

Berufsfachschule Uster Berufsmaturität
BM 2 Technik, Architektur, Life Sciences (TALS)

IDPA T4T17a

Glasl / Ruckstuhl / Baumli

Berufsmaturitätsarbeit

Abfallverwertung

In zwei Grossstädten: Zürich - Kopenhagen

R. Santelli

Frühlingssemester 2019

Abgabedatum: 6. April 2019



1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis.....	1
2	Abkürzungsverzeichnis.....	4
3	Kurzfassung – Abstract.....	6
4	Einleitung	7
4.1	Ausgangssituation	7
4.2	Themenwahl	7
4.3	Gliederung der Arbeit	7
5	Fragestellung.....	8
5.1	Arbeitsmethoden	8
6	Hauptteil	9
6.1	Kehrichtverbrennungsanlagen.....	9
6.1.1	Übersicht	9
6.1.2	Gesetze und Normen	10
6.1.3	Funktionsweise	10
6.1.4	Standorte	11
6.1.5	Städtevergleich	12
6.1.6	KVA - Vergleich	13
6.1.7	CO ₂ Emissionen	18
6.1.1	Wertungskriterien.....	19
6.1.2	Wertung.....	20
6.2	Sonderabfälle	22
6.2.1	Inhalt.....	22
6.2.2	Wertung.....	23
6.2.3	Vergleich	24

6.2.4	Auswertung.....	27
6.3	Normaler Abfall.....	29
6.4	Kohlenstoffdioxid (CO ₂).....	29
6.4.1	Verbrennung.....	31
6.4.2	Transport	35
6.5	Wärmerückgewinnung.....	37
6.5.1	Inhalt.....	37
6.5.2	Wertung.....	37
6.5.3	Vergleich	39
6.5.4	Auswertung.....	41
6.6	Stromrückgewinnung.....	43
6.6.1	Inhalt.....	43
6.6.2	Wertung.....	43
6.6.3	Vergleich	45
6.6.4	Auswertung.....	46
6.7	Schlussfolgerung und Endresultat.....	47
7	Schluss – Fazit	48
8	Bibliographie	49
8.1	Internetquellen	49
8.2	Fachliteratur.....	60
8.3	Gesetzestexte.....	62
8.4	Rahmenbedingung	63
8.5	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	63
8.5.1	Abbildungen.....	63
8.5.2	Tabellen:	63
8.6	Abbildungs- und Tabellenquellen.....	64

8.6.1	Abbildungen.....	64
8.6.2	Tabellen	65
9	Eigenständigkeitserklärung	66
10	Anhang.....	67
11	Lose Beilagen	67

2 Abkürzungsverzeichnis

≥	grösser oder gleich (Kontextspezifisch: «besser als»)
AG	Aktiengesellschaft
ARC	Amager Resourcecenter
BM	Berufsmaturität
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DKK	Dänische Kronen
Dr.	Doktor
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
ERZ	Entsorgung und Recycling Zürich
Fr.	Franken
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
IDAF	Interdisziplinäre Arbeit zwischen den Fächern
IDPA	Interdisziplinäre Projektarbeit
Kg	Kilogramm
km ²	Quadratkilometer
KVA	Kehrichtverbrennungsanlagen
m	Meter
m ²	Quadratmeter
Mio.	Millionen
MWh	Megawattstunden
Ø	Durchschnitt(lich)
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
t	Tonne [1000kg]
URL	Uniform resource locator
USD	US-Dollar
USG	Umweltschutzgesetz
UVEK	Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VeVA	Verordnung über den Verkehr mit Abfällen

VVEA	Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen
WWF	World Wide Fund For Nature
WTE	waste-to-energy

3 Kurzfassung – Abstract

Das Ziel der vorliegenden IDPA/Maturitätsarbeit war es, die Abfallverwertung der beiden Grossstädte Zürich und Kopenhagen zu vergleichen und festzustellen, welche Stadt anhand der in der Arbeit definierten Wertungskriterien ihren Abfall besser verwertet. Die beiden Städte wurden anschliessend anhand der erarbeiteten Wertungskriterien miteinander verglichen und es wurde eine Gesamtbilanz gezogen.

Folgende Kriterien wurden dabei berücksichtigt: Stand der Technik der KVA, CO₂-Emissionen der KVA, Baujahr der KVA, Verwertungskapazität der KVA, Innovation der KVA, Wärmerückgewinnung der KVA, Stromrückgewinnung der KVA, Logistikmanagement Abfall und Sonderabfallverwertung des Land.

Die Auswertung hat ergeben, dass Kopenhagen mit 19.45 von 25 Punkten besser abschneidet als Zürich, welche nur 15.7 von 25 Punkten erreicht hat.

Diese Arbeit ist interessant für KVA Betreiber und für Studierende aus dem Bereich Umwelt- und Bauwissenschaften.

The aim of the present IDPA / Matura thesis was to compare the waste utilization of the two cities of Zurich and Copenhagen, to determine which city utilizes their waste better on the basis of the evaluation of the criteria defined in this thesis. The two cities were then compared with each other on the basis of the established evaluation criteria and an overall conclusion was drawn.

The following criteria were considered: state of the art of WTE plants, CO₂ emissions of WTE plants, construcion year of WTE plants, processing capacity of WTE plants, innovation of WTE plants, heat recovery of WTE plants, power generation of WTE plants, logistic management of waste and hazardous waste management of the country.

The evaluation showed that Copenhagen scored 19.45 out of 25 points and Zurich only scored 15.7 out of 25 points.

This thesis is interesting for WTE plant operators and for students in the field of environmental and construction sciences.

4 Einleitung

4.1 Ausgangssituation

Vorliegende Arbeit ist eine IDPA. Ziel dieser Berufsmaturitätsarbeit/IDPA ist es, sich in einer Gruppe selbstständig und kritisch mit einem Thema auseinanderzusetzen und dies in einer Arbeit zu dokumentieren. Dabei sollen grundsätzliche Kriterien und Arbeitsweisen wissenschaftlichen Arbeitens gelernt und eingeübt werden, wie sie an weiterführenden Schulen verlangt werden.¹

4.2 Themenwahl

Diese Arbeit behandelt das Thema:

«Abfallverwertung, ein Vergleich von zwei Grossstädten: Zürich – Kopenhagen.»

Gewählt haben wir das Thema, weil es aus unserer Sicht immer wichtiger wird, sich über unseren ökologischen Fussabdruck auf unserem Planeten Gedanken zu machen und weil auch kleine Veränderungen einen Unterschied bewirken. Zudem interessieren wir uns dafür, was heute bereits geleistet wird bzw. was noch geplant ist. Persönliche Erlebnisse im Ausland haben uns zusätzlich animiert, das Thema des Abfalls und des Recyclings aufzuarbeiten. Um sich bewusst zu werden, dass der Prozess der Abfall- und Recyclingwirtschaft ein langwieriger ist, der langfristige Planung und den vollen Rückhalt aus Bevölkerung und Politik benötigt.

4.3 Gliederung der Arbeit

Die Arbeit ist wissenschaftlich ausgelegt. Sie soll dem Zweck dienen, unsere ausgearbeitete Fragestellung zum Thema beantworten zu können. Sie stützt sich dabei auf sämtliche zugängliche Informationsquellen. Ebenfalls ist eine umfassende Bibliographie zur ausgewählten Thematik angefügt. Der Inhalt dieses Werks stützt sich auf die Vorgaben des Dokuments «Anleitung für die Berufsmaturitätsarbeit 2018/19 BM1 und BM2 Technik».²

¹ Dokument: „Anleitung für die Berufsmaturitätsarbeit 2018/19 BM1 und BM2 Technik“.

² Abgabe im Unterricht und online auf schulinterner Seite.

5 Fragestellung

Die folgende Fragestellung soll gleichzeitig das Forschungsziel unserer Arbeit sein. Diese ermöglicht es, uns auf einen spezifischen Teilbereich eines breitgefächerten Themas zu fokussieren. Nur so ist auch eine konkrete Beantwortung innerhalb dieser Arbeit möglich.

Bei der Bearbeitung der IDAF³, der Vorarbeit zur IDPA, bei welcher wir mehrere Quellenkritiken schreiben durften, wurde uns schon ein wenig bewusst, in welche Richtung sich unsere Berufsmaturitätsarbeit entwickeln würde. Damals erarbeiteten wir diese provisorischen Fragestellungen:

- ➔ Was kann besser gemacht werden und wieso?
- ➔ Wo gibt es Unterschiede, welche Folgen haben diese?
- ➔ Ist in der heutigen Zeit und auf dem technologischen Niveau der beiden Grossstädte noch Optimierungspotential vorhanden?

Interessant finden wir die Betrachtung zweier international bekannten Grossstädte, wobei Kopenhagen sogar die Hauptstadt Dänemarks ist. Beide Städte sind auf technologisch, ökologisch und gesetzlich hohem Niveau.

Daraus leiteten wir folgende kritische Fragestellung für unsere IDPA ab:

- ➔ **Welche Stadt verwertet ihren Abfall besser?**

5.1 Arbeitsmethoden

Die vorliegende Fragestellung versuchen wir vor Allem mittels extern erhobener Statistiken zu beantworten. Dazu besuchten wir die jeweiligen statistischen Ämter von Zürich und Kopenhagen und recherchierten in allen zugänglichen Medien.

Auf der IDPA-Reise versuchten wir zudem, uns selbst ein Bild der Lage vor Ort zu machen und konsultierten die neuste, modernste Verbrennungsanlage Europas in Kopenhagen. Sowie als Vergleich dann auch die Verbrennungsanlage Hagenholz in Zürich.

³ IDAF_Abfall_und_Recycling 08. Dezember 2018.

6 Hauptteil

6.1 Kehrichtverbrennungsanlagen

6.1.1 Übersicht

Kehrichtverbrennungsanlagen nehmen einen wichtigen Teil im gesamten Abfallmanagement ein. So ist es wichtig, genügend grosse oder einen Verbund mehrerer Kehrichtverbrennungsanlagen zu erstellen beziehungsweise zu unterhalten. Sie stellen eine optimale Auslastung der Verwertungskapazitäten sicher und gewährleisten die Entsorgungssicherheit durch Aushilfe im Falle von geplanten und ungeplanten Anlagenstillständen.⁴

Doch sind Kehrichtverbrennungsanlagen auch Rohstoffquellen und Kraftwerke zugleich, denn sie verbrennen nicht nur Abfall, welcher aus Industrie und Haushalten stammt, sondern sie produzieren auch Energie in Form von Strom und oder Fernwärme. Dadurch muss im Endeffekt weniger Gas und oder Öl importiert und verbrannt werden. Für den Strom, welcher erzeugt wird, braucht es weniger Strom aus Schweizer Kernkraft oder Gaskraftwerken oder ausländische Stromimporte. Schlussendlich sind selbst die Abfallrückstände eine Quelle voller wertvoller Metalle und Mineralstoffe.⁵

Durch ihr grosses Potenzial und die Aktualität der Thematik nimmt die Bedeutung der Verwertungsanlagen zunehmend zu. «Dies kommt in der Kapazitäts- und Standortplanung der thermischen Verwertung von Abfällen im Kanton Zürich 2012–2035 zum Ausdruck, welche die Baudirektion Kanton Zürich zusammen mit den Trägerschaften der fünf Zürcher Kehrichtverbrennungsanlagen für die nächsten 20 Jahre erarbeitet hat. «Die Erneuerung der Anlagen ist auf eine optimale Energienutzung auszurichten», forderte Regierungspräsident Markus Kägi, Baudirektor.»⁶

⁴https://awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/betriebe_anlagen_baustellen/abfallanlagen/kehrichtverbrennung_kva.html [Stand: 03.03.2019].

⁵https://awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/aktuell.newsextern.-internet-de-aktuell-news-medienmitteilungen-2012-291_kehrichtverwertungsanlagen.html [Stand: 03.03.2019].

⁶https://awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/aktuell.newsextern.-internet-de-aktuell-news-medienmitteilungen-2012-291_kehrichtverwertungsanlagen.html [Stand: 03.03.2019].

6.1.2 Gesetze und Normen

Die Abfallwirtschaft wird streng kontrolliert und muss sich an viele gesetzliche Rahmenbedingungen und oder Normen halten. Einige wichtige Dokumente hierzu werden nachfolgend aufgeführt: In der Schweiz sind alle relevanten Gesetze und Verordnungen auf der Seite des Bundes unter dem Bundesamt für Umwelt verfügbar.⁷ Wichtig zu benennen sind das Umweltschutzgesetz (USG) sowie die Abfallverordnung (VVEA). In Dänemark ist ein wichtiges Dokument das der Europäischen Kommission, namentlich das: «Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, August 2006».⁸

6.1.3 Funktionsweise

Herkömmliche Verbrennungsanlagen bestehen aus einer Müllanlage, einer Verbrennungsanlage, einer Rauchgasreinigungsanlage sowie einer Flugaschen- und Abwasserbehandlungsanlage. Diverse Hilfs- und Nebensysteme unterstützen das Bauwerk.⁹

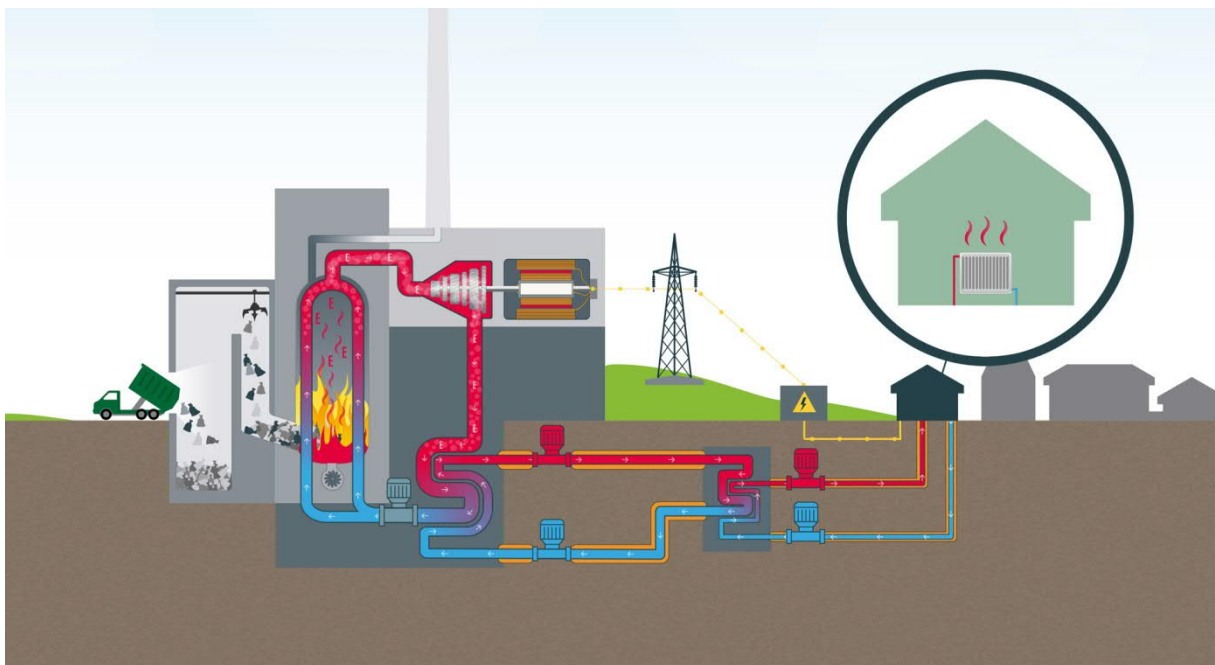


Abbildung 1: Funktionsweise Verwertungsanlage¹⁰

⁷ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/recht/gesetze-verordnungen.html> [Stand: 03.03.2019].

⁸ http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wi_bref_0806.pdf [Stand: 03.03.2019].

⁹ <https://de.wikipedia.org/wiki/M%C3%BCllverbrennung> [Stand: 03.03.2019].

¹⁰ <https://www.vestfor.dk/media/1055/vestforbraending-forbraendingsproces.jpg> [Stand: 03.03.2019].

In obenstehender Grafik wird die Funktionsweise einer herkömmlichen Müllverbrennungsanlage schematisch dargestellt. Darauf zu sehen ist die Müllankunft durch Müllsammelwägen in den sogenannten Müllbunker. Durch einen Greifer gelangt der Abfall in die Verbrennungskammer. Hier wird durch die Hitze ein geschlossener Kreislauf an Wasser erwärmt, welcher durch Dampf einerseits Stromgeneratoren antreibt und danach seine Wärme an einen Fernwärmekreislauf abgibt. Dadurch lassen sich Haushalte in der Umgebung heizen.

