



KLIMASCHUTZ DURCH KREISLAUFWIRTSCHAFT

in Rheinland-Pfalz



IMPRESSUM

Herausgeber: Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz
Kaiser-Friedrich-Straße 7, 55116 Mainz
www.lfu.rlp.de

Bearbeitung: Projektgruppe Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft
Nicole Bartenschlager, Eva Bertsch, Anja Blumschein, Julia Borrmann,
Timo Gensel, Nicole Herter, Martina Mattern, Dr. Reinhard Meuser,
Sabine Zerle

Titelbild: LVerGeo Rheinland-Pfalz und Pixabay

Layout/Satz: Tatjana Schollmayer

Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers

Mainz, Juni 2022

INHALT

VORWORT	8
1 ZUSAMMENFASSUNG	10
2 ELEKTROALTGERÄTE	12
3 BIOABFÄLLE	18
4 KUNSTSTOFFABFÄLLE	24
5 RESTABFÄLLE	30
6 BAU- UND ABBRUCHABFÄLLE	36
7 DEPONIEN	41
8 EFFCHECK	46

Verzeichnis der Abkürzungen

AP	· · · · ·	Versauerungspotenzial
BGK	· · · · ·	Bundesgütegemeinschaft Kompost
BMUV	· · · · ·	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
CH ₄	· · · · ·	Methan
CO ₂	· · · · ·	Kohlendioxid
CO ₂ -eq.	· · · · ·	CO ₂ -Äquivalente
DIN	· · · · ·	Deutsches Institut für Normung
EAG	· · · · ·	Elektroaltgeräte
EffCheck	· · ·	EffizienzCheck
ElektroG	· · ·	Elektro- und Elektronikgerätegesetz
FCKW	· · · · ·	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FID	· · · · ·	Flammenionisationsdetektor
GWP	· · · · ·	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial)
HFKW	· · · · ·	teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
HTV	· · · · ·	Hochtemperaturverfahren
KrWG	· · · · ·	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KS-Recycler	·	Kunststoffrecycler
KW	· · · · ·	Kohlenwasserstoffe
LfU	· · · · ·	Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz
LKrWG	· · · · ·	Landeskreislaufwirtschaftsgesetz
LUBW	· · · · ·	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
MBA	· · · · ·	mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
MHKW	· · ·	Müllheizkraftwerk
MJ	· · · · ·	Megajoule
MKUEM	· · ·	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz (Klimaschutzministerium)
MVA	· · · · ·	Müllverbrennungsanlage
N ₂ O	· · · · ·	Lachgas
NE-Metalle	·	Nichteisenmetalle
NH ₃	· · · · ·	Ammoniak
o. D.	· · · · ·	ohne Datum
örE	· · · · ·	öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger
PS	· · · · ·	Polystyrol
PUR	· · · · ·	Polyurethan
RAL	· · · · ·	Gütezeichen des Deutschen Instituts für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. (Abk. für Reichsausschuss für Lieferbedingungen)
R-Beton	· · ·	ressourcenschonender Beton
RC-Baustoffe	·	Recycling-Baustoffe
SAM	· · · · ·	SAM Sonderabfall-Management-Gesellschaft Rheinland-Pfalz mbH
SLF	· · · · ·	Shredderleichtfraktion
THG	· · · · ·	Treibhausgasemissionen
UBA	· · · · ·	Umweltbundesamt
VHE	· · · · ·	Verband Humus und Erdenwirtschaft e. V.

Glossar

Abfallhierarchie

im Kreislaufwirtschaftsgesetz (§ 6 Abs. 1) festgelegte Rangfolge mit Maßnahmen zur Vermeidung und zur Abfallbewirtschaftung:

1. Vermeidung
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung
3. Recycling
4. sonstige Verwertung, insb. energetische Verwertung und Verfüllung
5. Beseitigung

aerober Prozess

mit Sauerstoff stattfindender Prozess

anaerober Prozess

unter Ausschluss von Sauerstoff stattfindender Prozess

anthropogen

durch den Menschen verursacht

Biogas

brennbares Gas, entsteht bei Vergärung von Biomasse

CO₂-Äquivalente (CO₂-eq.)

