gängigen und bisher genannten Methoden zu Untersuchung der Umweltwirkungen, der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und der ökologischen Dimension des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) (vgl. Abschnitt 2.8.1 und Abschnitt 2.8.2).

Sowohl im BNB als auch bei den untersuchten bestehenden Bilanzierungen ist ersichtlich, dass das GWP und der Primärenergiebedarf Wirkungskategorien von hoher Bedeutung sind, welche genutzt werden, um die Umweltwirkungen und Ressourcenverbrauch darzustellen. Die berechneten Werte werden oft als maßgebende Ergebnisse exzerpiert, um die Ergebnisse der Bilanzierungen darzustellen (Petit-Boixa, et al., 2014, S. 995) (Venkatesh, Hammervold, & and Brattebø, 2009, S. 546). Die Nutzung dieser Indikatoren grenzt die folgende Bilanzierung sinnvoll ein und es können dadurch relevante Auskünfte hinsichtlich der ökologischen Qualität gegeben werden.

Die Berechnung von globalen Umweltwirkungen und dem Ressourcenverbrauch bietet sich hier als ergänzendes Instrument besonders an, da Planungen von Infrastrukturen meist durch weitere Planungsinstrumente ergänzt werden. So wird die ökonomische Qualität von Maßnahmen mit Hilfe von Kostenermittlungen bewertet. Im Zuge größerer Maßnahmen werden oft begleitende Umweltprüfungen im Rahmen von Planfeststellungsverfahren durchgeführt, bei denen lokale Umweltwirkungen, wie etwa die Auswirkungen von Baustellenlärm, erfasst werden.

3.3.2 Definition der Einheiten

Nach (Frischknecht, 2019, S. 30) sollte eine funktionelle Einheit nach dem Nutzen des bilanzierten Systems definiert werden. Es handelt sich hier jedoch um Bilanzierungsansätze für verschiedene, einzigartige Bauwerke. Das Ziel dieser Maßnahmen bzw. der übergeordnete Nutzen ist der Transport einer zuvor definierten Abwassermenge. Die Abwassermenge und die angeschlossene Population an das Kanalnetz variieren, wie der Umfang der Maßnahmen und die zugehörigen Umweltwirkungen, je nach Maßnahme. Die technische Planung einer Maßnahme hängt jedoch nicht nur vom funktionellen Nutzen, wie der Abwassermenge ab, sondern wird maßgeblich durch die lokalen Randbedingungen, etwa der Topografie, beeinflusst (vgl. Abschnitt 2.2.3).

Eine Umrechnung der gesamten Umweltwirkungen auf den Abwasserabfluss in m³ oder an die angeschlossene Einwohnerzahl, wie in Gesamtbetrachtung der Kanalisation für eine Kleinstadt in (Petit-Boixa, et al., 2014, S. 993), ist im Rahmen der geführten Betrachtung nicht zielführend. Dies würde eine augenscheinliche Vergleichbarkeit von Infrastrukturmaßnahmen vorgeben, die meist nicht gegeben ist. Als funktionelle Einheit für die Bilanzierung wird daher die geplante Entwässerungsinfrastruktur mit einem Meter Länge festgelegt.

Um die Umweltwirkungen der gesamten Entwässerungsinfrastruktur zu ermitteln, werden wie bei der Bilanzierung von (Petit-Boixa, et al., 2014) weitere Einheiten für die Hauptbestandteile der der Kanalisation definiert. Dabei werden Einheiten für die Rohrleitungen, eine 1m - lange Rohrleitung unterschiedlicher Ausführung, sowie eine Einheit für Schächte, 1 Stück Schacht unterschiedlicher Ausführung, festgelegt.

3.3.3 Festlegung der Systemgrenzen

Zunächst werden die Grenzen für die Anwendung der Bilanzierungsansätze innerhalb der Entwässerungsinfrastruktur festgelegt. Dies ist nötig, um die Komplexität der Infrastruktur zur Modellberechnung und -bilanzierung zu reduzieren. Wie in Abbildung 5 ersichtlich, beschränkt sich der Untersuchungsrahmen auf die Rohrleitungen der Sammel- bzw. Transportkanäle sowie die Schachtbauwerke einer Schmutzwasserkanalisation. Dabei handelt es sich bei den betrachteten Bestandteilen um die Kernbestandteile der Kanalisation die nach Untersuchungen von (Petit-Boixa, et al., 2014) nahezu die gesamten Umweltwirkungen verursachen.

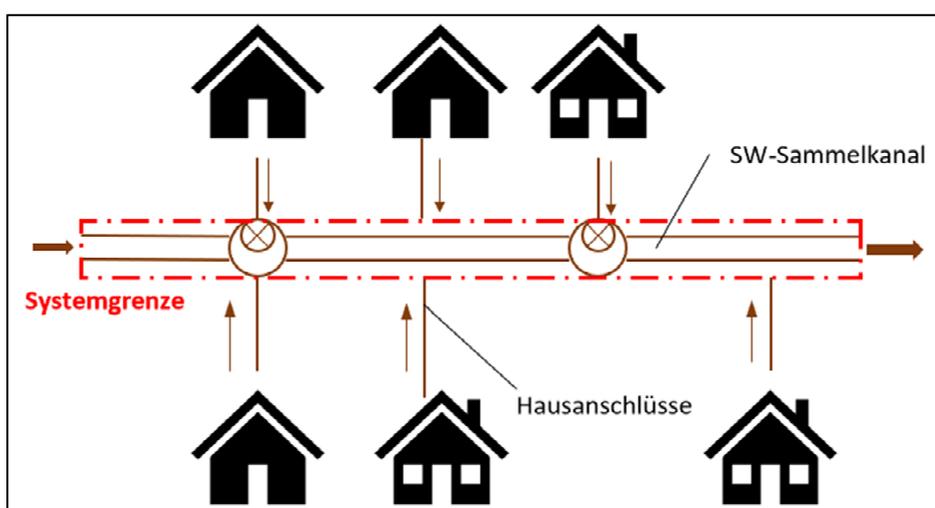


Abbildung 5: Festlegung äußere Systemgrenze am beispielhaften SW-Sammelkanal

Hausanschlussleitungen werden nicht berücksichtigt, da Sie zum Großteil auf privaten Grundstücken verlaufen und damit der Baulast der Hauseigentümer obliegen und zudem kommen fast ausschließlich Kunststoffrohre zum Einsatz (Löckenhoff, 2002, S. 4). Eine Untersuchung der Umweltwirkungen für verschiedene Varianten und verschiedener Materialien, für den Bereich der Grundstücksentwässerung, ist im Rahmen dieser Arbeit demnach nicht sinnvoll.

Weiter muss auch der Betrachtungsrahmen für die einzelnen Bestandteile definiert werden. Da der Großteil der Kanalisation aus kleinen bis mittelgroßen Rohrleitungen besteht und in diesem Größenbereich auch unterschiedliche Rohrwerkstoffe eingesetzt werden können (vgl. Abschnitt 2.3), bietet sich hier die Entwicklung von vergleichenden Bilanzierungsansätzen besonders an. Deswegen wird der Größenbereich von der Nennweite DN 250, dem Mindestdurchmesser der Schmutzwasserkanalisation, bis zur Nennweite DN 600 festgelegt.

Bilanziert werden die ausgebauten und eingebauten Komponenten der Maßnahmen gemäß der Lebenszyklusbetrachtung. Baubehelfe wie Verbaumaßnahmen und die Herstellung von Baumaschinen werden nicht bilanziert, da diese nur temporär Bestandteil des Systems sind und in der Regel in einer Vielzahl von Maßnahmen zum Einsatz kommen. Auch das Verpackungsmaterial der Baustoffe wird nicht berücksichtigt.

3.3.4 Lebenszyklusbetrachtung

Um den Bearbeitungsumfang einzugrenzen, wird die Lebenszyklusbetrachtung auf eine Nutzungsdauer von 50 Jahren festgelegt und auf die Herstellungs- und Errichtungsphase sowie Teile der Entsorgungsphase begrenzt. Die Herstellungsphase beinhaltet die Herstellungsprozesse der Bauprodukte und -stoffe, von der Ressourcengewinnung über deren Transporte bis zur Verarbeitung im Werk („cradle to gate“). Die Errichtungsphase beinhaltet die Transporte der Baustoffe bis zur Baustelle und die In-situ Bauprozesse, im Kanalbau sind dies vornehmlich der Erd- und Oberbau sowie der Rohrleitungsbau. Die Herstellungs- und Errichtungsphase wurden in den Untersuchungen von (Petit-Boixa, et al., 2014) und (Venkatesh, Hammervold, & and Brattebø, 2009) als Schwerpunkte identifiziert.

Da es sich bei Abwasserkanälen meist um Freispiegelsysteme handelt (vgl. Abschnitt 2.3), werden durch den Betrieb keine Emissionen emittiert oder Energie benötigt.

Auch die Instandhaltung, wie beispielsweise die Inspektion und Reinigung von Rohrleitungen, verursachen im Vergleich zur Herstellung nur einen Bruchteil der Umweltwirkungen. (Venkatesh, Hammervold, & and Brattebø, 2009, S. 546). Die Sanierung oder Erneuerung von Rohrleitungen oder Schächten verursachen dagegen deutlich mehr bauliche, stoffliche und energetische Aufwendungen und hängen von der Art und Häufigkeit der Maßnahmen ab.

Die Rohrleitungsinfrastruktur ist für lange Nutzungszeiträume, meist für eine Nutzungsdauer über 50 Jahren (Güteschutz Kanalbau, 2012, S. 9), ausgelegt. Der Instandsetzungs- und Sanierungs-Bedarf hängt neben dem Rohrwerkstoff und Größe der Rohrleitung auch konkret von örtlichen Begebenheiten und der Ausführungsqualität ab. Dennoch gibt es eigene theoretische Vorhersage-Modelle und Alterungstheorien, die dazu dienlich sind differenzierte Ansätze zu bestimmen. Eine Implementierung dieser Modelle wird jedoch, im Hinblick auf den Umfang, nicht geleistet. Es besteht die Annahme, dass alle gewählten Alternativen bei fachgerechtem Einbau eine geplante Nutzungsdauer von 50 Jahren ohne Sanierung und Erneuerung erreichen.

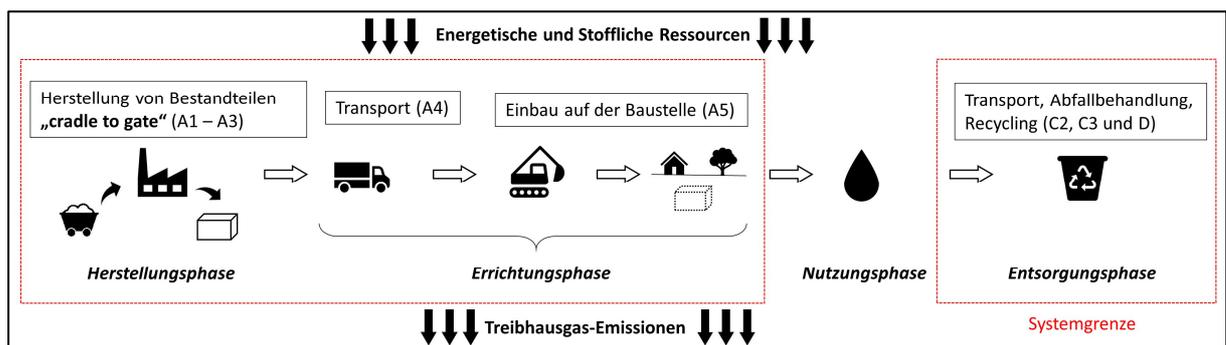


Abbildung 6: Lebenszyklusbetrachtung des Produktsystems (Schmutzwasser-Kanal)

Die Bauprozesse der Entsorgungsphase sind ebenso Vielfältigkeit und bei Planung der Baumaßnahmen noch nicht absehbar. Da jedoch die Recyclingfähigkeit und Entsorgung der eingesetzten Baustoffe deutlich variiert (vgl. Abschnitt 2.3), werden diese, im Hinblick auf die Kreislaufwirtschaft, anhand der vorliegenden ökologischen Daten berücksichtigt.

3.4 Alternativen und Datengrundlage

3.4.1 Rohrleitungen

Bei der Wahl der alternativen Rohrwerkstoffe muss darauf geachtet werden, dass hierzu bereits ökologische Baudaten für die Herstellungsphase und die Entsorgungsphase zur Verfügung stehen. In der frei zugänglichen Ökobaudat sind bereits zahlreiche Datensätze für verschiedene Abwasserrohre enthalten.

Weiter müssen Baudaten bzw. Datenblätter von Herstellern zu den ausgewählten Bestandteilen vorliegen, da sowohl das Gewicht der Rohrleitungen aber auch die Abmessungen bedeutend für die weiteren Berechnungen sind.

Folgende Rohrtypen verschiedener Werkstoffe werden, auf Grundlage der Analyse in den theoretischen Grundlagen (vgl. Abschnitt 2.3) in der Bilanzierung übernommen: Betonrohre, Stahlbetonrohre, PVC-U Rohre, PE-HD Rohre, PP Rohre und Steinzeugrohre. In Tabelle 1 findet sich die Übersicht der gewählten Werkstoffe, Produkte und der dazugehörigen ökologischen Datensätze.

Werkstoff	Firma	Produktlinie	Techn. Daten	Ökolog. Daten
Beton	Haba Beton	Betonrohr K-GM	(Haba-Beton, 2016, S. 2-2)	(Ökobaudat: Betonrohr, unbewehrt, 2021)
Stahlbeton	Haba Beton	Stahlbetonrohr K-GM	(Haba-Beton, 2020, S. 1-2)	(Ökobaudat: Betonrohr, bewehrt, 2021)
PVC-U	Funke Gruppe	Connex Kanalrohr	(Funke-Gruppe, 2021, S. 5)	(Ökobaudat: Abwasserrohr PVC, 2021)
PE-HD	Gerodur	Geroblanco SDR 21	(Gerodur, 2009, S. 5); (KRV, 2008)	(Ökobaudat: Abwasserrohr PE-HD, 2021)
PP	Rehau	Awadukt PP SN 10	(Rehau, 2019, S. 21)	(Ökobaudat: Polypropylen-Rohr (PP), 2021)
Steinzeug	Steinzeug Keramo	Kera Base K	(Steinzeug Keramo, 2021, S. 11)	(Ökobaudat: Steinzeugrohre DN 400, 2021)

Tabelle 1: Übersicht über gewählte Produkte und Datengrundlagen für Rohrleitungen

Es wurden nur Produkte gewählt, die für einen Einsatz im Abwasserbereich genormt sind (vgl. Abschnitt 2.3). An die biegesteifen Rohre aus Beton, Stahlbeton und Steinzeug werden keine besonderen Anforderungen gestellt, da diese für den Regeleinsatz ausreichende Festigkeiten aufweisen. Die gewählten Produktreihen der Kunststoffrohre enthalten mindestens Rohre der Nenn-Ringsteifigkeitsklassen SN 8. Diese weisen ausreichende Tragfähigkeiten auf, um den Lasten gerecht werden, die im Bereich von Verkehrsflächen und in tieferen Lagen von etwa 3 bis 6 m Tiefe auftreten.

3.4.2 Schächte

Die Schächte werden mit Beton-Fertigteilen (vgl. Abschnitt 2.4.2) ausgeführt, da dies die gängige Bauweise von Schachtbauwerken ist. Dabei bieten Fertigteil-Schächte, mit dem Durchmesser DN 1000, Anschlussmöglichkeiten für alle gewählten Rohralternativen (Werkstoffe und Größen), was einen multimodalen Einsatz ermöglicht.

Als mögliche Schachtbauteile werden Schachtunterteile SU-M, Schachtringe SR-M und Schachthälsa SH-M gewählt. Die Fertigteile werden in unterschiedlichen Bauteilhöhen produziert und entsprechend in die Betrachtung übernommen. Dies ermöglicht eine ausreichende Genauigkeit, um die Fertigteile für die gewählten Schachthöhen zusammensetzen. Auch das Schachtzubehör wird berücksichtigt. Als Schachtabdeckung wird eine Abdeckung Kl. D 400 in Beton/Guss-Ausführung gewählt, da diese für den Einsatz im Fahrbahnbereich geeignet ist. Es wird angesetzt, dass die Werkstoffe für jeweils 50 % des Gesamtgewichts stehen. Ergänzend werden auch die Steigeisen berücksichtigt, da Stahl-Erzeugnisse bei der Herstellung hohe Umweltwirkungen erzeugen.

Es liegt zu den Fertigteil-Schächten kein gesonderter Datensatz in der Ökobaudat vor, deswegen wird auch hier die Datengrundlage der Betonrohre, (Ökobaudat: Betonrohr, unbewehrt, 2021), verwendet. Die Verwendung des Datensatzes ist plausibel, da die Produktion der Fertigteile meist in den gleichen Werken wie die Rohre erfolgt und die gleichen Rohstoffe und gleichen Betonfestigkeiten zur Anwendung kommen.

Werkstoff	Firma	Produktlinie	Techn. Daten	Ökolog. Daten
Beton	Haba Beton	Schachtunterteil SU-M (DN 1000)	(Haba-Beton, 2016, S. 13-6)	(Ökobaudat: Betonrohr, unbewehrt, 2021)
Beton	Haba Beton	Schachtring SR-M (DN 1000)	(Haba-Beton, 2020, S. 14-6)	(Ökobaudat: Betonrohr, unbewehrt, 2021)
Beton	Haba Beton	Schachthals SH-M (DN 1000)	(Haba-Beton, 2020, S. 14-21 - 14-22)	(Ökobaudat: Betonrohr, unbewehrt, 2021)
Beton/Guss	Schachtguss HT	Schachtabdeckung Kl. D 400	(Schachtguss HT, 2017, S. 16)	(Ökobaudat: Betonrohr, unbewehrt, 2021) / (Ökobaudat: Grauguss Bauteil, 2021)
Guss	KBS Steigtechnik	Steigeisen DIN 1212 E	(KBS Steigtechnik, 2014)	(Ökobaudat: Grauguss Bauteil, 2021)

Tabelle 2: Übersicht über gewählte Produkte und Datengrundlagen für Schachtbauteile

3.4.3 Mineralische Baustoffe

Neben den Komponenten des Rohrleitungsbaus, werden zur Herstellung auch weitere Baustoffe benötigt. Bei Herstellung der Leitungszone werden gelieferte Baustoffe, beispielsweise mineralische Gesteinskörnungen wie Sand-Kies Gemische, verwendet. Es wird spezifisches Gewicht von $1,8 \text{ t/m}^3$ angesetzt und der Datensatz (Ökobaudat: Kies 2/32, 2021) verwendet.

Da der Einbau meist in Fahrbahnflächen erfolgt, wird auch eine Schicht des gebundenen Straßenoberbaus berücksichtigt. Die Asphaltart des gebundenen Straßenaufbaus hängt von der auftretenden Belastung durch den Verkehr ab. Es wird eine 20 cm starke Asphalttragschicht angenommen. Dies entspricht in etwa einer örtlichen Geschäftsstraße der Belastungsklasse Bk3,2 gemäß RStO (Tafel 1, Zeile 3) (DAV, 2013, S. 78). Da es sich bei Kanalbaumaßnahmen um eine vergleichsweise kleine Asphaltfläche mit geringen Massen handelt, werden die Asphaltsschichten in der Berechnung nicht differenziert erfasst. Für die ein- und ausgebauten Asphaltsschichten wird ein spezifisches Gewicht von 2,4 t/m³ angenommen und die ökologischen Daten des Datensatzes (Ökobaudat: Asphalttragschicht, 2021) verwendet.

Werkstoff	Firma	Produktlinie	Einbaugewicht	Ökolog. Daten
Sand-Kies	-	Sand-Kies Gemisch	1,8 t/m ³	(Ökobaudat: Kies 2/32, 2021)
Asphalt	-	Asphalttragschicht	2,4 t/m ³	(Ökobaudat: Asphalttragschicht, 2021)

Tabelle 3: Übersicht über gewählte Produkte und Datengrundlagen für min. Baustoffe

3.5 Bilanzierungsansätze

Folgend wird erläutert, wie und welche Prozesse innerhalb der Systemgrenzen bilanziert werden, um das GWP und den Energiebedarf zu ermitteln. Hier werden Annahmen getroffen, um die Prozesse für die Modellrechnung zu vereinfachen. Als Berechnungsgrundlage dient generell die Massenermittlung der Maßnahme.

3.5.1 Massenermittlung

Zentrales Element der Bilanzierung ist die Massenermittlung, die aus der technischen Planung des Systems entwickelt wird. Aus der Dimension der Rohrleitung, den Rohrwerkstoffen, den Haltungslängen und den Höhen der Schächte können die Massen der einzelnen Bestandteile unter Zuhilfenahme von Annahmen ausreichend genau berechnet werden. Der Ablauf und die Zuordnung der Massen sind zur besseren Verständlichkeit ergänzend in der Abbildung 7 dargestellt.

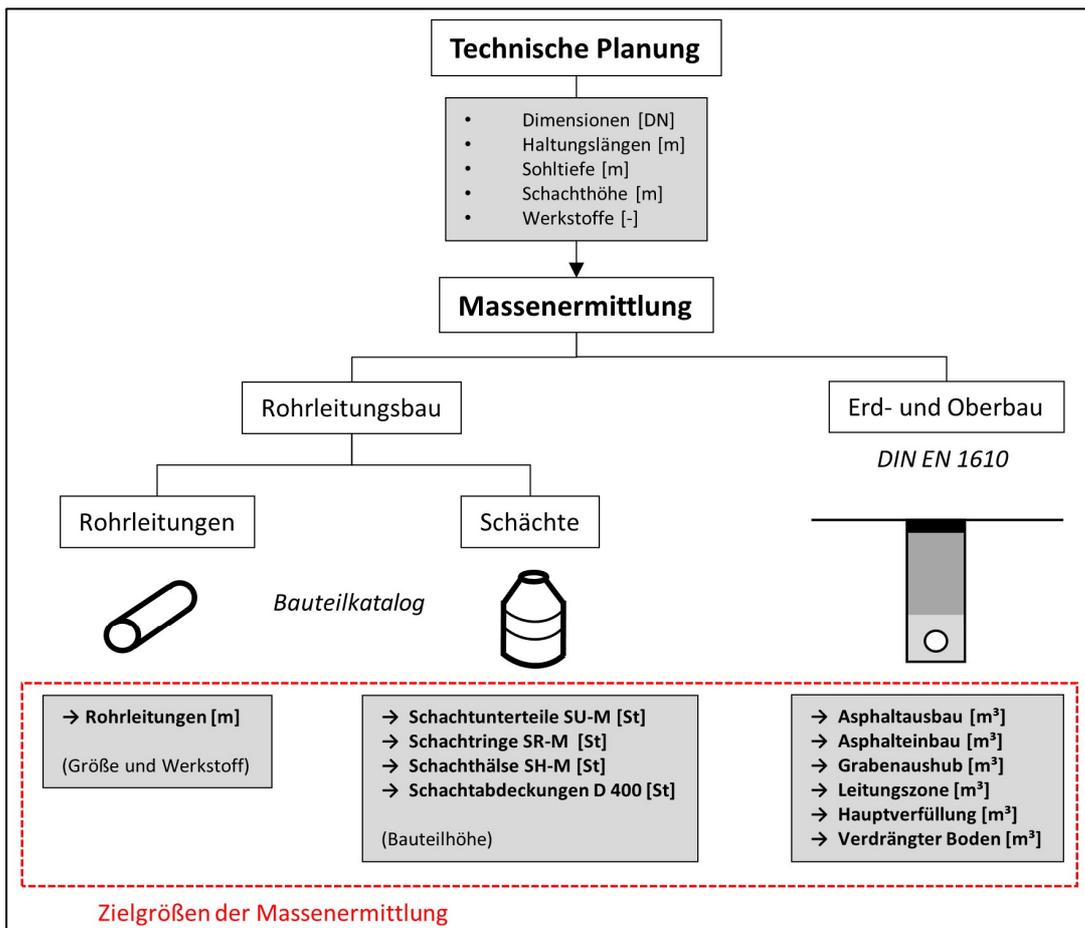


Abbildung 7: Ablauf und Kategorien der Massenermittlung

Die Ermittlung der Massen folgt getrennt nach den Kategorien Rohrleitungs- und Erdbau. Die Kategorie Rohrleitungsbau enthält die Bestandteile Rohrleitungen und Schächte. Als Zielgröße der Rohrleitungen werden die Längen der Rohrleitungen abhängig von der Dimension und dem Werkstoff der Abwasserleitung ermittelt und anhand der Schachthöhen werden die Stückzahlen der benötigten Schachtbauteile, abhängig von der Bauteilhöhe, ermittelt. Für den Rohrleitungsbau wird ein Bauteilkatalog angefertigt, um eine kategorische Zuordnung der Massenermittlung für die weitere Bilanzierung zu ermöglichen.

Der zweite Teil der Massenermittlung enthält die Ermittlung der Erd- und Oberbauvolumina. Die Massen werden für den Asphaltbau, Grabeinaushub, Leitungszone, Hauptverfüllung und dem Verdrängten Boden in der Einheit [m³] getrennt berechnet. Dabei wird angenommen, dass die Rohrleitungen in offener Bauweise (vgl. Abschnitt 2.5), mit senkrechten Grabenwänden und mit Hilfe eines Verbaus hergestellt werden. Die Erdbaumassen der Leitungsgräben werden über die gesamte Haltungslänge, von Schachtmittelpunkt bis Schachtmittelpunkt, berechnet und somit „übermessen“.

Dadurch entsteht eine Mengenerhöhung bei den Rohrleitungen und beim Erdbau. Die Baugruben für Schächte werden dafür hinsichtlich des Erdbaus vernachlässigt. Als Leitungsgrabenbreite werden die erforderlichen Mindestabmessungen der DIN EN^o1610 angenommen, zu der ermittelten Mindestbreite werden beidseitig 10 cm hinzugefügt, um mögliche Verbaumaßnahmen zu berücksichtigen.

Das Aushubvolumen wird von der Geländeoberkante bis zur Grabensohle, über die Breite und Länge des Leitungsgrabens, berechnet. Es wird angenommen, dass die Leitungszone mit geliefertem Material, einer Sand-Kies-Mischung, hergestellt wird. Als Bettung wird eine Bettung des Typs 1, mit einer Stärke von 15 cm angenommen. Die Annahme beruht darauf, dass eine 15 cm dicke Sandschicht mit ausreichender Verdichtung bereits eine gute Tragfähigkeit aufweist und damit unterschiedliche Baugrundverhältnisse puffern kann. Weiter besteht die Annahme, dass das Aushubmaterial zur Hauptverfüllung des Leitungsgrabens oberhalb der Leitungszone bis zur Geländeoberkante genutzt werden kann. Die Abdeckung über dem Rohrscheitel beträgt 30 cm, damit wird eine mechanische Verdichtung oberhalb dem Rohrscheitel ermöglicht. Durch den Einbau der Rohrleitung und der Leitungszone aus Liefermaterial wird Bodenmaterial verdrängt und als Verdrängter Boden ermittelt. Dieser wird von der Baustelle abtransportiert und deponiert.

3.5.2 Herstellungsphase (Module A1 bis A3 - „cradle to gate“ für Bauprodukte)

In der Herstellungsphase werden alle Prozesse zur Herstellung („cradle to gate“) der Baustoffe- und -produkte berücksichtigt, die zur Herstellung der Kanalbaumaßnahme benötigt werden. Es wird die Herstellung von Rohrleitungen, Schächten, Asphalt und dem Sand-Kies Gemisch für die Leitungszone, berücksichtigt.

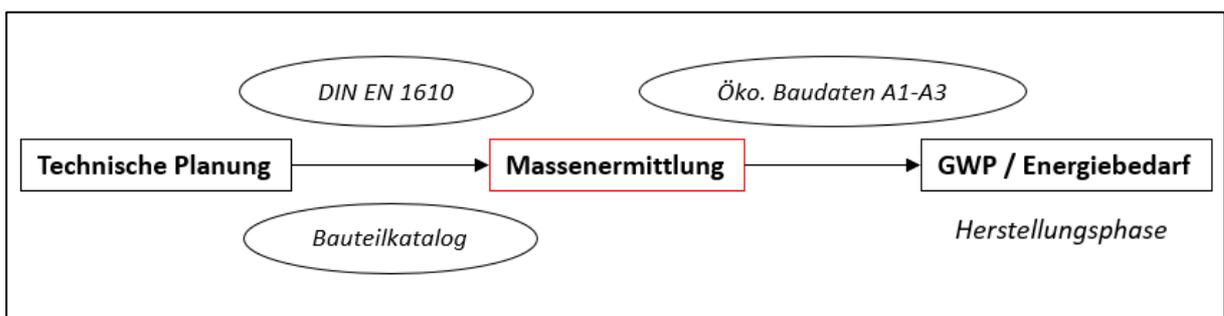


Abbildung 8: Ermittlung der Umweltwirkungen für Module A1 bis A3

In der Ökobaudat finden sich die Datensätze der gewählten Bestandteile.

Darin liegen Werte für die Indikatoren GWP und den Primärenergiebedarf der betrachteten Alternativen meist gewichtsspezifisch, je Kilogramm des betrachteten Produkts vor. Die Berechnung folgt über das ermittelte Gewicht und die gewichtsspezifische Angabe (vgl. Abbildung 8).

Zum Energiebedarf liegen in der Ökobaudat verschiedene Indikatoren vor. Zur Berechnung wird der Energiebedarf aus erneuerbaren Quellen und der Energiebedarf aus nicht erneuerbaren Quellen zusammengefasst. Dies bedeutet, dass die Ergebnisse für den Energiebedarf nicht differenziert für erneuerbare und nicht erneuerbare Quellen angegeben werden. Der Auszug der verwendeten ökologischen Baudaten findet sich in der Datengrundlage in Anlage 3_1.

3.5.3 Errichtungsphase (Modul A4 - „Transport zur Baustelle“)

Die Errichtungsphase beginnt mit dem Transport der hergestellten Bestandteile bis zum Einbauort auf der Baustelle. Diese variieren nach der Lage des Produktionsstandortes und der Lage des Einbauortes teilweise deutlich und sollten idealerweise für die konkrete Baumaßnahme und die verwendeten Produkte ermittelt werden. Für die allgemeine Modellrechnung müssen jedoch Annahmen für den Standort Deutschland getroffen werden, um die Auswirkungen der Transporte zu erfassen. Dabei sollten diese nach Möglichkeit differenziert angegeben werden, um die Verfügbarkeit der Baustoffe abzubilden. Es wird zudem angenommen, dass die Güter mit dem LKW transportiert werden. Für die Berechnung (vgl. Abbildung 9) der Transporte liegt in der Ökobaudat ein Datensatz zum Güterverkehr vor. Dieser beinhaltet die Umweltwirkungen für einen Tonnenkilometer (tkm) eines durchschnittlichen EURO-4 LKW mit einer Gewichtsauslastung von 85 % (Ökobaudat: LKW, 2021).

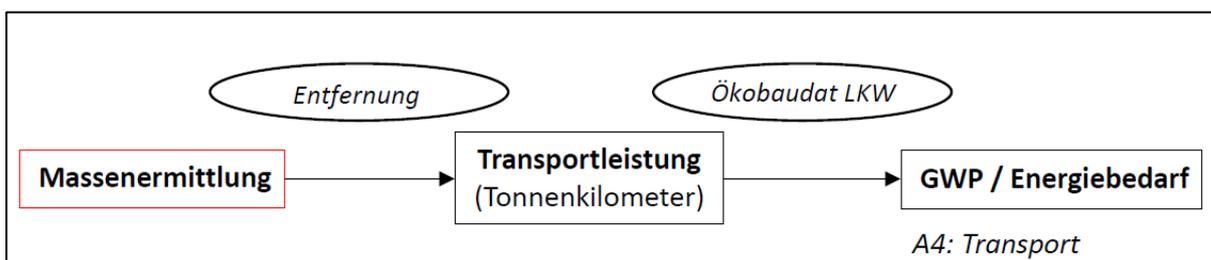


Abbildung 9: Ermittlung der Umweltwirkungen für Modul A4

Die durchschnittliche Transportentfernung von Gütern im Straßenverkehr in Deutschland wurde im Jahr 2017 mit 93 km ermittelt (BMVI, 2019, S. 262).

Diese Entfernung findet sich in etwa in der Bilanzierung für Brückenbauwerke von (Zink, 2016, S. 101) wieder, bei der generell für alle Baustoffe eine Entfernung von 100 km angegeben wird. Je nach Art der Güter können davon deutliche Abweichungen vorliegen und deswegen werden für die verwendeten Baustoffe, durchschnittliche Transportentfernungen anhand der Verfügbarkeit festgelegt.

Da in der Bundesrepublik Deutschland knapp 2.000 Gewinnungsstandorte verortet sind, (MIRO, 2020, S. 102) weisen Sande und Kiese eine sehr gute Verfügbarkeit auf. Im Jahresbericht des Bundesverband Mineralische Rohstoffe e. V. (MIRO) werden für Baukiese und -sande eine durchschnittliche Transportentfernung von 30 km im Straßenverkehr angegeben (MIRO, 2020, S. 105). Dieser Wert wird durch eine Untersuchung des BMVI bestätigt, bei dem für die Gütergruppe „Erze, Steine u. Erden, Bergbau“ eine durchschnittliche Transportentfernungen von ca. 30 km genannt wird (BMVI, 2019, S. 262). Die Transportentfernung für das Kies-Sand Gemisch wird demnach auf 30 km festgelegt.

Asphalt kann ebenfalls als sehr gut verfügbarer Baustoff bezeichnet werden, denn derzeit existieren ca. 550 Asphaltmischwerke in Deutschland (EAPA, 2020, S. 11). Als Anhaltswert wird in (Holldorb & Mayer, 2009, S. 25) eine mittlere Transportentfernung von 50 km angegeben und aufgrund fehlender Alternativen für die Bilanzierung übernommen.

Auch Fertig-Bauteile für Rohrleitungen und Schächte aus Beton und Stahlbeton können eine gute Verfügbarkeit aufweisen, konkret finden sich allein in der Fachvereinigung Betonrohre e.V. (FBS) über 60 Standorte von Herstellern in Deutschland (FBS, 2012, S. 4). Die Transportentfernung für Betonfertigteile in Deutschland beträgt laut MIRO im Durchschnitt 140 km (MIRO, 2020, S. 105). Laut Auskunft der FBS ist die durchschnittliche Transportentfernung für Rohre und Fertigteil-Schächte jedoch deutlich geringer. Als Anhaltswert wurde durch den Fachverband ein rechnerischer Mittelwert von etwa 50 km genannt. Dieser beruht auf der Angabe der maximalen Lieferentfernung von 100 km, welche die meisten Mitglieder des Verbands angeben. Aufgrund fehlender alternativer Angaben wird diese Entfernung für alle Bestandteile aus Beton- und Stahlbetonfertigteile übernommen.

Im Gegensatz dazu, vereinigt der KRV weniger Hersteller von Kunststoffrohren unter seinem Dach und auch die Recherche des Bauteilkatalog gestaltet sich aufgrund vieler verschiedener Kunststoffe und der vielfältigen Ausführungen schwieriger als bei den Bauteilen aus Beton und Stahlbeton.

Aufgrund weniger Produktionsstandorte ist deshalb darauf zu schließen, dass bei Kunststoffrohren deutlich größere Transportentfernungen, anzunehmen sind. Dies zeigt sich auch in den Annahmen von Transportdistanzen in bereits durchgeführten Umweltproduktdeklarationen (EPDs) für Kunststoffrohrprodukte. Bei den EPDs des europäischen Kunststoffrohrverbandes (TEPPFA) wird für Abwasserrohre aus PP eine mittlere Transportentfernung von 400 km (TEPPFA, 2020a, S. 8) und für Abwasserrohre aus PVC-U eine Distanz von 510 km angegeben (TEPPFA, 2020b, S. 8). Diese EPDs beziehen sich jedoch auf den europäischen Markt. Für den deutschen Markt gibt die Fa. Fränkische Rohre für Kunststoffrohre für die Elektroinstallation eine durchschnittliche Entfernung von 340 km an (IBU, 2020). Um den Standort Deutschland und die, im europäischen Vergleich, überdurchschnittlichen Bedingungen der Logistik und Straßeninfrastruktur abzubilden, folgt die Festlegung auf eine durchschnittliche Transportentfernung von 350 km für alle Kunststoffrohre.

Auch beim Transport von Steinzeugrohren müssen große Transportdistanzen festgelegt werden, denn nach Auskunft des Fachverbands Steinzeugindustrie e.V. gibt es gegenwärtig zwei Produktionsfirmen in Deutschland. Nachdem keine konkreten Anhaltspunkte für durchschnittliche Transportentfernungen von Steinzeugrohren vorliegen, wird auch hier eine Transportentfernung von 350 km festgelegt. Eine Zusammenfassung der Transportdistanzen findet sich in Tabelle 4.

Bauprodukt	Sand-Kies	Asphalt	Beton/StB (Rohre/Schächte)	Kunststoff Rohrleitungen	Steinzeug Rohrleitungen
Transport- Entfernung [km]	30	50	50	350	350

Tabelle 4: Mittlere Transportentfernungen der Bauprodukte zum Einbauort

3.5.4 Errichtungsphase (Modul A5 - „Errichtung/Einbau“)

Um den Bauprozess zu berücksichtigen, werden die Hauptarbeiten des Erd- und Oberbaus sowie des Rohrleitungsbaus betrachtet. Die Umweltwirkungen entstehen durch den Betrieb der eingesetzten Baumaschinen und deren Kraftstoffverbrauch.

Folgende Haupt-Bauleistungen (vgl. Abschnitt 2.5.4) berücksichtigt:

Rohrleitungsbau	Erd- und Oberbau
<ul style="list-style-type: none"> • Rohre verlegen • Schächte herstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausbau Asphalt • Einbau Asphalt • Aushub des Leitungsgrabens • Leitungszone herstellen • Grabenverfüllung • Verdrängten Boden abtransportieren

Tabelle 5: Übersicht Hauptbauleistungen

Zum Aushub der Leitungsgräben, Einbau der Rohrleitungen und Schächten sowie zur Grabenverfüllung kommen meist mittelgroße Hydraulikbagger im Leistungsbereich von etwa 50 bis 80 kW zum Einsatz (Ilgeroth, Müller, & Abo-Dabach, 2007, S. 120, 140, 142). Für den mittleren Berechnungsansatz wird deshalb ein Mobilbagger mit einer Leistung von 65 kW angesetzt. Als leistungsspezifischer Dieselverbrauch wird, auf Grundlage der Baugeräteliste 2015 (Bauverlag, 2020), ein durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch von 120 g/kWh angenommen. Damit ergibt sich für den gewählten Bagger ein Kraftstoffverbrauch von 7,8 kg/h.

Über den ermittelten Kraftstoffverbrauch lassen sich die Umweltwirkungen mit Hilfe der Ökobaudat berechnen. Hier findet sich ein Datensatz für den Aushub von 1 m³ sandigen Boden mit einem 100 kW Bagger. Der beim Aushub verbrauchte Kraftstoff beträgt laut Datensatz dabei 0,3091 kg_{Diesel} (Ökobaudat: Bagger 100 kW Aushub, 2021). Da sich der Datensatz nur auf den verbrauchten Diesel bezieht, kann dieser zur Umrechnung verwendet werden. Die vorliegenden Werte der Umweltwirkungen werden deshalb durch den Faktor 0,3091 geteilt, um diese für die Bezugseinheit 1 kg_{Diesel} umzurechnen. Der gesamte Dieselverbrauch und folglich die Umweltwirkungen werden anhand der Aufwandswerte, zur Herstellung der Bauleistung und dem Verbrauch des Baggers berechnet (vgl. Abbildung 10).

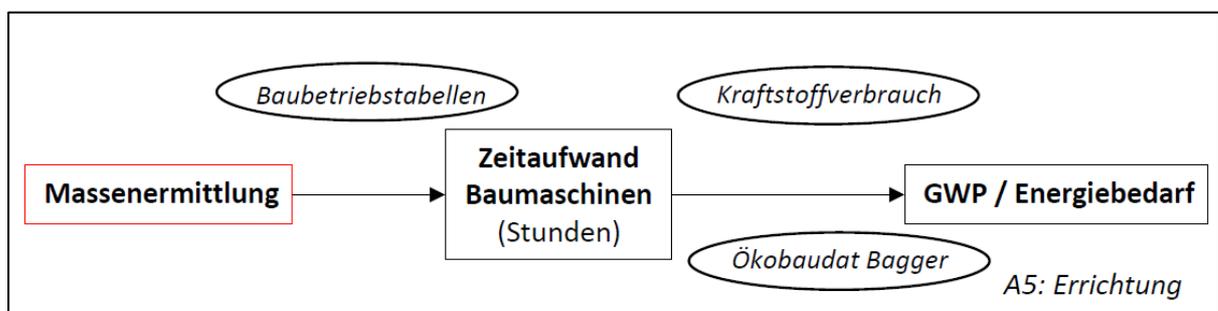


Abbildung 10: Ermittlung GWP/Energiebedarf für Modul A5

Rohre verlegen und Schächte herstellen

Die Aufwandswerte werden nach Art und Größe der Bestandteile teils differenziert angegeben. Beim Rohrleitungsbau werden die Aufwandswerte der Baubetriebstabellen für Rohrleitungsarbeiten (Krause & Ulke, 2016, S. 1485 ff.) verwendet. Es besteht die Annahme, dass der Aufwandswert auch der Dauer des Geräteeinsatzes entspricht, da der Bagger meist sowohl zum Laden und Transportieren der Baustoffe aber auch zum Einheben in den Rohrgraben und Ausrichten der Bauteile verwendet wird. Zudem wird angenommen, dass der Bagger auch beim Bau der vergleichsweise leichten Kunststoffrohre eingesetzt wird, da das Einheben in die verbauten Gräben mit einer Tiefe etwa 3 m nur mit Geräteeinsatz realisiert wird.

Da sich die Randbedingungen und Komplexität der Baustellenbedingungen auf den Aufwand auswirken, sind die Aufwandswerte für eine Leistung in der Tabelle meist als Spanne angegeben. Hier werden die oberen Grenzen der Stundenansätze gewählt, um nicht berücksichtigte Arbeiten (wie beispielsweise Verbau- und Kleinleistungen) zu kompensieren. Bei fehlenden Einträgen werden die Aufwandswerte anhand vorhandener Daten interpoliert oder auf Grundlage der vorhandenen Daten geschätzt angenommen.

Die Aufwandswerte der Erdbaumaßnahmen sind stark abhängig von den vorliegenden Randbedingungen einer Baumaßnahme und dem Geräteeinsatz. Beispielsweise ist der Zeitaufwand beim Abbau von felsigen Böden um ein Vielfaches höher als bei lockeren sandigen Böden. Auch werden die Arbeiten durch Fremdleitungen und Verstreubungen von Verbaumaßnahmen erschwert. Folgend werden für die Erdbau-Bauleistungen differenzierte Ansätze erstellt, um diese zu berücksichtigen.

Grabenaushub

Um eine Annahme zu treffen wird der Zeitaufwand des Aushubs mit dem 65 kW-Hydraulikbagger mit einer überschlägigen Leistungsberechnung in Anlehnung an die Berechnungsmethode der Baubetriebstabellen von (Krause & Ulke, 2016) ermittelt.

Mit der Übersichtsformel (Krause & Ulke, 2016, S. 1109) wird die Grundleistung zunächst wie folgend abgeschätzt:

$$Q_{\text{Grundleistung}} = 100 \cdot V_R \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

mit $V_R = 0,5 \text{ m}^3$ (Mittelwert f. TL Mobilbagger 50 und 80 KW Tafel 9.21)

$$Q_{AV, \text{Aushub}} = 100 \cdot 0,5 = 50 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right].$$

Um die Erschwernisse durch den Leitungsgrabenaushub zu berücksichtigen, wird die geschätzte Leistung um 50 % reduziert, dies entspricht auch dem Einsatzfaktor f_4 für den Aushub in verbauten Gräben in 2,5 m bis 3,0 m tiefen Gräben für kurzfristig standfeste Böden gem. Tafel 9.27 (Krause & Ulke, 2016, S. 1110):

$$Q_{AV, LG-Aushub} = 0,5 \cdot 50 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = 25 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right].$$

Zudem muss berücksichtigt werden, dass der Bagger auch zur Verlegung der Rohrleitungen genutzt wird und sich die Leistung auch aufgrund der Baustellen- und Betriebsbedingungen mindert. Deshalb wird die berechnete Leistung nur zu 65 % angesetzt. Dies entspricht dem Nutzleistungsfaktor f_E für mittelmäßige Baustellen- und Betriebsbedingungen nach Tafel 9 (Krause & Ulke, 2016, S. 1074):

$$Q_{BV, LG-Aushub} = 0,65 \cdot 25 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = 16,25 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \sim 15 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

$$\text{Aufwandswert für Grabenaushub: } \frac{1}{15} \approx 0,07 \frac{\text{h}}{\text{m}^3}.$$

Der Aufwandswert für 1 m³ Grabenaushub ergibt sich damit zu 0,07 h/m³. Daraus errechnet sich eine Tagesleistung von ca. 120 m³, bei 8 Betriebsstunden pro Tag. Für die Leistung „Boden aus Rohrgraben lösen und seitlich lagern bzw. Laden“ wird in den Kalkulationstabellen von (Ilgeroth, Müller, & Abo-Dabach, 2007, S. 118) eine Tagesleistung zwischen 80 und 250 m³ angegeben. Der errechnete Wert kann damit validiert werden.

Leitungszone herstellen

Beim Herstellen der Leitungszone, also der Bettung, der Seitenverfüllung und der Abdeckung muss eine hohe Lagegenauigkeit gewährleistet werden und begleitende Verdichtungsarbeiten in den Zwickelbereichen der Rohrleitung müssen teils per Hand durchgeführt werden.

