

---

# Ökobilanzkriterien des Labels "naturemade resources star"

---

Autoren

**Laura Tschümperlin, Rolf Frischknecht**

Kunde

**Verein für umweltgerechte Energie, VUE**

Uster, 13. Februar 2017

---

## Impressum

---

Titel	Ökobilanzkriterien des Labels "naturemade resources star"
Autoren	Laura Tschümperlin;Rolf Friscknecht treeze Ltd., fair life cycle thinking Kanzleistr. 4, CH-8610 Uster <a href="http://www.treeze.ch">www.treeze.ch</a> Phone +41 44 940 61 91, Fax +41 44 940 61 94 info@treeze.ch
Kunde	Verein für umweltgerechte Energie, VUE
Copyright	All content provided in this report is copyrighted, except when noted otherwise. Such information must not be copied or distributed, in whole or in part, without prior written consent of treeze Ltd. or the customer. Any other means of distribution, even in altered forms, require the written consent. Any citation naming treeze Ltd. or the authors of this report shall be provided to the authors before publication for verification.
Liability Statement	Information contained herein have been compiled or arrived from sources believed to be reliable. Nevertheless, the authors or their organizations do not accept liability for any loss or damage arising from the use thereof. Using the given information is strictly your own responsibility.
Version	529-LCA Bericht-v3.0_mit KEV.docx, 13.02.2017 17:34:00

---

# Inhalt

---

1	EINFÜHRUNG	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Zielsetzung	1
1.3	Struktur des Berichtes	1
2	METHODIK UND DATENGRUNDLAGE	2
2.1	Methodischer Ansatz	2
2.2	Datengrundlage	3
3	KVA REFERENZANLAGEN UND -VERFAHREN	4
3.1	Untersuchte Referenzanlagen	4
3.2	Wertstoff-Rückgewinnung	4
4	GRENZWERTE FÜR DIE ENTSORGUNGSFUNKTION, ENERGIE UND WERTSTOFFE	5
4.1	Übersicht	5
4.2	Ökobilanzen der KVA	6
4.2.1	Gesamtumweltbelastung der KVA	6
4.2.2	Umweltbelastung der Hilfsstoffe, Flugasche und Schlacke	7
4.2.3	Umweltbelastung der Luft- und Wasserschadstoffe	8
4.2.4	Umweltbelastung der Arsenemissionen	8
4.3	Umweltbelastung der Wertstoffgewinnung	10
4.4	Überlegungen zur Festlegung der Grenzwerte	11
4.4.1	Entsorgungsfunktion	11
4.4.2	Energie	12
4.4.3	Wertstoffe	12
4.5	Vorschlag Grenzwerte Entsorgungsfunktion, Energie und Wertstoffe	13
4.6	Anwendung der Grenzwerte auf die vier KVA	13
4.6.1	Verwendeter Allokationsansatz	13
4.6.2	Grenzwernerfüllung der Referenzanlagen und der durchschnittlichen KVA	14
4.7	Anwendung der Grenzwerte auf eine virtuelle Kehrriechverbrennungsanlage	17
4.8	Fazit	18

5	KENNWERTMODELL	19
5.1	Resultatbestimmende Parameter	20
5.2	Umweltdeklaration	24
5.3	Ergebnisse	24
5.4	Anpassungen am KWM von Version V2.1 zu Version V3.0	28
	LITERATUR	29

# 1 Einführung

## 1.1 Ausgangslage

Der Verein für umweltgerechte Energie VUE ist bestrebt, ein neues Label mit den Arbeitsnamen "naturemade resources star" einzuführen, welches für die Kennzeichnung von Energie aber auch weiteren Wertstoffen aus Verwertungs- und Recyclingprozessen verwendet werden soll. In einem ersten Schritt soll das Label im Zusammenhang mit Strom, Wärme und Wertstoffen aus Kehrrechtverbrennungsanlagen entwickelt und getestet werden. Das Label soll so gestaltet sein, dass es auch für andere Rückgewinnungsprozesse anwendbar ist.

## 1.2 Zielsetzung

Das Projekt verfolgt die folgenden Ziele:

1. Festlegung der Grenzwerte für die Entsorgungsfunktion und die Wertstoffe
2. Testen der Methodik am Beispiel von Kehrrechtverbrennungsanlagen
3. Bereitstellung eines Kennwertmodells für Kehrrechtverbrennungsanlagen

## 1.3 Struktur des Berichtes

Dieser Bericht ist wie folgt aufgebaut:

- In Kapitel 2 werden die verwendeten Datengrundlagen und grundsätzlichen Modellierungsprinzipien festgehalten.
- Kapitel 3 beschreibt die untersuchten Referenzanlagen
- Kapitel 4 stellt die festgelegten Grenzwerte für die Entsorgungsfunktion, die Energie und die Wertstoffe vor.
- Basierend auf den wesentlichen resultatbestimmenden Parametern aus Kapitel 4 wird in Kapitel 5 ein Kennwertmodell präsentiert.

## 2 Methodik und Datengrundlage

### 2.1 Methodischer Ansatz

Die hier vorgeschlagene Methodik orientiert sich an den aktuellen Vorgaben des Vereins für umweltgerechte Energie für das globale Kriterium des “Naturemade star“ Labels (siehe Jungbluth & Flury 2013).

Abfallverwertungs- und Rückgewinnungsanlagen nehmen Abfälle oder potenzielle Wertstoffe (in der Regel gegen eine Gebühr) entgegen (siehe Fig. 2.1). Die Anlagen behandeln die Abfälle gemäss den Vorschriften der Technischen Verordnung über Abfälle (TVA 2011) und anderen Verordnungen des Bundes. Bei der Behandlung dieser Abfälle können Energie und Wertstoffe zurückgewonnen werden. Energie und Wertstoffe werden an Dritte verkauft.

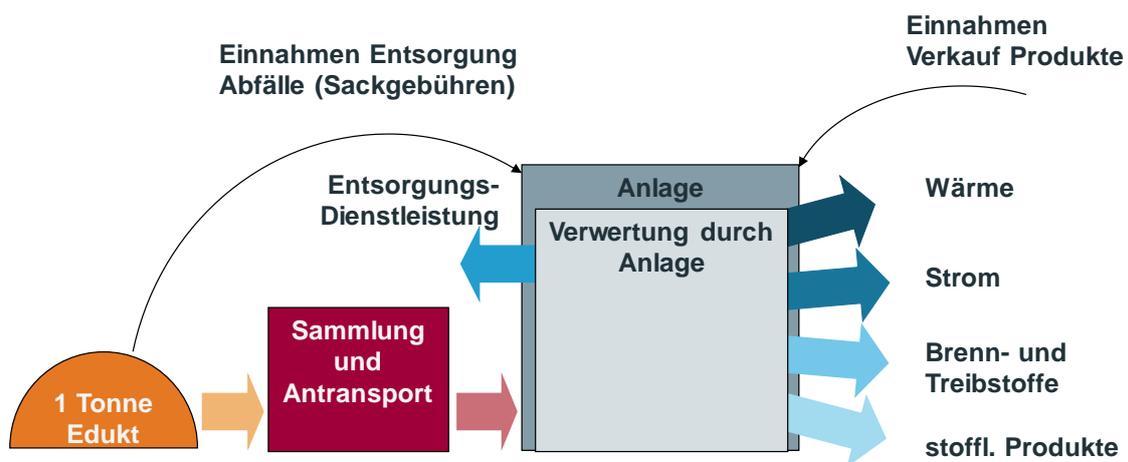


Fig. 2.1: Grundschaema Verwertungs- und Rückgewinnungsanlagen

Der methodische Ansatz basiert auf der Überlegung, dass die Umweltbelastung der Abfallsammlung und Verwertung einer tolerierten Gesamtumweltbelastung gegenübergestellt wird, die durch das Label vorgegebenen ist. Die tolerierte Gesamtumweltbelastung ist von den Umweltleistungen (resp. Umweltentlastungen) der Abfallsammlung und Verwertung abhängig. Als Umweltleistungen gelten in diesem Sinne die Entsorgungsdienstleistung und die von der Anlage verkauften Produkte (Energieträger und stoffliche Produkte). Je höher also die Umweltleistung ist, desto höher ist auch die tolerierte Gesamtumweltbelastung.

Schlüsselgrößen des Modells sind die in diesem Projekt zu definierenden spezifischen Grenzwerte für die Entsorgungsfunktion, die produzierten Energieträger und die rückgewonnenen Stoffe. Anhand der spezifischen Grenzwerte wird die tolerierte Gesamtumweltbelastung ermittelt, indem die erbrachte Entsorgungsdienstleistung und

die produzierten Mengen mit den spezifischen Grenzwerten multipliziert und aufaddiert werden.

## 2.2 Datengrundlage

Es werden drei Referenzanlagen untersucht. Für die Bilanzen der drei Anlagen werden quantitative Informationen zum Bedarf an Energie, Wasser, Chemikalien und dergleichen wie auch zu den Schadstoffemissionen, Abwassermengen und dessen Zusammensetzung verwendet.

Die Betreiber der drei Referenzanlagen haben Informationen zu den nachfolgend aufgeführten Bereichen pro Menge entsorgter Siedlungsabfall bereitgestellt:

- Verkaufte Menge Strom, Wärme, weitere Produkte (Menge und Qualitäten)
- Energieeinsatz (Strom, Erdgas, Heizöl, etc., Anteil Eigendeckung)
- Materialeinsatz (beispielsweise Chemikalien für die Rauchgasreinigung)
- Wasserbedarf (Kühlung, Prozesswasser)
- Emissionen Luftschadstoffe (Nachfilterwerte, neben den klassischen Luftschadstoffen wie NO<sub>x</sub>, PM10 und PM2.5 auch Säuren, Dioxine, Schwermetalle, etc.)
- Menge Abwasser
- Rückstände/Reststoffe (Schlacken, Filteraschen, etc.) sowie deren Entsorgung
- Grösse des Grundstücks, der Flächennutzung und Grösse (Kubatur) der Entsorgungsanlage (Schätzung zu Gebäudehülle und zu Anlagen)

Es wird angenommen, dass die Abfallzusammensetzung für alle in diesem Bericht dokumentierten Anlagen identisch ist. Diese Annahme wurde getroffen, weil einerseits mehrere Anlagebetreiber nicht über Daten zur anlagespezifischen Abfallzusammensetzung verfügen und andererseits die Abfallzusammensetzung nur bedingt durch die KVA beeinflusst werden kann.

Verfahren zur weiteren Behandlung von Abfällen und Abwasser aus den KVA werden teilweise mit im Rahmen dieses Projektes neu erhobenen Daten (Behandlung der Flugasche) und teilweise mit ecoinvent Daten (Reststoffdeponie, Schlackekompartiment und Abwasserbehandlung) modelliert.

Datenlücken in der Bilanzierung der Referenzanlagen werden mit konservativen Expertenschätzungen gefüllt.

Die Ökobilanzen orientieren sich an den Bilanzen der Kehrichtverbrennungsanlagen des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (KBOB et al. 2014). Die Bilanzen werden mit dem für das naturemade Label massgebenden Bewertungsmethode Eco-indicator 99 (Goedkoop & Spriensma 2000) ausgewertet. Dabei werden die wesentlichen Treiber eruiert, welche später im Kennwertmodell abgefragt werden können.

## 3 KVA Referenzanlagen und -verfahren

### 3.1 Untersuchte Referenzanlagen

Die Kehrichtverbrennungsanlagen wurden so gewählt, dass deren Effizienz und Rückgewinnungsraten (Energie beziehungsweise Stoffe) möglichst unterschiedlich sind. Die KVA Hinwil wurde als Referenzanlage ausgewählt, da sie eine besonders gut ausgebaute Wertstoffrückgewinnung aufweist. Die KVA Thun ist bekannt für relativ tiefe Emissionswerte. Die KVA Perlen verfügt dank ihrer Nähe zu einer Papierfabrik und deren Prozesswärmebedarf über eine überdurchschnittlich hohe Energiegewinnung. Als weitere Referenz wurde zudem eine durchschnittliche Schweizer KVA bilanziert.

