

Bericht

Auftragsnr:

Datum: 28.06.2019

Cicerostr. 24
D-10709 Berlin
Tel +49 (0)30 536 53 800
Fax +49 (0)30 536 53 888
www.kompetenz-wasser.de

„Dokumentation zum Berechnungstool für THG-Emissionen und Primärenergieverbrauch für Infrastruktur der vierten Reinigungsstufe und Herstellung bzw. Reaktivierung von Aktivkohle“

Projektname: VSA-TOOL

von

Christian Remy

Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH

Cicerostr. 24, 10709 Berlin

Dieses Projekt wurde als Auftrag von VSA – Plattform Verfahrenstechnik MV finanziert.

Berlin 2019

Important Legal Notice

Disclaimer: The information in this publication was considered technically sound by the consensus of persons engaged in the development and approval of the document at the time it was developed. KWB disclaims liability to the full extent for any personal injury, property, or other damages of any nature whatsoever, whether special, indirect, consequential, or compensatory, directly or indirectly resulting from the publication, use of application, or reliance on this document. KWB disclaims and makes no guaranty or warranty, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of any information published herein. It is expressly pointed out that the information and results given in this publication may be out of date due to subsequent modifications. In addition, KWB disclaims and makes no warranty that the information in this document will fulfill any of your particular purposes or needs. The disclaimer on hand neither seeks to restrict nor to exclude KWB's liability against all relevant national statutory provisions.

Wichtiger rechtlicher Hinweis

Haftungsausschluss: Die in dieser Publikation bereitgestellte Information wurde zum Zeitpunkt der Erstellung im Konsens mit den bei Entwicklung und Anfertigung des Dokumentes beteiligten Personen als technisch einwandfrei befunden. KWB schließt vollumfänglich die Haftung für jegliche Personen-, Sach- oder sonstige Schäden aus, ungeachtet ob diese speziell, indirekt, nachfolgend oder kompensatorisch, mittelbar oder unmittelbar sind oder direkt oder indirekt von dieser Publikation, einer Anwendung oder dem Vertrauen in dieses Dokument herrühren. KWB übernimmt keine Garantie und macht keine Zusicherungen ausdrücklicher oder stillschweigender Art bezüglich der Richtigkeit oder Vollständigkeit jeglicher Information hierin. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die in der Publikation gegebenen Informationen und Ergebnisse aufgrund nachfolgender Änderungen nicht mehr aktuell sein können. Weiterhin lehnt KWB die Haftung ab und übernimmt keine Garantie, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen der Erfüllung Ihrer besonderen Zwecke oder Ansprüche dienlich sind. Mit der vorliegenden Haftungsausschlussklausel wird weder bezweckt, die Haftung der KWB entgegen den einschlägigen nationalen Rechtsvorschriften einzuschränken noch sie in Fällen auszuschließen, in denen ein Ausschluss nach diesen Rechtsvorschriften nicht möglich ist.

Impressum

Dieser Bericht wurde nach den Vorgaben des Qualitätsmanagements gemäß DIN EN ISO 9001:2008 erarbeitet.

Titel

Dokumentation zum Berechnungstool für THG-Emissionen und Primärenergieverbrauch für Infrastruktur der vierten Reinigungsstufe und Herstellung bzw. Reaktivierung von Aktivkohle

Autor

Christian Remy, Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH

Qualitätssicherung

Fabian Kraus, Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH

Endversion

Datum: 01.07.2019

Inhaltsverzeichnis

1	Berechnungstool für Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch der Infrastruktur der vierten Reinigungsstufe	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Methodik und Daten zur Berechnung.....	1
2	Berechnungstool für Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch der Herstellung und Regeneration von Aktivkohle.....	4
2.1	Einleitung	4
2.2	Methodik und Daten zur Berechnung.....	5
3	Quellen	9

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Eingabedaten zur Berechnung der Aufwendungen für die Infrastruktur	3
Abbildung 2:	Ergebnisse zur Berechnung von Treibhauspotential und Primärenergieaufwand.....	3
Abbildung 3:	Eingabedaten zur Berechnung der Aufwendungen für die Herstellung von frischer Aktivkohle	7
Abbildung 4:	Ergebnisse zur Berechnung von Treibhauspotential und Primärenergieaufwand für die Herstellung von frischer Aktivkohle.....	7
Abbildung 5:	Eingabedaten zur Berechnung der Aufwendungen für die Reaktivierung von Aktivkohle	7
Abbildung 6:	Ergebnisse zur Berechnung von Treibhauspotential und Primärenergieaufwand für die Reaktivierung von Aktivkohle	8