Es ist deshalb ein deutlich verminderten Leistungsansatz anzunehmen. Für die Herstellung der Rohrbettung aus Sand/Kies werden nach (Krause & Ulke, 2016, S. 1485) und (Ilgeroth, Müller, & Abo-Dabach, 2007, S. 168) Richtwerte von etwa 1,0 bis 1,2 h/m³ angegeben. Da die Leitungszone auch die 30 cm starke Abdeckung über der Rohrleitung enthält, bei der eine maschinelle Verdichtung eingesetzt werden kann, wird der Aufwandswert für die Leitungszone auf 1,0 h/m³ festgelegt.

Grabenverfüllung

Für die Verfüllung des Rohrgrabens bis zum gebundenen Oberbau, wird der Aufwandswert des Grabenaushubs herangezogen. Da der eingebaute Boden entsprechend verdichtet werden muss, wird ergänzend der Zeitaufwand zur Verdichtung ermittelt. Dieser wird dann vereinfachend auf den Aufwandswert aufgeschlagen. Dazu muss eine mittlere Verdichtungsleistung nach (Krause & Ulke, 2016, S. 1140) ermittelt werden. Als Verdichtungsgerät wird ein leichter Flächenrüttler gewählt.

$$Q_{BA,Verdichtung} = b^I \cdot v \cdot \frac{1}{z}$$

mit

$$b^I = 0,8 \cdot 0,6 = 0,48 \text{ (Flächenrüttler } b = 60 \text{ cm)}$$

$$v = 20 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 1200 \frac{\text{m}}{\text{h}} \text{ (leichte Verdichtungsplatte)}$$

$$z = 10$$

$$Q_{BA,Verdichtung} = 0,48 \cdot 1200 \cdot \frac{1}{10} = 58 \frac{\text{m}^2}{\text{h}}$$

mit Dicke der Einbaulage von $h = 0,25 \text{ m}$

$$Q_{BV,Verdichtung} = 0,25 \cdot 58 = 15 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Der Nutzleistungsfaktor f_E wird wie beim Grabenaushub mit 0,65 für mittelmäßige Baustellenbedingungen angenommen. Demnach ergibt sich die Nutzleistungen zu:

$$Q_{AV,Verdichtung} = 0,65 \cdot 15 = 9,75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 10 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Aufwandswert für Verdichtung: } \frac{1}{10} \approx 0,10 \frac{\text{h}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Aufwandswert für Verfüllung: } 0,07 + 0,10 = 0,17 \frac{\text{h}}{\text{m}^3}$$

Abtransport verdrängter Boden

Das durch Rohrleitung und Leitungszone verdrängte Bodenmaterial muss von der Baustelle abtransportiert werden. Die dabei vom Transport verursachten Umweltwirkungen werden anhand des Gewichts und der Transportentfernung zur Deponie mit dem Transport-Datensatz der Ökobaudat ermittelt. Als Transportentfernung wird analog zum Sand-Kies Gemisch (vgl. Abschnitt 3.5.3) ein mittlerer Wert von 30 km angenommen.

Die Ausbauleistungen, also der Asphaltausbau und der Abtransport von verdrängtem Boden werden der Errichtungsphase zugeordnet, für diese werden deshalb die Module A4 und A5 berechnet und bei Asphalt das Recyclingpotenzial berücksichtigt. Für den ausgebauten Boden wird kein Recyclingpotential berücksichtigt, da die weitere Verwertung nur schwer abschätzbar ist. Die Module C2 bis C3 werden für ausgebauten Stoffe nicht berücksichtigt.

Asphaltbefestigung ausbauen

Der Ausbau des befestigten Straßenoberbaus erfolgt in der Regel entweder mit einem Aufbruch durch einen Bagger mit Hydraulikhammer oder einer Asphaltfräse. Durch Asphaltfräsen können einzelne Schichtarten abgetragen werden, was die Recyclingfähigkeit des ausgebauten Materials verbessert. Es wird deshalb angenommen, dass eine Asphaltfräse verwendet wird.

Zur Berechnung wird eine Kleinfräse mit 65 KW Leistung und einer Arbeitsbreite von 50 cm angesetzt. Diese Art von Asphaltfräse kommt unter anderem beim Leitungsbau zum Einsatz (Krause & Ulke, 2016, S. 1148) und der Kraftstoffverbrauch kann analog zum Hydraulikbagger, mit 7,8 kg/h, angesetzt werden. Der Aufwandswert wird über die Leistungsermittlung nach den Baubetriebstabellen ermittelt (Krause & Ulke, 2016, S. 1149).

$$Q_{BA,Fräsen} = b \cdot v \cdot 60 \left[\frac{m^2}{h} \right]$$

mit $b = 0,5 \text{ m}$ und $v = 2 \frac{m}{min}$ für Schichtabtrag mit 10 cm

$$Q_{BA,Fräsen} = 0,5 \cdot 2 \cdot 30 = 30 \left[\frac{m^2}{h} \right]$$

für gewählten Schichtabtrag von $h = 0,10 \text{ m}$:

$$Q_{BV,Fräsen} = 60 \cdot 0,1 = 6 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Der Nutzleistungsfaktor f_E wird wie beim Grabenaushub mit 0,65 für mittelmäßige Baustellenbedingungen angenommen. Demnach ergibt sich die Nutzleistungen zu:

$$Q_{AV,Fräsen} = 0,65 \cdot 6 = 3,9 \frac{m^3}{h} \approx 4 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Aufandswert für Fräsen: } \frac{1}{4} \approx 0,25 \frac{h}{m^3}$$

Asphaltbefestigung einbauen

Da es sich bei den Leitungsgräben um schmale Baugruben mit geringen Breiten handelt, wird der Asphaltüberbau von Hand mit Geräteunterstützung eingebaut. Dazu wird die Leistung „Einbau Asphalttragschicht im Handeinbau mit Geräteunterstützung“ aus den Kalkulationstabellen von (Ilgeroth, Müller, & Abo-Dabach, 2007, S. 234 und 235) verwendet. Für die Leistung werden für die Tagesleistung Werte von 80 bis 200 Tonnen je nach Baustellenbedingung angegeben. Da es sich bei den Baustellen meist um Linienförmige-Baustellen im urbanen Raum handelt, wird eine eher geringe Tagesleistung von 100 Tonnen angenommen. Für einen Arbeitstag mit 8 Betriebsstunden ergibt sich die Einbauleistung damit zu:

$$Q_{\text{Asphalt einbauen}} = \frac{100}{8} = 12,5 \frac{t}{h} = \frac{5,2m^3}{h}$$

$$\text{Aufandswert Asphalt einbauen: } \frac{0,19h}{m^3} \sim 0,2 h/m^3$$

3.5.5 Entsorgungsphase und Recyclingpotential (Module C1, C2, C3 und D)

In der Entsorgungsphase werden Prozesse bilanziert, die aufgewendet werden, um das Bauwerk nach der geplanten Nutzungsdauer rückzubauen bzw. abzurechen und die verwendeten Baustoffe fachgerecht zu entsorgen. Der Rückbau bzw. Abbruch von Rohrleitungen erfolgt meist im Zuge von Erneuerungsmaßnahmen zur Instandhaltung. Maßnahmen, wie beispielsweise die Herstellung des Leitungsgrabens, die dafür aufgewendet werden sind schwer vom Aufwand für die Herstellung einer neuen Rohrleitung zu trennen und werden in dieser Betrachtung dem Neubau zugeordnet. Das Modul C1 wird deshalb nicht berechnet.

Da jedoch nach Ablauf des Nutzungszeitraums ein Transport- und Entsorgungsaufwand für die verbauten Baustoffe anfällt, werden die Module C2 und C3 zusammengefasst und berechnet.

Für die Module C2 (Transport) und C3 (Entsorgung) liegen die entsprechenden Werte meist in der Ökobaudat vor. Analog zum Herstellungsprozess werden die Umweltwirkungen mit der Massenermittlung und den ökologischen Baudaten Daten berechnet. Ergänzend wird auch das Recyclingpotential der Baumaterialien berücksichtigt, dadurch wird nicht nur der Lebenszyklus des Bauwerks betrachtet (DIN, 2011, S. 21), sondern auch die weitere Verwendung im Hinblick auf die angestrebte Kreislaufwirtschaft miteinbezogen.

3.6 Berechnungsmethode und Automatisierung

Um die Datengrundlage mit den baubetrieblichen Ansätzen zusammenzuführen, werden die Bilanzierungen mit Hilfe der Software Excel erstellt. Der Aufbau ermöglicht damit eine nachträgliche Anpassung der Datengrundlagen. Dies ist besonders sinnvoll, da vor allem die Ökobaudat regelmäßigen Updates unterliegt.

Ein Teilziel der Arbeit ist, dass die Bilanzierungsansätze universell für eine Vielzahl von Maßnahmen verwendet werden können. Deshalb wurde ein Berechnungsprogramm mit der VBA (Visual Basic for Applications) Ergänzung programmiert. Das Programm bietet eine Eingabefläche, in der die technische Planung als Grundlage für die Bilanzierung eingegeben wird. Dafür stehen 20 Platzhalter für Kanalhaltungen und 20 Platzhalter für Schächte zur Verfügung. Die Eingabe besteht aus der Bezeichnung, der Länge, der Sohltiefe und dem Rohrtyp, der über ein Drop-Down Menü ausgewählt werden kann. Die Eingabe der Sohltiefe ist auf 1,6 m bis 6 m Tiefe eingeschränkt, was jedoch ausreichend Möglichkeiten für übliche Baumaßnahmen bietet. Die Eingabe der Schächte besteht aus der Bezeichnung, der lichten Tiefe und dem größten Anschluss Durchmesser.

Die Erd- und Oberbau Mengen werden gemäß der Bilanzierungsansätze ermittelt und für die Schächte wird der Schachtaufbau automatisch ermittelt. Die detaillierte Berechnung jedes Einzelteils sowie der zugehörigen Ermittlung des Erd- und Oberbaus findet sich im Reiter „Berechnungen“. Hier können auch die Grabenabmessungen, Erdbauvolumen und die zugehörigen Bilanzierungen für einzelnen Haltungen und Schächte eingesehen werden. Nach Start der Berechnung springt das Programm auf den Reiter „Ergebnisse“, in dem die wichtigsten Ergebnisse aufgeführt sind. Hier findet sich auch eine Aufsummierung der Rohrlängen kategorisiert nach dem Rohrtyp und die zugehörigen Erd- und Oberbaumengen.

Die Mengenermittlung kann auch als Arbeitshilfe für das Erstellen von Leistungsverzeichnissen verwendet werden, da sie eine ausreichend feingliedrige Zusammenfassung der bietet.

Neben der Mengenermittlung werden auch die Bilanzierungsergebnisse des GWP und des Primärenergiebedarfs aufgeführt. Die Ergebnisse finden sich zusammengefasst und gegliedert nach den Bestandteilen Rohrleitungen, Erd- und Oberbau und Schächte. Mit dem Programm können verschiedene Szenarien und Varianten für Entwässerungsabschnitte berechnet und verglichen werden. Um die Programmbeschreibung zu verdeutlichen, findet sich in Anlage 3_5 ein Eingabe- und Ergebnisdruck für eine beispielhaft durchgeführte Berechnung eines fiktiven Abschnitts.

3.7 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse werden folgend kurz zusammengefasst, auf Plausibilität geprüft und diskutiert. Für detaillierte Ergebnisse können die Ergebnisblätter der Bilanzierungen in Anlage 3_2 bis 3_4 herangezogen werden.

3.7.1 Bilanzierung der Rohrleitungen (ohne Erd- und Oberbau sowie Schächte)

Zunächst wurden alle gewählten Bestandteile mit Hilfe der Ansätze bilanziert. Die Rohrleitungen sind von besonderem Interesse, da hier eine Vielzahl von Alternativen berechnet wurden. Diese werden erst ohne den Erd- und Oberbau und ohne Schacht-Anteil untersucht. Die Bilanzierung wird für einen Meter Rohrleitung durchgeführt, dies ermöglicht vorab einen Abgleich und eine Plausibilitätsprüfung anhand der charakteristischen Eigenschaften der Rohrwerkstoffe. In Anlage 3_2 finden sich Berechnungsergebnisse der Rohrleitungen, kategorisiert nach den Rohrwerkstoffen und in Anlage 3_3 finden sich die Berechnungsergebnisse kategorisiert nach der Größe der Rohrleitung.

Die biegesteifen Rohrwerkstoffe Beton, Stahlbeton und Steinzeug weisen in der Bilanzierung ein geringeres GWP und einen deutlich geringeren Primärenergiebedarf auf als die Kunststoffrohre aus PVC-U, PEHD und PP. Beispielsweise hat ein eingebautes DN 300 PVC-U-Rohr im Gegensatz zu einem DN 300 Steinzeugrohr ein knapp 50 % höheres GWP (vgl. Abbildung 11). Beim Primärenergiebedarf sind die Unterschiede zwischen dem Rohr mit der geringsten und größten Umweltwirkung noch deutlicher, so beträgt der Unterschied zwischen dem DN 300 Betonrohr und dem DN 300 PP-Rohr + 118 % (vgl. Anlage 3-2_3-2).

Der Unterschied zwischen den geringsten und größten Umweltwirkungen nimmt mit größerem Durchmesser der Rohre weiter zu.

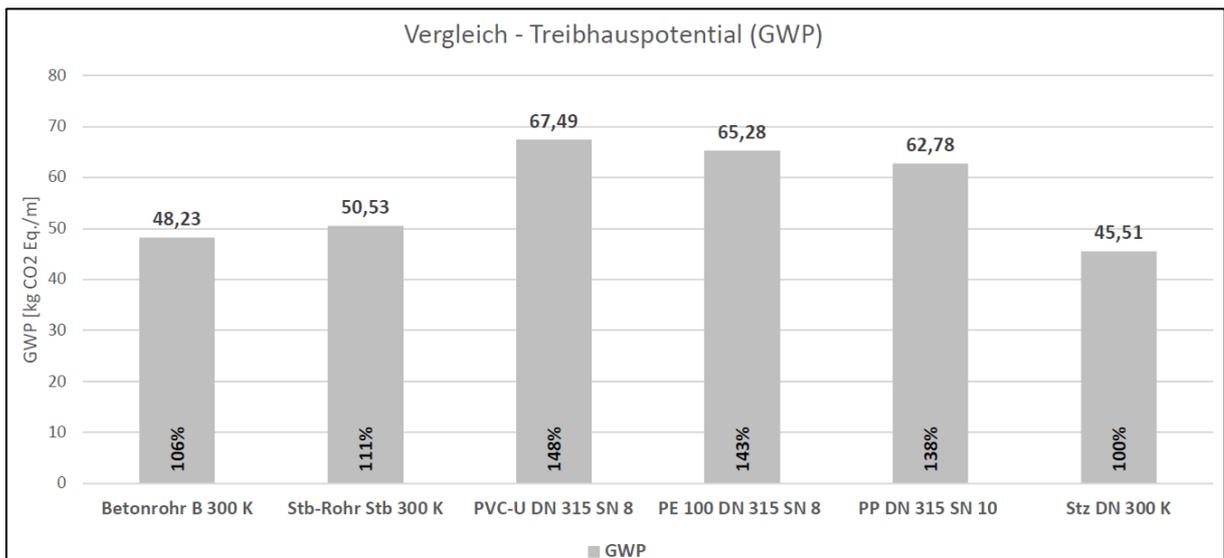


Abbildung 11: Ergebnisauszug Vergleichende Bilanzierung - DN 300

Zusammenfassend können bei Betrachtung der reinen Rohrleitung Beton bzw. Stahlbetonrohre als die Rohrwerkstoffe mit den geringsten Umweltwirkungen bezeichnet werden. Diese Tendenz bildet sich für Betonrohre auch in den Untersuchungen von (Petit-Boixa, et al., 2014) ab. Steinzeugrohre überzeugen mit dem geringsten GWP bei kleinen Durchmessern DN 250 oder DN 300. Ab dem größeren Durchmesser DN 400 wird gegenüber Beton/Stahlbeton ein um ca. 20 bis 25 % höheres GWP und ein über 100 % größerer Primärenergiebedarf berechnet. PE-Rohre weisen in den meisten Fällen das höchste GWP auf.

Weiter soll das Augenmerk auf die einzelnen Stadien des Lebenszyklus gelegt werden. Hier kann als kann als Ergebnis aufgeführt werden, dass der Herstellungsprozess der Beton-, Stahlbeton- und Steinzeugrohre den Löwenanteil der Umweltwirkungen ausmacht.

Je nach Wirkungskategorie, Größe und Werkstoff beträgt dieser Anteil etwa knapp 50 bis 70 %. Bei der Herstellung von Steinzeugrohren wird im Gegensatz zu Beton jedoch ein höherer Energiebedarf errechnet, was mit dem Brennvorgang bei der Herstellung begründet werden kann. Auch bei den Kunststoffrohren macht sich der Herstellungsprozess beim GWP mit ca. 40 bis 55 % deutlich bemerkbar. Die energieintensive Herstellung von Kunststoffrohren schlägt sich beim Anteil des Primärenergiebedarfs sogar mit 90 bis 150 % nieder. Die deutlich energieintensivere Herstellung von Steinzeug und vor allem der Kunststoffe wird auch in den Ergebnissen von (Specht & Lorenz, 2009) bestätigt.

3 Bilanzierungsansätze für einen Schmutzwasserkanal

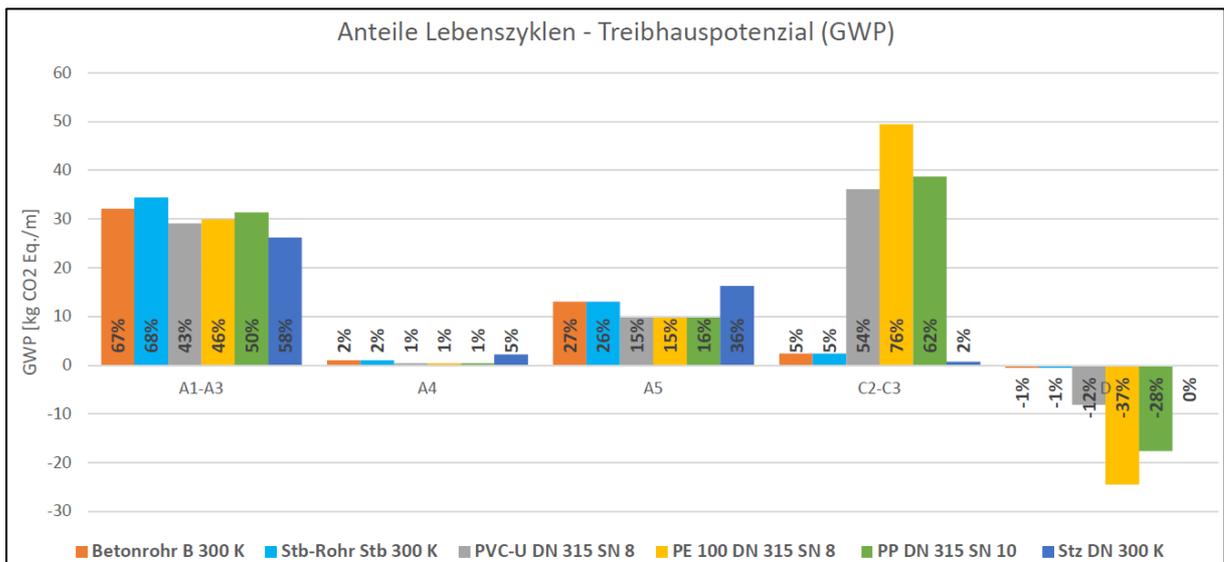


Abbildung 12: Ergebnisauszug Vergleichende Bilanzierung – DN 300 (Lebenszyklen)

Der Transport der Rohre wird mit Anteilen unter 3 % berechnet und kommt in dieser Betrachtung kaum zum Tragen (vgl. Abbildung 12). Dies stellt eine deutliche Abweichung zu den Ergebnissen von (Petit-Boixa, et al., 2014, S. 991) dar, in denen der Transport mit ca. 10 bis zu 50 % der Umweltwirkungen berechnet wird. Die Abweichung kann damit erklärt werden, dass bei der durchgeführten Berechnung der Datensatz (Ökobaudat: LKW, 2021) verwendet wurde. Im Datensatz wird eine 85 prozentige Gewichts-Auslastung beim Transport angenommen. Bei Rohren wird jedoch Querschnittsbedingt viel „Luft“ transportiert, was zu geringeren Auslastungen führen kann. Es fehlen jedoch differenzierte Angaben zur Auslastung, um die Bilanzierungsansätze für den Transport zu präzisieren.

Die Errichtungsphase der biegesteifen Rohre, in der hier nur die reine Verlegung der Rohrleitung berücksichtigt wird, macht auch einen bedeutenden Teil der Umweltwirkungen aus. Der Einbau (Modul A5) kann mit Anteilen von ca. 20 % bis knapp 40 % beziffert werden. Hier kann ein deutlicher Unterschied zur Errichtung der Kunststoffrohre vermerkt werden, diese weisen nur Anteile von 7 % bis 23 % auf, was mit den geringeren Bauzeiten und den größeren Gesamt-Umweltwirkungen begründet werden kann.

Der größte Unterschied der Rohrwerkstoffe findet sich jedoch zu Ende der Nutzungsdauer, bei der Entsorgung und dem Recyclingpotential. Die Entsorgung und Abfallbehandlung der Kunststoffrohre weisen Anteile von etwa 50 bis 80 % des GWPs auf. Dies kann durch das Entstehen von Treibhausgasen durch die problematische, thermische Verwertung von Kunststoffen erklärt werden.

Durch die energieintensive Herstellung besteht folglich auch ein erhöhtes Potenzial beim Recyclingprozess. Dies wird auch in Anteilen von 50 % als Gutschrift abgebildet, die für die mögliche Wiederverwendung der Kunststoffrohre als Rohstoff berechnet werden. Die Entsorgung und das Recyclingpotential der Beton- und Steinzeugrohre können bei Anteilen von maximal bis zu 5 % der gesamten Umweltwirkungen dagegen als sehr gering bezeichnet werden.

Insgesamt sind die Ergebnisse plausibel und können zum großen Teil durch bestehende Bilanzierungen gestützt werden. Bei ausschließlicher Betrachtung der Rohrleitungen scheint es, dass sich die Wahl des Rohrwerkstoffe deutlich auf das GWP und den Primärenergiebedarf auswirken. Je größer die Rohrleitung, desto größer die Auswirkungen auf diese Werte. Obwohl die Betrachtung bisher nur die Rohrleitungen umfasst, zeichnet sich deutlich ab, dass die Errichtungsphase bereits einen maßgeblichen Teil der Umweltwirkungen aufweist. Daraus folgt der Schluss, dass das Einsparpotential verschiedener Werkstoffe, durch den Erd- und Oberbau und die Schächte leicht relativiert wird, da die Kunststoffrohre einen reduzierten Bauaufwand hinsichtlich der Erdarbeiten aufweisen.

3.7.2 Bilanzierung Schmutzwasserkanalisation

In der zweiten vergleichenden Bilanzierung werden die gewählten Bestandteile der Schmutzwasserkanalisation gesamtheitlich bilanziert. Die Bilanzierung wird weiterhin auf einen Meter der Schmutzwasserkanalisation bezogen. Ergänzend werden nun auch die Erd- und Oberbau Arbeiten und die Schächte berücksichtigt. Für die Schächte und den Erdbau ist die Tiefenlage maßgeblich. Es wird eine übliche Tiefenlage eines Schmutzwasserkanals von etwa 3,5 m angesetzt (vgl. Abschnitt 2.2.3). Als Entfernung zwischen den Schächten wird die durchschnittliche Haltungslänge von 39,1 m aus der DWA-Umfrage angesetzt. Die Bilanzierung wird für die verschiedenen Rohrwerkstoffe, in den Größenkategorien DN 300 und DN 500 geführt.

In Anlage A 3_4 finden sich die Berechnungsergebnisse der gesamtheitlichen Bilanzierung, kategorisiert nach der Größe der Rohrleitung. Da die Ergebnisse für die Rohrleitungen bereits im vorausgehenden Kapitel erläutert wurden, wird zunächst Augenmerk auf den Erd- und Oberbau gelegt.

Die Abmessungen des Rohrgrabens werden durch den Außendurchmesser der Rohrleitung definiert, dies wirkt sich folglich auf das GWP und den Primärenergiebedarf aus. Kunststoffrohre haben aufgrund der Wandstärken die geringsten Grabenabmessungen und folglich auch die geringsten Umweltwirkungen durch die Erd- und Oberbauarbeiten.

Steinzeugrohre erzeugen beim Erdbau ca. 6 bis 10 % größere Umweltwirkungen als Kunststoffrohre. Die deutlich größeren Wandstärken der Beton und Stahlbetonrohre schlagen in einem etwa 20 % größeren Anteil bei GWP und Primärenergiebedarf nieder und erzeugen damit die größten Umweltwirkungen beim Erd- und Oberbau. Weiter ist ersichtlich, dass die Erdarbeiten den größeren Anteil verursachen. Der Einbau der Asphaltdecke wurde, trotz der vergleichsweise geringen Massen, mit einem bedeutenden Anteil von etwa 20 bis 30 % an den gesamten Erd- und Oberbauarbeiten berechnet. Durch den Ausbau der vorhandenen Asphaltdecke wird die recyclingbedingte Gutschrift für den Asphalt zweimal angesetzt.

Die Bilanzierung eines Schachtes ergibt, dass die Herstellung eines Schachtes wesentlich größere Umweltwirkungen erzeugt als ein Meter Rohrleitung. Dies ist auf die großen Wandstärken, das damit verbundene hohe Gewicht und den vergleichsweise hohen Arbeitsaufwand zur Herstellung zurückzuführen. Bemerkenswert ist, dass die Schachtabdeckung trotz des verhältnismäßigen sehr geringen Gewichts einen Anteil von etwa 20 % der gesamten Umweltwirkungen des Schachtes ausmacht, was mit dem Gusseisenanteil begründet werden kann.

Die gesamtheitliche Betrachtung aller Bestandteile führt zu der Schlussfolgerung, dass die großen Unterschiede der Umweltwirkungen bei Betrachtung der Rohrleitungen durch den Erd- und Oberbau sowie die Schächte deutlich relativiert werden. Beispielsweise bleibt für das Kanalsystem der DN 300 Rohrleitung die Alternative mit Steinzeugrohren das System mit den geringsten GWP, jedoch verringert sich das Einsparpotenzial beim GWP auf etwa 10 % gegenüber der Variante mit PVC-U Rohren (vgl. Abbildung 13).

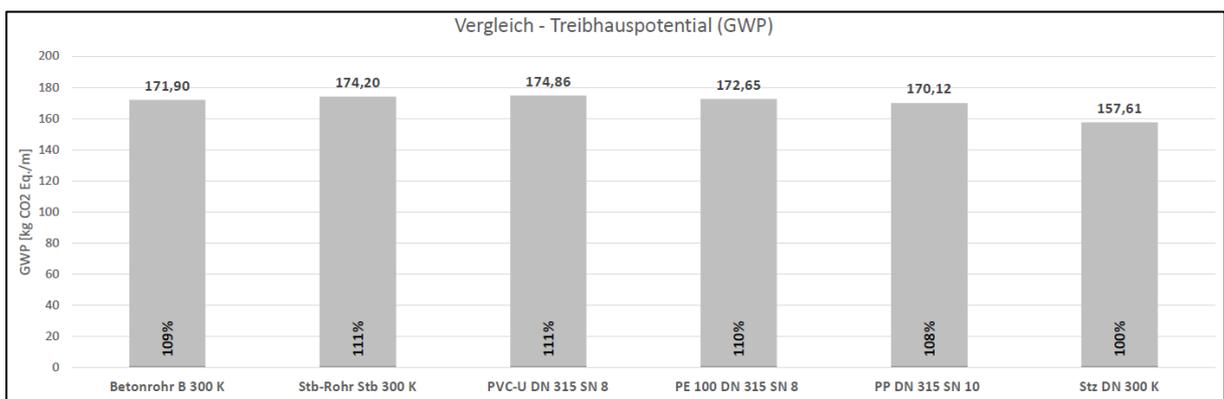


Abbildung 13: Ergebnisauszug Gesamt Bilanzierung - DN 300

Auch beim Primärenergiebedarf beträgt das Einsparpotenzial mit 8 % deutlich weniger als bei der reinen Betrachtung der Rohrleitungen.

3 Bilanzierungsansätze für einen Schmutzwasserkanal

Jedoch verdoppelt sich dieses Einsparpotenzial der Umweltwirkungen bei Bilanzierung des größeren Durchmessers (DN 500) wieder, da sich hier der Rohrleitungsanteil deutlicher bemerkbar macht. Die Tendenz, dass der Einsatz von Beton- und Stahlbetonrohren meist die geringsten Umweltwirkungen aufweist, kann durch die Bilanzierungen jedoch bestätigt werden.

Bei den Anteilen der Lebenszyklusphasen hebt die Gesamtheitliche Bilanzierung die Bedeutung der Errichtungsphase hervor. Bei der Größenkategorie DN 300 kann bei den biegesteifen Rohrleitungen festgestellt werden, dass die Errichtungsphase ebenso bedeutend ist wie die Herstellungsphase (vgl. Abbildung 14). Auch nimmt der Anteil der Transportphase deutlich zu, was mit dem Transport des Asphalts, der mineralischen Baustoffe und des verdrängten Bodens begründet werden kann. Bei Betrachtung der Anteile von Rohrleitungen, Erd- und Oberbau und Schächten können differenzierte Ergebnisse festgestellt werden. Für exakte Berechnungsergebnisse wird auf die Ergebnisblätter verwiesen.

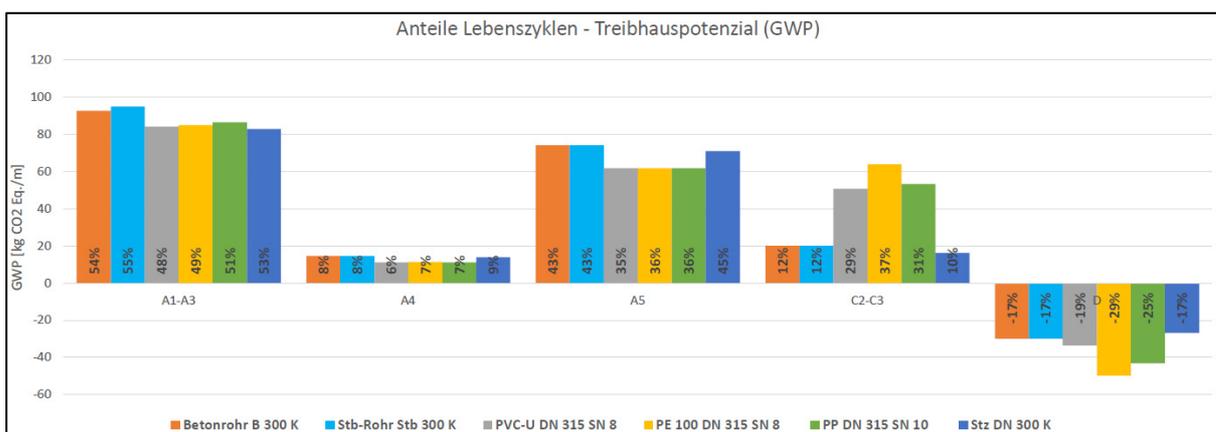


Abbildung 14: Ergebnisauszug Gesamt Bilanzierung -DN 300 (Lebenszyklen)

Bemerkenswert ist, dass der Erd- und Oberbau beim GWP den mit Abstand größten Anteil bei allen Kanalsystemen ausmacht (vgl. Abbildung 15). Auch beim Primärenergiebedarf stellt der Erd- und Oberbau, in der Größenkategorie DN 300, meist den größten Anteil dar. Bei zunehmender Größe der Rohrleitung, überwiegen bei den Kunststoffrohren wieder der Rohrleitungsanteil aufgrund der, durch die Rohrleitungen bedingten, höheren Umweltwirkungen und des reduzierten Aufwands beim Erd- und Oberbau. Auch der Anteil der Schächte fällt, bedingt durch die größeren Gesamt-Umweltwirkungen, kleiner aus.

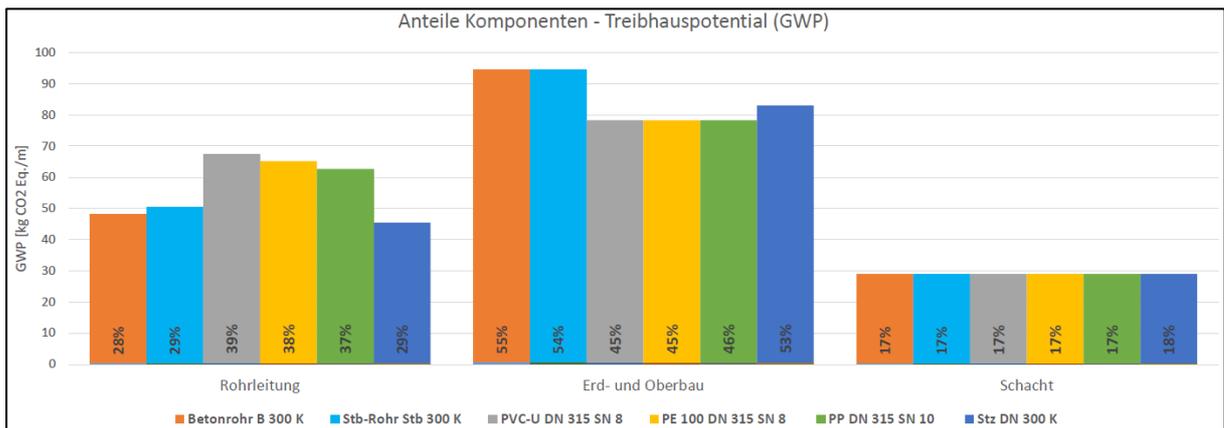


Abbildung 15: Ergebnisauszug Gesamt Bilanzierung - DN 300 (Komponenten)

Trotz der hohen Umweltwirkungen, die durch einen Schacht erzeugt werden, schlägt sich er Anteil der Schächte im System in relativ geringen Anteilen von etwa 10 bis 20 % nieder, was mit dem Abstand der Schächte von 39,1 m begründet werden kann.

3.8 Zusammenfassung und Ausblick

Die entwickelte Datengrundlage verbindet bestehende technische und ökologische Baudaten mit einer Analyse des Baubetriebs und bietet damit einen gesamtheitlichen Blick auf den Kanalbau. Mit Hilfe der Bilanzierungsansätze können Umweltwirkungen verschiedener Kanalsysteme berechnet werden und Einsparpotenziale aufgezeigt werden. Die Ökobaudat bietet eine gute Datengrundlage, denn für die meisten Bauprodukte des Kanalbaus konnten hier entsprechende ökologische Baudaten vorgefunden werden.

Die Bilanzierung zeigt auf, dass Beton- und Stahlbetonrohre meist die besten Ergebnisse für das gewählte Szenario erzielen. Der Einsatz der biegesteifen Rohrleitungen erzeugt das geringste GWP und weist auch den geringsten Primärenergiebedarf auf. Dieser Effekt nimmt zu, je größer die Rohrleitung ist. Der Einsatz von Kunststoffrohren schlägt sich insgesamt in höheren Umweltwirkungen nieder.

Insbesondere muss auch erwähnt werden, dass bei den Kunststoffrohren ein beträchtlicher Teil auf die Gutschrift, durch den Recyclingprozess, entfällt und deshalb erst außerhalb der genormten Systemgrenze zum Tragen kommt. Neben der Herstellungsphase der Bauprodukte kann der Erd- und Oberbau und die Errichtungsphase generell, als ebenso wichtiger Teil der Baumaßnahmen identifiziert werden.

Die Ermittlung innerhalb dieser Phase stellt jedoch auch gewisse Ungenauigkeiten dar, da zum einen die angesetzten Zeit-Aufwandswerte Raum für verschiedene Interpretationen lassen und die Ermittlung über die durchschnittliche Nennleistung und den zugehörigen Kraftstoffverbrauch eine Vereinfachung darstellen, und Randbedingungen, wie beispielsweise eine emissionsarme Fahrzeugtechnik, nicht erfasst werden. Des Weiteren werden die Transportprozesse werden in der Bilanzierung unterrepräsentiert, da beim Transport von Rohren meist eine geringere Gewichtsauslastung der LKWs vorliegt. Die im Datensatz vorliegende Auslastung von 85 % wird deshalb als zu hoch angesehen.

Besonderes Augenmerk muss insgesamt auf den Baubetrieb gelegt werden, da dieser einen erheblichen Teil der Umweltwirkungen verursacht. Neben ökologisch effizient hergestellten Bauprodukten sollte deshalb auch die Wahl der Baugeräte stärker in den Fokus gerückt werden. Insbesondere beim Bau von Infrastrukturen können Baugeräte mit geringem Kraftstoffverbrauch einen bedeutenden Einfluss auf die Gesamt-Bilanz hinsichtlich der Umweltwirkungen haben. Dies setzt jedoch auch voraus, dass die Ökobaudat differenzierte Datensätze für den Transport und die Errichtungsphase anbietet.

Der Weiterentwicklung der Ansätze sind durch die Vielfältigkeit von Kanalbaumaßnahmen praktisch kaum Grenzen gesetzt. Eine Berücksichtigung von Verbaumaßnahmen, Baubehelfen und weiteren Verfüllbaustoffen bieten Möglichkeiten die Bilanzierung sinnvoll zu ergänzen. Bei Annahme eines längeren Nutzungszeitraums sollten auch erforderliche Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Datensätze des Kanalbestands können dazu beitragen fundierte Vorhersagen für Schadensfälle und deren Sanierungsbedarf zu treffen.

Ergänzend können auch weitere Wirkungskategorien der Ökobaudat, beispielsweise das Ozonschichtabbaupotenzial oder das Versauerungspotenzial implementiert werden, um die Bilanzierung gemäß den Regelwerken zu vervollständigen.

Auch Hinsichtlich der Nutzung bietet sich ein breites Spektrum. So kann die Bilanzierung beispielsweise als Grundlage für einen Vergleich von grundlegenden Bauverfahren, wie die offene und geschlossene Bauweise, zu dienen. Neben dem Zweck vergleichende Bilanzierungen zu erstellen können die Ansätze auch dazu verwendet werden Kanalbaumaßnahmen auf Grundlage der Bilanzierung zu kompensieren oder eine CO₂-Bepreisung zu entwickeln. Dies schafft für Baufirmen finanzielle Anreize, Energie- und CO₂-sparsame Bauverfahren bzw. Baugeräte einzusetzen.

4 Bilanzierungsansätze für ein Mulden-Rigolen Element

4.1 Allgemein

Die Bilanzierungen werden für ein Mulden-Rigolen Element anhand der Rahmenbedingungen einer konkreten Maßnahme in der FHH entwickelt. Es handelt sich um die Anpassung, Neugestaltung und Optimierung der Königstraße im Stadtteil Altona-Altstadt. Dabei soll, neben der generellen Aufwertung des öffentlichen Raums auch die Entwässerung hinsichtlich einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung optimiert werden. Ziel ist es, unbelastete Nebenflächen wie beispielsweise Geh- und Radwege und Dach- sowie Hofflächen von anliegenden, öffentlichen Grundstücken von der Einleitung in das vorhandene Mischwassersiel abzukoppeln.

Durch den Umbau und die Umstrukturierung des Straßenraums wird Raum geschaffen, der zur Bepflanzung aber auch zur Versickerung von Niederschlagswasser genutzt werden kann. Um das geschaffene Flächenpotenzial effektiv zu nutzen, wird der Einsatz von Mulden-Rigolen Elementen in Betracht gezogen. Da hierzu noch keine konkreten Planungen vorliegen, werden zunächst zwei Varianten von Mulden-Rigolen Elementen, eine mit konventioneller Kies-Rigole und eine Rigole mit Kunststoff-Füllkörpern, entwickelt und hinsichtlich der Umweltwirkungen untersucht.

Um eine gesamtheitliche Betrachtung zu führen, werden die Bilanzierungsansätze in Anlehnung an die Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und der DIN EN 15978 entwickelt und der gesamte Lebenszyklus des Entwässerungssystems betrachtet. Dazu wird eine sinnvolle Systemgrenze gezogen und die Bilanzierungsansätze auf einer vorhandenen Datengrundlage in Ergänzung mit baubetrieblichen Ansätzen entwickelt. Da die grundlegende Vorgehensweise teils im vorangegangenen Kapitel, bei den Bilanzierungsansätzen für einen Schmutzwasserkanal, erläutert wird, finden sich bei Bedarf Verweise auf die entsprechenden Abschnitte.

Die Bilanzierungsansätze werden zur Berechnung in eine Excel-Tabelle übertragen. Dies ermöglicht die stetige Anpassung der Datengrundlagen, vor allem der Ökobaudat, da diese regelmäßige Updates erhält.

4.2 Zieldefinition

Mit der Bilanzierung sollen das GWP und der Primärenergiebedarf für zwei Mulden-Rigolen Elementen berechnet werden, um damit die Umweltwirkungen verschiedener Konstruktionslösungen zu bewerten. Dazu werden Teilziele entwickelt, um eine systematische Abwicklung zu ermöglichen.

- Erhebung von Bestandsdaten, um die Randbedingungen für den weiteren Entwurf zu ermitteln.
- Technischer Entwurf und Vorbemessung der Mulden-Rigolen Elemente nach dem Arbeitsblatt DWA A-138 zur Optimierung des Versickerungspotentials am Standort.
- Sinnvolle Systemgrenzen und funktionelle Einheiten für Entwässerungssysteme als Teil einer Gesamt-Baumaßnahme definieren.
- Analyse des Baubetriebs, um die Hauptbauleistungen hinsichtlich der Umweltwirkungen festzulegen.
- Bilanzierungsansätze für die relevanten Prozesse anhand der Lebenszyklusbetrachtung erstellen.
- Vergleichende Bilanzierung für die Varianten durchführen, um die Lösungen hinsichtlich der Umweltwirkungen zu bewerten und die Ergebnisse zu diskutieren.

4.3 Lage, Topografie und Bodenverhältnisse

Bei der Maßnahme handelt es sich um den Umbau der Königstraße, als Teil des übergreifenden Maßnahmenplans zur Förderung des Radverkehrs der Freien und Hansestadt Hamburg (FHH). Der Abschnitt befindet sich etwa zwischen der Einmündung der Schillerstraße und der Einmündung der Dosestraße, kurz vor der Reeperbahn (vgl. Abbildung 16 und Anlage 4_1). Direkt angrenzend zur Baumaßnahme wird etwa in der Mitte des Abschnitts eine neue Stadtteilschule und am östlichen Ende des Abschnitts ein neues Quartier, das Trinitatis, errichtet.



Abbildung 16: Übersicht Baumaßnahme Königstraße

Die Straße weist im Bereich der Umbaumaßnahme ein Gefälle von 2,5 % in Richtung Osten auf (LSBG, 2020, S. 20), deswegen kann die allgemeine Fließrichtung des Oberflächenwassers in östliche Richtung angegeben werden. Für die anstehenden Böden, im Abschnitt zwischen der Behnstraße und St. Trinitatis Kirche, wird laut Geoportal-Hamburg ein gutes Versickerungspotenzial angegeben (vgl. Anlage 4_1). Um die Durchlässigkeiten der anstehenden Böden abzuschätzen, können Bohrprofile aus dem Bohrdatenportal der FHH (FHH, 2021) verwendet werden. Die Bodenverhältnisse werden anhand einer Aufschlussbohrung im Bereich der Kreuzung mit der Behnstraße, einer Aufschlussbohrung bei der S-Bahn-Station Königstraße und einer Bohrung im Bereich der St. Trinitatis Kirche analysiert. Im Übersichtsplan, in Anlage 4_1 ist die Lage der Bohrungen dargestellt und die Bohrprofile sind in der Anlage 4_2 beigefügt.

Aus den Bohrkernen ist ersichtlich, dass ein großer Flurabstand von über sieben Metern von Geländeoberkante bis zum Grundwasserhorizont besteht, was den Einsatz von unterirdischen Versickerungsanlagen generell ermöglicht. Im Bereich des Straßenraums stehen unterhalb der oberflächennahen, fein- bis grobsandigen Auffüllungen auch darunter sandige Schichten mit Mittel- bis Feinsand in lockerer bis dichter Lagerung an. Der Durchlässigkeitswert der anstehenden, versickerungsrelevanten Schichten wird für die weitere Planung mit einem mittleren Durchlässigkeitsbeiwert $k_f = 1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s abgeschätzt. Dies entspricht gem. (DWA, 2005a, S. 15) einem mittleren Durchlässigkeitsbeiwert für Feinsand.

4.4 Planung und Vorbemessung

Da in den öffentlich zugänglichen Planunterlagen keine konkrete Entwässerungsplanungen und Bodengutachten vorliegen, dient der folgende Entwurf als Konzeptstudie mit dem die Versickerungsleistung der Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung eingeschätzt werden kann. Das Abkopplungspotential und die Umweltwirkungen werden deshalb für einen laufenden Meter eines Mulden-Rigolen Elements ermittelt. Eine konkrete Bemessung, Umsetzung, Zuleitung der Oberflächenabflüsse, Abstimmung mit bestehenden Leitungsträgern und Koordination mit der Bepflanzung etc. wird in dieser Betrachtung nicht durchgeführt und muss für die konkrete Lage der Mulden-Rigole Elemente durchgeführt werden. Für die weitere Bearbeitung wird das Entwurfskonzept in einem relativ hohen Detailgrad ausgearbeitet (vgl. Anlage 4_3). Dies ist nötig, um eine ausreichend genaue Massenbilanzierung zu erstellen aus der folglich die Bilanzierung der Umweltwirkungen entwickelt wird.