6.1.4 Standorte

In der Schweiz zählen wir einen Verbund von rund 31 Kehrrechtverbrennungsanlagen (KVA). Dies auf einer Fläche von 41'285 km² ¹¹ und einer Einwohnerzahl von 8'417'700 Millionen Menschen.¹² Dies führt zu einem Schnitt von 1.19 Anlagen pro Kanton, 271539 Einwohner pro Anlage oder einem Einzugsgebiet von 1332 km² / Anlage. In Kopenhagen zählen wir einen Verbund von 24 Kehrrechtverwertungsanlagen, auf einer Fläche von 42'933 km² ¹³ und einer Einwohnerzahl von 5.790.000¹⁴ Millionen. Dänemark gliedert sich in fünf Verwaltungsregionen, dies führt zu einem Schnitt von 4.8 Anlagen pro Region, 241250 Einwohner pro Anlage und einem Einzugsgebiet von 1789 km² / Anlage.

Hier fällt bereits auf, dass, gemessen an der Fläche und der Einwohnerzahl pro Anlage, in der Schweiz eine grössere Dichte an Kehrrechtverbrennungsanlagen vorhanden ist.

¹¹ <https://www.laenderdaten.info/Europa/Schweiz/index.php> [Stand: 05.03.2019].

¹² <https://bestswiss.ch/einwohner-schweiz-einwohnerdichte> [Stand: 05.03.2019].

¹³ <https://www.laenderdaten.info/Europa/Daenemark/index.php> [Stand: 05.03.2019].

¹⁴ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/19296/umfrage/gesamtbevoelkerung-von-daenemark/> [Stand: 05.03.2019].

Gut illustriert wird dies auch durch folgende beiden Grafiken (Punkt = KVA).



Abbildung 2: Schweiz ¹⁵

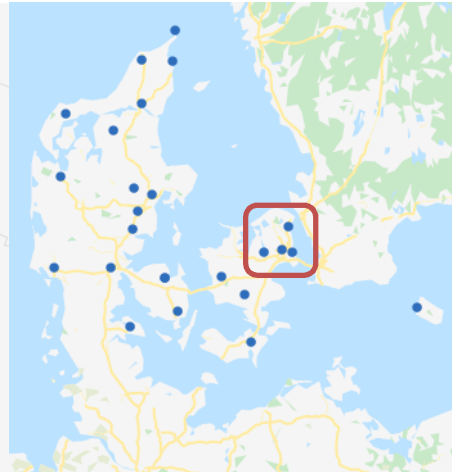


Abbildung 3: Dänemark ¹⁶

Schaut man sich nun den Kanton Zürich und die **Verwaltungsregion Hovedstaden** an, in denen die Städte Zürich beziehungsweise Kopenhagen liegt, so kommen wir im Kanton Zürich auf fünf und in Hovedstaden auf vier Verwertungsanlagen.

6.1.5 Städtevergleich

Vergleichen wir nun die Hauptorte der beiden Verwaltungsregionen, namentlich die Stadt Zürich und die Stadt Kopenhagen, so stellen wir folgendes fest:

In der Stadt Zürich gibt es zwei Verwertungsstandorte: die Kehrichtverwertungsanlage Zürich Hagenholz ERZ, betrieben durch das ERZ (Entsorgung und Recycling Zürich)¹⁷, und die KVA Zürich Josefstrasse ERZ betrieben durch die Fernwärme Zürich AG¹⁸. In Kopenhagen zählen wir drei Verwertungsstandorte: die KVA Norfors, betrieben durch I/S, Stakeholder sind die Gemeinden: Allerød , Fredensborg Municipality , Helsingør , Norfors und Rudersdal¹⁹, die KVA Vestforbrænding ebenfalls betrieben durch I/S sowie das Amager Ressourcecenter²⁰, Stakeholder sind die Gemeinden Dragør, Frederiksberg, Hvidovre, København og Tårnby.

¹⁵ <https://vbsa.ch/anlagegruppen/kva/> [Stand: 05.03.2019].

¹⁶ <http://www.drh-amba.dk/forbraendingsanlaeg/dealerslist> [Stand: 05.03.2019].

¹⁷ https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling.html [Stand: 05.03.2019].

¹⁸ <http://www.fernwaerme-zuerich.ch/> [Stand: 05.03.2019].

¹⁹ <http://www.norfors.dk/> [Stand: 05.03.2019].

²⁰ <https://www.a-r-c.dk/> [Stand: 06.03.2019].

In folgendem Diagramm veranschaulichen wir einige statistische Werte.

	Stadt Zürich	Stadt Kopenhagen
Einwohnerzahl	428'737 ²¹	622'698 ²²
Fläche in km ²	87.9 ²³	88 ²⁴
Anzahl Verwertungsanlagen	2	3
Ø Abfallmenge in t / Jahr / Haushalt	301'466 ²⁵	258'006 ²⁶
Verwertungskapazität in t / Jahr	355'0000 ²⁷	1'066'000 ²⁸

Tabelle 1: Einfacher Städtevergleich

6.1.6 KVA - Vergleich

Hier vergleichen wir die fünf Verwertungsanlagen direkt zueinander: die KVA Hagenholz, KVA Josefstrasse, KVA Norfors, KVA Vestforbrænding und das Amager Resourcecenter.

Die KVA Hagenholz, (**KVA – A**) wurde 1969 erbaut.²⁹ Im Jahre 2011 wurde die Anlage für ein Investitionsvolumen von ca. 234 Millionen Fr. technologisch auf den neusten Stand gebracht.³⁰ Rund zwei Jahre später wurde ebenso die Rauchgasanlage erneuert und 2016 mittels Volksabstimmung die Metallrückgewinnungseffizienz aus der Abfallschlacke durch

²¹ https://www.stadt-zuerich.ch/prd/de/index/statistik/themen/bevoelkerung.html#ueberblick_bevoelkerungstadtzuerich [Stand: 06.03.2019].

²² <http://www.statbank.dk/statbank5a/SelectVarVal/saveselections.asp> [Stand: 06.03.2019].

²³ Statistisches Amt des Kantons Zürich in Zusammenarbeit mit der Zürcher Kantonalbank, «Kanton Zürich in Zahlen 2018», 2018.

²⁴ <https://de.db-city.com/D%C3%A4nemark--Hovedstaden--Kopenhagen> [Stand: 06.03.2019].

²⁵ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/zustand/daten/abfallstatistiken-2017.html> [Stand: 06.03.2019].

²⁶ Die dänische Regierung, «Denmark without waste», 2013.

²⁷ https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling/zuerich_waerme/produktionsanlagen/kehrichtheizkraftwerk/hagenholz.html [Stand: 06.03.2019].

http://www.fernwaerme-zuerich.ch/daten_und_fakten.htm [Stand: 06.03.2019].

²⁸ <https://www.a-r-c.dk/om-arc/hoved-og-noegletal> [Stand: 06.03.2019].

Babcock & Wilcox Vølund A/S, «WASTE-TO-ENERGY PLANT Nordforbrænding Hørsholm, Denmark»

<https://www.vestfor.dk/nyheder-og-presse/pressemateriale/> [Stand: 06.03.2019].

²⁹ https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling/ueber_uns/geschichte.html [Stand: 07.03.2019].

³⁰ <http://www.z-a-v.ch/de/ueber-uns#member-5> [Stand: 07.03.2019].

neue Magnete auf fast nahezu 100% gesteigert.³¹ Die Anlage wird vom WWF als eine der modernsten in ganz Europa betitelt.³²

Die KVA Josefstrasse, (**KVA – B**) in Zürich war die vierte Kehrichtverwertungsanlage in Europa überhaupt. Gebaut 1904, hatte sie dabei eine Vorreiter- und Vorbildrolle.³³ Bereits 1928 wurde das erste Fernwärmenetz an ihr angeschlossen.³⁴ 1995 wurde die Anlage erneuert und mit einer neuen Verbrennungslinie ergänzt.³⁵

Die heutige Technik ist verglichen rückständig. Interessant ist zudem, dass die KVA Josefstrasse seit 2011 aus der kantonalen Abfallplanung entlassen wurde. So gilt ihre verfügbare Kapazität als nicht mehr benötigt und sie verwertet keinen Abfall aus Zürich und Umgebung mehr. Stattdessen werden ihre Ressourcen genutzt um importierten Abfall aus Süddeutschland zu verwerten.³⁶ Die Anlage soll 2020/21 abgebrochen werden.³⁷

Die KVA Norfors, (**KVA – C**) ist ein kommunales Abfallunternehmen. Ihre Hauptbereiche sind die Müllverbrennung und Energieerzeugung, die Fernwärmeversorgung, Recycling, Entsorgung von Sondermüll sowie die Zusammenarbeit mit den angegliederten Gemeinden um gemeinsame Konzepte zu entwickeln oder zu optimieren.³⁸ Gegründet 1965, wurde sie von 2014 bis 2015 totalsaniert. Nach Abschluss der Bauarbeiten wurde sie dann auch anlässlich des 50. Geburtstages des Unternehmens von Nordforbrænding in Norfors umgetauft. 2016 wurde die Ofenlinie 5 in Betrieb genommen, welche drei bestehende, technologisch und ökologisch veraltete Linien ersetzt. Dadurch wird eine Energienutzung von nahezu 100% erreicht. 25% ergeben sich aus der Stromproduktion und 75% aus der

³¹ <https://www.nzz.ch/zuerich/stadt-zuerich/klares-ja-zur-metallrueckgewinnung-1.18497803> [Stand: 07.03.2019].

³² <https://www.wwf-zh.ch/intern/anlaesse/agenda.php?anlass=158&typ=1> [Stand: 07.03.2019].

³³ https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling/ueber_uns/geschichte.html [Stand: 07.03.2019].

³⁴ https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling/ueber_uns/geschichte.html [Stand: 07.03.2019].

³⁵ http://www.fernwaerme-zuerich.ch/daten_und_fakten.htm [Stand: 07.03.2019].

³⁶ <http://www.fernwaerme-zuerich.ch/index.htm> [Stand: 07.03.2019].

<https://www.limmattalerzeitung.ch/limmattal/zuerich/kehrichtverbrennungsanlage-josefstrasse-soll-ab-2020-abgebrochen-werden-108701947> [Stand: 07.03.2019].

³⁷ <https://www.limmattalerzeitung.ch/limmattal/zuerich/kehrichtverbrennungsanlage-josefstrasse-soll-ab-2020-abgebrochen-werden-108701947> [Stand: 07.03.2019].

³⁸ <http://www.norfors.dk/da-DK/Norfors/Om-Norfors/Hvem-er-Norfors.aspx> [Stand: 11.03.2019].

Fernwärme.³⁹ Ihre Rauchgasfilteranlage kann bis zu 99% aller unerwünschten Substanzen im Rauch entfernen. Dieser verlässt die Anlage über einen 100 Meter hohen Kamin. Während des normalen Betriebs der Ofenlinie 5 entsteht kein Abwasser, da die kondensierte Wasserdampfmenge als Prozesswasser in der Rauchgasreinigungsanlage der Ofenlinie 4 verwendet wird.⁴⁰

Die KVA Vestforbrænding, (**KVA – D**) ist Dänemarks größtes Entsorgungsunternehmen und Nordeuropas größter Hersteller von abfallbasierter Fernwärme. Die Müllverbrennungsanlage wurde zwischen 1960 und 1970 erbaut. 1990-93 wurde die Abwärme Anlage in Betrieb genommen. Ebenso wird hier an verschiedenen Pilotprojekten und Versuchsanlagen gearbeitet. beispielsweise dem LIFE Halosep-Projekt. Dies ist eine Zusammenarbeit zwischen Vestforbrænding und der schwedischen Stena Metall. Das Projekt wird von EU (Europäische Union) LIFE mit 17 Mio. DKK unterstützt.⁴¹ Dabei geht es darum eine Versuchsanlage zu errichten, welche in der Lage ist, Metalle aus der Flugasche zu reinigen. Jährlich werden in dieser bereits rund 15'000 Tonnen Flugasche in wiederverwertbare Metalle, Streusalze und gereinigte Asche umgewandelt.⁴² Ein Pilotprojekt ist die Sortierung von Sperrmüll durch Roboter. Die Funktion der Roboter besteht darin, zu differenzieren und so die Materialien auswählen, die recycelt werden können.⁴³

Das Amager Ressourcecenter, (**KVA – E**) in Kopenhagen ist wohl die neuste Anlage in unserem Vergleich. Sie ersetzt eine 40 Jahre alte Müllverbrennungsanlage.⁴⁴ Der erste, eröffnende Spatenstich war im Frühjahr 2013. Seit dann wird gebaut. Der Betrieb der Verbrennungsanlage wurde im September 2017 aufgenommen. Seit dann produziert das Kraftwerk Strom und Wärme für die Bewohner der Hauptstadt. Seit Ende 2017 wird am Amager Bakke gearbeitet, dem einzigen Hügel (bakke auf Dänisch) in der Region. Damit ist

³⁹ <http://www.ovnlinie5.dk/introduktion.html> [Stand: 11.03.2019].

⁴⁰ <http://www.ovnlinie5.dk/teknik.html> [Stand: 11.03.2019].

⁴¹ <https://www.vestfor.dk/udviklingsprojekter/halosep-fra-farligt-affald-til-ressourcer/> [Stand: 11.03.2019].

⁴² <https://www.stenarecycling.dk/baredygtig-genvinding/forskning-i-morgendagens-genvinding/life-halosep/> [Stand: 11.03.2019].

⁴³ <https://www.vestfor.dk/udviklingsprojekter/robotsortering-af-storskrald/> [Stand: 11.03.2019].

⁴⁴ Friederike Meyer «Müll und Ski | Abfallverbrennungsanlage in Kopenhagen», 2011.

das Dach der eigentlichen KVA gemeint. Darauf kann später auf einem Recyclingsubstrat auf Dänemarks grösster Skipiste skigefahren werden. Man kann sich an der neusten, höchsten Kletterwand der Welt (80m) messen oder den Hügel auf zehn verschiedenen Routen hochwandern. Auf fast 3'000m² entsteht eine einzigartige Grünlandschaft.⁴⁵ Die Arbeiten sollten Dezember 2018 abgeschlossen sein.⁴⁶

Bei unserer Besichtigung des Bauwerks während der IDPA Woche im Februar wurde offensichtlich, dass rund um die Anlage noch immer gebaut wird und von einer Fertigstellung keine Rede sein kann. In einem kurzen Gespräch mit der Besitzerin einer Après-Ski Bar direkt neben der Anlage wurde klar, dass eine Bauverzögerung von mehreren Monaten zu erwarten ist. Die Fertigstellung wird jedoch öffentlich auf Frühjahr 2019 angepriesen.⁴⁷



Abbildung 4: Skipiste



Abbildung 5: Baustelle 1



Abbildung 6: Baustelle 2

Die Hülle wurde in einem Wettbewerb ausgeschrieben. 36 Ideen wurden eingereicht. Die BIG Architekten erhielten den ersten Preis mit ihrem Ski-Berg.⁴⁸ Die generelle Idee war das schlechte Image dieses Industriezweigs zu verbessern. Dazu trägt auch der ausgeklügelte Schornstein bei, welcher jedes Mal, wenn bei der Verbrennung eine Tonne CO₂ zusammengekommen ist, einen Rauchring ausstösst.⁴⁹ «Der Ring ist das ultimative Zeichen von Hedonismus», erklärte Bjarke Ingels in einem Interview mit der Zeit.⁵⁰

⁴⁵ <https://www.a-r-c.dk/amager-bakke#tagparken> [Stand: 11.03.2019].

⁴⁶ <https://www.a-r-c.dk/om-arc/presse/amager-bakke-aabner-i-foraaret-2019> [Stand: 11.03.2019].

⁴⁷ <https://www.visitcopenhagen.com/copenhagen/amager-bakke-copenhill-gdk1088237> [Stand: 11.03.2019].

⁴⁸ Friederike Meyer «Müll und Ski | Abfallverbrennungsanlage in Kopenhagen», 2011.

⁴⁹ <https://big.dk/#projects-arc> [Stand: 11.03.2019].

⁵⁰ <https://www.zeit.de/kultur/2011-02/architekt-ingels/seite-2> [Stand: 11.03.2019].

Dennoch geriet das Bauvorhaben öfters in Verruf wegen schlechter Planung, Baufehler⁵¹ und Budgetübersteigende Kosten.⁵² So macht bereit die Fassade mit 25 Mio. Fr.⁵³ 5% des Gesamtpreises von ca. 500 Mio. Fr.⁵⁴ aus.

Bezüglich der Fassade ist es interessant zu erwähnen, dass die Bauherrschaft «Amagerforbrænding, Dänemark (ARC I/S Amager Ressourcecenter)» die Fassadenplanung weltweit ausgeschrieben hat und Dr. Lüchinger + Meyer Bauingenieure AG, Zürich den Zuschlag erhalten hat. Sie durften gemäss SIA, die Bauphasen 31 (Vorprojekt) bis 41 (Ausschreibung) bearbeiten.⁵⁵ Das Unternehmen zur Projektentwicklung stammt ebenso aus der Schweiz und ist namentlich die Tuchschnied AG, Frauenfeld⁵⁶. Die Fassadenprüfungen wurden von der Hochschule Luzern, Abteilung Technik und Architektur⁵⁷ durchgeführt. Die Korrosionsprüfungen von der EMPA Dübendorf⁵⁸. Der ausführende Stahlbauer kommt jedoch aus Deutschland und ist die Züblin Stahlbau GmbH. Für ihre Arbeit wurden sie mit dem European Award for Steel Structures 2017 ausgezeichnet.⁵⁹

⁵¹ <http://cphpost.dk/news/local-news-in-brief-countrys-most-expensive-incinerator-closes-down-indefinitely.html>
[Stand: 13.03.2019].

