



# Information

Nr. 26

**Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei grabenloser und offener  
Verlegung von Vortriebsrohren D<sub>e</sub> 3000  
für das Projekt Czajka, Warschau, Polen**

Mai 2011

Mag. Mag. Victor Vladimirov, HOBAS Engineering GmbH,  
mit kritische Begutachtung  
Prof. Jens Höllerhoff, Vorstandsvorsitzender GSTT e.V.

**NO DIG – warum Gräben aufreißen, wenn es bessere Lösungen gibt!**

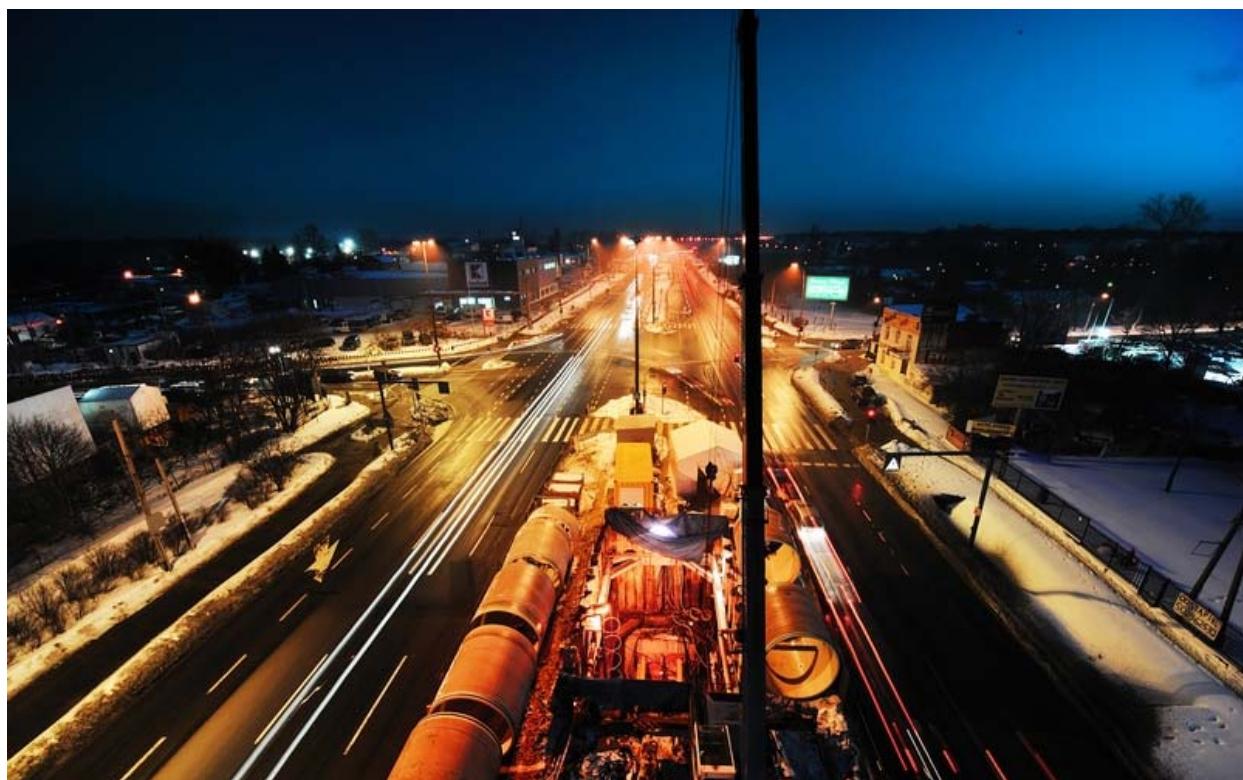


# **HOBAS®**

Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei grabenloser und offener Verlegung.

Verlegung von Vortriebsrohren D<sub>e</sub> 3000 für das  
**Projekt Czajka, Warschau, Polen**

Mai 2011



GERMAN SOCIETY FOR TRENCHLESS TECHNOLOGY E.V.

Affiliated society of ISTM

## **CO<sub>2</sub>-Emissionen Umweltbericht**

Autor – Mag. Mag. Victor Vladimirov, HOBAS Engineering GmbH  
Kritische Begutachtung – Prof. Jens Höllerhoff, Vorsitzender GSTT e.V  
Erschienen – 17. Mai 2011



## INHALT

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Einführung                                 | 4  |
| 2.  | Das Projekt                                | 6  |
| 2.1 | Ziel der Studie                            | 7  |
| 2.2 | Gegenstand der Studie                      | 7  |
| 2.3 | Datenquellen                               | 8  |
| 2.4 | Berechnungsmodell                          | 9  |
| 2.5 | Kritische Begutachtung                     | 10 |
| 3.  | Produktion                                 | 11 |
| 4.  | Transport vor der Verlegung                | 14 |
| 5   | Verlegung                                  | 17 |
| 5.1 | Grabenlose Verlegung                       | 17 |
| 5.2 | Offene Verlegung                           | 18 |
| 6   | Verkehr                                    | 20 |
| 7   | Ergebnisse                                 | 26 |
| 7.1 | Gesamtmenge an CO <sub>2</sub> -Emissionen | 26 |
| 7.2 | Produktionsemissionen                      | 27 |
| 7.3 | Transport vor der Verlegung                | 28 |
| 7.4 | Durch die Verlegung verursachte Emissionen | 29 |
| 7.5 | Verkehrsemissionen                         | 31 |
| 8   | Schlussfolgerungen                         | 33 |
| 9   | Kritische Begutachtung                     | 35 |
| 10  | Literaturverzeichnis                       | 37 |

## 1. Einführung

Angesichts der Herausforderungen des Klimawandels ist es notwendig, dass überall auf der Welt Stadtverwaltungen neue Wege beschreiten, um öffentliche Dienstleistungen zu erbringen, den Entwicklungsbedürfnissen gerecht zu werden und den Schutz der Umwelt zu gewährleisten. Eine noch größere Bedeutung erhält diese Thematik im Zusammenhang mit städtischen Gebieten und Ballungsräumen.

Die im vergangenen Jahrhundert einsetzende starke Wirtschaftsentwicklung und die steigende private Motorisierung stellten wesentliche Antriebskräfte für das urbane Wachstum in vielen Teilen der Welt dar. Der Beseitigung oder Vermeidung der damit einhergehenden Umweltfolgen wurde meist keine besondere Aufmerksamkeit geschenkt, ebenso wie strategische Entscheidungen zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen zunächst meist außer Acht gelassen wurden. Die Folgen dieser unausgeglichenen Entwicklung sind Luftverschmutzung, Verkehrsstaus, fehlende Infrastruktur und soziale Probleme sowie die damit verbundenen Kosten.



Was Infrastrukturprojekte anbelangt, können Grabungsarbeiten im Zuge der Errichtung oder Sanierung von Abwasserkanälen erhebliche Schäden an den Ökosystemen anrichten und Verkehrsstörungen verursachen, die höhere Kohlenstoffemissionen, volkswirtschaftliche Schäden und Unannehmlichkeiten für die Anwohner mit sich bringen.

Die traditionelle Verlegung in offener Bauweise stellt üblicherweise eine enorme Beeinträchtigung für die Umwelt dar (d.h. Grabungsarbeiten und Transport großer Erdmengen). Zudem ist sie mit einem höheren Bedarf an direkten Ressourcen (d.h. Treibstoff, Strom) wie auch indirekten Ressourcen (etwa durch Verkehrsverzögerungen) verbunden. Folglich führen solche Methoden im Vergleich zu grabenlosen Methoden zu einer starken Umweltverschmutzung und erfordern zudem mehr Zeitaufwand bis zur Fertigstellung.

In diesem Zusammenhang bietet die grabenlose Technologie meist eine nachhaltige Alternative. Sie garantiert eine geringere Luftverschmutzung (weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen, geringere Staub- und Lärmbelastung), sorgt für weniger Verkehrsstörungen und schützt die natürlichen Lebensräume (z.B. durch Erhaltung der Bäume, die im Falle einer offenen Verlegung gefällt würden).

Vor die Wahl zwischen grabenloser und offener Verlegung gestellt, traf die Warschauer Stadtverwaltung 2009 für die Sanierung der Kläranlage Czajka mit den HOBAS Vortriebsrohren von 3 m Durchmesser eine strategisch wichtige Entscheidung.



Die vorliegende Studie vergleicht die Kohlendioxidemissionen von zwei Szenarien für das Czajka- Projekt: die tatsächlich implementierte grabenlose Technologie und die theoretische Verlegung in offener Bauweise.

Die durch die Produktionstätigkeiten, den Transport vor der Verlegung, die verlegungsspezifischen Tätigkeiten und den lokalen Verkehr verursachten Emissionen werden berechnet und miteinander verglichen. Von besonderem Interesse sind dabei die Arbeiten auf einem zweieinhalb Kilometer langen Abschnitt der stark befahrenen Modlińska-Straße in Warschau, die über sechs Fahrspuren verfügt.

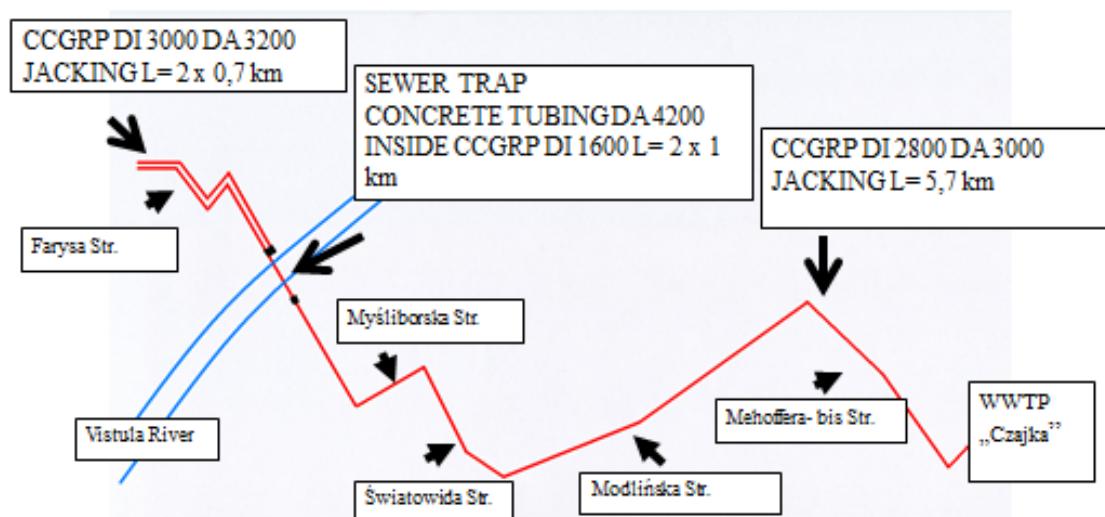
## 2. Das Projekt

In Warschau entsteht zurzeit auf der rechten Flussseite der Weichsel die Kläranlage Czajka. Nach ihrer Fertigstellung soll sie 80% der Abwässer der polnischen Hauptstadt aufbereiten und dafür sorgen, dass Flora und Fauna rund um die Weichsel nicht länger durch ungeklärte Abwässer in Mitleidenschaft gezogen werden – immerhin fließen derzeit 30% der Abwässer direkt in den Fluss.

Im Rahmen des Projektes entsteht auch ein Abwassersammler, der zur Kläranlage führt. Aufgrund der Projektgröße wurde der Bau in drei Etappen untergliedert. Die erste Etappe ist ungefähr 5,7 km lang und wird mit HOBAS Vortriebsrohren  $D_e$  3000 (DN 2800) auf der rechten Seite der Weichsel unter der Stadt vorgepresst. In der zweiten Etappe werden 1,4 km Rohre  $D_e$  3000 auf dem linken Flussufer verlegt. Der dritte Projektschritt verbindet die Etappen 1 und 2 durch zwei DN 1600 Rohrstränge, die in einem Betontunnel mit einem Innendurchmesser von 4,5 m unter der Weichsel durchgeführt werden.



Abbildung 1





Besonders erwähnenswert ist ein 840 m langes Teilstück der Etappe 1. Der Projektentwurf sah hier Vortrieb von zwei Seiten und die anschließende Zusammenführung der beiden Stücke in der Mitte vor. Mit HOBAS Rohren kann jedoch so präzise gearbeitet werden, dass der lange Abschnitt in einem Pressvorgang komplett von einer Richtung aus verlegt werden konnte. Die glatte Außenfläche und die hohe Steifigkeit (SN 50000 und 64000) bei gleichzeitig geringen Wanddicken der HOBAS Produkte trugen wesentlich zum Erfolg bei.

Wie aus Abbildung 1 hervorgeht, lässt sich das Projekt in drei Etappen gliedern: Czajka I (rechte Flussseite), Czajka II (linke Flussseite) und Czajka III (unterhalb des Flusses).

## 2.1 Ziel der Studie

Ziel der vorliegenden Studie für das Czajka I-Projekt ist es, die Hypothese „Die grabenlose Verlegung von Abwasserrohren ist eine klimaverträglichere Lösung als eine offene Verlegung“ auf ihren Wahrheitsgehalt zu untersuchen. Zu diesem Zweck werden die folgenden Aspekte näher betrachtet:

- Berechnung der Kohlenstoffemissionen bei grabenloser Verlegung (tatsächliches Szenario)
- Berechnung der Kohlenstoffemissionen bei offener Verlegung (theoretisches Szenario)
- Gegenüberstellung von grabenloser und offener Verlegung

## 2.2 Gegenstand der Studie

### 2.2.1 Geografische Ausdehnung

Die geografische Ausdehnung der Studie erstreckt sich über Polen und Deutschland: Die Rohre und Schächte für das Projekt werden in der polnischen Fabrik hergestellt und nachfolgend zur Baustelle in Warschau transportiert. Die Kupplungen werden in einem deutschen Unternehmen gefertigt und an die Fabrik in Polen geliefert, wo sie an die Rohre montiert werden.