Abmessung und Geometrie der Mulde

Zunächst wird die Geometrie des Mulden-Rigolen Elements entwickelt. Die geplanten und bestehenden Grünflächen, die zur Versickerung genutzt werden sollen (LSBG, 2020, S. 31), befinden sich am südlichen Straßenrand meist zwischen Verkehrs- und Nebenflächen (vgl. Abbildung 17). In der vorhandenen Planung sind die Abmessungen der Grünflächen sowie die Bepflanzung bereits festgelegt (LSBG, 2020), jedoch wurde noch keine konkrete Entwässerungsplanung durchgeführt. Anhand der Flächen sind auch die möglichen Breiten der Mulden und folglich auch die möglichen Breiten der Rigolen im Querschnitt begrenzt. Als mögliche Standorte bieten sich vornehmlich die neu geplanten Grünflächen bzw. Mulden an. An bestehenden Grünflächen, mit Baumbestand, sollten allgemein Erdarbeiten auf dringlichste Maß begrenzt werden.

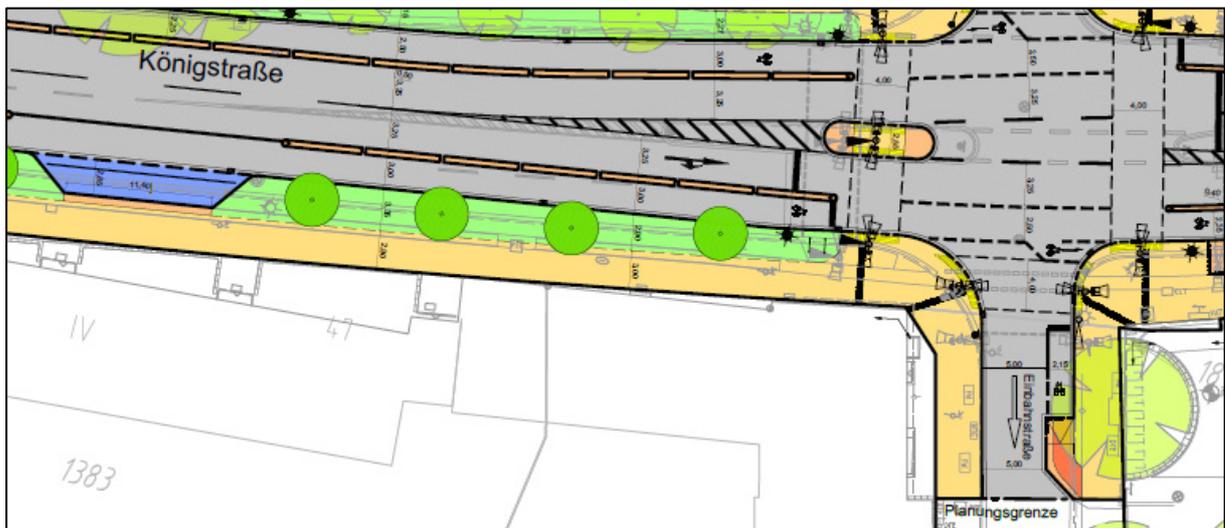


Abbildung 17: Beispielhafte Lage der Grünflächen, Ausschnitt aus ⁵

Die Brutto-Breiten der neuen Grünstreifen bzw. Mulden betragen laut Lageplan etwa zwischen 2,5 und 3,5 m. Der Planung wird deshalb eine Brutto-Muldenbreite von 3,0 m zu Grunde gelegt. Da Grünflächen in der Regel durch Einfassungen von anderen Verkehrs- und Nebenflächen abgegrenzt sind, wird die Muldenbreite, unter Berücksichtigung der Borsteine, um 50 cm reduziert und beträgt somit 2,5 m. Als Muldentiefe werden 30 cm veranschlagt und die Neigung der Mulde wird mit 1:3 festgelegt, dies ermöglicht eine einfache Mahd der Mulde (vgl. Abschnitt 2.6.2). Die mittlere Muldenbreite $b_{M,m}$ wird zu 1,6 m ermittelt (vgl. Anlage 4_3).

⁵ (LSBG, 2020b)

Bei Berücksichtigung eines Freibords von 10 cm, beträgt die restliche, maximale Einstauhöhe in der Mulde 20 cm. Das Muldenvolumen V_M beträgt danach bei maximalem Einstau je laufenden Meter ca. $0,26 \text{ m}^3$. Unter der Mulde befindet sich eine 30 cm starke, belebte Oberbodenzone mit einer darunterliegenden Schicht aus frostunempfindlichem, gemischtkörnigem Material mit einer Stärke von 20 cm. Der 50 bzw. 80 cm große Abstand zwischen Geländeoberkante und Rigolen Oberkante bietet eine ausreichende Frostsicherheit der Rigole und es wird damit gewährleistet, dass sich die Rigole damit außerhalb des ungebundenen Straßenoberbaus befindet.

Entwurf der Varianten

Laut Erläuterungsbericht folgt die weitere Entwässerungsplanung, in Abstimmung mit den angrenzenden Bauprojekten, im weiteren Planungsfortschritt (LSBG, 2020, S. 32). Deshalb sind, neben den Nebenflächen, keine weiteren Aussagen zu abflusswirksamen Flächen vorhanden, welche an die Grünflächen zur Versickerung, Retention und Verdunstung angeschlossen werden. Die Vorbemessung und Planung der Rigole erfolgt deshalb über die Ermittlung eines maximalen Abkopplungspotentials, welches sich unter der vorhandenen (Mulden-)Abmessung im Querschnitt erzielen lässt. Hierfür wird die Dimensionierung der Mulden-Rigolen Elemente gemäß Arbeitsblatt DWA A-138 durchgeführt (vgl. Anlage 4_4). Die Vorbemessung wird exemplarisch für ein Mulden-Rigolen Element mit einer Länge von 100 Metern durchgeführt und für einen laufenden Meter des Systems umgerechnet. Als Berechnungsgrundlage werden Regendaten über die frei zugänglichen KOSTRA-Daten des DWD (DWD, 2021) bezogen. Zur Umrechnung der Regendaten und zur Bemessung der Mulden wird eine eigens erstellte Excel-Vorlage verwendet.

Da die anstehenden Untergrundsichten einen Durchlässigkeitswert von $k_f \geq 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ aufweisen, wird die Mulden-Rigole ohne Drosselabfluss jedoch mit Notüberlauf bemessen. Als Durchlässigkeitswert der belebten Oberbodenzone wird ein Durchlässigkeitswert von $k_f = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ angesetzt. Anhand einer iterativen Bemessung wird festgestellt, dass die Versickerungsleistung des kombinierten Systems durch die Abmessung und die Versickerungsleistung der Mulde begrenzt ist, welche auf eine Jährlichkeit von einem Jahr bemessen wurde. Bei voll ausgenutztem Muldenvolumen $V_{M,\max} = 0,26 \text{ m}^3/\text{m}$ wird eine maximal anschließbare undurchlässige Fläche von $21,5 \text{ m}^2/\text{m}$ berechnet (vgl. Anlage 4_4, Seite 1). Die ermittelte undurchlässige Fläche ist die Grundlage für die weitere Bemessung der Rigole.

Anhand dieser können die Varianten der Rigolen und dessen Abmessungen entwickelt und nachgewiesen werden. Die Bemessung der Rigole erfolgt für ein fünfjähriges Starkregenereignis.

Die Abmessungen der Kunststoff-Rigole sind abhängig von den Abmessungen der einzelnen Boxen, die je nach Produkt und Hersteller meist Breiten von 0,5 bis 0,8 m und Höhen von 0,3 m bis 0,8 m aufweisen. Deswegen wird zunächst die Kunststoffrigole (Variante B) entwickelt und bemessen, da hier keine beliebigen Abmessungen realisiert werden können. Beispielhaft wurde das System „Aquacell Plus“ (Wavin, 2020, S. 58) der Firma Wavin gewählt. Eine Box dieses Systems hat eine Breite von 0,5 m und eine Höhe von 0,4 m. Das Produktsystem ermöglicht eine effektive Anordnung durch die kurzen Seiten der Box. Der Speicherkoeffizient s_R des Kunststoff-Füllkörper beträgt 0,95. Der Nachweis (vgl. Anlage 4_4) der Kunststoff-Rigole kann mit einer Breite b_R von 1,0 m und eine Höhe h_R von 78 cm erbracht werden, welche durch die Anordnung von 4 Boxen realisiert werden.

Bei Variante A, einer Kies-Rigole mit Sickerrohr, können nahezu beliebige Rigolen-Abmessungen ausgeführt werden. Die Breite der Rigole wird jedoch durch die mittlere Breite der Mulde ($b_{M,m} = 1,6$ m) begrenzt. Bei Annahme der gleichen Rigolenhöhe von 80 cm, wie bei Variante B, wird der Nachweis bei einer Breite von 1,5 m erfüllt (vgl. Anlage 4_4). Als Sickerrohr zur Verteilung, Ableitung und Erweiterung des Speichervolumens wird ein Vollsickerrohr (TP) DN 250 aus PP gewählt.

Notüberlauf und Kontroll-Schacht

Die Mulden-Rigolen Elemente werden nicht als vernetztes System ausgeführt, deshalb wird je Element ein Notüberlauf in das Mischwassersiel angeordnet. Dazu findet ein Rigolen-Überlauf in einem Schacht außerhalb der Mulde statt. Es wird ein Schacht mit Durchmesser DN 1000 gewählt, da ein ausreichender Arbeitsraum für die regelmäßigen Inspektionen und Spülungen der Rigole zur Verfügung stehen muss. Der Schacht besteht aus Betonfertigteilen nach DIN 4034-1 (vgl. Abschnitt 2.4.2). Weiter wird abgeschätzt, dass die Mulden-Rigolen aufgrund der geplanten Bepflanzung und wegen des bestehenden Längsgefälles eine Länge von ca. 20 m aufweisen. Dies bedeutet, dass für die Bilanzierung die Umweltwirkungen eines Schachts anteilig mit 1/20 auf den laufenden Metern Mulden-Rigole aufgeschlagen werden.

4.5 Bilanzrahmen

Indikatoren und Wirkungskategorien

Die Umweltwirkungen werden anhand des GWPs und des Primärenergiebedarfs quantifiziert. Für die Begründung der Wahl dieser Indikatoren wird auf Abschnitt 3.3.1 verwiesen.

Definition der betrachteten Einheiten

Die Bilanzierung bezieht sich auf ein konkretes Vorhaben und einen Entwurf, bei dem örtliche Randbedingungen, wie Bodenverhältnisse und eine vorliegende Straßenplanung die Grundlage für die Bilanzierung bieten. Ziel der Anlagen ist die Abkopplung einer Fläche durch die dezentrale Bewirtschaftung, da jedoch beide Systeme auf das gleiche Abkopplungspotential bemessen wurden, findet keine weitere Umrechnung auf 1 m² abgekoppelte undurchlässige Fläche statt. Die funktionelle Einheit, für welche die Bilanzierung der Umweltwirkungen erfolgt, wird mit 1 m Mulden-Rigolen Element ausgewiesen

Die Erstellung der Sachbilanz erfolgt zunächst analog zur Bilanzierung des Schmutzwasserkanals über die Massenermittlung und Ermittlung der Umweltwirkungen für einen laufenden Meter Mulden-Rigolen Element und für einen Schacht. Die Umrechnung auf die funktionelle Einheit erfolgt im Weiteren über die gesamten Umweltwirkungen des Schachts, welcher auf die Element-Länge umgerechnet wird.

Festlegung der Systemgrenzen

Die Bilanzierung bezieht sich auf ein Mulden-Rigolen Element, dass im Zuge einer Umbaumaßnahme gebaut wird und als Teil dessen umgesetzt wird, deshalb ist es wichtig die Systemgrenzen klar abzustecken. Die Grenzen werden für das Mulden-Rigolen Element am Rande der Einfassungen gezogen, da diese den Neben- bzw. Verkehrsflächen zugeordnet werden. Die Bilanzierung umfasst also nur die Bestandteile der Mulden-Rigole und den Schacht mit Rigolen-Überlauf. Die bilanzierten Bestandteile sind in den Systemskizzen (vgl. Anlage 4_3) farbig dargestellt. Vernachlässigt werden die Zu- und Ableitung aus dem Schacht, Baubehelfe und die Herstellung von Baumaschinen.

Bei Umbaumaßnahmen mit einer kompletten Umstrukturierung des Querschnitts, wird in der Regel ein Großteil der bestehenden Oberflächenbefestigungen ausgebaut. Laut Erläuterungsbericht wird bei der vorliegenden Maßnahme die komplette Fahrbahn Grund instandgesetzt (LSBG, 2020, S. 4). Daraufhin erfolgt auch die Anpassung der Nebenflächen in Höhe- und Lage.

Der Abtrag des Oberbaus wird deshalb nicht bilanziert und der Aushub nicht ab der Geländeoberkante gerechnet. Als Horizont für die Massenermittlung des Erdaushubs wird eine Ebene von 1,0 m oberhalb der Rigolen-Sohle angesetzt.

Lebenszyklus Betrachtung

Die Betrachtung erfolgt für einen Lebenszyklus. Drainage-Systeme haben jedoch eine kürzere Lebensdauer als Kanäle, da die Versickerungsleistung mit zunehmender Nutzungsdauer sowohl in der Versickerungsmulde als auch in der Rigole nachlässt. Dies ist auf den Eintrag von Feinteilen in die Porenräume der Rigole oder auf die Versandung der Filtervliese zurückzuführen. Für die Nutzungsdauer können die Abschreibungszeiträumen bei den Kostenberechnungen herangezogen werden, hier wird für Rohrdrainagen ein Zeitraum von etwa 25 bis 40 Jahren (Sieker, 2021) angesetzt. Die Lebensdauer von Versickerungsmulden hingegen, wird mit etwa 25 bis 30 Jahren abgeschätzt (Sieker, 2018, S. 8). Da es sich um eine kombinierte Konstruktionslösung handelt, wird deshalb der Mittelwert von 30 Jahren verwendet. Die Funktion von Mulde und Rigole wird damit für den gesamten Zeitraum, ohne Erneuerungsmaßnahme, gewährleistet.

Allerdings ist der Instandhaltungsaufwand bei Rigolen, aufgrund der kurzen Inspektions- und Spülintervalle, höher als bei Kanälen, deswegen wird bei der Bilanzierung ergänzend auch die Nutzungsphase berücksichtigt. Demnach erfolgt hier die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus von der Herstellungs- bzw. Errichtungsphase über die Nutzungs- bis zur Entsorgungsphase. In Abbildung 18 ist die Übersicht der bilanzierten Prozesse und deren Bezeichnung nach DIN EN 15978 dargestellt.

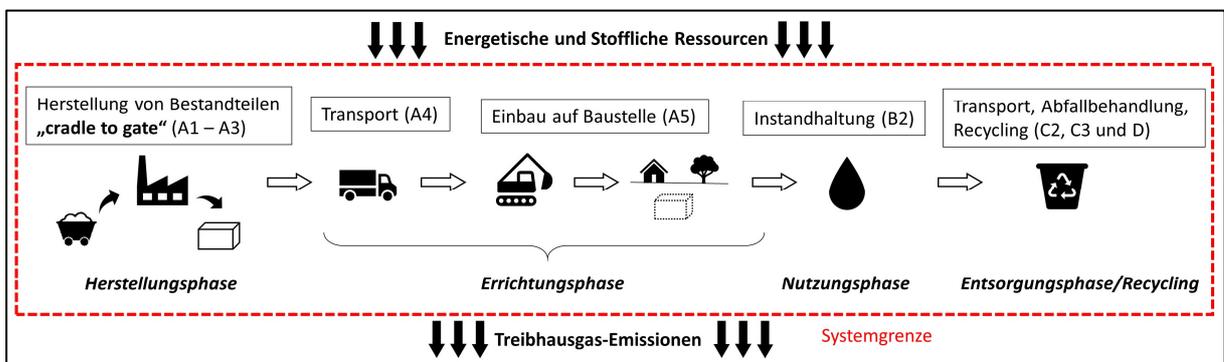


Abbildung 18: Lebenszyklusbetrachtung des Produktsystems (Mulden-Rigolen)

Die Herstellungsphase beinhaltet den gesamten Herstellungsprozess (A1 bis A3) der einzelnen verwendeten Bauprodukte.

Die Errichtungsphase enthält den Transport der Baumaterialien vom Herstellungsort bis zur Baustelle (A4) und den Bau des Entwässerungssystems (A5). Bei der Nutzungsphase werden die Prozesse zur Instandhaltung (B2), also die Mahd der Mulde und das Spülen der Rigolen bilanziert. In der Entsorgungsphase werden bei vorhandener Datengrundlage Transporte, Abfallbehandlung und auch das Recycling (D) berücksichtigt.

4.6 Alternativen und Datengrundlage

Vollsickerrohr

Bei Variante A wird zur besseren Verteilung des Niederschlagswassers und zur Vergrößerung des Speichervolumens der Rigole ein Sickerrohr aus PP der Nennweite DN 250 im Bereich der Rigolen-Sohle verlegt. Die Wahl des Rohrwerkstoffs wird damit begründet, dass dieser beim Vergleich der Rohrwerkstoffe in der Bilanzierung der Schmutzwasserkanalisation für die Größenkategorie DN 250 PP die geringsten Umweltwirkungen der Kunststoffrohre erreicht (vgl. Anlage 3_3). Als Produkt für die technischen Baudaten, dient hier das Rohrsystem Concept-Drain PP der Firma Schöngen (Schöngen, 2016). Da im Produktdatenblatt keine Angabe zum Gewicht vorliegt, wird das Gewicht des PP-Rohrs aus Schmutzwasserkanal-Bilanzierung verwendet. Für die ökologischen Baudaten wird der Datensatz (Ökobaudat: Polypropylen-Rohr (PP), 2021) herangezogen.

Rigolen-Box

Bei der Variante B wurde das beispielhafte Produkt bereits im Zuge der Vorbemessung gewählt, um bei der Bemessung bereits die Abmessungen des Rigolen-Körpers mit einer Produktlinie abzustimmen. Dabei wurde das Produkt Aquacell Plus der Firma WAVIN gewählt. Die Kunststoffhohlkörper bestehen aus dem Werkstoff PP. Das Gewicht einer Box beträgt laut Zulassung ca. 11 kg (DIBt, 2019, S. 11). Bei der gewählten Anordnung von 4 Boxen im Querschnitt ergibt sich das Gewicht des laufenden Meters zu 44 kg/m.

Für Rigolen-Boxen aus Kunststoff konnten noch keine ökologischen Baudaten oder Umweltproduktdeklarationen recherchiert werden. Da die Boxen bei den Herstellern wie die Rohrleitungen als Teil des Regenwassermanagement-Sortiments geführt werden, liegt es nahe, dass bei der Herstellung gleichwertige Rahmenbedingungen und Primärressourcen zum Einsatz kommen. Deswegen wird zur Bilanzierung der Datensatz der Ökobaudat für Rohre aus PP herangezogen.

Vlies

Um die Rigole vor Versandung zu schützen, werden sowohl die Kies- als auch die Kunststoff-Rigole mit einer Ummantelung aus einem Trenn- und Filtervlies versehen. Oft bieten die Hersteller der Kunststoff-Boxen auch die benötigten Vliese an. Zum Einsatz kommt hier ein Geotextil der Robustheitsklasse GRK 3 aus PP der Firma Wavin. Für Vliese liegt in der ÖKOBAU-DAT der Datensatz (Ökobaudat: PE/PP Vlies, 2021) vor, welcher zur Bilanzierung genutzt wird.

Schacht

Da der Schacht die Zugänglichkeit für Inspektions- und Instandhaltungsarbeiten sichert, muss ein ausreichender Arbeitsraum für das Einbringen der Kamera und der Spüldüsen vorhanden sein. Weiter beansprucht auch der Überlauf der Rigole Platz im Schacht (vgl. Anlage 4_3). Deshalb wird ein Innendurchmesser von DN 1000 veranschlagt. Der Schacht wird mit Betonfertigteilen ausgeführt, da hierzu eine Datengrundlage vorliegt und dies auch eine gängige Bauart für Kontroll-Schächte darstellt. Der Systemschacht hat eine Höhe von ca. 2,0 Metern und besteht aus einem Schachtunterteil SU-M, für einen maximalen Anschlussdurchmesser von DN 250, einem Schachtring SR-M mit der Bauteilhöhe von 750 mm, einem Schachthals SH-M mit einer Höhe von 600 mm und einer Schachtabdeckung.

Als Produktsystem wird, wie bei der Bilanzierung Schmutzwasserkanalisation, das Schachtsystem der Firma HABA verwendet. Die ökologischen Baudaten werden aufgrund fehlender Alternativen über den Datensatz für Betonrohre (Ökobaudat: Betonrohr, unbewehrt, 2021) bezogen.

Mineralische Baustoffe

Neben dem ausgebauten Bodenmaterial werden auch gelieferte mineralische Baustoffe eingebaut.

Als Datengrundlage dient hier der Datensatz (Ökobaudat: Kies 2/32, 2021) mit einer Körnung von 2/32. In Tabelle 6 sind die Datengrundlagen für die alle Bauprodukte zur besseren Übersicht dargestellt.

Typ	Werkstoff	Firma	Produktlinie	Techn. Daten	Ökolog. Daten
Sickerrohr	PP	Schöngen	CONCEPT-DRAIN PP	(Schöngen, 2016); (Rehau, 2019, S. 21)	(Ökobaudat: Polypropylen-Rohr (PP), 2021)
Rigolen-Box	PP	Wavin	Aqua Cell Plus	(DIBt, 2019)	(Ökobaudat: Polypropylen-Rohr (PP), 2021)
Vlies	PP	Wavin	Vliesstoff PP Typ (MVV 150)	(Wavin, 2020, S. 140)	(Ökobaudat: PE/PP Vlies, 2021)
Schacht	Beton	Haba Beton	Schachtunterteil SU-M (DN 1000)	(Haba-Beton, 2016, S. 13-6)	(Ökobaudat: Betonrohr, unbewehrt, 2021)
Sand	Sand/Kies	-	Sand-Kies Gemisch	-	(Ökobaudat: Kies 2/32, 2021)

Tabelle 6: Übersicht der gewählten Bau-Produkte und Datengrundlagen

4.7 Bilanzierungsansätze

Die Bilanzierung wird mit der gleichen Vorgehensweise wie die Vorangegangene entwickelt. Zunächst werden die Massen für die geplanten Varianten ermittelt. Mit der Massenermittlung werden die Umweltwirkungen anhand der vorhandenen ökologischen Baudaten für die jeweiligen Lebenszyklus-Phasen berechnet. Ergänzend dazu werden für die Errichtungsphase und für die Instandhaltung Berechnungsansätze entwickelt und Annahmen getroffen, um die Bilanzierung in dieser Hinsicht zu ergänzen. Folgend werden die Ansätze und Annahmen für die Phasen erläutert.

4.7.1 **Herstellungsphase (Module A1 bis A3 - „cradle to gate“ für Bestandteile)**

Für die Module A1 bis A3 liegen die ökologischen Baudaten in den Datensätzen der Ökobaudat vor. Diese, meist gewichtsspezifischen Daten werden mit dem berechneten Gewicht multipliziert, um die jeweiligen Wirkungskategorien zu berechnen (vgl. Abschnitt 3.5.2).

4.7.2 **Errichtungsphase (Modul A4 - „Transport zur Baustelle“)**

Das Modul A4 beinhaltet den Transport der Bauprodukte vom Herstellungsort bis zum Einbauort. Die Umweltwirkungen werden über den Datensatz des LKW-Güterverkehrs (Ökobaudat: LKW, 2021) und die Transportdistanz ermittelt. Der Datensatz umfasst die Umweltauswirkungen eines durchschnittlichen LKWs mit einer Gewichts-Auslastung von 85 % für einen Tonnenkilometer.

Zur Bilanzierung wird ein konkretes Bauvorhaben in Hamburg betrachtet. Da es sich beim Entwurf um eine Konzeptstudie handelt, ist es nicht zielführend die Transportentfernung von der Baustelle bis zu den Produktionsstätten der gewählten Produkte zu verwenden, zudem werden Infrastrukturen produkt-neutral ausgeschrieben. Deshalb werden für die Bilanzierung mittlere Transportdistanzen, auf Grundlage der Verfügbarkeit der Baustoffe gewählt.

Für die Rohre, den Schacht und das Sand-Kies Gemisch werden die durchschnittlichen Transportentfernungen angesetzt, die auch für die Bilanzierung der Schmutzwasserkanals verwendet wurden. Zur detaillierten Herleitung der Entfernungen wird entsprechend auf den Abschnitt 3.5.3 verwiesen. Als mittlere Transportentfernung der Rigolen-Boxen und der Vliese wird die gleiche Entfernung wie bei den Rohrleitungen aus Kunststoff angesetzt. Es besteht die Annahme, dass die Rigolen-Boxen und Rohre in den gleichen Produktionsstandorten hergestellt werden und deshalb eine vergleichbare Verfügbarkeit aufweisen. Eine Übersicht der gewählten Distanzen ist in Tabelle 7 aufgeführt.

Bestandteil	Sand-Kies	Schachtbauteile	Vollsicker-rohr	Rigolen-Box	Vlies
Transport-entfernung [km]	30	50	350	350	350

Tabelle 7: Mittlere Transportentfernungen der Baustoffe zum Einbauort (MRE)

4.7.3 Errichtungsphase (Modul A5 - „Errichtung/Einbau“)

Die Umweltwirkungen der Errichtungsphase werden durch den Dieserverbrauch der Baugeräte erfasst (vgl. Abschnitt 3.5.4). Für den Bauablauf werden die Haupt-Bauleistungen betrachtet, welche bei der Herstellung eines Mulden-Rigolen Elements anfallen. Hierzu gehören der Grabenaushub für die Rigole, die Herstellung der Rigole einschließlich der Verfüllung bis zur geplanten Muldenoberkante und die Herstellung des Schachts. Anhand von baubetrieblichen Ansätzen wird der benötigte Zeitaufwand zur Herstellung ermittelt und geprüft für welche Arbeiten ein Baugeräteeinsatz erforderlich wird.

Techn. Rigolen-Bau	Erdbau
<ul style="list-style-type: none"> • Kunststoffrigole herstellen • Kunststoff-Rohre verlegen • Schacht herstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Aushub der Baugrube • Kies-Rigole herstellen • Verfüllung Baugrube mit Kies • Oberbodenandeckung • Verdrängten Boden abtransportieren

Tabelle 8: Übersicht Hauptbauleistungen Mulden-Rigolen Element

Zur Bilanzierung aller Erdarbeiten, also Aushub- und Verfüll-Leistungen, wird wie bei der Bilanzierung des Schmutzwasserkanals ein mittelgroßer Hydraulikbagger mit einer Leistung von 65 kW angesetzt. Dies wird damit begründet, dass zur Herstellung der Schächte ein Baugerät mit ausreichend Hubkraft eingesetzt werden muss und ein Bagger dieser Größe im Straßenbau eingesetzt werden kann. Die verursachten Umweltwirkungen, welche bei einstündigem Betrieb anfallen, werden über den bestehenden Datensatz (Ökobaudat: Bagger 100 kW Aushub, 2021) berechnet. Die Ermittlung der Umweltwirkungen mit dem Kraftstoffverbrauch und dem Zeit-Aufwandswert wird in Abschnitt 3.5.4 erläutert.

Im Folgenden wird die Ermittlung der Aufwandswerte vorgestellt, die für die jeweiligen Hauptbauleistungen angesetzt werden.

Technischer Rigolen-Bau

Zum Technischen Rigolen Bau zählen der Bau der Kunststoff-Rigole sowie aller Rohrleitungen und die Herstellung des Schachts für den Rigolen-Überlauf. Für den Einbau der Schachtbauteile werden die Aufwandswerte der Schmutzwasserbilanzierung (vgl. Abschnitt 3.5.4) verwendet. Da es sich im Gegensatz zum Kanalbau um eine lediglich 1 m tiefe Baugrube handelt und sowohl die Kunststoffrohre DN 250 und die Rigolen-Füllkörper aus Kunststoff ein sehr geringes Gewicht aufweisen, besteht die Annahme das hier kein Baugerät zum Einheben in die Baugrube verwendet wird. Deshalb wird nur ein verminderter Aufwandswert der Bauzeit für den Baugeräteeinsatz angesetzt. Dieser berücksichtigt das Laden und Verteilen der Baustoffe innerhalb der Baustelle.

Der Aufwandswert für das Abladen und Verteilen von 10 m Kunststoffrohren des Durchmessers DN 250 beträgt nach den Kalkulationstabellen von (Ilgeroth, Müller, & Abo-Dabach, 2007, S. 45) etwa 0,07 h. Dieser Wert wird für 1 m Rohrleitung und 1 Stück der Rigolen-Boxen auf einen Aufwandswert von 0,01 h gerundet, da diese ein ähnliches Gewicht aufweisen.

Grabenaushub

Die Ermittlung des Aufwandswerts erfolgt anhand einer Abschätzung der Aushubleistung unter den getroffenen Annahmen und mit Hilfe einer überschlägigen Leistungsberechnung in Anlehnung an die Berechnungsmethode der Baubetriebstabellen von (Krause & Ulke, 2016). Die Kies-Rigole kann bereits in den End-Abmessungen hergestellt werden.

Zur Herstellung der Kunststoff-Rigole werden beidseits 30 cm Arbeitsraum hinzugefügt, um die Montage der Rigolen-Boxen zu berücksichtigen.

Die Ermittlung des Aufwandwertes wird in Abschnitt 3.5.4 detailliert erläutert. Im vorliegenden Fall wird angenommen, dass der Aushub aufgrund des abgetragenen Oberbaus etwa 1,0 m über der Sohle der Rohr-Rigole, und damit ohne Verbau der Baugrubenwände erfolgt. Es erfolgt demnach keine Reduzierung der Aushubleistung. Der Aushub kann hier vergleichsweise behinderungsfrei, jedoch unter Berücksichtigung bestehender Leitung etc. erfolgen. Deshalb wird der Aufwandswert für 1 m³ Aushub mit 0,05 h/m³ abgeschätzt.

Einbau der Kiesrigole und Einbau Sand/Kies-Gemisch

Der Einbau der Kiesrigole erfolgt in der Rigole sowohl im Bereich der verlegten Rohrleitung als auch im restlichen Rigolenkörper. Es wird deshalb ein Aufwandswert auf Grundlage der Grabenverfüllung (vgl. Abschnitt 3.5.4) geschätzt. Der Aufwandswert wird mit etwa 0,20 h/m³ angenommen. Für den Einbau des Sand/Kies-Gemisches oberhalb der Rigole wird der Aufwandswert wie der gleiche Wert für den Einbau der Kiesrigole angenommen, da hier in einer relativ großen Breite Material gleichmäßig eingebaut und verdichtet wird.

Grabenverfüllung

Für die Verfüllung des Arbeitsraums wird das Aushubmaterial verwendet. Durch die geringe Breite der Verfüllung wird hier gegenüber Einbau der anderen Schichten ein um 50 % reduzierter Leistungsansatz gewählt. Damit ergibt sich der Aufwandswert zu 0,4 h/m³.

Oberbodenauftrag und Profilierung der Mulde

Oberboden wird meist aus einem vorhandenen Oberbodenabtrag aus der Baumaßnahme, oder als Liefermaterial angefahren. Da es sich hierbei um eine belebte Oberbodenzone mit speziellen Anforderungen an die Durchlässigkeit des Materials handelt, wird dafür Liefermaterial angesetzt. Als Transportentfernung werden 30 km veranschlagt.

Der Aufwandswert setzt sich aus dem Einbau des Materials und der Profilierung der Mulde, die lagegenau durchgeführt werden muss, zusammen. Für die 30 cm starke Oberbodenabdeckung wird gemäß dem angegebenen Zeitaufwand der (Sirados Baudaten, 2021)(Position 1.002.0.10.210) ein Aufwandswert von 0,08 h/m² bzw. 0,27 h/m³ angesetzt.

Für die Profilierung wird gemäß der Datenbank (Position 1.010.0.65.210) ein Zeitaufwand von 0,15 h/m bzw. 0,12 h/m³ (bei einer Einbaumenge von 0,8 m³/lfm.) verwendet. Gesamt ergibt sich daraus ein Aufwandswert von etwa 0,4 h/m³.

4.7.4 Nutzungsphase (Modul B2 - „Instandhaltung“)

Als relevante Prozesse werden für die Instandhaltung die Mahd der Mulde und das Spülen der Rigole bzw. des Sickerrohrs identifiziert. Da die Funktionsweise maßgeblich durch den Zustand der Versickerungsanlage beeinflusst wird, ist bei diesen Systemen besonderes Augenmerk auf die betrieblichen Instandhaltungsmaßnahmen zu legen. Es wird deshalb eine periodische Durchführung über den gesamten Nutzungszeitraum angesetzt. Die Ermittlung erfolgt wie bei der Errichtung (Modul A5) über den Kraftstoffverbrauch der verwendeten Baugeräte.

Die Mäharbeiten sollten nach Bedarf, zumindest einmal jährlich durchgeführt werden (DWA, 2005a, S. 36). Da es sich bei der Mulde um eine vergleichsweise kleine Fläche mit flachen Neigungen handelt, kann ein leichter Rasenmäher ohne Selbstantrieb (BGL E.9.13.0003) mit einer Nennleistung von 3 kW eingesetzt werden. Zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs wird der mittlere Verbrauch von 120 g/kW gemäß Baugeräteliste angesetzt. Für den Rasenmäher ergibt sich damit ein Verbrauch von 0,36 kg/h. Für das Rasenmähen wird auf Grundlage der (Sirados Baudaten, 2021)(Pos. 1.003.1.39.010) ein Aufwandswert von 0,08 h/m für bei einer 2,5 m breiten Mulde angesetzt.

Für die Hochdruck-Spülung wird ebenso ein einjähriges Intervall angesetzt, um die Funktion der Rigole zu erhalten. Zur Reinigung von Kanälen oder Rohrleitungen werden gemäß Merkblatt DWA-M 174 kombinierte Saug- und Spülfahrzeuge eingesetzt (DWA, 2005b, S. 13). Für diese Art von Fahrzeugen wird ein Kraftstoffverbrauch von 25 l/h zugrunde gelegt (IKT, 2004, S. 75), dies entspricht etwa 21 kg/h. Die Tagesleistung eines Fahrzeugs beträgt 800 m Kanal-Länge bei einer Arbeitszeit von sechs Stunden (DWA, 2005b, S. 13), daraus kann ein Aufwandswert von 0,008 h/m berechnet werden. Es werden keine weiteren Differenzierungen zwischen Kies- und Kunststoff-Rigole angenommen.

4.7.5 Entsorgungsphase und Recyclingpotential (Module C2, C3 und D)

Das GWP und der Gesamtenergiebedarf der Entsorgungsphase werden wie bei der Herstellungsphase über die vorhandenen Datensätze der Ökobaudat ermittelt. Auch die Gutschriften des Recyclingpotentials für die Umweltwirkungen werden entsprechend berechnet. Das ausgebaute, verdrängte Bodenmaterial wird abtransportiert.

Dazu folgt eine Annahme einer Transportentfernung von 30 km analog zur Bilanzierung des Schmutzwasserkanals. Für den Boden werden keine Entsorgungs- und Recycling-Prozesse bilanziert, da eine weitere Verwendung nicht abgeschätzt werden kann.

4.8 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse werden zunächst je Variante dargestellt und diskutiert sowie im Weiteren gegenübergestellt (vgl. Anlage 4_6). Dabei folgt eine Analyse hinsichtlich der Anteile der Lebenszyklusphasen und der Anteile der Komponenten, um wichtige Teilbereiche zu identifizieren. Die Ergebnisse werden auszugsweise vorgestellt, auf Plausibilität geprüft und diskutiert.

Variante A weist bei Betrachtung des GWPs etwa gleiche Anteile bei der Herstellungs-, Errichtungs- und Entsorgungsphase auf. Der größte Anteil entfällt auf die Entsorgungsphase mit einem Anteil von 37 %, was mit den Entsorgungsprozessen des Sickerrohrs aus PP begründet werden kann. Transport und Instandhaltung haben einen geringeren Anteil von etwa 10 %. Die Gutschrift aus dem Recyclingpotential weist etwa den gleichen Anteil auf. Ergänzend muss auch hier genannt werden, dass der Anteil des Transports vermutlich zu gering ausfällt, da die übliche Gewichts-Auslastung der LKWs beim Transport von Kunststoff-Rohren wohl nicht erreicht wird (vgl. Abschnitt 3.7.1).

Bei Betrachtung des Primärenergiebedarfs verschieben sich die Anteile in Richtung der Herstellungsphase. Dies kann mit dem energieintensiven Herstellungsprozess (Polymerisation) von Poly-Propylen begründet werden. Durch die Herstellungsphase wird knapp die Hälfte des gesamten Energiebedarfs beansprucht. Aber auch die Errichtungs- und Entsorgungsphase haben mit etwa 30 % einen maßgeblichen Anteil am gesamten Energiebedarf. Bei Betrachtung der einzelnen Komponenten fällt auf, dass die Rohrleitung und das Vlies, trotz des geringen Gewichts-Anteils, etwa für ein Viertel der gesamten Umweltwirkungen verantwortlich sind. Der gesamte Erdbau trägt mit 45 bzw. 50 % den größten Teil der Umweltwirkungen bei. Dies kann damit begründet werden, da der Einbau Kies-Rigole hier dem Erdbau zugeordnet wird.

Der Kontrollschacht macht etwa ein Fünftel des GWPs aus, bei Betrachtung des Energiebedarfs verringert sich dieser Anteil auf 13 %. Durch das kurze Intervall der Spülungen, haben diese auch einen Anteil von etwa 10 % an den gesamten Umweltwirkungen.

Bei Variante B schlägt sich der Einsatz des Füllstoffkörpers aus PP in der Bilanzierung deutlich nieder. Beim GWP verschieben sich die Anteile, bedingt durch den deutlich größeren Kunststoff-Anteil, zur Herstellungs- und Entsorgungsphase. Zusammen machen diese knapp 95 % des gesamten GWPs aus, die Entsorgungsphase hat auch hier den größten Anteil, was mit der thermischen Verwertung des Kunststoffs erklärt werden kann. Beim Primärenergiebedarf ist die Herstellungsphase für knapp 96 % des Energiebedarfs verantwortlich. Betrachtet man die Komponenten verlagert sich auch hier das Bild in Richtung der Rigole. Diese steht für knapp 70 % der Umweltwirkungen, die Anteile des Erdbaus und des Schachts fallen dadurch wesentlich geringer aus.

Beim Vergleich der Varianten wird deutlich, dass die Ausführung mit einer Kies-Rigole ein deutlich geringeres GWP und einen deutlich geringeren Primärenergiebedarf aufweist als die Variante mit Rigolen-Boxen aus PP. Bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklus einschließlich des Recyclingpotentials beträgt das GWP der Variante B das 1,7-fache des GWPs der Variante A. Auch weist die Variante B einen 1,7-fach größeren Energiebedarf auf (vgl. Abbildung 19).

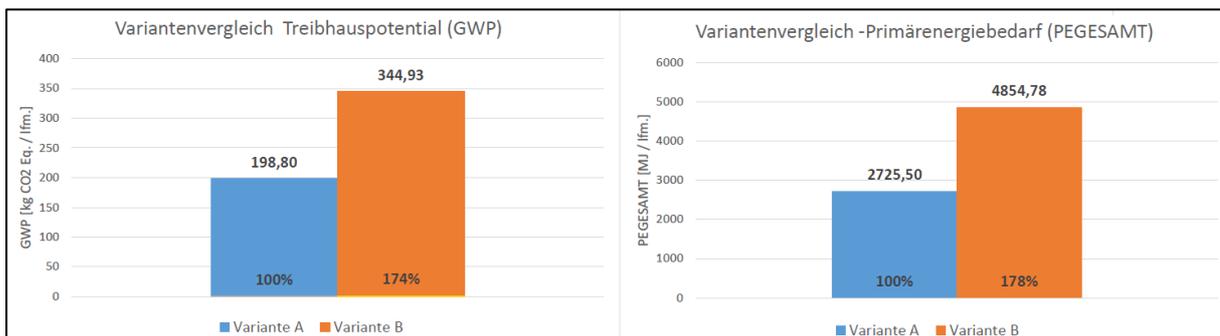


Abbildung 19: Variantenvergleich Mulden-Rigole bzgl. GWP und Primärenergiebedarf

Dies kann neben dem höheren Anteil von PP auch damit begründet werden, dass der Umfang des Grabenaushubs bei beiden Varianten ungefähr gleich ist, da bei Variante B ein zusätzlicher Arbeitsraum für die Montage der Rigolen-Boxen berücksichtigt werden muss. Beim Erdbau können bei Variante B deshalb nur geringe Einsparungen gegenüber der Variante A erzielt werden. Die größeren Umweltwirkungen, durch den höheren Kunststoff-Anteil, können dadurch nicht kompensiert werden.

4.9 Zusammenfassung und Ausblick

Die Mulden-Rigolen Elemente liegen als Konzeptstudie für die lokal vorliegenden Baugründe vor und bilden damit die Grundlage die dafür verwendeten Baustoffe und Bauweisen hinsichtlich des GWPs und des gesamten Primärenergiebedarfs zu vergleichen.

In der Regel reduziert der Einsatz von Kunststoff-Füllkörpern den Umfang der begleitenden Erdbaumaßnahmen, da die Rigolen wegen des größeren Speicherkoeffizienten, geringere Rigolen-Abmessungen aufweisen. Dies wird durch die Hersteller als Vorteil gegenüber der konventionellen Bauweise mit Kies vermarktet. Unter den vorliegenden Randbedingungen fällt dieser Unterschied jedoch marginal aus, da bei den Rigolen-Boxen auch ein Arbeitsraum für die Montage berücksichtigt werden muss und die Baugruben dadurch in etwa gleich groß sind. Dadurch wird der Vorteil des Erdbau-Umfangs nahezu kompensiert.

Dies bildet sich auch in der Bilanzierung ab. Hinsichtlich der Umweltwirkungen erweist sich die konventionelle Kies-Rigole mit Sickerrohr als die bessere Lösung für das Szenario, denn das Einsparpotential der Variante A beträgt sowohl beim GWP als auch beim Energiebedarf knapp 40 %. Die Ergebnisse bestätigen damit die Bilanzierung des Schmutzwasserkanals, dass der Einsatz von Bauprodukten aus Kunststoffen, mit einem hohen GWP und einem hohen Energieaufwand, bedingt durch Herstellung und Entsorgung, einhergeht, welche unter den getroffenen Annahmen nicht durch den Transport und die leichte Handhabung auf der Baustelle ausgeglichen werden.

Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Ergebnisse für andere Baumaßnahmen genauso reproduziert werden. Vor allem die Durchlässigkeit des anstehenden Baugrunds stellt einen wichtigen Faktor dar. Bei einer sehr geringen Durchlässigkeit des Baugrunds fällt, beispielsweise das Einsparpotential beim Erdbauvolumen, wieder deutlich größer aus. Insbesondere dann, wenn dadurch tiefe Baugruben mit einhergehenden Sicherungsmaßnahmen vermieden werden können. Deshalb muss der Einsatz im Einzelfall stets gesondert geprüft werden.

Eine interessante Ergänzung der Bilanzierung bieten konkrete Angaben oder Untersuchungen zu den Nutzungszeiträumen der verschiedenen Rigolen. Durch die kleineren Porenräume ist es wahrscheinlich, dass die Kies-Rigolen eher zur Verstopfung neigen und damit ihre Durchlässigkeit verlieren. Da Rigolen-Boxen vergleichsweise neue Bautechniken darstellen, fehlt hier eine aussagekräftige Untersuchung, bei der diese Annahme mit konkreten Nutzungsdauern bestätigt wird, deshalb können diesbezüglich noch keine Angaben in die Bilanzierung übernommen werden. Des Weiteren können die Bilanzierung auch kombiniert eingesetzt werden, um die beiden Entwässerungssysteme, Kanal und Mulden-Rigolen Element, zu vergleichen. Vor allem ist dies eine interessante Untersuchung, wenn der Einsatz des Mulden-Rigolen Elements, Kanalbaumaßnahmen ersetzen könnte.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Arbeit behandelt die Frage, wie sich verschiedene Baustoffe und der Baubetrieb auf das Treibhauspotential und den Primärenergiebedarf bei dem Bau von Entwässerungssystemen auswirken. Durch den Zustand des Kanalnetzes und der gegenwärtigen Umstrukturierung der urbanen Lebensräume, kann für die Zukunft ein stetiger Baubedarf für Entwässerungssysteme nachgewiesen werden. Da die Umsetzung von Baumaßnahmen immer mit Auswirkungen auf die lokale und globale Umwelt einhergehen, ist es notwendig bei dem Bau der zukünftigen Entwässerungssysteme klimaschonende Baustoffe und Bauweisen einzusetzen.

Die Untersuchung der Umweltwirkungen ist von besonderem Interesse, da die Berechnung und Bewertung von Umweltwirkungen in Deutschland bisher lediglich bei dem Bau und der Nutzung von Gebäuden Anwendung findet und die bestehenden Bilanzierungen von Entwässerungssystemen, aus anderen Ländern, nur bedingt auf die deutschen Verhältnisse projiziert werden können. Zwar existieren vereinzelt Umweltproduktdeklarationen für Bauprodukte und Vergleiche von Werkstoffen (Specht & Lorenz, 2009), jedoch finden sich, für den deutschen Raum, keine aktuellen, gesamtheitlichen Ermittlungen der Umweltwirkungen, die beim Bau von Entwässerungssystemen anfallen und neben der Herstellung auch die weiteren Lebenszyklusphasen erfassen und bewerten.