<https://ing.dk/artikel/amager-bakke-stopper-energiproduktionen-paa-grund-fejl-214369> [Stand: 13.03.2019].

⁵² <https://ing.dk/artikel/fejl-roer-omkring-forbraendingsovnene-amager-bakke-187482> [Stand: 13.03.2019].

<https://ing.dk/artikel/medie-amager-bakke-kommer-at-mangle-19-mia-kroner-185978> [Stand: 13.03.2019].

<https://ing.dk/artikel/sadan-blev-amager-bakke-alligevel-gigantisk-178430> [Stand: 13.03.2019].

⁵³ Clementine Hegner-van Rooden, «SZS steeldoc: Spezialkonstruktionen», 2017

<https://www.luechingermeyer.ch/project/arc-amager-ressource-centre-kopenhagen/> [Stand: 13.03.2019].

⁵⁴ <https://www.nzz.ch/panorama/skifahren-auf-einem-muellberg-1.18695256> [Stand: 13.03.2019].

<https://de.ramboll.com/projects/rme/copenhill> [Stand: 13.03.2019].

⁵⁵ Clementine Hegner-van Rooden, «SZS steeldoc: Spezialkonstruktionen», 2017.

⁵⁶ Judit Solt: «Der Koloss von Kopenhagen» [Stand: 13.03.2019].

⁵⁷ <https://www.hslu.ch/de-ch/technik-architektur/forschung/kompetenzzentren/gebaeudehuelle/fassaden-und-metallbau/fassadenpruefungen/> [Stand: 13.03.2019].

⁵⁸ https://www.empa.ch/web/s202/services-corrosion-tests?redirect=https%3A%2F%2Fwww.empa.ch%2Fweb%2Fempa%2Fsearch%3Fp_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximized%26p_p_mode%3Dview%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dkorrosionspr%25C3%25BCfung%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch&inheritRedirect=true [Stand: 13.03.2019].

⁵⁹ <http://www.zueblin-stahlbau.de/databases/internet/public/content30.nsf/web30?Openagent&id=B62AC3314C09CA5FC1258249003956C8>
[Stand: 13.03.2019].

Auch herrscht bspw. bei den Betreibern grosser Optimismus, dass das unerprobte, Gesamtkonzept bei der Bevölkerung überzeugen wird.⁶⁰ Ein Erfolg diesbezüglich wird möglicherweise darüber hinwegtrösten, dass die gesamte Anlage zwar sauber und effizient arbeitet, jedoch stark überdimensioniert ist. So soll importierter Abfall die Ressourcen ausschöpfen. Dies ist dann jedoch wieder schlecht für die Ökobilanz Kopenhagens.⁶¹

6.1.7 CO₂ Emissionen

Eine Emission ist ein Ausstoss eines festen oder gasförmigen Stoffes in den Boden, in das Wasser oder in die Luft. Verursacher sind meist technische Anlagen, die durch ihre Prozesse Emissionen generieren. So auch bei Verbrennungsanlagen bei der Verbrennung von jedweden Abfällen. Es wird alles verbrannt, was nicht auf Deponien gelagert werden kann. So auch organisch gebundener Kohlenstoff. Dieser darf nicht auf Deponien gelagert werden, weil sich daraus noch klimawirksame Gase, unter anderen Methan CH₄ bilden können. Es braucht also zuerst eine Senkung des Kohlenstoffgehalts. Dies wird nun eben durch die Verbrennung erreicht. Die KVA-Betreiber sind also durch die vorgegebene Gesetzeslage dadurch verpflichtet, im Abfall enthaltenen Kohlenstoff, im Sinne einer CH₄ Entwicklung, möglichst vollständig in CO₂ umzuwandeln.⁶²

Man muss sich aber bewusst sein, dass CO₂ ebenfalls ein schädliches Treibhausgas ist. Nun hängen jedoch die Mengen an produzierten CO₂-Emissionen ausschliesslich vom Kohlenstoffgehalt des angelieferten Abfalls ab. Da der KVA-Betreiber dies nicht beeinflussen kann, hat er folglich auch keinen Einfluss auf die direkten CO₂ Emissionen, die durch seinen Kamin in unsere Luft entweichen.

Eine direkte Reduktion von CO₂-Emissionen aus der Abfallverbrennung ist derzeit nicht möglich. Jedoch kann man durch verschiedene Möglichkeiten die CO₂-Emissionen indirekt reduzieren: Durch Nutzung der Abwärme (Fernwärme). Dadurch spart man andere fossile Brennstoffe. Durch Rückgewinnung der Metalle, da ein recyceln von Metallschrott weniger Energie verbraucht als die Gewinnung. Durch KVA-interne Effizienzmassnahmen. Durch eine

⁶⁰ <https://www.nzz.ch/panorama/skifahren-auf-einem-muellberg-1.18695256> [Stand: 13.03.2019].

⁶¹ <https://www.nzz.ch/panorama/skifahren-auf-einem-muellberg-1.18695256> [Stand: 13.03.2019].

⁶² <http://vbsa.ch/CO2-Report/co2-emissionen-aus-kehrichverwertungsanlagen-kva.html#fnref1> [Stand: 19.03.2019].

Reduktion des Imports von Abfällen. Ausländische Deponien erzeugen mehr Treibhausgase, als bei einer Verbrennung in der Schweiz bzw. Dänemark entstehen. Und durch die Produktion von Strom, wodurch andere fossile Brennstoffe eingespart werden.⁶³

Dies ergibt für unseren Städtevergleich folgende Zusammenstellung:

	Hagenholz	Josefstrasse	KVA Norfors	KVA Vestforbrænding	Amager Ressourcecenter
CO ₂ Ausstoss	130'003 t ⁶⁴	60'626 t ⁶⁵	Keine Angabe	189'183 t ⁶⁶	480'000 t ⁶⁷

Tabelle 2: Städtevergleich nach CO₂

6.1.1 Wertungskriterien

Die Wertung soll aufzeigen, welche Stadt in Bezug auf seine Kehrichtverbrennungsanlagen besser abschneidet. Die Wertung reicht von 1 bis 5, wobei 1 die schlechteste Wertung ist.

Punkte	Kriterien
1	Auf dem ältesten Stand der Technik, mit der kleinsten Verwertungskapazität bei grösstem CO ₂ – Ausstoss.
2	≥ 1
3	≥ 2
4	≥ 3
5	Am Innovativsten und modernsten, mit der grössten Verwertungskapazität, bei kleinstem CO ₂ Ausstoss

Tabelle 3: Wertungskriterien

⁶³ <http://vbbs.ch/CO2-Report/co2-emissionen-aus-kehrichverwertungsanlagen-kva.html#fnref1> [Stand: 19.03.2019].

⁶⁴ <http://vbbs.ch/CO2-Report/fossile-brutto-co2-emissionen.html> [Stand: 21.03.2019].

⁶⁵ <http://vbbs.ch/CO2-Report/fossile-brutto-co2-emissionen.html> [Stand: 21.03.2019].

⁶⁶ I/S Vestforbrænding / Kim Crillesen, som led i projektet «CO₂-opgørelse i den danske affaldsbranche», 2011

⁶⁷ <https://politiken.dk/klima/art6946534/Forbr%C3%A6ndingsanl%C3%A6g-overvejer-at-fjerne-CO2-fra-r%C3%B8gen> [Stand: 21.03.2019].

6.1.2 Wertung

	KVA-A	KVA-B	KVA-C	KVA-D	KVA-E
Stand der Technik	3	2	3	4	5
Baujahr	4	1	3	4	5
Ø Verwertungskapazität	3	1	2	5	4
CO ₂ - Ausstoss	3	5	- ⁶⁸	2	1
Innovation / Spezielles	4	1	3	5	3
Punkteschnitt	3.4	2.0	2.75	4.0	3.6

Tabelle 4: Wertung

Aufgrund unserer Wertungstabelle können wir nun einen direkten Vergleich ziehen. So schliesst die Dänische KVA Vestforbrænding, (**KVA – D**) mit 4.0 am besten ab. Ihr folgt das Amager Ressourcecenter, (**KVA – E**), dass mit 3.8. Platz drei belegt die Züricher KVA Hagenholz, (**KVA – A**) mit einem 3.4 Schnitt. Am schlechtesten schnitten die Dänische KVA Norfors, (**KVA – C**) Schnitt 2.75 sowie die Züricher KVA Josefstrasse, (**KVA – B**) mit 2.0 ab.

Für unseren Städtevergleich bedeutet dies für Zürich einen Punkteschnitt von:

$$\frac{3.4 + 2.0}{2} = \mathbf{2.70}$$

Und für Kopenhagen einen Punkteschnitt von:

$$\frac{2.75 + 4.0 + 3.6}{3} = \mathbf{3.45}$$

Somit hat in unserem Vergleich der Kehrichverbrennungsanlagen die Stadt Kopenhagen doch noch einen Vorsprung. Vor Allem in den Bereichen Aktualität, Stand der Technik und Innovation.

⁶⁸ Es konnten keine Referenzwerte recherchiert werden.

In der folgenden Grafik werden die einzelnen Bewertungsrelevanten Daten und Werte veranschaulicht. Die Tabelle ist zur besseren Leserlichkeit sowie Nachvollziehbarkeit ebenfalls im Anhang zu finden. Unter: «Wertungstabelle_KVA_aufgeschlüsselt».

	KVA-A	KVA-B	KVA-C	KVA-D	KVA-E
Stand der Technik	2011 generalüberholt	1995 erneuert, generell rückständig	2014 -15 Totalüberholt, 2016 neue Ofenlinie	Aktuell, beteiligt sich aktiv an Forschung und Innovationen	Neuster stand (Inbetriebnahme 2017)
Baujahr	1969	1904	1965	1960-70	2013
Ø Verwertungskapazität	245000	110000	152000	560000	354000
CO ² - Ausstoss	130003	60626	Keine Angabe	189183	480000
Innovation / Spezielles	Eine der modernsten in Europa	seit 2011 aus der kantonalen Abfallplanung entlassen. Wird 2020-21 abgebrochen.	Energienutzung von nahezu 100%, Rauchgasfilteranlage kann bis zu 99% aller unerwünschten Substanzen im Rauch entfernen	Pilotprojekt (LIFE Halosep-Projekt / Sortierung von Sperrmüll durch Roboter), Versuchsanlage (Metalle aus der Flugasche zu reinigen)	KVA ist gleichzeitig eine Freizeitanlage für jedermann. Minuspunkt für schlechte Planung, Baufehler und Budgetübersteigende Kosten

Abbildung 7: Wertungstabelle_KVA_aufgeschlüsselt

6.2 Sonderabfälle

6.2.1 Inhalt

Als Sonderabfälle werden allgemein diverse zu entsorgende oder bereits entsorgte Materialien bezeichnet, die für die Umwelt, Tiere oder den Menschen schädlich sein können. Eine allgemein verwendete rechtliche Definition gibt es hier nicht.⁶⁹

In der Europäischen Union wird der Begriff «Sonderabfall» in der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates definiert.⁷⁰

Gestützt auf diese Definition erstellte die Europäische Kommission ein Abfallverzeichnis, in dem Abfall einer Entstehungsbranche, sowie deren untergeordneten Verarbeitungsprozess zugeordnet wird. Dies resultiert in einer sechsstelligen Schlüsselnummer, wobei Sondermüll mit einem * gekennzeichnet wird.⁷¹

In der Schweiz wird der Begriff «Sonderabfall» in der Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (VeVA) definiert.⁷²

Gestützt auf diese Definition erliess das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation eine Verordnung mit einem Abfallverzeichnis und einem Verzeichnis der Entsorgungsverfahren. Bei der Erstellung dieser Verzeichnisse stützt sich das UVEK zudem auf die Verzeichnisse der Abfälle und der Entsorgungsverfahren der Europäische Union und des Basler Übereinkommens.⁷³

Sondermüll wird in dieser Richtlinie mit einem «s» gekennzeichnet.⁷⁴

⁶⁹ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallarten/gefaehrliche-abfaelle> [Stand: 10.03.2019].

⁷⁰ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0098&from=DE> [Stand: 31.03.2019].

⁷¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Abfallartenkatalog> [Stand: 10.03.2019].

⁷² <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20021080/index.html> [Stand: 10.03.2019].

⁷³ <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20021080/index.html> [Stand: 10.03.2019].

⁷⁴ <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20021080/index.html> [Stand: 10.03.2019].

6.2.2 Wertung

Sonderabfälle, die nicht verarbeitet, sondern nur beseitigt werden, stellen weiterhin eine potenzielle Gefahr für die Umwelt, Tiere oder Menschen dar.⁷⁵

Ausserdem müssen Sonderabfälle in speziell dafür angefertigte Anlagen verarbeitet, deponiert oder exportiert werden. Aufgrund dieser Tatsache ist ein direkter Städtevergleich hier nicht möglich und nicht sinnvoll, da nicht jede Stadt ihre eigene Verarbeitungsstätte für jede Art von Sonderabfall haben kann. Die Bau- und Instandhaltungskosten all dieser Anlagen würden durch die kürzeren Transportwege nicht aufgehoben werden.

Für den Vergleich wird daher die Handhabung von Sonderabfällen in den beiden Ländern miteinander verglichen.⁷⁶

In der Wertung wird daher die Nachhaltigkeit der Sonderabfallentsorgung anhand des prozentualen, verarbeiteten Anteils des jährlich produzierten Abfalls eines Landes gewertet. Ein Land, welches viele Sonderabfälle nicht verwertet oder exportiert wird schlechter gewertet als ein Land, welches alle Sonderabfälle selbst behandelt. Dies zeigt sich auch in der Wertung, da wir die Ansicht vertreten, dass die Beseitigung von Schadstoffen durch den Verursacher zu erfolgen hat.

Wertung	Beschreibung
1	81% - 100% des Sonderabfalls wird exportiert oder in einer Deponie gelagert und nicht weiterverarbeitet.
2	61% - 80% des Sonderabfalls wird exportiert oder in einer Deponie gelagert und nicht weiterverarbeitet.
3	41% - 60% des Sonderabfalls wird exportiert oder in einer Deponie gelagert und nicht weiterverarbeitet.
4	21% - 40% des Sonderabfalls wird exportiert oder in einer Deponie gelagert und nicht weiterverarbeitet.
5	0% - 20% des Sonderabfalls wird exportiert oder in einer Deponie gelagert und nicht weiterverarbeitet.

Tabelle 5: Werteskala Sonderabfälle

⁷⁵ <https://blog.idrenvironmental.com/how-hazardous-waste-disposal-affects-the-environment> [Stand: 10.03.2019].

⁷⁶ <https://vbsa.ch/anlagegruppen/sonderabfall/> [Stand: 29.03.2019].

6.2.3 Vergleich

6.2.3.1 Daten Schweiz

Sonderabfälle aus der Stadt Zürich werden zu den jeweiligen Verarbeitungsorten in der ganzen Schweiz transportiert oder exportiert.⁷⁷

6.2.3.2 Export Sonderabfall Schweiz

Sonderabfallart	Exportierte Abfallmenge
Chemische Abfälle	51'702 t
Medizinische Abfälle	90 t
Metallische Abfälle	5'183 t
Mineralische Abfälle	175'307 t
Anlagen, Maschinen, Fahrzeuge und Zubehör	32'754 t
Tierische und pflanzliche Abfälle	0 t
Behandlungsrückstände und Schlämme	189'412
Haushaltsabfälle und einzelne Fraktionen	322 t
Gesamtmenge Export	454'770 t

Tabelle 6: Export Sonderabfälle Schweiz. Die Daten in dieser Tabelle stammen aus der Sonderabfallstatistik 2015⁷⁸

⁷⁷ <https://www.srf.ch/news/schweiz/grosse-auslaendische-konkurrenz-das-grosse-geschaef-mit-dem-sondermuell>

[Stand: 29.03.2019].

⁷⁸ Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Abfall und Rohstoffe, «Sonderabfallstatistik 2015», Oktober 2016.