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Datensätze aus Ecoinvent v3.4 (Ecoinvent 2017) für die Berechnung der Infrastruktur	2
Tabelle 2:	Datensätze aus Ecoinvent v3.4 (Ecoinvent 2017) für die Berechnung der Herstellung und Reaktivierung von Aktivkohle	6

1 Berechnungstool für Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch der Infrastruktur der vierten Reinigungsstufe

1.1 Einleitung

Die Errichtung einer vierten Reinigungsstufe für Klärwerke führt zu zusätzlichen Aufwendungen an Infrastruktur, z.B. für den Bau von Becken, Filtern, oder technischen Bauteilen wie einem Ozongenerator. Für eine Betrachtung der Nachhaltigkeit dieser Erweiterungen ist eine Abschätzung der möglichen Umweltwirkungen der Errichtung dieser Infrastruktur hilfreich, um den Anteil dieser Aufwendungen an den gesamten möglichen Umweltwirkungen der vierten Reinigungsstufe (d.h. inklusive betrieblicher Aufwendungen wie Strom, Aktivkohle, etc.) abzuschätzen.

Zu diesem Zweck wurde ein Berechnungstool entwickelt, mit dem die potentiellen Umweltwirkungen der Errichtung der Infrastruktur für die vierte Reinigungsstufe auf Klärwerken abgeschätzt werden können. Dabei kommt die Methode der Ökobilanz (ISO 14040 2006) zur Anwendung, welche die gesamten Umweltwirkungen im Lebensweg des Systems erfasst. Der Fokus dieses Tools liegt dabei auf den Umweltwirkungen für den anthropogenen Treibhauseffekt und den Primärenergieaufwand an fossilen Ressourcen.

Aufbau des Tools

Das Tool ermöglicht folgende Eingaben:

- Materialmengen für Infrastruktur [z.B. kg, m³], z.B. aus Unterlagen des Betreibers oder beteiligter Ingenieurbüros oder Baufirmen
- Materialdichte [kg/m³] für ausgewählte Materialien
- Transportentfernungen zum Klärwerk und zur Entsorgung [km]
- Lebensdauer [a]

Die Ausgabe erfolgt für zwei Indikatoren:

- Treibhauspotential pro Jahr [kg CO₂-eq/a]
- Primärenergieverbrauch fossil pro Jahr [MJ/a]

Die Ergebnisse lassen sich auf für die einzelnen Materialien und Lebenswegabschnitte (Produktion, Transport, Entsorgung) einzeln auslesen oder summiert.

1.2 Methodik und Daten zur Berechnung

Folgende Lebenswegabschnitte werden betrachtet:

- Produktion der Materialien
- Transport vom Zwischenhändler zum Klärwerk per LKW
- Transport zur Entsorgung per LKW
- Entsorgung der Materialien

Die Berechnung der Indikatoren erfolgt mit konstanten Faktoren für jeden Lebenswegabschnitt und jedes Material. Diese Faktoren sind mit Datensätzen aus der Ökobilanz-Datenbank ecoinvent v3.4 (Ecoinvent 2017) ausgelesen und mit der Ökobilanz-Software UMBERTO® LCA+ (IFU 2018) berechnet.

Die genutzten Datensätze aus ecoinvent sind in Tabelle 1 aufgelistet. Als geografischer Bezugsraum wurde die Schweiz (CH) gewählt falls vorhanden bzw. ein globaler Durchschnitt [GLO]. Es wurden Marktdatensätze („market“) genutzt, die den Marktmix unterschiedlicher Produktionswege inkl.

möglicher Transporte bis zum Zwischenhändler abbilden. Die Entsorgung und das Recycling bei Stahlprodukten wird bereits im Datensatz der Produktion über einen Anteil an Recyclingmaterial abgebildet, so dass hier keine getrennte Berechnung der Entsorgungsaufwendungen über den Transport hinaus erfolgt. Beim Aushub wird angenommen, dass die Entsorgung des Materials nur über den Transport abgebildet wird und keine zusätzlichen Aufwendungen für Lagerung entstehen.