Bei der Wahl der Bauprodukte, zeigen sich die Unterschiede hinsichtlich der Umweltwirkungen nicht nur in der Herstellung, Entsorgung und Wiederverwertung, sondern auch in Transporten, Bauzeiten und dem Umfang begleitender, weiterer Bauarbeiten. Deshalb bietet nur die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus, gemäß der Ökobilanzierung, ausreichend genaue Aufschlüsse über die Umweltwirkungen.

Die Bilanzierungen eines Schmutzwasserkanals und eines Mulden-Rigolen Elements decken ein konventionelles Element der Schmutzwasser-Entwässerungssysteme aber auch ein Entwässerungssystem der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung, im Hinblick auf Trennungsgebot des Abwassers des WHGs, ab. Die einschlägigen Regelwerke dienen zur Entwicklung der Konstruktionslösungen und die Datengrundlage, aus Ökobaudat, technischen Baudaten und baubetrieblicher Kalkulationen, ermöglicht die Berechnung der Umweltwirkungen und des Energiebedarfs beim Einsatz unterschiedlicher Baustoffe.

Der Vergleich der Baustoffe ergibt, dass unter den getroffenen Annahmen und Randbedingungen, der Einsatz von Bauprodukten aus Kunststoff zu einem höheren Treibhauspotential und einem größeren Primärenergiebedarf der gesamten Maßnahme führt. Sowohl die Herstellungs- als auch die Entsorgungsphase der Kunststoff-Produkte stellen große Anteile dar. Auch die geringeren Bauzeiten und der geringere Umfang der Erdbaumaßnahmen, welche durch den Einsatz von Kunststoffen bedingt sind, können dies nicht kompensieren.

So fällt bei Kanälen das Einsparpotential durch die Nutzung der biegesteifen Rohre aus Beton, Stahlbeton und Steinzeug, bei kleineren Durchmessern eher gering aus, nimmt aber zu, je größer der Durchmesser der Rohrleitung ist. Bei der Bilanzierung der zwei verschiedenen Konstruktionslösungen des Mulden-Rigolen Elements, führt der Einsatz der Kunststoff-Füllkörper, im Vergleich mit der Ausführung mit Kies-Rigole und Sickerrohr, zu einem deutlich höheren Treibhauspotential und Primärenergiebedarf der Maßnahme. Dies kann, neben den größeren Umweltwirkungen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase, auch damit begründet werden, dass durch den Einsatz der Rigolen-Boxen, in diesem Einzelfall, kaum Einsparungen in der Errichtungsphase erzielt werden.

Durch die Bilanzierungen wird zudem festgestellt, dass der Errichtungsprozess auf der Baustelle einen bemerkenswerten Teil der Umweltwirkungen und des Ressourcenverbrauch ausmacht. Es empfiehlt sich daher, neben der sorgfältigen Wahl von ökologischen Bauprodukten, auch den Baubetrieb und die dabei verwendeten Baugeräte hervorzuheben. Die Errichtungsphase bietet dabei Möglichkeiten zur Verfeinerung und Weiterentwicklung der Bilanzierung. Auch bei der Ökobaudat legt hier Potential zur Erweiterung der Datensätze offen, um die Transportprozesse und Baugeräte sowie Bauarbeiten differenzierter zu Erfassen.

Da sich die durchgeführte Bewertung nur auf einen Teil der ökologischen Dimension bei dem Bau von Entwässerungssystemen bezieht, ist die Ergänzung um weitere ökologische Wirkungskategorien und Untersuchungen zur Bewertung der ökonomischen und soziokulturelle Dimension der nächste konsequente Schritt. Dies bietet ein umfangreiches Forschungsfeld, denn nur so können Baustoffe und Bauweisen gesamtheitlich hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit bewertet werden.

6 Verwendete Gesetze, Normen und Regelwerke

DIN. (2002). *DIN EN 1917:2002: Einsteig- und Kontrollschächte aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahbeton*. Berlin: Beuth.

DIN. (2004). *DIN V 1201:2004-08: Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton für Abwasserleitungen und -kanäle*. Berlin: Beuth.

DIN. (2011). *DIN 12661-1:2011-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen - Polyethylen (PE) - Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem*. Berlin: Beuth.

DIN. (2011). *DIN EN 19578:2011 - Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden*. Berlin: Beuth.

DIN. (2012). *DIN 4124: 2012-01: Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau und Arbeitsraumbreiten*. Berlin: Beuth.

DIN. (2013c). *DIN EN 295-1:2013-05 Steinzeugrohrsysteme für Abwasserleitungen und -kanäle*. Berlin: Beuth.

DIN. (2014). *DIN EN 16323:2014-07: Wörterbuch für Begriffe der Abwassertechnik*. Berlin: Beuth Verlag.

DIN. (2015a). *DIN EN 124-1:2015-09: Aufsätze und Abdeckungen für Verkehrsflächen*. Berlin: Beuth.

DIN. (2015b). *DIN EN 1610:2015-12: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen*. Berlin: Beuth.

DIN. (2017). *DIN EN 752:2017-07: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Kanalmanagement*. Berlin: Beuth.

DIN. (2018a). *DIN 1998:2018-07 Unterbringung von Leitungen und Anlagen in öffentlichen Verkehrsflächen - Richtlinie für die Planung*. Berlin: Beuth Verlag.

DIN. (2018b). *DIN EN 1852-1:2018-03: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen - Polypropylen (PP)*. Berlin: Beuth Verlag.

DIN. (2019). *DIN EN 1401-1:2019-09: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen - Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U)*. Berlin: Beuth Verlag.

DIN. (2020a). *DIN 4034-1:2020-04: Schächte aus Beton-, Stahlfaserbeton- und Stahlbetonfertigteilen –Teil 1*. Berlin: Beuth.

DIN. (2020c). *E DIN EN 476:2020-09: Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserleitungen und -kanäle*. Berlin: Beuth.

DIN. (2021). *DIN EN ISO 14040:2021-02: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen*. Berlin: Beuth.

DWA. (2005a). *Arbeitsblatt DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA. (2005b). *DWA-M 174: Betriebsaufwand für die Kanalisation - Hinweise zum Personal-, Fahrzeug- und Gerätebedarf*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

DWA. (2006a). *Arbeitsblatt DWA-A 100: Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (ISiE)*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA. (2006b). *Arbeitsblatt DWA-A 118: Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA. (2020a). *Arbeitsblatt DWA-A 138-1: Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser - Teil 1: Planung, Bau, Betrieb (Entwurf)*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall e. V. (DWA).

DWA. (2020b). *Arbeitsblatt DWA-A 157: Bauwerke der Kanalisation*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA. (2020c). *ATV-DVWK-A 127: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

WHG. (2009). *Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG 2009) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I Seite 2585), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 19. Juni 2020 (BGBl. I Seite 1408) geändert worden ist.*

7 Literaturverzeichnis

Akhtar, S., Reza, B., Hewage, K., Shahriar, A., Zargar, A., & Sadiq, R. (2014). Life cycle sustainability assessment (LCSA) for selection of sewer pipe materials. In *Clean Techn Environ Policy* (S. 973-992). Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

ATV. (1994). *Planung der Kanalisation*. (A. V. e.V., Hrsg.) Hennef: Ernst & Sohn Verlag.

ATV. (1998). *Zustand der Kanalisation in der Bundesrepublik Deutschland, Ergebnisse der ATV-Umfrage 1997*. Hennef: Abwassertechnische Vereinigung e. V. (ATV).

Barjenbruch, M. (2015). Abwassertechnik. In K. Lecher, H.-P. Lühr, & U. C. Zanke, *Taschenbuch der Wasserwirtschaft*. Hannover, Berlin, Darmstadt: Springer Vieweg.

Bauverlag. (2020). *Baugeräteliste – Bauverlag*. Abgerufen am 20. April 2021 von <https://archiv2015.bgl-online.info/vorwort.html>

BMI. (2019). *Leitfaden Nachhaltiges Bauen*. Berlin: Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI).

BMVI. (2019). *Verkehr in Zahlen 2019/2020*. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.

BMWi. (2021). *BMWi - Deutsche Klimaschutzpolitik*. (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) Abgerufen am 20. April 2021 von <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-deutsche-klimaschutzpolitik.html>

Bohle, U., & Hahn, G. (2016). Werkstoff Steinzeug. In H.-B. Horlacher, & U. Helbig, *Rohrleitungen 1 - Grundlagen, Rohrwerkstoffe, Komponenten*. Dresden.

Byrne, D., Grabowski, M., Benitez, A., Schmidt, A., & Guest, J. (2017). Evaluation of Life Cycle Assessment (LCA) for Roadway Drainage Systems. *Environmental Science and Technology* 51.

- DAV. (2013). *Ausschreiben von Asphaltarbeiten*. Bonn: Deutscher Asphalt Verband e.V.
- DIBt. (2019). *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/ Allgemeine Bauartgenehmigung Nr. Z-42.1-51*. Abgerufen am 20. April 2021
- DWA. (2003). *Fremdwassersituation in Deutschland. Korrespondenz Abwasser(01/2003)*.
- DWA. (2016). *Zustand der Kanalisation in Deutschland - Ergebnisse der DWA-Umfrage 2015. Korrespondenz Abwasser, 6/2016*.
- DWA. (2020d). *Zustand der Kanalisation in Deutschland - Ergebnisse der DWA-Umfrage 2020*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall e. V. (DWA).
- DWD. (2021). *Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Leistungen - KOSTRA-DWD*. (Deutscher Wetterdienst) Abgerufen am 20. April 2021 von https://www.dwd.de/DE/leistungen/kostra_dwd_rasterwerte/kostra_dwd_rasterwerte.html
- EAPA. (2020). *Asphalt in Figures 2019*. Abgerufen am 20. April 2021 von https://eapa.org/wp-content/uploads/2020/12/Asphalt-in-figures_2019.pdf
- Ehlers, U. (2011). *Einbau von Schachtabdeckungen bei Kanalbaumaßnahmen und bei der Unterhaltung. 3R*. Abgerufen am 17. Dezember 2020 von http://www.kanalbau.com/tl_files/kanalbau/upload/pdf/fachbeitrag/2011_3r_Ehlers.pdf
- Emschergenossenschaft/Lippeverband. (2013). *Abwasserkanäle, Zeitzeugen einer Flussgeschichte*. Essen.
- Eyerer, P., & Reinhardt, H.-W. (2000). *Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden*. Stuttgart: Birkhäuser Verlag.
- Fathollahi, A., & Coupe, S. J. (2021). Life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC) of road drainage systems for sustainability evaluation: Quantifying the contribution of different life cycle phases. *Science of The Total Environment, Volume 776*.
- FBS. (2012). *Rohrwerkstoffauswahl – ein Vergleich*. Bonn: Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V.

- FHH. (2021). *Bohrdaten Hamburg - hamburg.de*. Abgerufen am 1. April 2021 von <https://www.hamburg.de/bohrdaten-geologie/>
- Frischknecht, R. (2019). *Lehrbuch der Ökobilanzierung*. Uster: Springer Verlag.
- Funke-Gruppe. (2021). *Kanalrohrsystem Connex*. Abgerufen am 20. April 2021 von https://www.funkegruppe.de/fileadmin/pdf/Prospekte_DE/Funke-Kunststoffe-CONNEX-Kanalrohr-Prospekt-10-2012.pdf
- Gerodur. (2009). *geroblanco_produktdbeschreibung_116.pdf*. Abgerufen am 20. April 2021 von https://www.gerodur.de/de/dnl/geroblanco_produktdbeschreibung_116.pdf
- Güteschutz Kanalbau. (2012). *Kanalbau in offener Bauweise*. Abgerufen am 20. April 2021 von https://ibos-goerlitz.de/wp-content/uploads/2015/07/02kanalbau_in_offener_bauweise__qualitatssicherung_.pdf
- Güteschutz Kanalbau. (2019). *Jahresbericht 2019*. Bad Honnef.
- Haba-Beton. (2016). *Lieferprogramm Deutschland*. Abgerufen am 20. April 2021 von https://www.haba-beton.com/daten/HABA_KATALOG_TIEFBAU_DE_AT.pdf
- Haba-Beton. (2020). *Preisliste 2020 - Deutschland*. Abgerufen am 02. 12 2020 von https://www.haba-beton.com/daten/HABA_Preisliste_DE_2020_screen_k.pdf
- Hamburg Wasser. (2020). *Abwasserableitung - Hamburg Wasser*. Abgerufen am 26. April 2021 von <https://www.hamburgwasser.de/privatkunden/unser-wasser/der-weg-des-wassers/abwasserableitung>
- Hegger, M., Auch-Schwelk, V., Fuchs, M., & Rosenkranz, T. (2005). *Baustoff Atlas*. Darmstadt: Birkhäuser Verlag GmbH.
- Holldorb, C., & Mayer, T. (2009). *Ökoprofil für Asphalt- und Betonbauweisen von Fahrbahnen*. Biberach.
- IBU. (2020). *Umweltproduktdeklaration Nr. EPD-FRW-20190167-IBA1-DE - FRÄNKISCHE Rohrwerke*. Berlin: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU).
- IKT. (2004). *Forschungsbericht: Kanalreinigung*. Gelsenkirchen: Institut für unterirdische Infrastruktur.

- Ilgeroth, M., Müller, G., & Abo-Dabach, S. (2007). *Kalkulationstabellen Straßen und Tiefbau*. Berlin: Schiele & Schön GmbH.
- KBS Steigtechnik. (2014). *Steigeisen nach DIN 1212 | Steigbuegel.eu*. Abgerufen am 20. April 2021 von https://steigbuegel.eu/steigeisen/din_1212.html
- Köhler, R. (1997). *Tiefbauarbeiten für Rohrleitungen*. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Möller.
- Körkemeyer, K. (2016). Werkstoff Beton für Rohre. In H.-B. Horlacher, & U. Helbig (Hrsg.), *Rohrleitungen 1: Grundlagen, Rohrwerkstoffe, Komponenten*. Dresden.
- Krause, T., & Ulke, B. (2016). *Zahlentafeln für den Baubetrieb*. Springer.
- KRV. (1999). *Kunststoffrohrsysteme für die kommunale Entwässerung - PE-HD*. Bonn.
- KRV. (2001a). *Kunststoffrohrsysteme für die kommunale Entwässerung aus PP*. Bonn.
- KRV. (2003). *Kunststoffrohrsysteme in der Abwassertechnik*. Essen: Vulkan-Verlag GmbH.
- KRV. (2004). *Kunststoffrohrsysteme für die kommunale Entwässerung aus PVC-U*. Bonn: KRV.
- KRV. (2008). *Gewichtsliste über sämtliche normativ geregelte Rohrabmessungen aller Anwendungen von Rohrsystemen aus PE 100 nach DIN 8074*. Abgerufen am 20. April 2021 von https://www.krv.de/system/files/docs/mrz_2008_krv_gewichtstabelle_din_8074.pdf
- KRV. (2020). *Biegeweiche Rohre | Kunststoffrohrverband e.V. - Fachverband der Kunststoffrohr-Industrie*. Abgerufen am 20. April 2021 von <https://www.krv.de/artikel/biegeweiche-rohre>
- KRV. (2021). *Rohr-Recycling | Kunststoffrohrverband e.V. - Fachverband der Kunststoffrohr-Industrie*. Abgerufen am 20. April 2021 von <https://www.krv.de/wissen/rohr-recycling>
- LAGA. (2003). *Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen*. Mainz: LAGA.
- LfU Bayern. (2021). *Versickerung von gesammeltem Niederschlagswasser - LfU Bayern*. (B. L. Umwelt, Herausgeber) Abgerufen am 20. April 2021 von https://www.lfu.bayern.de/wasser/umgang_mit_niederschlagswasser/versickerung/index.htm

- Löckenhoff, E. (2002). *Marktentwicklung und Bedeutung der Kunststoffrohre heute*. Bonn: KRV.
- LSBG. (2020a). *Veloroute 12 Königstraße - Abstimmungsunterlage Bericht (Erläuterungsbericht)*. Abgerufen am 20. April 2021 von <https://lsbg.hamburg.de/contentblob/14709016/c7c3b200a22adcb1e70a84325e6b54d6/data/vr-12-koenigstrasse-abstimmungsunterlage-bericht.pdf>
- LSBG. (2020b). *Veloroute 12 Königstraße - Abstimmungsunterlage Plan 1*. Abgerufen am 20. April 2021 von <https://lsbg.hamburg.de/contentblob/14709018/92aa529400e37c930df274ef190e69ab/data/vr-12-koenigstrasse-abstimmungsunterlage-plan-1.pdf>
- MIRO. (2020). *Bericht der Geschäftsführung 2019/2020*. Duisburg: Bundesverband Mineralische Rohstoffe e. V.
- Ökobaudat: Abwasserrohr PE-HD. (2021). *Prozess-Datensatz: Abwasserrohr PE-HD (de)*. Abgerufen am 20. April 2021 von <https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?lang=de&uuid=c5b784e-497d-4c76-abbd-d66867e1e986>
- Ökobaudat: Abwasserrohr PVC. (2021). *Prozess-Datensatz: Abwasserrohr PVC (de)*. Abgerufen am 20. April 2021 von <https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=e1f7f83b-6f6e-4ed8-a666-0d49682982e1&version=20.19.120>
- Ökobaudat: Asphalttragschicht. (2021). *Prozess-Datensatz: Asphalttragschicht (de)*. Abgerufen am 20. April 2021 von <https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?lang=de&uuid=85de02e5-2782-4050-9c01-c5de3849fbce&version=20.19.010>
- Ökobaudat: Bagger 100 kW Aushub. (2021). *Prozess-Datensatz: Bagger 100 kW Aushub (de)*. Abgerufen am 20. April 2021 von https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=f4d930b5-eb0-4b12-9de0-e2ee391be029&stock=OBD_2021_I&lang=de

- Ökobaudat: Betonrohr, bewehrt. (2021). *Prozess-Datensatz: Betonrohr, bewehrt (de)*.
Abgerufen am 20. April 2021 von
https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=5a1cbf92-ed39-4e8c-bd01-5463bffb3c9d&version=20.19.120&stock=OBD_2021_I&lang=de
- Ökobaudat: Betonrohr, unbewehrt. (2021). *Prozess-Datensatz: Betonrohr, unbewehrt (de)*.
Abgerufen am 20. April 2021 von
https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=0eada728-b626-4f79-ba67-020635b4e67f&version=20.19.120&stock=OBD_2021_I&lang=de
- Ökobaudat: Grauguss Bauteil. (2021). *Prozess-Datensatz: Grauguss Bauteil (de)*. Abgerufen am
20. April 2021 von
<https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?lang=de&uuid=dbc94e02-b28f-43eb-8133-a161e9b83dfa>
- Ökobaudat: Kies 2/32. (2021). *Prozess-Datensatz: Kies 2/32 (de)*. Abgerufen am 20. April 2021
von
<https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=3ce61a4e-4d91-4b1d-b675-276be05b9225&lang=de>
- Ökobaudat: LKW. (2021). *Prozess-Datensatz: LKW (de)*. Abgerufen am 20. April 2021 von
https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=f54f1e4c-07e2-4045-9f1b-fb28ef8adf13&version=20.19.120&stock=OBD_2021_I&lang=de
- Ökobaudat: PE/PP Vlies. (2021). *Prozess-Datensatz: PE/PP Vlies (de)*. Abgerufen am 20. April
2021 von
https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=95a4f4b3-b354-4e2c-9046-0a36175cd768&stock=OBD_2021_I&lang=de
- Ökobaudat: Polypropylen-Rohr (PP). (2021). *Prozess-Datensatz: Polypropylen-Rohr (PP) (de)*.
Abgerufen am 20. April 2021 von
<https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?lang=de&uuid=94355965-8d24-4e78-a910-9f35b8ae1193>
- Ökobaudat: Steinzeugrohre DN 400. (2021). *Prozess-Datensatz: Steinzeugrohre DN 400 (de)*.
Abgerufen am 20. April 2021 von

<https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?lang=de&uuid=b59f6603-c75b-47bb-b1f1-5336affb2acd>

Petit-Boixa, A., Sanjuan-Delmása, D., Gasola, C. M., Villalba, G., Suárez-Ojedac, M. E., Gabarrella, X., & Josad, A. R. (2014). Environmental Assessment of Sewer Construction in Small to Medium Sized Cities Using Life Cycle Assessment. *Water Resources Management* 28.

Puhl, R. (2007). *Handbuch Schacht 2007*. Gelsenkirchen: IKT.

Rehau. (2019). *Preisliste Abwassertechnik*. Abgerufen am 20. April 2021 von <https://www.rehau.com/downloads/87168/rehau-preisliste-abwassertechnik-ab-10-2019.pdf>

Roscher, H., & Helbig, U. (2016). Historische Entwicklung der Rohrleitungstechnik. In H.-B. Horlacher, & U. Helbig, *Rohrleitungen 1 - Grundlagen, Rohrwerkstoffe, Komponenten*. Dresden: Springer Vieweg.

Schachtguss HT. (2017). *Produktkatalog 2017/2018*. Abgerufen am 20. April 2021 von <https://schachtguss.com/content/Schachtguss2017.pdf>

Schöngen. (2016). *Drainage-Rohrsysteme aus PP und PE*. Abgerufen am 20. April 2021 von https://www.schoengen.de/fileadmin/website/download/prospekte/pdf/8_1_Concept-Drain_Rohrprogramm_2016_A4.pdf

Sieker. (2018). *Planungshilfe für eine dezentrale Straßenentwässerung - Anlage 1 zum Erläuterungsbericht - Steckbriefe*. Berlin: Berliner Wasserbetriebe, Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (Berlin).

Sieker. (2021). *Mulden-Rigolen-Elemente | Sieker*. (Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH) Abgerufen am 20. April 2021 von <https://www.sieker.de/fachinformationen/regenwasserbewirtschaftung/versickerung/article/mulden-rigolen-elemente-168.html>

Sieker. (2021). *Versickerungsmulden | Sieker*. (P. D. Ingenieurgesellschaft mbH, Produzent) Abgerufen am 20. April 2021 von <https://www.sieker.de/fachinformationen/regenwasserbewirtschaftung/versickerung/article/versickerungsmulden-156.html>

- Sirados Baudaten. (2021). *Sirados Baudaten*. Abgerufen am 20. April 2021 von <https://www.sirados.de/>
- Specht, E., & Lorenz, N. (2009). Werkstoffe für den Kanalbau - Wieviel CO2 muss sein? In 23. *Oldenburger Rohrleitungsforum 5./6. Februar*. Vulkan Verlag.
- Statista. (August 2020). *Prognose: Umsatz der Branche Leitungstiefbau und Kläranlagenbau in Deutschland von 2012 bis 2018 und Prognose bis zum Jahr 2024 (in Millionen Euro) | Statista*. Abgerufen am 20. April 2021 von <https://de.statista.com/prognosen/925197/leitungstiefbau-und-klaeranlagenbau-umsatz-in-deutschland>
- Statistisches Bundesamt. (2018). *Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung - Strukturdaten zur Wasserwirtschaft* -. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt. (2019). *Statistisches Jahrbuch 2019*. Berlin.
- Steger, S., Fekkak, M., & Bringezu, S. (2011). *Materialbestand und Materialflüsse in Infrastrukturen*. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH.
- Stein, D., & Stein, R. (2014). *Instandhaltung von Kanalisationen*. Bochum: Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH .
- Steinzeug Keramo. (2021). *Kera Sortiment - Lösungen für zukunftsorientierte Abwasserlösungen*. Abgerufen am 20. April 2021 von https://www.steinzeug-keramo.com/de-de/download/?file=kera_broschuere_steinzeug-keramo_2021.pdf
- Ströbele, B. (2017). *Bereitstellung von Umweltdaten im Baubereich auf der Grundlage statistischer Zusammenhänge zwischen den Wirkungsindikatoren einer Ökobilanz*. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- TEPPFA. (2020a). *EPD - Polypropylene (PP) Structured (Twin) Wall Sewer Pipe System*. 2020: The European Plastic Pipes and Fittings Association.
- TEPPFA. (2020b). *EPD - Polyvinylchloride (PVC-U) Pipe System for Soil and Waste*. Brüssel: The European Plastic Pipes and Fittings Association.

- TEPPFA. (2021). *EPDs Archive - TEPPFA*. (The European Plastic Pipes and Fittings Association)
Abgerufen am 20. März 2021 von
<https://www.teppfa.eu/sustainability/environmental-footprint/epd/>
- Umwelt Bundesamt. (2019). *Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung | Umweltbundesamt*.
Abgerufen am 20. April 2021 von
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasserbewirtschaften/naturnahe-regenwasserbewirtschaftung>
- Vahidi, E., Jin, E., Das, M., & Singh, M. Z. (2015). Comparative Life Cycle Analysis of Materials in Wastewater Piping Systems. *Procedia Engineering 118 (2015)*, S. 1177 – 1188.
- Venkatesh, G., Hammervold, J., & Brattebø, H. (2009). Combined MFA-LCA for Analysis of Wastewater Pipeline Networks. (Wiley-Blackwill, Hrsg.) *Journal of Industrial Ecology Vol. 13, Nr. 4*.
- Wavin. (2020). *Technisches Handbuch Regenwasserbewirtschaftung*. Twist.
- Zink, T. (2016). *Nachhaltigkeit von Infrastrukturbauwerken - Ganzheitliche Bewertung von Autobahnbrücken unter besonderer Berücksichtigung externer Effekte*. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

MASTERTHESIS

**Ansätze zur Energie- und CO2-Bilanzierung bei dem
Bau von Entwässerungssystemen**

ANLAGEN

Für **Bilanzierung Schmutzwasserkanal**

3_1	Datengrundlage	4 Seiten
3_2	Bilanzierung Rohrwerkstoffe	6 Seiten
3_3	Vergleichende Bilanzierung Rohre	5 Seiten
3_4	Vergleichende Bilanzierung Gesamt	6 Seiten
3_5	Programmauszug	2 Seiten

Rohrleitungen

Name	Kategorie	ID	d	OD	Gewicht	Transportentfernung	ÖKOBAUDAT
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	km	
Betonrohr B 250 K		250	250	70	390	194	50 Betonrohr, unbewehrt
Betonrohr B 300 K		300	300	75	450	243	50 Betonrohr, unbewehrt
Betonrohr B 400 K		400	400	75	550	308	50 Betonrohr, unbewehrt
Betonrohr B 500 K		500	500	85	670	430	50 Betonrohr, unbewehrt
Betonrohr B 600 K		600	600	100	800	605	50 Betonrohr, unbewehrt
Stb-Rohr Stb 300 K		300	300	75	450	243	50 Betonrohr, bewehrt
Stb-Rohr Stb 400 K		400	400	75	550	308	50 Betonrohr, bewehrt
Stb-Rohr Stb 500 K		500	500	75	650	373	50 Betonrohr, bewehrt
Stb-Rohr Stb 600 K		600	600	80	760	470	50 Betonrohr, bewehrt
PVC-U DN 250 SN 12		250	232	9	250	11	350 Regenabflussrohr PVC
PVC-U DN 315 SN 8		300	297	9	315	12	350 Regenabflussrohr PVC
PVC-U DN 400 SN 8		400	377	12	400	18	350 Regenabflussrohr PVC
PVC-U DN 500 SN 8		500	470	15	499	28	350 Regenabflussrohr PVC
PVC-U DN 630 SN 8		600	593	18	630	45	350 Regenabflussrohr PVC
PE 100 DN 250 SN 8		250	226	12	250	11,9	350 Abwasserrohr PE-HD
PE 100 DN 315 SN 8		300	285	15	315	14,3	350 Abwasserrohr PE-HD
PE 100 DN 400 SN 8		400	362	19	400	23,1	350 Abwasserrohr PE-HD
PE 100 DN 500 SN 8		500	452	24	500	36,1	350 Abwasserrohr PE-HD
PE 100 DN 630 SN 8		600	570	30	630	57	350 Abwasserrohr PE-HD
PP DN 250 SN 10		250	233	9	250	7,4	350 Polypropylen-Rohr (PP)
PP DN 315 SN 10		300	293	11	315	12	350 Polypropylen-Rohr (PP)
PP DN 400 SN 10		400	373	14	400	17,6	350 Polypropylen-Rohr (PP)
PP DN 500 SN 10		500	466	17	500	27,5	350 Polypropylen-Rohr (PP)
PP DN 630 SN 10		630	587	22	630	44	350 Polypropylen-Rohr (PP)
Stz DN 250 K		250	250	25	299	52,8	350 Steinzeugrohre DN 400
Stz DN 300 K		300	300	28	355	72,4	350 Steinzeugrohre DN 400
Stz DN 400 K		400	398	44	486	140	350 Steinzeugrohre DN 400
Stz DN 500 K		500	496	43	581	174	350 Steinzeugrohre DN 400
Stz DN 600 K		600	597	45	687	230	350 Steinzeugrohre DN 400
kein Datensatz!		0	0	0	0	0	kein Datensatz!

Schächte

Name	Kategorie	Außenhöhe	Nutzhöhe	Anschluss	Gewicht	Transportentfernung	
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/St]	km	
SU-M 1000x800	SU-M	800	650	250	1500	50	Betonrohr, unbewehrt
SU-M 1000x850	SU-M	850	700	300	1700	50	Betonrohr, unbewehrt
SU-M 1000x950	SU-M	950	800	400	2050	50	Betonrohr, unbewehrt
SU-M 1000x1100	SU-M	1100	900	500	2330	50	Betonrohr, unbewehrt
SU-M 1000x1200	SU-M	1200	1000	600	2550	50	Betonrohr, unbewehrt
SR-M 1000x250	SR-M	250	250		264	50	Betonrohr, unbewehrt
SR-M 1000x500	SR-M	500	500		528	50	Betonrohr, unbewehrt
SR-M 1000x750	SR-M	750	750		792	50	Betonrohr, unbewehrt
SR-M 1000x1000	SR-M	1000	1000		1056	50	Betonrohr, unbewehrt
SH-M 1000x625x300	SH-M	300	300		500	50	Betonrohr, unbewehrt
SH-M 1000x625x600	SH-M	600	600		600	50	Betonrohr, unbewehrt
Abdeckung 625 D 400	ABD	160	160		178	50	Abdeckung
Steigeisen	STEIG	20	0		3	50	Grauguss Bauteil

Erd- und Oberbau

Name	Kategorie				Gewicht	Transportentfernung	
					[kg/m3]	km	
Asphaltaußenbau					2400	50	Asphalttragschicht
Grabenaushub					1800		
Leitungszone					1800	30	Kies 2/32
Verfüllung					1800		
Verdrängter Boden	KIES				1800	30	
Asphalteinbau	ATS				2400	50	Asphalttragschicht

Baustoffe Rohrleitungsbau:

1 kg Faktor: 1

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	D
Betonrohr, unbewehrt	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	0,1322	0,0007	0,0028	0,0073	-0,0021
Betonrohr, unbewehrt	PERT	[MJ/kg]	0,1710	0,0006	0,0022	0,0132	-0,0078
Betonrohr, unbewehrt	PENRT	[MJ/kg]	0,6443	0,0097	0,0374	0,1218	-0,0274
Betonrohr, unbewehrt	PEGESAMT	[MJ/kg]	0,8153	0,0103	0,0396	0,1350	-0,0352

ÖKOBAUDAT: Betonrohr, unbewehrt

1 kg Faktor: 1

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	D
Betonrohr, bewehrt	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	0,1417	0,0007	0,0028	0,0072	-0,0020
Betonrohr, bewehrt	PERT	[MJ/kg]	0,2247	0,0006	0,0022	0,0129	-0,0077
Betonrohr, bewehrt	PENRT	[MJ/kg]	0,7828	0,0097	0,0374	0,1199	-0,0270
Betonrohr, bewehrt	PEGESAMT	[MJ/kg]	1,0074	0,0103	0,0396	0,1328	-0,0347

ÖKOBAUDAT: Betonrohr, bewehrt

1 kg Faktor: 1

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	D
Regenabflussrohr PVC	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	2,4283	0,0000	0,0026	3,0130	-0,6673
Regenabflussrohr PVC	PERT	[MJ/kg]	8,8131	0,0000	0,0020	1,8150	-2,7567
Regenabflussrohr PVC	PENRT	[MJ/kg]	54,7467	0,0000	0,0343	6,4058	-9,7812
Regenabflussrohr PVC	PEGESAMT	[MJ/kg]	63,5598	0,0000	0,0363	8,2208	-12,5379

ÖKOBAUDAT: Regenabflussrohr PVC

1 kg Faktor: 1

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	D
Abwasserrohr PE-HD	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	2,0980	0,0000	0,0026	3,4540	-1,7060
Abwasserrohr PE-HD	PERT	[MJ/kg]	5,6630	0,0000	0,0020	0,1145	-7,1380
Abwasserrohr PE-HD	PENRT	[MJ/kg]	78,4200	0,0000	0,0343	0,5568	-24,9600
Abwasserrohr PE-HD	PEGESAMT	[MJ/kg]	84,0830	0,0000	0,0363	0,6713	-32,0980

ÖKOBAUDAT: Abwasserrohr PE-HD *Muss händisch eingegeben werden

1 kg Faktor: 1

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	D
Polypropylen-Rohr (PP)	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	2,6198	#NV	0,0060	3,2233	-1,4655
Polypropylen-Rohr (PP)	PERT	[MJ/kg]	8,6520	#NV	0,0048	0,0948	-6,1305
Polypropylen-Rohr (PP)	PENRT	[MJ/kg]	83,6074	#NV	0,0821	0,4983	-21,4447
Polypropylen-Rohr (PP)	PEGESAMT	[MJ/kg]	92,2594	#NV	0,0869	0,5931	-27,5752

ÖKOBAUDAT: Polypropylen-Rohr (PP)

1 m Faktor: 0,007042254

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	D
Steinzeugrohre DN 400	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	0,3628	0,0008	0,0030	0,0079	-0,0021
Steinzeugrohre DN 400	PERT	[MJ/kg]	0,6994	0,0006	0,0024	0,0142	-0,0078
Steinzeugrohre DN 400	PENRT	[MJ/kg]	5,6651	0,0105	0,0406	0,1320	-0,0274
Steinzeugrohre DN 400	PEGESAMT	[MJ/kg]	6,3645	0,0112	0,0429	0,1462	-0,0352

ÖKOBAUDAT: Steinzeugrohre DN 400

1 kg Faktor: 1

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	D
Grauguss Bauteil	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	1,6354	0,0007	0,0028	0,0000	0,0953
Grauguss Bauteil	PERT	[MJ/kg]	3,7794	0,0006	0,0022	0,0000	-0,0822
Grauguss Bauteil	PENRT	[MJ/kg]	15,4792	0,0097	0,0374	0,0000	0,7207
Grauguss Bauteil	PEGESAMT	[MJ/kg]	19,2586	0,0103	0,0396	0,0000	0,6384

ÖKOBAUDAT: Grauguss Bauteil

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	D
Abdeckung	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	0,8838	0,0007	0,0028	0,0037	0,0466
Abdeckung	PERT	[MJ/kg]					
Abdeckung	PENRT	[MJ/kg]					
Abdeckung	PEGESAMT	[MJ/kg]	10,0369	0,0103	0,0396	0,0675	0,3016

EIGEN: **Abdeckung** Datensatz für Abdeckung je 50 % Betonrohr, unbewehrt und Grauguss Bauteil

1 kg Faktor: 1

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	D
Kies 2/32	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	0,0029	0,0007	0,0026	0,0067	-0,0021
Kies 2/32	PERT	[MJ/kg]	0,0121	0,0005	0,0020	0,0121	-0,0078
Kies 2/32	PENRT	[MJ/kg]	0,0381	0,0089	0,0343	0,1117	-0,0274
Kies 2/32	PEGESAMT	[MJ/kg]	0,0502	0,0094	0,0363	0,1237	-0,0352

ÖKOBAUDAT: **Kies 2/32**

1 kg Faktor: 1

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C1	C2	C3	D
Asphalttragschicht	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	0,0712	0,0005	0,0070	0,0000	-0,0263
Asphalttragschicht	PERT	[MJ/kg]	0,0838	0,0024	0,0054	0,0000	-0,0511
Asphalttragschicht	PENRT	[MJ/kg]	2,9282	0,0439	0,0935	0,0000	-1,9473
Asphalttragschicht	PEGESAMT	[MJ/kg]	3,0119	0,0463	0,0990	0,0000	-1,9984

ÖKOBAUDAT: **Asphalttragschicht**

Ökodaten für Errichtungsphase:

1000 kgkm Faktor: 0,001

Name	Indikator	Einheit	A4				
LKW	GWP	[kg CO2 Eq./kgkm]	0,0001				
LKW	PERT	[MJ/kgkm]	0,0000				
LKW	PENRT	[MJ/kgkm]	0,0012				
LKW	PEGESAMT	[MJ/kgkm]	0,0012				

ÖKOBAUDAT: **LKW**

1 m3 Faktor: 3,235198965

Name	Indikator	Einheit	A5				
Bagger 100 kW Aushub	GWP	[kg CO2 Eq./kgDiesel]	4,1863				
Bagger 100 kW Aushub	PERT	[MJ/kgDiesel]	0,0000				
Bagger 100 kW Aushub	PENRT	[MJ/kgDiesel]	56,6626				
Bagger 100 kW Aushub	PEGESAMT	[MJ/kgDiesel]	56,6626				

ÖKOBAUDAT: **Bagger 100 kW Aushub**

Rohrleitungen:

Bauteil	Leistung	Quelle	Zeitaufwand [h/m]	Baugerät	Dieserverbrauch [kg/m]
Betonrohr B 250 K	Betonrohr verlegen DN 250		0,4	65 KW Bagger	3,12
Betonrohr B 300 K	Betonrohr verlegen DN 300		0,4	65 KW Bagger	3,12
Betonrohr B 400 K	Betonrohr verlegen DN 400		0,5	65 KW Bagger	3,90
Betonrohr B 500 K	Betonrohr verlegen DN 500		0,6	65 KW Bagger	4,68
Betonrohr B 600 K	Betonrohr verlegen DN 600		0,8	65 KW Bagger	6,24
Stb-Rohr Stb 300 K	Stb-Rohr verlegen DN 300		0,4	65 KW Bagger	3,12
Stb-Rohr Stb 400 K	Stb-Rohr verlegen DN 400		0,5	65 KW Bagger	3,90
Stb-Rohr Stb 500 K	Stb-Rohr verlegen DN 500		0,6	65 KW Bagger	4,68
Stb-Rohr Stb 600 K	Stb-Rohr verlegen DN 600		0,7	65 KW Bagger	5,46
PVC-U DN 250 SN 12	Kunststoffrohr verlegen DN 250		0,3	65 KW Bagger	2,34
PVC-U DN 315 SN 8	Kunststoffrohr verlegen DN 300		0,3	65 KW Bagger	2,34
PVC-U DN 400 SN 8	Kunststoffrohr verlegen DN 400		0,4	65 KW Bagger	3,12
PVC-U DN 500 SN 8	Kunststoffrohr verlegen DN 500		0,5	65 KW Bagger	3,90
PVC-U DN 630 SN 8	Kunststoffrohr verlegen DN 600		0,5	65 KW Bagger	3,90
PE 100 DN 250 SN 8	Kunststoffrohr verlegen DN 250		0,3	65 KW Bagger	2,34
PE 100 DN 315 SN 8	Kunststoffrohr verlegen DN 300		0,3	65 KW Bagger	2,34
PE 100 DN 400 SN 8	Kunststoffrohr verlegen DN 400		0,4	65 KW Bagger	3,12
PE 100 DN 500 SN 8	Kunststoffrohr verlegen DN 500		0,5	65 KW Bagger	3,90
PE 100 DN 630 SN 8	Kunststoffrohr verlegen DN 600		0,5	65 KW Bagger	3,90
PP DN 250 SN 10	Kunststoffrohr verlegen DN 250		0,3	65 KW Bagger	2,34
PP DN 315 SN 10	Kunststoffrohr verlegen DN 300		0,3	65 KW Bagger	2,34
PP DN 400 SN 10	Kunststoffrohr verlegen DN 400		0,4	65 KW Bagger	3,12
PP DN 500 SN 10	Kunststoffrohr verlegen DN 500		0,5	65 KW Bagger	3,90
PP DN 630 SN 10	Kunststoffrohr verlegen DN 600		0,5	65 KW Bagger	3,90
Stz DN 250 K	Steinzeugrohr verlegen DN 250		0,45	65 KW Bagger	3,51
Stz DN 300 K	Steinzeugrohr verlegen DN 300		0,5	65 KW Bagger	3,90
Stz DN 400 K	Steinzeugrohr verlegen DN 400		0,6	65 KW Bagger	4,68
Stz DN 500 K	Steinzeugrohr verlegen DN 500		0,7	65 KW Bagger	5,46
Stz DN 600 K	Steinzeugrohr verlegen DN 600		0,8	65 KW Bagger	6,24

Schächte:

Bauteil	Leistung	Quelle	Zeitaufwand [h/St]	Baugerät	Dieserverbrauch [kg/St]
SU-M 1000x800	SU-M 800 herstellen		2,1	65 KW Bagger	16,38
SU-M 1000x850	SU-M 850 herstellen		2,2	65 KW Bagger	17,16
SU-M 1000x950	SU-M 950 herstellen		2,3	65 KW Bagger	17,94
SU-M 1000x1100	SU-M 1100 herstellen		2,4	65 KW Bagger	18,72
SU-M 1000x1200	SU-M 1100 herstellen		2,5	65 KW Bagger	19,50
SR-M 1000x250	SR-M 250 herstellen		1,1	65 KW Bagger	8,58
SR-M 1000x500	SR-M 500 herstellen		1,2	65 KW Bagger	9,36
SR-M 1000x750	SR-M 750 herstellen		1,3	65 KW Bagger	10,14
SR-M 1000x1000	SR-M 1000 herstellen		1,4	65 KW Bagger	10,92
SH-M 1000x625x300	SH-M 300 herstellen		1,8	65 KW Bagger	14,04
SH-M 1000x625x600	SH-M 600 herstellen		1,9	65 KW Bagger	14,82
SH-M 1000x625x850	SH-M 850 herstellen		2	65 KW Bagger	15,60
Abdeckung 625 D 400 kein Datensatz!	Abdeckung Kl. D 400 herstellen		1	65 KW Bagger	7,80

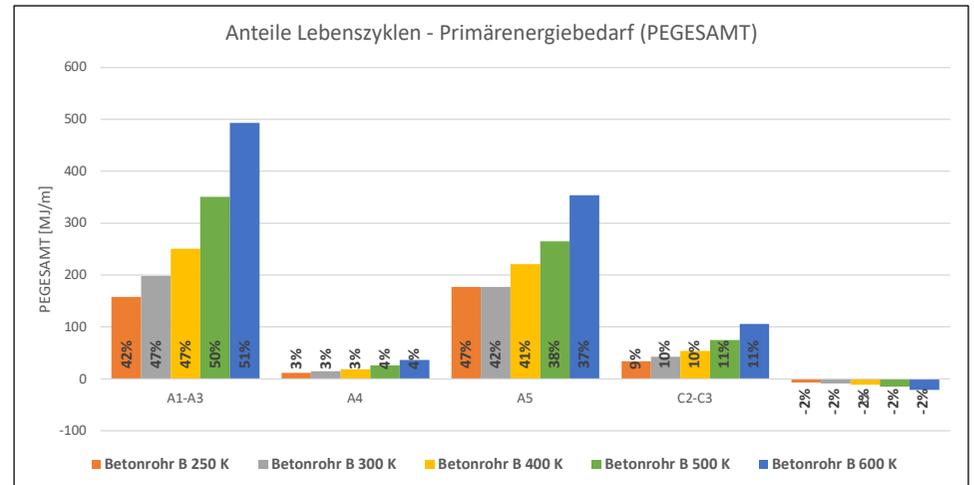
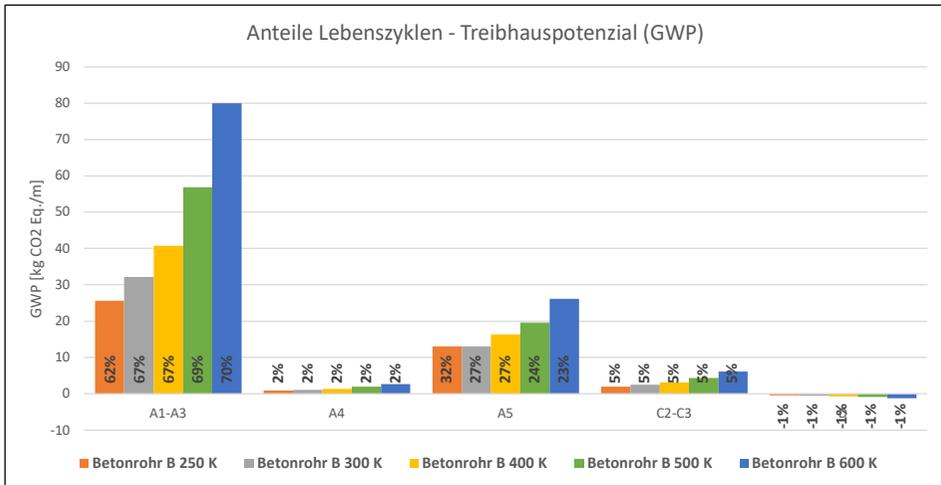
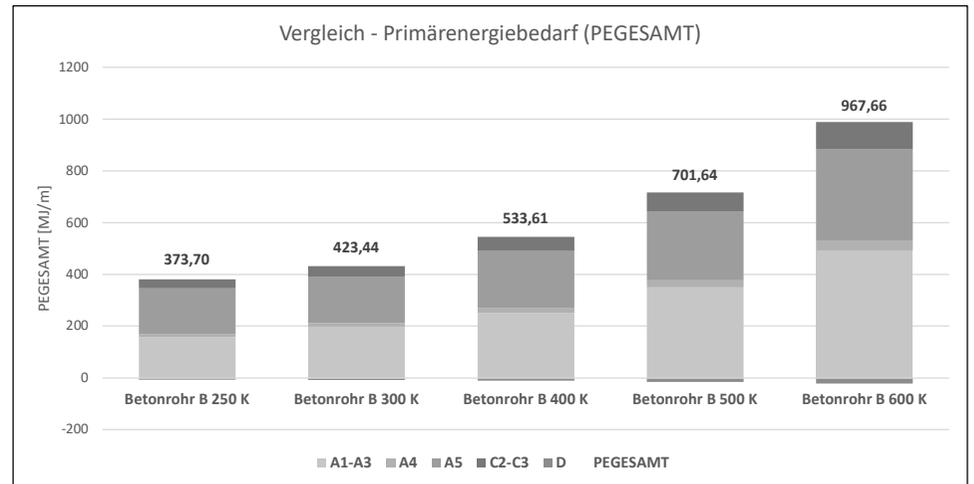
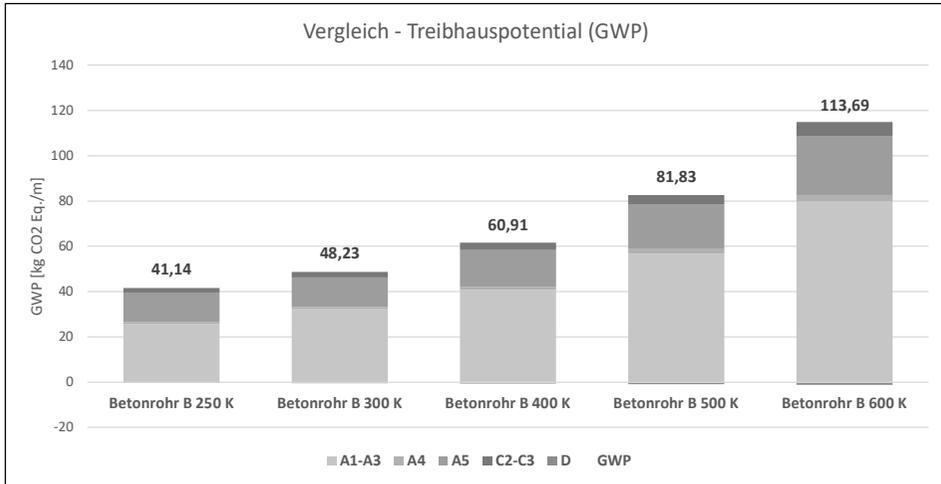
Erdbau