In Tab. 3.1 sind zu den Referenzanlagen die in diesem Projekt verwendeten Grundlagen und die wichtigsten Eigenschaften zusammengefasst:

Tab. 3.1: Wesentliche Eigenschaften der vier bilanzierten Referenzanlagen im Überblick

	KVA Hinwil	KVA Thun	KVA Perlen	Durchschnittliche KVA
Besonderheit gegenüber Durchschnitts-KVA	hohe Wertstoffrückgewinnung	tiefe Emissionswerte	hohe Energienutzung	
Datengrundlage	Betriebswerte 2014	Betriebswerte 2014	Planungswerte 2014	Ecoinvent-Datenbestand v2.2
Rauchgasreinigungs-(RGR)-Verfahren	trockene RGR, Entstickung mit SCR low dust-Verfahren	nasse RGR, Entstickung mit SCR high dust-Verfahren	trockene RGR, Entstickung mit SCR low dust-Verfahren	nasse RGR, Entstickung mit 25% SNCR-, 42.8% SCR-high dust- und 32.7% SCR-low dust-Verfahren
Flugaschenbehandlung und -entsorgung	100% FLUREC	100% FLUWA	50% FLUWA, 44% verfestigt auf Reststoffdeponie, 6% unbehandelt auf Untertage-deponie	100% verfestigt auf Reststoffdeponie

### 3.2 Wertstoff-Rückgewinnung

Wertstoffe können an verschiedenen Stellen und aus verschiedenen Fraktionen zurückgewonnen werden. Oft werden Metalle und andere Wertstoffe vor der Anlieferung und anschliessenden Verbrennung aussortiert. Ein Grossteil der verbrennten Metalle/Wertstoffe landet in den Verbrennungsrückständen und kann zum Teil daraus zurückgewonnen werden. Metallabfälle in der Schlacke können durch mechanische Trennung zurückgewonnen werden (Bösch et al. 2011). Für die Abtrennung der in der Flugasche enthaltenen Wertstoffe stehen im wesentlichen zwei verschiedene Verfahren zur Verfügung, die Flugaschenwäsche (FLUWA) und das Flugaschen-Recycling (FLUREC).

Dank der FLUWA, einem hydro-chemischen Prozess, werden Rückstände und Wertstoffe aus der Flugasche teilweise abgetrennt. In der FLUWA lässt sich aus der Flugasche unter Beifügung des sauren Quenchwassers aus der KVA Rauchgasreinigung ein schwermetallreiches Filtrat gewinnen (Bösch et al. 2011). Dieses Filtrat geht in die interne Abwasserreinigungsanlage (ARA), wo es zu einem zinkhaltigen Hydroxidschlamm aufbereitet wird, aus welchem im Ausland in einer Zinkhütte Sekundärblei und -zink rückgewonnen wird. Als Abfall entsteht dabei ein sauer gewaschener Filteraschekuchen, welcher zusammen mit der Schlacke gemischt und in einem Schlackekompartiment abgelagert wird (Bösch et al. 2011).

Beim Flugaschen-Recycling (FLUREC)-Verfahren kann Zink als Reinstmetall abgetrennt werden. Als Nebenprodukte entstehen ein Zementat, aus dem Sekundärblei und Sekundärzink in einer Bleihütte rückgewonnen werden kann und ein Restmetallschlamm, welcher deponiert werden muss. Beim FLUWA wie auch dem FLUREC Verfahren wird 70 % der Flugasche als gewaschene Asche in einem Schlackekompartiment deponiert (Bösch et al. 2011).

Die KVA Thun besitzt eine eigene FLUWA. Die KVA Perlen gibt ihre Flugasche zu einem Teil an eine externe FLUWA und die KVA Hinwil zu 100 % an eine externe FLUREC Anlage ab.

Die Ökobilanzierung des FLUWA/FLUREC Verfahrens der drei Referenzanlagen basiert auf der Ökobilanzierung dieser Systeme von Bösch et al. (2011) sowie (2013b) und Daten des ecoinvent Datenbestands v3.1, welche teilweise mit FLUWA/FLUREC für interne Zwecke erweitert wurden (Doka 2014). Diese Bilanzierung berücksichtigt auch die aus den FLUWA-/FLUREC-Prozessen resultierenden Emissionen, die dafür erforderlichen Energieaufwände (Prozessenergie und für die Herstellung der Adsorbentien) und die Sickerwasseremissionen aus dem Schlackekompartiment.

## 4 Grenzwerte für die Entsorgungsfunktion, Energie und Wertstoffe

### 4.1 Übersicht

In diesem Kapitel wird die Herleitung der “naturemade resources star“ Grenzwerte für die Entsorgungsfunktion von Siedlungsabfall und die rückgewonnenen Wertstoffe beschrieben. Dazu werden Ökobilanzen von den in Unterkapitel 3.1 beschriebenen Referenzanlagen erstellt. In einem ersten Schritt wird die Umweltbelastung der bilanzierten Kehrrechtverbrennungsanlagen sowie deren Energie- und Wertstoff-Rückgewinnungsmengen quantifiziert (Unterkapitel 4.2). Unterkapitel 4.3 enthält eine Beschreibung der Umweltauswirkungen der Bereitstellung der Wertstoffe aus primären Ressourcen. Anschliessend werden die Grenzwerte für die Entsorgungsfunktion sowie die zurückgewonnenen Energie- und Wertstoffe hergeleitet (Unterkapitel 4.4) und in

Unterkapitel 4.5 der Grenzwert für die Entsorgungsfunktion von Siedlungsabfall vorgeschlagen, der für das hier zu entwickelnde globale Kriterium für Kehrichtverbrennungsanlagen Anwendung finden soll. Im weiteren werden Grenzwerte für die üblicherweise zurückgewonnenen Wertstoffe auf Basis eines einheitlichen Vorgehens vorgeschlagen. Diese Grenzwerte werden darauffolgend in Unterkapitel 4.6 und 4.7 auf die Referenzanlagen und eine virtuelle Anlage angewendet und abschliessend wird ein Fazit gezogen.

## 4.2 Ökobilanzen der KVA

### 4.2.1 Gesamtumweltbelastung der KVA

Die Sachbilanzergebnisse der drei Referenzanlagen werden mit der Methode Eco-indicator 99 (Hierarchist) bewertet und deren Resultate in Fig. 4.1 zusammen mit dem Resultat einer durchschnittlichen KVA (bilanziert gemäss ecoinvent Datenbestand v2.2+) gegenüber gestellt. Fig. 4.1 zeigt die Prozessbeiträge an der gesamten Umweltbelastung der Siedlungsabfallentsorgung für die einzelnen KVA auf. Die Gesamtumweltbelastung variiert zwischen 7.1 mPkt (KVA Thun) und 10.9 mPkt (durchschnittliche KVA Schweiz). Der weitaus grösste Anteil der Gesamtumweltbelastung wird durch die Schadstoffemissionen in Luft und Wasser verursacht. Die Luftschadstoffe stammen aus der Verbrennung. Direkte Emissionen ins Wasser der KVA entstehen bei einer nassen Rauchgasreinigung und indirekte Wasserschadstoffe werden aus der im Schlackekompartiment beziehungsweise in der Reststoffdeponie abgelagerten Schlacke und Flugasche ausgewaschen.

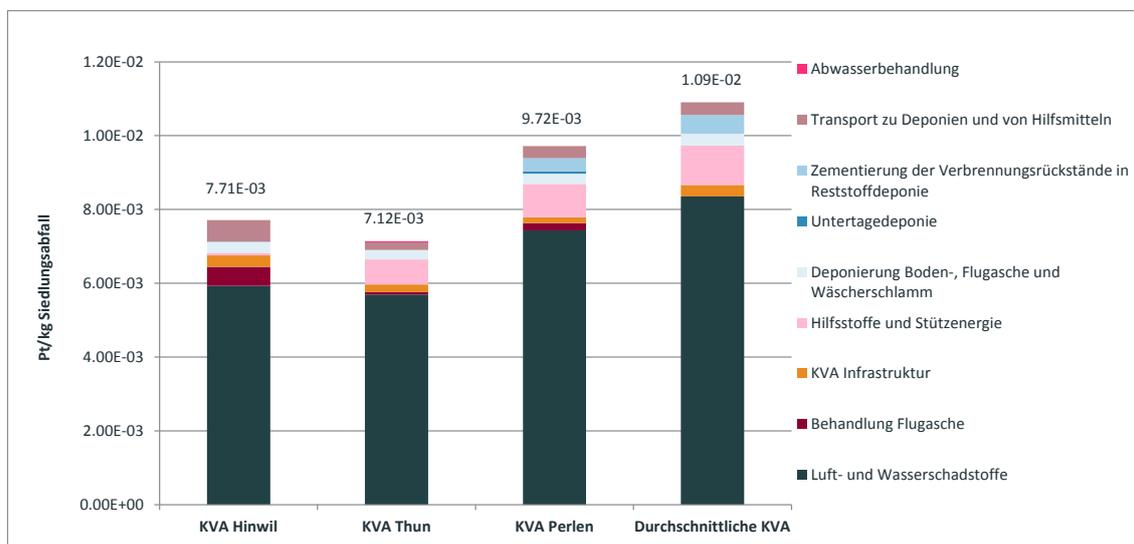


Fig. 4.1: Prozessbeiträge an der Gesamtumweltbelastung (Wert über den Balken) der drei Referenzanlagen und einer durchschnittlichen KVA in Pkt pro kg Siedlungsabfall, bewertet mit Eco-indicator 99 (H,A)

#### 4.2.2 Umweltbelastung der Hilfsstoffe, Flugasche und Schlacke

Bei den drei Referenzanlagen wird die Flugasche teils zusätzlich mit dem FLUWA/FLUREC Verfahren gewaschen. Bei der durchschnittlichen KVA werden 100 % der Flugasche mit Zement verfestigt und in einer Reststoffdeponie abgelagert. Die KVA Hinwil und die KVA Perlen betreiben eine trockene und die KVA Thun eine nasse Rauchgasreinigung. Deshalb wird in der KVA Thun zusätzlich das Abwasser aus der Rauchgasreinigung behandelt, währenddem aufgrund der trockenen Rauchgasreinigung bei der KVA Hinwil und der KVA Perlen ein kleiner Teil der Gewebefilter Rückstände, welche für das Recycling zum Hersteller des Bicarbonats geliefert werden, als Filterkuchen auf einer Untertagedeponie abgelagert werden muss.

Bei der durchschnittlichen KVA tragen die bei der DeNOX benötigten Betriebsmittel (Titandioxid, Chromoxid, Ammoniak und Erdgas) wesentlich mehr zur Umweltbelastung der Hilfsstoffe und Stützenergie bei als bei den drei hier untersuchten Referenzanlagen. Dies liegt daran, dass Ammoniak und Erdgas nur bei der durchschnittlichen KVA (gemäss Doka (2013)) für die DeNOX eingesetzt werden.