Tabelle 1: Datensätze aus Ecoinvent v3.4 (Ecoinvent 2017) für die Berechnung der Infrastruktur

Prozess	Einheit	Datensatz aus Ecoinvent v3.4	Bemerkungen
Produktion Spezialbeton	[m ³]	market for concrete, for de-icing salt contact [CH]	Spezialbeton für Streusalzkontakt (B45/35), Dichte: 2455 kg/m ³ , Zusammensetzung: 15% CEM I, 55% CEM II/A, 30% CEM II/B
Produktion Normalbeton	[m ³]	market for concrete, normal [CH]	Normalbeton (B35/25), Dichte: 2360 kg/m ³ , Zusammensetzung: 75% CEM II/A, 25% CEM II/B
Produktion Bewehrungsstahl	[kg]	market for reinforcing steel [GLO]	Inkl. Recyclinganteil ("closed loop recycling")
Produktion Baustahl	[kg]	market for steel, low-alloyed [GLO]	Inkl. Recyclinganteil ("closed loop recycling")
Produktion Edelstahl	[kg]	market for steel, chromium steel 18/8 [GLO]	Inkl. Recyclinganteil ("closed loop recycling")
Produktion Polyethylen HD	[kg]	market for polyethylene, high density, granulate [GLO]	Ohne Weiterverarbeitung
Produktion Polyvinylchlorid	[kg]	market for polyvinylchloride, bulk polymerised [GLO]	Ohne Weiterverarbeitung
Produktion Kupfer	[kg]	market for copper [GLO]	Ohne Weiterverarbeitung
Bagger für Aushub	[m ³]	market for excavation, hydraulic digger [GLO]	Annahme für Dichte Aushub: 1800 kg/m ³
Produktion UV-Lampen	[Stück]	market for ultraviolet lamp [GLO]	Gewicht einer UV-Lampe: 380g
Transport per LKW	[tkm]	market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 [GLO]	
Entsorgung Stahlbeton	[kg]	market for waste reinforced concrete [CH]	
Entsorgung Polyethylen HD	[kg]	market for waste polyethylene [CH]	
Entsorgung Polyvinylchlorid	[kg]	market for waste polyvinylchloride [CH]	
Entsorgung Kupfer	[kg]	market for scrap copper [CH]	

Für die Berechnung der Indikatorwerte werden folgende Modelle verwendet:

- Treibhauspotential in kg CO₂-Äquivalenten [kg CO₂-eq]: Global Warming Potential (GWP) über einen Zeithorizont von 100 Jahren nach IPCC (IPCC 2014), ohne Langzeitemissionen > 100a („w/o long-term emissions“)
- Primärenergieaufwand fossil in Megajoule [MJ]: Kumulierter Energieaufwand (KEA) fossil nach VDI-Norm 4600 (VDI 2012)

Das Tool berechnet aus den Eingabedaten (Abbildung 1) für Materialmengen, Dichte und Transportweg mit spezifischen Faktoren für jedes Material und jeden Lebenswegabschnitt die entsprechenden Indikatorwerte in kg CO₂-eq bzw. MJ. Diese werden abschließend durch die Lebensdauer geteilt, so dass am Ende die jährlichen Aufwendungen für die Infrastruktur der vierten Reinigungsstufe berechnet werden [kg CO₂-eq/a bzw. MJ/a] (Abbildung 2).

Eingabedaten							
Material	Menge	Einheit	Dichte [kg/Einheit]	Transport zum Klärwerk [km per LKW]	Transport zur Entsorgung [km per LKW]	Lebensdauer [a]	
Spezial-Beton für Streusalzkontakt (B45/35)	100	m ³	2455	50	20	50	
Normal-Beton (B35/25)	100	m ³	2360	50	20	50	
Bewehrungsstahl	1000	kg		300	300	50	
Baustahl	1000	kg		300	300	50	
Edelstahl (Cr Ni 18/8)	1000	kg		300	300	50	
Polyethylen HD	1000	kg		600	600	50	
Polyvinylchlorid	1000	kg		600	600	50	
Kupfer	1000	kg		600	600	50	
Aushub	500	m ³	1800		20	50	
UV-Lampen	100	Stück	0,38	600	600	5	