6.2.3.3 Gesamtmenge Sonderabfall Schweiz

Verwertungsmethoden Sonderabfall	Abfallmenge
Recycelt	400'667 t
Verbrannt	679'343 t
Deponie	555'515 t
Spezialbehandlung	252'137 t
Exportiert	454'770 t
Gesamtmenge	2'342'432 t

Tabelle 7: Gesamtmenge Sonderabfälle Schweiz. Die Daten in dieser Tabelle stammen aus der Sonderabfallstatistik 2015⁷⁹

6.2.3.4 Prozentuale Aufteilung Sonderabfall Schweiz

Auswertung Sonderabfälle Schweiz		
Gesammelter Sonderabfall	2'342'432 t	100%
Verarbeiteter Sonderabfall	1'332'217 t	56.9%
Exportierter Sonderabfall	454'700 t	19.4%
Deponierter Sonderabfall	555'515 t	23.7%
Gesamtmenge Export/Deponie	1'010'215 t	43.1%

Tabelle 8: Auswertung Sonderabfall Schweiz. Die Daten in dieser Tabelle stammen aus der Sonderabfallstatistik 2015⁸⁰

6.2.3.5 Daten Dänemark

Dänemark gehört zu den führenden Nationen im Bereich Sonderabfälle.⁸¹

In Dänemark gibt es insgesamt 91 Unternehmungen, die Abfälle weiterverarbeiten. Sechs dieser Unternehmen haben sich auf die Verarbeitung von Sondermüll spezialisiert.⁸²

⁷⁹ Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Abfall und Rohstoffe, «Sonderabfallstatistik 2015», Oktober 2016.

⁸⁰ Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Abfall und Rohstoffe, «Sonderabfallstatistik 2015», Oktober 2016.

⁸¹ <http://donellameadows.org/archives/denmarks-hazardous-waste-disposal-system/> [Stand: 29.03.2019].

⁸² <https://www.statista.com/statistics/386622/number-of-enterprises-collecting-hazardous-and-non-hazardous-waste-in-denmark/> [Stand: 29.03.2019].

6.2.3.6 Export Sonderabfall Dänemark

Sonderabfallart	Exportierte Abfallmenge
Batterien	12'000 t
Kühlschränke mit Freon	2'000 t
Schlacke und Sonstiges	16'000 t
Deponieabfall	23'000 t
Imprägniertes Holz	3'000 t
Gesamtmenge Export	56'000 t

Tabelle 9: Export Sonderabfälle Dänemark. Die Daten in dieser Tabelle stammen aus der Affaldsstatistik 2015⁸³

6.2.3.7 Gesamtmenge Sonderabfall Dänemark

Verwertungsmethoden Sonderabfall	Abfallmenge
Recycelt	250'000 t
Verbrannt	129'000 t
Deponie	108'000 t
Temporäre Zwischenlagerung	4'000 t
Spezialbehandlung	110'000 t
Export	56'000 t
Gesamtmenge	658'000 t

Tabelle 10: Gesamtmenge Sonderabfall. Die Daten in dieser Tabelle stammen aus der Affaldsstatistik 2015⁸⁴

⁸³ Miljøstyrelsen, «Affaldsstatistik 2015», Juni 2017, Seite 42.

⁸⁴ Miljøstyrelsen, «Affaldsstatistik 2015», Juni 2017, Seite 12.

6.2.3.8 Prozentuale Aufteilung Sonderabfall Dänemark

Auswertung Sonderabfälle Dänemark		
Gesammelter Sonderabfall	658'000 t	100%
Verarbeiteter Sonderabfall	494'000 t	75.1%
Exportierter Sonderabfall	56'000 t	8.5%
Deponierter Sonderabfall	108'000 t	16.4%
Gesamtmenge Export/Deponie	164'000 t	24.9%

Tabelle 11: Auswertung Sonderabfall Dänemark. Die Daten in dieser Tabelle stammen aus der Affaldsstatistik 2015⁸⁵

6.2.4 Auswertung

Stadt	Wert	Wertung
Zürich	43.1% Export/Deponie ⁸⁶	3
Kopenhagen	24.9% Export/Deponie ⁸⁷	4

Tabelle 12: Wertung Sonderabfälle

Die Auswertung der Daten hat ergeben, dass Dänemark in diesem Bereich beinahe 20% besser abschneidet als die Schweiz und nur 24.9% der Sonderabfälle exportiert. Beim Betrachten der absoluten Zahlen fällt allerdings auch auf, dass die Schweiz dreimal mehr Sonderabfälle produziert als Dänemark. Auf die Einwohnerzahl dürfte dieser Unterschied nicht zurückzuführen sein, unterscheiden sich diese Zahlen nur um den Faktor 1.475. Vergleicht man nun weitere Kennzahlen der beiden Länder, fällt auf, dass Dänemark zwar weniger Sonderabfälle exportiert oder deponiert, die Schweiz jedoch dreimal mehr Sonderabfälle verarbeitet als Dänemark. Eine weitere Auffälligkeit ist das doppelt so hohe Bruttoinlandsprodukt der Schweiz im Vergleich zu Dänemark. Da sich Fläche und Einwohnerzahlen der beiden Länder nicht genug unterscheiden, um dies zu rechtfertigen, schliesst sich darauf, dass in der Schweiz aufgrund der grösseren Industrie mehr Sonderabfälle anfallen, als in Dänemark. Ausserdem lässt sich anhand dieser Zahlen sagen, dass Dänemark trotz kleinerem Bruttoinlandsprodukt die Sonderabfälle besser verwertet als die ökonomisch bessergestellte Schweiz.

⁸⁵ Miljøstyrelsen, « Affaldsstatistik 2015 », Juni 2017, Seite 42.

⁸⁶ Wert aus «Tabelle: Auswertung Sonderabfall Schweiz».

⁸⁷ Wert aus «Tabelle: Auswertung Sonderabfall Dänemark».

	Schweiz	Dänemark	Verhältnis CH / DK ⁸⁸
Fläche	41'285 ⁸⁹ km ²	42'921 ⁹⁰ km ²	0.96188
Einwohnerzahl	8'482'152 ⁹¹	5'748'769 ⁹²	1.47547
Einwohner pro km ²	205 Menschen	130 Einwohner	1.57692
Bruttoinlandsprodukt	678.6 Milliarden USD ⁹³	324.5 Milliarden USD ⁹⁴	2.09121
Abfall gesamt	7'939'024 t ⁹⁵	9'101'760 t ⁹⁶	0.87225
Sonderabfall	2'342'432 t ⁹⁷	658'000 t ⁹⁸	3.55992
Sonderabfall Export absolut	1'010'215 t ⁹⁹	164'000 t ¹⁰⁰	6.15984
Sonderabfall verarbeitet	1'332'217 t ¹⁰¹	494'000 t ¹⁰²	2.69679

Tabelle 13: Kennzahlen der Schweiz und Dänemark

⁸⁸ Dieser Wert dient dazu, grössere Abweichungen sofort zu erkennen. Je näher der Wert an 1 ist, desto weniger unterscheiden sich die beiden Länder in diesem Punkt.

⁸⁹ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt.html> [Stand: 31.03.2019].

⁹⁰ https://europa.eu/european-union/about-eu/countries/member-countries/denmark_de#%C3%BCberblick [Stand: 31.03.2019].

⁹¹ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung.html> [Stand: 31.03.2019].

⁹² <http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/selectTable/search.asp?Planguage=0&searchtext=FOLK1> [Stand: 31.03.2019].

⁹³ https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_L%C3%A4nder_nach_Bruttoinlandsprodukt [Stand: 31.03.2019].

⁹⁴ https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_L%C3%A4nder_nach_Bruttoinlandsprodukt [Stand: 31.03.2019].

⁹⁵ Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Abfall und Rohstoffe, «ABFALLMENGEN UND RECYCLING 2017 IM ÜBERBLICK», Dezember 2018.

⁹⁶ The Danish Government, «Denmark without waste», November 2013, Seite 19.

⁹⁷ Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Abfall und Rohstoffe, «Sonderabfallstatistik 2015», Oktober 2016.

⁹⁸ Miljøstyrelsen, «Affaldsstatistik 2015», Juni 2017, Seite 42.

⁹⁹ Wert aus Tabelle: «Auswertung Sonderabfall Schweiz».

¹⁰⁰ Wert aus Tabelle «Auswertung Sonderabfall Dänemark».

¹⁰¹ Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Abfall und Rohstoffe, «Sonderabfallstatistik 2015», Oktober 2016.

¹⁰² Miljøstyrelsen, «Affaldsstatistik 2015», Juni 2017, Seite 42.

6.3 Normaler Abfall

Der restliche Abfall, nach Sortierung in Karton, PET, Glas, Sonderabfälle und weitere, wird in den Kehrichtverbrennungsanlagen verbrannt. Deshalb wird hier auf einen Vergleich verzichtet und auf den von Kapitel «6.4.1 Verbrennung» verwiesen.

6.4 Kohlenstoffdioxid (CO₂)

Kohlenstoffdioxid, oft auch nach der dessen Summenformel CO₂ benannt, ist eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff. Es ist ein farb- und geruchloses Gas und natürlicher Bestandteil der Luft. Durch Atmung und den Zersetzungsprozess von organischen Substanzen gelangt Kohlenstoffdioxid natürlich in die Atmosphäre. Die Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Benzin, Kohle oder Diesel, sowie die Rodung von Wäldern und Trockenlegung von Feuchtgebieten, beispielsweise Mooren, sind hingegen anthropogen.¹⁰³

Natürliche Freisetzung von Kohlenstoffdioxid wird durch die Bindung von Kohlenstoffdioxid mit Gewässer und Pflanzen in einem Kreislauf gehalten. Ein Baum wächst, nimmt Kohlenstoffdioxid auf, während ein anderer Baum „stirbt“, sich zersetzt, und Kohlenstoffdioxid abgibt. Durch anthropogene Freisetzungen wird dieser Kreislauf gestört und das Maximum der Aufnahmefähigkeit überschritten. Dies erhöht den Anteil von Kohlenstoffdioxid in der Erdatmosphäre.¹⁰⁴

Diese menschlichen Aktivitäten führen zu einem verstärkten Treibhauseffekt, da die Atmosphäre nun mehr Wärme speichert als zuvor.¹⁰⁵ Als Folge daraus steigt die Temperatur und Gletscher, Pole und Permafrost schmelzen dauerhaft. Dies schadet der Natur und den Lebewesen.

Kohlenstoffdioxid ist natürlich und notwendig, aber zu viel in der Luft ist umweltbelastend.

Die Folgen des massiven Kohlenstoffdioxid-Ausstoss sind anhand der Daten des Bundesamts für Umwelt und der Meteo Schweiz gut erkennbar. Das folgende Bild zeigt die Abweichung zur mittleren globalen Temperatur der aufgezeichneten Jahre. Wo zuvor noch natürliche Schwankungen zu sehen sind, hat sich das Bild ab dem Jahr 1988 stark rot verfärbt, was

¹⁰³ <https://de.myclimate.org/de/website/fag/detail/was-ist-und-wodurch-entsteht-co2/> [Stand: 27.03.2019].

¹⁰⁴ <https://www.energie-umwelt.ch/definitionen/1276-co2-kohlendioxiid> [Stand: 27.03.2019].

¹⁰⁵ <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Treibhauseffekt> [Stand: 27.03.2019].

bedeutet, dass die Durchschnittstemperaturwerte dieser folgenden Jahre über der mittleren Temperatur sind.

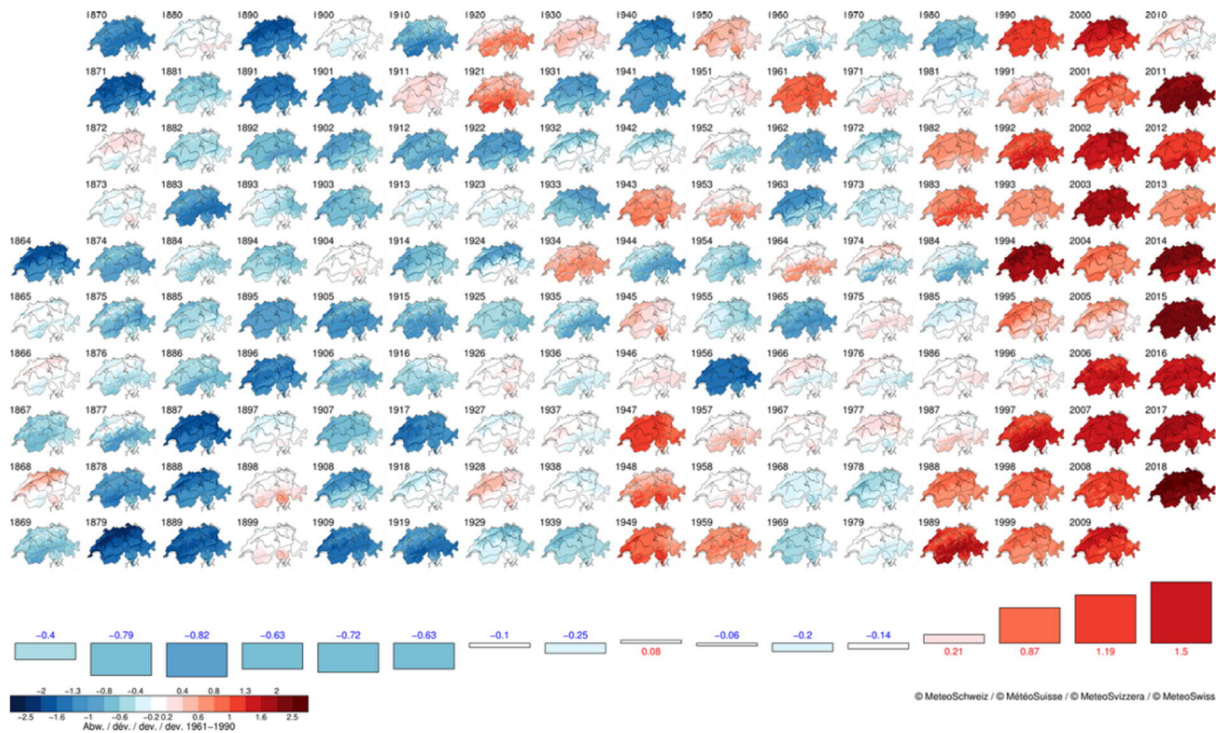


Abbildung 8: Temperaturabweichungen vom Mittel 1961-1990 in der Schweiz für jedes Jahr seit 1864.¹⁰⁶

Der reine Temperaturanstieg ist jedoch noch nicht das Problem, sondern die Folgen daraus. Es gibt mehr Hitze-, dafür weniger Frosttage. Weniger Niederschläge, dafür nehmen die Starkniederschläge zu. Gletscher schmelzen und die natürlichen und lebensnotwendigen Lebensräume von Tieren ändern sich.¹⁰⁷

¹⁰⁶ <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klimawandel-schweiz.html> [Stand: 27.03.2019].

¹⁰⁷ <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klimawandel-schweiz.html> [Stand: 27.03.2019].

6.4.1 Verbrennung

6.4.1.1 Wertung

Der CO₂-Ausstoss wird durch die Verbrennung von Abfall in den Verbrennungsanlagen unterstützt und schadet so der Umwelt.

Jedoch kann das ausgestossene Kohlenstoffdioxid zur Produktion von Strom und Wärme verwendet werden. Auch wird zwischen dem fossilen und dem pflanzlichen Ursprung von Kohlenstoff unterschieden. Wobei pflanzlicher Kohlenstoff, welcher verbrannt wird, klimaneutral ist.¹⁰⁸

«Die Produktion von Wärme und Strom in KVA sowie die Rückgewinnung von Metallen führen zu indirekten CO₂-Einsparungen. Die Netto-CO₂-Emissionen ergeben sich folglich aus der Differenz zwischen den fossilen Brutto-CO₂-Emissionen und den mit einem entsprechenden Emissionsfaktor gewichteten Elektrizitäts- und Wärmelieferungen an Dritte und den indirekten Einsparungen aus der Metallrückgewinnung.»¹⁰⁹

Um zu bestimmen, wie gut eine Kehrichtverbrennungsanlage Abfall verbrennt, wird der prozentuale Anteil gesucht, welcher nach der Verwertung durch Strom- / Wärmeproduktion und Co. noch übrig bleibt (Netto Ausstoss), aufgrund des Gesamtausstosses (Brutto Ausstoss). Dies zeigt auf, wie gut eine KVA die ausgestossenen CO₂-Emissionen nutzt und verwertet. Der Wert wird nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Prozentualer Anteil} = \frac{\text{brutto Masse CO}_2 \times 100\%}{\text{netto Masse CO}_2}$$

¹⁰⁸ <http://vbsa.ch/CO2-Report/co2-emissionen-aus-kehrichverwertungsanlagen-kva.html> [Stand: 29.03.2019].

¹⁰⁹ <http://vbsa.ch/CO2-Report/die-zielvereinbarung.html#gegenstand-der-zielvereinbarung> [Stand: 29.03.2019].