### 4.2.3 Umweltbelastung der Luft- und Wasserschadstoffe

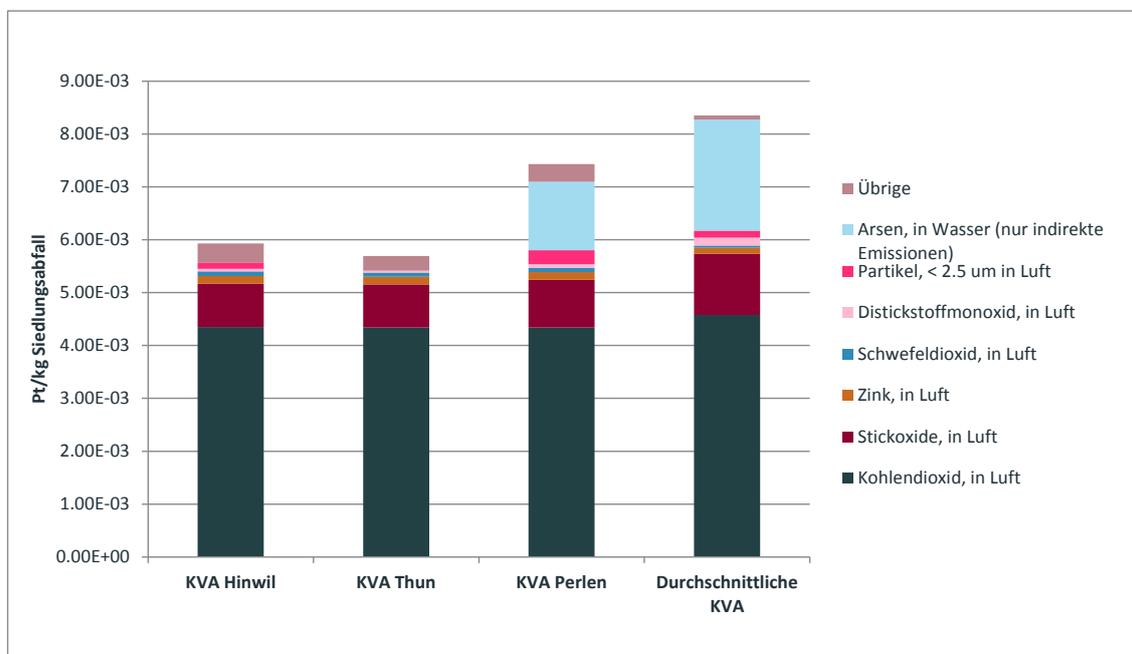


Fig. 4.2: Beitragsanalyse der Hauptschadstoffe, die in die Luft und ins Wasser emittiert werden, bewertet mit Eco-indicator 99 (H,A). Bei den vier Anlagen werden dabei die abfallspezifischen und die prozessspezifischen Emissionen während der Verbrennung in die Luft sowie die abfallspezifischen Wasserschadstoffe, welche auf der Deponie ausgewaschen werden, betrachtet.

Fig. 4.2 zeigt die sieben wichtigsten Schadstoffemissionen die bei der Siedlungsabfallentsorgung entstehen auf. Dabei werden die abfallspezifischen und die prozessspezifischen Emissionen während der Verbrennung in die Luft sowie die abfallspezifischen Wasserschadstoffe, welche auf einer Deponie aus der Schlacke und der Flugasche ausgewaschen werden, berücksichtigt. Diese sieben Schadstoffe verursachen 99 % der Umweltbelastung der direkten Luft- und Wasserschadstoffe der Siedlungsabfallentsorgung durch eine durchschnittliche KVA und zwischen 94 % und 96 % der direkten Umweltbelastung der Referenzanlagen.

Auffallend gross ist die Umweltbelastung durch Arsen in Oberflächengewässer in der Ökobilanz der KVA Perlen und der durchschnittlichen KVA. Verantwortlich dafür ist alleine der Deponietyp für die Ablagerung der Flugasche. Die KVA Perlen schickt ihre Flugasche zu 44 % und die durchschnittliche KVA zu 100 % auf eine Reststoffdeponie. Laut Doka (2009) hat das Schlackekompartiment eine höhere Retentionsfähigkeit als die Reststoffdeponie, sodass Arsen nicht so schnell ausgewaschen wird.

### 4.2.4 Umweltbelastung der Arsenemissionen

Da für alle Referenzanlagen die gleiche Abfallzusammensetzung angenommen wird, weisen auch alle dieselbe Input Menge an Arsen auf, nämlich  $1.4 \cdot 10^{-6}$  kg Arsen pro kg Abfall. Dieser Wert wurde dem Doka Tool, dem besten verfügbaren Tool für die

Berechnung der Umweltwirkungen der Entsorgung von Abfall in KVA, entnommen und bezieht sich auf eine Abfallzusammensetzung von 90 % Siedlungsabfall und 10 % Klärschlamm (Doka 2013)<sup>1</sup>. Die Unterschiede in den Umweltbelastungen der untersuchten Referenzanlagen bezüglich Arsen sind deshalb modell- und nicht inputbedingt. Für die Modellierung der Arsenemissionen wurden die aktuellsten Transferkoeffizienten aus Doka (2013) verwendet, auf welchen auch die ecoinvent v3 Abfallentsorgungs-Datensätze beruhen. Im Doka Tool sind Transferkoeffizienten von Arsen in die Luft, in die Schlacke, die Flugasche, in den Wäscherschlamm und ins Abwasser bestimmt (siehe Fig. 4.3, Doka 2013). Bei der Verbrennung und einer eventuell anschliessenden FLUWA oder einem FLUREC gibt es praktisch keine Arsen Emissionen ins Abwasser. Das Arsen aus dem Abfall geht zu fast 70 % in die Flugasche und zu 30 % in die Schlacke. Schlacke sowie behandelte Flugasche (nach FLUWA oder FLUREC) können auf einem Schlackekompartiment deponiert werden. Dort verursachen sie sehr geringe Arsenemissionen. Nur 0.15 % des in einem Schlackekompartiment deponierten Arsen-Gehalts wird über den betrachteten Zeithorizont von 100 Jahren ausgewaschen. Das Sickerwasser des Schlackekompartiments wird gesammelt und fliesst zusammen mit dem Sickerwasser der Reaktordeponie in eine Abwasserreinigungsanlage<sup>2</sup>. Die zusätzliche Modellierung der Abwasserreinigungsanlage wird in dieser Studie vernachlässigt, da aufgrund der guten Löslichkeit von Arsen nur 22 % des Arsens in einer Kläranlage entfernt werden können (Doka 2003). Demzufolge münden 78 % des Arsens im Sickerwasser, also 0.12 % des ursprünglich deponierten Arsen-Gehalts nach 100 Jahren in Oberflächengewässer. Der Sickerwasseranalyse einer Schweizer KVA zufolge liegt der Arsenwert im Eluat des Schlackekompartiments unter 0.005 mg/l und damit unterhalb der Messgenauigkeit<sup>3</sup>. Hinsichtlich den Anforderungen der Gewässerschutzverordnung an Arsen, darf Industrieabwasser mit einem Arsen-Gehalt von bis zu 0.1 mg/l in Gewässer eingeleitet werden<sup>4</sup>.

Unbehandelte Flugasche wird entweder mit Zement verfestigt und auf einer Reststoffdeponie oder unbehandelt auf einer Untertagedeponie abgelagert. Gemäss der Modellierung von ecoinvent werden in der Untertagedeponie keine Schadstoffemissionen und damit auch kein Arsen freigesetzt. In der Reststoffdeponie hingegen ist nach 100 Jahren 100 % des Arsens der zementierten Flugasche ausgewaschen. Das Sickerwasser von Reststoffdeponien wird ebenfalls gesammelt und analysiert, jedoch nur nötigenfalls behandelt<sup>5</sup>. Ohne Sickerwasserbehandlung gelangen so über 100 Jahre knapp 70 % des Arsens des ursprünglichen Abfalls in Oberflächengewässer. Die Arsenemissionen einer lediglich mit Zement verfestigten und in einer Reststoffdeponie abgelagerten Flugasche sind somit rund 500 mal höher als

<sup>1</sup> Der in dieser Studie verwendete Arsengehalt des Abfalls ist rund 10-mal tiefer als derjenige des Abfalls der KVA Hinwil (persönliche Mitteilung Alfred Rudin, ZAV, 8.7.2015).

<sup>2</sup> Persönliche Mitteilung, Norbert Egli, BAFU, 26.2.2016

<sup>3</sup> Persönliche Mitteilung, Alfred Rudin, ZAV, 8.7.2015

<sup>4</sup> SR 814.201 Gewässerschutzverordnung. (GSchV). vom 28. Oktober 1998 (Stand am 2. Februar 2016)

<sup>5</sup> <http://www.bafu.admin.ch/abfall/01495/01497/index.html?lang=de>, Abgerufen am 1.3.2016

diejenigen einer behandelten und in einem Schlackekompartiment abgelagerten Flugasche. Dieser grosse modellbedingte Unterschied in den Arsenemissionen und dessen relativ starke Bewertung mit der Eco Indikator 99 Methode führen zu dem deutlichen Unterschied in der Gesamtumweltbelastung der drei untersuchten Kehrichtverbrennungsanlagen.

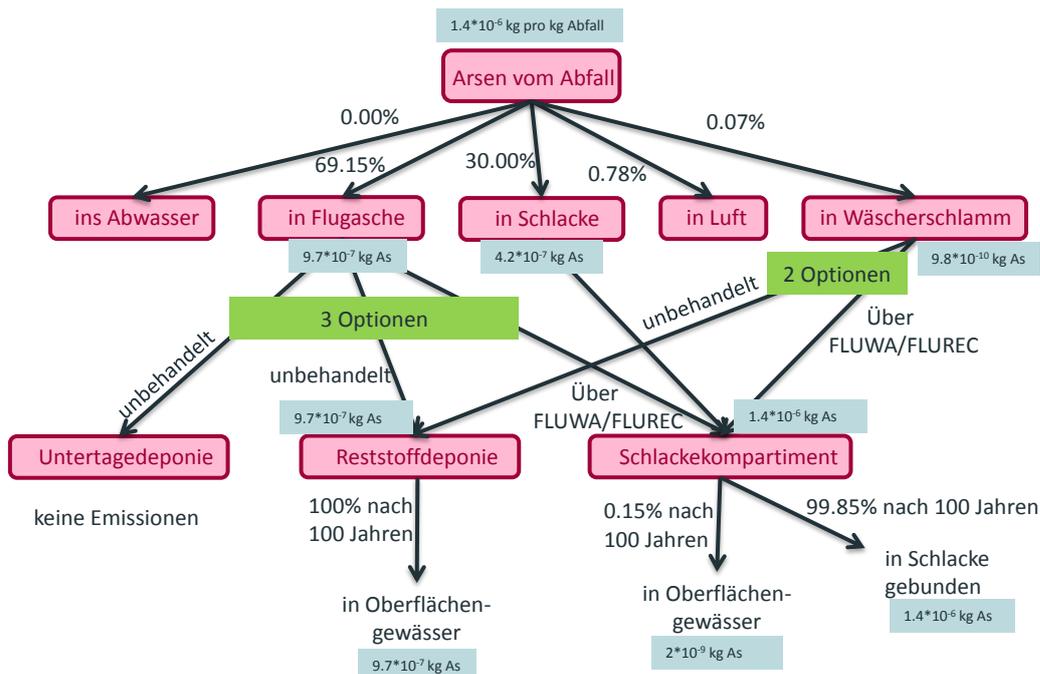


Fig. 4.3: Transferkoeffizienten von Arsen aus dem Abfall in die einzelnen Kompartimente

### 4.3 Umweltbelastung der Wertstoffgewinnung

Die zurückgewonnenen Wertstoffe können das Gewinnen und Erzeugen von Metallen aus Primärrohstoffen vermeiden. Je nach Qualität der Wertstoffe werden diese an unterschiedlichen Stellen der Wertschöpfungskette primärer Metalle eingesetzt (siehe Tab. 4.1). Das zurückgewonnene Eisen, das Blei und Zink aus den Schlämme der FLUWA und das Zink aus der FLUREC können ohne weiteren Aufbereitungsprozess in der Herstellung von Roheisen, Blei- beziehungsweise Zinkkonzentrat und Primärzink eingesetzt werden. Die zurückgewonnenen Metalle Aluminium, Kupfer, Edelstahl und Gold werden eingeschmolzen und können dann entsprechende Metalle aus der Primärproduktion ersetzen. Die Menge gewonnenes Primärmetall ist aufgrund der Aufbereitung etwas kleiner als die Menge zurückgewonnenes Metall aus der Schlacke.