zur besseren Vergleichbarkeit werden die Beiträge von Treibhausgasen zum Treibhauseffekt (gemittelt über einen Zeitraum von 100 Jahren) relativ zum Beitrag des Treibhausgases CO₂ angegeben (= Treibhauspotenzial); beispielsweise wirkt sich eine bestimmte Menge einer Methanemissionen 25 Mal stärker auf den Treibhauseffekt aus, als die gleiche Menge CO₂; Methanemissionen werden daher mit dem Faktor 25 multipliziert¹

Cradle to Cradle

englisch für „von Wiege zur Wiege“; konsequente Kreislaufwirtschaft ohne Werteverluste

energetische Verwertung

Einsatz von Abfällen als Brennstoff und Nutzung der in Abfällen enthaltenen Energie zur Erzeugung von Strom, Wärme und/oder Dampf

fossile Energieträger

nicht erneuerbare (endliche) Energieträger, die sich im Laufe von Millionen von Jahren unter Luftabschluss, durch erhöhten Druck und Temperatur aus abgestorbener Biomasse entwickelt haben wie Erdöl, Erdgas, Braunkohle und Steinkohle

¹ Vgl. Memmler et al. (2018), UBA (2021a)

graue Energie

Energie, die über den gesamten Lebensweg eines Produktes verbraucht wird; hier insbesondere auf den Lebenszyklus eines Gebäudes bezogen, u. a. für Herstellung der Werkstoffe, Bau des Gebäudes, Instandhaltung, Rückbau und Entsorgung

Heizwert

gibt an, wie viel Energie bei der vollständigen Verbrennung eines Brennstoffs freigesetzt wird

in-situ

vor Ort

Kaskadennutzung

Mehrfachnutzung von Bioabfällen durch energetische Verwertung (Biogaserzeugung) und anschließende stoffliche Nutzung durch Behandlung und Verwendung der flüssigen und festen Gärreste

Klimaschutzbeitrag

Beitrag, der durch die Vermeidung/Verminderung von Treibhausgasen zum Schutz des Klimas geleistet wird

Kraft-Wärme-Kopplung

gleichzeitige Gewinnung von mechanischer Energie, die meist in Strom umgewandelt wird, und nutzbarer Wärme in einem Prozess

Methanschlupf

nicht genutztes bzw. nicht verbranntes Methan, das in die Atmosphäre entweicht

Nettovermeidungsfaktor

gibt an, welche Menge an Treibhausgasemissionen bei der Erzeugung von Strom und Wärme vermieden werden kann, wenn erneuerbare Energieträger anstelle fossiler Energieträger eingesetzt werden; wird vom Umweltbundesamt (UBA) regelmäßig angepasst, da der Anteil an erneuerbaren Energien im Energiemix stetig steigt

Ozonzerstörungs- bzw. Ozonabbaupotenzial

relativer Effekt des Abbaus der Ozonschicht (Ozonloch), die durch einen Stoff ausgelöst werden kann, bezogen auf Trichlorfluormethan

Schadstoffsenke

System, das zur Ausschleusung von Schadstoffen dient (z. B. Deponien)

Sekundärrohstoffe

aus Abfällen, hier Elektroaltgeräten, zurückgewonnene Rohstoffe (z. B. Metalle, Kunststoffe), die wieder für die Herstellung neuer Produkte verwendet werden

Treibhauseffekt

Sonnenstrahlung (kurzwellig) gelangt durch die Atmosphäre weitestgehend ungehindert auf die Erdoberfläche, die Erdoberfläche erwärmt sich; infolge dieser Erwärmung wird Infrarotstrahlung (langwellig) von der Erdoberfläche in die Atmosphäre emittiert; natürliche und anthropogene Treibhausgase absorbieren die von der Erdoberfläche emittierte Infrarotstrahlung, ein Teil der absorbierten Wärme wird zur Erdoberfläche zurückgestrahlt und führt zu einer Erderwärmung; durch die von den Menschen verursachten Emissionen wird der natürliche Treibhauseffekt verstärkt – die Erde erwärmt sich immer weiter

Treibhausgase

gasförmige Bestandteile der Atmosphäre anthropogenen und natürlichen Ursprungs, die den Treibhauseffekt erhöhen;

natürlichen Ursprungs sind z. B. Wasserdampf, Kohlendioxid, Lachgas, Methan, Ozon; durch menschliche Aktivitäten wird die Menge dieser Treibhausgase erhöht, dazu kommen anthropogen hergestellte Treibhausgase wie z. B. Halogenkohlenwasserstoffe und andere chlor- und bromhaltige Substanzen²