Abbildung 1: Eingabedaten zur Berechnung der Aufwendungen für die Infrastruktur

Treibhausgasemissionen Global warming potential (100a), IPCC 2013, w/o long-term emissions				Primärenergieaufwand fossil Kumulierter Energieaufwand fossil (VDI 4300)			
Produktion	Transport	Entsorgung inkl. Transport	Summe	Produktion	Transport	inkl. Transport	Summe
[kg CO ₂ -eq/a]	[kg CO ₂ -eq/a]	[kg CO ₂ -eq/a]	[kg CO ₂ -eq/a]	[MJ/a]	[MJ/a]	[MJ/a]	[MJ/a]
475	21	63	559	2012	365	986	3363
308	21	60	389	1462	351	947	2761
47	1	1	48	482	9	9	499
37	1	1	38	375	9	9	393
97	1	1	98	1010	9	9	1027
43	1	61	105	1455	18	24	1496
43	1	43	87	1002	18	81	1101
85	1	1	87	864	18	25	907
5	0	31	37	82	0	535	617
20	0	0	21	99	7	7	112

Abbildung 2: Ergebnisse zur Berechnung von Treibhauspotential und Primärenergieaufwand

2 Berechnungstool für Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch der Herstellung und Regeneration von Aktivkohle

2.1 Einleitung

Beim Betrieb der vierten Reinigungsstufe können Verfahren mit Pulveraktivkohle (PAK) und granulierter Aktivkohle (GAK) eingesetzt werden. Die Herstellung dieser Betriebsmittel ist mit hohem Material- und Energieaufwand verbunden und daher bei der Betrachtung der Umweltwirkungen der vierten Reinigungsstufe ein wichtiger Faktor, der in Betrachtungen zur Nachhaltigkeit dieser Prozesse mit einbezogen werden sollte.

Herstellung von frischer Aktivkohle

Aktivkohle kann aus verschiedenen Rohstoffen hergestellt werden. Am Markt dominieren die Produkte auf Steinkohle- und Braunkohlebasis, dazu gibt es Produkte auf Basis regenerativer Rohstoffe wie Kokosnussschalen. Weitere Rohstoffe auf Kohlenstoffbasis sind prinzipiell denkbar und werden in Forschungs- und Entwicklungsvorhaben getestet, haben aber momentan für die Anwendung in der vierten Reinigungsstufe keine praktische Relevanz.

Der Prozess der Aktivkohleherstellung erfolgt zumeist in Südost- und Ostasien, von wo die frische Aktivkohle („virgin“) nach Europa geliefert wird. Das Rohmaterial wird in einer sauerstofffreien Atmosphäre erhitzt, um flüchtige Bestandteile bei Temperaturen um die 800 °C auszutreiben. Die so erhaltene Rohaktivkohle wird anschließend oxidativ bei 700–1000 °C mit Wasserdampf aktiviert. Bei dieser Aktivierung wird ein Teil des Kohlenstoffs nach dem Wassergasverfahren in Kohlenstoffmonoxid umgewandelt. Dadurch entsteht ein Material mit feiner Porenstruktur und sehr hoher innerer Oberfläche, die für die Adsorptionswirkung entscheidend ist.

Reaktivierung von Aktivkohle

Genutzte Aktivkohle in granulierter Form (GAK) kann nach der Nutzung thermisch reaktiviert werden. Dabei wird bei hoher Temperatur (bis zu 1000 °C) ein gezielter teilweiser Abbrand erreicht, so dass adsorbierte Stoffe wieder von der Oberfläche entfernt werden. Die Masseverluste (= Abbrand) werden durch frische Aktivkohle („make-up“) ausgeglichen, und die granulいたte Aktivkohle kann erneut eingesetzt werden.

Aufbau des Tools

Um die Umweltwirkungen der Herstellung und Reaktivierung von Aktivkohle aus unterschiedlichen Rohmaterialien abschätzen zu können, wurde ein vereinfachtes Berechnungstool entwickelt. Dabei kommt die Methode der Ökobilanz (ISO 14040 2006) zur Anwendung, welche die gesamten Umweltwirkungen im Lebensweg des Systems erfasst. Der Fokus dieses Tools liegt dabei auf den Umweltwirkungen für den anthropogenen Treibhauseffekt und den Primärenergieaufwand an fossilen Ressourcen.