Tab. 4.1: In den bilanzierten KVA zurückgewonnene Wertstoffe, deren Aufbereitung und die mit den aufbereiteten Wertstoffen ersetzten Primärmetalle

Metall	Aufbereitungsprozess	Ersetztes Primärmetall
Aluminium	Herstellung Sekundäraluminium (aus altem Schrott)	Primäraluminium
Eisen	keiner	Roheisen (pig iron)
Kupfer	Herstellung Sekundärkupfer	Primärkupfer
Blei in Schlamm aus FLUWA	keiner	Bleikonzentrat, primär
Zink in Schlamm aus FLUWA	keiner	Zinkkonzentrat, primär
Zink aus FLUREC	keiner	Primärzink
Edelstahl	Herstellung Sekundär-Edelstahl	Primär-Edelstahl
Gold	Herstellung Sekundär-Gold	Primär-Gold

Die Umweltbelastung der Primärproduktion der in Tab. 4.1 gelisteten Metalle ist in Tab. 4.2 aufgezeigt. Die spezifische Umweltbelastung (pro kg Metall) variiert zwischen rund 0.15 und 2'700 Pkt.

Tab. 4.2: Umweltbelastung der Bereitstellung der Wertstoffe (pro kg rückgewonnenes Metall (oder Konzentrat) aus primären Ressourcen unter Abzug der Umweltbelastung allfällig erforderlicher Aufbereitungsprozesse (siehe Tab. 4.1)

	mPt / kg Metall
Eisen	153
Aluminium	886
Kupfer	2'740
Edelstahl	994
Zinkkonzentrat	255
Bleikonzentrat	294
Zink	961
Gold	2'700'000

## 4.4 Überlegungen zur Festlegung der Grenzwerte

### 4.4.1 Entsorgungsfunktion

Das Entsorgen von Abfällen in Kehrichtverbrennungsanlagen ist aufwändig und mit Emissionen verbunden. Diese Behandlungsart ist erforderlich für Abfälle, die nicht recycelt werden und die den Anforderungen an Inertstoffe nicht genügen. Die Deponierung von Inertstoffen ist ein Entsorgungsprozess ohne Energie- und Wertstoffrückgewinnung und kann als Referenz für die Umweltbelastung der Entsorgungsfunktion betrachtet werden. Die Umweltbelastung der Deponierung von

Inertstoffen wird deshalb als Grenzwert der Entsorgungsfunktion, respektive als die tolerierbare Umweltbelastung der Entsorgungsfunktion, vorgeschlagen.

Die folgende Überlegung zeigt, dass der Grenzwert in dieser Grössenordnung auch auf KVA sinnvoll angewendet werden kann. Wie in Abschnitt 4.2.1 beschrieben wird, liegt die Umweltbelastung einer modernen Kehrrechtverbrennungsanlage mit weitgehender Energie- und oder Wertstoffrückgewinnung bei etwa 7 mPkt pro kg entsorgtem Siedlungsabfall. Dies entspricht ungefähr der Umweltbelastung der KVA Thun, welche unter den Referenzanlagen die kleinste Gesamtumweltbelastung aufweist. Die Umweltbelastung der Deponierung von Inertstoffen liegt bei 0.88 mPkt pro kg, das heisst bei rund einem Achtel der Umweltbelastung einer modernen KVA. Um den Grenzwert der Entsorgungsfunktion zu unterschreiten (ohne Berücksichtigung der Energieproduktion und Wertstoffrückgewinnung), müsste die moderne KVA somit das gesamte direkt emittierte fossile CO<sub>2</sub>, welches bei der Verbrennung von Siedlungsabfall entsteht, auf Null reduzieren (siehe Fig. 4.2).

#### 4.4.2 Energie

Der bisherige Ansatz des “Naturemade star“ Labels beruht auf der Überlegung, dass die Umweltbelastung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Quellen weniger als 50 % der Umweltbelastung von Strom und Wärme aus Erdgas betragen darf. Als Referenzsystem wird die heute beste verfügbare Technologie (Erdgas GuD-Kraftwerk beziehungsweise ein modulierender und kondensierender Erdgas-Heizkessel) verwendet.

Da rund 50 % der erzeugten Energie in KVA aus fossilen Quellen (zB. Kunststoff) stammt, wird nur dem Anteil erneuerbarer Energie 50 % der Umweltbelastung von Strom und Wärme aus Erdgas zugewiesen. Das bedeutet, dass der erzeugten und verkauften Energie einer KVA 25 % der Umweltbelastung, die bei der Erzeugung von Strom und Wärme mit einem Erdgas befeuerten GuD-Kraftwerk beziehungsweise einem kondensierenden, modulierenden Erdgas-Heizkessel verursacht würden, zugeordnet werden kann (siehe Jungbluth & Flury 2013).

#### 4.4.3 Wertstoffe

Bei den Wertstoffen ist die Datenlage deutlich weniger differenziert. So stehen für die Herstellung von Metallen lediglich Ökobilanzdaten von durchschnittlichen Anlagen zur Verfügung. Die Gewinnung von Metallen wie Aluminium, Kupfer oder Zink erfolgt oft in aussereuropäischen Ländern mit weniger strengen Umwelanforderungen. Deshalb erachten wir es als sinnvoll, den Grenzwert für die Wertstoffe zwar ebenfalls in Beziehung zur heutigen Produktion, den relativen Grenzwert jedoch doppelt so streng anzusetzen und zwar bei einem Viertel der Umweltbelastung, die durch die Primärproduktion verursacht würde. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass der Benchmark bei den Materialien durch durchschnittliche Anlagen mit dementsprechend höheren spezifischen Umweltbelastungen repräsentiert wird und nicht wie bei Strom und Wärme durch beste (fossile) Technologien.

## 4.5 Vorschlag Grenzwerte Entsorgungsfunktion, Energie und Wertstoffe

Für die Entsorgungsfunktion, die Energienutzung und die rückgewinnbaren Wertstoffe werden die Grenzwerte gemäss Tab. 4.3 gesetzt. Der Grenzwert der Entsorgungsfunktion entspricht der Umweltbelastung der Deponierung von Inertstoff. Die Energie-Grenzwerte sind halb so gross wie diejenigen, die bei den naturemade star-Energiesystemen angewendet werden, da nur 50 % der erzeugten Energie aus erneuerbaren Quellen stammt. Der Grenzwert für Strom aus KVA liegt somit bei 8.2 Pkt/MWh (anstatt 16.4 Pkt/MWh) und der für Wärme aus KVA bei 4.6 Pkt/MWh (anstatt 9.2 Pkt/MWh). Die Wertstoff-Grenzwerte entsprechen je einem Viertel der in Tab. 4.2 aufgelisteten Umweltbelastungen der Bereitstellung von primären Ressourcen unter Abzug der allfällig erforderlichen Aufbereitungsprozesse.

Tab. 4.3: Vorschlag Grenzwerte für die Entsorgungsfunktion, Energie- und Wertstoffrückgewinnung in EI-Punkten pro Tonne, respektive pro MWh

	spezifischer Grenzwert	Einheit
Entsorgung	0.9	Pt/t
Strom	8.2	Pt/MWh
Wärme/Dampf	4.6	Pt/MWh
Eisen	38.1	Pt/t
Aluminium	222	Pt/t
Kupfer	685	Pt/t
Edelstahl	249	Pt/t
Zinkkonzentrat	63.8	Pt/t
Bleikonzentrat	73.4	Pt/t
Zink	240	Pt/t
Gold	675'000	Pt/t

## 4.6 Anwendung der Grenzwerte auf die vier KVA

### 4.6.1 Verwendeter Allokationsansatz

Für jede KVA kann das Umweltbelastungsbudget ermittelt werden, indem die verarbeiteten Abfallmenge und die rückgewonnenen Mengen an Energie und Wertstoffen mit den in Tab. 4.3 aufgelisteten Umweltbelastungs-Grenzwerten multipliziert und aufaddiert werden. Die Umweltbelastungsbudget der Entsorgungsfunktion, der einzelnen Wertstoffe und der Energien werden als Allokationskriterium verwendet. Mit diesem

Ansatz erreichen beziehungsweise überschreiten alle Produkte und die Entsorgungsfunktion die Grenzwerte gleichermaßen. Damit wird eine Quersubventionierung zwischen der Entsorgungsfunktion, den Wertstoffen und der Energie vermieden. Wird eine Anlage zertifiziert, bedeutet dies gleichzeitig auch, dass ihre Entsorgungsdienstleistung und alle ihre Produkte (Strom, Wärme und Wertstoffe) eine Zertifizierung erfolgreich bestehen würden.

Das Label bietet keinen Anreiz für die KVA, mehr Abfall zu verbrennen. Wenn eine KVA mehr Siedlungsabfall verbrennt, als sie an Strom und Wärme verkaufen kann, so verschlechtert sich ihre Umweltbilanz, da die absolute Umweltbelastung der KVA proportional zur verbrannten Abfallmenge steigt, das Umweltbelastungsbudget für Strom und Wärme aber konstant bleibt. Umgekehrt verbessert sich die Umweltbelastung einer KVA, wenn bei gleichbleibender Abfallmenge mehr Wärme verkauft werden kann oder mehr Wertstoffe zurückgewonnen werden können, da in diesen Fällen die tolerierte Gesamtbelastung bei gleich bleibender absoluter Umweltbelastung der KVA zunimmt.

#### 4.6.2 Grenzwernerfüllung der Referenzanlagen und der durchschnittlichen KVA

Aufgrund der Gesamtumweltbelastung der vier bilanzierten KVA und den zurückgewonnenen Wertstoffen sieht die Gesamtbilanz der untersuchten Anlagen pro Tonne Abfall wie folgt aus.

Die KVA Hinwil verbrannte im Jahr 2013 194'000 Tonnen Siedlungsabfall und verursachte dabei insgesamt 1'496'000 Eco-indicator-Punkte. Das entspricht 7.71 Eco-indicator-Punkten pro Tonne Abfall (siehe Tab. 4.4). Gleichzeitig erzeugte die KVA Hinwil Strom und Wärme und gewann Metalle aus der Schlacke und der Flugasche in den in der Tab. 4.4 genannten Mengen pro Tonne Abfall zurück. Die tolerierte Gesamtbelastung wird ermittelt, indem die erbrachte Entsorgungsdienstleistung und die produzierten Mengen mit den spezifischen Grenzwerten ausmultipliziert und aufaddiert werden. Im Falle der KVA Hinwil beträgt die tolerierte Gesamtbelastung 1'684'000 Eco-indicator-Punkte, respektive 8.68 Eco-indicator-Punkte pro Tonne Abfall. Die Beiträge der Entsorgungsdienstleistung und der zurückgewonnenen Produkte zur tolerierten Gesamtumweltbelastung werden als Basis für den Allokationsschlüssel verwendet. Folglich werden 10.1 % der Umweltbelastungen der KVA Hinwil der Entsorgungsdienstleistung, 49.6 % dem Strom, 10.1 % der Wärme etc. zugeordnet. Die 7.71 Eco-indicator-Punkte pro Tonne Abfall entsprechen 88.9 % der tolerierbaren Gesamtumweltbelastung pro Tonne Abfall. Mit dem verwendeten Allokationsschlüssel resultiert ebenfalls bei allen Produkten der KVA eine spezifische Umweltbelastung, die 88.9 % der jeweils tolerierbaren Umweltbelastung entspricht. Die KVA Hinwil würde also den "naturemade resources star" Grenzwert um rund 11 % unterschreiten.