Treibhauspotenzial

s. CO₂-Äquivalente

Umweltindikatoren

Parameter oder Wertgrößen zur Bewertung des Zustandes von Umweltmedien³, hier u. a. Treibhauspotenzial (GWP), Ozonerstörungspotenzial (ODP), Kumulierter Energieaufwand (KEA), Versauerungspotenzial (AP)

Urban Mining

englisch für „Bergbau im städtischen Bereich“; Verwendung der in der Stadt vorhandenen Bauwerke nach Nutzungsende als Rohstoffquelle

Wärmeüberträger

Elektro- und Elektronikgeräte gemäß Kategorie 1 des ElektroG; Geräte mit Kühl- bzw. Heizfunktion, bei denen andere Flüssigkeiten als Wasser für die Wärmeübertragung verwendet werden, z. B. Kühl- und Gefriergeräte, Ausgabeautomaten mit Kühlfunktion, Wärmepumpen oder Klimageräte

² Vgl. UBA (2021a)

³ Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon (2021)

VORWORT

Liebe Leserinnen und Leser,

KLIMASCHUTZ ist wichtiger denn je. Die immer deutlicher und für jeden spürbarer werdenden Klimafolgen haben den Klimaschutz in den Mittelpunkt der öffentlichen und politischen Diskussion gerückt. Dürresommer mit ausgetrockneten Flüssen, die teilweise nicht mehr schiffbar sind, aber auch Starkregenereignisse mit lokalen, dramatischen Überschwemmungen wie die Hochwasserkatastrophe an der Ahr sind sichtbare Auswirkungen. Sie betreffen uns alle.

Anthropogen erzeugte Treibhausgase wie Methan und Kohlendioxid sind nachweislich Ursache des Temperaturanstiegs und tragen damit maßgeblich zum Klimawandel bei. Im Vordergrund der öffentlichen Klimadiskussion stehen vor allem die Energiewirtschaft und der Verkehrssektor. Es ist jedoch unerlässlich, in möglichst vielen Bereichen CO₂-Einsparpotenziale zu identifizieren und diese zu nutzen. Nur so kann der Temperaturanstieg begrenzt und die negativen Auswirkungen des Klimawandels abgeschwächt werden.

Die Kreislaufwirtschaft stand bisher weniger im Fokus. Doch auch sie leistet einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz. Um zu untersuchen, wie hoch der Beitrag der Abfallentsorgung und Ressourcenwirtschaft ist und welche Potenziale noch bestehen, wurde das Landesamt für Umwelt (LfU) vom rheinland-pfälzischen Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität (Klimaschutzministerium) mit dem Projekt „Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft“ beauftragt. Im Rahmen des Projektes wurden insgesamt sieben Bereiche näher betrachtet und ihre Potenziale ermittelt.

Die Ergebnisse des Projektes werden in der vorliegenden Broschüre dargelegt. Sie zeigen, dass die Kreislaufwirtschaft bereits einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leistet. Die größten Einsparungen an CO₂-eq. erreichen dabei die Energieauskopplung und die Erfassung von klimarelevanten Gasen. Aber auch die Einsparungen durch die Verwendung von Sekundärrohstoffen oder Ressourceneinsparung durch Eff-Checks sind nicht zu vernachlässigen.



Es gibt aber auch Potenziale, die bisher noch nicht vollends ausgeschöpft sind. Hier kommt es vor allem darauf an, die in dem vorliegenden Bericht aufgezeigten Maßnahmen richtig umzusetzen. Im Bereich der Elektroaltgeräte würde beispielsweise eine Erhöhung der Nutzungsdauer durch Wieder- und Weiterverwendung einen hohen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Die Ergebnisse des Berichtes sollen zum einen Entscheidungsträgern für zukünftiges Handeln richtungsweisend sein, zum anderen interessierten Personen als Informationsquelle zur Verfügung stehen. Letztendlich ist jede einzelne Person gefordert, ihren Beitrag zum Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft zu leisten.

Katrin Eder
Ministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie und
Mobilität

Nur mit einer Senkung der Treibhausgasemissionen in allen Bereichen kann unser Klima geschont und die Klimaerwärmung gebremst werden.

Wir wünschen eine spannende Lektüre!