Was die Baustelle anbelangt, so liegt das Hauptaugenmerk auf dem Abschnitt Czajka I (rechte Flussseite), der mit 5,7 km die längste Etappe darstellt. Die Berechnungen beziehen sich auf diesen Teil des Projektes. Dieser Teil umfasst auch den 2,54 Kilometer langen Abschnitt der sechsspurigen Modlińska-Straße. Der Hauptgrund, warum der Fokus auf dem Abschnitt Czajka I liegt, besteht in der Verfügbarkeit von Daten. Das Czajka I-Projekt wurde im Juni 2009 begonnen und Anfang September 2010 fertig gestellt. Czajka I stellt den größten Teil des gesamten Projekts dar und gewährleistet daher die Repräsentativität der vorliegenden Studie.



## 2.2.2 Emissionen

In der vorliegenden Studie werden die Treibhausgasemissionen – in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten dargestellt – berücksichtigt. Die Treibhausgasemissionen umfassen CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, Fluorkohlenwasserstoffe, Perfluorkohlenwasserstoffe und Schwefelhexafluorid.

Treibhausgasemissionen lassen sich nach Scope 1, 2 und 3 klassifizieren. Scope 1-Emissionen sind direkte Treibhausgasemissionen aus Quellen, die dem Unternehmen gehören oder von diesem gesteuert werden. Scope 2-Emissionen sind indirekte Treibhausgasemissionen durch Wärme, eingekauften Strom oder Dampf, die in der Anlage verbraucht, aber dort nicht direkt erzeugt werden. Scope 3-Emissionen sind andere indirekte Emissionen, die sich aus der Tätigkeit eines Unternehmens ergeben, aber aus Quellen stammen, die nicht dem Unternehmen gehören oder von diesem gesteuert werden.

Die vorliegende Studie umfasst Emissionen der Klasse Scope 1, 2 und 3.

## 2.3 Datenquellen

Die vorliegende Studie basiert auf drei primären Datenquellen; diese betreffen:

- (1) die CO<sub>2</sub>-Emissionen vor der Lieferung der Rohre an die Baustelle (Produktion und Transport von Rohren und Rohmaterialien).

Diese Daten wurden von der Produktions- und Logistikabteilung des Unternehmens zur Verfügung gestellt.

- (2) die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf der Baustelle (Konstruktion und damit verbundene Transporttätigkeiten).

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen für beide Szenarien wurden auf Grundlage von Berechnungen gemäß dem polnischen Katalog für Investitionskosten (KNR) ermittelt. Der KNR ist ein Standardinstrument gemäß polnischen Baunormen, welches als Grundlage zur Kostenberechnung von Bauprojekten dient.

- (3) die Ermittlung des Verkehrsaufkommens für den 2,544 km langen Abschnitt der Modlińska-Straße.

Die Erhebungen vor Ort erfolgten im Juni 2010 (während der Bauarbeiten) und im Februar 2011 (nach Fertigstellung der Arbeiten).

## 2.4 Berechnungsmodell

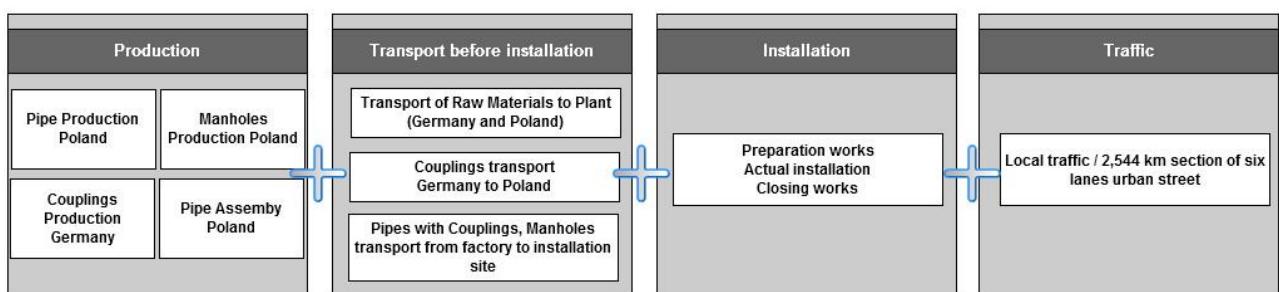
### 2.4.1 Berechnungsebenen

Die vorliegende Studie ist in vier Berechnungsebenen unterteilt:

- Produktion
- Transporttätigkeiten vor der Baustelle
- Rohrverlegung
- Verkehr

Eine grafische Darstellung des Berechnungsmodells findet sich nachfolgend in Abbildung 2.

Abbildung 2



Die Produktionsdaten errechnen sich aus den Angaben der HOBAS Unternehmen in Polen und Deutschland.

Die Transporttätigkeiten vor der Verlegung beziehen sich auf den Transport der Kupplungen von Deutschland nach Polen, auf den Transport von Rohren mit Kupplungen sowie von Schächten vom polnischen Werk zur Baustelle. Ebenso inkludiert sind die Rohmaterialien und der Transport derer von den Lieferanten zum Werk in Polen bzw. Deutschland.

Die Rohrverlegung umfasst sämtliche Vorarbeiten für die Verlegung von Rohren, die tatsächliche Verlegung und die Abschlussarbeiten nach erfolgter Verlegung.

Die Verkehrsemisionen konzentrieren sich auf den 2,544 km langen sechsspurigen Abschnitt der Modlińska-Straße.

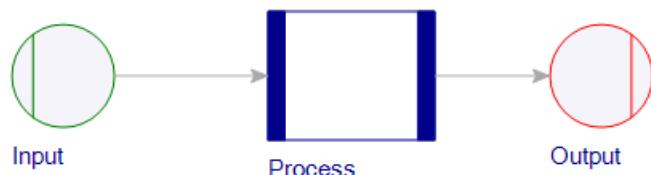
### 2.4.2 Berechnungssoftware

Die CO<sub>2</sub>-Modellierung und Berechnungen erfolgten mit Hilfe der speziellen Software „Umberto for Carbon Footprint (v1.0)“, die der Modellierung, Berechnung und Analyse von CO<sub>2</sub>-Fußabdrücken dient. Diese Softwarelösung entspricht dem britischen Standard PAS 2050, dem GHG Protocol Product Standard sowie dem Standard ISO 14067.

Die Modellierung und Berechnung basieren auf einem Input-Output-Prinzip von Flüssen (d.h. Stoff- und Energieflüssen). Dieses Prinzip lässt sich in vereinfachter Form wie folgt darstellen<sup>1</sup>:

<sup>1</sup> Umberto Software, [<http://www.umberto.de/en/carbonfootprint/screenshots/index.htm>], Zugriff: 22.04.2011

Abbildung 3



#### 2.4.3 Emissionsfaktoren

Für die Studie wurden die Emissionsfaktoren der Ecoinvent-Datenbank<sup>2</sup> (Version 2.2) herangezogen. Mit über 4.000 Sachbilanzdaten aus unterschiedlichsten Branchen ist Ecoinvent eine der weltweit führenden Datenbanken. Die Daten sind kompatibel mit allen wichtigen LCA- (Life Cycle Analysis) und eco-design-Softwarewerkzeugen und werden von diesen verwendet.

Aus anderen Quellen (d.h. Literaturrecherche) stammende Emissionsfaktoren wurden im vorliegenden Bericht explizit angeführt.

#### 2.5 Kritische Begutachtung

Die vorliegende Studie wurde von der German Society for Trenchless Technology (GSTT) begutachtet. Weitere Informationen über die GSTT sind auf der Webseite der Organisation unter [www.gstt.de](http://www.gstt.de) verfügbar.

<sup>2</sup> Ecoinvent, [<http://www.ecoinvent.org/database/>], Zugriff: 22.04.2011



## 3. Produktion

### Produktion der Rohre

HOBAS Rohre werden in einem speziellen Schleuderverfahren hergestellt. Dazu werden ungesättigte Polyesterharze, geschnittene Glasfasern und mineralische Verstärkungsstoffe in eine rotierende Matrize eingebracht, wodurch das Rohr von außen nach innen aufgebaut wird.

### Produktion der Kupplungen

HOBAS Kupplungen werden auf einer Stahlform mit vorgesättigten Glasrovings im Wickelverfahren hergestellt. Gleichzeitig werden genau festgelegte Mengen an geschnittenen Rovings auf die Stränge gestreut, um die Kupplung in der Achsenrichtung zu verstärken. Nach dem Aufbringen des Laminats wird durch Lichteinwirkung die Polymerisation eingeleitet und durchgeführt.

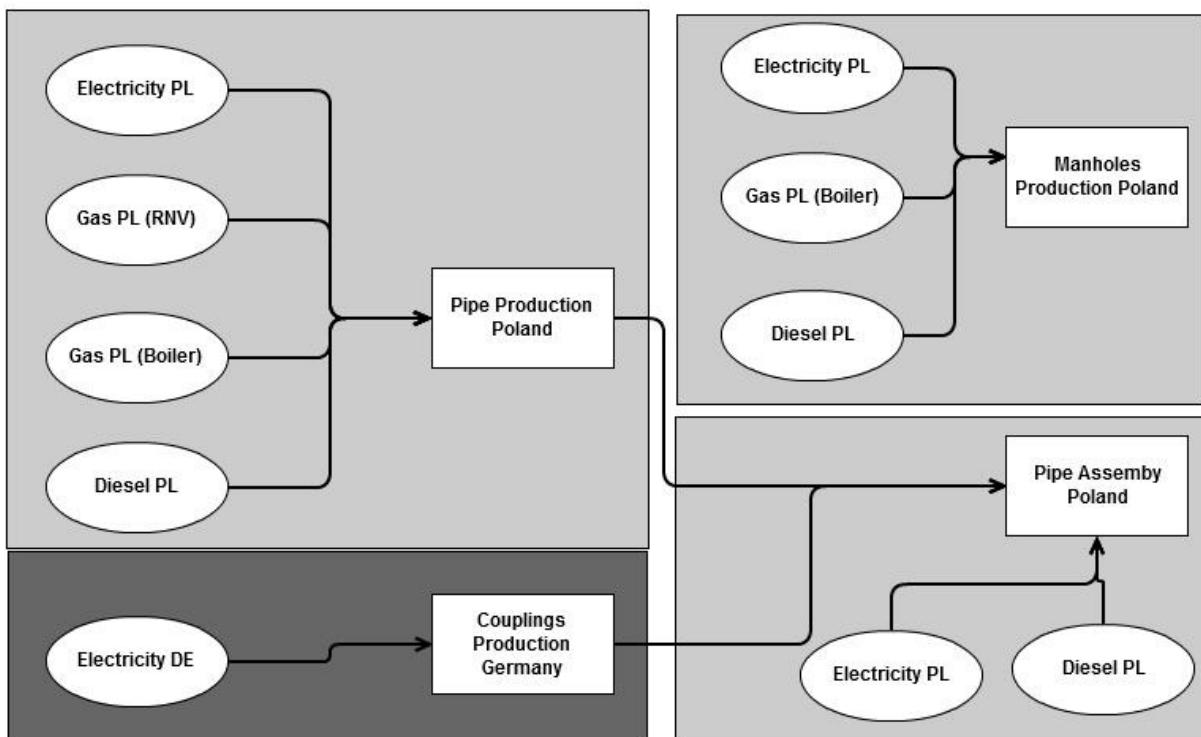
### Produktion der Formteile

Die Formteile werden in Segmentbauweise hergestellt. Mit einem Laminat erfolgt die Verbindung der Einzelteile. Das Laminat erfüllt vorrangig Dicht- und Haltefunktionen. Stoßstellen werden vollfugig verschlossen. Nachdem die Stoßfugen verspachtelt wurden und die entsprechende Untergrundbehandlung abgeschlossen ist, wird das Laminat im Handauflege-, Faser-, Spritz- oder Wickelverfahren aufgebracht.

Was das Czajka-Projekt anbelangt, so umfasst die Produktion Emissionen, die aus der Nutzung von Strom, Gas und Diesel entstehen. Gas findet bei der Produktion in zwei Brennern Anwendung: einer RNV-Anlage und einem Kessel.

Die Herstellung wird untergliedert in die Produktion von Rohren (Polen), die Produktion von Kupplungen (Deutschland), die Montage der Kupplungen an die Rohre (Polen) und die Produktion von Schächten (Polen).

Abbildung 4



Berechnungsbeispiel:

Strom PL (kWh) x EF Strom Mittelspannung, am Netz, [PL] = CO<sub>2</sub>-e Emissionen

Alle Werte werden auf die gleiche Weise berechnet und anschließend addiert.

Strom PL = Stromverbrauch für die Rohrproduktion in Polen

Rohrproduktion Polen = Tätigkeiten zur Produktion der Rohre

EF = Emissionsfaktor

Bei diesen Berechnungen verwendete Emissionsfaktoren:

| EF   | Quelle   |
|--|--|
| Strom Mittelspannung, am Netz, [PL]                              | Ecoinvent-Datenbank  |
| Gas PL (RNV)   | EF von einem Hersteller von RNV-Anlagen zur Verfügung gestellt |
| Gas PL (Kessel) Wärme, Kessel Erdgas, modulierend >100 kWh [RER] | Ecoinvent-Datenbank  |
| Diesel, verbrannt in Dieselaggregat [GLO]                        | Ecoinvent-Datenbank  |
| Diesel   | Ecoinvent-Datenbank  |



## Rohmaterialien

### Glasfaser

Glasfaser ist das wichtigste eingesetzte Verstärkungsmaterial, damit HOBAS Rohre die empfohlenen mechanischen Eigenschaften in der Achsen- und Längsrichtung erfüllen. Es gibt einige Schichten in der Wandstruktur eines HOBAS Rohres, in der die Glasfasern die Hauptkomponente darstellen und somit verantwortlich für die ausgezeichneten mechanischen Eigenschaften jedes HOBAS Rohres sind.