Tab. 4.4: Umweltbelastung der KVA Hinwil pro Tonne Abfall und Vergleich mit den hier vorgeschlagenen Grenzwerten

	Einheit	erzeugte Menge	spezifischer Grenzwert	tolerierte Gesamtbelastung	Allokationsschlüssel	Umweltbelastung KVA Hinwil		
						absolut	spezifisch	in % des Grenzwerts
		Einheit	El-Punkte pro Einheit	El-Punkte	%	El-Punkte	El-Punkte pro Einheit	%
Entsorgung	t	1.00E+00	0.9	8.75E-01	10.1%	7.77E-01	0.8	88.9%
Strom	MWh	5.28E-01	8.2	4.31E+00	49.6%	3.83E+00	7.2	88.9%
Wärme/Dampf	MWh	1.93E-01	4.6	8.79E-01	10.1%	7.81E-01	4.0	88.9%
Eisen	t	1.72E-02	38.1	6.55E-01	7.5%	5.82E-01	33.9	88.9%
Aluminium	t	4.27E-03	222	9.45E-01	10.9%	8.40E-01	196.8	88.9%
Kupfer	t	9.56E-04	685	6.55E-01	7.5%	5.82E-01	608.5	88.9%
Edelstahl	t	3.51E-04	249	8.74E-02	1.0%	7.76E-02	220.9	88.9%
Zinkkonzentrat	t	1.60E-05	63.8	1.02E-03	0.0%	9.07E-04	56.7	88.9%
Bleikonzentrat	t	1.28E-04	73.4	9.40E-03	0.1%	8.35E-03	65.3	88.9%
Zink	t	9.54E-04	240	2.29E-01	2.6%	2.04E-01	213.5	88.9%
Gold	t	5.30E-08	675'000	3.58E-02	0.4%	3.18E-02	599'778.2	88.9%
<b>Total</b>				<b>8.68E+00</b>	<b>100.0%</b>	<b>7.71E+00</b>		<b>88.9%</b>

Die KVA Thun (siehe Tab. 4.5) verbrannte im Jahr 2014 147'500 Tonnen Siedlungsabfall und verursachte dabei 1'050'000 Eco-indicator-Punkte, respektive 7.12 Eco-indicator-Punkte pro Tonne Abfall. Gegeben durch die zurückgewonnene Energie- und Metallmenge dürfte die KVA Thun jedoch eine Gesamtbelastung von 8.26 Eco-indicator-Punkte pro Tonne Abfall aufweisen. Damit unterschreitet die KVA Thun den "naturemade resources star" Grenzwert um fast 14 %.

Tab. 4.5: Umweltbelastung der KVA Thun pro Tonne Abfall und Vergleich mit den hier vorgeschlagenen Grenzwerten

	Einheit	erzeugte Menge	spezifischer Grenzwert	tolerierte Gesamtbelastung	Allokationsschlüssel	Umweltbelastung KVA Thun		
						absolut	spezifisch	in % des Grenzwerts
		Einheit	El-Punkte pro Einheit	El-Punkte	%	El-Punkte	El-Punkte pro Einheit	%
Entsorgung	t	1.00E+00	0.9	8.75E-01	10.6%	7.54E-01	0.8	86.2%
Strom <sup>1</sup>	MWh	5.06E-01	8.2	4.12E+00	49.9%	3.55E+00	7.0	86.2%
Wärme/Dampf	MWh	3.76E-01	4.6	1.71E+00	20.7%	1.48E+00	3.9	86.2%
Eisen	t	1.51E-02	38.1	5.78E-01	7.0%	4.98E-01	32.9	86.2%
Aluminium	t	2.25E-03	222	4.99E-01	6.0%	4.30E-01	191.0	86.2%
Kupfer	t	5.05E-04	685	3.46E-01	4.2%	2.98E-01	590.4	86.2%
Edelstahl	t	3.10E-04	249	7.71E-02	0.9%	6.65E-02	214.3	86.2%
Zinkkonzentrat	t	6.46E-04	63.8	4.12E-02	0.5%	3.55E-02	55.0	86.2%
Bleikonzentrat	t	1.28E-04	73.4	9.40E-03	0.1%	8.10E-03	63.3	86.2%
Zink	t	0.00E+00	240	0.00E+00	0.0%	0.00E+00	-	-
Gold	t	0.00E+00	675'000	0.00E+00	0.0%	0.00E+00	-	-
<b>Total</b>				<b>8.26E+00</b>	<b>100.0%</b>	<b>7.12E+00</b>		<b>86.2%</b>

<sup>1</sup>: inklusive produzierte Regelenergie.

Auch die KVA Perlen erfüllt das vorgeschlagene “naturemade resources star“ Kriterium. Sie unterschreitet den Grenzwert um 40 %. Die absolut verursachte Eco-indicator-Punktezahl beträgt 1'943'000 bei einer Abfallverbrennung von 200'000 Tonnen. Ihre Umweltbelastung liegt vor allem dank ihrer hohen Energierückgewinnungsrate deutlich tiefer als der Grenzwert, denn rund 87 % der tolerierten Gesamtbelastung pro Tonne Abfall wird auf die Produkte Strom und Wärme alloziert. Somit liegt die KVA Perlen, trotz der höheren Umweltbelastung der Deponierung der unbehandelten Flugasche (44 %) auf einer Reststoffdeponie, pro Tonne Siedlungsabfall deutlich unter dem hier vorgeschlagenen Grenzwert.

Tab. 4.6: Umweltbelastung der KVA Perlen pro Tonne Abfall und Vergleich mit den hier vorgeschlagenen Grenzwerten

	Einheit	erzeugte Menge	spezifischer Grenzwert	tolerierte Gesamtbelastung	Allokations-schlüssel	Umweltbelastung KVA Perlen		
						absolut	spezifisch	in % des Grenzwerts
		Einheit	EI-Punkte pro Einheit	EI-Punkte	%	EI-Punkte	EI-Punkte pro Einheit	%
Entsorgung	t	1.00E+00	0.9	8.75E-01	5.4%	5.25E-01	0.5	60.0%
Strom	MWh	8.00E-01	8.2	6.52E+00	40.3%	3.91E+00	4.9	60.0%
Wärme/Dampf	MWh	1.65E+00	4.6	7.51E+00	46.4%	4.51E+00	2.7	60.0%
Aluminium	t	1.97E-03	222	4.37E-01	2.7%	2.62E-01	132.9	60.0%
Eisen	t	1.21E-02	38.1	4.63E-01	2.9%	2.78E-01	22.9	60.0%
Kupfer	t	4.42E-04	685	3.02E-01	1.9%	1.82E-01	411.0	60.0%
Bleikonzentrat	t	6.40E-05	73.4	4.70E-03	0.0%	2.82E-03	44.1	60.0%
Zinkkonzentrat	t	3.23E-04	63.8	2.06E-02	0.1%	1.24E-02	38.3	60.0%
Zink	t	0.00E+00	240	0.00E+00	0.0%	0.00E+00	-	-
Edelstahl	t	2.44E-04	249	6.06E-02	0.4%	3.64E-02	149.2	60.0%
Gold	t	0.00E+00	675'000	0.00E+00	0.0%	0.00E+00	-	-
<b>Total</b>				<b>1.62E+01</b>	<b>100.0%</b>	<b>9.72E+00</b>		<b>60.0%</b>

Die durchschnittliche Schweizer KVA hingegen (siehe Tab. 4.7) überschreitet den “naturemade resources star“ Grenzwert um rund 31 % und verursacht pro Tonne Abfall 10.9 Eco-indicator-Punkte anstatt den tolerierten 8.35 Punkten. Bei der durchschnittlichen KVA wird auch kein Edelstahl aus der Schlacke und kein Blei und Zink aus der Flugasche zurückgewonnen. Gemäss den uns vorliegenden Sachbilanzdaten dieser Anlage wird 100 % der Flugasche auf einer Reststoffdeponie abgelagert.

Tab. 4.7: Umweltbelastung der durchschnittlichen Schweizer KVA pro Tonne Abfall und Vergleich mit den hier vorgeschlagenen Grenzwerten

	Einheit	erzeugte Menge	spezifischer Grenzwert	tolerierte Gesamtbelastung	Allokationsschlüssel	Umweltbelastung durchschnittliche KVA		
						absolut	spezifisch	in % des Grenzwerts
		Einheit	El-Punkte pro Einheit	El-Punkte	%	El-Punkte	El-Punkte pro Einheit	%
Entsorgung	t	1.00E+00	0.9	8.75E-01	10.5%	1.14E+00	1.1	130.6%
Strom	MWh	3.86E-01	8.2	3.15E+00	37.7%	4.11E+00	10.6	130.6%
Wärme/Dampf	MWh	7.92E-01	4.6	3.60E+00	43.1%	4.70E+00	5.9	130.6%
Eisen	t	9.79E-03	38.1	3.73E-01	4.5%	4.88E-01	49.8	130.6%
Aluminium	t	1.22E-03	222	2.69E-01	3.2%	3.52E-01	289.3	130.6%
Kupfer	t	1.23E-04	685	8.44E-02	1.0%	1.10E-01	894.4	130.6%
Edelstahl	t	0.00E+00	249	0.00E+00	0.0%	0.00E+00	-	-
Zinkkonzentrat	t	0.00E+00	63.8	0.00E+00	0.0%	0.00E+00	-	-
Bleikonzentrat	t	0.00E+00	73.4	0.00E+00	0.0%	0.00E+00	-	-
Zink	t	0.00E+00	240	0.00E+00	0.0%	0.00E+00	-	-
Gold	t	0.00E+00	675'000	0.00E+00	0.0%	0.00E+00	-	-
<b>Total</b>				<b>8.35E+00</b>	<b>100.0%</b>	<b>1.09E+01</b>		<b>130.6%</b>

#### 4.7 Anwendung der Grenzwerte auf eine virtuelle Kehrrechtverbrennungsanlage

Die virtuelle KVA setzt sich aus den besten Werten der drei geprüften realen Anlagen zusammen (siehe Tab. 4.8). Da die KVA Perlen bekannt ist für eine hohe Energieausbeute, wird deren verkaufte Menge an Strom und Wärme pro Tonne Abfall für die Modellierung der virtuellen Anlage übernommen. Aufgrund der gut ausgebauten Wertstoffrückgewinnung der KVA Hinwil werden deren spezifische Rückgewinnungsmengen verwendet. Die Schadstoff-Emissionen pro kg Abfall beziehen sich auf diejenigen der KVA Thun, die bekannt ist für ihre relativ niedrigen Emissionswerte. Die so definierte virtuelle KVA entspricht in etwa einer optimalen Entsorgungsanlage und zeigt auf, wie gering die Umweltbelastung der Abfallentsorgung etwa sein könnte.

Tab. 4.8: Umweltbelastung der virtuellen KVA pro Tonne Abfall und Vergleich mit den vorgeschlagenen Grenzwerten

	Einheit	erzeugte Menge	spezifischer Grenzwert	tolerierte Gesamtbelastung	Allokationsschlüssel	Umweltbelastung KVA virtuell		
						absolut	spezifisch	in % des Grenzwerts
		Einheit	El-Punkte pro Einheit	El-Punkte	%	El-Punkte	El-Punkte pro Einheit	%
Entsorgung	t	1.00E+00	0.9	8.75E-01	5.0%	3.56E-01	0.4	40.6%
Strom	MWh	8.00E-01	8.2	6.52E+00	37.2%	2.65E+00	3.3	40.6%
Wärme/Dampf	MWh	1.65E+00	4.6	7.51E+00	42.9%	3.05E+00	1.8	40.6%
Eisen	t	1.72E-02	38.1	6.55E-01	3.7%	2.66E-01	15.5	40.6%
Aluminium	t	4.27E-03	222	9.45E-01	5.4%	3.84E-01	90.0	40.6%
Kupfer	t	9.56E-04	685	6.55E-01	3.7%	2.66E-01	278.3	40.6%
Edelstahl	t	3.51E-04	249	8.74E-02	0.5%	3.55E-02	101.0	40.6%
Zinkkonzentrat	t	1.60E-05	63.8	1.02E-03	0.0%	4.15E-04	25.9	40.6%
Bleikonzentrat	t	1.28E-04	73.4	9.40E-03	0.1%	3.82E-03	29.8	40.6%
Zink	t	9.54E-04	240	2.29E-01	1.3%	9.32E-02	97.7	40.6%
Gold	t	5.30E-08	675'000	3.58E-02	0.2%	1.45E-02	274'314.1	40.6%
<b>Total</b>				<b>1.75E+01</b>	<b>100.0%</b>	<b>7.12E+00</b>		<b>40.6%</b>

## 4.8 Fazit

Wesentliche Faktoren in Bezug auf die Grenzwerterreicherung sind die Energieausbeute sowie die zurückgewonnenen Mengen an Kupfer und Eisen. Die aus der Flugasche zurückgewonnenen Metalle Zink und Blei sowie Gold spielen hingegen nur eine untergeordnete Rolle. Ebenfalls wurde gezeigt, dass alleine durch eine hohe Energieausbeute das Label basierend auf den jetzigen Grenzwerten errungen werden kann. Anhand der erstellten Ökobilanzen können die wichtigsten Luftemissionen (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> und Zn), die direkt auf der KVA während der Verbrennung entstehen, ermittelt werden. Somit sollten diese im Kennwertmodell abgefragt werden.