Das Tool ermöglicht folgende Eingaben:

Produktion von frischer Aktivkohle (jeweils pro Tonne AK):

- Rohmaterial: Steinkohle, Braunkohle, Kokosnussschalen
- Menge an Rohmaterial [kg]
- Prozessdampf [kg]
- Erdgas [Nm³]

- Strom [kWh]
- Transport per LKW [km]
- Transport per Schiff [km]

Reaktivierung von Aktivkohle (jeweils pro Tonne AK):

- Rohmaterial: Steinkohle, Braunkohle, Kokosnussschalen
- Menge an frischer Aktivkohle (Ausgleich von Abbrand) [kg]
- Prozessdampf [kg]
- Erdgas [Nm³]
- Strom [kWh]
- Transport per LKW [km]
- Transport per Schiff [km]

Die Ausgabe erfolgt für zwei Indikatoren:

- Treibhauspotential pro Jahr [kg CO₂-eq/kg Aktivkohle]
- Primärenergieverbrauch fossil pro Jahr [MJ/Aktivkohle]

Die Ergebnisse lassen sich auf für die einzelnen Materialien und Lebenswegabschnitte (Produktion, Transport) einzeln auslesen oder summiert.

2.2 Methodik und Daten zur Berechnung

Folgende Lebenswegabschnitte werden betrachtet:

- Produktion der Rohmaterialien (Steinkohle, Braunkohle, Kokosnussschalen)
- Aktivierung bzw. Reaktivierung (Nutzung von Dampf, Erdgas und Strom)
- Prozessemissionen aus Rohstoffen und Erdgasverbrennung
- Transport zum Klärwerk bzw. zur Regeneration

Die Berechnung der Indikatoren erfolgt mit konstanten Faktoren für jeden Lebenswegabschnitt und jedes Material. Diese Faktoren sind mit Datensätzen aus der Ökobilanz-Datenbank ecoinvent v3.4 (Ecoinvent 2017) ausgelesen und mit der Ökobilanz-Software UMBERTO® LCA+ (IFU 2018) berechnet.

Die genutzten Datensätze aus ecoinvent sind in Tabelle 2 aufgelistet. Als geografischer Bezugsraum wurden globale Datensätze [GLO, RoW] genutzt, für den Strommix wurde China (Produktion) bzw. Schweiz (Regeneration) angenommen. Es wurden Marktdatensätze („market“) genutzt, die den Marktmix unterschiedlicher Produktionswege inkl. möglicher Transporte bis zum Zwischenhändler abbilden.

Zur Abbildung der Prozesse wurden die besten verfügbaren Datensätze der Datenbank genutzt. Teilweise wurden Vereinfachungen für die Abschätzung von Prozessemissionen getroffen, die aber die Größenordnung der Emissionen korrekt abbilden sollten.

Im Einzelnen sind folgende Annahmen enthalten:

- Für die Bereitstellung von Kokosnussschalen entsteht bilanziell kein Aufwand, da es sich um ein Abfallprodukt aus der Produktion von Kokosnüssen handelt. Allerdings müssen die Schalen vor der Nutzung verkocht werden, wobei prozessbedingt Emissionen (CH₄, CO) entstehen. Diese werden hier vereinfacht über einen Datensatz zur Holzkohleherstellung abgebildet.

- CO₂-Emissionen aus der Verkokung und Aktivierung von AK auf Kokosnussschalenbasis werden nicht für das Treibhauspotential angerechnet, da es sich um biogenes CO₂ im Kreislauf („short-cycle CO₂“) handelt.
- Die Emissionen beim Abbrand von Steinkohle bzw. Braunkohle (Differenzmenge zwischen Rohstoffeinsatz und Produkt) werden über typische Emissionen bei der Verbrennung dieser Rohstoffe in industriellen Anlagen abgeschätzt.

Tabelle 2: Datensätze aus Ecoinvent v3.4 (Ecoinvent 2017) für die Berechnung der Herstellung und Reaktivierung von Aktivkohle