### Harz

Sehr detaillierte technische Daten wurden für ungesättigte Polyester (UP) erstellt, die bei der Rohrproduktion nach dem Schleudergussverfahren verwendet werden, um die Verarbeitbarkeit (Erstarrungs-, Wärmeabgabe- und Härtungszeit, Viskosität), die Verbundeigenschaften (elastische Module, Zug- und Biegefestigkeit/-dehnung, Glasumwandlung) und die Betriebseigenschaften des Rohres während seiner Lebensdauer (chemische Widerstandsfähigkeit, Molekulargewicht, Säurezahl, Formbeständigkeitstemperatur) zu gewährleisten.

Das Handauflegeverfahren ist ein offenes Verfahren, bei dem abwechselnde Schichten aus Harz und Bewehrungsmaterial aufgetragen werden. Dieses Verfahren erfolgt bei Raumtemperatur und wird so lange fortgesetzt, bis die gewünschte Stärke erreicht wird.

### Bewehrungsmaterialien

Es besteht die Möglichkeit, ungesättigte Polyesterharze mit verschiedenen Verstärkungsstoffen natürlicher oder künstlicher Herkunft zu mischen. Durch die Verwendung von Verstärkungsmaterialien werden nicht nur bestimmte mechanische Eigenschaften (Steifigkeit) erreicht, sondern auch ein geringerer Harzverbrauch bei der Produktion erzielt. Die im vorliegenden Projekt verwendeten Verstärkungsstoffe sind Calciumcarbonatpulver ( $\text{CaCO}_3$ ) und Sand.

In diesen Berechnungen verwendete Emissionsfaktoren:

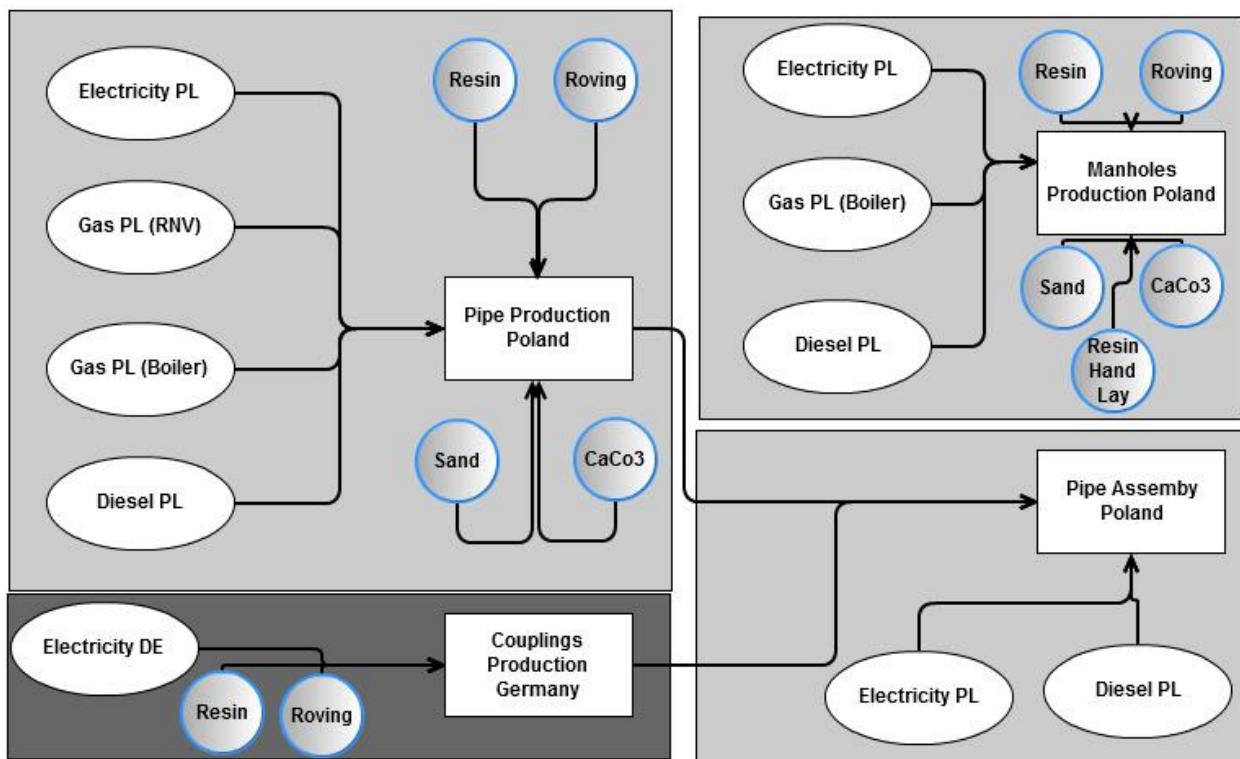
| EF  | Quelle                  |
|---|-------------------------|
| Glasfaser, in Anlage [RER]  | Ecoinvent-Datenbank     |
| Quarzsand, in Anlage [RER]  | Ecoinvent-Datenbank     |
| Kalk, gemahlen, lose, in Anlage [CH]  | Ecoinvent-Datenbank     |
| Harz (Ungesättigtes Polyesterharz)  | EF aus Literaturquellen |
| Glasfaserverstärkter Kunststoff, Polyesterharz, Handauflegeverfahren, in Anlage [RER] | Ecoinvent-Datenbank     |
| Synthetischer Gummi, in Anlage [RER]  | Ecoinvent-Datenbank     |

Die Literaturrecherche ergab verschiedene Emissionsfaktorenwerte für ungesättigtes Polyesterharz. Laut Hedlund-Åström (2008), die den CES EduPack<sup>3</sup> zitiert, reichen die EF-Werte

<sup>3</sup> Anna Hedlund-Åström, „Hotel Module in Glassfiber Sandwich, Environmental Study“, KTH Machine Design, Stockholm, Schweden, 2008, 13 ff.

von 2,8 bis 3,1 kg CO<sub>2</sub>/kg Harz. Patel (2009) beruft sich in einer Studie auf verschiedene Quellen<sup>4</sup> und nennt einen EF von 2,39 kg CO<sub>2</sub>/kg Harz. Die EPA (US Environmental Protection Agency)<sup>5</sup> gibt einen Emissionsfaktor zwischen 1 und 3 für Harze in geschlossenen Verfahren an. Für den vorliegenden Bericht wurde der höhere Wert von 3,1 kg CO<sub>2</sub>/kg Harz gewählt.

Abbildung 5



Bei der offenen Verlegung wurde zusätzlich Gummi für die Produktion der Kupplungen berechnet.

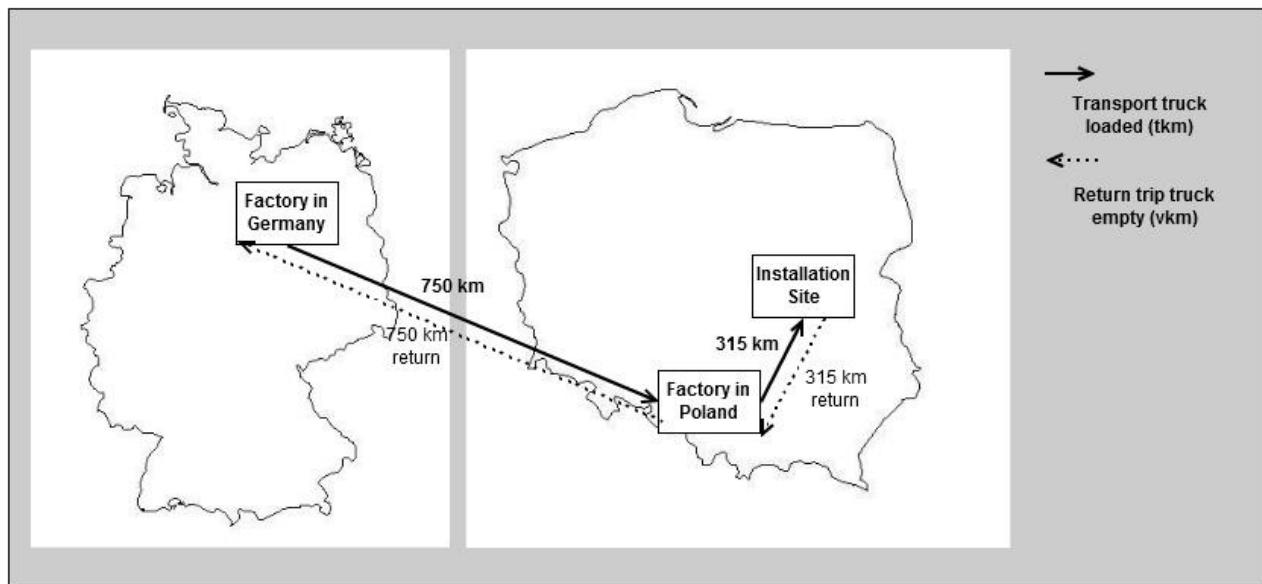
## 4. Transport vor der Verlegung

Dieser Teil des Berichtes beschäftigt sich mit den Transportemissionen vor der Verlegung auf der Baustelle. Dazu zählen die Emissionen aus dem Transport der Kupplungen von Deutschland nach Polen sowie die Emissionen für den Transport der Rohre mit Kupplungen von der Anlage in Polen zur Verlegungsstelle in Warschau.

<sup>4</sup> Martin Patel, „Closing carbon cycles“, Proefschrift Universiteit Utrecht, Netherlands, 1999, pp.76.

<sup>5</sup> Environmental protection Agency EPA, AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 4: Evaporation Loss Sources, 4.4 Polyester Resin Plastic Products Fabrication, 2008, Table 4.4-2

Abbildung 6



Die Entfernung zwischen dem Werk in Deutschland (Neubrandenburg) und dem in Polen (Dabrowa Górnica) beträgt 750 km (lt. Berechnungen Routenplaner). 130 beladene Lkw<sup>6</sup> transportierten die Kupplungen zur Fabrik in Polen (Tonne-km). Die Rückfahrten der unbeladenen Lkw wurden ebenso in die Berechnung miteinbezogen (Fahrzeug-km).

Die Entfernung zwischen der Fabrik in Polen und der Verlegungsstelle in Warschau beträgt 315 km. 650 Lkw transportierten die Rohre mit Kupplungen an die Verlegungsstelle, während 24 Lkw den Transport der Schächte (Tonne-km) übernahmen. Ebenso wurden die Rückfahrten der unbeladenen Lkw in die Berechnung miteinbezogen (Fahrzeug-km).

Der Transport der Rohmaterialien von den Lieferanten zu den Fabriken in Polen und Deutschland wurde ebenso berücksichtigt.

Die Daten der Logistikabteilung wurden gemäß dem folgenden Raster erhoben:

| Rohmaterial  | Standort des Lieferanten | Entfernung zwischen Lieferant und Fabrik | Lkw-Kapazität | Anzahl der Fahrten           |
|--|--------------------------|--|---------------|------------------------------|
| Glasfaser<br>Harze<br>Sand<br>CaCo <sub>3</sub><br>Gummi | Standort des Lieferanten | km                                       | Tonnen        | Lieferfahrten<br>Rückfahrten |

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Transportes wurden für Glasfaser, Harze (Harz für geschlossenes Verfahren und Harz für Handauflegeverfahren), Sand, CaCo<sub>3</sub> und Gummi berechnet. Die Entfernungen in km von den Lieferanten zu den Fabriken wurden ebenso ermittelt wie die Lkw-Kapazität und die Anzahl der Liefer- und Rückfahrten.

<sup>6</sup> 62 Lkw für die Berechnung bei offener Verlegung. Die Werte von 650 bzw. 24 Lkw wurden für die Berechnung bei offener Verlegung beibehalten.



Berechnungsbeispiel:

$$\text{Entfernung (tkm)} \times \text{EF Lkw} + \text{Entfernung (vkm)} \times \text{EF Lkw} = \text{CO}_2\text{-e Emissionen}$$

Alle Werte werden auf die gleiche Weise berechnet und nachfolgend addiert.

Entfernung (tkm) = die durch beladenen Lkw zurückgelegte Entfernung

Entfernung (vkm) = die durch unbeladenen Lkw bei der Rückfahrt zurückgelegte Entfernung

EF = Emissionsfaktor

Bei diesen Berechnungen verwendete Emissionsfaktoren:

| EF                                 | Quelle              |
|------------------------------------|---------------------|
| Transport, Lkw 16-32t, EURO3 [RER] | Ecoinvent-Datenbank |
| Betrieb, Lkw 16-32t, EURO3 [RER]   | Ecoinvent-Datenbank |

## 5. Verlegung

Die in diesem Bericht durchgeföhrten Berechnungen für die Verlegung beziehen sich auf die Etappe Czajka I (rechte Flussseite – siehe Abbildung 1), die den längsten Rohrabschnitt (5,7 km) darstellt. Die Verlegung umfasst die Vorarbeiten für die Verlegung von Rohren und Schächten, die tatsächliche Verlegung sowie die Abschlussarbeiten nach erfolgter Verlegung.