Die Kriterien sind wie folgt:

Wertung	Beschreibung
1	Netto CO ₂ -Emissionen entsprechen 76% - 100% der ausgestossenen brutto CO ₂ -Emissionen.
2	Netto CO ₂ -Emissionen entsprechen 51% - 75% der ausgestossenen brutto CO ₂ -Emissionen.
3	Netto CO ₂ -Emissionen entsprechen 26% - 50% der ausgestossenen brutto CO ₂ -Emissionen.
4	Netto CO ₂ -Emissionen entsprechen 0% - 25% der ausgestossenen brutto CO ₂ -Emissionen.
5	Netto CO ₂ -Emissionen wiegen die ausgestossenen brutto CO ₂ -Emissionen auf, bzw. reduzieren diese. Diesem Fall entspräche eine negative Prozentzahl.

Tabelle 14: Wertetabelle CO₂-Emissionen bei Verbrennung von Abfall

6.4.1.2 Vergleich

6.4.1.2.1 Stadt Zürich

Die Kehrichtverbrennungsanlagen der Stadt Zürich haben im Jahr 2017 brutto 190'629 Tonnen CO₂-Emissionen ausgestossen. Dabei stammen 130'003 Tonnen CO₂ von der KVA «Hagenholz» und 60'626 Tonnen CO₂ vom KVA «Josephstrasse». ¹¹⁰ Die netto CO₂-Emissionen belaufen sich für die Stadt Zürich auf 40'808 Tonnen. ¹¹¹

Dies ergibt dann bei der Rechnung $\frac{40'808 \text{ t CO}_2 \times 100\%}{190'629 \text{ t CO}_2}$ einen Prozentsatz von 21.4 %. Womit die Stadt Zürich **4 Punkte** erhält.

6.4.1.2.2 Stadt Kopenhagen

Aus den Klimaaufzeichnungen 2016 von «Amager Ressourcecenter» (ARC), welche im Nachhaltigkeitsrapport von csr.dk zu finden sind, einem Forum für nachhaltige Wirtschaft, gehen folgende Zahlen zu den ausgestossenen CO₂-Emissionen hervor: ¹¹²

¹¹⁰ <http://vbsa.ch/CO2-Report/fossile-brutto-co2-emissionen.html> [Stand: 29.03.2019].

¹¹¹ <http://vbsa.ch/CO2-Report/netto-co2-emissionen.html> [Stand: 29.03.2019].

¹¹² Horisont Gruppen a/s, Bæredygtighedsrapport 2016, 2017, S.55.

	Indirekter Verbrauch (in CO ₂ kg)	Direkter Verbrauch (in CO ₂ kg)	Indirekte Einsparung (in CO ₂ kg)
EL-forbrug - (EL-Verbrauch)	25'460'472		
Kalkforbrug (CaO) - (Verbrauch Kalk, CaO)	5'476'009		
Kulforbrug - (Der Kohleverbrauch)	308'312		
Ammoniakforbrug – (Ammoniakverbrauch)	1'492'700		
Internt brændstof - (interner Kraftstoff)	1'602	9'615	
Støtgas - (Stützgas)	120'596	Diese Beiträge sind unter «Fossilt C-forbrænding (direkte)» enthalten.	
Fossilt C-forbrænding (direkte) - (Fossil C - Verbrennung (direkt))		119'901'241	
CO-emission – (CO-Emissionen)		Diese Beiträge sind unter «Fossilt C-forbrænding (direkte)» enthalten.	
TOC-emission – (TOC-Emissionen)		105'495	
EL-produktion - (EL Produktion)			-178'491'400
Varmeproduktion (vand) – (Wärme, Wasser)			-56'145'940
Varmeproduktion (damp) – (Wärme, Dampf)			-0
Metalgenanvendelse (magnetisk) – (Recycling Metall, magnetisch)			-5'440'768
Metalgenanvendelse (ikke-magnetisk) – (Recycling Metall, nicht magnetisch)			-10'292'032
Total	32'859'691	120'016'351	-250'370'139

Tabelle 15: CO₂-Emissionen Ausstoss und Ersparnis von ARC ¹¹³

Aus dieser Tabelle ergibt sich ein brutto Ausstoss von 152'876'042 Kilogramm CO₂-Emissionen (32'859'691 + 120'016'351). Der netto Ausstoss beläuft sich auf -97'494'097 Kilogramm CO₂-Emissionen, da die Einsparung dem Verbrauch abgezogen wird.

Setzt man diese Werte nun in die aufgestellte Formel ein: $\frac{-97'494 \text{ t CO}_2 \times 100\%}{152'876 \text{ t CO}_2}$, ergibt das einen Wert von -63.8%. Nach dem Wertesystem erhält die Stadt Kopenhagen die **5 Punkte**.

¹¹³ Horisont Gruppen a/s, Bæredygtighedsrapport 2016, 2017, S.55.

6.4.1.3 Auswertung

Stadt	Wert	Erhaltene Punkte
Zürich	21.4 %	4
Kopenhagen	-63.8%	5

Tabelle 16: Auswertung CO₂-Emissionen bei Verbrennung von Abfall

Mit einem Wert von 21.4% hat die Stadt Zürich einen relativ guten Verwertungsgrad. Es wird fast 80% der produzierten CO₂-Emissionen wiederverwertet. Relativ aber deswegen, da die Stadt Kopenhagen diesen Wert um Längen übertrifft. Die Stadt Kopenhagen brilliert dadurch, dass sie indirekt viel mehr CO₂-Emissionen einspart, als überhaupt von der KVA produziert wird.

Das Alter der Schweizer KVA, mit Baujahren 1904¹¹⁴ und 1969¹¹⁵, ist deutlich erkennbar. Obwohl diese immer wieder renoviert und technologisch fit gehalten wurden,¹¹⁶ hebt sich das neue, moderne KVA Amager Bakke von den anderen ab.

¹¹⁴ https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling/ueber_uns/geschichte.html [Stand: 31.03.2019].

¹¹⁵ https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling/ueber_uns/geschichte.html [Stand: 31.03.2019].

¹¹⁶ <http://www.z-a-v.ch/de/ueber-uns#member-5> [Stand: 31.03.2019].

6.4.2 Transport

6.4.2.1 Wertung

Fahrzeuge sind für den Transport vom Abfall von den Verbrauchern zu den Kehrichtverbrennungsanlagen nötig. Aber auch da wird der Umwelt geschadet in dem Kohlenstoffdioxid ausgestossen wird, mittels der Verbrennung von Treibstoff.

Für die Wertung des Transports der KVA stellen wir folgende Formel auf: $\frac{\text{Treibstoff (l oder kg)}}{\text{Abfall (t)}}$

Dies ergibt einen Wert für die Liter oder Kilogramm Treibstoff pro Tonne Abfall.

Wertung	Beschreibung
1	Die Stadt mit dem tieferen Wert erhält einen Punkt, da diese weniger Treibstoff benötigt um dieselbe Menge an Abfall zu transportieren.

Tabelle 17: Wertung Transport

6.4.2.2 Vergleich

6.4.2.2.1 Stadt Zürich¹¹⁷

Entsorgung und Recycling Zürich hat im Jahr 2017 33 Abfallsammelfahrzeuge eingesetzt und 1'990'799 Container Leerungen durchgeführt. Dabei wurden 70'465 Tonnen Hauskehricht eingesammelt. Im Geschäftsbericht vom ERZ gibt es ein Kapitel «Treibstoffverbrauch / Flottenerneuerung». Jedoch ist aus diesem die exakte Menge an verwendetem Treibstoff aus dem Diagramm nicht ersichtlich. Es wird lediglich erwähnt, dass der Verbrauchsanteil von Erdgas der Abfallsammelfahrzeugen tiefer lag als erwartet. Diese Angaben reichen leider für eine genaue Berechnung nicht aus, weshalb hier auf die Bewertung für die Stadt Zürich verzichtet wird.

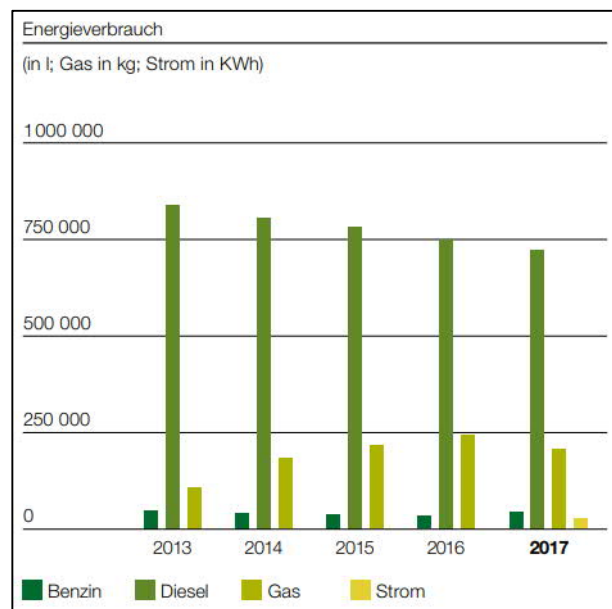


Abbildung 9: Energieverbrauch der Fahrzeuge vom Jahr 2017, aus dem Geschäftsbericht der ERZ

¹¹⁷ ERZ Entsorgung + Recycling Zürich, Geschäftsbericht 2017, 2018, S.37.

6.4.2.2 Stadt Kopenhagen

Nach umfänglicher Recherche in den Veröffentlichungen¹¹⁸ der drei Kehrichtverbrennungsanlagen von der Stadt Kopenhagen, wie in den Geschäftsberichten oder Zukunftsplänen, auf deren Webseiten und ansonsten im Internet via Suchmaschinen, wurden keine Zahlen zu den verwendeten Abfallsammelfahrzeugen gefunden, noch zu dem verwendeten Treibstoff.

Einzig in einem Beitrag von der Firma «E.ON» wird erwähnt, dass in Kopenhagen 14 Müllwagen herumfahren (Stand 9. März 2017).¹¹⁹

6.4.2.3 Auswertung

Obwohl sich auch die Emissionen der Sammel-Fahrzeuge negativ auf die Umwelt auswirken, erstaunt es uns, dass man zu diesem Thema keine Daten findet. Einzig die Stadt Zürich hat ihre Anzahl Fahrzeuge aufgelistet. Der Treibstoffverbrauch ist jedoch nicht klar ersichtlich.

Leider können wir für den Transport von Abfall, aufgrund fehlender Informationen, keinen brauchbaren Vergleich aufstellen.

¹¹⁸ <https://www.vestfor.dk/om-os/noegletal/> [Stand: 31.03.2019],
<http://www.norfors.dk/da-DK/Norfors/Udgivelser-mv/Udgivelser-mv.aspx> [Stand: 31.03.2019],
I/S Amager Ressourcecenter, Årsrapport 2017, 2018.

¹¹⁹ <https://www.eon.dk/artiklar/kobenhavns-kommune.html> [Stand: 31.03.2019].

6.5 Wärmerückgewinnung

6.5.1 Inhalt

Das Verbrennen von Abfall setzt dessen Wärmeenergie frei und macht diese Energie für Privathaushalte und die Industrie nutzbar.¹²⁰

Bei der Verbrennung werden jedoch CO₂ und andere umweltbelastende Gase freigesetzt¹²¹,

Viele Kehrrichtverbrennungsanlagen preisen sich jedoch als CO₂ neutral an, darunter auch die Kehrrichtverbrennungsanlage Josefstrasse.¹²²

CO₂ neutral darum, weil bei der Verbrennung gleich viel CO₂ frei wird, wie durch chemische Prozesse in dem Körper gebunden wurden. Ein beliebtes Beispiel hierfür ist das Verbrennen von Holz, da hier gleich viel CO₂ frei wird, wie der Baum im Laufe seines Lebens aufgenommen hat.¹²³

6.5.2 Wertung

Bei der Wertung wird aufgrund der Angaben der Betreiber der Verbrennungsanlagen ermittelt, wie viele MWh pro Tonne verbranntem Abfall produziert werden.

Eine Wertung nach der produzierten Wärmeenergie im Verhältnis zu den Treibhausgasemissionen ist nicht sinnvoll, da Kehrrichtverbrennungsanlagen keinen Einfluss auf den CO₂-Gehalt des angelieferten Abfalls haben und daher nicht an den Emissionen verglichen werden können.¹²⁴

Um eine Werteskala zu generieren, wurden die Werte aller Verbrennungsanlagen in der Schweiz ermittelt und eine Skala erstellt.

¹²⁰ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/fachinformationen/abfallentsorgung.html>

[Stand: 10.03.2019].

¹²¹ IPCC, «Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories», 2001, S.457.

¹²² http://www.fernwaerme-zuerich.ch/daten_und_fakten.htm [Stand: 29.03.2019].

¹²³ <http://www.waermeausholz.at/info/fag/was-bedeutet-co2-neutral/> [Stand: 29.03.2019].

¹²⁴ <http://vbsa.ch/CO2-Report/die-zielvereinbarung.html> [Stand: 29.03.2019].

6.5.2.1 Ermittlungsgrössen Werteskala

Verbrennungsanlage	Verbrannter Abfall	Thermische Energie	MWh / t Abfall
Buchs AG	134'841 t	73'956 MWh	0.5484682
Oftringen	65'318 t	36'726 MWh	0.56226461
Turgi	124'411 t	64'480 MWh	0.51828215
Bern	136'110 t	12'4754 MWh	0.91656748
Biel	47'470 t	25'432 MWh	0.53574889
Thun	145'018 t	64'545 MWh	0.44508268
Basel	224'632 t	46'1165 MWh	2.05297999
Posieux	95'915 t	59'624 MWh	0.62163374
Genf	237'694 t	28'2904 MWh	1.19020253
Niederurnen	114'189 t	5'050 MWh	0.04422493
Trimmis	110'399 t	79'466 MWh	0.71980724
Perlen	240'419 t	32'1904 MWh	1.33892912
Colombier	36'318 t	26'494 MWh	0.72950052
La Chaux-de-Fonds	56'156 t	72'065 MWh	1.28330009
Bazenheid	86'750 t	56'029 MWh	0.64586744
Buchs SG	181'893 t	218'134 MWh	1.19924351
St. Gallen	74'324 t	80'572 MWh	1.08406437
Zuchwil	232'635 t	101'378 MWh	0.43578137
Weinfelden	146'033 t	205'823 MWh	1.40942801
Giubiasco	180'478 t	44'330 MWh	0.24562551
Lausanne	181'054 t	300'721 MWh	1.66094646
Gamsen	39'528 t	74'741 MWh	1.89083688
Sion	66'965 t	15'131 MWh	0.22595386
Monthey	170'259 t	73'063 MWh	0.42912856
Dietikon	91'319 t	25'520 MWh	0.27945992
Hinwil	188'989 t	57'644 MWh	0.30501246
Horgen	36'728 t	40'791 MWh	1.11062405
ZH Hagenholz	240'052 t	420'738 MWh	1.75269525
ZH Josefstrasse	124'122 t	111'946 MWh	0.90190297
Winterthur	201'009 t	171'022 MWh	0.85081763

Tabelle 18: Vergleich Verbrennungsanlagen Schweiz, alle Werte stammen aus dem Monitoring der CO₂-Vereinbarung¹²⁵

¹²⁵ <http://vbsa.ch/CO2-Report/index.html> [Stand: 29.03.2019].

6.5.2.2 Auswertung Werteskala

Durchschnittswert: 0.86448 MWh / t Abfall

Median: 0.64586 MWh / t Abfall

1.Quartil: 0.42912 MWh / t Abfall

3.Quartil: 1.28330 MWh / t Abfall

Kleinsten Wert: 0.04422 MWh / t Abfall

Grösster Wert: 2.05297 MWh / t Abfall

Wertung	Begründung
1	0.429 MWh / t Abfall oder kleiner
2	0.429 bis 0.864 MWh / t Abfall
3	0.864 bis 1.283 MWh / t Abfall
4	1.283 bis 2.052 MWh / t Abfall
5	2.052 MWh / t Abfall oder grösser

Tabelle 19: Werteskala Wärmerückgewinnung

6.5.3 Vergleich

6.5.3.1 Daten Zürich

Der Abfall aus der Stadt Zürich wird in der Kehrrichtverbrennungsanlage Josefstrasse und in der Kehrrichtverbrennungsanlage Hagenholz verbrannt und in Wärmeenergie umgewandelt.¹²⁶

¹²⁶ <http://vbsa.ch/CO2-Report/index.html> [Stand: 29.03.2019].

Kehrrichtverbrennungsanlage	Josefstrasse	Hagenholz	Total Zürich
Verwerteter Abfall 2017	124'122 t ¹²⁷	240'052 t ¹²⁸	364'174 t
Thermische Energie	111'946 MWh ¹²⁹	420'738 MWh ¹³⁰	532'684 MWh
CO ₂ Ausstoss	60'626 t ¹³¹	130'003 t ¹³²	190'629 t
MW / t Abfall	0.90190	1.75269	1.46271

Tabelle 20: Daten Wärmerückgewinnung Zürich

Vom verwerteten Abfall stammt zwar nur ca. 100'000 t aus der Stadt selbst, es wird jedoch keine Unterscheidung der Herkunft des Verbrennungsmaterials gemacht, wenn die erzeugte thermische Energie ermittelt wird.¹³³

Es wird hier davon ausgegangen, dass der CO₂ Ausstoss und die erzeugte thermische Energie sich linear verhalten zur verbrannten Abfallmenge.