Prozess	Einheit	Datensatz aus Ecoinvent v3.4	Bemerkungen
Produktion Steinkohlebriketts	[kg]	market for hard coal briquettes [GLO]	Umrechnung über Heizwert: 28.9 MJ/kg
Produktion Braunkohlebriketts	[m ³]	market for lignite briquettes [GLO]	Umrechnung über Heizwert: 19.5 MJ/kg
Produktion Kokosnussschalen (verkokt)	[kg]	charcoal production [GLO]	Nur Emissionen bei der Verkokung angerechnet (CH ₄ , CO)
Bereitstellung Dampf	[kg]	market for steam, in chemical industry [GLO]	
Bereitstellung und Verbrennung Erdgas	[Nm ³]	heat production, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW [Europe without Switzerland]	Umfasst die Bereitstellung von Erdgas und typische Emissionen bei der Verbrennung, Umrechnung über Heizwert: 35.1 MJ/Nm ³
Emissionen beim Steinkohleabbrand	[kg]	heat production, at hard coal industrial furnace 1-10MW [RoW]	Nur Emissionen bei der Verbrennung angerechnet, Umrechnung über Heizwert: 28.9 MJ/kg
Emissionen beim Braunkohleabbrand	[kg]	heat production, lignite briquette, at stove 5-15kW [RoW]	Nur Emissionen bei der Verbrennung angerechnet, Umrechnung über Heizwert: 19.5 MJ/kg
Emissionen beim Kokosnussabbrand	[kg]	heat production, hardwood chips from forest, at furnace 1000kW [RoW]	Nur Emissionen von N ₂ O bei der Verbrennung angerechnet
Bereitstellung Strom (China)	[kg]	market group for electricity, high voltage [CN]	Für Produktion frischer Aktivkohle
Bereitstellung Strom (Schweiz)	[kg]	market for electricity, medium voltage [CH]	Für Regeneration von Aktivkohle
Transport per LKW	[tkm]	market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 [GLO]	
Transport per Schiff	[tkm]	market for transport, freight, sea, transoceanic ship [GLO]	

Für die Berechnung der Indikatorwerte werden folgende Modelle verwendet:

- Treibhauspotential in kg CO₂-Äquivalenten [kg CO₂-eq]: Global Warming Potential (GWP) über einen Zeithorizont von 100 Jahren nach IPCC (IPCC 2014), ohne Langzeitemissionen > 100a („w/o long-term emissions“)
- Primärenergieaufwand fossil in Megajoule [MJ]: Kumulierter Energieaufwand (KEA) fossil nach VDI-Norm 4600 (VDI 2012)

Das Tool berechnet aus den Eingabedaten (Abbildung 3 bzw. Abbildung 5) für Materialmengen, Betriebsmittel und Transportweg mit spezifischen Faktoren für jedes Material und jeden Lebenswegabschnitt die entsprechenden Indikatorwerte in kg CO₂-eq bzw. MJ. Diese werden abschließend summiert, so dass am Ende die Aufwendungen für die Herstellung bzw. Reaktivierung von Aktivkohle ausgegeben werden [kg CO₂-eq/t AK bzw. MJ/t AK] (Abbildung 4 bzw. Abbildung 6).

FRISCHKOHLE Eingabedaten											
Material	Menge	Einheit	Rohmaterial	Bereitstellung			Erdgas	Strom	Transport LKW	Transport Schiff	
				Rohmaterial	Abbrand	Prozessdampf					
				[kg/t AK]	[kg/t AK]	[kg/t AK]	[m ³ /t AK]	[kWh/t AK]	[km]	[km]	[km]
Aktivkohle (Stk)	1000	kg	Steinkohle	4000	3000	3500	0	100	600	15000	
Aktivkohle (Brk)	1000	kg	Braunkohle	5500	4500	3500	0	100	600	15000	
Aktivkohle (Kokosnussschalen)	1000	kg	Kokosnussschalen ("char")	3000	2000	3500	0	100	600	15000	

Abbildung 3: Eingabedaten zur Berechnung der Aufwendungen für die Herstellung von frischer Aktivkohle

Treibhausgasemissionen								
Global warming potential (100a), IPCC 2013, w/o long-term emissions								
Bereitstellung								
Rohmaterial	Abbrand	Prozessdampf	Erdgas	Strom	Transport LKW	Transport Schiff	Summe	
[kg CO ₂ -eq/t AK]	[kg CO ₂ -eq/t AK]	[kg CO ₂ -eq/t AK]	[kg CO ₂ -eq/t AK]	[kg CO ₂ -eq/t AK]	[kg CO ₂ -eq/t AK]	[kg CO ₂ -eq/t AK]	[kg CO ₂ -eq/t AK]	[kg CO ₂ -eq/t AK]
2192	8028	1120	0	112	52	180	11685	
2530	10260	1120	0	112	52	180	14255	
4866	22	1120	0	112	52	180	6353	

Primärenergieaufwand fossil								
Kumulierter Energieaufwand fossil (VDI 4300)								
Bereitstellung Rohmaterial	Abbrand	Prozessdampf	Erdgas	Strom	Transport LKW	Transport Schiff	Summe	
[MJ/t AK]	[MJ/t AK]	[MJ/t AK]	[MJ/t AK]	[MJ/t AK]	[MJ/t AK]	[MJ/t AK]	[MJ/t AK]	[MJ/t AK]
112048	0	15236	0	961	892	2490	131627	
145250	0	15236	0	961	892	2490	164829	
12015	0	15236	0	961	892	2490	31594	