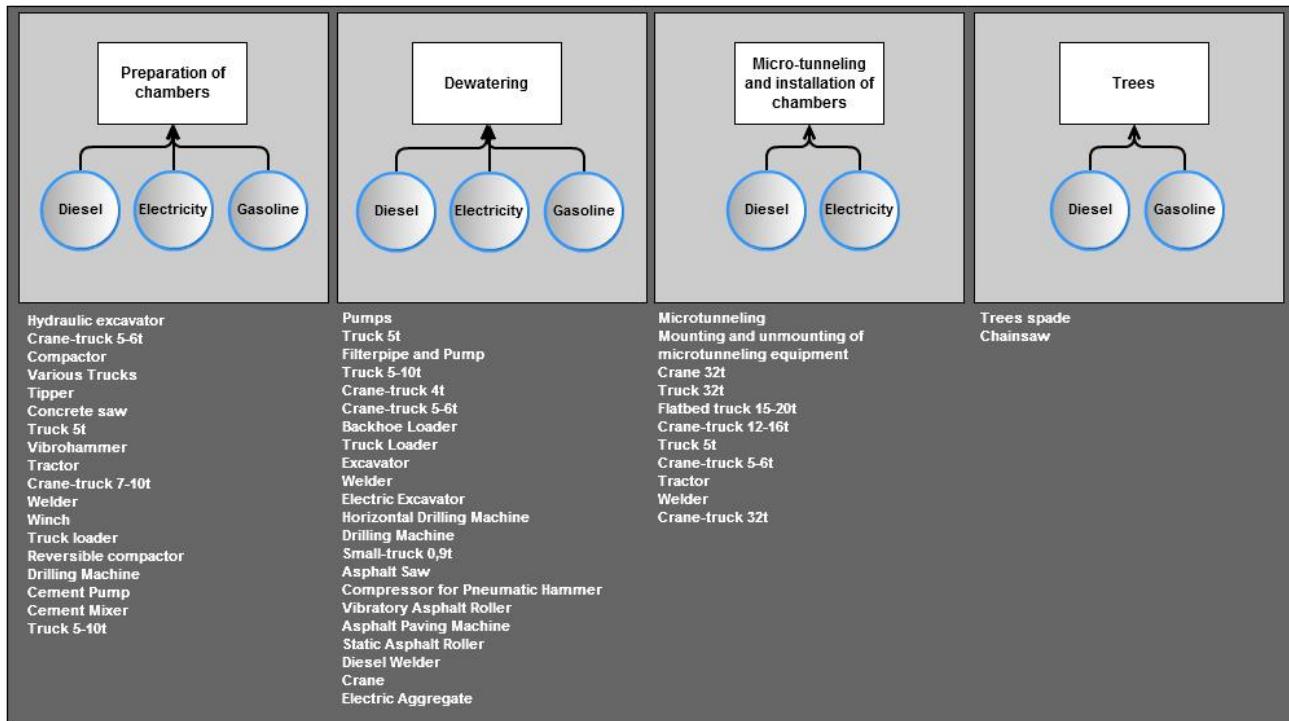
Die CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden auf Grundlage von Berechnungen gemäß dem polnischen Katalog für Investitionskosten (KNR) ermittelt. Der KNR ist ein Standardinstrument gemäß polnischen Baunormen, das als Grundlage zur Kostenberechnung von Bauprojekten dient.

Beide Szenarien wurden auf Grundlage des KNR berechnet: die grabenlose Verlegung (wie sie tatsächlich erfolgte) und die offene Verlegung. Die Modelle dieser Berechnungen werden in diesem Kapitel näher erläutert.

### 5.1 Grabenlose Verlegung

Das Modell zur grabenlosen Verlegung wird weiter in vier Teilbereiche untergliedert. Dazu zählen die Vorbereitung der Schächte, die Grundwasserhaltung, der Rohrvortrieb und die Beeinträchtigung der Vegetation (Bäume).

Abbildung 7



Jedem dieser Teilbereiche wurden spezifische Maschinen und der damit verbundene Verbrauch von Strom, Diesel oder Benzin zugeordnet.

Berechnungsbeispiel für eine elektrische Maschine:

$$\text{Gesamtanzahl der Stunden (h)} \times \text{Anzahl der Maschinenstunden (mh)} \times \text{Verbrauch pro Stunde (kWh)} \times \text{EF Strom} = \text{CO}_2\text{-e Emissionen}$$

Alle Werte wurden auf die gleiche Weise berechnet und nachfolgend addiert.

Gesamtanzahl der Stunden (h) = Anzahl aller Stunden, die notwendig sind, um eine bestimmte Aufgabe mit der jeweiligen Maschine zu erledigen

Maschinenstunden<sup>7</sup> (hm) = Einstündige Laufzeit einer Maschine. Bei der Kostenrechnung dient die Maschinenstunde dazu, die Gemeinkosten auf den Umlaufbestand (Work in Process) anzuwenden.

Verbrauch pro Stunde (kWh oder l/h) = Verbrauch von Strom oder Diesel oder Benzin pro Maschine per Stunde

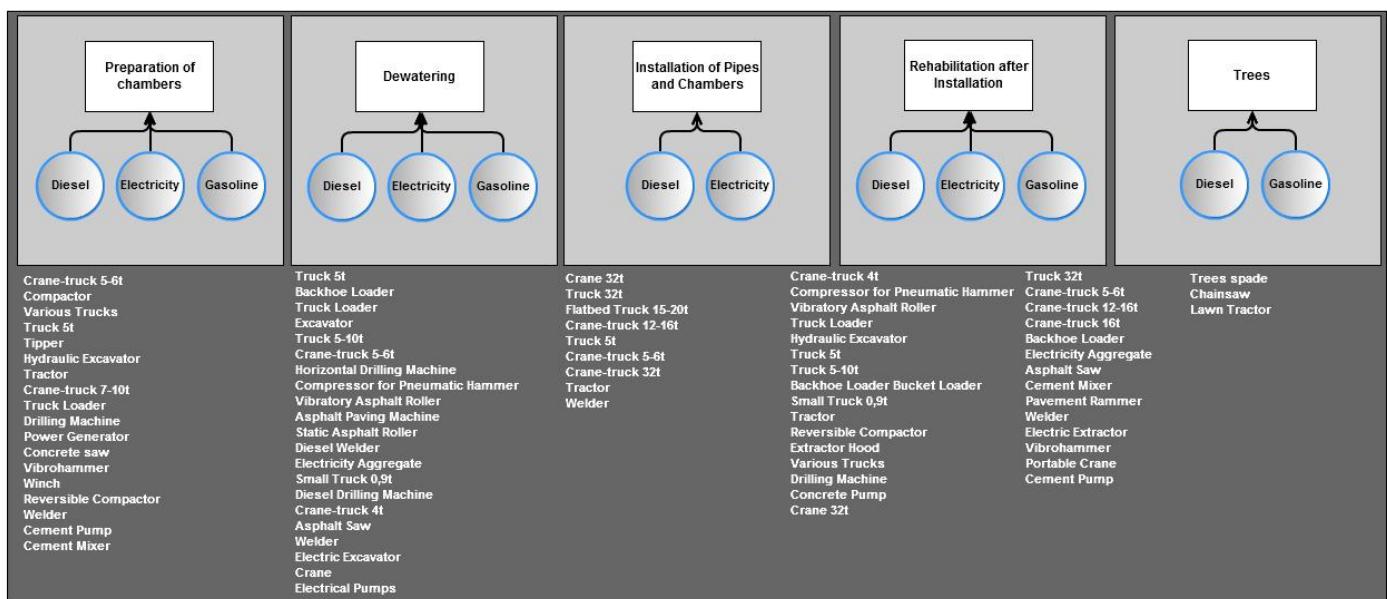
EF = Emissionsfaktor

Für diese Berechnungen verwendete Emissionsfaktoren:

| EF            | Quelle              |
|---------------|---------------------|
| Strommix [PL] | Ecoinvent-Datenbank |
| Diesel        | Ecoinvent-Datenbank |
| Benzin        | Ecoinvent-Datenbank |

## 5.2 Offene Verlegung

Abbildung 8



<sup>7</sup> Anm. d. ÜS: Englische Definition im Originaltext laut Businessdictionary.com, Zugriff: 22.04.2011

Die offene Verlegung wird auf die gleiche Weise wie die grabenlose Verlegung berechnet. Es wird dieselbe Vorgehensweise gemäß dem polnischen Katalog für Investitionskosten (KNR) angewendet.

Das Modell für die offene Verlegung wird weiter in fünf Teilbereiche untergliedert. Dazu zählen die Vorbereitung der Schächte, die Grundwasserhaltung, die Verlegung von Rohren und der Bau von Schächten, die Sanierung nach der Verlegung sowie die Beeinträchtigung der Vegetation (Bäume).

Wie zu erkennen ist, umfasst die Berechnung für die offene Verlegung im Vergleich zum Szenario der grabenlosen Verlegung einen zusätzlichen Teilbereich. Der Grund dafür ergibt sich aus den unterschiedlichen Verlegungsmethoden: Während sich die Tätigkeiten bei der grabenlosen Verlegung auf den Bereich unter der Erde konzentrieren, konzentriert sich die offene Verlegung auf den Bereich an der Oberfläche, was mit größeren Beeinträchtigungen der Landschaft und Infrastruktur sowie mit mehr Aufwand für deren Sanierung verbunden ist.

In der Abbildung unten ist der Rohrvortrieb<sup>8</sup> für das Czajka-Projekt grafisch dargestellt.



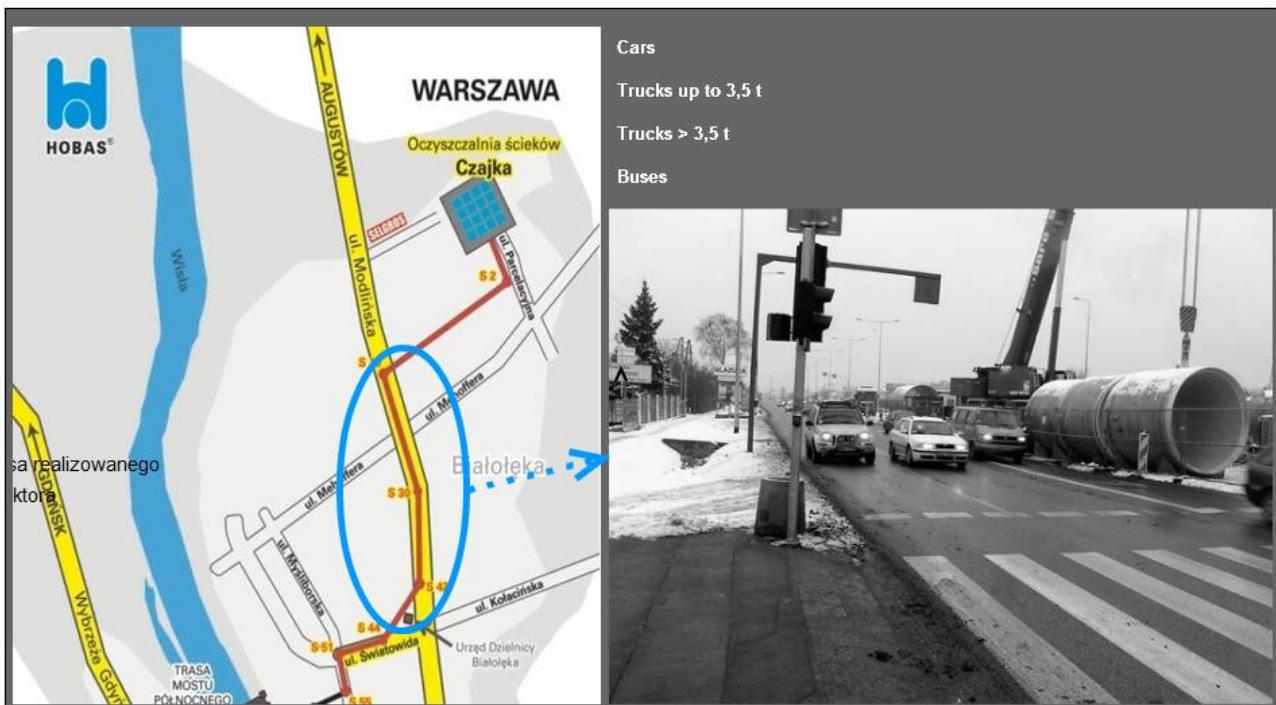
Abbildung 9

<sup>8</sup> Kolektor Czajka, [www.kolektorczajka.pl], Zugriff: 22.04.2011

## 6. Verkehr

Der Verkehr wurde vor Ort für den sechsspurigen 2,54 km langen Abschnitt der Modlińska-Straße gemessen. Erhebungen vor Ort wurden im Juni 2010 (während der Bauarbeiten) und im Februar 2011 (nach Abschluss der Arbeiten) durchgeführt.

Abbildung 10



Das Verkehrsvolumen wurde mittels Verkehrszählungen ermittelt. Der durchschnittliche tägliche Verkehr pro Jahr (Annual average daily traffic: AADT) bezeichnet das gesamte Straßenverkehrsaufkommen eines Jahres geteilt durch 365 Tage. Mit dem AADT wird gemessen, wie belebt eine Straße ist. Für die Berechnung des AADT zu Spitzenverkehrszeiten wurde angenommen, dass das Verkehrsvolumen zu Stoßzeiten 11% des AADT<sup>9</sup> beträgt.

Die Zeitspanne, in der der Verkehr betroffen war, diente der Vorbereitung des Schachtbaus, der Grundwasserhaltung, dem Rohrvortrieb und der Verlegung von Rohren. Auf der Modlińska-Straße gab es fünf Abschnitte (grabenlose Verlegung sowie offene Verlegung).

Basierend auf Berechnungen des KNR (polnischer Katalog für Investitionskosten) betrug die geschätzte Fertigstellungsdauer für die Modlińska-Straße 300 Tage bei grabenloser Verlegung und 350 Tage bei offener Verlegung. Im Fall der offenen Verlegung lässt die Schätzung ein optimales Szenario für den Fall erkennen, dass der Auftrag auf allen Abschnitten des Projektes gleichzeitig ausgeführt wird - dies wäre mit Genehmigung des Straßenbetreibers möglich. In der Praxis kann die tatsächliche Anzahl der Tage bis zur Fertigstellung jedoch höher sein.