Baustoff	Leistung	Quelle	Zeitaufwand [h/m3]	Baugerät	Dieserverbrauch [kg/m3]
Grabenaushub	Grabenaushub	siehe Berechnung	0,07	65 KW Bagger	0,55
Leitungszone	Leitungszone	siehe Berechnung	1	65 KW Bagger	7,80
Verfüllung	Verfüllung	siehe Berechnung	0,17	65 KW Bagger	1,33
Verdrängter Boden	Verdrängter Boden	siehe Berechnung	0,07	65 KW Bagger	0,55

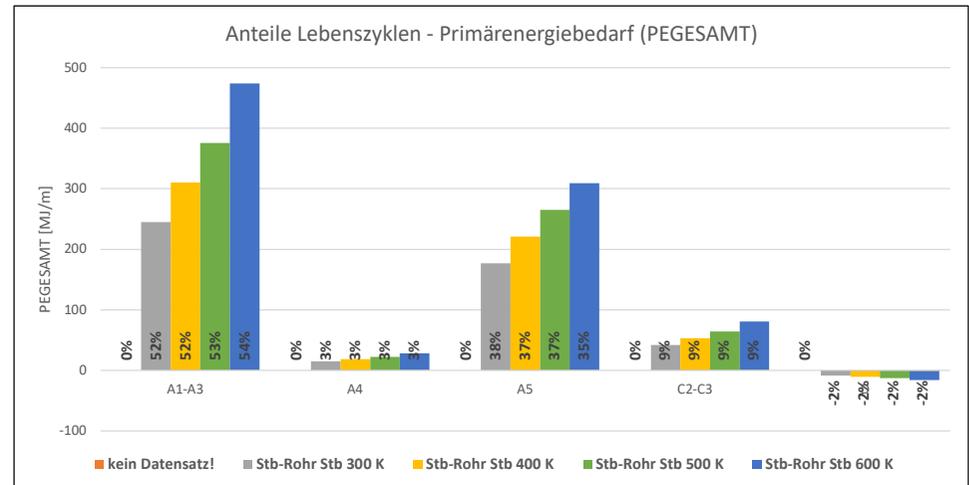
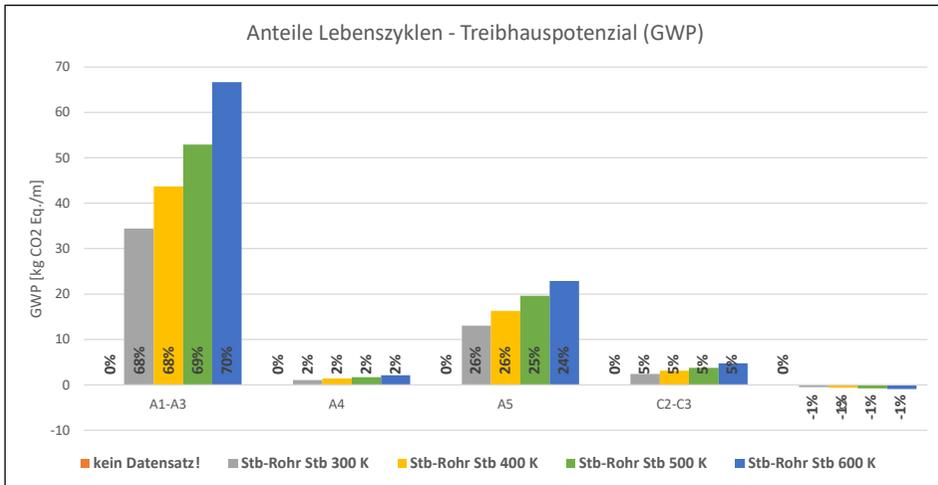
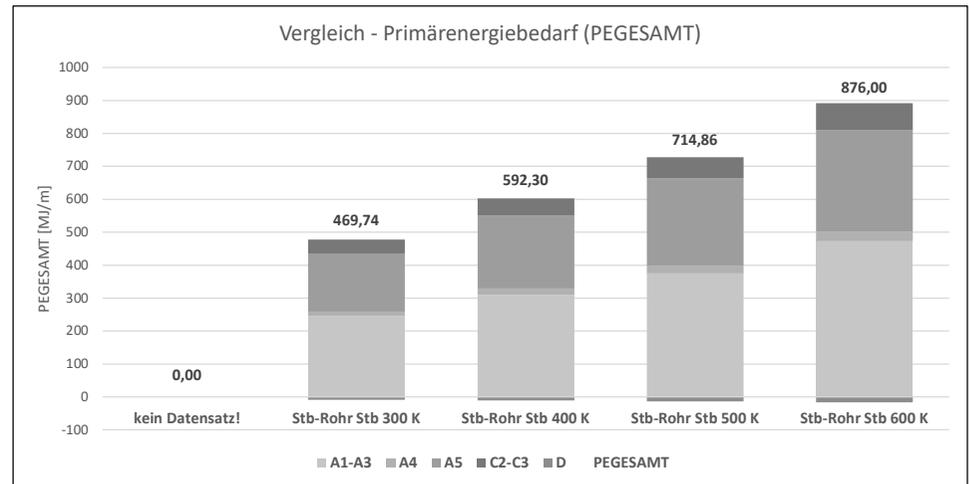
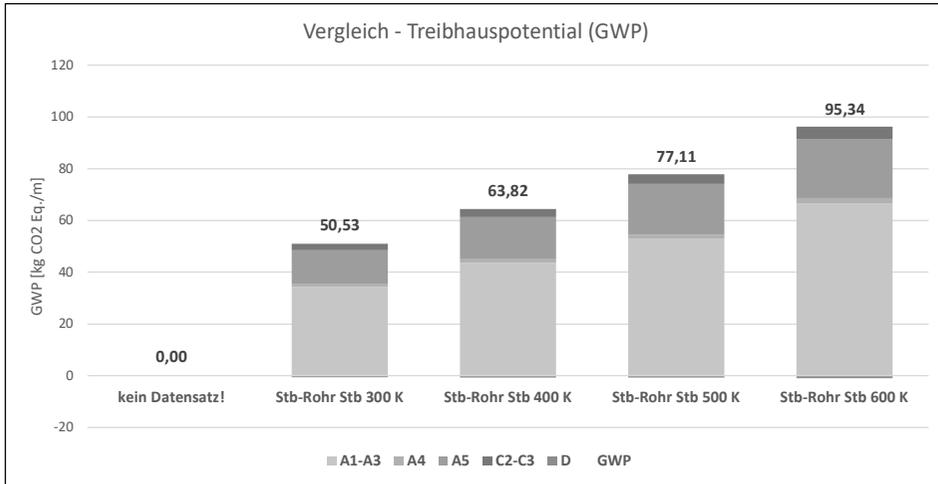
Asphalt

Baustoff	Leistung	Quelle	Zeitaufwand [h/m3]	Baugerät	Dieserverbrauch [kg/m3]
Asphaltausbau	Asphaltausbau	siehe Berechnung	0,25	65 KW Fräse	1,95
Asphalteinbau	Asphalteinbau	siehe Berechnung	0,2	65 KW Bagger	1,56

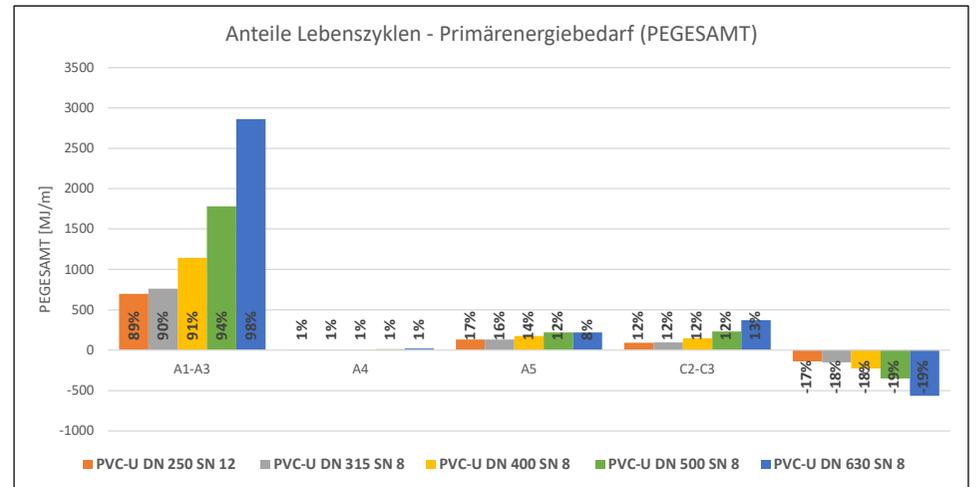
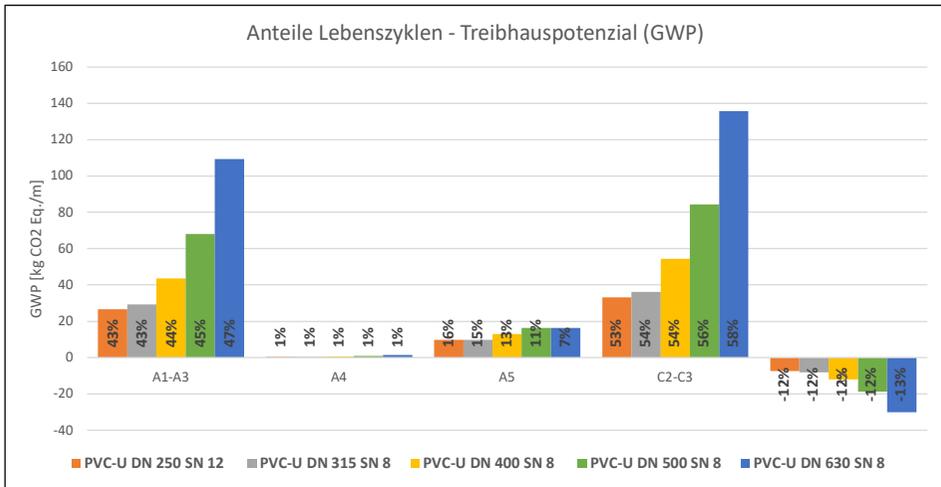
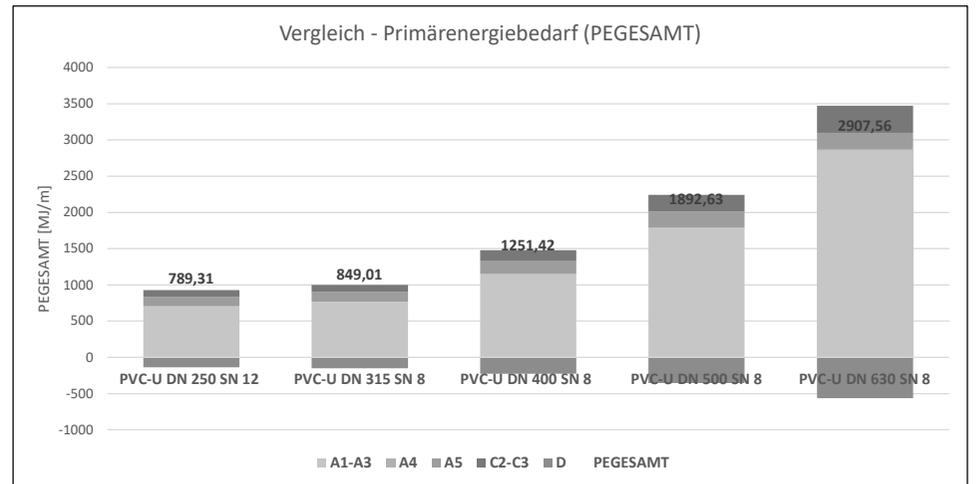
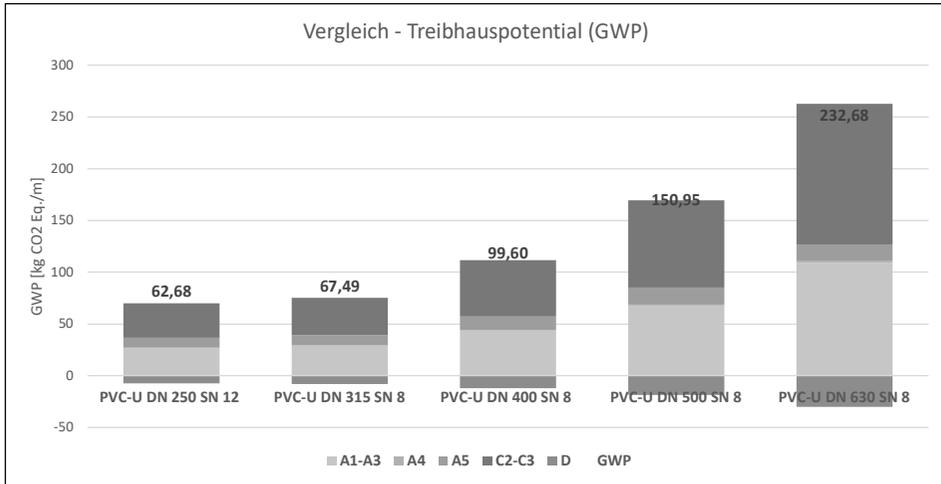
Bauteildaten											Wirkungskategorien								
	ID	d	OD	Gewicht	A4	A5	A5	Wirkungskategorien											
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	Transport	Zeitaufwand	Dieselverbrauch	GWP	in [kg CO2 Eq./m]						PEGESAMT	in [MJ/m]			
								A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt
Betonrohr B 250 K	250	70	390	194	50	0,40	3,12	25,65	0,87	13,06	1,96	-0,40	41,14	158,16	11,72	176,79	33,87	-6,83	373,70
Betonrohr B 300 K	300	75	450	243	50	0,40	3,12	32,12	1,09	13,06	2,46	-0,50	48,23	198,11	14,67	176,79	42,43	-8,56	423,44
Betonrohr B 400 K	400	75	550	308	50	0,50	3,90	40,71	1,38	16,33	3,12	-0,63	60,91	251,10	18,60	220,98	53,78	-10,85	533,61
Betonrohr B 500 K	500	85	670	430	50	0,60	4,68	56,84	1,93	19,59	4,35	-0,88	81,83	350,56	25,97	265,18	75,08	-15,15	701,64
Betonrohr B 600 K	600	100	800	605	50	0,80	6,24	79,98	2,71	26,12	6,12	-1,24	113,69	493,23	36,54	353,57	105,63	-21,31	967,66



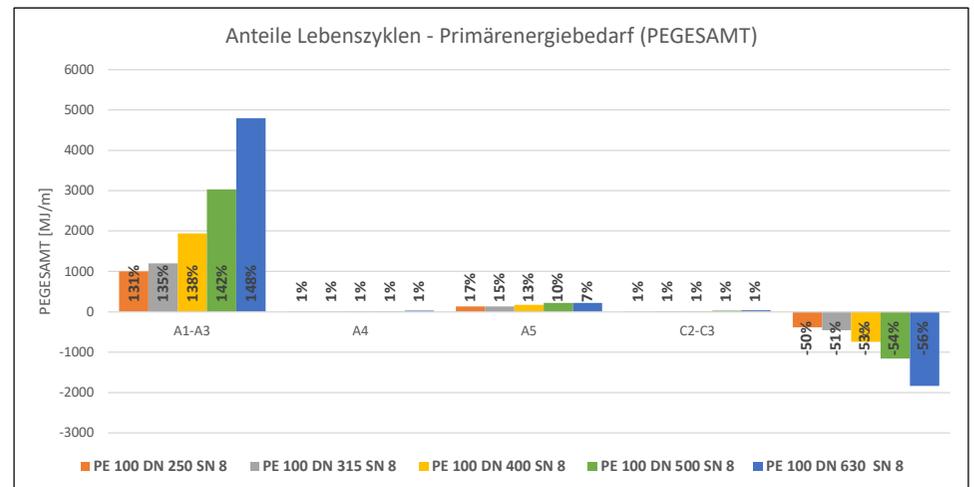
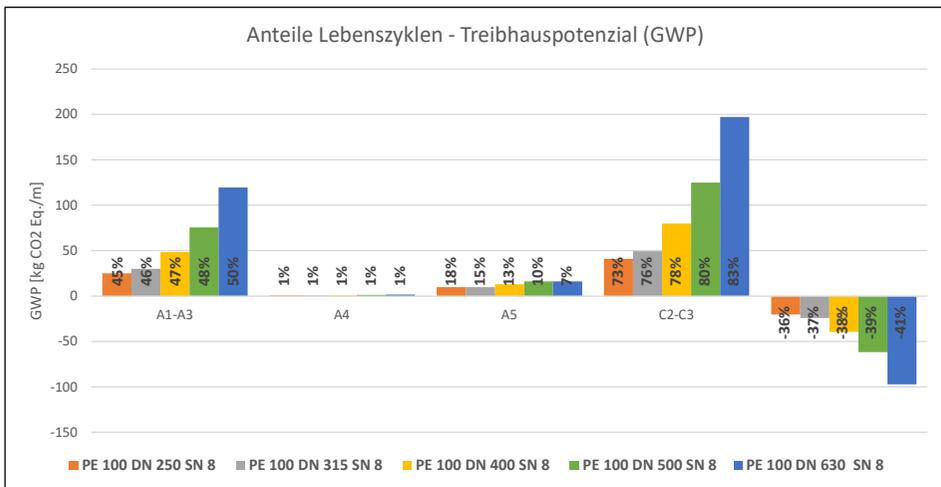
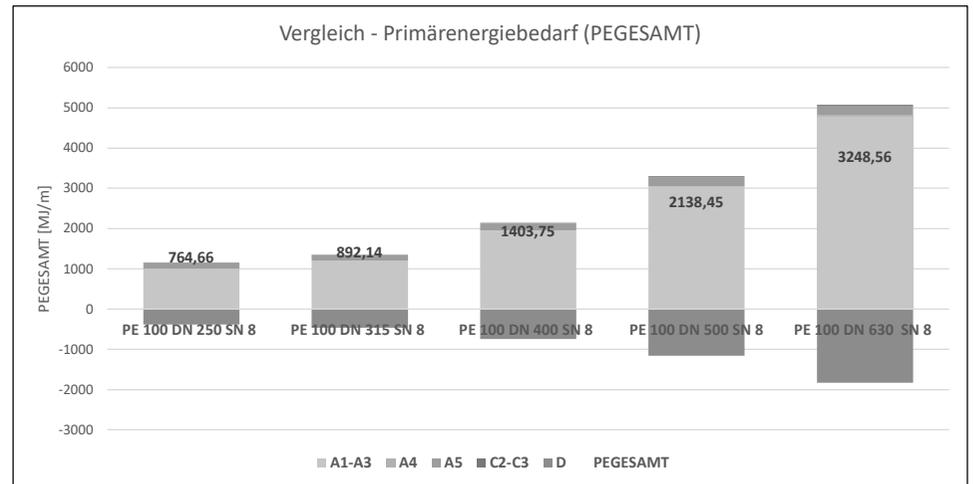
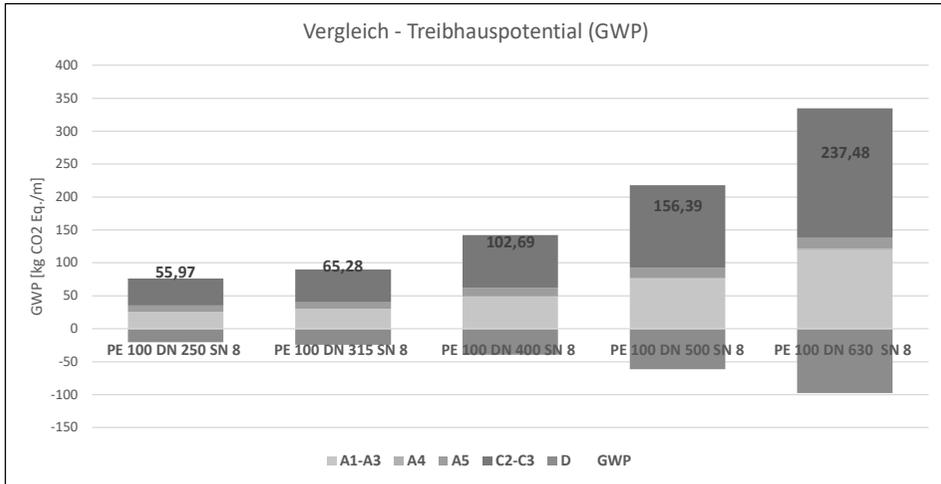
Bauteildaten									Wirkungskategorien											
	Name	ID	d	OD	Gewicht	Transport	Zeitaufwand	Dieserverbrauch	GWP						PEGESAMT					
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[km]	[h/m]	[kg/m]	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	
kein Datensatz!	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stb-Rohr Stb 300 K	300	75	450	243	50	0,40	3,12	34,44	1,09	13,06	2,43	-0,49	50,53	244,80	14,67	176,79	41,90	-8,42	469,74	
Stb-Rohr Stb 400 K	400	75	550	308	50	0,50	3,90	43,66	1,38	16,33	3,08	-0,62	63,82	310,28	18,60	220,98	53,11	-10,68	592,30	
Stb-Rohr Stb 500 K	500	75	650	373	50	0,60	4,68	52,87	1,67	19,59	3,73	-0,75	77,11	375,77	22,53	265,18	64,31	-12,93	714,86	
Stb-Rohr Stb 600 K	600	80	760	470	50	0,70	5,46	66,62	2,11	22,86	4,70	-0,95	95,34	473,49	28,38	309,38	81,04	-16,29	876,00	



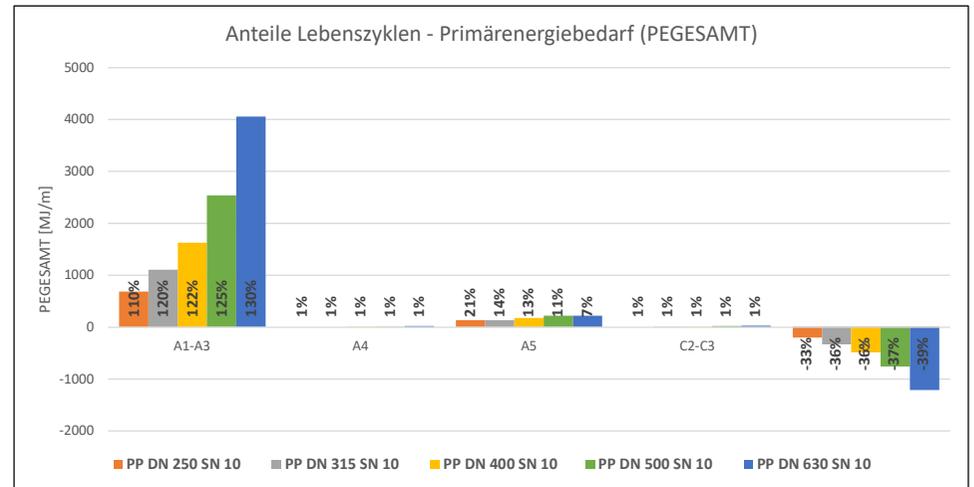
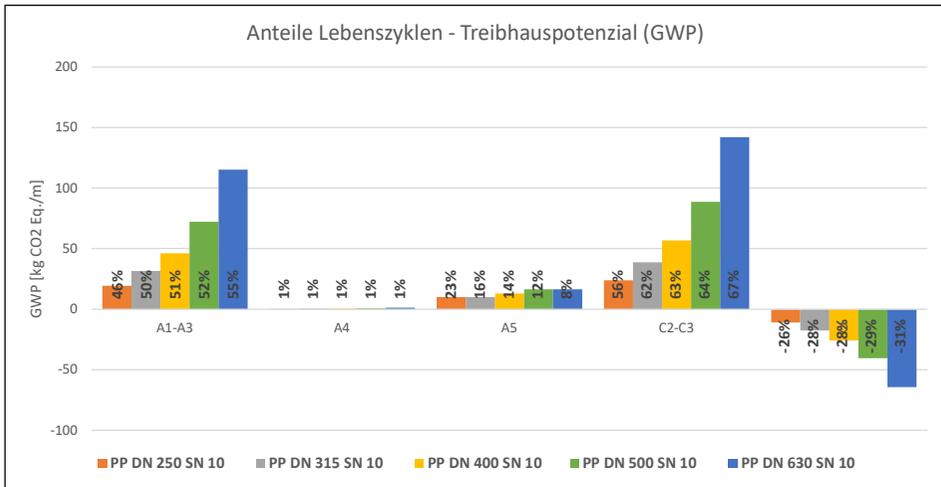
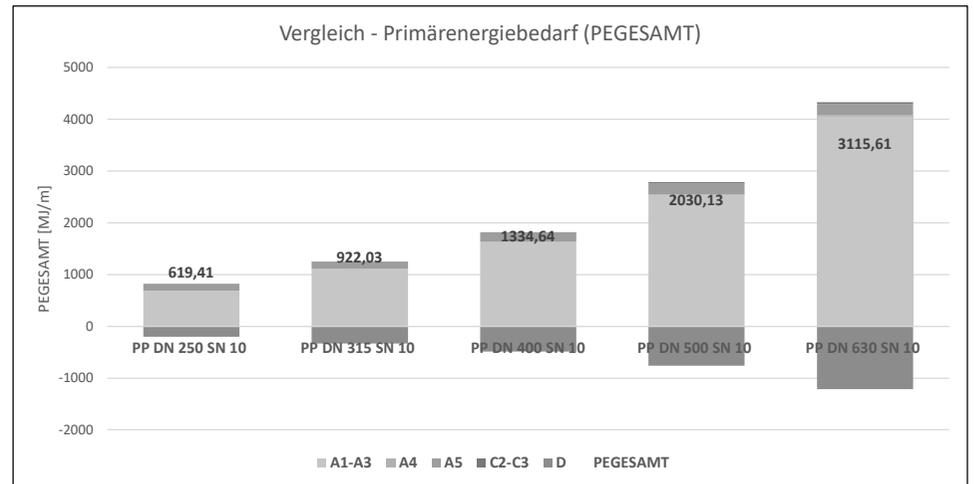
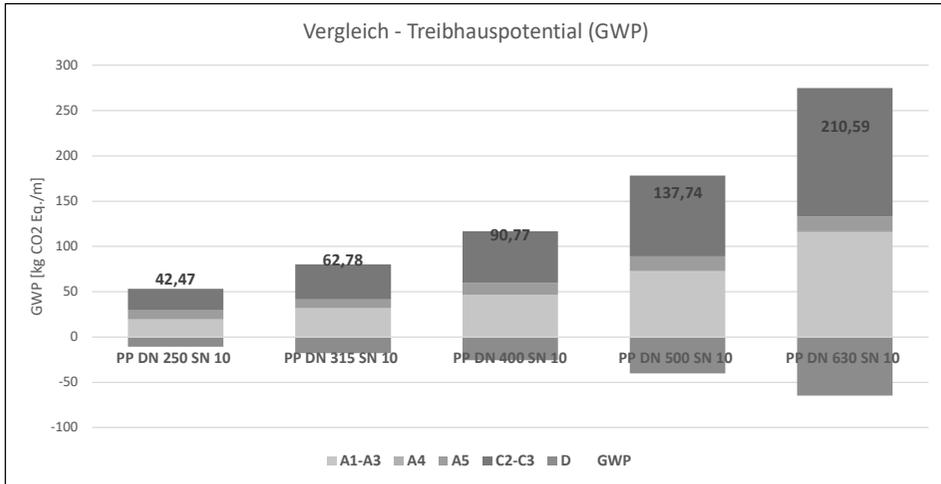
Bauteildaten									Wirkungskategorien												
	ID	d	OD	Gewicht	A4	A5	A5		GWP	in [kg CO2 Eq./m]					PEGESAMT	in [MJ/m]					
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[km]	[h/m]	[kg/m]		A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	
PVC-U DN 250 SN 12	232	9	250	11	350	0,30	2,34		26,71	0,35	9,80	33,17	-7,34	62,68	699,16	4,65	132,59	90,83		-137,92	789,31
PVC-U DN 315 SN 8	297	9,2	315,4	12	350	0,30	2,34		29,14	0,38	9,80	36,19	-8,01	67,49	762,72	5,07	132,59	99,09		-150,45	849,01
PVC-U DN 400 SN 8	377	11,7	400,4	18	350	0,40	3,12		43,71	0,57	13,06	54,28	-12,01	99,60	1144,08	7,61	176,79	148,63		-225,68	1251,42
PVC-U DN 500 SN 8	470	14,6	499,2	28	350	0,50	3,90		67,99	0,88	16,33	84,43	-18,68	150,95	1779,67	11,84	220,98	231,20		-351,06	1892,63
PVC-U DN 630 SN 8	593	18,4	629,8	45	350	0,50	3,90		109,27	1,41	16,33	135,70	-30,03	232,68	2860,19	19,02	220,98	371,57		-564,20	2907,56



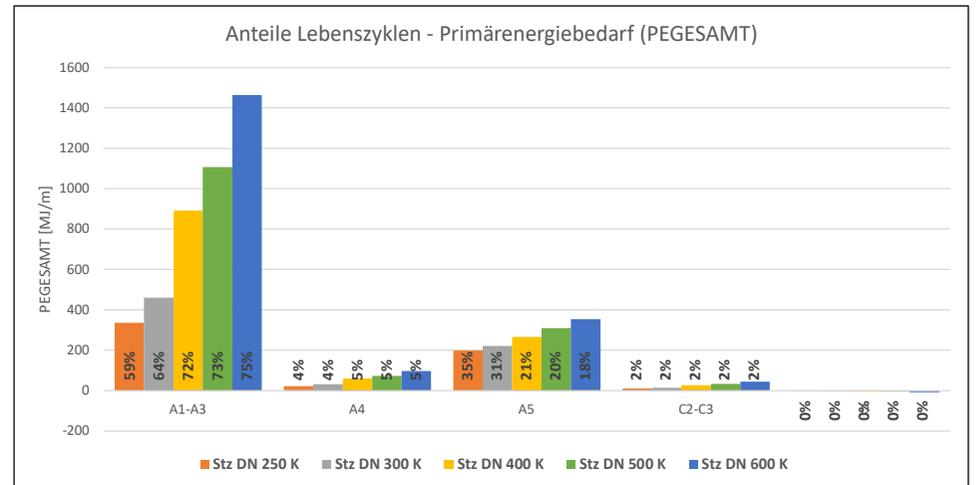
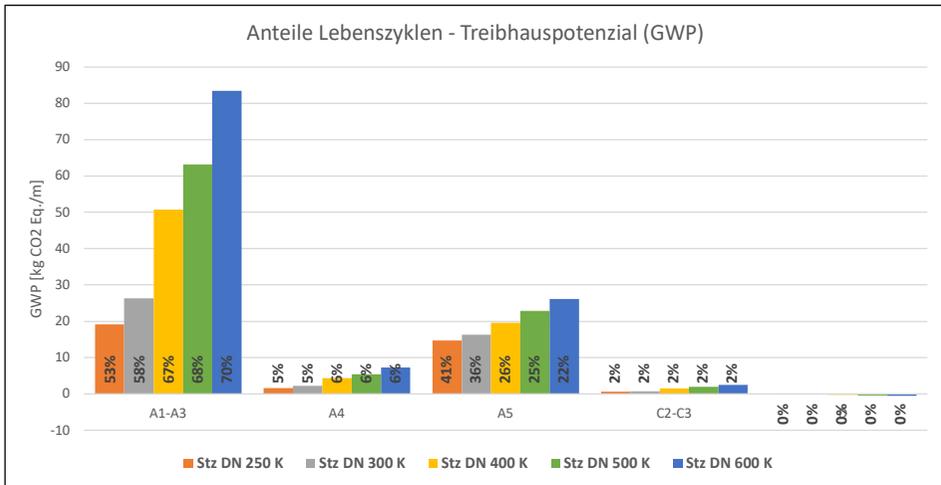
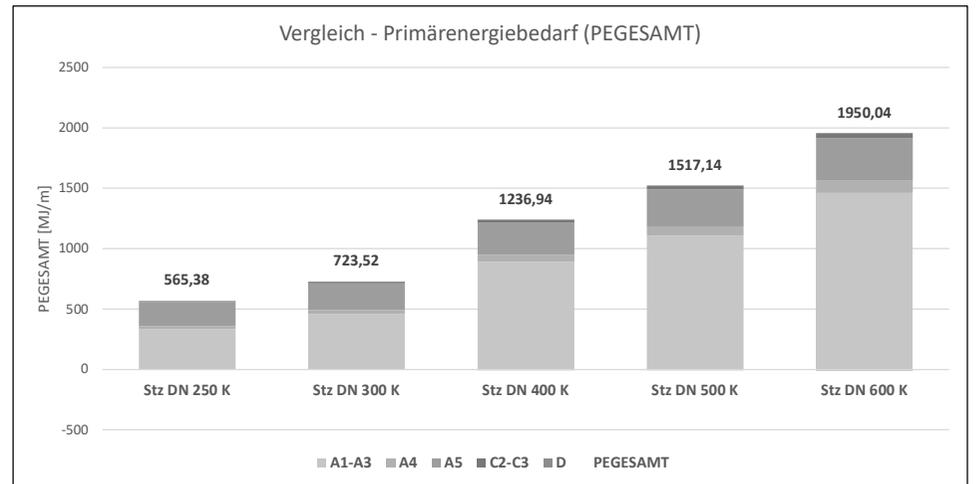
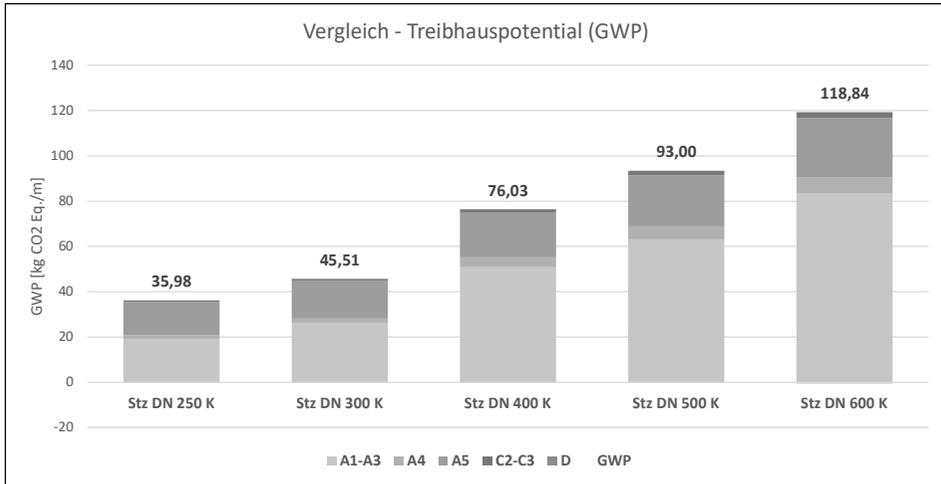
Bauteildaten									Wirkungskategorien											
	Name	ID	d	OD	Gewicht	Transport	Zeitaufwand	Dieserverbrauch	GWP						PEGESAMT					
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[km]	[h/m]	[kg/m]	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	
PE 100 DN 250 SN 8	226,2	11,9	250	11,9	350	0,30	2,34	24,97	0,37	9,80	41,13	-20,30	55,97	1000,59	5,03	132,59	8,42	-381,97	764,66	
PE 100 DN 315 SN 8	285	15	315	14,3	350	0,30	2,34	30,00	0,45	9,80	49,43	-24,40	65,28	1202,39	6,05	132,59	10,12	-459,00	892,14	
PE 100 DN 400 SN 8	361,8	19,1	400	23,1	350	0,40	3,12	48,46	0,73	13,06	79,85	-39,41	102,69	1942,32	9,77	176,79	16,35	-741,46	1403,75	
PE 100 DN 500 SN 8	452,2	23,9	500	36,1	350	0,50	3,90	75,74	1,13	16,33	124,78	-61,59	156,39	3035,40	15,26	220,98	25,54	-1158,74	2138,45	
PE 100 DN 630 SN 8	570	30	630	57	350	0,50	3,90	119,59	1,79	16,33	197,02	-97,24	237,48	4792,73	24,10	220,98	40,33	-1829,59	3248,56	



Bauteildaten									Wirkungskategorien											
Name	ID	d	OD	Gewicht	Transport	Zeitaufwand	Dieserverbrauch		GWP					PEGESAMT					in [MJ/m]	
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[km]	[h/m]	[kg/m]		A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt
PP DN 250 SN 10	232,8	8,6	250	7,4	350	0,30	2,34		19,39	0,23	9,80	23,90	-10,84	42,47	682,72	3,13	132,59	5,03	-204,06	619,41
PP DN 315 SN 10	293,4	10,8	315	12	350	0,30	2,34		31,44	0,38	9,80	38,75	-17,59	62,78	1107,11	5,07	132,59	8,16	-330,90	922,03
PP DN 400 SN 10	372,6	13,7	400	17,6	350	0,40	3,12		46,11	0,55	13,06	56,84	-25,79	90,77	1623,77	7,44	176,79	11,97	-485,32	1334,64
PP DN 500 SN 10	465,8	17,1	500	27,5	350	0,50	3,90		72,05	0,86	16,33	88,81	-40,30	137,74	2537,13	11,63	220,98	18,70	-758,32	2030,13
PP DN 630 SN 10	586,8	21,6	630	44	350	0,50	3,90		115,27	1,38	16,33	142,09	-64,48	210,59	4059,41	18,60	220,98	29,92	-1213,31	3115,61

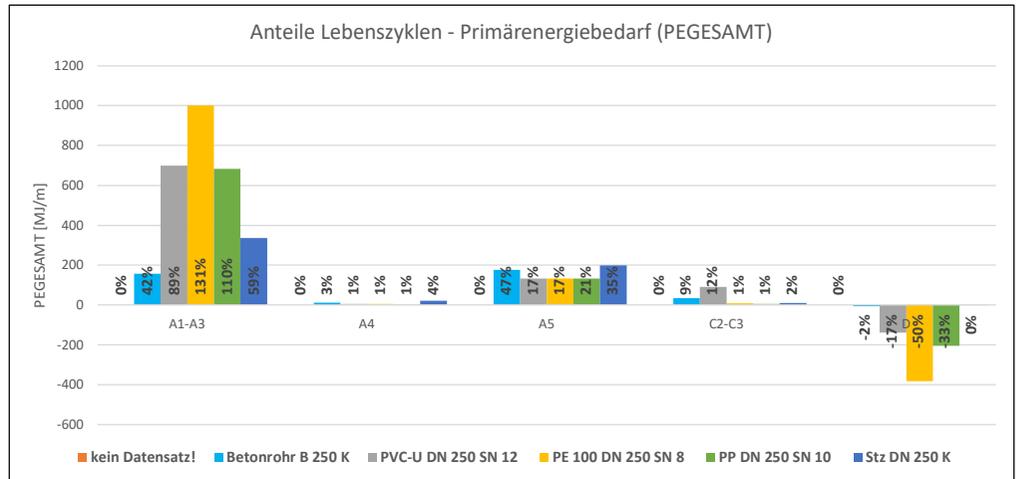
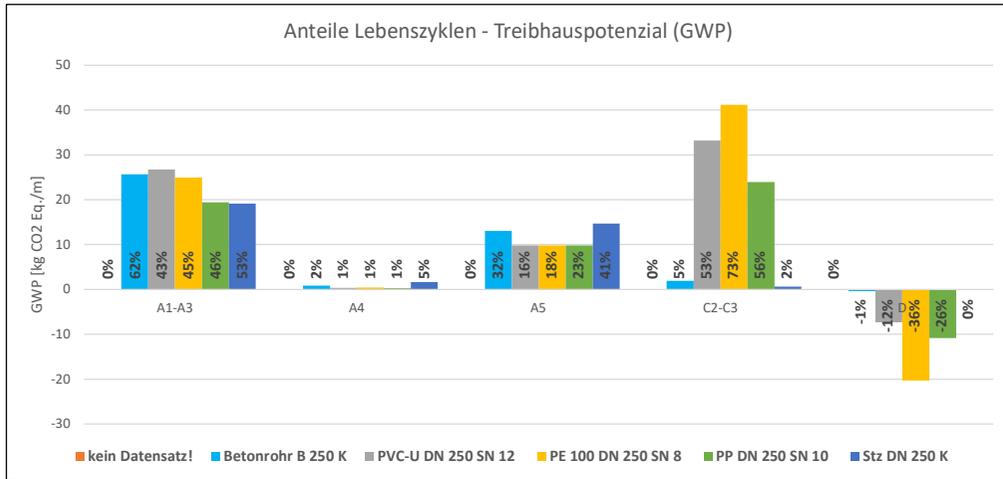
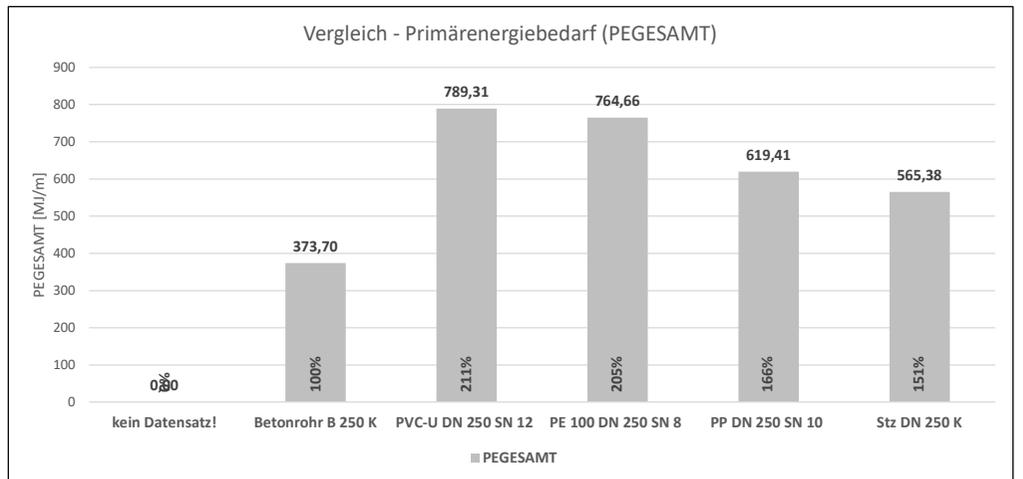
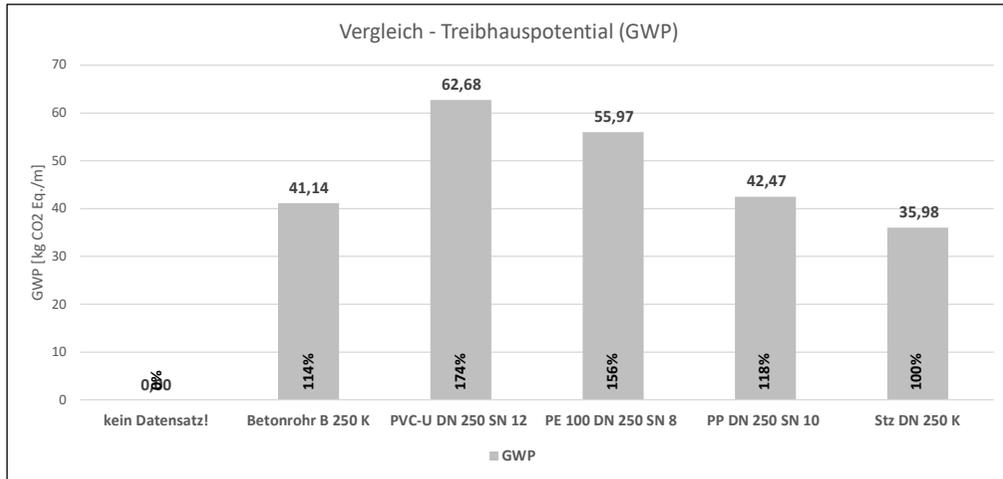