Bei der Flugasche und damit den abfallspezifischen Schadstoffemissionen in Oberflächengewässer ist nicht die anfallende Flugaschenmenge sondern die gewählte Deponieoption entscheidend. Da die Ökobilanzdaten der Untertagedeponie keine Schadstoffemissionen ausweisen, würde das Deponieren der Flugasche in eine Untertagedeponie nur eine geringe Anzahl Eco-indicator-Punkte im Gegensatz zur Deponierung der Flugasche auf eine Reststoffdeponie verursachen. Der VUE zieht es jedoch vor, keine der beiden Deponierungsarten besser als die andere zu bewerten. Deshalb wird im Kennwertmodell für die Deponierung der Flugasche in eine Untertagedeponie die gleiche Umweltbelastung wie bei der Reststoffdeponie angenommen. Somit werden die beiden Deponierungsarten gleich gewertet.

Im Kennwertmodell erhält somit eine KVA, welche die Flugasche unbehandelt auf eine Reststoff- oder Untertagedeponie deponiert, eine deutlich höhere Umweltbelastung als eine KVA, welche die Flugasche in eine FLUWA oder ein FLUREC schickt. Das fördert eine Behandlung der Flugasche, welche danach auf einem Schlackekompartiment zusammen mit der Schlacke deponiert werden kann. Zudem

können durch die Behandlung der Flugasche noch Metalle zurückgewonnen werden, was ebenfalls einer Zielsetzung des „naturemade resources star“ Labels entspricht.

Die Deponierung von Gewebefilterrückständen in eine Untertagedeponie wird ebenfalls anhand der Deponierung von Gewebefilterrückständen auf eine Reststoffdeponie modelliert.

Die spezifische Abfallzusammensetzung der in den KVA verbrannten Abfälle ist nicht bekannt. Es lässt sich deshalb nicht sagen, welcher Anteil des Energiegehalts des Abfalls und der mit dem Abfall angelieferten Wertstoffe (Metalle) zurückgewonnen wurde. Dieses Informationsdefizit liesse sich nur mit kontinuierlicher oder regelmässiger Beprobung beheben. Eine durchschnittliche Abfallzusammensetzung als Input für jede KVA ist jedoch auch wünschenswert, da die Inputzusammensetzung nur begrenzt von der Anlage beeinflusst werden kann.

## 5 Kennwertmodell

Das Kennwertmodell (KWM) für Kehrichtverbrennungsanlagen baut auf den wesentlichen resultatbestimmenden Parametern aus den Ökobilanzen sowie den in Kapitel 4 ermittelten Grenzwerte auf und dient als Grundlage für die Zertifizierung einer Anlage nach den Vorgaben des Labels „naturemade resources star“. Mit dem KWM kann die Umweltbelastung einer Kehrichtverbrennungsanlage auf einfache Art ermittelt werden. Durch eine Zertifizierung der Anlage kann eine KVA die eigene „ökologische Leistung“ belegen. Eine „naturemade resources star“ Zertifizierung ermöglicht der KVA zudem die produzierte Energie und die rückgewonnenen Stoffe unter dem Label zu verkaufen. Falls nun aber eine KVA für den erneuerbaren Stromanteil bereits durch eine kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) vom Bund entschädigt wird<sup>6</sup>, kann dieser Stromanteil nicht mehr unter dem Label verkauft werden. Bei einer solchen KVA kann weiterhin die Anlage an sich zertifiziert werden. Falls jedoch die Produkte unter dem Gütesiegel verkauft werden sollen, muss die Anlage sich der Prüfung „KVA mit KEV“ unterziehen. Dabei wird geprüft, ob die KVA auch ohne den erneuerbaren Stromanteil den Prüfwert einhält. Ob die zu prüfende KVA KEV bezieht oder nicht wird im KWM unter der Energierückgewinnung (siehe auch Unterkapitel 5.1) abgefragt.

Im Folgenden wird das KWM anhand der virtuellen KVA, welche in Unterkapitel 4.7 vorgestellt wurde, erklärt. Bei der Prüfung wird einmal angenommen, dass die virtuelle KVA KEV bezieht und einmal nicht. Damit wird die Veränderung des Ergebnisses bei gleichbleibenden Eingabedaten (gleichbleibender Entsorgungsleistung) veranschaulicht.

---

<sup>6</sup> Der KEV Beitrag vom Bund dient der Förderung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien.

<http://www.bfe.admin.ch/themen/00612/02073/index.html?lang=de>, Abgerufen am 23.02.2016

## 5.1 Resultatbestimmende Parameter

Aus den Ökobilanzergebnissen ergeben sich folgende resultatbestimmende Parameter, die vom Anlagenbetreiber für den durchschnittlichen Anlagenbetrieb pro Jahr erhoben und im Kennwertmodell eingegeben werden müssen:

Anlagentyp: Es wird unterschieden zwischen nasser und trockener Rauchgasreinigung. Bei der nassen Rauchgasreinigung fällt zusätzlich ein Wäscherschlamm an, dessen Deponierung (Schlackekompartiment) in der Umweltdeklaration berücksichtigt wird. Bei der trockenen Rauchgasreinigung hingegen entstehen Gewebefilter Rückständen, deren zu deponierende Menge als zusätzlicher Parameter im Eingabeblatt abgefragt wird. Weiter wird zwischen dem SCR low dust, dem SCR high dust und dem SNCR DeNO<sub>x</sub> Verfahren unterschieden. Beim SCR high dust Verfahren wird mehr von den Hilfsstoffen Titandioxid, Chromoxid und Chrom aber dafür kein Erdgas benötigt. Beim SNCR Verfahren werden keine zusätzlichen Hilfsmittel eingesetzt. Dafür entstehen höhere Emissionen an Methan, Lachgas, flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) sowie an aromatischen Kohlenwasserstoffen wie Benzol und Toluol.

Bezugsmenge: Alle Parameterangaben beziehen sich auf ein Jahr und sind abhängig von der Menge Abfall (in Tonnen), die während diesem Jahr verbrannt wurde.

Abfallimport aus dem Ausland: Dabei interessiert die importierte Menge an Abfall sowie dessen Transportmittel und durchschnittliche Transportdistanz. Da ausländische Abfälle eine Genehmigung zur grenzüberschreitenden Verbringung benötigen, ist der genaue Abgeber immer bekannt und entsprechende Informationen können geliefert werden<sup>7</sup>.

Hilfsstoffe: Bei Natronlauge, Natron, Ammoniak, Salzsäure, FeCl<sub>3</sub> und anderen organischen (zB. TMT) oder anorganischen Chemikalien muss nebst der Menge (Tonnen pro Jahr) die Konzentration angegeben werden, auf welche sich die Mengenangabe bezieht. Für Calciumoxid, Kalkhydrat, Salzsole und Herdofenkoks als Adsorbensmittel ist die Menge in Tonnen pro Jahr ausreichend, da diese nicht als Lösungen eingesetzt werden. Propangas, Heizöl und Wasser werden in Liter pro Jahr, Erdgas in m<sup>3</sup> pro Jahr und falls auch extern Strom bezogen wird, Strom ab Netz in MWh pro Jahr abgefragt. Da nicht alle Anlagen dieselben Hilfsmittel einsetzen, müssen weitere Chemikalien unter dem Sammelbegriff organische oder anorganische Chemikalien aufgeführt werden.

Luftschadstoff-Emissionen: Bei den Emissionen werden die Anlage spezifischen Jahresfrachten für PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> und Zn in kg verlangt. Dies sind die direkten Emissionen, welche sich am stärksten auf die Umweltbelastung der Anlage auswirken und bis auf Zink von den Anlagebetreibern regelmässig gemessen werden. Falls eine Anlage keine Zinkemissionen erfasst, wird automatisch mit den Zinkemissionen einer durchschnittlichen KVA gemäss Doka gerechnet (Doka 2013). Dasselbe gilt, wenn eine Anlage die PM<sub>10</sub> Grenzwerteinhalten nur indirekt misst.

---

<sup>7</sup> Persönliche Mitteilung, Alfred Rudin, 14.10.2015

Die fossilen CO<sub>2</sub> Emissionen, welche unter den Emissionen am meisten zur Umweltbelastung einer KVA beitragen, werden weiterhin mit einem Durchschnittswert quantifiziert, da CO<sub>2</sub> Emissionen von Anlagebetreibern selten gemessen werden und diese auch sehr stark von der Abfallzusammensetzung (Anteil biogener Abfall) abhängen. Da das KWM von der gleichen Abfallzusammensetzung und damit auch dem gleichen biogenen Anteil im Abfall für alle KVA ausgeht, ist es gerechtfertigt, für fossiles CO<sub>2</sub> einen Durchschnittswert zu hinterlegen.

Energierückgewinnung: Hier interessiert die Menge an verkauftem Strom und verkaufter Wärme in MWh pro Jahr. Dazu gehört auch verkaufte Wärme in Form von Dampf und Strom in Form von Regelenergie.

Bei der Energierückgewinnung muss zudem angegeben werden, ob die Anlage einen KEV Beitrag für den Strom aus dem erneuerbaren Anteil des Abfalls erhält. Wenn eine Anlage KEV bezieht, wird sie für den erneuerbaren Stromanteil, welcher die Hälfte des gesamten produzierten Stroms ausmacht, entschädigt. Damit kann sie diesen Stromanteil nicht mehr unter dem Label „naturemade resources star“ verkaufen. Falls nun eine Anlage den restlichen Strom, bzw. den nicht erneuerbaren Stromanteil unter dem Label verkaufen möchte, muss die Anlage ohne erneuerbare Stromproduktion den Prüfwert ebenfalls einhalten. Der erneuerbare Stromanteil wird durch die KEV der Anlage sozusagen entzogen. Dabei reduziert sich die Abfallmenge um den Anteil der benötigt wird, um die Hälfte des Stroms zu produzieren. Dieser Anteil lässt sich über den totalen Heizwert des Abfalls berechnen. Aufgrund des Wirkungsgrades von Strom braucht es drei kWh thermische Energie um ein kWh Strom zu produzieren, während dem aus einem MJ thermischer Energie des Abfallinputs auch ein MJ Wärme nach dem Verbrennungsprozess entsteht. Der totale Heizwert des Abfalls bildet sich demzufolge aus der Summe der produzierten Wärme und der dreifachen Menge an produziertem Strom.

Aufgrund der reduzierten Abfallmenge (um den Anteil, der für die erneuerbare Stromproduktion benötigt wird), reduzieren sich auch die benötigten Mengen an Hilfsstoffen, die anfallenden Emissionen und die Rückgewinnungsmengen an Metallen um genau denselben Anteil. Die produzierte Menge an Wärme (fossil und erneuerbar) bleibt jedoch gleich. All diese Änderungen in den Stoffmengen, aufgrund der Betrachtung der Anlage ohne erneuerbare Stromproduktion, führen zu einer neuen absoluten Umweltbelastung der Anlage und einem neuen Prüfwert, den es einzuhalten gilt.

Gemäss Doka (2013) beträgt der biogene Anteil von durchschnittlichem Siedlungsabfall rund 60 % und der fossile Anteil rund 40 %. Da nur der biogene Anteil des Abfalls erneuerbaren Strom produziert und in der Bilanz wegfällt, steigt der fossile Anteil im übrigen Abfall, was zu gleich hohen fossilen CO<sub>2</sub> Emissionen führt.