<sup>9</sup> Territory and Municipal Services (TAMS), Design standards for urban infrastructure – Chapter 6, Latest version, Canberra City ACT 2601, Australia, pp.9



Beispielsweise umfasste die Anzahl der Tage für den 2,544 km langen Abschnitt der Modlińska-Straße basierend auf einer Beobachtung vor Ort ≈108 Tage für den Rohrvortrieb, ≈90 Tage für die Vorbereitung der Schächte, ≈90 Tage für den Erhalt der Schächte und ≈420 Tage für die Installation der Tangentialschächte (3 Wochen für jeden Tangentialschacht x 20 Tangentialschächte); insgesamt ergeben sich ≈708 Tage. Dies ist mehr als das Doppelte der geschätzten Dauer (300 Tage). Die Ursache könnte darin liegen, dass die Einrichtung der Tangentialschächte den Verkehr möglicherweise weniger beeinträchtigen könnte als die vorbereitenden Maßnahmen davor.

Laut Jung und Shina (2004) zeigen bestehende Projekte mit grabenloser und offener Verlegung, dass in den meisten Fällen die Szenarien für eine Sperrung der Fahrbahn bei Projekten mit grabenloser bzw. offener Verlegung ähnlich ausfielen. „Jedoch ging man davon aus, dass sich die Dauer der Arbeiten unterscheiden würde“ und dass im Allgemeinen die „grabenlose Technologie bei der gesamten Errichtung Zeit spart“.<sup>10</sup>

Daher nimmt diese Studie die Schätzwerte des KNR (300 Tage für die grabenlose und 350 Tage für die offene Verlegung) sowie die Annahme, dass maximal eine Fahrbahn (pro Unterabschnitt der Arbeiten) in beiden Szenarien entlang des 2,544 km langen Abschnitts gesperrt wurde, als Berechnungsgrundlage. Bei der grabenlosen Verlegung, dem tatsächlichen Szenario, wurden mit Voranschreiten der Arbeiten jeweils Teilabschnitte einer Fahrbahn gesperrt; bei der offenen Verlegung wird davon ausgegangen, dass eine Fahrbahn über die gesamte Länge von 2,544 km gesperrt wird.

Berechnungsbeispiel für Personenkraftwagen:

$$\text{AADT Personenkraftwagen (gemessener Wert)} \times \text{Anzahl der Tage (Tage)} \times \text{EF Personenkraftwagen} = \text{CO}_2\text{-e Emissionen}$$

Alle Werte werden auf die gleiche Weise berechnet und nachfolgend addiert.

AADT Personenkraftwagen (gemessener Wert) = durchschnittlicher täglicher Verkehr pro Jahr, ermittelt durch Messungen vor Ort

Anzahl der Tage (Tage) = Gesamtanzahl der Tage, an denen der Verkehr auf dem 2,544 km langen Abschnitt der Modlińska-Straße betroffen war

EF = Emissionsfaktor

<sup>10</sup> Yeun J. Jung, Sunil K. Sinha, „Trenchless Technology: An Efficient and Environmentally Sound Approach for Underground Municipal Pipeline Infrastructure Systems“, No Dig 2004, New Orleans, pp7.



In diesen Berechnungen verwendete Emissionsfaktoren:

| EF  | Quelle              |
|---|---------------------|
| Betrieb, Personenkraftwagen [RER]               | Ecoinvent Datenbank |
| Betrieb, Klein-Lkw < 3.5t [RER]                 | Ecoinvent Datenbank |
| Betrieb, Lkw 3,5-16t, Flottendurchschnitt [RER] | Ecoinvent Datenbank |
| Betrieb, gewöhnlicher Bus [CH]                  | Ecoinvent Datenbank |

Die Emissionsfaktoren der Fahrzeugkilometer wurden für diesen Teil der Berechnung herangezogen; obwohl Verkehrszählungen vor Ort durchgeführt wurden, lassen sich der Grad der Auslastung bzw. Grad der Beladung der Fahrzeuge schwer abschätzen (d.h. Personenkilometer oder Tonnenkilometer). Die Kohlendioxidemissionen werden daher auf Grundlage der Prämisse bestimmt, dass die Fahrzeuge lediglich betrieben werden (und nicht unbedingt im Falle von Pkw zusätzlich besetzt oder im Falle von Lkws zusätzlich beladen sind).

Das Verkehrsvolumen für das grabenlose Szenario sowie für den regulären Verkehr wurde anhand tatsächlicher Verkehrszählungen ermittelt. Folglich wurden die Kohlendioxidemissionen wie oben beschrieben berechnet. Für das Szenario der offenen Verlegung (theoretisches Szenario) konnten jedoch keine tatsächlichen Verkehrszählungen durchgeführt werden.

Gleichzeitig ist im Falle einer offenen Verlegung von mehr Verkehrsbehinderungen auszugehen. Tatsächlich gehören Verkehrsbehinderungen im Falle einer offenen Verlegung zu den höchsten Sozialkosten<sup>11</sup>. Diese Kosten sind für den Auftragnehmer meist weniger relevant und vorwiegend in den Projektkosten nicht inkludiert. Weitaus erheblicher sind sie allerdings für die betroffene Kommune<sup>12</sup>.

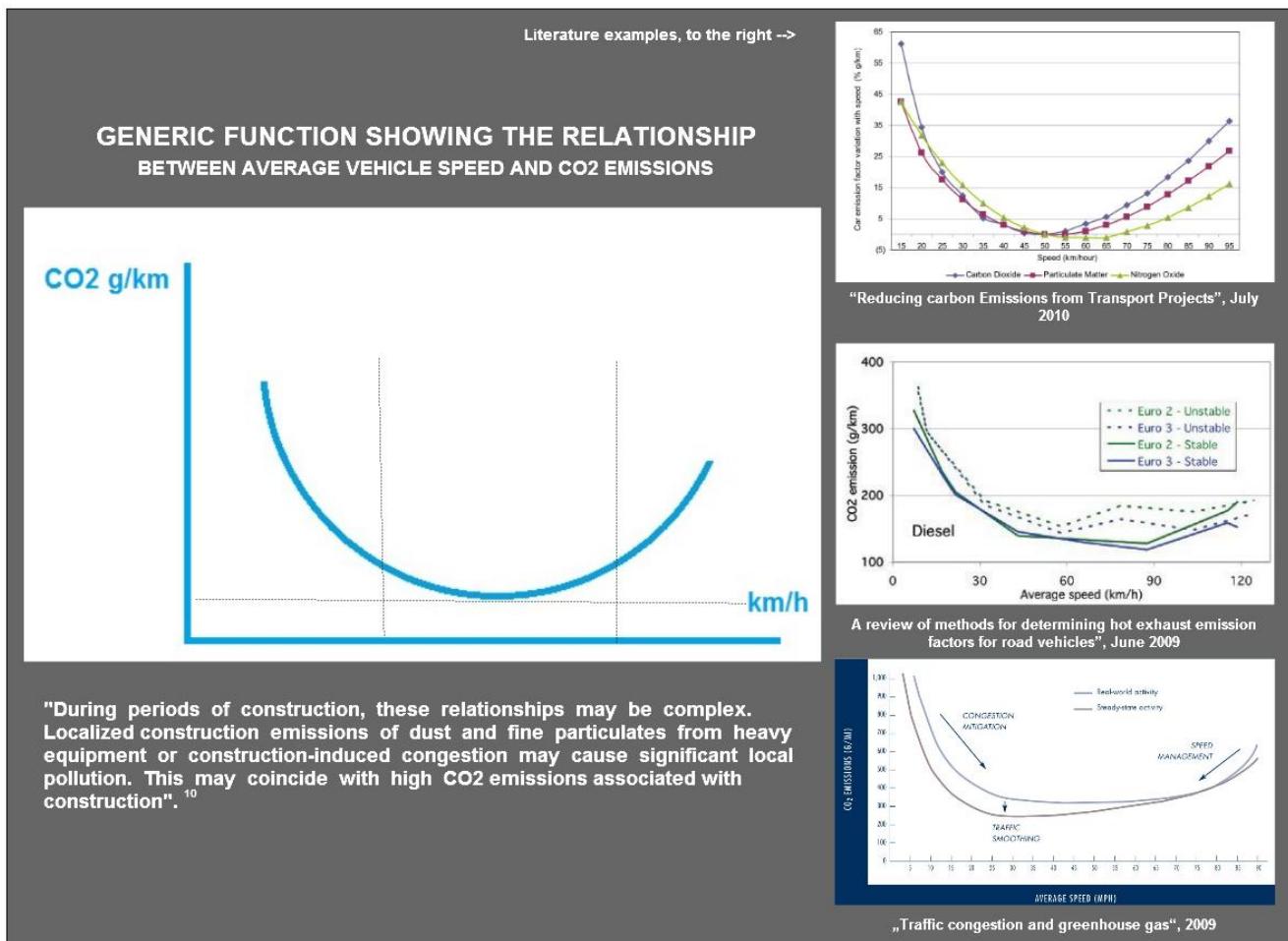
Laut Bush (2001) haben Verkehrs- und Straßenbehinderungen negative Auswirkungen auf die Dauer des Projekts, die Treibstoffkosten und Fahrzeitkosten und verursachen Straßenschäden, Fahrzeugabnutzung, Umsatzsteuerverluste sowie Produktivitätsverluste aufgrund von Lärm, Erschütterungen und Staub.

Verglichen mit dem grabenlosen Szenario wäre zu erwarten, dass Verkehrsbehinderungen mehr Zeit beanspruchen würden (300 Tage für die grabenlose und 350 Tage für die offene Verlegung) und auch zusätzliche Verzögerungen verursachen würden. Diese Verzögerungen bedeuten, dass Fahrzeuge, die auf der Modlińska-Straße unterwegs sind, über den 2,544 km langen Abschnitt der Straße ihre Geschwindigkeit drosseln müssten oder nur im Stop-and-go-Verkehr vorankämen.

<sup>11</sup> Bush, G and Simonson, J, „Rehabilitation of underground water and sewer lines. The costs beyond the bid”, University of Houston, Texas, 2001

<sup>12</sup> Mohammad Najafi, Sanjiv Gokhale, „Trenchless technology – Pipeline and utility design, construction and renewal”, McGraw-Hill Books, New York, 2004, pp. 33

Abbildung 11



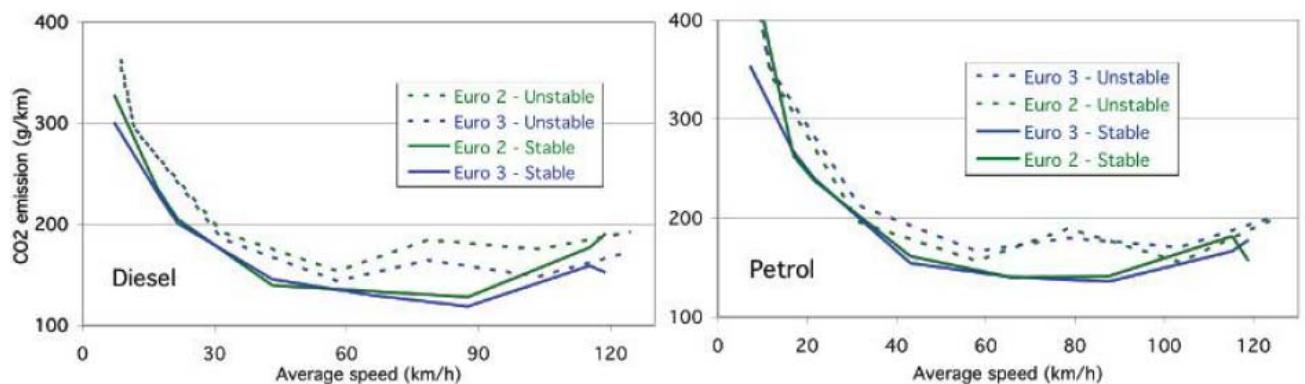
Wie aus Abbildung 11 oben ersichtlich ist, gibt es eine parabolische Funktion zwischen der Geschwindigkeit von Fahrzeugen (km/h) und den CO<sub>2</sub>-Emissionen (g/km). Eine generische Funktion zeigt das Verhältnis zwischen der durchschnittlichen Fahrzeuggeschwindigkeit und den CO<sub>2</sub>-Emissionen. Diese generische Funktion<sup>13</sup> basiert auf einschlägigen Beispielen, welche rechts dargestellt sind.

Boulter, Barlow, Latham und McCrae<sup>14</sup> differenzieren ebenso, ob die Geschwindigkeit konstant (stabil) oder schwankend (instabil) ist. Bei schwankender Geschwindigkeit ist ein Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen festzustellen. Die Autoren unterscheiden auch nach Kraftstofftyp und legen Daten für Diesel und Benzin vor (siehe Abbildung 12 unten).

<sup>13</sup> Der Wert der Emissionsfaktoren variiert von Studie zu Studie je nach Umfang und Methodik der Studie.

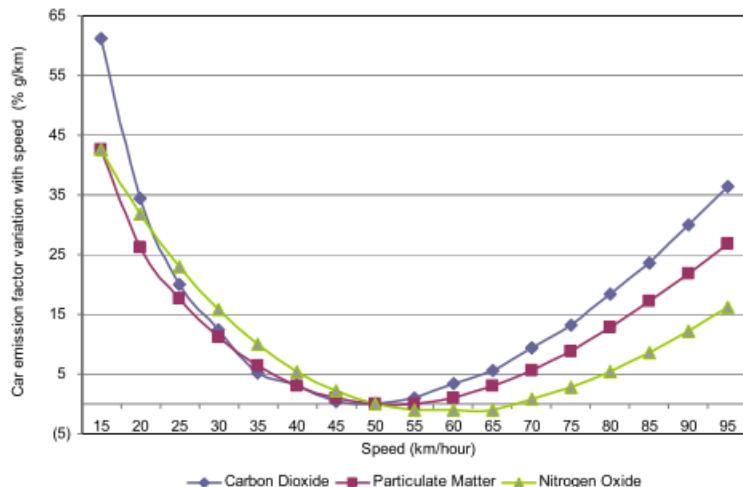
<sup>14</sup> PG Boulter, T J Barlow, S Latham, I S McCrae, "Emission Factors 2009, Report 1- A review of methods for determining hot exhaust emission factors for road vehicles", TRL Limited, June 2009, pp. 40

Abbildung 12



In einer weiteren Studie „Reducing Carbon Emissions from Transport Projects“ vom Juli 2010<sup>15</sup> wird darauf hingewiesen, dass die CO<sub>2</sub>-Belastung bei einer Verkehrsgeschwindigkeit von 40–60 km pro Stunde abnimmt und bei höheren Geschwindigkeiten wieder zunimmt (siehe Abbildung 12).