Bauteildaten									Wirkungskategorien							PEGESAMT				
Name	ID	d	OD	Gewicht	Transport	Zeitaufwand	Dieserverbrauch	in [kg CO2 Eq./m]							in [MJ/m]					
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[km]	[h/m]	[kg/m]	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	
Stz DN 250 K	250	24,5	299	52,8	350	0,45	3,51	19,16	1,66	14,69	0,58	-0,11	35,98	336,05	22,32	198,89	9,99	-1,86	565,38	
Stz DN 300 K	300	27,5	355	72,4	350	0,50	3,90	26,27	2,27	16,33	0,79	-0,15	45,51	460,79	30,61	220,98	13,69	-2,55	723,52	
Stz DN 400 K	398	44	486	140	350	0,60	4,68	50,79	4,39	19,59	1,54	-0,29	76,03	891,03	59,18	265,18	26,48	-4,93	1236,94	
Stz DN 500 K	496	42,5	581	174	350	0,70	5,46	63,13	5,46	22,86	1,91	-0,36	93,00	1107,42	73,56	309,38	32,91	-6,13	1517,14	
Stz DN 600 K	597	45	687	230	350	0,80	6,24	83,45	7,22	26,12	2,52	-0,47	118,84	1463,83	97,23	353,57	43,50	-8,10	1950,04	

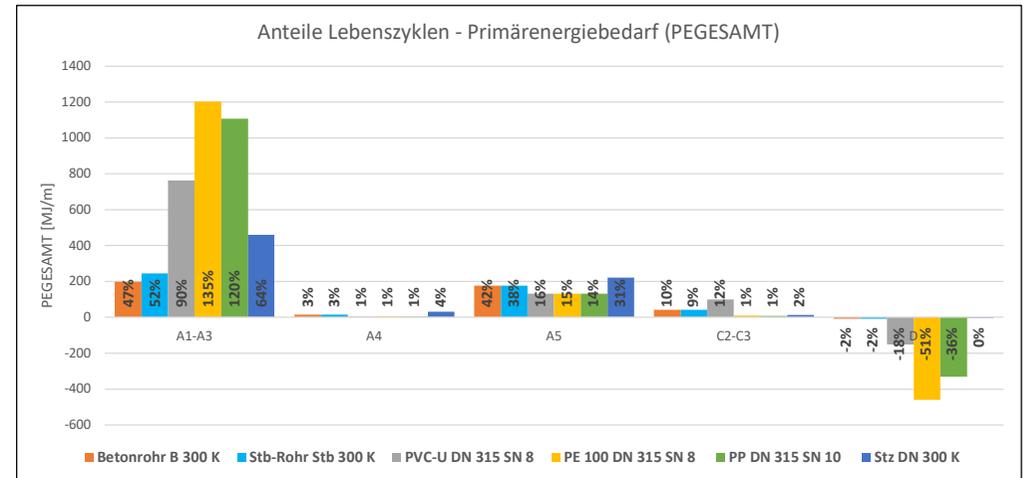
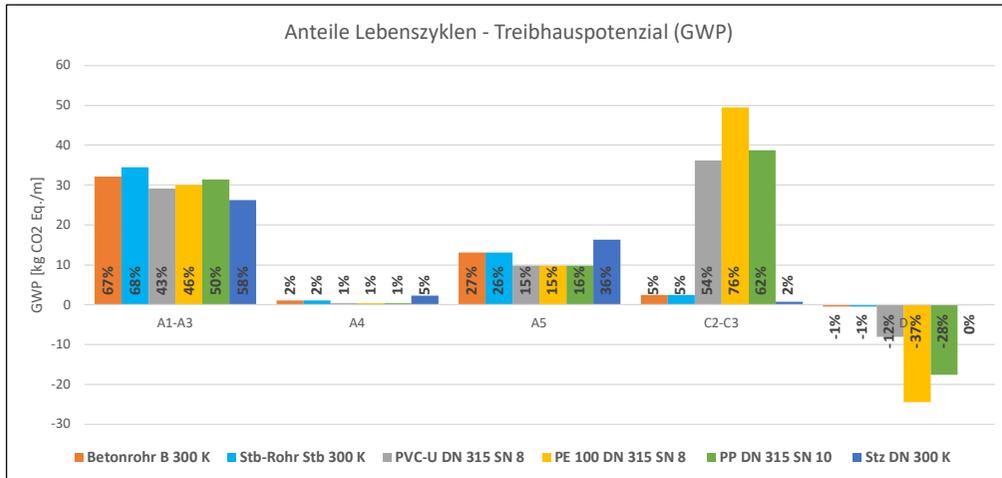
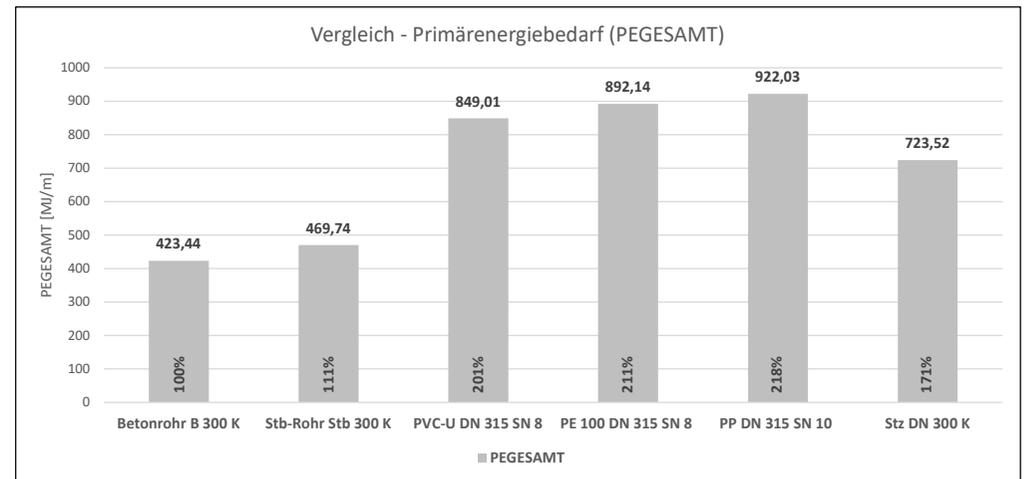
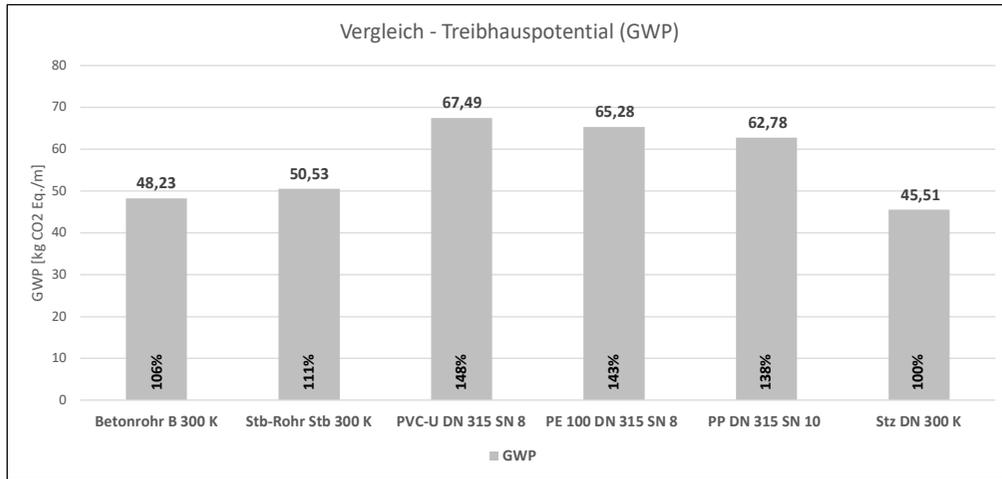


Vergleichende Bilanzierung - Bauteile - DN 250

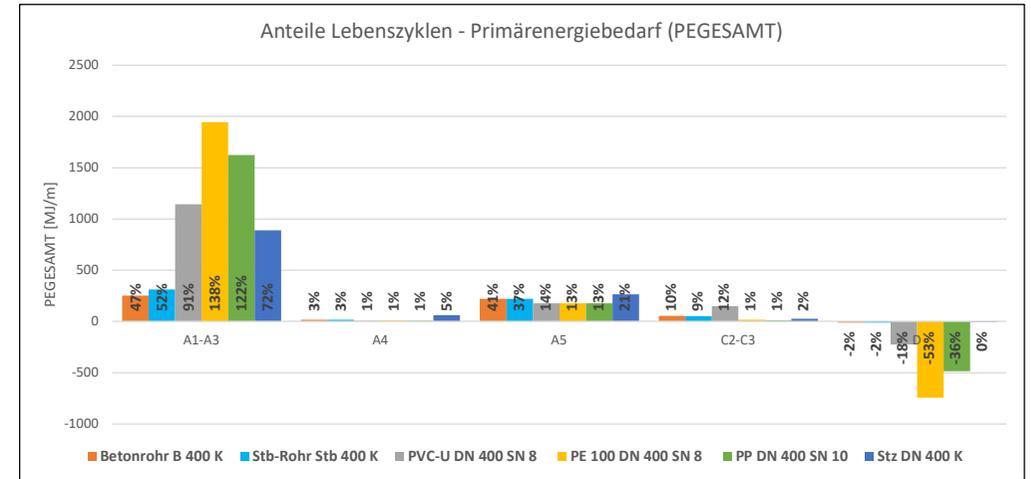
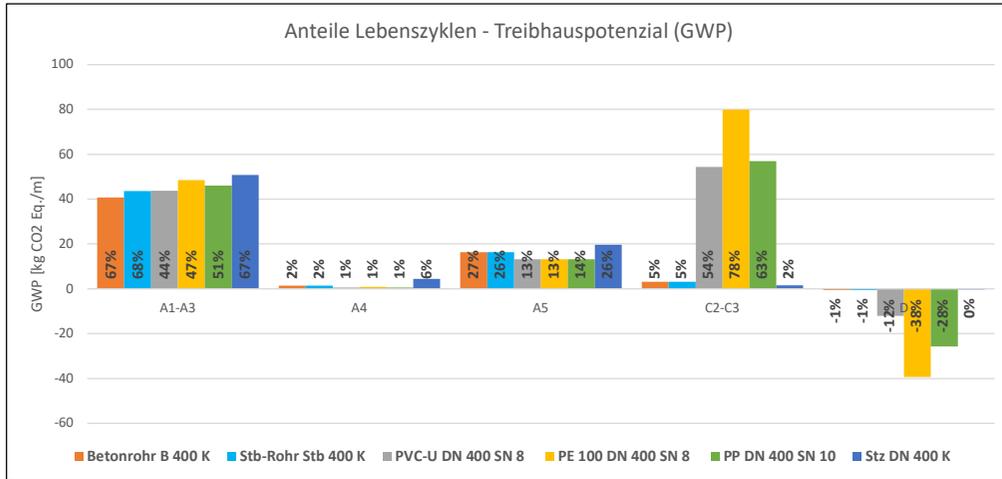
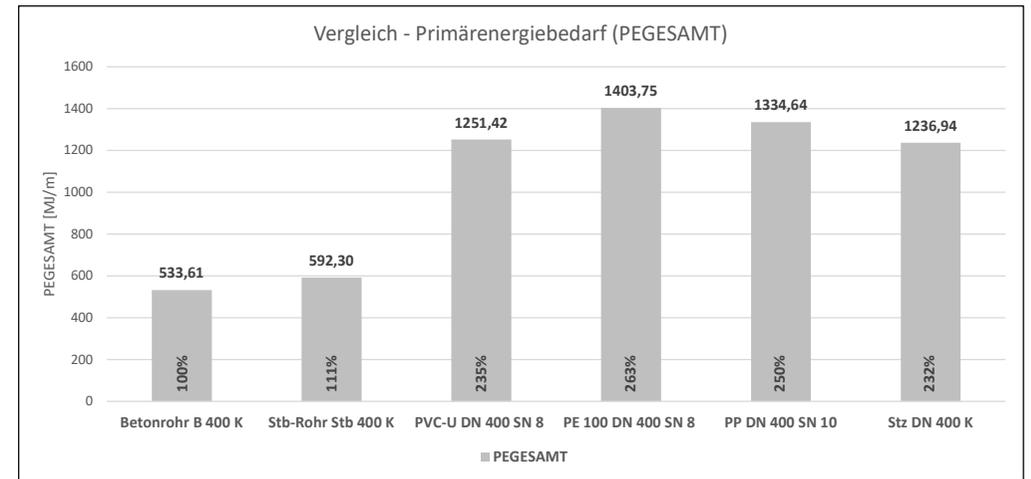
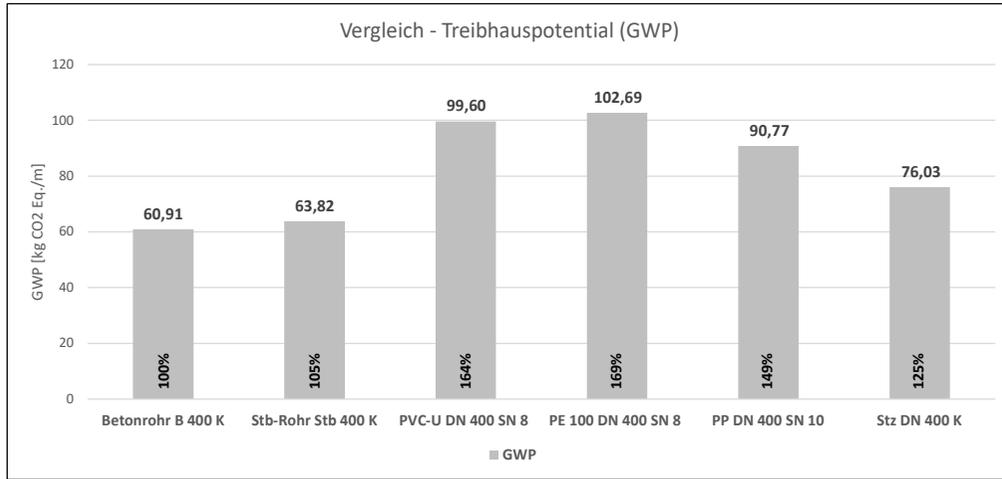
Bauteilidaten								Wirkungskategorien																			
Name	ID	d	OD	Gewicht	Transport	Zeitaufwand	Dieselvebrauch	GWP		in [kg CO2 Eq./m]						PEGESAMT		in [MJ/m]									
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[km]	[h/m]	[kg/m]	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%						
kein Datensatz!	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%						
Betonrohr B 250 K	250	70	390	194	50	0,40	3,12	25,65	0,87	13,06	1,96	-0,40	41,14	114%	158,16	11,72	176,79	33,87	-6,83	373,70	100%						
PVC-U DN 250 SN 12	232	9	250	11	350	0,30	2,34	26,71	0,35	9,80	33,17	-7,34	62,68	174%	699,16	4,65	132,59	90,83	-137,92	789,31	211%						
PE 100 DN 250 SN 8	226,2	11,9	250	11,9	350	0,30	2,34	24,97	0,37	9,80	41,13	-20,30	55,97	156%	1000,59	5,03	132,59	8,42	-381,97	764,66	205%						
PP DN 250 SN 10	232,8	8,6	250	7,4	350	0,30	2,34	19,39	0,23	9,80	23,90	-10,84	42,47	118%	682,72	3,13	132,59	5,03	-204,06	619,41	166%						
Stz DN 250 K	250	24,5	299	52,8	350	0,45	3,51	19,16	1,66	14,69	0,58	-0,11	35,98	100%	336,05	22,32	198,89	9,99	-1,86	565,38	151%						



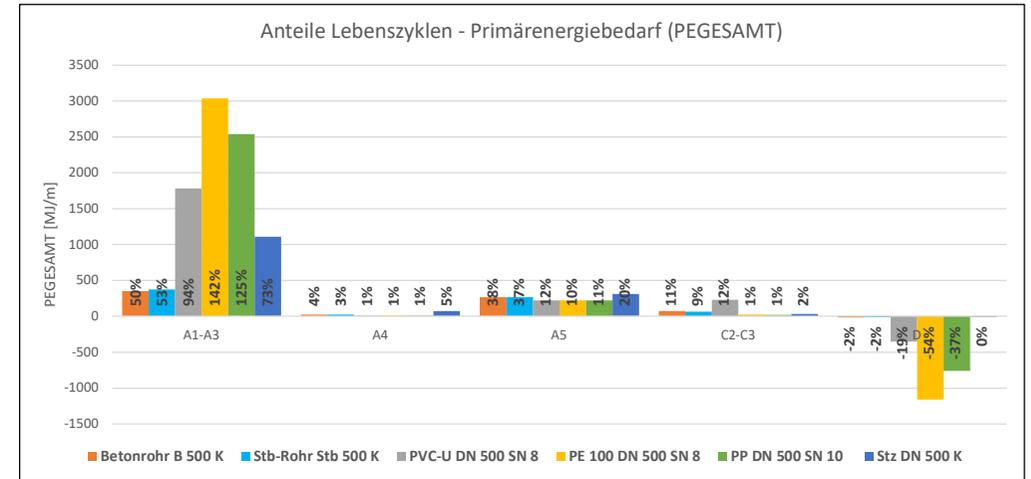
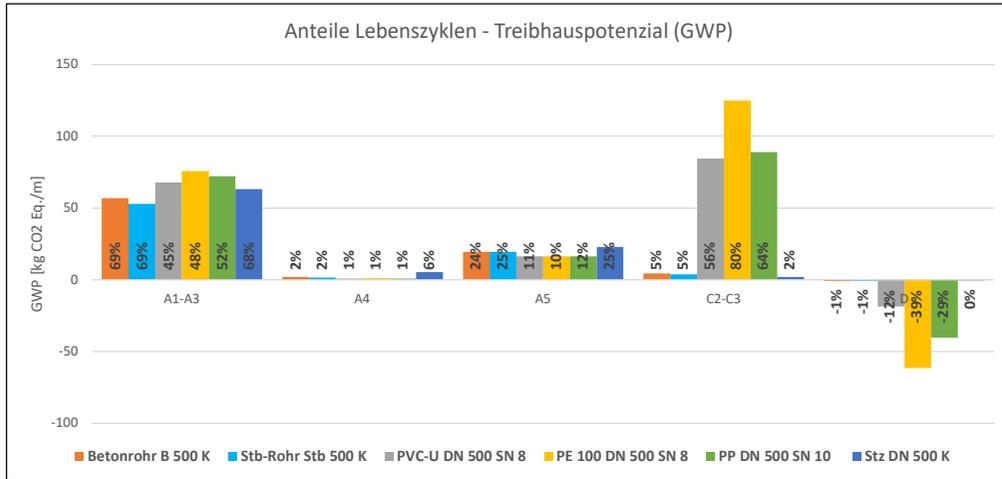
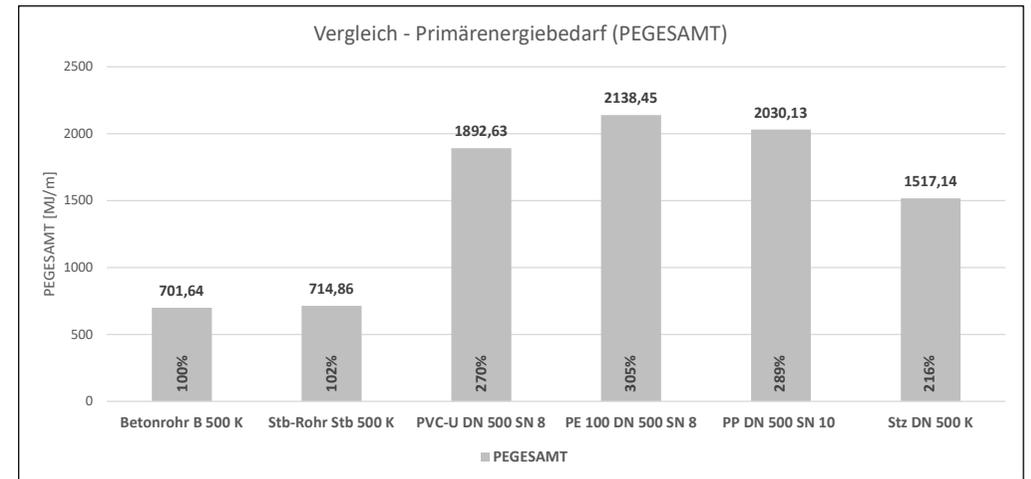
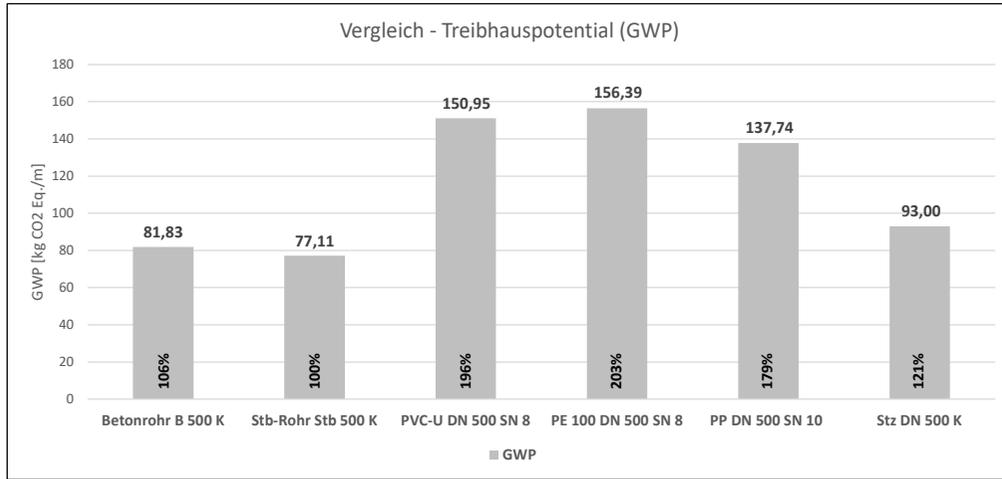
Bauteildaten								Wirkungskategorien																	
Name	ID	d	OD	Gewicht	A4 Transport	A5 Zeitaufwand	A5 Dieselverbrauch	GWP						in [kg CO2 Eq./m]					PEGESAMT					in [MJ/m]	
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[km]	[h/m]	[kg/m]	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%				
Betonrohr B 300 K	300	75	450	243	50	0,40	3,12	32,12	1,09	13,06	2,46	-0,50	48,23	106%	198,11	14,67	176,79	42,43	-8,56	423,44	100%				
Stb-Rohr Stb 300 K	300	75	450	243	50	0,40	3,12	34,44	1,09	13,06	2,43	-0,49	50,53	111%	244,80	14,67	176,79	41,90	-8,42	469,74	111%				
PVC-U DN 315 SN 8	297	9,2	315,4	12	350	0,30	2,34	29,14	0,38	9,80	36,19	-8,01	67,49	148%	762,72	5,07	132,59	99,09	-150,45	849,01	201%				
PE 100 DN 315 SN 8	285	15	315	14,3	350	0,30	2,34	30,00	0,45	9,80	49,43	-24,40	65,28	143%	1202,39	6,05	132,59	10,12	-459,00	892,14	211%				
PP DN 315 SN 10	293,4	10,8	315	12	350	0,30	2,34	31,44	0,38	9,80	38,75	-17,59	62,78	138%	1107,11	5,07	132,59	8,16	-330,90	922,03	218%				
Stz DN 300 K	300	27,5	355	72,4	350	0,50	3,90	26,27	2,27	16,33	0,79	-0,15	45,51	100%	460,79	30,61	220,98	13,69	-2,55	723,52	171%				



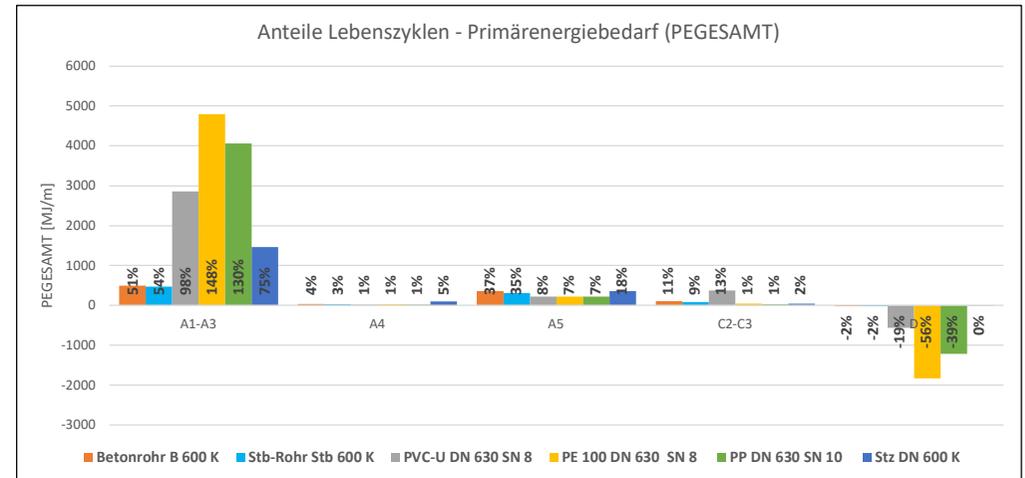
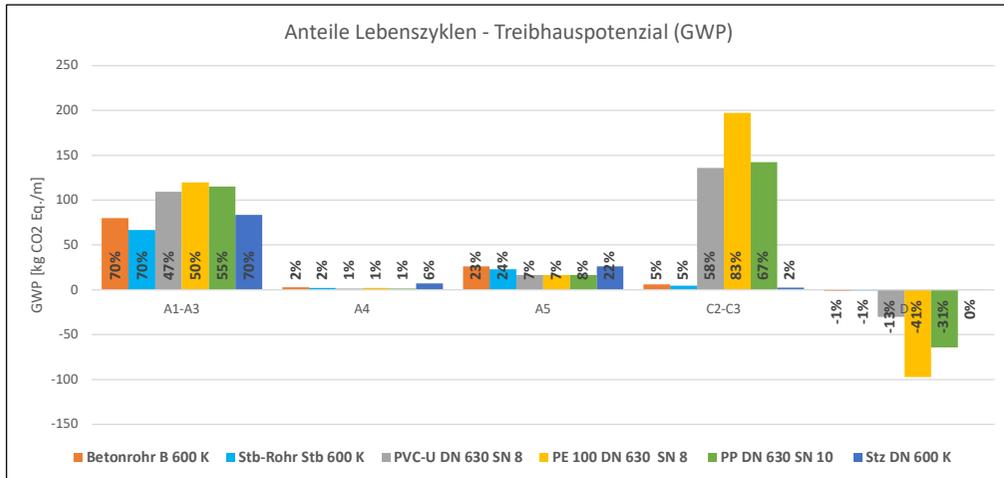
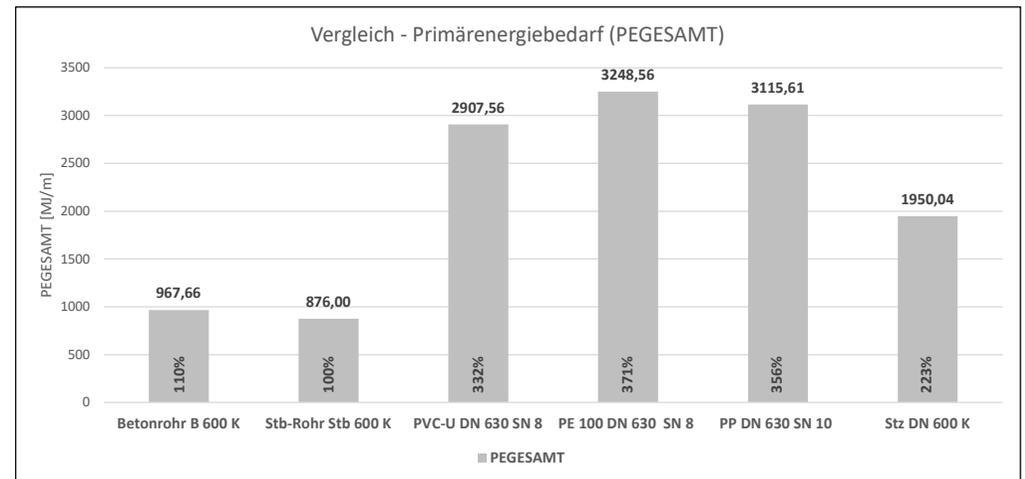
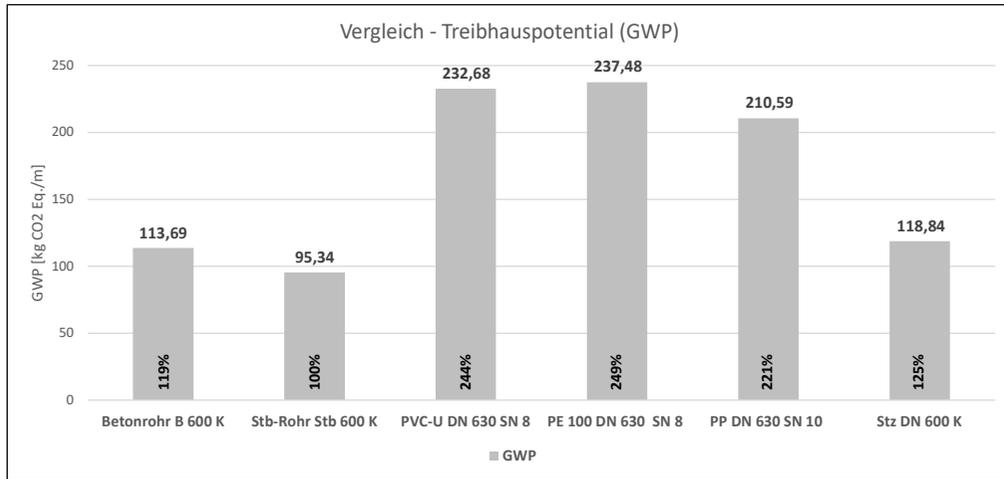
Bauteildaten				A4	A5	A5	Wirkungskategorien																				
Name	ID	d	OD	Gewicht	Transport	Zeitaufwand	Dieselvebrauch	GWP					in [kg CO2 Eq./m]					PEGESAMT					in [MJ/m]				
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[km]	[h/m]	[kg/m]	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%						
Betonrohr B 400 K	400	75	550	308	50	0,50	3,90	40,71	1,38	16,33	3,12	-0,63	60,91	100%	251,10	18,60	220,98	53,78	-10,85	533,61	100%						
Stb-Rohr Stb 400 K	400	75	550	308	50	0,50	3,90	43,66	1,38	16,33	3,08	-0,62	63,82	105%	310,28	18,60	220,98	53,11	-10,68	592,30	111%						
PVC-U DN 400 SN 8	377	11,7	400,4	18	350	0,40	3,12	43,71	0,57	13,06	54,28	-12,01	99,60	164%	1144,08	7,61	176,79	148,63	-225,68	1251,42	235%						
PE 100 DN 400 SN 8	361,8	19,1	400	23,1	350	0,40	3,12	48,46	0,73	13,06	79,85	-39,41	102,69	169%	1942,32	9,77	176,79	16,35	-741,46	1403,75	263%						
PP DN 400 SN 10	372,6	13,7	400	17,6	350	0,40	3,12	46,11	0,55	13,06	56,84	-25,79	90,77	149%	1623,77	7,44	176,79	11,97	-485,32	1334,64	250%						
Stz DN 400 K	398	44	486	140	350	0,60	4,68	50,79	4,39	19,59	1,54	-0,29	76,03	125%	891,03	59,18	265,18	26,48	-4,93	1236,94	232%						



Bauteildaten								Wirkungskategorien													
Name	ID	d	OD	Gewicht	Transport	Zeitaufwand	Dieselvebrauch	GWP						PEGESAMT							
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[km]	[h/m]	[kg/m]	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%
Betonrohr B 500 K	500	85	670	430	50	0,60	4,68	56,84	1,93	19,59	4,35	-0,88	81,83	106%	350,56	25,97	265,18	75,08	-15,15	701,64	100%
Stb-Rohr Stb 500 K	500	75	650	373	50	0,60	4,68	52,87	1,67	19,59	3,73	-0,75	77,11	100%	375,77	22,53	265,18	64,31	-12,93	714,86	102%
PVC-U DN 500 SN 8	470	14,6	499,2	28	350	0,50	3,90	67,99	0,88	16,33	84,43	-18,68	150,95	196%	1779,67	11,84	220,98	231,20	-351,06	1892,63	270%
PE 100 DN 500 SN 8	452,2	23,9	500	36,1	350	0,50	3,90	75,74	1,13	16,33	124,78	-61,59	156,39	203%	3035,40	15,26	220,98	25,54	-1158,74	2138,45	305%
PP DN 500 SN 10	465,8	17,1	500	27,5	350	0,50	3,90	72,05	0,86	16,33	88,81	-40,30	137,74	179%	2537,13	11,63	220,98	18,70	-758,32	2030,13	289%
Stz DN 500 K	496	42,5	581	174	350	0,70	5,46	63,13	5,46	22,86	1,91	-0,36	93,00	121%	1107,42	73,56	309,38	32,91	-6,13	1517,14	216%



Bauteildaten								Wirkungskategorien													
Name	ID	d	OD	Gewicht	Transport	Zeitaufwand	Dieselvebrauch	GWP						PEGESAMT							
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]	[km]	[h/m]	[kg/m]	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%
Betonrohr B 600 K	600	100	800	605	50	0,80	6,24	79,98	2,71	26,12	6,12	-1,24	113,69	119%	493,23	36,54	353,57	105,63	-21,31	967,66	110%
Stb-Rohr Stb 600 K	600	80	760	470	50	0,70	5,46	66,62	2,11	22,86	4,70	-0,95	95,34	100%	473,49	28,38	309,38	81,04	-16,29	876,00	100%
PVC-U DN 630 SN 8	593	18,4	629,8	45	350	0,50	3,90	109,27	1,41	16,33	135,70	-30,03	232,68	244%	2860,19	19,02	220,98	371,57	-564,20	2907,56	332%
PE 100 DN 630 SN 8	570	30	630	57	350	0,50	3,90	119,59	1,79	16,33	197,02	-97,24	237,48	249%	4792,73	24,10	220,98	40,33	-1829,59	3248,56	371%
PP DN 630 SN 10	586,8	21,6	630	44	350	0,50	3,90	115,27	1,38	16,33	142,09	-64,48	210,59	221%	4059,41	18,60	220,98	29,92	-1213,31	3115,61	356%
Stz DN 600 K	597	45	687	230	350	0,80	6,24	83,45	7,22	26,12	2,52	-0,47	118,84	125%	1463,83	97,23	353,57	43,50	-8,10	1950,04	223%



Vergleichende Bilanzierung - Alle Bestandteile - DN 300

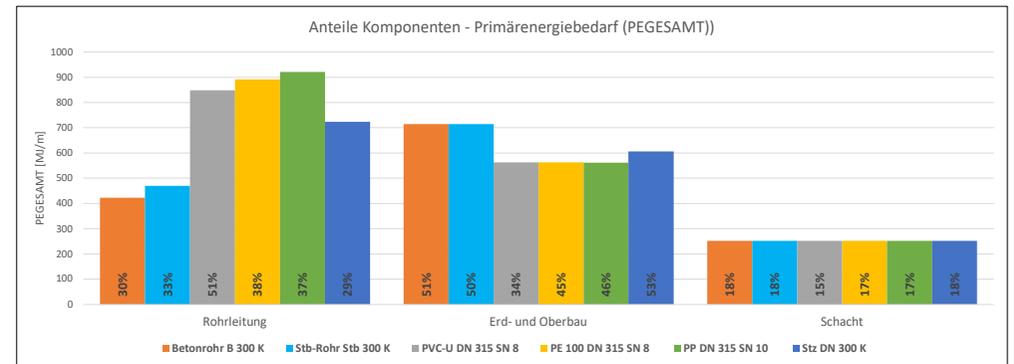
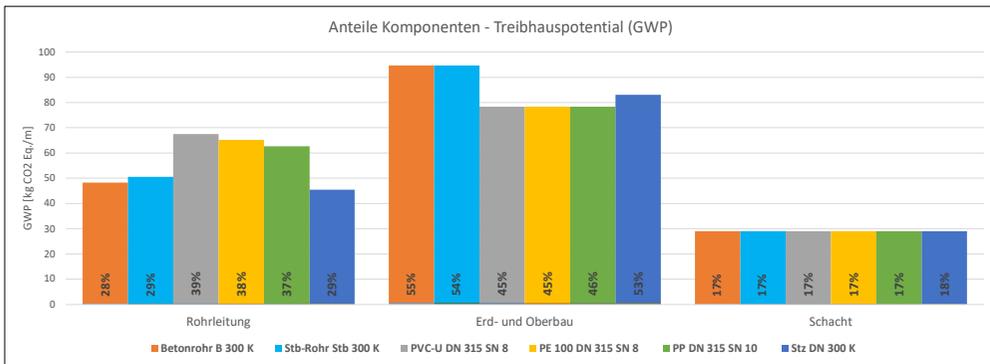
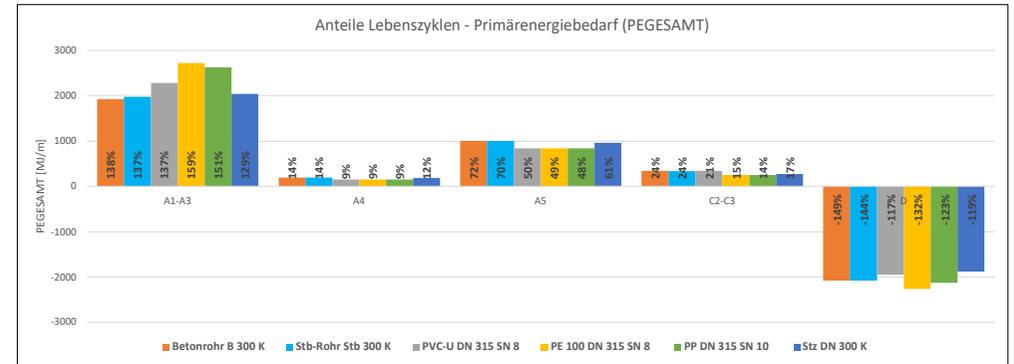
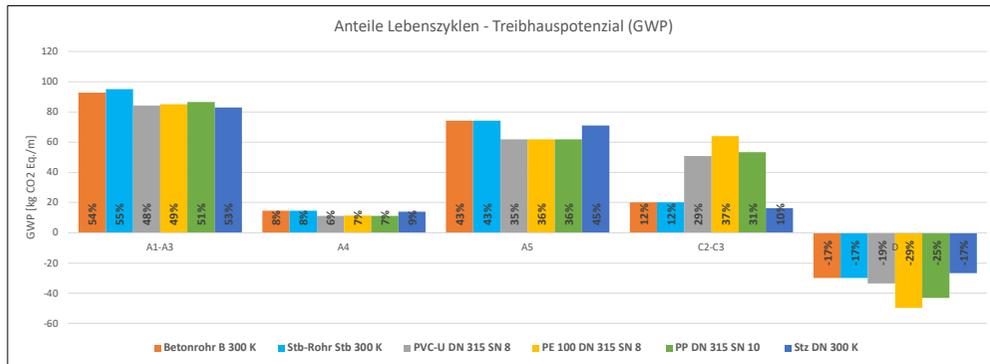
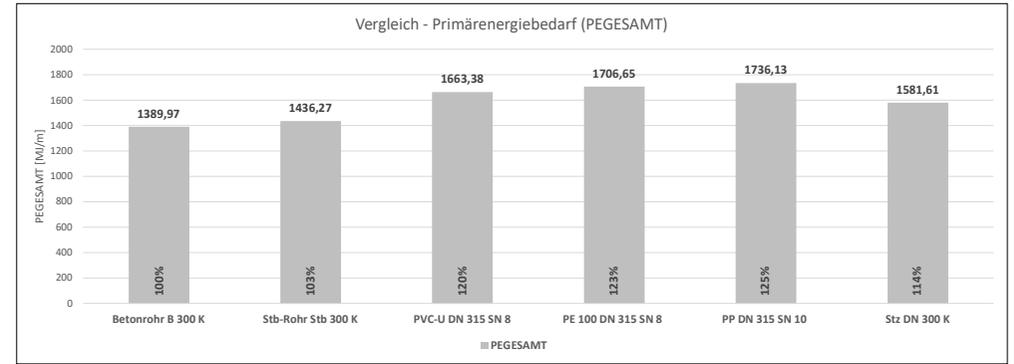
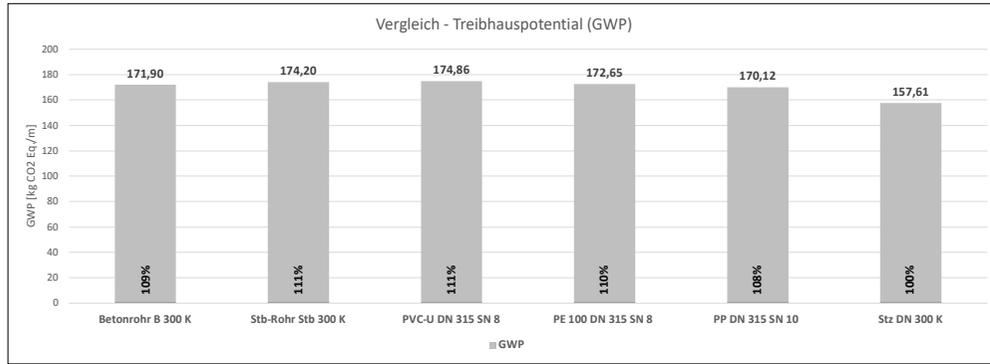
Rohrleitungen

Haltungsinformationen		Bauteildaten				A4				A5				Wirkungskategorien										PEGESAMT				
Haltung	Länge [m]	Sohlentiefe [m]	Rohrtyp	Kategorie	ID [mm]	d [mm]	OD [mm]	Gew. [kg/m]	Transp. [km]	ÖKOBAUDAT	Leistung	Zeit [h/m³]	Baugerät	Diesel [kg/m]	GW	in [kg CO2 Eq.]				PEGESAMT		in [MJ]						
															A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%
Haltung1	1	3,5	Betonrohr B 300 K	300	300	75	450	243	50	Betonrohr, unbewehrt	Betonrohr verlegen DN 300	0,40	65 KW Bagger	3,12	32,12	1,09	13,06	2,43	-0,50	48,23	106%	198,11	14,67	176,79	42,43	-8,56	423,44	100%
Haltung2	1	3,5	Stb-Rohr Stb 300 K	300	300	75	450	243	50	Betonrohr, bewehrt	Stb-Rohr verlegen DN 300	0,40	65 KW Bagger	3,12	34,44	1,09	13,06	2,43	-0,49	50,53	111%	244,80	14,67	176,79	41,90	-8,42	469,74	111%
Haltung3	1	3,5	PVC-U DN 315 SN 8	300	297	9,2	315,4	12	350	Regenabflussrohr PVC	Kunststoffrohr verlegen DN 300	0,30	65 KW Bagger	2,34	29,14	0,38	9,80	36,19	-8,01	67,49	148%	762,72	5,07	132,59	99,09	-150,45	849,01	201%
Haltung4	1	3,5	PE 100 DN 315 SN 8	300	285	15	315	14,3	350	Abwasserrohr PE-HD	Kunststoffrohr verlegen DN 300	0,30	65 KW Bagger	2,34	30,00	0,45	9,80	49,43	-24,40	65,28	143%	1202,39	6,05	132,59	10,12	-459,00	892,14	211%
Haltung5	1	3,5	PP DN 315 SN 10	300	293,4	10,8	315	12	350	Polypropylen-Rohr (PP)	Kunststoffrohr verlegen DN 300	0,30	65 KW Bagger	2,34	31,44	0,38	9,80	38,75	-17,59	62,78	138%	1107,11	5,07	132,59	8,16	-330,90	922,03	218%
Haltung6	1	3,5	Stz DN 300 K	300	300	27,5	355	72,4	350	Steinzeugrohre DN 400	Steinzeugrohr verlegen DN 300	0,50	65 KW Bagger	3,90	26,27	2,27	16,33	0,79	-0,15	45,51	100%	460,79	30,61	220,98	13,69	-2,55	723,52	171%