¹²⁷ <http://vbsa.ch/CO2-Report/thermisch-verwertete-abfallmenge-nach-anlagen.html> [Stand: 29.03.2019].

¹²⁸ <http://vbsa.ch/CO2-Report/thermisch-verwertete-abfallmenge-nach-anlagen.html> [Stand: 29.03.2019].

¹²⁹ <http://vbsa.ch/CO2-Report/lieferungen-von-strom-und-warme-an-dritte.html> [Stand: 29.03.2019].

¹³⁰ <http://vbsa.ch/CO2-Report/lieferungen-von-strom-und-warme-an-dritte.html> [Stand: 29.03.2019].

¹³¹ <http://vbsa.ch/CO2-Report/fossile-brutto-co2-emissionen.html> [Stand: 29.03.2019].

¹³² <http://vbsa.ch/CO2-Report/fossile-brutto-co2-emissionen.html> [Stand: 29.03.2019].

¹³³ Stadt Zürich Stadtrat, «Weisung des Stadtrates von Zürich an den Gemeinderat», Juli 2017.

6.5.3.2 Daten Kopenhagen

Der Abfall wird in Kopenhagen in den Kehrichtverbrennungsanlagen Armager Ressourcecenter, Vestforbrænding und Norfors verbrannt.¹³⁴

Kehrichtverbrennungsanlage	Armager ressource center	Vestforbrænding und Norfors	Total Kopenhagen
Verwerteter Abfall 2017	357'000 t ¹³⁵	560'000 t ¹³⁶	917'000 t
Thermische Energie	796'000 MWh ¹³⁷	1'250'000 MWh ¹³⁸	2'040'000 MWh
t CO ₂ Ausstoss	Keine Angaben	Keine Angaben	Keine Angaben
MW / t Abfall	2.22969	2.23214	2.23118

Tabelle 21: Daten Wärmerückgewinnung Kopenhagen

6.5.4 Auswertung

Stadt	Wert	Wertung
Zürich	1.46271 MWh / t Abfall	4
Kopenhagen	2.23118 MWh / t Abfall	5

Tabelle 22: Wertung Wärmerückgewinnung

Zürich verfügt mit der Kehrichtverbrennungsanlage Hagenholz über eine der modernsten Anlagen der Schweiz und dies zeigt sich nun auch in der Wertung.¹³⁹

Mit den modernen Anlagen in Kopenhagen kann Zürich jedoch nicht mithalten.¹⁴⁰

Unser Vergleich zeigt, dass die Stadt Zürich in dieser Kategorie noch Verbesserungspotential hat und anhand der ermittelten Daten für die Werteskala hat sich gezeigt, dass die meisten

¹³⁴ <https://www.vestfor.dk/om-affald-og-energi/fra-affald-til-energi/> [Stand: 29.03.2019].

¹³⁵ <https://www.a-r-c.dk/om-arc/hoved-og-noegletal> [Stand: 29.03.2019].

¹³⁶ <https://www.vestfor.dk/om-affald-og-energi/fra-affald-til-energi/> [Stand: 29.03.2019].

¹³⁷ <https://www.a-r-c.dk/om-arc/hoved-og-noegletal> [Stand: 29.03.2019].

¹³⁸ <https://www.vestfor.dk/om-affald-og-energi/fra-affald-til-energi/> [Stand: 29.03.2019].

¹³⁹ https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling/zuerich_waerme/produktionsanlagen/kehrichtheizkraftwerk/hagenholz.html [Stand: 29.03.2019].

¹⁴⁰ <https://stateofgreen.com/en/sectors/waste/waste-incineration/> [Stand: 29.03.2019].

Kehrrichtverbrennungsanlagen noch nicht mit den effizientesten Wärmerückgewinnungsanlagen ausgestattet sind. Es empfiehlt sich für die Betreiber der Kehrrichtverbrennungsanlage der Stadt Zürich, die modernen Anlagen in Kopenhagen zu besichtigen, insbesondere die neue Anlage Amager Bakke, welche 2017¹⁴¹ fertiggestellt wurde. Diese Anlage hatte jedoch auch ihren Preis und die Investitionskosten fielen weit höher aus als ursprünglich geplant.¹⁴²

Um die hohen Kosten zu decken wurde zu unkonventionellen Mitteln gegriffen. Die Kehrrichtverbrennungsanlage wurde mit einer Kunststoff-Skipiste und einer 85 m grossen und 10 m breiten Kletterwand ausgestattet.¹⁴³

Wie oben erwähnt, werden die Freizeitanlagen der Kehrrichtverbrennungsanlage im Frühjahr 2019 eröffnet. In den kommenden Monaten wird sich zeigen, ob sich diese Investition auszahlt.

¹⁴¹ <https://www.tv2lorry.dk/artikel/skidt-skrald-og-aeggebakker-indvier-amager-bakke> [Stand: 01.04.2019].

¹⁴² <https://zerowasteeurope.eu/2017/10/copenhagen-goes-all-in-on-incineration-and-its-a-costly-mistake/>
[Stand: 01.04.2019].

¹⁴³ <https://www.copenhill.dk/> [Stand: 01.04.2019].

6.6 Stromrückgewinnung

6.6.1 Inhalt

Beim Verbrennen von Abfall kann neben Wärme auch Strom zurückgewonnen werden. Die Abgase, welche bei der Verbrennung von Abfall entstehen, erzeugen durch Turbinen, die einen Generator betreiben, Strom, welcher wieder zum Verbraucher zurückfliesst.¹⁴⁴

6.6.2 Wertung

Da die Stromrückgewinnung durch dieselbe Verbrennung entsteht, wie die der Wärmerückgewinnung, macht eine zweite, neue Wertung wenig Sinn und es wird deshalb auf die Wertung aus dem Kapitel «6.5 Wärmerückgewinnung» verwiesen. Mit dem Unterschied, dass die Werte für thermische Energie durch die von elektrischer Energie ersetzt werden.

Die Werte für verbrannter Abfall und elektrische Energie stammen aus dem Jahr 2017.

Verbrennungsanlage	Verbrannter Abfall	Elektrische Energie	MWh / t Abfall
Buchs AG	134'841 t	64'348 MWh	0.47721
Oftringen	65'318 t	45'827 MWh	0.70160
Turgi	124'411 t	64'470 MWh	0.51820
Bern	136'110 t	72'863 MWh	0.53532
Biel	47'470 t	15'438 MWh	0.32522
Thun	145'018 t	64'382 MWh	0.44396
Basel	224'632 t	54'964 MWh	0.24468
Posieux	95'915 t	54'781 MWh	0.57114
Genf	237'694 t	88'151 MWh	0.37086
Niederurnen	114'189 t	64'183 MWh	0.56208
Trimmis	110'399 t	46'295 MWh	0.41934
Perlen	240'419 t	151'555 MWh	0.63038
Colombier	36'318 t	11'899 MWh	0.32763
La Chaux-de-Fonds	56'156 t	15'549 MWh	0.27689
Bazenheid	86'750 t	41'019 MWh	0.47284
Buchs SG	181'893 t	79'969 MWh	0.43965
St. Gallen	74'324 t	18'095 MWh	0.24346

¹⁴⁴ <http://energie-strom.com/energie/kraftwerke/muellverbrennungsanlage.html> [Stand: 27.03.2019].

Zuchwil	232'635 t	123'748 MWh	0.53194
Weinfelden	146'033 t	41'327 MWh	0.28300
Giubiasco	180'478 t	103'597 MWh	0.57401
Lausanne	181'054 t	70'548 MWh	0.38965
Gamsen	39'528 t	847 MWh	0.02143
Sion	66'965 t	23'314 MWh	0.34815
Monthey	170'259 t	107'423 MWh	0.63094
Dietikon	91'319 t	53'305 MWh	0.58372
Hinwil	188'989 t	112'274 MWh	0.59408
Horgen	36'728 t	18'954 MWh	0.51606
ZH Hagenholz	240'052 t	104'002 MWh	0.43325
ZH Josefstrasse	124'122 t	30'767 MWh	0.24788
Winterthur	201'009 t	108'547 MWh	0.54001

Tabelle 23: Werteskala Verbrennungsanlagen Schweiz für die Erstellung der Bewertung Stromrückgewinnung¹⁴⁵

Anhand der Daten aus der Werteskala konnten folgende statistischen Kennzahlen berechnet werden, welche für das Werte-System verwendet werden.

Durchschnittswert: 0.44182 MWh / t Abfall

Median: 0.45840 MWh / t Abfall

1.Quartil: 0.33276 MWh / t Abfall

3.Quartil: 0.55656 MWh / t Abfall

Kleinster Wert: 0.02143 MWh / t Abfall

Grösster Wert: 0.70160 MWh / t Abfall

Wertung	Begründung
1	0.33276 MWh / t Abfall pro Jahr oder kleiner
2	0.33276 bis 0.44182 MWh / t Abfall pro Jahr
3	0.44182 bis 0.55656 MWh / t Abfall pro Jahr
4	0.55656 bis 0.70160 MWh / t Abfall pro Jahr
5	0.70160 MWh / t Abfall pro Jahr oder grösser

Tabelle 24: Wertungstabelle aufgrund der Werteskala

¹⁴⁵ <http://vbsa.ch/CO2-Report/index.html> [Stand: 29.03.2019].

6.6.3 Vergleich

6.6.3.1 Stadt Zürich

KVA	Josefstrasse	Hagenholz	Total Zürich
Verwerteter Abfall 2017	124'122 t ¹⁴⁶	240'052 t ¹⁴⁷	364'174 t
Stromerzeugung	30'767 MWh ¹⁴⁸	104'002 MWh ¹⁴⁹	134'769 MWh
MWh / t Abfall	0.24788	0.43325	0.37007

Tabelle 25: Berechnung Stromrückgewinnung der Stadt Zürich

0.370 Megawattstunden pro Tonne Abfall kann die Stadt Zürich an Strom produzieren.

6.6.3.2 Stadt Kopenhagen

KVA	Amager Ressourcecenter	Vestforbrænding und Norfors	Total Kopenhagen
Verwerteter Abfall 2017	357'000 t ¹⁵⁰	560'000 t ¹⁵¹	917'000 t
Stromerzeugung	104'000 MWh ¹⁵²	260'000 MWh ¹⁵³	364'000 MWh
MWh / t Abfall	0.29132	0.46429	0.39695

Tabelle 26: Berechnung Stromrückgewinnung der Stadt Kopenhagen

Die Stadt Kopenhagen produziert 0.397 Megawattstunden pro Tonne Abfall.

¹⁴⁶ <http://vbsa.ch/CO2-Report/thermisch-verwertete-abfallmenge-nach-anlagen.html> [Stand: 30.03.2019].

¹⁴⁷ <http://vbsa.ch/CO2-Report/thermisch-verwertete-abfallmenge-nach-anlagen.html> [Stand: 30.03.2019].

¹⁴⁸ <http://vbsa.ch/CO2-Report/lieferungen-von-strom-und-warme-an-dritte.html> [Stand: 30.03.2019].

¹⁴⁹ <http://vbsa.ch/CO2-Report/lieferungen-von-strom-und-warme-an-dritte.html> [Stand: 30.03.2019].

¹⁵⁰ <https://www.a-r-c.dk/om-arc/hoved-og-noegletal> [Stand: 30.03.2019].

¹⁵¹ <https://www.vestfor.dk/om-affald-og-energi/fra-affald-til-energi/> [Stand: 30.03.2019].

¹⁵² <https://www.a-r-c.dk/om-arc/hoved-og-noegletal> [Stand: 30.03.2019].

¹⁵³ <https://www.vestfor.dk/om-affald-og-energi/fra-affald-til-energi/> [Stand: 30.03.2019].

6.6.4 Auswertung

Stadt	Wert	Wertung
Zürich	0.37007 MWh / t Abfall	2
Kopenhagen	0.39695 MWh / t Abfall	2

Tabelle 27: Auswertung Stromrückgewinnung

Dasselbe Wertungssystem wie aus dem Kapitel «6.5 Wärmerückgewinnung» wird hier angewendet. Natürlich wurden die Zahlen für die Wertung dementsprechend angepasst. Beide Städte erhalten somit 2 Punkte. Obwohl die Stadt Kopenhagen 0.02688 MWh mehr pro Tonne Abfall produziert, ist sie im selben Wertebereich wie die Stadt Zürich.

Beide Städte liegen sowohl unter dem Durchschnittswert (0.44182 MWh/t Abfall), sowie dem Median (0.45840 MWh/t Abfall), aber über dem 1. Quartil (0.33276 MWh/t Abfall). Dies bedeutet, dass sie ein bessere Stromproduktion pro Tonne Abfall haben, als 25% der Schweizer Kehrichtverbrennungsanlagen, aber schlechter sind als die Hälfte dieser KVA, welche die Grundlage für diese Wertung bilden.

Es macht sich ausserdem bemerkbar, dass beide Städte mehr Wert auf die Wärmerückgewinnung legen, da sie dort viel besser abschneiden, was im entsprechenden Kapitel ersichtlich ist.

Trotzdem wäre es erstrebenswert, eine bessere Stromproduktion anzuvizieren. Nur schon die kleine KVA Oftringen, aus dem Kanton Aargau, welche gerade mal einen Sechstel¹⁵⁴ des Abfalls von der Stadt Zürich verwertet, produziert pro Tonne Abfall fast doppelt¹⁵⁵ so viel Strom wie die Stadt Zürich oder Kopenhagen.

¹⁵⁴ 65'318 Tonnen Abfall im Vergleich zu 364'174 Tonnen Abfall von der Stadt Zürich.

¹⁵⁵ 0.702 MWh/t Abfall im Vergleich zu 0.37 MWh/t Abfall (Zürich) oder 0.397 MWh/t Abfall (Kopenhagen).

6.7 Schlussfolgerung und Endresultat

Für die Darstellung des Endresultats wurde folgende Tabelle mit allen Wertungen pro Stadt erstellt. Diese soll nochmals die Erkenntnisse der einzelnen Kapitel zusammenfassen.

Kriterium	Punkte Stadt Zürich	Punkte Stadt Kopenhagen
KVA Vergleich	2.7	3.45
Sonderabfälle	3	4
Wärmerückgewinnung	4	5
Stromrückgewinnung	2	2
Kohlenstoffdioxid - Verbrennung	4	5
Kohlenstoffdioxid – Transport	-	-
Total	15.7	19.45

Tabelle 28: Endresultat Vergleich Stadt Zürich / Kopenhagen

Die Gewinnerin ist mit 3.75 Punkten Vorsprung die Stadt Kopenhagen. Die Maximalpunktzahl wäre 25¹⁵⁶, von der ist die Stadt Kopenhagen nicht allzu weit entfernt. Einzig bei der Stromrückgewinnung hätte sie noch grösseres Verbesserungspotential. Im Endresultat, noch mehr als in den einzelnen Wertungen, widerspiegeln sich die modernen Kehrichtverbrennungsanlagen in der Punktzahl. Die Investitionen seitens der Stadt Kopenhagen bzw. Dänemark in eine starke Verwertungsindustrie für Abfall haben sich durchaus gelohnt.

Grundsätzlich verwertet die Stadt Zürich ihren Abfall sehr gut. Sogar so gut, dass Abfall aus dem Ausland importiert wird.¹⁵⁷ Mit der KVA Josefstrasse hatte sie zu Bauzeiten eine Vorreiterrolle. Dies ist aber kein Vergleich mit dem Rest der Welt, sondern mit der Stadt Kopenhagen, welche durch ihre neueren KVA's punktet. Die Problematik der alten KVA's hat die Stadt Zürich aber erkannt, was sich durch den geplanten Abbruch der ältesten, von den hier behandelten KVA's, der KVA Josefstrasse zeigt.

¹⁵⁶ 5 Kriterien x 5 Punkte = 25 Punkte (Das Kriterium Kohlenstoffdioxid-Transport wird weggelassen, da keine Bewertung möglich war).

¹⁵⁷ <https://www.limmattalerzeitung.ch/limmattal/zuerich/kehrichverbrennungsanlage-josefstrasse-soll-ab-2020-abgebrochen-werden-108701947> [01.04.2019].

7 Schluss – Fazit

Diese Berufsmaturitätsarbeit hat versucht, die Frage zu beantworten: «Welche Stadt verwertet ihren Abfall besser?»

Um die Frage zu beantworten, wurden offiziellen Statistiken der Stadt Zürich, der Stadt Kopenhagen, sowie der Kehrrichtverbrennungsanlagenbetreiber genutzt.

Zur Bewertung der Abfallverwertung wurden folgende Kriterien aufgestellt: Stand der Technik der KVA, CO₂-Emissionen der KVA, Baujahr der KVA, Verwertungskapazität der KVA, Innovation der KVA, Wärmerückgewinnung der KVA, Stromrückgewinnung der KVA, Logistikmanagement Abfall, Sonderabfallverwertung des Land

Die Ergebnisse zeigen, dass die Stadt Kopenhagen überall, ausser in der Stromrückgewinnung, besser abschneidet, als die Stadt Zürich.