Abbildung 13

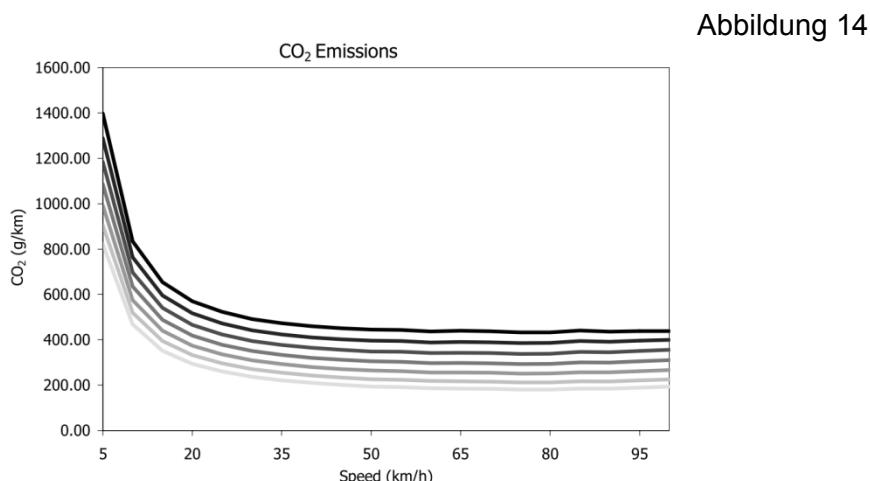


Laut Barth und Boriboonsomsin<sup>16</sup> (2009) bedeuten sehr niedrige Durchschnittsgeschwindigkeiten allgemein Stop-and-go-Verkehr. Daher sind die Emissionswerte sehr hoch. Umgekehrt bewirken Fahrzeuge, die mit viel höherer Geschwindigkeit unterwegs sind, sehr große Motorlasten, die mehr Treibstoff benötigen und daher zu hohen CO<sub>2</sub>-Emissionswerten führen. Daher hat diese Emissions-Geschwindigkeitskurve eine ausgeprägte parabolische Form mit hohen Emissionswerten an beiden Enden.

<sup>15</sup> Asian Development Bank, Independent Evaluation Department, „Reducing carbon Emissions from Transport Projects“, July 2010, pp. 18

<sup>16</sup> Matthew Barth and Kanok Boriboonsomsin, „Traffic congestion and greenhouse gas“, Access – Transportation research at the University of California, 2009, pp. 5

Park und Rakha<sup>17</sup> (2005) stellen ebenso einen Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit von Fahrzeugen (km/h) und den CO<sub>2</sub>-Emissionen (g/km) her (Abbildung 14 unten). Die Studie zeigt einen wesentlichen Einfluss der Gradienten der Straße mit einer Steigerung des Fahrzeugtreibstoff-verbrauchs und der Emissionswerte von mehr als 9 % bei einer 1 %-Zunahme des Straßengradienten. Daher kann eine Reduktion der Straßengradienten im Bereich von 1 % Einsparungen bringen, die verschiedenen Formen hochentwickelter Verkehrsmanagementsysteme entsprechen.



Trotz der allgemeinen Schlussfolgerung, dass niedrige und hohe Geschwindigkeiten hohe Emissionsfaktoren hervorrufen, variiert der Wert der Emissionsfaktoren von Studie zu Studie je deren Umfang und Methodik. Die zitierten Studien beziehen sich auf Emissionen von leichten Nutzfahrzeugen, Schwerfahrzeuge oder beiden.

Jedoch ist zu beobachten, dass in allen Studien eine Kombination aus Stop-and-go-Verkehr und niedriger Geschwindigkeit (unter 40 km/h) die Emissionsfaktoren um das Zwei- bis Siebenfache vergrößert. Laut IRU (International Road Transport Union)<sup>18</sup> erhöht ein Straßenstau bei einem 40t-Lkw den Kraftstoffverbrauch und somit die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 300 %; Fließverkehr ist eine Voraussetzung für die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Daher wurde in dieser Studie ein Dreifach-Multiplikator für die Fahrzeugemissionsfaktoren gemeinsam mit einer 350-tägigen Verkehrsbehinderung für die Verkehrsemissionen beim Szenario der offenen Verlegung zu Grunde gelegt.

Die nachfolgende Abbildung 15 zeigt eine Luftaufnahme<sup>19</sup> der Verkehrssituation bei der grabenlosen Verlegung.

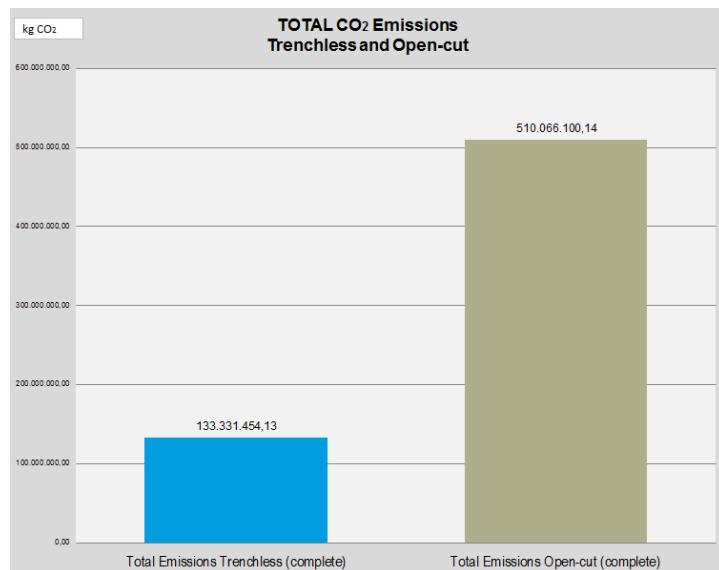


## 7. Ergebnisse

### 7.1 Gesamtmenge an CO<sub>2</sub>-Emissionen

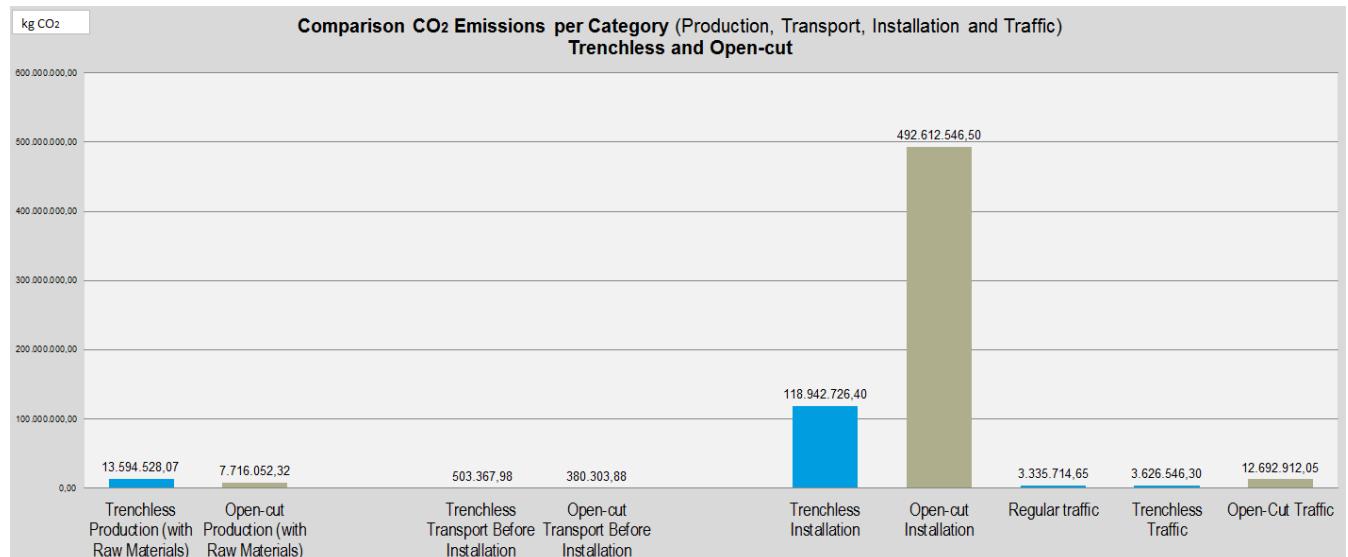
Gemäß dem Berechnungsmodell beinhaltet die Gesamtmenge an CO<sub>2</sub>-Emissionen die Summe der Kohlendioxidemissionen aus der Produktion, dem Transport vor der Verlegung sowie der Verlegung und dem Verkehr für beide Szenarien (grabenlose und offene Verlegung).

Abbildung 16



Wie aus Abbildung 16 hervorgeht, ist die Gesamtmenge an CO<sub>2</sub>-Emissionen bei einer offenen Verlegung im Vergleich zur grabenlosen Verlegung deutlich größer. Im Falle einer offenen Verlegung wären die Emissionen für das Czajka I-Projekt fast vier Mal so hoch gewesen.

Abbildung 17



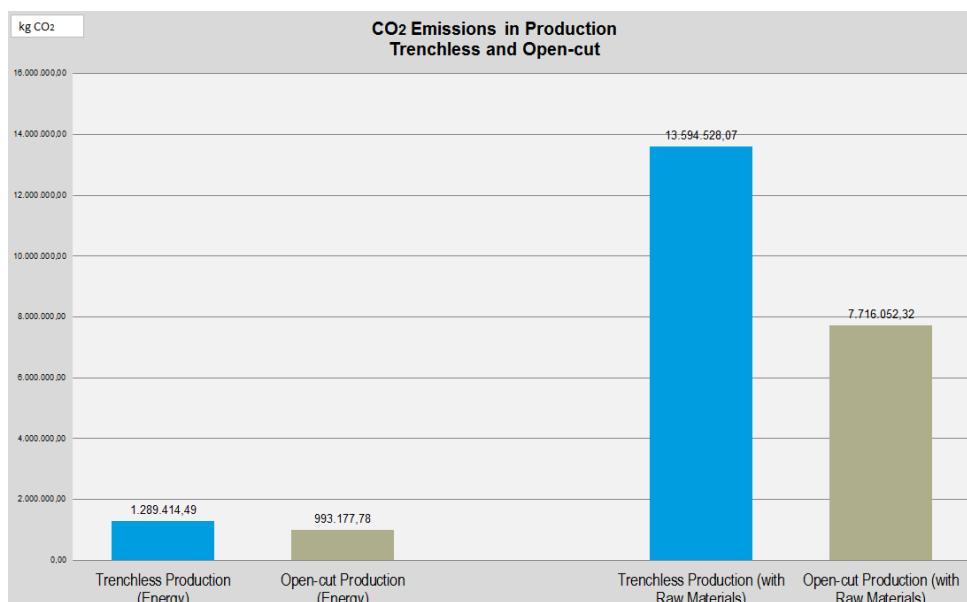
Bei näherer Betrachtung der vier primären Berechnungsphasen (Abbildung 17) ist festzustellen, dass die durch die Verlegung verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Weitem die größte Emissionsquelle im Projekt darstellen. Folglich hat die strategische Wahl zwischen grabenloser und offener Verlegung beachtliche Auswirkungen auf die Kohlendioxidemissionen – und das nahezu ungeachtet dessen, wie effizient sich die Produktion und Transporttätigkeiten vor der Verlegung darstellen.

| Emissionsquelle  | kg CO <sub>2</sub> |
|--|--------------------|
| Grabenlose Verlegung: Produktion (mit Rohmaterialien)  | 13.594.528,07      |
| Grabenlose Verlegung: Produktion (Energie) – Detail  | 1.289.414,49       |
| Offene Verlegung: Produktion (mit Rohstoffen)  | 7.716.052,32       |
| Offene Verlegung: Produktion (Energie) – Detail  | 993.177,78         |
| Grabenlose Verlegung: Transport vor der Verlegung  | 503.367,98         |
| Offene Verlegung: Transport vor der Verlegung  | 380.303,88         |
| Grabenlose Verlegung   | 118.942.726,4      |
| Offene Verlegung   | 492.612.546,5      |
| Grabenlose Verlegung: Verkehr<br>(bezieht sich auf regulären Verkehr plus zusätzliche durch die Arbeiten verursachte Emissionen) | 3.626.546,3        |
| Offene Verlegung: Verkehr<br>(bezieht sich auf regulären Verkehr plus zusätzliche durch die Arbeiten verursachte Emissionen)     | 12.692.912,05      |

Im Folgenden bietet die Analyse einen detaillierten Überblick sowie eine eingehende Erörterung zu jedem Teilbereich.