Metallrückgewinnung: Falls die Menge an Eisen, Kupfer, Aluminium, Edelstahl und Gold in Tonnen pro Jahr, welche insgesamt aus der Schlacke zurückgewonnen werden, bekannt sind, sollten diese angegeben werden. Oft jedoch erfassen die Deponiebetreiber, welche die Schlacke entfrachten, nur die Eisen- und Nichteisenmetall-Menge. In diesem Fall wird die ungefähre Menge an Aluminium, Kupfer und Edelstahl mit Hilfe der durchschnittlichen Entfrachtungsmengen in Siedlungsabfall gemäss Boesch et al. (2013a) ermittelt. Es werden explizit nur die

Metalle abgefragt, welche aus der Schlacke zurückgewonnen werden, da Anlagebetreiber, bei einer Behandlung der Flugasche oft nicht wissen wie viel Zink und Blei aus der Flugasche ihrer Anlage entfrachtet wird. Deshalb werden die zurückgewonnenen Blei- und Zinkmengen aus der Behandlungsart der Flugasche errechnet. Die Mengen an Blei und Zink pro kg Flugasche, die durch eine FLUWA oder ein FLUREC zurückgewonnen werden können, basieren auf den Angaben von Boesch et al. (2013a) und sind dementsprechend für alle Anlagen gleich gross.

Behandlung der Flugasche: Die Behandlungsart der Flugasche und damit verbunden eventuell zurückgewonnene Metalle sowie die gewählte Deponieoption für die Ablagerung der Flugasche spielen eine wichtige Rolle bei der Quantifizierung der Umweltbelastung einer KVA. Die Schlacke wird in jedem Fall in einem Schlackekompartiment deponiert. Die Flugasche hingegen kann nur nach einer FLUWA oder FLUREC Behandlung auf einem Schlackekompartiment deponiert werden. Ansonsten wird sie entweder unter Beigabe von Zement verfestigt und auf einer Reststoffdeponie abgelagert oder sie kommt unbehandelt in eine Untertagedeponie. Da bei gewissen Kehrichtverbrennungsanlagen die Flugasche auf unterschiedliche Weise behandelt wird, sollen die prozentualen Anteile in die drei Deponietypen erfasst werden. Da gewisse Anlagen über eine interne FLUWA verfügen, muss noch zwischen intern und extern unterschieden werden. Im Falle einer internen FLUWA sind die benötigten Mengen an Betriebsmitteln schon in den Angaben zu den Hilfsstoffen enthalten und auch der Transport zu einer FLUWA Anlage entfällt.

Deponierung von Gewebefilter Rückständen: Solche Rückstände fallen nur bei einer trockenen Rauchgasreinigung an. Ein grosser Teil dieser Rückstände wird rezykliert. Deshalb interessiert hier die Menge in Tonnen pro Jahr, welche in einer Untertagedeponie abgelagert werden muss.

Fig. 5.1 zeigt das Blatt „Eingabe“ des Kennwertmodells für Kehrichtverbrennungsanlagen. In diesem Blatt werden die anlagespezifischen Informationen zu den Parametern eingegeben.

### Naturemade "Recycling Star" Prüfung

**KVA (Name / Standort)**

**Bezugsjahr**

**Anlagentyp**

Rauchgasreinigung

DeNOx Technologie

**Bezugsmenge** [Tonnen/Jahr]

Abfallmenge (Gesamt) Verbranntemenge

**Abfallimport aus Ausland** [Tonnen/Jahr] **Durchschnittliche Distanz [km]**

Importierte Menge per Bahn

Importierte Menge per LKW

**Hilfsstoffe Total** [Menge/Jahr] **Konzentration**

Natronlauge	0 t	0%
NaHCO3 / Natriumbicarbonat / Natron	0 t	
Ammoniak	0 t	0%
Salzsäure	0 t	0%
FeCl3	0 t	0%
CaO	0 t	
Kalkhydrat Ca(OH)2	0 t	
Salzsole, gesättigt	0 t	
Adsorbensmittel (Herdofenkoks)	0 t	
Andere Chemikalien (organisch; zB. TMT)	0 t	0%
Andere Chemikalien (anorganisch) Wasserstoffperoxid	0 t	0%
Wasser (Frischwasserverbrauch)	0 Liter	
Strombezug aus Netz	0 MWh	
Propangas Bezug	0 Liter	
Erdgas Bezug	0 m3	
Heizöl Bezug	0 Liter	

**Emissionen in Luft** Massenstrom [kg/Jahr]

Partikel (PM)  (falls nicht bekannt; default:  $6 \cdot 10^{-6}$  kg/ kg Abfall)

Schwefeldioxid (SO2)

Stickoxide (NOx)

Ammoniak (NH3)

Zink (Zn)  (falls nicht bekannt; default:  $7.18 \cdot 10^{-7}$  kg/ kg Abfall)

**Energierückgewinnung** [MWh/Jahr]

Strom Verkaufsmenge (inkl. Regelleistung)   KEV Beitrag? (bitte ankreuzen, falls ja)

Wärme/Dampf Verkaufsmenge

**Metallrückgewinnung aus Schlacke** [Tonnen/Jahr]

Eisen	0 t
Kupfer	0 t
Aluminium	0 t
Edelstahl	0 t
Gold	0 t
Nichteisenmetalle (Total an Kupfer und Aluminium)	0 t (nur falls keine Differenzierung möglich)
Eisenmetalle (Total an Eisen und Edelstahl)	0 t (nur falls keine Differenzierung möglich)

**Behandlung der Flugasche** Anteil Flugasche

FLUWA

FLUREC (extern)

Unbehandelt auf Reststoffdeponie (Verfestigung mit Zement)

Unbehandelt auf Untertagedeponie

**Total**

**Deponierung von Gewebefilter Rückständen** [Tonnen/Jahr]

Untertagedeponie

Fig. 5.1: Blatt „Eingabe“ des Kennwertmodells, in welchem die anlagespezifischen Informationen einer KVA eingegeben werden.

## 5.2 Umweltdeklaration

Für die Umweltdeklaration werden die folgenden Umweltindikatoren berechnet:

- Eco-indicator 99 (H,A), (Goedkoop & Spriensma 2000), Langzeit-Emissionen werden bei der Bewertung nicht berücksichtigt
- Klimawandel 2013 (CO<sub>2</sub>-eq), (IPCC 2013).
- Nicht-erneuerbarer Energiebedarf (fossil, nuklear) (MJ-eq), (Frischknecht et al. 2007).
- Ökologische Knappheit 2013, (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013).

Fig. 5.2 zeigt das Blatt „Umweltdeklaration“ des Kennwertmodells mit den Werten der virtuellen KVA ohne KEV Beitrag. Im Block links oben wird die Umweltdeklaration der Anlage in verschiedene Teilbereiche aufgeteilt. Rechts oben stehen die Gesamtbelastungen pro Jahr für die vier verschiedenen Umweltindikatoren und die verschiedenen Teilbereiche der Anlage. Im Prüfwert-Block wird die erlaubte Umweltbelastung der gesamten Anlage in Eco-Indicator 99 Punkten angegeben (im Beispiel 3‘403‘324 Pkt, 100 %) und deren Aufteilung auf die Menge der erzeugten Energie und der zurückgewonnenen Metalle. Rechts unten wird die Umweltdeklaration der Anlage mit den Belastungen der erzeugten Energie pro kWh und der zurückgewonnenen Metalle pro kg gezeigt.

Verbrennung von Siedlungsabfall i KVA virtuell			EI'99- aggregated, Hierarchist Pkt	Anteil
Import von Abfall				0%
KVA (inkl. direkte Emissionen)				85%
Hilfsstoffe + importierte Energieträger				6%
Behandlung Flugasche (inkl. Deponie)				2%
Deponierung Bodenasche				7%
Deponierung Gewebefiltrückstände				0%
<b>Total</b>				<b>100%</b>

EI'99- aggregated, Hierarchist Pkt	Klimawandel kg CO <sub>2</sub> -eq	KEA, ne MJ-eq	ökologische Knappheit UBP 13 Pkte
1'181'230	94'459'940	10'595'722	95'810'973'031
88'848	1'378'043	29'946'109	1'696'199'238
28'111	532'401	3'517'169	11'591'862'728
91'916	642'147	16'111'533	3'558'812'942
<b>1'390'104</b>	<b>97'012'531</b>	<b>60'170'533</b>	<b>112'657'847'939</b>

Prüfwert	Total	EI'99- aggregated, Hierarchist Pkt	Anteil
	a		
Strom	160'000'000 kWh	1'257'784	37%
Wärme	330'000'000 kWh	1'485'457	44%
Entsorgungsfunktion	200'000'000 kg	232'824	7%
Sekundäraluminium, kg	827'442 kg	183'752	5%
Sekundärkupfer, kg	147'707 kg	79'271	2%
Sekundär-Gold, kg	10 kg	6'752	0%
Sekundär-Edelstahl, kg	64'000 kg	15'916	0%
Eisenschrott, kg	3'432'000 kg	131'455	4%
Sekundärzink, kg	0 kg	-	0%
Sekundär-Znkkonzentrat, kg	206'720 kg	8'234	0%
Sekundär-Bleikonzentrat, kg	43'520 kg	1'879	0%
<b>Total</b>		<b>3'403'324</b>	<b>100%</b>

EI'99- aggregated, Hierarchist Pkt	Klimawandel kg CO <sub>2</sub> -eq	KEA, ne MJ-eq	ökologische Knappheit UBP 13 Pkte
0.0032	0.2241	0.139	260
0.0018	0.1283	0.080	149
0.0005	0.0332	0.021	39
0.0907	6.3302	3.926	7'351
0.2192	15.2982	9.488	17'765
275.7983	19'247.3933	11'937.900	22'351'442
0.1016	7.0888	4.397	8'232
0.0156	1.0918	0.677	1'268
-	-	-	-
0.0163	1.1354	0.704	1'318
0.0176	1.2304	0.763	1'429

Fig. 5.2: „Umweltdeklaration“ im Kennwertmodell der virtuellen KVA ohne KEV Beitrag

## 5.3 Ergebnisse

In diesem Unterkapitel wird einmal das Ergebnis der Prüfung der virtuellen Anlage ohne Erhalt einer KEV und einmal mit KEV aufgezeigt. In beiden Auswertungen der virtuellen KVA wurde der Abfallimport aus dem Ausland noch nicht berücksichtigt.

Bezüglich der Modellierung hat das KWM bei den Schadstoffemissionen der Abfälle und Abwässer in die verschiedenen Deponietypen im Vergleich zur bisherigen Bilanzierung (siehe Kapitel 4) an Genauigkeit gewonnen. Andererseits, damit nicht zu viele Parameter abgefragt werden müssen, geht das KWM nebst 0.02 kg Flugasche pro kg Abfall auch immer von 0.2 kg Schlacke pro kg Abfall aus (Bösch et al. 2011). Zudem werden nur diejenigen Emissionswerte abgefragt, die am meisten zur Umweltbelastung einer KVA beitragen und auch gemessen werden.

Das Ergebnisblatt des Kennwertmodells besteht aus einer Graphik, welche die totale Umweltbelastung aufgeteilt in die einzelnen Teilbereiche, die Allokation der Umweltbelastung auf die einzelnen Produkte, sowie den Prüfwert als Summe der Grenzwerte einer Anlage in Eco-indicator-Punkte aufgezeigt. Rechts daneben liegt eine Charakterisierung der Anlage vor, welche auf die Angaben im Eingabeblatt zurückgreift. Falls die KVA KEV bezieht, zeigt die Charakterisierung die, um den Entzug des erneuerbaren Stromanteils, angepassten Mengenangaben. Die Differenz zwischen der totalen Umweltbelastung und dem Prüfwert wird berechnet und gibt Auskunft darüber, ob eine Anlage das “naturemade resources star“ Label erfüllt oder nicht. Zusätzlich gibt es im KWM das Ergebnisblatt auch auf eine Tonne Abfall bezogen.

Fig. 5.3 zeigt das Ergebnis der virtuellen KVA ohne Erhalt einer KEV auf. Die virtuelle KVA würde das naturemade “naturemade resources star“ Label mit den in Kapitel 4 festgelegten Grenzwerten erfüllen (59 % unterhalb des Prüfwerts). Die Bilanzierung einer solchen Anlage zeigt in etwa auf, wie eine optimale Anlage bezüglich den vorgeschlagenen Grenzwerten abschneiden könnte.