Diese Arbeit kann als Grundlage dienen, ein standardisiertes Vergleichsmodell zu entwickeln, mit dem die Effizienz und die Nachhaltigkeit vom Abfallmanagement einer Stadt gemessen und verglichen werden kann mit Referenzwerten.

Durch diese Untersuchungen kann das Abfallverwertungskonzept einer Stadt optimiert werden und somit einen Beitrag zur Erhaltung unseres Planeten beigetragen werden.

8 Bibliographie

8.1 Internetquellen

- ADVERCITY, «Kopenhagen»
URL: <https://de.db-city.com/D%C3%A4nemark--Hovedstaden--Kopenhagen>
[Stand: 06.03.2019].
- ARC, “Hoved- og nøgletal”
URL: <https://www.a-r-c.dk/>
[Stand: 06.03.2019].
- ARC, “Hoved- og nøgletal”,
URL: <https://www.a-r-c.dk/amager-bakke#tagparken>
[Stand: 11.03.2019].
- ARC, “Hoved- og nøgletal”,
URL: <https://www.a-r-c.dk/om-arc/hoved-og-noegletal>,
[Stand 30.03.2019]
- ARC, “Hoved- og nøgletal”,
URL: <https://www.a-r-c.dk/om-arc/presse/amager-bakke-aabner-i-foraaret-2019>
[Stand: 11.03.2019].
- az Limmattaler Zeitung, «Kehrichtverbrennungsanlage Josefstrasse soll ab 2020 abgebrochen werden», Zuletzt aktualisiert am 25.5.2011 um 11:55 Uhr
URL:
<https://www.limmattalerzeitung.ch/limmattal/zuerich/kehrichtverbrennungsanlage-josefstrasse-soll-ab-2020-abgebrochen-werden-108701947>
[Stand: 07.03.2019].
- Best Swiss Products AG, «Einwohner Schweiz»
URL: <https://bestswiss.ch/einwohner-schweiz-einwohnerdichte>
[Stand: 05.03.2019].
- BIG CPH, «projects-arc»
URL: <https://big.dk/#projects-arc>
[Stand: 11.03.2019].
- Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, «Klimawandel Schweiz», vom 29. Januar 2019,

URL: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klimawandel-schweiz.html>

[Stand: 27.03.2019].

- Bundesamt für Umwelt BAFU, «Abfallentsorgung»

URL: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/fachinformationen/abfallentsorgung.html>

[Stand: 10.03.2019].

- Bundesamt für Statistik, «Raum, Umwelt»

URL: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung.html>

[Stand: 31.03.2019].

- Bundesamt für Statistik, «Raum, Umwelt»

URL: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt.html>

[Stand: 31.03.2019].

- Bundesamt für Umwelt BAFU, «Sonderabfallstatistik 2015», vom Oktober 2016, URL:

[https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/abfall/statistik/sonderabfallstatistik_2015_zusammenfassung.pdf.download.pdf/Sonderabfallstatistik%202015%20\(Zusammenfassung\).pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/abfall/statistik/sonderabfallstatistik_2015_zusammenfassung.pdf.download.pdf/Sonderabfallstatistik%202015%20(Zusammenfassung).pdf)

[Stand: 29.03.2019].

- Christopher Nicastro, «Copenhagen goes all in on incineration, and it's a costly mistake», 13. Oktober 2017

URL: <https://zerowasteeurope.eu/2017/10/copenhagen-goes-all-in-on-incineration-and-its-a-costly-mistake/>

[Stand: 01.04.2019].

- COPENHILL A/S, «VELKOMMEN TIL COPENHILL»

URL: <https://www.copenhill.dk/>

[Stand: 01.04.2019].

- Danmarks Statistik, «BY1: FOLKETAL 1. JANUAR EFTER BYOMRÅDER, LANDDISTRIKTER, ALDER OG KØN»

URL: <http://www.statbank.dk/statbank5a/SelectVarVal/saveselections.asp>

[Stand: 06.03.2019].

- Deutsche Institut für Internationale Pädagogische Forschung, «Treibhauseffekt», vom 2. Oktober 2018,
URL: <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Treibhauseffekt>
[Stand: 27.03.2019].
- Donella Meadows, «Denmark's Hazardous Waste Disposal System», vom 06. April 1989
URL: <http://donellameadows.org/archives/denmarks-hazardous-waste-disposal-system/>
[Stand: 29.03.2019].
- DRH A.m.b.a., «Alle forbrændingsanlæg i Danmark»
URL: <http://www.drh-amba.dk/forbraendingsanlaeg/dealerslist>
[Stand: 05.03.2019].
- Dr. Lüchinger+Meyer Bauingenieure AG, «ARC – Amager Ressource Centre, Kopenhagen»
URL: <https://www.luechingermeyer.ch/project/arc-amager-ressource-centre-kopenhagen/>
[Stand: 13.03.2019].
- eglitis-media Inh. Lars Eglitis, «Dänemark»
URL: <https://www.laenderdaten.info/Europa/Daenemark/index.php>
[Stand: 05.03.2019].
- eglitis-media Inh. Lars Eglitis, «Schweiz»
URL: <https://www.laenderdaten.info/Europa/Schweiz/index.php>
[Stand: 05.03.2019].
- E.ON, “København skal blive CO2-neutral”, vom 9. März 2017
URL: <https://www.eon.dk/artiklar/kobenhavns-kommune.html>
[Stand 31.03.2019].
- Empa, «Korrosionsprüfungen»
URL: https://www.empa.ch/web/s202/services-corrosion-tests?redirect=https%3A%2F%2Fwww.empa.ch%2Fweb%2Fempa%2Fsearch%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximized%26p_p_mode%3Dview%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dkorrosionspr%25C3%25BCfung%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch&inheritRedirect=true
[Stand: 13.03.2019].

- energie-umwelt.ch, «CO₂ (Kohlendioxid)»
URL: <https://www.energie-umwelt.ch/definitionen/1276-co2-kohlendioxid>
[Stand: 27.03.2019].
- energie-strom.com, “Müllverbrennungsanlage (MVA)”
URL: <http://energie-strom.com/energie/kraftwerke/muellverbrennungsanlage.html>
[Stand 27.03.2019].
- Fernwärme Zürich AG, Home
URL: <http://www.fernwaerme-zuerich.ch/index.htm>
[Stand: 07.03.2019].
- Fernwärme Zürich AG, «Daten und Fakten»
URL: http://www.fernwaerme-zuerich.ch/daten_und_fakten.htm
[Stand: 29.03.2019].
- Fonden Wonderful Copenhagen, «Amager Bakke / Copenhill»
URL: <https://www.visitcopenhagen.com/copenhagen/amager-bakke-copenhill-gdk1088237>
[Stand: 11.03.2019].
- Gemeinderat der Stadt Zürich, «Weisung des Stadtrats von Zürich an den Gemeinderat», vom 12. Juli 2017
URL: http://www.gemeinderat-zuerich.ch/Geschaefte/detailansicht-geschaeft/Dokument/2d917d5d-a203-47c1-a054-b9535bc0f1ad/2017_0220.pdf
[Stand: 29.03.2019].
- Hochschule Luzern , « Fassadenprüfungen Die Forschungsgruppe ist national und international zertifiziert »
URL: <https://www.hslu.ch/de-ch/technik-architektur/forschung/kompetenzzentren/gebaeudehuelle/fassaden-und-metallbau/fassadenpruefungen/>
[Stand: 13.03.2019].
- I/S Norfors, Home
URL: <http://www.norfors.dk/>
[Stand: 05.03.2019].

- I/S Norfors, «Hvem er Norfors?»
URL: <http://www.norfors.dk/da-DK/Norfors/Om-Norfors/Hvem-er-Norfors.aspx>
Stand: 11.03.2019].
- I/S Norfors, “Udgivelser mv.”
URL: <http://www.norfors.dk/da-DK/Norfors/Udgivelser-mv/Udgivelser-mv.aspx>
[Stand 31.03.2019].
- I/S Vestforbrænding, «Fra affald til energi»
URL: <https://www.vestfor.dk/om-affald-og-energi/fra-affald-til-energi/>
[Stand 30.03.2019].
- I/S Vestforbrænding, «Nøgletal»
URL: <https://www.vestfor.dk/om-os/noegletal/>
[Stand 31.03.2019].
- I/S Vestforbrænding, «vestforbraending-forbraendingsproces»
URL: <https://www.vestfor.dk/media/1055/vestforbraending-forbraendingsproces.jpg>
[Stand: 03.03.2019].
- I/S Vestforbrænding, «Pressemateriale»
URL: <https://www.vestfor.dk/nyheder-og-presse/pressemateriale/>
[Stand: 06.03.2019].
- I/S Vestforbrænding, «Halosep»
URL: <https://www.vestfor.dk/udviklingsprojekter/halosep-fra-farligt-affald-til-ressourcer/>
[Stand: 11.03.2019].
- I/S Vestforbrænding, «Robotsortering af storskrald»
URL: <https://www.vestfor.dk/udviklingsprojekter/robotsortering-af-storskrald/>
[Stand: 11.03.2019].
- IDR Environmental Services, «How Hazardous Waste Disposal Affects The Environment»,
vom 15. Juni 2018
URL: <https://blog.idrenvironmental.com/how-hazardous-waste-disposal-affects-the-environment>
[Stand: 10.03.2019].

- IPCC TFI, «Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories», 15. Juni 2001
URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/5_3_Waste_Incineration.pdf
[Stand: 10.03.2019].
- Mette Serup, «Skidt, skrald og æggebakker indvier Amager Bakke», 30. März 2017
URL: <https://www.tv2lorry.dk/artikel/skidt-skrald-og-aeggebakker-indvier-amager-bakke>
[Stand: 01.04.2019].
- Miljøstyrelsen, «Affaldsstatistik 2015», vom Juni 2017
URL: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2017/05/978-87-93614-01-7.pdf>
[Stand: 29.03.2019].
- Myclimate Deutschland GMBH, «Was ist und wodurch entsteht CO2?»
URL: <https://de.myclimate.org/de/website/faq/detail/was-ist-und-wodurch-entsteht-co2/>
[Stand: 27.03.2019].
- Norfors, «Nordforbrænding erstatter tre gamle ovnlinjer med Ovnlinje 5»
URL: <http://www.ovnlinje5.dk/introduktion.html>
[Stand: 11.03.2019].
- Norfors, «Affald bliver til el og fjernvarme»
URL: <http://www.ovnlinje5.dk/teknik.html>
[Stand: 11.03.2019].
- Neue Zürcher Zeitung, «Skifahren auf einem Müllberg», Niels Anner, Kopenhagen, 15.2.2016, 05:34 Uhr
URL: <https://www.nzz.ch/panorama/skifahren-auf-einem-muellberg-1.18695256>
[Stand: 13.03.2019].
- Neue Zürcher Zeitung, «Klares Ja zur Metallrückgewinnung», Jan Hudec, 8.3.2015, 14:38 Uhr
URL: <https://www.nzz.ch/zuerich/stadt-zuerich/klares-ja-zur-metallrueckgewinnung-1.18497803>
[Stand: 07.03.2019].

- Österreichischer Biomasse-Verband, «Was bedeutet CO₂-neutral? »
URL: <http://www.waermeausholz.at/info/fag/was-bedeutet-co2-neutral/>
[Stand: 29.03.2019].
- Ramboll, «Amager Bakke – Hocheffiziente Waste-to-Energy-Anlage mit Erholungswert»
URL: <https://de.ramboll.com/projects/rme/copenhill>
[Stand: 13.03.2019].
- POLITIKEN, Ellen Ø. Andersen: «Forbrændingsanlæg overvejer at fjerne CO₂ fra røgen»,
4. JAN. 2019 KL. 21.45
URL: <https://politiken.dk/klima/art6946534/Forbr%C3%A6ndingsanl%C3%A6g-overvejer-at-fjerne-CO2-fra-r%C3%B8gen>
[Stand: 21.03.2019].
- SRF Schweizer Radio und Fernsehen, «Das grosse Geschäft mit dem Sondermüll», vom
13. November 2017
URL: <https://www.srf.ch/news/schweiz/grosse-auslaendische-konkurrenz-das-grosse-geschaeft-mit-dem-sondermuell>
[Stand: 29.03.2019].
- Staatskanzlei des Kantons Zürich, Kanton Zürich Baudirektion Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, «Kehrichtverwertungsanlagen sind auch Kraftwerke und Rohstoffquellen», 30.11.2012 – Medienmitteilung
URL: https://awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/aktuell.newsextern.-internet-de-aktuell-news-medienmitteilungen-2012-291_kehrichverwertungsanlagen.html
[Stand: 03.03.2019].
- Staatskanzlei des Kantons Zürich, Kanton Zürich Baudirektion Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, «Kehrichtverwertungsanlagen (KVA)»
URL:
https://awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/betriebe_anlagen_baustellen/abfallanlagen/kehrichverbrennung_kva.html
[Stand: 03.03.2019].

- Stadt Zürich, «Überblick Bevölkerung Stadt Zürich»
URL: https://www.stadt-zuerich.ch/prd/de/index/statistik/themen/bevoelkerung.html#ueberblick_bevoelkerung_stadtzuerich
[Stand: 06.03.2019].
- Stadt Zürich, «Entsorgung & Recycling»
URL: https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling.html
[Stand: 05.03.2019].
- Stadt Zürich, «Geschichte»
URL: https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling/ueber_uns/geschichte.html
[Stand: 07.03.2019].
- Stadt Zürich, «Hagenholz»
URL: https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling/zuerich_waerme/produktionsanlagen/kehrichtheizkraftwerk/hagenholz.html
[Stand: 29.03.2019].
- State of Green, «Waste incineration»
URL: <https://stateofgreen.com/en/sectors/waste/waste-incineration/>
[Stand: 29.03.2019].
- Statista GmbH, «Dänemark: Gesamtbevölkerung von 2008 bis 2018 (in Millionen Einwohner)», April 2018
URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/19296/umfrage/gesamtbevoelkerung-von-daenemark/>
[Stand: 05.03.2019].
- Statista, «Number of enterprises in the collection of hazardous and non-hazardous waste in Denmark from 2008 to 2015», August 2017
URL: <https://www.statista.com/statistics/386622/number-of-enterprises-collecting-hazardous-and-non-hazardous-waste-in-denmark/>
[Stand: 29.03.2019].

- Statistics Denmark, «FOLK1 [STAND: 31.03.2019]»
URL: <http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/selectTable/search.asp?Planguage=0&searchtext=FOLK1>
[Stand: 31.03.2019].
- Stena Metall AB, Stena Recycling «LIFE HALOSEP»
URL: <https://www.stenarecycling.dk/baredygtig-genvinding/forskning-i-morgendagens-genvinding/life-halosep/>
[Stand: 11.03.2019].
- TEKNOLOGIENS MEDIEHUS, Ingeniøren, Louise Holst Andersen: «Amager Bakke stopper energiproduktionen på grund af fejl» 11. sep 2018 kl. 11:11
URL: <https://ing.dk/artikel/amager-bakke-stopper-energiproduktionen-paa-grund-fejl-214369>
[Stand: 13.03.2019].
- TEKNOLOGIENS MEDIEHUS, Ingeniøren, Sanne Wittrup: «Medie: Amager Bakke kommer til at mangle 1,9 mia. kroner», 11. August 2016 kl. 12.54
URL: <https://ing.dk/artikel/fejl-roer-omkring-forbraendingsovnene-amager-bakke-187482>
[Stand: 13.03.2019].
- TEKNOLOGIENS MEDIEHUS, Ingeniøren, Sanne Wittrup: «Medie: Amager Bakke kommer til at mangle 1,9 mia. kroner», 11. August 2016 kl. 12.54
URL: <https://ing.dk/artikel/medie-amager-bakke-kommer-at-mangle-19-mia-kroner-185978>
[Stand: 13.03.2019].
- TEKNOLOGIENS MEDIEHUS, Ingeniøren, Magnus Bredsdorff: «Sådan blev Amager Bakke alligevel gigantisk», 4. sep 2015 kl. 10:19
URL: <https://ing.dk/artikel/sadan-blev-amager-bakke-alligevel-gigantisk-178430>
[Stand: 13.03.2019].