## 7.2 Produktionsemissionen

Abbildung 18

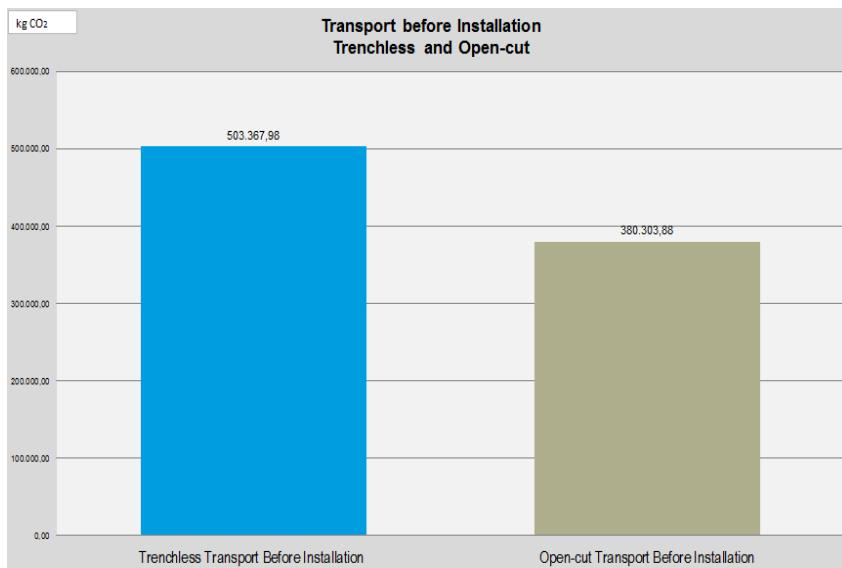


Die durch die Produktion verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind bei der grabenlosen Verlegung im Vergleich zur offenen Verlegung höher. Der Hauptgrund dafür besteht darin, dass für die grabenlose Verlegung stärkere Rohre (mit größerer Wanddicke) erforderlich sind. Um den höheren Anforderungen an das Rohr entsprechen zu können, bedarf es eines höheren Verbrauchs an Energie und Rohmaterialien.

Abbildung 18 oben präsentiert einen Vergleich zwischen den Produktionsemisionen in zwei Situationen: ohne und mit Rohstoffen. Zunächst werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Produktion in Bezug auf den Energieverbrauch (Erdgas, Strom und Diesel) berechnet. Nachfolgend werden die wichtigsten Rohstoffe in die Berechnung miteinbezogen. Bei einer vergleichenden Betrachtung zeigt sich, dass durch die Einbeziehung der Emissionen aus Rohstoffen der gesamte CO<sub>2</sub>-Ausstoß steigt; der Blick auf den Energieverbrauch (wie bei der ursprünglichen Berechnung) jedoch bietet einen guten Indikator für die Energieeffizienz der Produktion.

### 7.3 Transport vor der Verlegung

Abbildung 19



Die durch die Transporttätigkeiten vor der Verlegung verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen umfassen den Transport der Rohmaterialien zu den Fabriken in Polen und Deutschland sowie den Transport von Kupplungen von Deutschland nach Polen und den Transport von Rohren mit Kupplungen sowie von Schächten innerhalb Polens von der Fabrik zur Verlegungsstelle.

Die Emissionen bei der grabenlosen Verlegung sind im Vergleich zur offenen Verlegung höher. Einer der Hauptunterschiede ergibt sich durch eine praktische Annahme für diese Berechnung, wie unten näher erläutert wird.

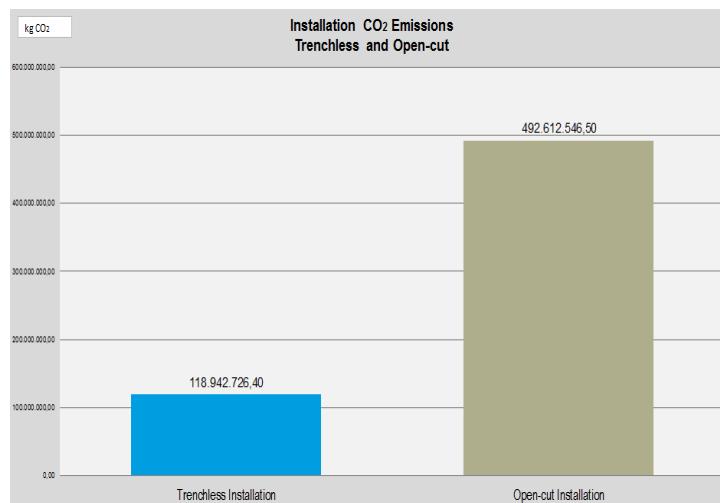
Für die grabenlose Verlegung wurden 6 Meter lange Rohre produziert und in 3 Meter lange Stücke geschnitten. Im Falle der offenen Verlegung wurde angenommen, dass kürzere Rohre nicht notwendig wären. Daher wurde nur die Hälfte der Kupplungen berechnet, was bedeutet, dass weniger Lkws für den Transport erforderlich gewesen wären. Waren jedoch

auch für die offene Verlegung 3 Meter lange Rohre in Betracht gezogen worden, so wären die durch den Transport vor der Verlegung verursachten Kohlenstoffemissionen für beide Szenarien ähnlich gewesen.

#### 7.4 Durch die Verlegung verursachte Emissionen

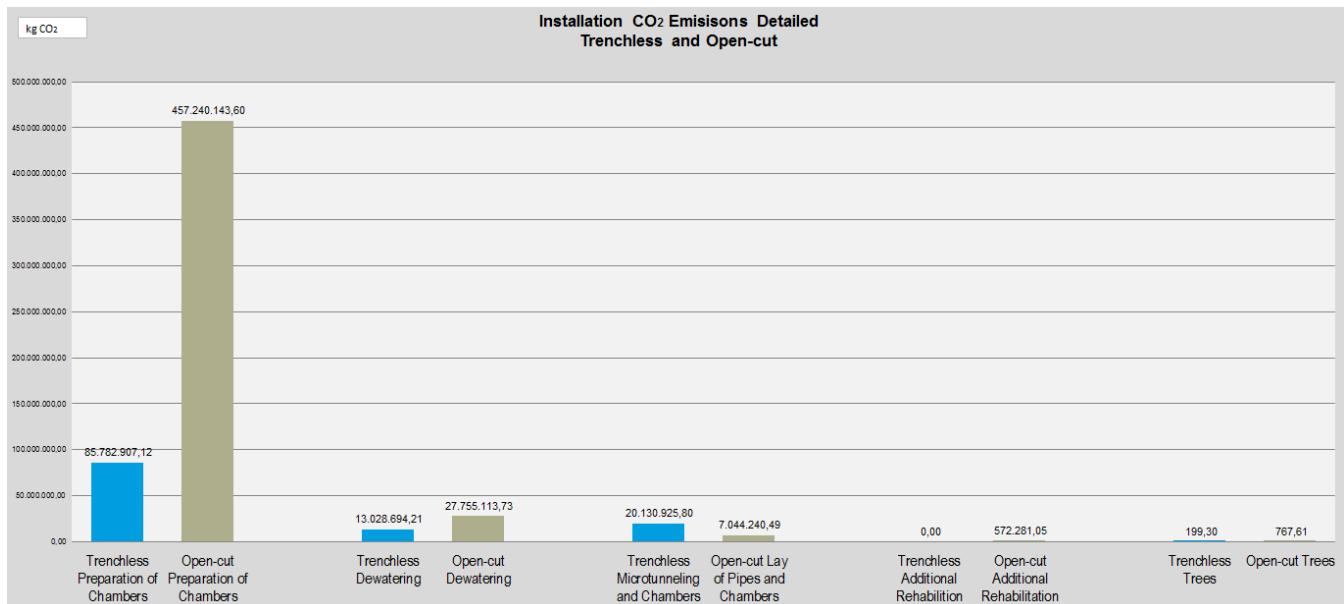
Die durch die Verlegung verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen stellen die größte Emissionsquelle für das Czajka I-Projekt dar. Wie in Kapitel 5 (Verlegung) dargelegt, werden die Tätigkeiten weiter in vier Teilbereiche für die grabenlose Verlegung untergliedert (Vorbereitung von Schächten, Grundwasserhaltung, Rohrvortrieb und Bau der Tangentialschächte, Bäume) – sowie in fünf Teilbereiche für die offene Verlegung (Vorbereitung von Schächten, Grundwasserhaltung, Verlegung bzw. Bau von Rohren und Schächten, Wiederherstellung nach der Verlegung, Bäume).

Abbildung 20



Wie aus Abbildung 20 (oben) hervorgeht, sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der offenen Verlegung deutlich höher als jene bei der grabenlosen Verlegung. Im Falle der offenen Verlegung ergäben sich vier Mal so hohe Emissionswerte wie bei der grabenlosen Verlegung.

Abbildung 21



Die Abbildung oben gibt einen detaillierteren Überblick über die einzelnen Teilbereiche bei der Szenarien.

Bei der offenen Verlegung sind die Emissionen im Hinblick auf die Vorbereitung von Schächten, die Grundwasserhaltung, die Sanierung nach der Verlegung und die Bäume deutlich höher. Bei der grabenlosen Verlegung sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die im Zuge der tatsächlichen Verlegung anfallen, höher. Das ist darauf zurückzuführen, dass für den Vortrieb mehr Energie erforderlich ist als für die Verlegung in offener Bauweise. Allerdings ist der Energieaufwand für die offene Verlegung insgesamt weitaus höher.

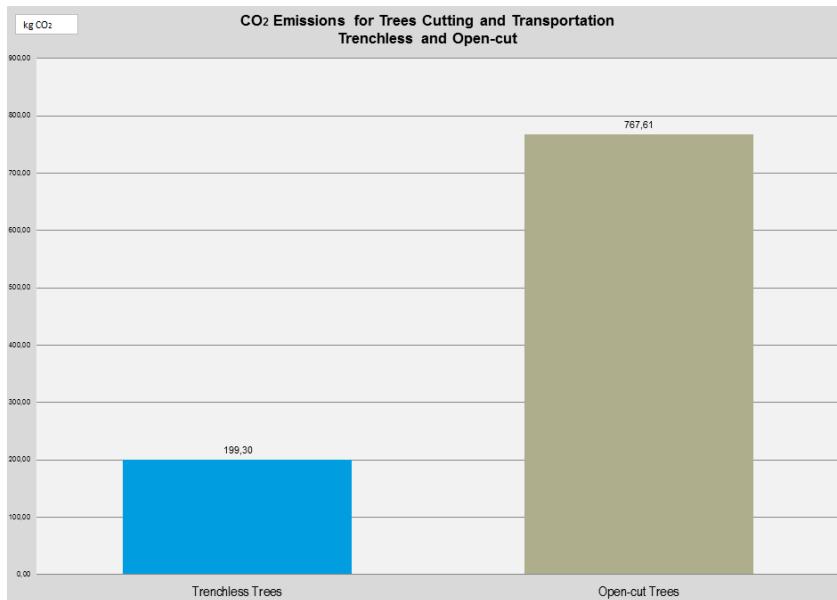
Darüber hinaus ist zu beachten, dass durch die Vermeidung von Grabungsarbeiten (offene Verlegung) ebenso weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen und weniger Maßnahmen zur Sanierung der Umgebung anfallen. Laut Tardiff (2009) reduzieren Grabungen in der Nähe von gepflasterten Flächen deren Lebensdauer um mindestens 30 Prozent<sup>20</sup>. Jung und Shina (2004) zufolge kann sich die Lebensdauer von Pflasterungen im Falle einer offenen Verlegung sogar um 40% verringern<sup>21</sup>.

In der nachfolgenden Abbildung 22 wird der spezifische Aspekt der Vegetation für beide Szenarien im Detail dargestellt. Obwohl die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die bei der Behandlung der Landschaft (Fällen und Transport von Bäumen, Sanierung von Rasenflächen) anfallen, innerhalb der Gesamtsumme der Emissionen nur einen minimalen Anteil ausmachen, lässt sich feststellen, dass die offene Verlegung einen gewaltigen Eingriff in die Landschaft und die damit verbundene Tierwelt darstellt.

<sup>20</sup> Isabel Tardiff, Center of Expertise and Research on Infrastructure in Urban Areas, Montreal, Canada, „How to take advantage of green thinking to get more funding for infrastructure“, Paper Presented at the NASTT and ISTT No-Dig Show 2009, pp6.

<sup>21</sup> Yeun J. Jung, Sunil K. Sinha, „Trenchless Technology: An Efficient and Environmentally Sound Approach for Underground Municipal Pipeline Infrastructure Systems“, No Dig 2004, New Orleans, pp1.

Abbildung 22



Die Emissionswerte sind im Detail in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

| Emissionsquelle  | kg CO <sub>2</sub> |
|--|--------------------|
| Grabenlose Verlegung: Vorbereitung von Schächten                   | 85.782.907,12      |
| Offene Verlegung: Vorbereitung von Schächten                       | 457.240.143,6      |
| Grabenlose Verlegung: Grundwasserhaltung                           | 13.028.694,21      |
| Offene Verlegung: Grundwasserhaltung                               | 27.755.113,73      |
| Grabenlose Verlegung: Rohrvortrieb und Bau von Tangentialschächten | 20.130.925,8       |
| Offene Verlegung: Verlegung von Rohren und Schächten               | 7.044.240,49       |
| Grabenlose Verlegung: Zusätzliche Sanierung                        | 0,00               |
| Offene Verlegung: Zusätzliche Sanierung                            | 572.281,05         |
| Grabenlose Verlegung: Bäume  | 199,3              |
| Offene Verlegung: Bäume  | 767,61             |

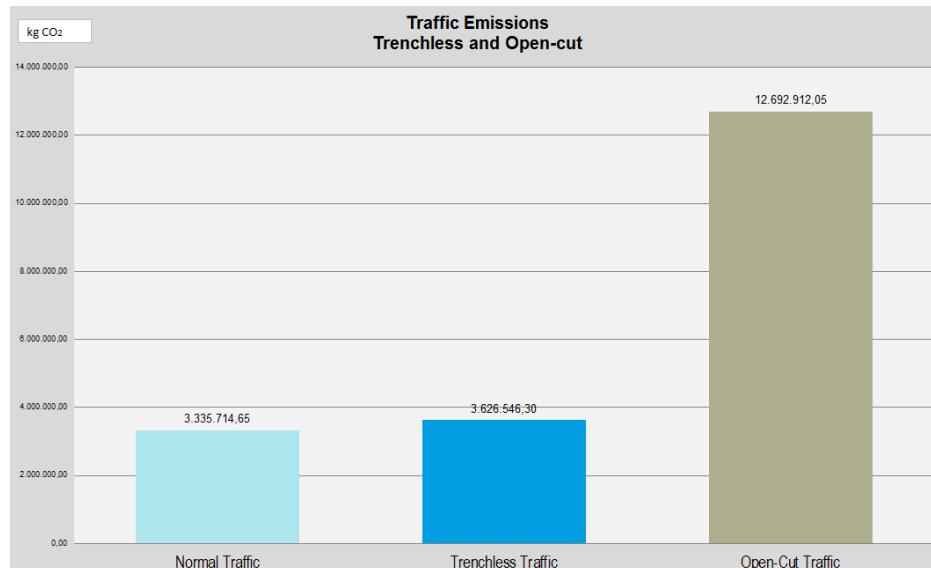
## 7.5 Verkehrsemissionen

Die durch den Verkehr verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen beziehen sich auf den 2,544 km langen Abschnitt der sechsspurigen Modlińska-Straße in Warschau. Für diese Berechnung wurden vor Ort während der Bauarbeiten (grabenlose Verlegung) und nach Abschluss der

Arbeiten (regulärer Verkehr) Messungen durchgeführt. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei offener Verlegung wurden auf Grundlage von KNR-Berechnungen und einer Literaturrecherche (siehe Kapitel 6 „Verkehr“) ermittelt.