Abbildung 4: Ergebnisse zur Berechnung von Treibhauspotential und Primärenergieaufwand für die Herstellung von frischer Aktivkohle

REGENERIERTE KOHLE Eingabedaten											
Material	Menge	Einheit	Rohmaterial	Bereitstellung			Erdgas	Strom	Transport LKW	Transport Schiff	
				Frischkohle	Abbrand	Prozessdampf					
				[kg/t AK]	[kg/t AK]	[kg/t AK]	[m ³ /t AK]	[kWh/t AK]	[km]	[km]	[km]
Reaktivierte Aktivkohle (Stk)	1000	kg	Steinkohle	100	100	0	135	170	800	0	
Reaktivierte Aktivkohle (Brk)	1000	kg	Braunkohle	100	100	0	135	170	800	0	
Reaktivierte Aktivkohle (Kokosnussschalen)	1000	kg	Kokosnussschalen ("char")	100	100	0	135	170	800	0	

Abbildung 5: Eingabedaten zur Berechnung der Aufwendungen für die Reaktivierung von Aktivkohle

Treibhausgasemissionen								
Global warming potential (100a), IPCC 2013, w/o long-term emissions								
Frischkohle	Abbrand	Prozessdampf	Erdgas	Strom	Transport LKW	Transport Schiff	Summe	
[kg CO2-eq/t AK]	[kg CO2-eq/t AK]	[kg CO2-eq/t AK]	[kg CO2-eq/t AK]	[kg CO2-eq/t AK]	[kg CO2-eq/t AK]	[kg CO2-eq/t AK]	[kg CO2-eq/t AK]	
1168	268	0	357	21	70	0	1883	
1425	228	0	358	21	70	0	2102	
635	1	0	358	21	70	0	1085	
Primärenergieaufwand fossil								
Kumulierter Energieaufwand fossil (VDI 4300)								
Frischkohle	Abbrand	Prozessdampf	Erdgas	Strom	Transport LKW	Transport Schiff	Summe	
[MJ/t AK]	[MJ/t AK]	[MJ/t AK]	[MJ/t AK]	[MJ/t AK]	[MJ/t AK]	[MJ/t AK]	[MJ/t AK]	
13163	0	0	6353	223	1190	0	20928	
16483	0	0	6353	223	1190	0	24248	
3159	0	0	6353	223	1190	0	10925	

Abbildung 6: Ergebnisse zur Berechnung von Treibhauspotential und Primärenergieaufwand für die Reaktivierung von Aktivkohle

Für die Reaktivierung werden zum Ersatz des Abbrands („make-up“) automatisch die berechneten Werte für die frische Aktivkohle des jeweiligen Materialtyps angesetzt.

Das Tool ist vorausgefüllt mit Datensätzen, die vom KWB in einer Herstellerumfrage ermittelt wurden (DWA 2016). Dabei wurden für jeden Parameter Durchschnittswerte der Umfrage angegeben. Wenn konkrete Daten von Herstellern verfügbar sind, können diese im Tool angepasst werden.

3 Quellen

DWA (2016). "Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KA-8.6: Aktivkohleeinsatz auf kommunalen Kläranlagen zur Spurenstoffentfernung (Working report of the DWA working group KA 8.6: Use of activated carbon on municipal wastewater treatment plants for elimination of trace substances)." Korrespondenz Abwasser **63**(12): 1062-1067.

Ecoinvent (2017). "Ecoinvent data v3.4, ecoinvent reports No. 1-26, Swiss Center for Life Cycle Inventories, www.ecoinvent.org."

IFU (2018). Umberto - Software für das betriebliche Stoffstrommanagement, Version Umberto LCA+ (Umberto - software for operational substance flow management, version Umberto LCA+). Hamburg, Germany, Institut für Umwelthinformatik GmbH.

IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, IPCC.

ISO 14040 (2006). Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and framework. Geneva, Switzerland, International Standardisation Organisation.

VDI (2012). VDI-Richtlinie 4600: 2012-01: Kumulierter Energieaufwand - Begriffe, Berechnungsmethoden (VDI guideline 4600: 2012-01: Cumulative energy demand - Terms, definitions, methods of calculation). Berlin, Germany, Beuth Verlag.