- The Copenhagen Post, Mathilde Zaavi: «Local News in Brief: Country's most expensive incinerator closes down indefinitely» September 11th, 2018 2:12 pm
URL: <http://cphpost.dk/news/local-news-in-brief-countrys-most-expensive-incinerator-closes-down-indefinitely.html>
[Stand: 13.03.2019].
- Umweltbundesamt, «Gefährliche Abfälle», vom 16. Dezember 2017
URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallarten/gefaehrliche-abfaelle>
[Stand: 10.03.2019].
- Verband der Betriebsleiter und Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen
URL: <https://vbsa.ch/anlagegruppen/kva/>
[Stand: 05.03.2019].
- Verband der Betriebsleiter und Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen, «Monitoring der CO2-Vereinbarung», vom 18. September 2018
URL: <http://vbsa.ch/CO2-Report/index.html>
[Stand: 29.03.2019].
- Verband der Betriebsleiter und Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen, «1.2 CO2-Emissionen aus Kehrichtverwertungsanlagen (KVA)», vom 3. Juli 2018
URL: <http://vbsa.ch/CO2-Report/co2-emissionen-aus-kehrichtverwertungsanlagen-kva.html>
[Stand: 30.03.2019].
- Verband der Betriebsleiter und Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen, «1.2.2 Möglichkeiten und Grenzen der Reduktion der CO2-Emissionen aus KVA», vom 3. Juli 2018
URL: <http://vbsa.ch/CO2-Report/co2-emissionen-aus-kehrichtverwertungsanlagen-kva.html#fnref1>
[Stand: 19.03.2019].
- Verband der Betriebsleiter und Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen, «1.3 Die Zielvereinbarung», vom 18. September 2018
URL: <http://vbsa.ch/CO2-Report/die-zielvereinbarung.html>
[Stand: 29.03.2019].

- Verband der Betriebsleiter und Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen, «1.3.2 Gegenstand der Zielvereinbarung: Reduktion der Netto-CO₂-Emissionen», vom 3. Juli 2018
URL: <http://vbsa.ch/CO2-Report/die-zielvereinbarung.html#gegenstand-der-zielvereinbarung>
[Stand: 30.03.2019].
- Verband der Betriebsleiter und Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen, «2.2 Thermisch verwertete Abfallmenge nach Anlagen», vom 3. Juli 2018
URL: <http://vbsa.ch/CO2-Report/thermisch-verwertete-abfallmenge-nach-anlagen.html>
[Stand: 30.03.2019].
- Verband der Betriebsleiter und Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen, «2.3 Fossile Brutto-CO₂-Emissionen», vom 3. Juli 2018
URL: <http://vbsa.ch/CO2-Report/fossile-brutto-co2-emissionen.html>
[Stand: 30.03.2019].
- Verband der Betriebsleiter und Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen, «2.4 Lieferungen von Strom und Wärme an Dritte», vom 3. Juli 2018
URL: <http://vbsa.ch/CO2-Report/lieferungen-von-strom-und-warme-an-dritte.html>
[Stand: 30.03.2019].
- Verband der Betriebsleiter und Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen, «2.6 Netto CO₂-Emissionen», vom 3. Juli 2018
URL: <http://vbsa.ch/CO2-Report/netto-co2-emissionen.html>
[Stand: 30.03.2019].
- Verband der Betriebsleiter und Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen, «Sonderabfall», vom 18. September 2018
URL: <https://vbsa.ch/anlagegruppen/sonderabfall/>
[Stand: 29.03.2019].
- Wikimedia Foundation Inc., «Abfallartenkatalog»
URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Abfallartenkatalog>
[Stand: 10.03.2019].

- Wikimedia Foundation Inc., «Liste der Länder nach Bruttoinlandsprodukt»
URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_L%C3%A4nder_nach_Bruttoinlandsprodukt
[Stand: 31.03.2019].
- Wikimedia Foundation Inc., «Müllverbrennung»
URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/M%C3%BCllverbrennung>
[Stand: 03.03.2019].
- WWF Zürich, «Besichtigung Kehrichtheizkraftwerk Hagenholz»
URL: <https://www.wwf-zh.ch/intern/anlaesse/agenda.php?anlass=158&typ=1>
[Stand: 07.03.2019].
- ZEIT ONLINE GmbH, Architekt Bjarke Ingels: «Wir fragen, wie Nachhaltigkeit Spaß machen kann»
URL: <https://www.zeit.de/kultur/2011-02/architekt-Ingels/seite-2>
[Stand: 11.03.2019].
- Züblin Stahlbau GmbH, «ZÜBLIN STAHLBAU wird für das Projekt Amager Bakke mit dem European Award for Steel Structures 2017 ausgezeichnet»
URL: http://www.zueblin-stahlbau.de/databases/internet/_public/content30.nsf/web30?Openagent&id=B62AC3314C09CA5FC1258249003956C8
[Stand: 13.03.2019].
- Zürcher Abfallverwertungs AG, «Über uns»
URL: <http://www.z-a-v.ch/de/ueber-uns#member-5>
[Stand: 07.03.2019].

8.2 Fachliteratur

- Babcock & Wilcox Vølund A/S, «WASTE-TO-ENERGY PLANT Nordforbrænding Hørsholm, Denmark»
URL: http://www.volund.dk/~media/Downloads/Brochures_-_WTE/Norfors_-_Denmark.pdf
[Stand: 06.03.2019].
- Bundesamt für Umwelt BAFU, «ABFALLMENGEN UND RECYCLING 2015 IM ÜBERBLICK», Januar 2017.

- ERZ Entsorgung + Recycling Zürich, «Geschäftsbericht 2017», vom Monat Februar 2018
URL: https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/ted/Deutsch/erz/Ueber_uns/Publikationen_und_Broschueren/UEB_GB_2017.pdf
[Stand: 30.03.2019].
- Clementine Hegner-van Rooden, «SZS steeldoc: Spezialkonstruktionen», vom März 2017
URL: http://www.cvr.ch/amager-ressource-center.html?file=files/referenzen/Steeldoc_03_2017_Amager.pdf
[Stand: 13.03.2019].
- Dario Glasl, Matthias Ruckstuhl, Dennis Baumli: «IDAF_Abfall_und_Recycling», 08. Dezember 2018.
- TUCHSCHMID AG, Judit Solt: «Der Koloss von Kopenhagen»
URL: https://tuchschmid.ch/wp-content/uploads/2011/07/TEC21_44-2017_Koloss-von-Kopenhagen.pdf
[Stand: 13.03.2019].
- Die dänische Regierung, «Denmark without waste», vom November 2013
URL: https://eng.mst.dk/media/mst/Attachments/Ressourcestrategi_UK_web.pdf
[Stand: 06.03.2019].
- Friederike Meyer «Müll und Ski | Abfallverbrennungsanlage in Kopenhagen», vom August 2011
URL: https://www.bauwelt.de/dl/747105/bw_2011_08_0010-0011.pdf
[Stand: 11.03.2019].
- Horisont Gruppen a/s, «Bæredygtighedsrapport 2016», vom Jahr 2017
URL: https://csr.dk/sites/default/files/ARC_B%C3%A6redygtighedsrapport_2016_GC_COP.pdf
[Stand: 30.03.2019].
- I/S Amager Ressourcecenter, «Årsrapport 2017», vom 3. Mai 2018
URL: https://www.a-r-c.dk/media/460082/ARC-%C3%85rsrapport_2017.pdf
[Stand 31.03.2019].

- I/S Vestforbrænding / Kim Crillesen, november 2011 som led i projektet «CO2-opgørelse i den danske affaldsbranche».

URL:

https://dakofa.dk/fileadmin/user_upload/documents/Vidensbank/Energi_og_klima/CO2_vejledning/CASE_Vestforbraending_Forbraending_af_blandet_affald_fra_husholdning_og_erhverv_2009.pdf

[Stand: 21.03.2019].

- Statistisches Amt des Kantons Zürich in Zusammenarbeit mit der Zürcher Kantonalbank, «Kanton Zürich in Zahlen 2018», vom Mai 2018

URL:

https://statistik.zh.ch/internet/justiz_inneres/statistik/de/themen/zhiz/_jcr_content/contentPar/publication/publicationitems/titel_wird_aus_dam_e/download.spooler.download.1526650658744.pdf/ktzhiz_2018_def_180515.pdf

[Stand: 06.03.2019].

8.3 Gesetzestexte

- Bundesamt für Umwelt (BAFU), «Abfall: Gesetze und Verordnungen»

URL: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/recht/gesetze-verordnungen.html>

[Stand: 03.03.2019].

- Bundeskanzlei, «Verordnung über den Verkehr mit Abfällen», vom 22. Juni 2005, <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20021080/index.html>

[Stand: 10.03.2019].

- EUR-Lex, «RICHTLINIE 2008/98/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES», 19. November 2008, URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0098&from=DE>

[Stand: 31.03.2019].

- EUROPEAN COMMISSION, «Waste Incineration», August 2006

URL: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wi_bref_0806.pdf

[Stand: 03.03.2019].

8.4 Rahmenbedingung

- BFS Uster Berufsmaturität, «Anleitung für die Berufsmaturitätsarbeit 2018/19 BM1 und BM2 Technik»

8.5 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

8.5.1 Abbildungen

ABBILDUNG 1: FUNKTIONSWEISE VERWERTUNGSANLAGE	10
ABBILDUNG 2: SCHWEIZ ABBILDUNG 3: DÄNEMARK	12
ABBILDUNG 4: SKIPISTE ABBILDUNG 5: BAUSTELLE 1 ABBILDUNG 6: BAUSTELLE 2	16
ABBILDUNG 7: WERTUNGSTABELLE_KVA_AUFGESCHLÜSSELT	21
ABBILDUNG 8: TEMPERATURABWEICHUNGEN VOM MITTEL 1961-1990 IN DER SCHWEIZ FÜR JEDES JAHR SEIT 1864.	30
ABBILDUNG 9: ENERGIEVERBRAUCH DER FAHRZEUGE VOM JAHR 2017, AUS DEM GESCHÄFTSBERICHT DER ERZ.....	35

8.5.2 Tabellen:

TABELLE 1: EINFACHER STÄDTEVERGLEICH.....	13
TABELLE 2: STÄDTEVERGLEICH NACH CO ₂	19
TABELLE 3: WERTUNGSKRITERIEN.....	19
TABELLE 4: WERTUNG	20
TABELLE 5: WERTESKALA SONDERABFÄLLE	23
TABELLE 6: EXPORT SONDERABFÄLLE SCHWEIZ. DIE DATEN IN DIESER TABELLE STAMMEN AUS DER SONDERABFALLSTATISTIK 2015.....	24
TABELLE 7: GESAMTMENGE SONDERABFÄLLE SCHWEIZ. DIE DATEN IN DIESER TABELLE STAMMEN AUS DER SONDERABFALLSTATISTIK 2015	25
TABELLE 8: AUSWERTUNG SONDERABFALL SCHWEIZ. DIE DATEN IN DIESER TABELLE STAMMEN AUS DER SONDERABFALLSTATISTIK 2015.....	25
TABELLE 9: EXPORT SONDERABFÄLLE DÄNEMARK. DIE DATEN IN DIESER TABELLE STAMMEN AUS DER AFFALDSSTATISTIK 2015	26
TABELLE 10: GESAMTMENGE SONDERABFALL. DIE DATEN IN DIESER TABELLE STAMMEN AUS DER AFFALDSSTATISTIK 2015 ..	26
TABELLE 11: AUSWERTUNG SONDERABFALL DÄNEMARK. DIE DATEN IN DIESER TABELLE STAMMEN AUS DER AFFALDSSTATISTIK 2015.....	27

TABELLE 12: WERTUNG SONDERABFÄLLE.....	27
TABELLE 13: KENNZAHLEN DER SCHWEIZ UND DÄNEMARK	28
TABELLE 14: WERTETABELLE CO ₂ -EMISSIONEN BEI VERBRENNUNG VON ABFALL.....	32
TABELLE 15: CO ₂ -EMISSIONEN AUSSTOSS UND ERSPARNIS VON ARC	33
TABELLE 16: AUSWERTUNG CO ₂ -EMISSIONEN BEI VERBRENNUNG VON ABFALL	34
TABELLE 17: WERTUNG TRANSPORT	35
TABELLE 18: VERGLEICH VERBRENNUNGSANLAGEN SCHWEIZ, ALLE WERTE STAMMEN AUS DEM MONITORING DER CO ₂ - VEREINBARUNG	38
TABELLE 19: WERTESKALA WÄRMERÜCKGEWINNUNG.....	39
TABELLE 20: DATEN WÄRMERÜCKGEWINNUNG ZÜRICH.....	40
TABELLE 21: DATEN WÄRMERÜCKGEWINNUNG KOPENHAGEN	41
TABELLE 22: WERTUNG WÄRMERÜCKGEWINNUNG	41
TABELLE 23: WERTESKALA VERBRENNUNGSANLAGEN SCHWEIZ FÜR DIE ERSTELLUNG DER BEWERTUNG STROMRÜCKGEWINNUNG	44
TABELLE 24: WERTUNGSTABELLE AUFGRUND DER WERTESKALA	44
TABELLE 25: BERECHNUNG STROMRÜCKGEWINNUNG DER STADT ZÜRICH	45
TABELLE 26: BERECHNUNG STROMRÜCKGEWINNUNG DER STADT KOPENHAGEN.....	45
TABELLE 27: AUSWERTUNG STROMRÜCKGEWINNUNG.....	46
TABELLE 28: ENDRESULTAT VERGLEICH STADT ZÜRICH / KOPENHAGEN	47

8.6 Abbildungs- und Tabellenquellen

8.6.1 Abbildungen

8.6.1.1 *Abbildung Titelblatt,*

Dario Glasl, «Amager Ressourcecenter vom Strand», 22.02.2019; Foto: privat.

8.6.1.2 *Abbildung 1,*

- I/S Vestforbrænding, «vestforbraending-forbraendingsproces»

URL: <https://www.vestfor.dk/media/1055/vestforbraending-forbraendingsproces.jpg>

[Stand: 03.03.2019].

8.6.1.3 Abbildung 2,

- Verband der Betriebsleiter und Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen
URL: <https://vbsa.ch/anlagegruppen/kva/>
[Stand: 05.03.2019].

8.6.1.4 Abbildung 3,

- DRH A.m.b.a., «Alle forbrændingsanlæg i Danmark»
URL: <http://www.drh-amba.dk/forbraendingsanlaeg/dealerslist>
[Stand: 05.03.2019].

8.6.1.5 Abbildung 4, 5 und 6,

Dario Glasl, «Amager Ressourcecenter, Baustellenbesichtigung», 19.02.2019; Fotos: privat.

8.6.1.6 Abbildung 7,

- Verband der Betriebsleiter und Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen
URL:
https://www.meteoschweiz.admin.ch/content/meteoswiss/de/home/klima/klimawandel-schweiz/_jcr_content/content/textimage_4/image.mchimg.png/1548744811984.png
[Stand: 27.03.2019].

8.6.1.7 Abbildung 9,

- ERZ Entsorgung + Recycling Zürich, «Geschäftsbericht 2017», vom Monat Februar 2018
URL: https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/ted/Deutsch/erz/Ueber_uns/Publikationen_und_Broschueren/UEB_GB_2017.pdf
[Stand: 30.03.2019].

8.6.2 Tabellen

Sämtliche Tabellen im vorliegenden Dokument wurden von den Autoren eigenständig erstellt.

9 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erklären wir, dass wir die vorliegende schriftliche Arbeit selbständig und nur unter Zuhilfenahme der in den Verzeichnissen oder in den Anmerkungen genannten Quellen angefertigt wurde. Wir versichern zudem, diese Arbeit nicht bereits anderweitig als Leistungsnachweis verwendet zu haben. Eine Überprüfung der Arbeit auf Plagiate unter Einsatz entsprechender Software darf vorgenommen werden.

Uster, 06. April 2019;

Ruckstuhl Matthias

Dennis Baumli

Dario Glasl

10 Anhang

- Wertungstabelle_KVA_aufgeschlüsselt (in PDF sowie in elektronischer Abgabe als .xlsx File)

11 Lose Beilagen

- Persönliches Fazit, dreimal einzeln anonymisiert als separates Couvert beigelegt abgegeben.

Wertungstabelle_KVA_aufgeschlüsselt

	KVA-A	KVA-B	KVA-C	KVA-D	KVA-E
Stand der Technik	2011 generalüberholt	1995 erneuert, generell rückständig	2014 -15 Tatalüberholt, 2016 neue Ofenlinie	Aktuell, beteiligt sich aktiv an Forschung und Innovationen	Neuster stand (Inbetriebnahme 2017)
Baujahr	1969	1904	1965	1960-70	2013
Ø Verwertungskapazität	245000	110000	152000	560000	354000
CO ² - Ausstoss	130003	60626	Keine Angabe	189183	480000
Innovation / Spezielles	Eine der modernsten in Europa	seit 2011 aus der kantonalen Abfallplanung entlassen. Wird 2020-21 abgebrochen.	Energienutzung von nahezu 100%, Rauchgasfilteranlage kann bis zu 99% aller unerwünschten Substanzen im Rauch entfernen	Pilotprojekt (LIFE Halosep-Projekt / Sortierung von Sperrmüll durch Roboter), Versuchsanlage (Metalle aus der Flugasche zu reinigen)	KVA ist gleichzeitig eine Freizeitanlage für jedermann. Minuspunkt für schlechte Planung, Baufehler und Budgetübersteigende Kosten