Die Abbildung unten zeigt eine Gegenüberstellung von drei Situationen: üblicher Verkehr, Verkehr bei grabenloser Verlegung sowie Verkehr bei offener Verlegung.

Abbildung 23



Es zeigt sich, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen infolge des Verkehrs auf diesem Abschnitt der Modlińska-Straße bei der grabenlosen Verlegung im Vergleich zum regulären Verkehr höher waren. Im Falle einer offenen Verlegung jedoch wären die CO<sub>2</sub>-Emissionen circa 3,5 Mal höher als bei der grabenlosen Verlegung und fast vier Mal (3,8) so hoch wie bei regulärem Verkehr.

Die Verkehrsemissionen deuten darauf hin, dass die grabenlose Verlegung im Vergleich zu traditionellen Verlegungsmethoden große Vorteile mit sich bringt, da dadurch Staus und Umleitungen vermieden werden. Darüber hinaus gilt es zu berücksichtigen, dass mit der offenen Verlegung unter Umständen zusätzliche wirtschaftliche und soziale Kosten wie eine höhere Lärmbelastung oder erschwerter Zugang zu Betrieben und Wohngegenden in der Umgebung verbunden sind.

Einer von der North American Trenchless Society NASTT im Jahr 2004 präsentierten Studie zufolge können offene Verlegungsmethoden besonders in städtischen Ballungsräumen kostenintensiv sein<sup>22</sup>. Najafi und Gokhale (2004) merken an, dass die Allgemeinheit für vermehrte Verkehrsstaus oder Umleitungen aufkommt. Grabungsarbeiten verursachen Pendlern in stark befahrenen Gebieten höhere Kosten (d.h. zusätzlich Treibstoff, Wartung, Reparatur und Wertminderung von Fahrzeugen)<sup>23</sup>.

<sup>22</sup> Yeun J. Jung, Sunil K. Sinha, „Trenchless Technology: An Efficient and Environmentally Sound Approach for Underground Municipal Pipeline Infrastructure Systems“, No Dig 2004, New Orleans, pp1.

<sup>23</sup> Mohammad Najafi, Sanjiv Gokhale, „Trenchless technology – Pipeline and utility design, construction and renewal“, McGraw-Hill Books, New York, 2004, pp33.



## 8. Schlussfolgerungen

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die Hypothese „Die grabenlose Verlegung von Abwasserrohren ist eine klimaverträglichere Lösung als eine offene Verlegung“ für das Czajka I-Projekt auf ihren Wahrheitsgehalt zu überprüfen. Die analysierten Bereiche sind:

- Berechnung der Kohlenstoffemissionen bei grabenloser Verlegung (tatsächliches Szenario)
- Berechnung der Kohlenstoffemissionen bei offener Verlegung (theoretisches Szenario)
- Gegenüberstellung von grabenloser und offener Verlegung.

Angesichts der Berechnungen und diesbezüglichen Überlegungen lässt sich der Schluss ziehen, dass für das Czajka I-Projekt der Einsatz einer grabenlosen Technologie eine klimaverträglichere Lösung darstellt als eine offene Verlegung. Somit wird bestätigt, dass die Stadtverwaltung von Warschau die strategisch richtige Wahl getroffen hat, als sie sich im Falle der Kläranlage Czajka für eine grabenlose Lösung entschied.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden für die Produktionstätigkeiten, den Transport vor der Verlegung, die verlegungsspezifischen Tätigkeiten und den lokalen Verkehr ermittelt und miteinander verglichen. Einen besonderen Aspekt stellte die Modlińska-Straße in Warschau dar, auf der die Arbeiten auf einem zweieinhalb Kilometer langen Abschnitt der stark befahrenen sechs-spurigen Straße erfolgten. Im Hinblick auf die verschiedenen Bereiche der Berechnung ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- Die Gesamtmenge an CO<sub>2</sub>-Emissionen ist bei der offenen Verlegung deutlich höher als bei der grabenlosen Verlegung. Im Falle einer offenen Verlegung wären die Emissionen für das Czajka I-Projekt fast vier Mal so hoch gewesen.
- Die durch die Produktionstätigkeiten verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind bei einer grabenlosen Verlegung höher als bei einer offenen Verlegung. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass für die grabenlose Verlegung stärkere Rohre mit einer größeren Wandstärke erforderlich sind. Aufgrund der höheren Anforderungen an das Rohr ergibt sich auch ein höherer Verbrauch an Energie und Rohmaterialien.
- Im Hinblick auf die Transporttätigkeiten vor der Verlegung lässt sich feststellen, dass die Emissionen bei der grabenlosen Verlegung wahrscheinlich etwas höher wären als bei der offenen Verlegung.
- Die durch die Verlegung verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen stellen die bedeutendste Emissionsquelle für das Czajka-Projekt dar. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei einer offenen Verlegung sind deutlich höher als jene bei einer grabenlosen Verlegung. Im Falle einer offenen Verlegung wären mehr als vier Mal so hohe Emissionen wie bei der grabenlosen Verlegung entstanden. Darüber hinaus stellt die offene Verlegung einen gewaltigen Eingriff in die Landschaft dar.



- Im Hinblick auf den Verkehr des 2,544 km langen Abschnittes der Modlińska-Straße wären die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Falle einer offenen Verlegung circa 3,5 Mal höher gewesen als bei einer grabenlosen Verlegung und fast vier Mal so hoch wie die Emissionen bei üblichem Verkehr.

**Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen die Hypothese, dass für das Czajka I-Projekt die grabenlose Verlegung von Abwasserrohren eine klimaverträglichere Lösung darstellt als eine offene Verlegung. Möglicherweise wurden dank der Wahl einer grabenlosen Technologie 376.734.646,01 kg CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart.**

## 9. Kritische Begutachtung

Der Vergleich der CO<sub>2</sub> Immissionen für die grabenlose- und die konventionelle Bauweise am Beispiel des Czajka-Projektes in Warschau wurde von der GSTT mit initiiert und begleitet. Die vorliegende Arbeit wurde von uns kritisch geprüft und hinterfragt.

Besonders interessant ist aus unserer Sicht der Ansatz, an einem konkreten Projekt die CO<sub>2</sub>-Immission von der Produktion über den Transport bis hin zum Einbau des Rohrmaterials sowie die Verkehrsbeeinträchtigungen durch die konkrete Baumaßnahme anhand von Verkehrszählungen zu untersuchen. Unser besonderes Augenmerk lag auf der Untersuchung der Einbau- und der Verkehrs-Immissionen, da sich hier die größten Einsparpotentiale darstellen.



Bei dem Einbau wurden in dem konkreten Projekt bei der grabenlosen Bauweise rund 76 % weniger CO<sub>2</sub>-Immissionen ermittelt als bei der konventionellen Bauweise. Die GSTT hat bei früheren Untersuchungen ein Einsparpotential von 63 % ermittelt, allerdings bei einem deutlich kleineren Vortriebsrohr DN 600 und ohne Grundwasserhaltung. Die ermittelten Werte sind daher projektspezifisch nachvollziehbar.

Das größte Einsparpotential liegt allerdings bei den Verkehrsimmisionen. Hingegen zeigen die unterschiedlichsten Untersuchungen, dass die Ermittlung der Emissionen gerade in diesem Bereich auch am schwierigsten ist. Da es selten Projekte gibt, bei denen die offene und die geschlossene Bauweise parallel praktiziert werden, müssen in der Regel zumindest für eine Bauweise Annahmen getroffen werden. Bei dem Czajka-Projekt wurden Verkehrszählungen, sowohl bei ungestörten Verhältnissen wie auch bei den relativ geringen Beeinträchtigungen durch die geschlossene Bauweise, durchgeführt. Das Ergebnis bestätigt unsere Erfahrungen, dass die temporären, punktuellen Einschränkungen einer Fahrspur die Emissionen auch nur geringfügig erhöhen – bei den konkreten Untersuchungen um knapp 9%. Gravierend ist das Ergebnis der Gegenüberstellung der offenen und der geschlossenen Bauweise. Hier wurde eine Erhöhung der Emissionen um 250% ermittelt. Basis für die Berechnung bilden verschiedene Studien in Verbindung mit der Ecoinvent Datenbasis. Stichprobenartige Kontrollen bestätigen die Ergebnisse. Sehr konservativ sind aus unserer Sicht die Bauzeitannahmen. Es wurde lediglich eine Verkürzung der Bauzeit von 14% angesetzt, unsere Erfahrungswerte liegen zwischen 30 – 50 %, andere Untersuchungen berichten von bis zu 60%. Auch die Annahme, dass bei der offenen Bauweise lediglich eine Fahrspur über die ganze Länge gesperrt werden muss, ist in der Realität nur schwer durchführbar. Der Bodenaushub und die Bodenverladung ist bei den Bodenvolumen bei der offenen Bauweise eine logistische Herausforderung. Die Wahrscheinlichkeit, dass zumindest punktuell eine weitere Spur gesperrt werden muss, ist relativ groß. Dadurch würden die Immissionen sich noch einmal deutlich erhöhen.



Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die vorliegende Studie sich seriöser Datenquellen und Berechnungsmodellen bedient und dort, wo Annahmen getroffen werden mussten, sehr konservative Betrachtungen angestellt wurden. Es kann aus unsere Sicht davon ausgegangen werden, dass bei dem Czajka-Projekt die tatsächlichen Einsparungen durch den Einsatz der grabenlosen Bauweisen noch höher als die in der Studie ermittelten Einsparungen von 376.734.646,01 kg CO<sub>2</sub> liegen.

A handwritten signature in blue ink that reads "Jens Höllerhoff".

Prof. Jens Höllerhoff, Vorstandsvorsitzender GSTT e.V.



## 10. Literaturverzeichnis

- Anna Hedlund-Åström, „Hotel Module in Glassfiber Sandwich, Environmental Study“, KTH Machine Design, Stockholm, Sweden, 2008, pp. 13
- Martin Patel, „Closing carbon cycles“, Proefschrift Universiteit Utrecht, Utrecht, Netherlands, 1999, pp.76
- Environmental Protection Agency EPA, AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 4: Evaporation Loss Sources, 4.4 Polyester Resin Plastic Products Fabrication, USA, 2008, Table 4.4-2
- Territory and Municipal Services (TAMS), Design standards for urban infrastructure – Chapter 6, Latest version, Canberra City ACT 2601, Canberra, Australia, pp.9
- Yeun J. Jung, Sunil K. Sinha, „Trenchless Technology: An Efficient and Environmentally Sound Approach for Underground Municipal Pipeline Infrastructure Systems”, No Dig 2004, New Orleans, USA, pp. 1, 7.
- Bush, G and Simonson, J, „Rehabilitation of underground water and sewer lines. The costs beyond the bid“, University of Houston, Texas, USA, 2001
- Mohammad Najafi, Sanjiv Gokhale, „Trenchless technology – Pipeline and utility design, construction and renewal”, McGraw-Hill Books, New York, USA, 2004, pp. 33
- PG Boulter, T J Barlow, S Latham, I S McCrae, “Emission Factors 2009, Report 1- A review of methods for determining hot exhaust emission factors for road vehicles”, TRL Limited, United Kingdom, 2009, pp. 40
- Asian Development Bank, Independent Evaluation Department, “Reducing carbon Emissions from Transport Projects”, July 2010, pp. 18
- Matthew Barth and Kanok Boriboonsomsin, „Traffic congestion and greenhouse gas“, Access – Transportation research at the University of California, California, USA, 2009, pp. 5
- Sangjun Park and Hesham Rakha, „Energy and environmental impact of roadway grades“, Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Tech, Blacksburg, USA, 2005, pp. 14
- IRU (International Road Transport Union),  
[[http://www.iru.org/index/en\\_policy\\_co2\\_response\\_flowingletraffic](http://www.iru.org/index/en_policy_co2_response_flowingletraffic)], accessed 08.04.2011
- Isabel Tardiff, Center of Expertise and Research on Infrastructure in Urban Areas, „How to take advantage of green thinking to get more funding for infrastructure“, Paper Presented at the NASTT and ISTT No-Dig Show 2009, Montreal, Canada, 2009, pp. 6.



Make things happen. **HOBAS**®

**HOBAS Engineering GmbH**  
Pischeldorf Str. 128 | 9020 Klagenfurt | Austria |  
[info@hobas.com](mailto:info@hobas.com) | [www.hobas.com](http://www.hobas.com)



GERMAN SOCIETY FOR TRENCHLESS TECHNOLOGY E.V.

Deutsche Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen e.V.

Messedamm 22, D – 14055 Berlin  
Tel.: +49 (0)30 3038-2143, Fax: 49 (0)30 3038-2079  
E-Mail: [info@gstt.de](mailto:info@gstt.de), Internet: <http://www.gstt.de>