KVA virtuell		2014	
		Umweltbelastung absolut	Prüfwert
EI'99-aggregated, Hierarchist		1'390'104	3'403'324
<b>Naturemade Recycling star Label erfüllt</b>		<b>41%</b>	

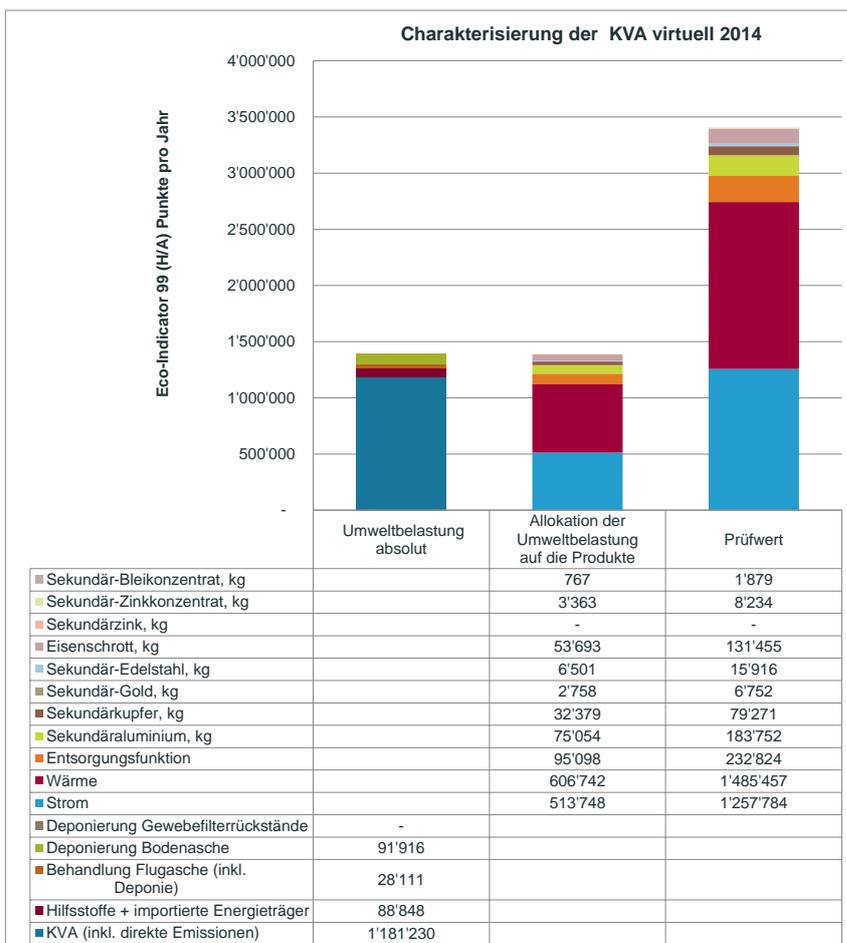


Fig. 5.3: Ergebnis (Eco-indicator-Punkte pro Jahr) der virtuellen KVA ohne Erhalt einer KEV

Ob die virtuelle KVA bei Erhalt einer KEV den nicht erneuerbaren Strom, nebst der produzierten Wärme und den zurückgewonnenen Metallen, auch unter dem Label „naturemade resources star“ verkaufen kann, zeigt das Ergebnis der Prüfung „KVA mit KEV“ (Fig. 5.4).

KVA virtuell		2014	
		Umweltbelastung absolut	Prüfwert
EI'99-aggregated, Hierarchist		1'241'601	2'578'852
<b>Naturemade Recycling star Label erfüllt</b>		<b>48%</b>	

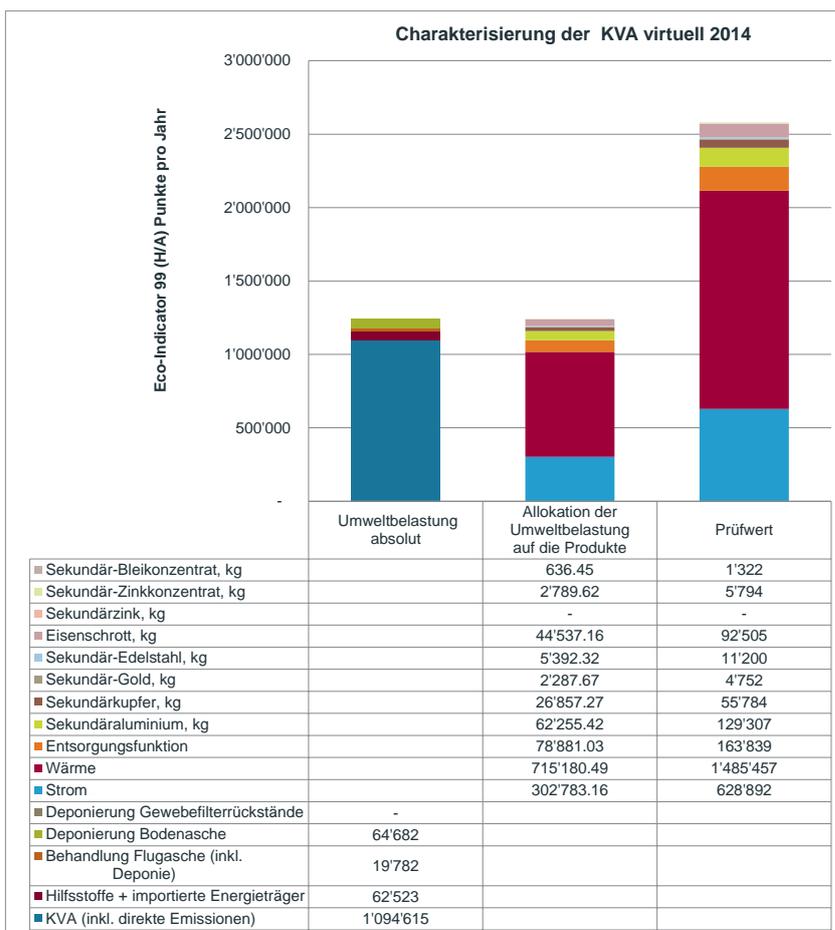


Fig. 5.4: Ergebnis (Eco-indicator-Punkte pro Jahr) der virtuellen KVA mit Erhalt einer KEV

Wie das Ergebnis in Fig. 5.4 zeigt, kann auch der nicht erneuerbare Strom der virtuellen Anlage zertifiziert werden, da die absolute Umweltbelastung der Anlage ohne Berücksichtigung des erneuerbaren Stromanteils 52 % unter dem einzuhaltenden Prüfwert liegt.

Der Prüfwert und damit die tolerierte Gesamtbelastung hat sich im Vergleich zur Prüfung der KVA ohne KEV (Fig. 5.3) stark verringert. Verantwortlich dafür ist die tolerierte Gesamtbelastung von Strom, die sich halbiert hat, da 50 % des Stroms (der erneuerbare Anteil) herausgerechnet wurden. Die restlichen Grenzwerte haben sich, bis auf derjenige für Wärme, um den Faktor reduziert, um den sich der anfallende Abfall verringert hat.

Auch die absolute Umweltbelastung fällt bei der KVA mit KEV geringer, jedoch nicht im selben Ausmass geringer wie der Prüfwert, aus. Zwar hat sich die Abfallmenge, die damit verbundenen Emissionen (ausser fossiles CO<sub>2</sub>) und die Menge benötigter Hilfsstoffe reduziert, aber die fossilen CO<sub>2</sub> Emissionen sind gleich hoch geblieben, da nur biogener Abfall erneuerbaren Strom produziert und dieser Anteil herausgerechnet wurde.

#### 5.4 Anpassungen am KWM von Version V2.1 zu Version V3.0

Die in den Unterkapiteln 5.2 und 5.3 gezeigten Ergebnisse wurden mit der Version 2.1 des Kennwertmodells (KWM V2.1) berechnet. Bei der Anwendung des KWM V2.1 wurde festgestellt, dass zwei Annahmen, die darin getroffen wurden, zu einer zusätzlich negativen Bewertung der Deponierung von Flugasche in einer Reststoffdeponie führen (aufgrund der modellbedingten starken negativen Bewertung von Arsenemissionen, siehe Unterkapitel 4.2.4). Im KWM V3.0 wurden deshalb die folgenden zwei Anpassungen vorgenommen:

- Unterteilung der Siedlungsabfallzusammensetzung (90% Siedlungsabfall und 10% Klärschlamm) in einen brennbaren und einen nicht brennbaren Anteil (93.5 % ist brennbar). Im KWM V2.1 wurde vereinfachend angenommen, dass der gesamte Siedlungsabfall brennbar ist.
- Aktualisierung der Klärschlammzusammensetzung gemäss neustem verfügbarem Datensatz

## Literatur

- Boesch et al. 2013a Boesch M. E., Vadenbo C., Saner D., Huter C. and Hellweg S. (2013a) Supplementary Material - "An LCA Model for Waste Incineration enhanced with New Technologies for Metal Recovery and Application to the Case of Switzerland".
- Boesch et al. 2013b Boesch M. E., Vadenbo C., Saner D., Huter C. and Hellweg S. (2013b) An LCA model for waste incineration enhanced with new technologies for metal recovery and application to the case of Switzerland. In: Waste Management, 34(2), pp. 378-389, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.019>, retrieved from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13005059>.
- Bösch et al. 2011 Bösch M. E., Haupt M. and Hellweg S. (2011) Ökobilanzielle Untersuchung der sauren Wäsche von KVA Flugasche in der Schweiz. ETH Zurich, Zürich.
- Doka 2003 Doka G. (2003) Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Final report ecoinvent 2000 No. 13. EMPA St. Gallen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Doka 2009 Doka G. (2009) Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. ecoinvent report No. 13, v2.1. EMPA St. Gallen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Doka 2013 Doka G. (2013) Updates to Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services - part II: waste incineration. Doka Life Cycle Assessments, Zürich, Switzerland.
- Doka 2014 Doka G. (2014) Ökoinventare der Kehrichtverbrennung mit Reststoffdeponie & Untertagedeponie & FLUREC-Ascheaufbereitung Doka Life Cycle Assessments im Auftrag des BAFU, Zürich, Switzerland.
- Frischknecht et al. 2007 Frischknecht R., Althaus H.-J., Dones R., Hischer R., Jungbluth N., Nemecek T., Primas A. and Wernet G. (2007) Renewable Energy Assessment within the Cumulative Energy Demand Concept: Challenges and Solutions. In proceedings from: SETAC Europe 14th LCA case study symposium: Energy in LCA - LCA of Energy, 3-4 December 2007, Gothenburg, Sweden.
- Frischknecht & Büsler Knöpfel 2013 Frischknecht R. and Büsler Knöpfel S. (2013) Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 1330. Bundesamt für Umwelt, Bern, retrieved from: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=de>.
- Goedkoop & Spiensma 2000 Goedkoop M. and Spiensma R. (2000) The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment. PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands, retrieved from: [www.pre.nl/eco-indicator99/](http://www.pre.nl/eco-indicator99/).
- IPCC 2013 IPCC (2013) The IPCC fifth Assessment Report - Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Working Group I, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.

- Jungbluth & Flury 2013      Jungbluth N. and Flury K. (2013) Aktualisierung und Ergänzung der naturemade Kennwertmodelle: Ökobilanzen für die Prüfung des globalen Kriteriums von Energieprodukten. ESU-services im Auftrag vom Verein für umweltgerechte Energie (VUE), Zürich, retrieved from: [www.esu-services.ch/projects/naturemade/](http://www.esu-services.ch/projects/naturemade/).
- KBOB et al. 2014      KBOB, eco-bau and IPB (2014) ecoinvent Datenbestand v2.2+; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: [www.lc-inventories.ch](http://www.lc-inventories.ch).
- TVA 2011      TVA (2011) Technische Verordnung über Abfälle vom 10. Dezember 1990 (Stand am 1. Juli 2011). 814.600. Schweizerischer Bundesrat.