Erd- und Oberbau

Haltungsinformationen		Grabenabmessungen				Mengen				A4				A5				Wirkungskategorien										PEGESAMT			
Haltung	Länge [m]	Sohlentiefe [m]	Rohr	Tiefe [m]	Breite [m]	Volumen [m³]	Gew. [kg/m³]	Transp. [km]	ÖKOBAUDAT	Leistung	Zeit [h/m³]	Baugerät	Diesel [kg/m]	GW	in [kg CO2 Eq.]				PEGESAMT		in [MJ]										
														A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%				
Haltung1	1	3,5	Betonrohr B 300 K	3,725	1,05	0,21	2400	50	Asphalttragschicht	Asphaltauflage	0,25	65 KW Fräse	1,95		2,26	1,71			-13,26	-9,28			30,44	23,20		-1007,19	-953,55				
						0,21	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,20	65 KW Bagger	1,56	35,86	2,26	1,37	3,51	-13,26	29,75		1518,01	30,44	18,56	49,88	-1007,19	609,70					
						3,70	1800	0	Grabenaushub		0,07	65 KW Bagger	0,55			8,46			8,46				114,51			114,51					
						0,79	1800	30	Kies 2/32	Leitungszone	1,00	65 KW Bagger	7,80	4,04	3,81	25,66	13,13	-2,91	43,73		71,04	51,26	347,37	226,42	-49,84	646,26					
						2,76	1800	0	Verfüllung		0,17	65 KW Bagger	1,33			15,30			15,30				207,09			207,09					
						0,95	1800	30	Verdrängter Boden		0,07	65 KW Bagger	0,55			4,58	2,16		6,74				61,63	29,24		90,87					
Haltung1										Erd- und Oberbau Gesamt:				39,90	12,90	54,67	16,64	-29,42	94,69	121%	1589,05	173,77	739,97	276,30	-2064,22	714,87	127%				
Haltung2	1	3,5	Stb-Rohr Stb 300 K	3,725	1,05	0,21	2400	50	Asphalttragschicht	Asphaltauflage	0,25	65 KW Fräse	1,95		2,26	1,71			-13,26	-9,28			30,44	23,20		-1007,19	-953,55				
						0,21	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,20	65 KW Bagger	1,56	35,86	2,26	1,37	3,51	-13,26	29,75		1518,01	30,44	18,56	49,88	-1007,19	609,70					
						3,70	1800	0	Grabenaushub		0,07	65 KW Bagger	0,55			8,46			8,46				114,51			114,51					
						0,79	1800	30	Kies 2/32	Leitungszone	1,00	65 KW Bagger	7,80	4,04	3,81	25,66	13,13	-2,91	43,73		71,04	51,26	347,37	226,42	-49,84	646,26					
						2,76	1800	0	Verfüllung		0,17	65 KW Bagger	1,33			15,30			15,30				207,09			207,09					
						0,95	1800	30	Verdrängter Boden		0,07	65 KW Bagger	0,55			4,58	2,16		6,74				61,63	29,24		90,87					
Haltung2										Erd- und Oberbau Gesamt:				39,90	12,90	54,67	16,64	-29,42	94,69	121%	1589,05	173,77	739,97	276,30	-2064,22	714,87	127%				
Haltung3	1	3,5	PVC-U DN 315 SN 8	3,6592	0,9154	0,18	2400	50	Asphalttragschicht	Asphaltauflage	0,25	65 KW Fräse	1,95		1,97	1,49			-11,56	-8,09			26,53	20,23		-878,08	-831,32				
						0,18	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,20	65 KW Bagger	1,56	31,26	1,97	1,20	3,06	-11,56	25,92		1323,41	26,53	16,18	43,49	-878,08	531,54					
						3,17	1800	0	Grabenaushub		0,07	65 KW Bagger	0,55			7,24			7,24				97,97			97,97					
						0,62	1800	30	Kies 2/32	Leitungszone	1,00	65 KW Bagger	7,80	3,20	3,01	20,33	10,40	-2,30	34,64		56,27	40,60	275,13	179,34	-39,47	511,87					
						2,47	1800	0	Verfüllung		0,17	65 KW Bagger	1,33			13,69			13,69				185,27			185,27					
						0,70	1800	30	Verdrängter Boden		0,07	65 KW Bagger	0,55			3,39	1,60		4,99				45,70	21,68		67,37					
Haltung3										Erd- und Oberbau Gesamt:				34,46	10,35	45,54	13,46	-25,42	78,40	100%	1379,68	139,37	616,46	222,83	-1795,63	562,71	100%				
Haltung4	1	3,5	PE 100 DN 315 SN 8	3,665	0,915	0,18	2400	50	Asphalttragschicht	Asphaltauflage	0,25	65 KW Fräse	1,95		1,97	1,49			-11,55	-8,09			26,52	20,22		-877,70	-830,95				
						0,18	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,20	65 KW Bagger	1,56	31,25	1,97	1,20	3,06	-11,55	25,92		1322,84	26,52	16,18	43,47	-877,70	531,31					
						3,17	1800	0	Grabenaushub		0,07	65 KW Bagger	0,55			7,25			7,25				98,09			98,09					
						0,62	1800	30	Kies 2/32	Leitungszone	1,00	65 KW Bagger	7,80	3,20	3,01	20,31	10,39	-2,30	34,61		56,23	40,57	274,92	179,20	-39,44	511,48					
						2,47	1800	0	Verfüllung		0,17	65 KW Bagger	1,33			13,71			13,71				185,33			185,33					
						0,70	1800	30	Verdrängter Boden		0,07	65 KW Bagger	0,55			3,39	1,60		4,99				45,65	21,66		67,31					
Haltung4										Erd- und Oberbau Gesamt:				34,45	10,34	45,56	13,45	-25,41	78,39	100%	1379,06	139,27	616,68	222,67	-1794,83	562,85	100%				
Haltung5	1	3,5	PP DN 315 SN 10	3,6608	0,915	0,18	2400	50	Asphalttragschicht	Asphaltauflage	0,25	65 KW Fräse	1,95		1,97	1,49			-11,55	-8,09			26,52	20,22		-877,70	-830,95				
						0,18	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,20	65 KW Bagger	1,56	31,25	1,97	1,20	3,06	-11,55	25,92		1322,84	26,52	16,18	43,47	-877,70	531,31					
						3,17	1800	0	Grabenaushub		0,07	65 KW Bagger	0,55			7,24			7,24				97,97			97,97					
						0,62	1800	30	Kies 2/32	Leitungszone	1,00	65 KW Bagger	7,80	3,20	3,01	20,31	10,39	-2,30	34,61		56,23	40,57	274,92	179,20	-39,44	511,48					
						2,47	1800	0	Verfüllung		0,17	65 KW Bagger	1,33			13,69			13,69				185,33			185,33					
						0,70	1800	30	Verdrängter Boden		0,07	65 KW Bagger	0,55			3,39	1,60		4,99				45,65	21,66		67,31					
Haltung5										Erd- und Oberbau Gesamt:				34,45	10,34	45,53	13,45	-25,41	78,36	100%	1379,06	139,27	616,27	222,67	-1794,83	562,44	100%				
Haltung6	1	3,5	Stz DN 300 K	3,6775	0,955	0,19	2400	50	Asphalttragschicht	Asphaltauflage	0,25	65 KW Fräse	1,95		2,06	1,56			-12,06	-8,44			27,68	21,10		-916,07	-867,28				
						0,19	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,20	65 KW Bagger	1,56	32,62	2,06	1,25	3,20	-12,06	27,06		1380,66	27,68	16,88	45,37	-916,07	554,53					
						3,32	1800	0	Grabenaushub		0,07	65 KW Bagger	0,55			7,59			7,59				102,74			102,74					
						0,67	1800	30	Kies 2/32	Leitungszone	1,00	65 KW Bagger	7,80	3,44	3,24	21,87	11,19	-2,48	37,27		60,54	43,68	296,03	192,96	-42,47	550,74					
						2,55	1800	0	Verfüllung		0,17	65 KW Bagger	1,33			14,17															

Vergleichende Bilanzierung - Alle Bestandteile - DN 300



Vergleichende Bilanzierung - Alle Bestandteile - DN 500

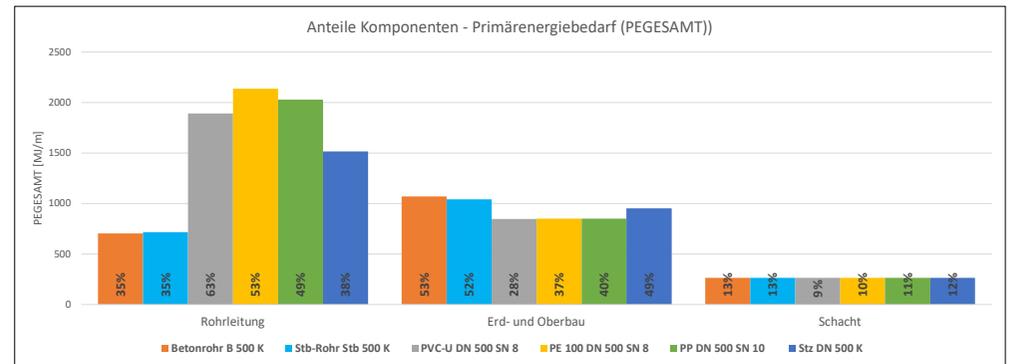
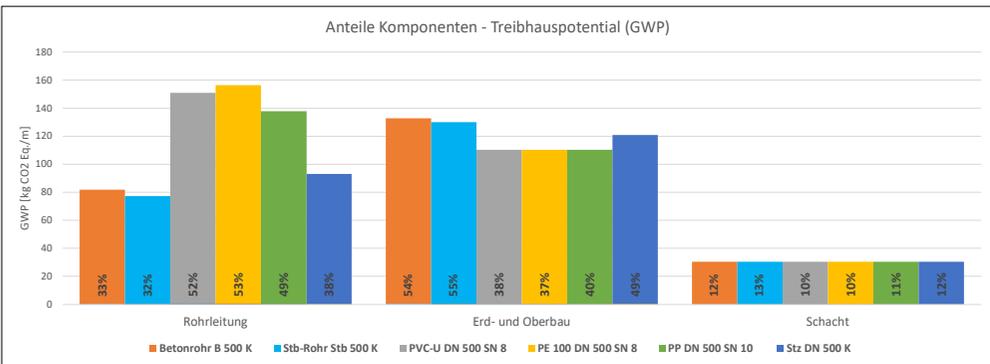
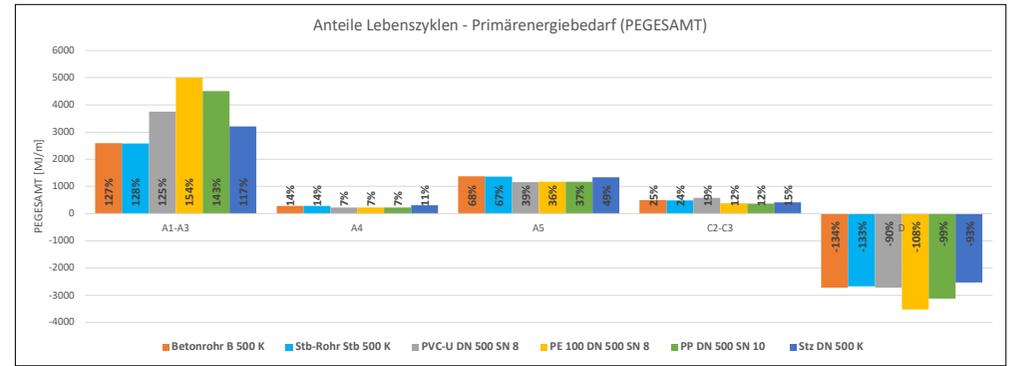
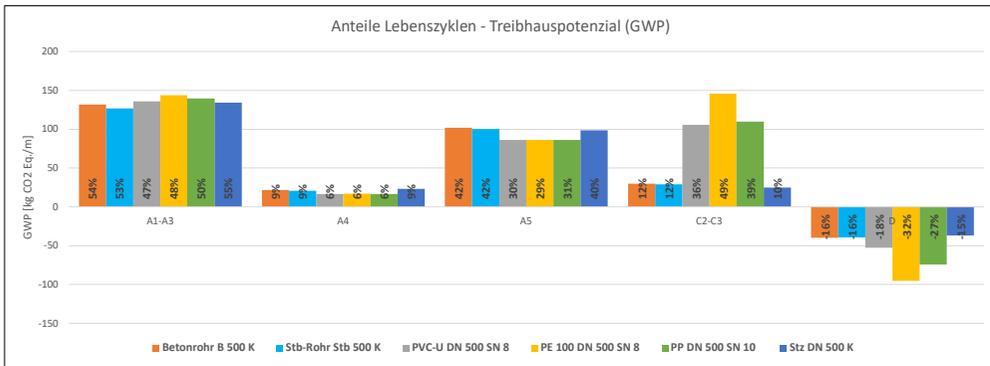
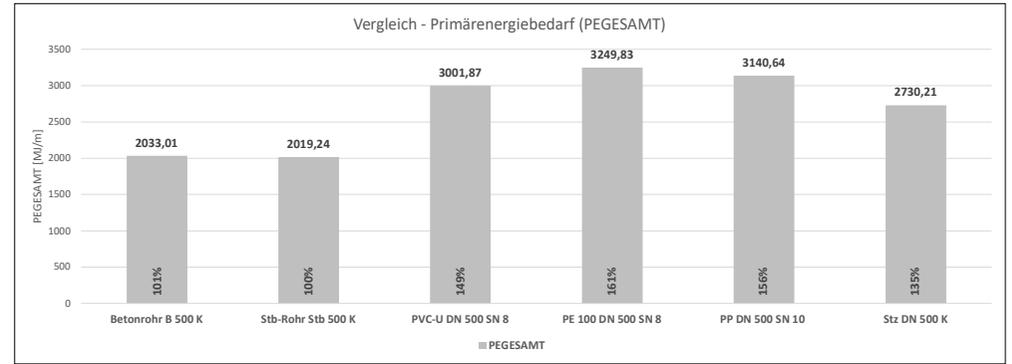
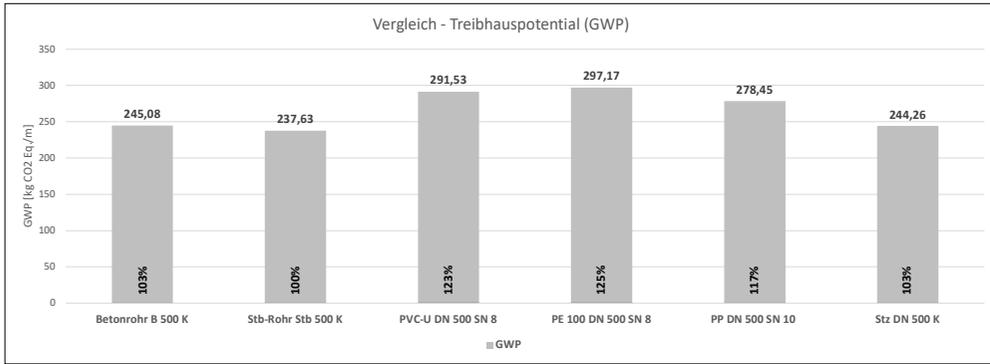
Rohrleitungen

Haltungsinformationen		Bauteildaten				A4				A5				Wirkungskategorien				PEGESAMT										
Haltung	Länge [m]	Sohltiefe [m]	Rohrtyp	Kategorie	ID [mm]	d [mm]	OD [mm]	Gew. [kg/m]	Transp. [km]	ÖKOBAUDAT	Leistung	Zeit [h/m³]	Baugerät	Diesel [kg/m]	GW	in [kg CO2 Eq.]			in [MJ]		in [MJ]		in [MJ]					
															A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%
Haltung1	1	3,5	Betonrohr B 500 K	500	500	85	670	430	50	Betonrohr, unbewehrt	Betonrohr verlegen DN 500	0,60	65 KW Bagger	4,68	56,84	1,93	19,59	4,35	-0,88	81,83	106%	350,56	25,97	265,18	75,08	-15,15	701,64	100%
Haltung2	1	3,5	Stb-Rohr Stb 500 K	500	500	75	650	373	50	Betonrohr, bewehrt	Stb-Rohr verlegen DN 500	0,60	65 KW Bagger	4,68	52,87	1,67	19,59	3,73	-0,75	77,11	100%	375,77	22,53	265,18	64,31	-12,93	714,86	102%
Haltung3	1	3,5	PVC-U DN 500 SN 8	500	470	14,6	499,2	28	350	Regenabflussrohr PVC	Kunststoffrohr verlegen DN 500	0,50	65 KW Bagger	3,90	67,99	0,88	16,33	84,43	-18,68	150,95	196%	1779,67	11,84	220,98	231,20	-351,06	1892,63	270%
Haltung4	1	3,5	PE 100 DN 500 SN 8	500	452,2	23,9	500	36,1	350	Abwasserrohr PE-HD	Kunststoffrohr verlegen DN 500	0,50	65 KW Bagger	3,90	75,74	1,13	16,33	124,78	-61,59	156,39	203%	3035,40	15,26	220,98	25,54	-1158,74	2138,45	305%
Haltung5	1	3,5	PP DN 500 SN 10	500	465,8	17,1	500	27,5	350	Polypropylen-Rohr (PP)	Kunststoffrohr verlegen DN 500	0,50	65 KW Bagger	3,90	72,05	0,86	16,33	88,81	-40,30	137,74	179%	2537,13	11,63	220,98	18,70	-758,32	2030,13	289%
Haltung6	1	3,5	Stz DN 500 K	500	496	42,5	581	174	350	Steinzeugrohre DN 400	Steinzeugrohr verlegen DN 500	0,70	65 KW Bagger	5,46	63,13	5,46	22,86	1,91	-0,36	93,00	121%	1107,42	73,56	309,38	32,91	-6,13	1517,14	216%

Erd- und Oberbau

Haltungsinformationen		Grabenabmessungen				Mengen				A4				A5				Wirkungskategorien				PEGESAMT					
Haltung	Länge [m]	Sohltiefe [m]	Rohr	Tiefe [m]	Breite [m]	Volumen [m³]	Gew. [kg/m³]	Transp. [km]	ÖKOBAUDAT	Leistung	Zeit [h/m³]	Baugerät	Diesel [kg/m]	GW	in [kg CO2 Eq.]			in [MJ]		in [MJ]		in [MJ]					
														A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D	Gesamt	%
Haltung1	1	3,5	Betonrohr B 500 K	3,735	1,37	0,27	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,25	65 KW Fräse	1,95		2,95	2,24		-17,30	-12,11			39,71	30,27		-1314,15	-1244,16	
						0,27	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,20	65 KW Bagger	1,56	46,79	2,95	1,79	4,58	-17,30	38,81		1980,64	39,71	24,22	65,08	-1314,15	795,51	
						4,84	1800	0	Grabenaushub	Grabenaushub	0,07	65 KW Bagger	0,55			11,07			11,07				149,83		149,83		
						1,18	1800	30	Kies 2/32	Leitungszone	1,00	65 KW Bagger	7,80	6,07	5,72	38,59	19,74	-4,37	65,75		106,82	77,08	522,33	340,47	-74,94	971,77	
						3,31	1800	0	Verfüllung	Verfüllung	0,17	65 KW Bagger	1,33			18,37			18,37				248,59		248,59		
						1,53	1800	30	Verdrängter Boden	Verdrängter Boden	0,07	65 KW Bagger	0,55			7,43	3,51		10,94			100,08	47,47		147,55		
Haltung1										Erd- und Oberbau Gesamt:				52,86	19,05	75,56	24,32	-38,97	132,83	121%	2087,46	256,58	1022,72	405,55	-2703,23	1069,08	126%
Haltung2	1	3,5	Stb-Rohr Stb 500 K	3,725	1,35	0,27	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,25	65 KW Fräse	1,95		2,91	2,20		-17,05	-11,94			39,13	29,83		-1294,96	-1226,00	
						0,27	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,20	65 KW Bagger	1,56	46,11	2,91	1,76	4,52	-17,05	38,25		1951,72	39,13	23,87	64,13	-1294,96	783,90	
						4,76	1800	0	Grabenaushub	Grabenaushub	0,07	65 KW Bagger	0,55			10,88			10,88				147,23		147,23		
						1,15	1800	30	Kies 2/32	Leitungszone	1,00	65 KW Bagger	7,80	5,92	5,58	37,65	19,26	-4,26	64,16		104,23	75,21	509,66	332,21	-73,12	948,20	
						3,27	1800	0	Verfüllung	Verfüllung	0,17	65 KW Bagger	1,33			18,17			18,17				245,97		245,97		
						1,49	1800	30	Verdrängter Boden	Verdrängter Boden	0,07	65 KW Bagger	0,55			7,19	3,39		10,59			96,85	45,94		142,80		
Haltung2										Erd- und Oberbau Gesamt:				52,03	18,59	74,07	23,78	-38,35	130,11	118%	2055,96	250,33	1002,50	396,34	-2663,04	1042,09	123%
Haltung3	1	3,5	PVC-U DN 500 SN 8	3,6646	1,1992	0,24	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,25	65 KW Fräse	1,95		2,58	1,96		-15,14	-10,60			34,76	26,50		-1150,31	-1089,05	
						0,24	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,20	65 KW Bagger	1,56	40,96	2,58	1,57	4,01	-15,14	33,97		1733,71	34,76	21,20	56,97	-1150,31	696,33	
						4,15	1800	0	Grabenaushub	Grabenaushub	0,07	65 KW Bagger	0,55			9,50			9,50				128,54		128,54		
						0,94	1800	30	Kies 2/32	Leitungszone	1,00	65 KW Bagger	7,80	4,84	4,56	30,78	15,74	-3,48	52,44		85,20	61,47	416,58	271,54	-59,77	775,02	
						3,02	1800	0	Verfüllung	Verfüllung	0,17	65 KW Bagger	1,33			16,74			16,74				226,64		226,64		
						1,14	1800	30	Verdrängter Boden	Verdrängter Boden	0,07	65 KW Bagger	0,55			5,51	2,60		8,11			74,24	35,22		109,46		
Haltung3										Erd- und Oberbau Gesamt:				45,80	15,24	63,14	19,76	-33,77	110,17	100%	1818,91	205,24	854,68	328,51	-2360,39	846,94	100%
Haltung4	1	3,5	PE 100 DN 500 SN 8	3,6739	1,2	0,24	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,25	65 KW Fräse	1,95		2,58	1,96		-15,15	-10,61			34,78	26,52		-1151,08	-1089,77	
						0,24	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,20	65 KW Bagger	1,56	40,98	2,58	1,57	4,02	-15,15	34,00		1734,87	34,78	21,21	57,01	-1151,08	696,80	
						4,17	1800	0	Grabenaushub	Grabenaushub	0,07	65 KW Bagger	0,55			9,53			9,53				128,97		128,97		
						0,94	1800	30	Kies 2/32	Leitungszone	1,00	65 KW Bagger	7,80	4,85	4,57	30,81	15,76	-3,49	52,50		85,29	61,55	417,06	271,85	-59,84	775,92	
						3,03	1800	0	Verfüllung	Verfüllung	0,17	65 KW Bagger	1,33			16,81			16,81				227,56		227,56		
						1,14	1800	30	Verdrängter Boden	Verdrängter Boden	0,07	65 KW Bagger	0,55			5,52	2,61		8,13			74,35	35,27		109,62		
Haltung4										Erd- und Oberbau Gesamt:				45,83	15,26	63,29	19,78	-33,79	110,29	100%	1820,16	205,47	856,59	328,86	-2361,99	849,09	100%
Haltung5	1	3,5	PP DN 500 SN 10	3,6671	1,2	0,24	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,25	65 KW Fräse	1,95		2,58	1,96		-15,15	-10,61			34,78	26,52		-1151,08	-1089,77	
						0,24	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,20	65 KW Bagger	1,56	40,98	2,58	1,57	4,02	-15,15	34,00		1734,87	34,78	21,21	57,01	-1151,08	696,80	
						4,16	1800	0	Grabenaushub	Grabenaushub	0,07	65 KW Bagger	0,55			9,51			9,51				128,72		128,72		
						0,94	1800	30	Kies 2/32	Leitungszone	1,00	65 KW Bagger	7,80	4,85	4,57	30,81	15,76	-3,49	52,50		85,29	61,55	417,06	271,85	-59,84	775,92	
						3,02	1800	0	Verfüllung	Verfüllung	0,17	65 KW Bagger	1,33			16,77			16,77				226,95		226,95		
						1,14	1800	30	Verdrängter Boden	Verdrängter Boden	0,07	65 KW Bagger	0,55			5,52	2,61		8,13			74,35	35,27		109,62		
Haltung5										Erd- und Oberbau Gesamt:				45,83	15,26	63,22	19,78	-33,79	110,29	100%	1820,16	205,47	855,73	328,86	-2361,99	848,23	100%
Haltung6	1	3,5	Stz DN 500 K	3,6925	1,281	0,26	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,25	65 KW Fräse	1,95		2,76	2,09		-16,17	-11,33			37,13	28,31		-1228,77	-1163,33	
						0,26	2400	50	Asphalttragschicht	Asphalteinbau	0,20	65 KW Bagger	1,56	43,75	2,76	1,67	4,29	-16,17	36,29		1851,97	37,13	22,65	60,86	-1228,77	743,83	
						4,47	1800	0	Grabenaushub	Grabenaushub	0,07	65 KW Bagger	0,55			10,23			10,23				138,41		138,41		
						1,06	1800	30	Kies 2/32	Leitungszone	1,00	65 KW Bagger	7,80	5,42	5,11	34,47	17,63	-3,90	58,73		95,41	68,85	466,54	304,10	-66,93	867,96	
						3,15	1800	0</																			

Vergleichende Bilanzierung - Alle Bestandteile - DN 500



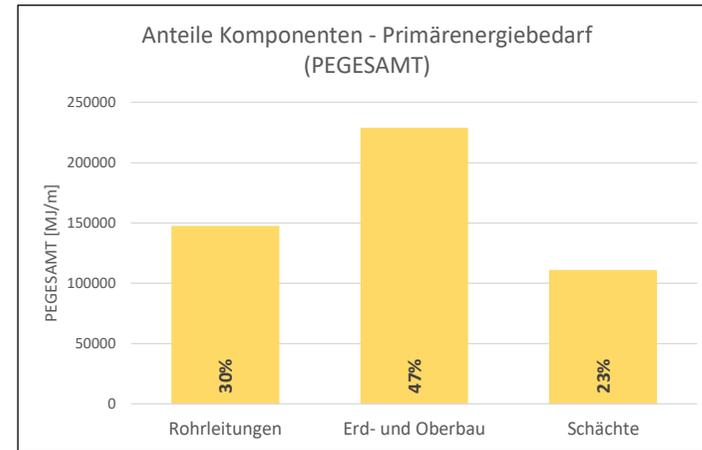
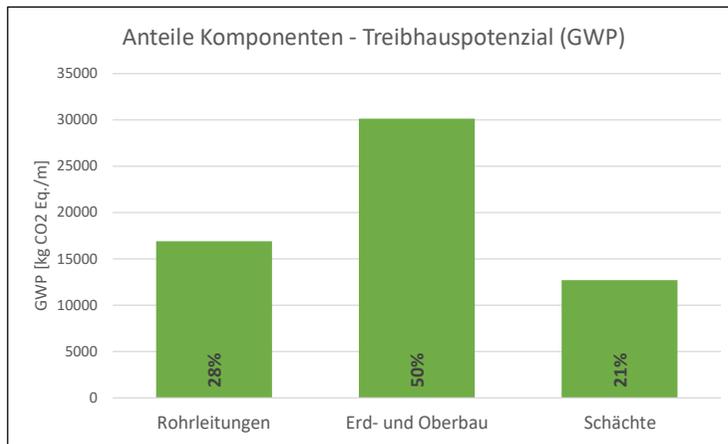
Ergebnisse Massenermittlung und Bilanzierung

Projekt: Testprojekt 1 für Masterthesis
Abschnitt: EW 1
Variante: Trasse-C -Betonrohre

Datum: 26.04.2021

Massenermittlung							
Rohrleitungen	1	3,5					
Länge [m]	Asphaltausbau [to]	Asphalteinbau [to]	Grabenaushub [m³]	Leitungszone [m²]	Verfüllung [m³]	Verdrängter Boden [m³]	
Betonrohr B 250 K	32,7	15,54	15,54	88,05	23,33	60,86	
Betonrohr B 300 K	70,9	35,73	35,73	225,20	55,16	158,20	
Betonrohr B 400 K	115,2	69,12	69,12	524,84	109,79	380,84	
Betonrohr B 500 K	47,7	31,37	31,37	270,22	50,15	197,03	
Betonrohr B 600 K	10,7	7,70	7,70	68,21	11,99	48,15	
Gesamt Σ	277,2	159,46	159,46	1176,52	250,42	845,07	

Schachtbauteile	Anzahl [St]
SU-M 1000x800	2
SU-M 1000x850	2
SU-M 1000x950	3
SU-M 1000x1100	2
SU-M 1000x1200	2
SR-M 1000x250	7
SR-M 1000x500	2
SR-M 1000x750	1
SR-M 1000x1000	16
SH-M 1000x625x30	0
SH-M 1000x625x60	11
	0
Abdeckung 625 D 4	11



Berechnung GWP und PE _{GESAMT}																		
Bestandteile	GWP						in [kg CO2 Eq.]	Gesamt	%	PEGESAMT						in [MJ]	Gesamt	%
	A1-A3	A4	A5	C2-C3	D					A1-A3	A4	A5	C2-C3	D				
Rohrleitungen	1,14E+04	3,86E+02	4,45E+03	8,71E+02	-1,77E+02	1,69E+04	28%	7,01E+04	5,20E+03	6,02E+04	1,50E+04	-3,03E+03	1,48E+05	30%				
Erd- und Oberbau	1,26E+04	4,25E+03	1,73E+04	5,29E+03	-9,32E+03	3,02E+04	50%	5,03E+05	5,72E+04	2,34E+05	8,79E+04	-6,53E+05	2,29E+05	47%				
Schächte	9,00E+03	2,33E+02	2,97E+03	5,14E+02	-1,04E+01	1,27E+04	21%	6,00E+04	3,11E+03	4,02E+04	8,85E+03	-1,15E+03	1,11E+05	23%				
GESAMT	3,30E+04	4,87E+03	2,47E+04	6,68E+03	-9,50E+03	5,98E+04		6,33E+05	6,55E+04	3,34E+05	1,12E+05	-6,57E+05	4,87E+05					

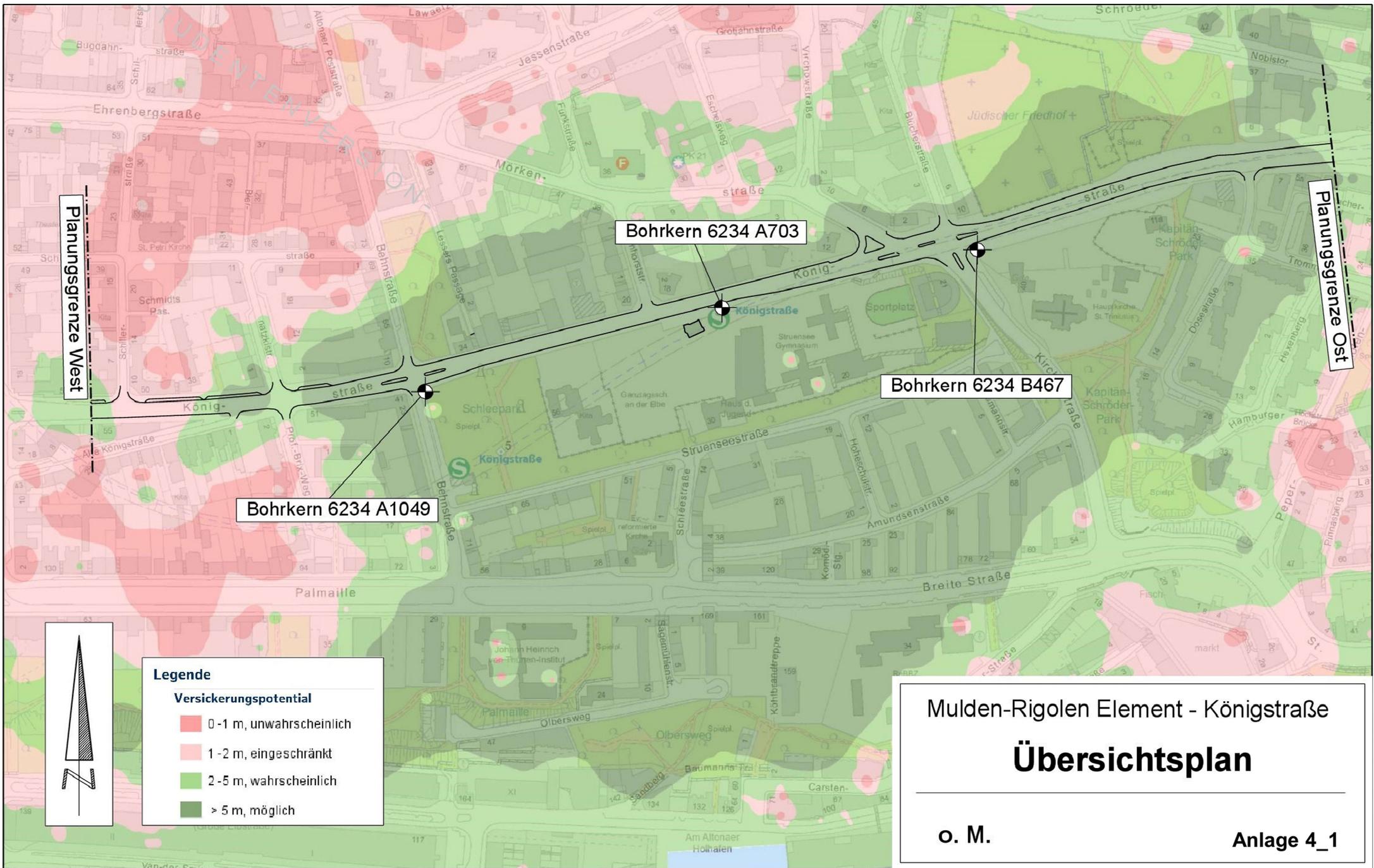
MASTERTHESIS

**Ansätze zur Energie- und CO2-Bilanzierung bei dem
Bau von Entwässerungssystemen**

ANLAGEN

Für **Bilanzierung Mulden Rigolen Element**

4_1	Übersichtsplan	1 Seiten
4_2	Bohrprofile	3 Seiten
4_3	Systemskizzen	2 Seiten
4_4	Vorbemessung nach DWA-A 138	4 Seiten
4_5	Datengrundlage	4 Seiten
4_6	Bilanzierung	3 Seiten



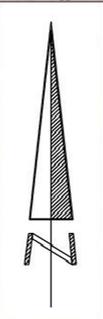
Planungsgrenze West

Planungsgrenze Ost

Bohrern 6234 A703

Bohrern 6234 B467

Bohrern 6234 A1049



Legende

Versickerungspotential

- 0-1 m, unwahrscheinlich
- 1-2 m, eingeschränkt
- 2-5 m, wahrscheinlich
- > 5 m, möglich

Mulden-Rigolen Element - Königstraße

Übersichtsplan

o. M.
Anlage 4_1

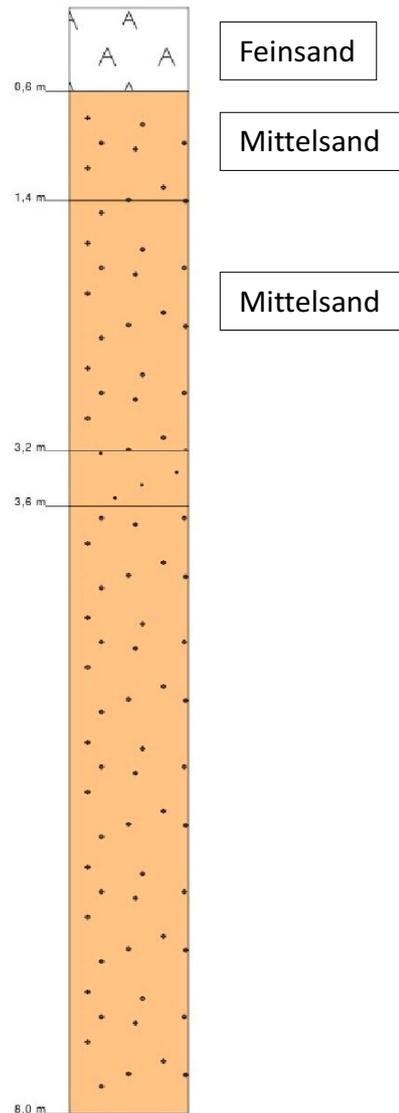
Bohrsäulenvisualisierung

Stammdaten

Archivnummer:	32365	Vertraulichkeit:	öffentlich
DGK5:	6234	Projekt:	Koenigstrasse
Archivkurzbezeichnung:	A1049	Bohrungsbezeichnung:	RKS5
Rechtswert (ETRS89):	562402	Bohrungsdatum:	11.1.1996
Hochwert (ETRS89):	5933649	Tiefe der Bohrung (m):	8,0
Höhe (mNHN):	31,3	Wasserstand z. Zeitpunkt d. Bohrung (m u GOK):	None
	Kommentar:		

Bohrsäulendarstellung

6234 A1049



Schichtdaten

Obere Tiefe	Untere Tiefe	Stratigraphie	Petrographie (Haupt)	Petrographie (Neben)	Hydro-Stratigraphie	Genese	Farbe
0,0	0,6		fs	ms,g,x,gs2,h,kf	L0	y,yy	bn
0,6	1,4	qp	mS	fs,kf		P.S	hbn
1,4	3,2	qp	mS	fs,kf		P.S	hbn
3,2	3,6	qp	fs	ms2,kf		P.S	hbn
3,6	8,0	qp	mS	fs,gs,fg,kf		P.S	hbn

Die Farben und Schraffuren in der Bohrsäule werden in Anlehnung an die DIN 4023 dargestellt.

Das geschlossene Dreieck (▼) links neben der Bohrsäule markiert den mittleren Grundwasserstand, der aus dem Gleichenplan 2010 berechnet worden ist. Das offene Dreieck markiert einen oder mehrere Wasserstände, die bei der Bohrung angetroffen wurden.

Wenn der Cursor über einer Schicht der Bohrsäule oder über einem Wasserstands-Dreieck positioniert wird, erscheinen weitergehende Informationen.

Das Geologische Landesamt Hamburg (GLA) ist zuständig für die Sammlung, Archivierung und Interpretation von Bohrungsdaten aus dem Hamburger Stadtgebiet. Über das Bohrdatenportal wird ein allgemeiner Zugriff auf Bohrungen der Stadt Hamburg ermöglicht. Der Zugriff auf die hier veröffentlichten Geologiedaten ist kostenfrei. Für die inhaltliche Richtigkeit der in der Datenbank enthaltenen Daten übernimmt das GLA keine Gewähr. Aus datenschutzrechtlichen Gründen ist die Freigabe privater Bohrungen, d. h. Bohrungen privater Auftraggeber, nicht gestattet. Eine Weitergabe der Daten an Dritte ist nicht zulässig. Der Bohrdatenbestand wird kontinuierlich verbessert und erweitert. Für Hinweise auf Fehler oder neue Bohrdaten aus dem Hamburger Stadtgebiet wären wir dankbar. Informationen über Bohrungen außerhalb Hamburgs finden Sie in der 'Bohrpunktarte Deutschland' der Geologischen Dienste. Weitere Informationen zur Geologie von Hamburg finden Sie unter www.hamburg.de/geologie.

Bohrsäulenvisualisierung

Stammdaten

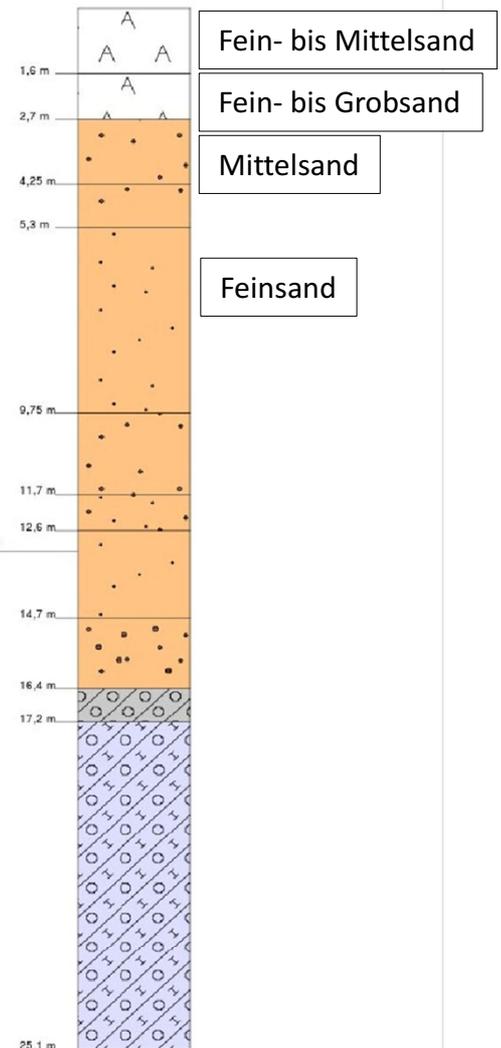
Archivnummer:	33023	Vertraulichkeit:	öffentlich
DGK5:	6234	Projekt:	Koenigstr. / City-S-Bahn
Archivkurzbezeichnung:	A703	Bohrungsbezeichnung:	B 163
Rechtswert (ETRS89):	562669	Bohrungsdatum:	
Hochwert (ETRS89):	5933703	Tiefe der Bohrung (m):	25,1
Höhe (mNHN):	28,0	Wasserstand z. Zeitpunkt d. Bohrung (m u GOK):	None
	Kommentar:		

Schichtdaten

Obere Tiefe	Untere Tiefe	Stratigraphie	Petrographie (Haupt)	Petrographie (Neben)	Hydro-Stratigraphie	Genese	Farbe
0,0	1,6		fs-mS	h,G,yy,k3	L0	y	bngr
1,6	2,7		fs-gS	g,'Beton'('Betonbrocken'),k3	L0	y	gr
2,7	4,25	qp	mS	gs1,kf		gf	hbn-ge
4,25	5,3	qp	mS	gs1,kf		gf	hge-we
5,3	9,75	qp	fs	kf		gf	hge-we
9,75	11,7	qp	mS	kf		gf	hge
11,7	12,6	qp	fs-mS	gs,fg2-gg2,kf		gf	ge-fa
12,6	14,7	qp	ffS	'g',kf		gf	hgr
14,7	16,4	qp	mS-gS	kf		gf	ge--hbngr
16,4	17,2	qp	U	t,s,g,kf		Lg	dgr
17,2	25,1	qp	U	t,s,g,k3		Mg	hgr

Bohrsäulendarstellung

6234 A703



Die Farben und Schraffuren in der Bohrsäule werden in Anlehnung an die DIN 4023 dargestellt.

Das geschlossene Dreieck (▼) links neben der Bohrsäule markiert den mittleren Grundwasserstand, der aus dem Gleichenplan 2010 berechnet worden ist. Das offene Dreieck markiert einen oder mehrere Wasserstände, die bei der Bohrung angetroffen wurden.

Wenn der Cursor über einer Schicht der Bohrsäule oder über einem Wasserstands-Dreieck positioniert wird, erscheinen weitergehende Informationen.

Das Geologische Landesamt Hamburg (GLA) ist zuständig für die Sammlung, Archivierung und Interpretation von Bohrungsdaten aus dem Hamburger Stadtgebiet. Über das Bohrdatenportal wird ein allgemeiner Zugriff auf Bohrungen der Stadt Hamburg ermöglicht. Der Zugriff auf die hier veröffentlichten Geologiedaten ist kostenfrei. Für die inhaltliche Richtigkeit der in der Datenbank enthaltenen Daten übernimmt das GLA keine Gewähr. Aus datenschutzrechtlichen Gründen ist die Freigabe privater Bohrungen, d. h. Bohrungen privater Auftraggeber, nicht gestattet. Eine Weitergabe der Daten an Dritte ist nicht zulässig. Der Bohrdatenbestand wird kontinuierlich verbessert und erweitert. Für Hinweise auf Fehler oder neue Bohrdaten aus dem Hamburger Stadtgebiet wären wir dankbar. Informationen über Bohrungen außerhalb Hamburgs finden Sie in der 'Bohrpunktarte Deutschland' der Geologischen Dienste. Weitere Informationen zur Geologie von Hamburg finden Sie unter www.hamburg.de/geologie.

Bohrsäulenvisualisierung

Stammdaten

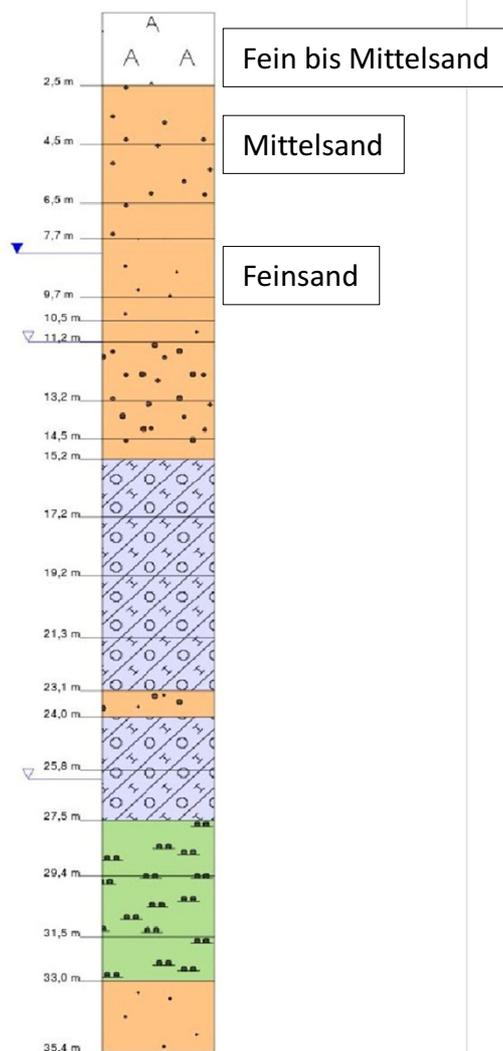
Archivnummer:	33769	Vertraulichkeit:	öffentlich
DGKS:	6234	Projekt:	Koenigstr.
Archivkurzbezeichnung:	B467	Bohrungsbezeichnung:	Nr. 158
Rechtswert (ETRS89):	562908	Bohrungsdatum:	4.11.1965
Hochwert (ETRS89):	5933763	Tiefe der Bohrung (m):	35,4
Höhe (mNHN):	22,6	Wasserstand z. Zeitpunkt d. Bohrung (m u GOK):	26,1
	Kommentar:	weitere Wasserstaende siehe Original	

Schichtdaten

Obere Tiefe	Untere Tiefe	Stratigraphie	Petrographie (Haupt)	Petrographie (Neben)	Hydro-Stratigraphie	Genese	Farbe
0,0	2,5		fS-mS	k2	L0	y,yy	hbn
2,5	4,5	qp	mS	gs2		gf	ge
4,5	6,5	qp	mS	gs2		gf	hge-wege
6,5	7,7	qp	mS	gs2		gf	hgr-gewe
7,7	9,7	qp	fS			gf	we
9,7	10,5	qp	fS			gf	ge=hgrwe
10,5	11,2	qp	ffS	u		gf	ge=-hge
11,2	13,2	qp	mS-gS	fg-gg		gf	hbng=
13,2	14,5	qp	mS-gS	fg-mg		gf	hgrwe=
14,5	15,2	qp	mS-gS	fg-gg		gf	hgrwe
15,2	17,2	qp	S-U	t,g,k,^kr2	H3-2	Mg	dgr
17,2	19,2	qp	S-U	t,g,k,vos(^kr)	H3-2	Mg	hgr-gr
19,2	21,3	qp,qD?,qNI?	S-U	t,g,k	H3-3	Mg	hgr
21,3	23,1	qp	S-U	t,g,k,eds(Seeigelreste)	H3-3	Mg	gr-hgr
23,1	24,0	qp	fS-gS	kB(G,Mg)		gf	gr
24,0	25,8	qp	S-U	t,g,k	H3-3	Mg	hgr-gr
25,8	27,5	qp,qD?	fS-mS	u,gs,g,k	H3-3	Mg(P-s4)	gr
27,5	29,4	qp	U	ffs,k		gf	dbn-hgr
29,4	31,5	qp	U	ffs,k		gf(P-ssf)	dbngr
31,5	33,0	qp	U	ffs,k		gf	dbngr
33,0	35,4	qp	ffS	u,k		gf	dbngr

Bohrsäulendarstellung

6234 B467

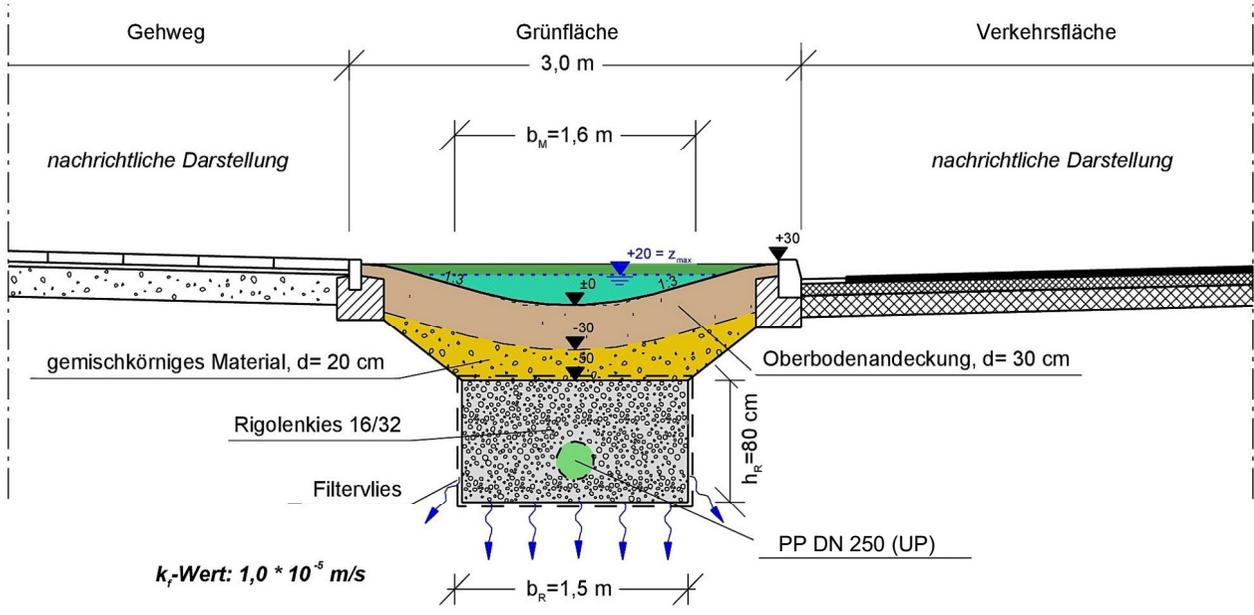
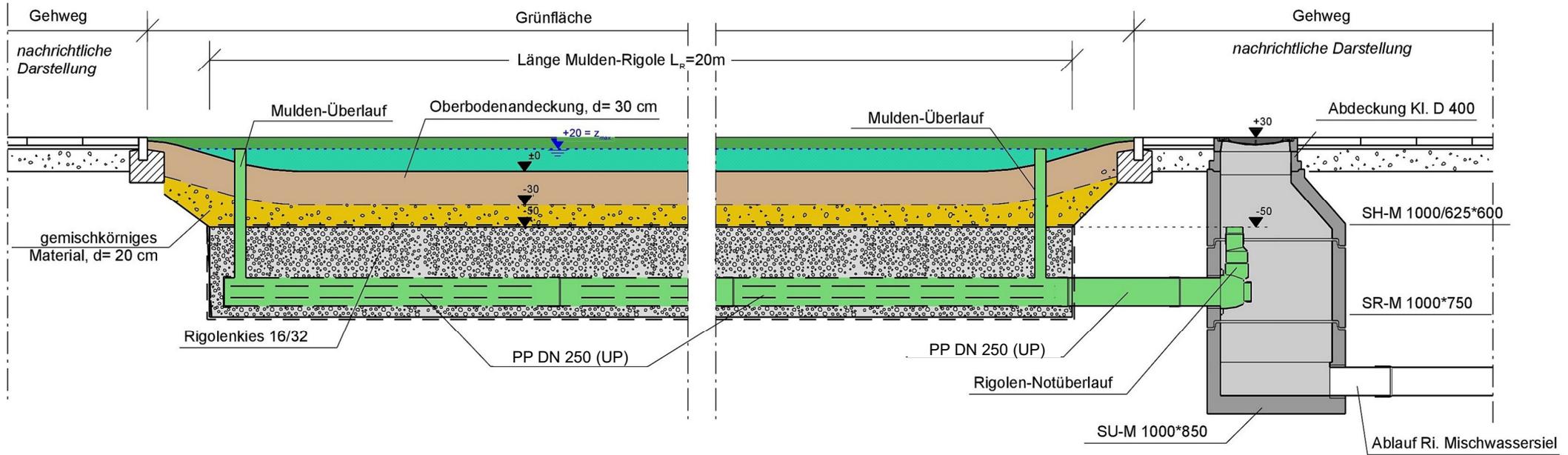


Die Farben und Schraffuren in der Bohrsäule werden in Anlehnung an die DIN 4023 dargestellt.

Das geschlossene Dreieck (▼) links neben der Bohrsäule markiert den mittleren Grundwasserstand, der aus dem Gleichenplan 2010 berechnet worden ist. Das offene Dreieck markiert einen oder mehrere Wasserstände, die bei der Bohrung angetroffen wurden.

Wenn der Cursor über einer Schicht der Bohrsäule oder über einem Wasserstands-Dreieck positioniert wird, erscheinen weitergehende Informationen.

Das Geologische Landesamt Hamburg (GLA) ist zuständig für die Sammlung, Archivierung und Interpretation von Bohrungsdaten aus dem Hamburger Stadtgebiet. Über das Bohrdatenportal wird ein allgemeiner Zugriff auf Bohrungen der Stadt Hamburg ermöglicht. Der Zugriff auf die hier veröffentlichten Geologiedaten ist kostenfrei. Für die inhaltliche Richtigkeit der in der Datenbank enthaltenen Daten übernimmt das GLA keine Gewähr. Aus datenschutzrechtlichen Gründen ist die Freigabe privater Bohrungen, d. h. Bohrungen privater Auftraggeber, nicht gestattet. Eine Weitergabe der Daten an Dritte ist nicht zulässig. Der Bohrdatenbestand wird kontinuierlich verbessert und erweitert. Für Hinweise auf Fehler oder neue Bohrdaten aus dem Hamburger Stadtgebiet wären wir dankbar. Informationen über Bohrungen außerhalb Hamburgs finden Sie in der "Bohrpunktkarte Deutschland" der Geologischen Dienste. Weitere Informationen zur Geologie von Hamburg finden Sie unter www.hamburg.de/geologie.



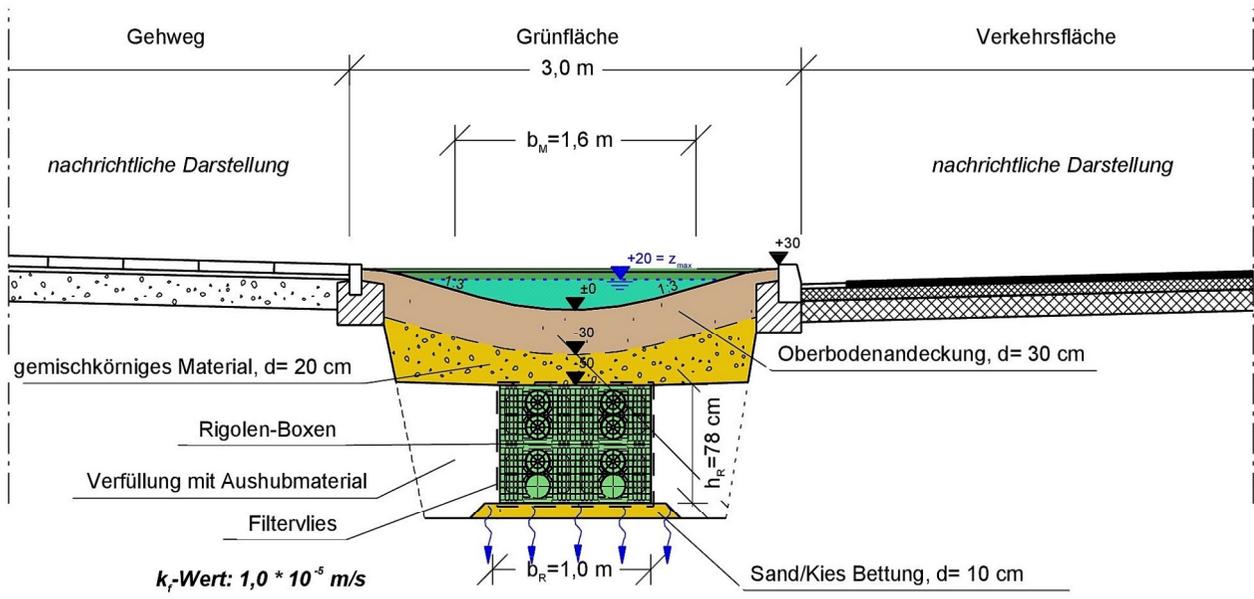
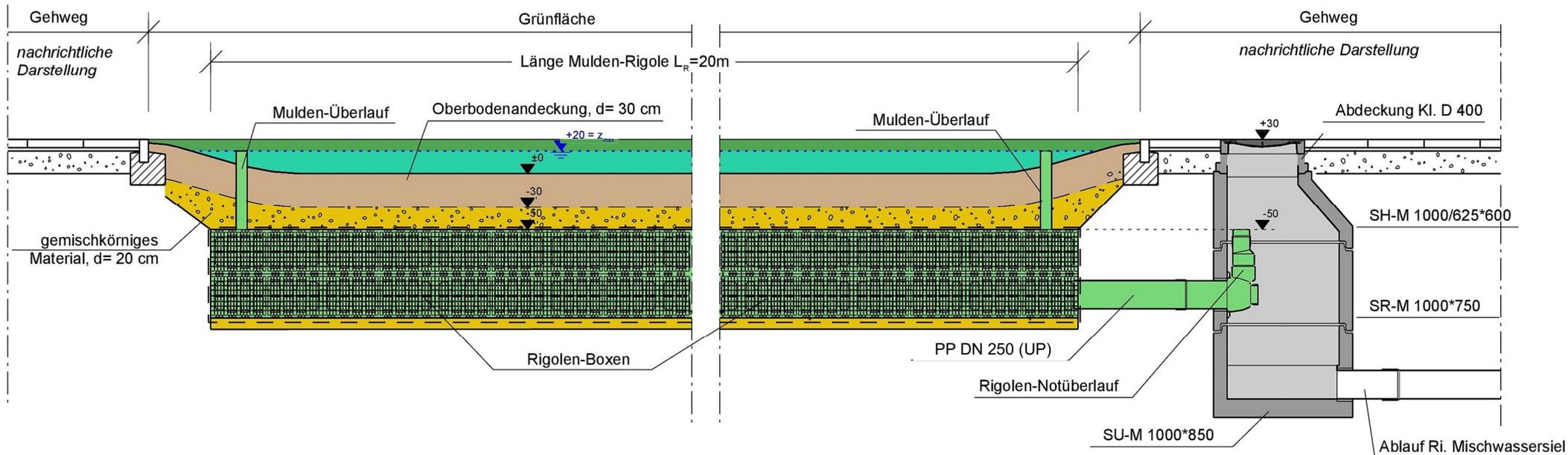
SYSTEMSKIZZE

Mulden-Rigolen Element

Variante A: Kies-Rigole

Anlage 4_3, Seite 1

M 1 : 50



SYSTEMSKIZZE

Mulden-Rigolen Element

Variante A: Kunststoff-Rigole

Anlage 4_3, Seite 2

M 1 : 50

Vordimensionierung Mulden-Rigolen-Element

nach Arbeitsblatt DWA-A 138

Projekt:	Bilanzierung Mulden-Rigolen
Abschnitt:	Hamburg Königstraße
Variante:	A: Kies-Rigole, Berechnung für eine Länge von 100 m

KOSTRA-DWD-Rasterfeld: Spalte: 35 Zeile: 23

Mulden-Rigolen-Element: 30 cm Mulde, Kiesrigole mit Sickerrohr DN 250

Eingabedaten Mulde:

Einzugsgebietsfläche	A_E	[m ²]	2150
Abflussbeiwert gem. Tabelle 2 (DWA-A 138)	ψ_m	-	1
undurchlässige Fläche	A_u	[m ²]	2150
gewählte Versickerungsfläche der Mulde	$A_{s,M}$	[m ²]	160
gewählte Muldenbreite	b_M	[m]	1,6
Durchlässigkeitsbeiwert des Muldenbettes	$k_{f,M}$	[m/s]	5,00E-05
Bemessungshäufigkeit Mulde	n_M	[1/Jahr]	1
Zuschlagsfaktor Mulde	$f_{z,M}$	-	1,2

Muldenberechnung:

$$V = \left[(A_u + A_s) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - A_s \cdot \frac{k_f}{2} \right] \cdot D \cdot 60 \cdot f_z$$

Regendaten Muldenberechnung		Muldenvolumen
D	$r_{D,n}$	V_M
[min]	[l/(s*ha)]	[m ³]
10	125	17,91
15	103,3	21,45
20	88,3	23,61
30	68,9	25,74
45	51,5	25,58
60	41,1	23,73
90	30,4	19,59

Ergebnisse Muldenbemessung:			
maßg. Regendauer	D	[min]	30
maßg. Regenspende	$r_{D,n}$	[l/s*ha]	68,90
erforderliches Muldenvolumen	erf. V_M	[m ³]	25,74
gewähltes Muldenvolumen	gew. V_M	[m ³]	36,0
Einstauhöhe	z_M	[m ²]	0,23
vorhandene Muldenfläche	$A_{s,M}$	[m ²]	160,0
Nachweis der Entleerungszeit:	t_E	[h]	2,5

< 24 h

NW erfüllt!

Eingabedaten Rigole

undurchlässige Fläche direkt an Rigole	$A_{u,R}$	[m ²]	0
gewählte Breite der Rigole	b_R	[m]	1,5
gewählte Höhe der Rigole	h_R	[m]	0,8
Speicherkoefizient des Füllmaterials der Rigole	s_R	[-]	0,35
Außendurchmesser Rohr(e) in der Rigole	d_a	[m]	0,21
Innendurchmesser Rohr(e) in der Rigole	d_i	[m]	0,2
gewählte Anzahl der Rohre in der Rigole	a	[-]	1
Gesamtspeicherkoefizient	s_{RR}	[-]	0,37
flächenspez. Drosselabfluss	$Q_{Dr,A}$	[l/s*ha]	0
mittlerer Drosselabfluss aus der Rigole	Q_{Dr}	[m ³ /s]	0
Durchlässigkeitsbeiwert der gesättigten Zone	k_f	[m/s]	1,00E-05
Bemessungshäufigkeit Rigole	n_R	[-]	0,2
Zuschlagsfaktor Rigole	$f_{z,R}$	[-]	1,2

Rigolenberechnung:

$$l_R = \frac{(A_u + A_{S,M}) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - Q_{Dr} - \frac{V_M}{D \cdot 60 \cdot f_Z}}{\frac{b_R \cdot h_R \cdot s_{RR}}{D \cdot 60 \cdot f_Z} + \left(b_R + \frac{h}{2}\right) \cdot \frac{k_f}{2}}$$

Regendaten Rigolenberechnung		Berechnung Rigolen Länge	
D	$r_{D,n}$		L_R
[min]	[l/(s*ha)]		[m]
120	41		87,1
180	29,7		93,3
240	23,7		96,4
360	17,2		97,0
540	12,5		93,8
720	9,9		88,2
1080	7,2		78,9

Ergebnisse Rigolenberechnung:			
maßg. Regendauer	D	[min]	360
maßg. Regenspende	$r_{D,n}$	[l/s*ha]	17,2
erforderliche Rigolen-Länge	erf. L_R	[m]	97,05
gew. Rigolen Länge	gew. L_R	[m]	100,0

> 97,05
NW erfüllt!

Vordimensionierung Mulden-Rigolen-Element

nach Arbeitsblatt DWA-A 138

Projekt:	Bilanzierung Mulden-Rigolen
Abschnitt:	Hamburg Königstraße
Variante:	B: Kunststoff-Rigole, Berechnung für eine Länge von 100 m

KOSTRA-DWD-Rasterfeld: Spalte: 35 Zeile: 23

Mulden-Rigolen-Element: 30 cm Mulde, Kunststoffrigole

Eingabedaten Mulde:

Einzugsgebietsfläche	A_E	[m ²]	2150
Abflussbeiwert gem. Tabelle 2 (DWA-A 138)	ψ_m	-	1
undurchlässige Fläche	A_u	[m ²]	2150
gewählte Versickerungsfläche der Mulde	$A_{s,M}$	[m ²]	160
gewählte Muldenbreite	b_M	[m]	1,6
Durchlässigkeitsbeiwert des Muldenbettes	$k_{f,M}$	[m/s]	5,00E-05
Bemessungshäufigkeit Mulde	n_M	[1/Jahr]	1
Zuschlagsfaktor Mulde	$f_{z,M}$	-	1,2

Muldenberechnung:

$$V = \left[(A_u + A_s) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - A_s \cdot \frac{k_f}{2} \right] \cdot D \cdot 60 \cdot f_z$$

Regendaten Muldenberechnung		Muldenvolumen
D	$r_{D,n}$	V_M
[min]	[l/(s*ha)]	[m3]
10	125	17,91
15	103,3	21,45
20	88,3	23,61
30	68,9	25,74
45	51,5	25,58
60	41,1	23,73
90	30,4	19,59

Ergebnisse Muldenbemessung:			
maßg. Regendauer	D	[min]	30
maßg. Regenspende	$r_{D,n}$	[l/s*ha]	68,90
erforderliches Muldenvolumen	erf. V_M	[m ³]	25,74
gewähltes Muldenvolumen	gew. V_M	[m ³]	26,0
Einstauhöhe	z_M	[m ²]	0,16
vorhandene Muldenfläche	$A_{s,M}$	[m ²]	160,0
Nachweis der Entleerungszeit:	t_E	[h]	1,8

< 24 h

NW erfüllt!

Eingabedaten Rigole

undurchlässige Fläche direkt an Rigole	$A_{u,R}$	[m ²]	0
gewählte Breite der Rigole	b_R	[m]	1
gewählte Höhe der Rigole	h_R	[m]	0,78
Speicherkoefizient des Füllmaterials der Rigole	s_R	[-]	0,95
Außendurchmesser Rohr(e) in der Rigole	d_a	[m]	0,26
Innendurchmesser Rohr(e) in der Rigole	d_i	[m]	0,25
gewählte Anzahl der Rohre in der Rigole	a	[-]	1
Gesamtspeicherkoefizient	s_{RR}	[-]	0,95
flächenspez. Drosselabfluss	$Q_{Dr,A}$	[l/s*ha]	0
mittlerer Drosselabfluss aus der Rigole	Q_{Dr}	[m ³ /s]	0
Durchlässigkeitsbeiwert der gesättigten Zone	k_f	[m/s]	1,00E-05
Bemessungshäufigkeit Rigole	n_R	[-]	0,2
Zuschlagsfaktor Rigole	$f_{z,R}$	[-]	1,2

Rigolenberechnung:

$$l_R = \frac{(A_u + A_{S,M}) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - Q_{Dr} - \frac{V_M}{D \cdot 60 \cdot f_Z}}{\frac{b_R \cdot h_R \cdot s_{RR}}{D \cdot 60 \cdot f_Z} + \left(b_R + \frac{h}{2}\right) \cdot \frac{k_f}{2}}$$

Regendaten Rigolenberechnung		Berechnung Rigolen Länge	
D	$r_{D,n}$		L_R
[min]	[l/(s*ha)]		[m]
180	29,7		75,7
240	23,7		79,7
360	17,2		83,6
540	12,5		85,3
720	9,9		84,0
1080	7,2		80,6
1440	5,8		77,3

Ergebnisse Rigolenberechnung:			
maßg. Regendauer	D	[min]	540
maßg. Regenspende	$r_{D,n}$	[l/s*ha]	12,5
erforderliche Rigolen-Länge	erf. L_R	[m]	85,31
gew. Rigolen Länge	gew. L_R	[m]	100,0

> 85,31
NW erfüllt!

Datengrundlage - Bauleistungen

techn. Rigolen-Bau

Bauteil	Leistung	Zeitaufwand [h/m]	Baugerät	Dieserverbrauch [kg/m]
PP DN 250 SN 10	Kunststoffrohr verlegen DN 250	0,01	65 KW Bagger	0,0780
SU-M 1000x800	SU-M 800 herstellen	2,1	65 KW Bagger	16,3800
SR-M 1000x750	SR-M 750 herstellen	1,3	65 KW Bagger	10,1400
SH-M 1000x625x600	SH-M 600 herstellen	1,9	65 KW Bagger	14,8200
Abdeckung 625 D 400	Abdeckung Kl. D 400 herstellen	1	65 KW Bagger	7,8000
kein Datensatz!	kein Datensatz!	0	-	0,0000

Erdbau

Baustoff	Leistung	Zeitaufwand [h/m3]	Baugerät	Dieserverbrauch [kg/m3]
Grabenaushub	Grabenaushub	0,05	65 KW Bagger	0,3900
Sand/Kies-Gemisch	Sand/Kies-Gemisch herstellen	0,2	65 KW Bagger	1,5600
Rigolen-Kies	Rigole aus Kies herstellen	0,2	65 KW Bagger	1,5600
Oberboden	Oberbodenandeckung	0,4	65 KW Bagger	3,1200
Leitungszone	Leitungszone	1	65 KW Bagger	7,8000
Verfüllung	Verfüllung	0,4	65 KW Bagger	3,1200
Verdrängter Boden	Verdrängter Boden	0,07	65 KW Bagger	0,5460
Rasen	Mahd	0,03	Rasenmäher	0,0108
Hochdruckspülung	Hochdruckspülung	0,008	Saug-/Spülfahrzeug	0,1680

Datengrundlage - Bauteile/Baustoffe**Baustoffe**

Name	Gewicht	Transportentfernung	ÖKOBAUDAT
	[kg/m]	km	
PP DN 250 SN 10	7,4	350	Polypropylen-Rohr (PP)
Rigolen-Füllkörper PP	44	350	Polypropylen-Rohr (PP)
Filtervlies aus PP	0,15	350	PE/PP Vlies
SU-M 1000x800	1500	50	Betonrohr, unbewehrt
SR-M 1000x750	792	50	Betonrohr, unbewehrt
SH-M 1000x625x600	600	50	Betonrohr, unbewehrt
Abdeckung 625 D 400	178	50	Abdeckung
Steigeisen	3	50	Grauguss Bauteil
Hochdruckspülung	1	0	kein Datensatz!
kein Datensatz!	0	0	kein Datensatz!

Erd- und Oberbau

Name	Gewicht	Transportentfernung	
	[kg/m3]	km	
Rigolen-Kies	1800	30	Kies 2/32
Sand/Kies-Gemisch	1800	30	Kies 2/32
Oberboden	1800	30	Kies 2/32
Rasen	1	0	kein Datensatz!
Grabenaushub	1800		
Leitungszone	1800	30	Kies 2/32
Verfüllung	1800		
Verdrängter Boden	1800	30	
Asphalteinbau	2400	50	Asphalttragschicht

Datengrundlage - Ökologische Daten aus ÖKOBAUDAT

Baustoffe Rohrleitungsbau:

kg Faktor: 1

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C2	C3	D
Betonrohr, unbewehrt	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	0,1322	0,0028	0,0073	-0,0021
Betonrohr, unbewehrt	PERT	[MJ/kg]	0,1710	0,0022	0,0132	-0,0078
Betonrohr, unbewehrt	PENRT	[MJ/kg]	0,6443	0,0374	0,1218	-0,0274
Betonrohr, unbewehrt	PEGESAMT	[MJ/kg]	0,8153	0,0396	0,1350	-0,0352

ÖKOBAUDAT: **Betonrohr, unbewehrt**

qm Faktor: 6,666666667

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C2	C3	D
PE/PP Vlies	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	8,4035	0,0093	12,5616	-5,6853
PE/PP Vlies	PERT	[MJ/kg]	18,1543	0,0073	0,4163	-23,7923
PE/PP Vlies	PENRT	[MJ/kg]	295,4013	0,1248	2,0249	-83,1920
PE/PP Vlies	PEGESAMT	[MJ/kg]	313,5557	0,1320	2,4412	-106,9843

ÖKOBAUDAT: **PE/PP Vlies**

kg Faktor: 1

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C2	C3	D
Polypropylen-Rohr (PP)	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	2,6198	0,0060	3,2233	-1,4655
Polypropylen-Rohr (PP)	PERT	[MJ/kg]	8,6520	0,0048	0,0948	-6,1305
Polypropylen-Rohr (PP)	PENRT	[MJ/kg]	83,6074	0,0821	0,4983	-21,4447
Polypropylen-Rohr (PP)	PEGESAMT	[MJ/kg]	92,2594	0,0869	0,5931	-27,5752

ÖKOBAUDAT: **Polypropylen-Rohr (PP)**

kg Faktor: 1

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C2	C3	D
Grauguss Bauteil	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	1,6354	0,0028	0,0000	0,0953
Grauguss Bauteil	PERT	[MJ/kg]	3,7794	0,0022	0,0000	-0,0822
Grauguss Bauteil	PENRT	[MJ/kg]	15,4792	0,0374	0,0000	0,7207
Grauguss Bauteil	PEGESAMT	[MJ/kg]	19,2586	0,0396	0,0000	0,6384

ÖKOBAUDAT: **Grauguss Bauteil**

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C2	C3	D
Abdeckung	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	0,8838	0,0028	0,0037	0,0466
Abdeckung	PERT	[MJ/kg]				
Abdeckung	PENRT	[MJ/kg]				
Abdeckung	PEGESAMT	[MJ/kg]	10,0369	0,0396	0,0675	0,3016

EIGEN: **Abdeckung** Datensatz für Abdeckung je 50 % Betonrohr, unbewehrt und Grauguss Bauteil

kg Faktor: 1

Name	Indikator	Einheit	A1-A3	C2	C3	D
Kies 2/32	GWP	[kg CO2 Eq./kg]	0,0029	0,0026	0,0067	-0,0021
Kies 2/32	PERT	[MJ/kg]	0,0121	0,0020	0,0121	-0,0078
Kies 2/32	PENRT	[MJ/kg]	0,0381	0,0343	0,1117	-0,0274
Kies 2/32	PEGESAMT	[MJ/kg]	0,0502	0,0363	0,1237	-0,0352

ÖKOBAUDAT: **Kies 2/32**

Ökodaten für Errichtungsphase:

kgkm Faktor: 0,001

Name	Indikator	Einheit	A4			
LKW	GWP	[kg CO2 Eq./kgkm]	0,0001			
LKW	PERT	[MJ/kgkm]	0,0000			
LKW	PENRT	[MJ/kgkm]	0,0012			
LKW	PEGESAMT	[MJ/kgkm]	0,0012			

ÖKOBAUDAT: **LKW**

m3

Faktor:

3,235198965

Name	Indikator	Einheit	A5			
Bagger 100 kW Aushub	GWP	[kg CO2 Eq./kgDiesel]	4,1863			
Bagger 100 kW Aushub	PERT	[MJ/kgDiesel]	0,0000			
Bagger 100 kW Aushub	PENRT	[MJ/kgDiesel]	56,6626			
Bagger 100 kW Aushub	PEGESAMT	[MJ/kgDiesel]	56,6626			

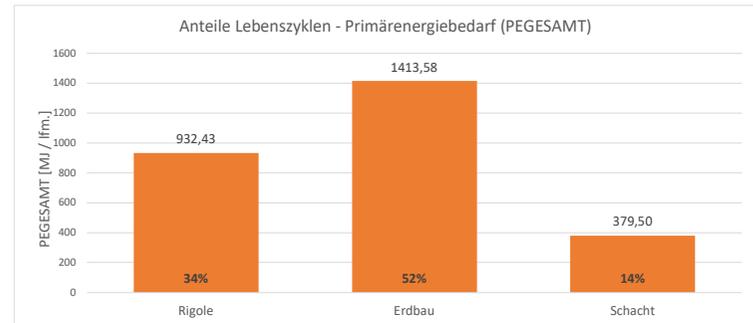
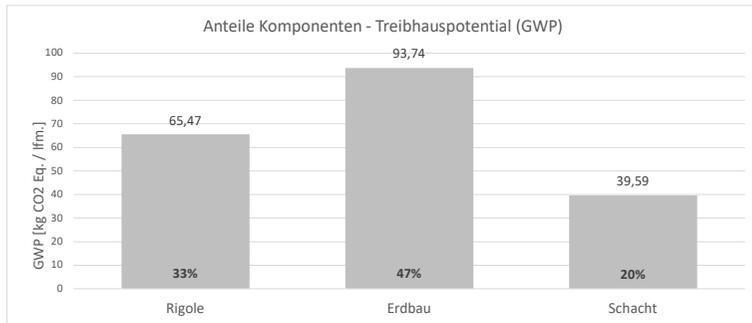
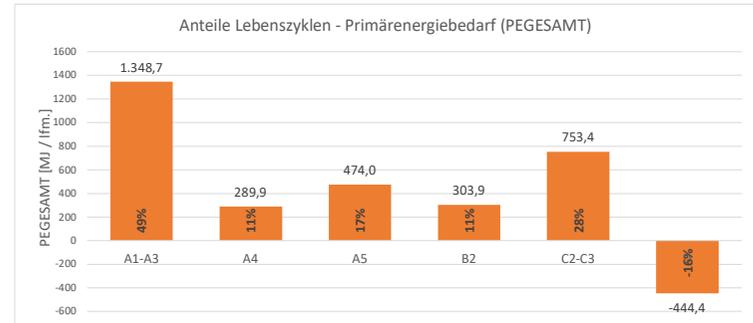
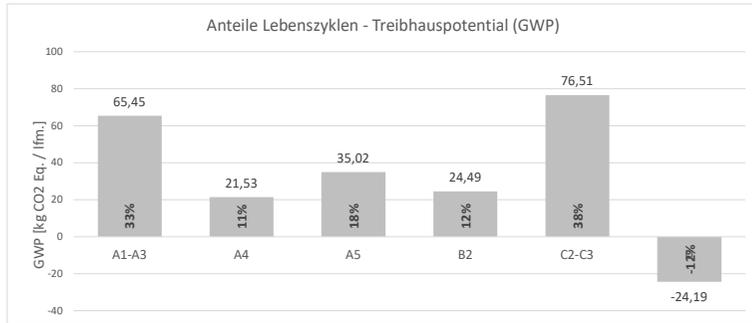
ÖKOBAUDAT:

Bagger 100 kW Aushub

Bilanzierung Mulden-Rigolen Element - Variante A (Kies-Rigole)

Nutzungsdauer 30 a Spülintervall 1 a

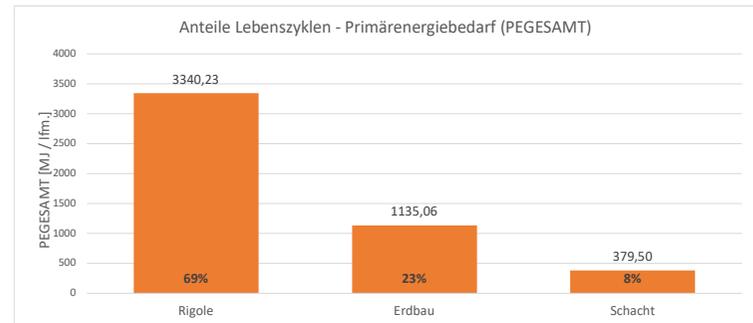
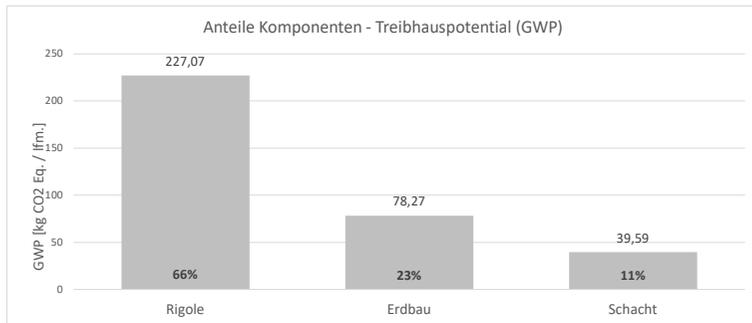
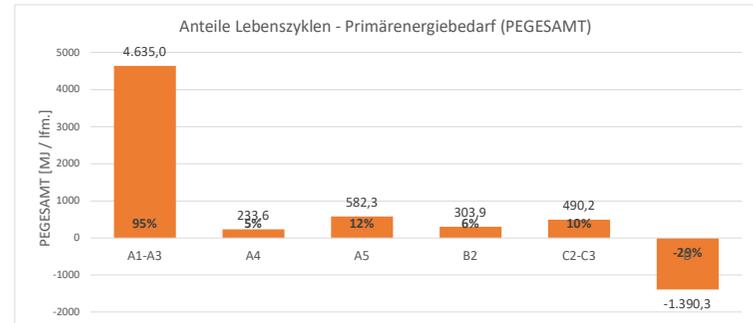
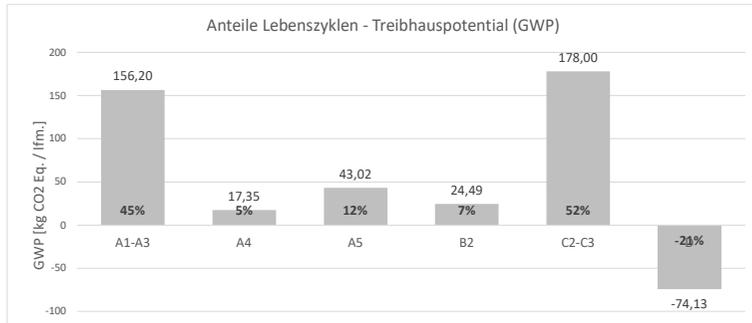
	Menge	Einheit	Baustoff	A4		ÖKOBAUDAT	Leistung	A5/B2	A5/B2	Wirkungskategorien																	
				Gew.	Transp.			Zeit.	Baugerät	Diesel	GWP	in [kg CO2 Eq.]															
				[kg/Einh]	[km]			[h/m]			A1-A3	A4	A5	B2	C2-C3	D	Gesamt	%	PEGESAMT								
																				A1-A3	A4	A5	B2	C2-C3	D	Gesamt	%
Rigole																											
Vollsickerrohr PP	1	[m]	PP DN 250 SN 10	7,4	350	Polypropylen-Rohr (PP)	Kunststoffrohr verlegen DN 250	0,01	65 KW Bagger	0,08	19,39	0,23	0,33		23,90	-10,84	33,00	17%	682,72	3,13	4,42			5,03	-204,06	491,24	18%
Filter Vlies	4,95	[m²]	Filtervlies aus PP	0,15	350	PE/PP Vlies	kein Datensatz!	0,00	-	0,00	6,24	0,02	0,00		9,33	-4,22	11,38	6%	232,82	0,31	0,00			1,91	-79,44	155,60	6%
Hochdruckspülung	1	[m]	Hochdruckspülung				Hochdruckspülung	0,01	Saug-/Spülfahrzeug	0,17				21,10			21,10	11%				285,58				285,58	10%
																	65,47	33%								932,43	34%
Erdbau																											
Grabenaushub	1,75	[m³]	Grabenaushub	1800	0		Grabenaushub	0,05	65 KW Bagger	0,39				2,86			2,86	1%				38,67				38,67	1%
Kies für Rigole	1,15	[m³]	Rigolen-Kies	1800	30	Kies 2/32	Rigole aus Kies herstellen	0,20	65 KW Bagger	1,56	5,91	5,57	7,51		19,21	-4,25	33,94	17%	103,95	75,00	101,65			331,30	-72,92	538,98	20%
Sand/Kies-Gemisch	0,55	[m³]	Sand/Kies-Gemisch	1800	30	Kies 2/32	Sand/Kies-Gemisch herstellen	0,20	65 KW Bagger	1,56	2,83	2,66	3,59		9,19	-2,03	16,23	8%	49,71	35,87	48,62			158,45	-34,87	257,77	9%
Oberboden	0,8	[m²]	Sand/Kies-Gemisch	1800	30	Kies 2/32	Oberbodenandeckung	0,40	65 KW Bagger	3,12	4,11	3,87	10,45		13,36	-2,96	28,84	15%	72,31	52,18	141,43			230,47	-50,73	445,66	16%
Verdrängter Boden	1,75	[m³]	Verdrängter Boden	1800	30		Verdrängter Boden	0,07	65 KW Bagger	0,55			8,48				8,48	4%			114,14				114,14	4%	
Rasen	2,5	[m²]	Rasen				Mahd	0,03	Rasenmäher	0,01				3,39			3,39	2%				18,36			18,36	1%	
																	93,74	47%							1413,58	52%	
Schacht																											
Schachtunterteil	0,05	[St]	SU-M 1000x800	1500	50	Betonrohr, unbewehrt	SU-M 800 herstellen	2,10	65 KW Bagger	16,38	9,91	0,34	3,43		0,76	-0,15	14,28	7%	61,14	4,53	46,41		13,09	-2,64	122,53	4%	
Schachtring	0,05	[St]	SR-M 1000x750	792	50	Betonrohr, unbewehrt	SR-M 750 herstellen	1,30	65 KW Bagger	10,14	5,23	0,18	2,12		0,40	-0,08	7,85	4%	32,28	2,39	28,73		6,91	-1,39	68,92	3%	
Schachthals	0,05	[St]	SH-M 1000x625x600	600	50	Betonrohr, unbewehrt	SH-M 600 herstellen	1,90	65 KW Bagger	14,82	3,97	0,13	3,10		0,30	-0,06	7,44	4%	24,46	1,81	41,99		5,24	-1,06	72,44	3%	
Abdeckung	0,05	[St]	Abdeckung 625 D 400	178	50	Abdeckung	Abdeckung Kl. D 400 herstellen	1,00	65 KW Bagger	7,80	7,87	0,04	1,63		0,06	0,41	10,01	5%	89,33	0,54	22,10		0,95	2,68	115,60	4%	
																	39,59	20%							379,50	14%	
											65,45	21,53	35,02	24,49	76,51	-24,19	198,80		1348,72	289,90	474,01	303,94	753,35	-444,42	2725,50		



Bilanzierung Mulden-Rigolen Element - Variante B (Kunststoff-Rigole)

Nutzungsdauer 30 a Spülintervall 1 a

	Menge	Einheit	Baustoff	A4	Gew. Transp.	ÖKOBAUDAT	Leistung	A5/B2 Zeit.	Baugerät	A5/B2 Diesel	Wirkungskategorien																
											GWP		in [kg CO2 Eq.]						PEGESAMT		in [MJ]						
Rigole											A1-A3	A4	A5	B2	C2-C3	D	Gesamt	%	A1-A3	A4	A5	B2	C2-C3	D	Gesamt	%	
Kunststofffüllkörper	1	[m]	Rigolen-Füllkörper PP	44	350	Polypropylen-Rohr (PP)	Kunststoff-Rigole verlegen	0,01	65 KW Bagger	0,08	115,27	1,38	0,33		142,09	-64,48	194,59	61%	4059,41	18,60	4,42			29,92	-1213,31	2899,05	64%
Filter Vlies	4,95	[m²]	Filtervlies aus PP	0,15	350	PE/PP Vlies	kein Datensatz!	0,00	-	0,00	6,24	0,02	0,00		9,33	-4,22	11,38	4%	232,82	0,31	0,00			1,91	-79,44	155,60	3%
Hochdruckspülung	1	[m]	Hochdruckspülung				Hochdruckspülung	0,01	Saug-/Spülfahrzeug	0,17				21,10			21,10	6%				285,58				285,58	6%
																	227,07	66%								3340,23	69%
Erdbau																											
Grabenaushub	2,65	[m³]	Grabenaushub	1800	0	0	Grabenaushub	0,05	65 KW Bagger	0,39			4,33				4,33	1%			58,56					58,56	1%
Sand/Kies-Gemisch	0,7	[m³]	Sand/Kies-Gemisch	1800	30	Kies 2/32	Sand/Kies-Gemisch herstellen	0,20	65 KW Bagger	1,56	3,60	3,39	4,57		11,69	-2,59	20,66	6%	63,27	45,65	61,88		201,66	-44,39	328,08	7%	
Oberboden	0,8	[m²]	Sand/Kies-Gemisch	1800	30	Kies 2/32	Oberbodenandeckung	0,40	65 KW Bagger	3,12	4,11	3,87	10,45		13,36	-2,96	28,84	9%	72,31	52,18	141,43		230,47	-50,73	445,66	10%	
Verfüllung	1	[m²]	Verdrängter Boden	1800	30	0	Verfüllung	0,40	65 KW Bagger	3,12			13,06				13,06	4%			176,79				176,79	4%	
Verdrängter Boden	1,65	[m²]	Verdrängter Boden	1800	30	0	Verdrängter Boden	0,07	65 KW Bagger	0,55		7,99					7,99	2%		107,61					107,61	2%	
Rasen	2,5	[m²]	Rasen				Mahd	0,03	Rasenmäher	0,01				3,39			3,39	1%				18,36			18,36	0%	
																	78,27	23%							1135,06	23%	
Schacht																											
Schachtunterteil	0,05	[St]	SU-M 1000x800	1500	50	Betonrohr, unbewehrt	SU-M 800 herstellen	2,10	65 KW Bagger	16,38	9,91	0,34	3,43		0,76	-0,15	14,28	4%	61,14	4,53	46,41		13,09	-2,64	122,53	3%	
Schachtring	0,05	[St]	SR-M 1000x750	792	50	Betonrohr, unbewehrt	SR-M 750 herstellen	1,30	65 KW Bagger	10,14	5,23	0,18	2,12		0,40	-0,08	7,85	2%	32,28	2,39	28,73		6,91	-1,39	68,92	1%	
Schachthals	0,05	[St]	SH-M 1000x625x600	600	50	Betonrohr, unbewehrt	SH-M 600 herstellen	1,90	65 KW Bagger	14,82	3,97	0,13	3,10		0,30	-0,06	7,44	2%	24,46	1,81	41,99		5,24	-1,06	72,44	1%	
Abdeckung	0,05	[St]	Abdeckung 625 D 400	178	50	Abdeckung	Abdeckung Kl. D 400 herstellen	1,00	65 KW Bagger	7,80	7,87	0,04	1,63		0,06	0,41	10,01	3%	89,33	0,54	22,10		0,95	2,68	115,60	2%	
																	39,59	11%							379,50	8%	
											156,20	17,35	43,02	24,49	178,00	-74,13	344,93		4635,03	233,63	582,29	303,94	490,16	-1390,27	4854,78		



Varianten-Vergleich Mulden-Rigolen Element

	Wirkungskategorien															
	GWP								PEGESAMT							
	in [kg CO2 Eq.]								in [MJ]							
	A1-A3	A4	A5	B2	C2-C3	D	Gesamt	%	A1-A3	A4	A5	B2	C2-C3	D	Gesamt	%
Variante A																
Rigole	25,63	0,26	0,33	21,10	33,23	-15,07	65,47		915,53	3,44	4,42	285,58	6,94	-283,49	932,43	
Erdbau	12,84	20,58	24,41	3,39	41,75	-9,24	93,74		225,97	277,19	330,37	18,36	720,21	-158,52	1413,58	
Schacht	26,98	0,69	10,29	0,00	1,52	0,12	39,59		207,21	9,27	139,22	0,00	26,20	-2,41	379,50	
Gesamt:	65,45	21,53	35,02	24,49	76,51	-24,19	198,80	100%	1348,72	289,90	474,01	303,94	753,35	-444,42	2725,50	100%
Variante B																
Rigole	121,51	1,40	0,33	21,10	151,43	-68,70	227,07		4292,23	18,91	4,42	285,58	31,83	-1292,74	3340,23	
Erdbau	7,71	15,26	32,41	3,39	25,05	-5,55	78,27		135,58	205,45	438,65	18,36	432,13	-95,11	1135,06	
Schacht	26,98	0,69	10,29	0,00	1,52	0,12	39,59		207,21	9,27	139,22	0,00	26,20	-2,41	379,50	
Gesamt:	156,20	17,35	43,02	24,49	178,00	-74,13	344,93	174%	4635,03	233,63	582,29	303,94	490,16	-1390,27	4854,78	178%