Dr. Frank Wissmann
Präsident des Landesamtes für Umwelt

1 ZUSAMMENFASSUNG

In dem Projekt „Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft“ wurden die Klimaschutzpotenziale aus sieben verschiedenen Bereichen betrachtet. Basis der Auswertungen sind Daten aus den Jahren 2017 bis 2021 (je nach Verfügbarkeit¹).

Bei den **Elektro- und Elektronikgeräten (EAG)** wurden insbesondere die Kühl- und Gefriergeräte betrachtet. Bei diesen Geräten, die wie Wärmepumpen und Klimageräte zur Gruppe der Wärmeüberträger gehören, kann durch Fassung der oftmals noch klimaschädlichen Kühl- und Treibmittel ein relevanter Klimaschutzbeitrag geleistet werden. Ebenso tragen bei der Entsorgung von EAG zurückgewonnene (Sekundär-)Rohstoffe zu einer CO₂-Einsparung bei. Auch die Wieder- und Weiternutzung von Elektrogeräten ist ein wichtiger Aspekt. Durch die Aufklärung aller Akteure, die Steigerung der Erfassungsmenge sowie die ordnungsgemäße Entsorgung und nicht zuletzt die Förderung der Wieder- und Weiterverwendung kann das Klimaschutzpotenzial der EAG weiter ausgeschöpft werden.

Bei den **Bioabfällen** konnten sowohl in der stofflichen als auch in der energetischen Verwertung bereits geleistete CO₂-Einsparungen identifiziert werden. Neben der Vergärung und Kompostierung wurden auch die Verwendung zur

Bodenverbesserung und die thermische Verwertung von grobstückigem holzigem Material berücksichtigt. Es bestehen vielfältige Potenziale, den positiven Beitrag zum Klimaschutz weiter zu erhöhen. Für die Behandlung von Biotonnenabfällen können die Kapazitäten zur Kaskadennutzung ausgebaut und allgemein die Betriebsweise überprüft und ggf. optimiert werden. Weitere Maßnahmen können durch Zielvorgaben der Landesregierung vorangetrieben werden, bspw. durch die Steigerung der Sammelmenge an Bioabfällen, die Minimierung von Fremdstoffen im Bioabfall und die Substitution von Torf durch Kompost.

Durch die stoffliche und energetische Verwertung von **Kunststoffabfällen** und den Einsatz von Kunststoffrezyklaten in Neuprodukten werden Primärrohstoffe geschont und gegenüber der Produktion aus Rohöl Energie und CO₂-Emissionen eingespart. Das Klimaschutzpotenzial kann durch vielfältige Maßnahmen noch stärker ausgeschöpft werden, wie z. B. durch Steigerung des Einsatzes von Rezyklaten in Produkten, recyclinggerechte Gestaltung von Produkten und Aufklärung der Verbraucher über die Möglichkeiten der Abfallvermeidung sowie der Reduzierung von Fehlwürfen im Hausmüll.

Die energetische Verwertung von **Restabfällen** in Müllheizkraftwerken trägt zu einer umweltverträglichen Entsorgung von Abfällen bei, zum anderen werden Energie und Sekundärrohstoffe gewonnen. Energie aus der Abfallverbrennung kann in Form von Strom, Wärme und

¹ Sofern keine großen Schwankungen zu erwarten waren, wurde jeweils das Jahr mit den vollständigsten Daten verwendet.

Prozessdampf genutzt, Metalle aus den Schlacken als Sekundärrohstoffe zurückgewonnen und der mineralische Teil der Schlacke als Ersatzbaustoff im Straßenbau verwendet werden. Potenziale liegen hierbei noch in der Optimierung des Anlagen-Inputs und der Anlagentechnik, z. B. durch Abnahme der gesamten ausgekoppelten Energie durch benachbarte Industrie/Unternehmen sowie einer optimierten Schlackeaufbereitung.

Im Bereich der **Bau- und Abbruchabfälle** fallen in Rheinland-Pfalz mit Abstand die größten Abfallmassen an. Hier können Maßnahmen zur Vermeidung von Abfällen, z. B. durch Erhaltung bzw. Umnutzung bestehender Gebäude, die Wiederverwendung von Bauteilen und ein intelligentes Bodenmanagement den Anfall an zu entsorgenden Massen reduzieren. Neben der Schonung von Ressourcen geht damit gleichzeitig die Verringerung der Transportkilometer von Bauabfällen und des CO₂-Ausstoßes einher. Die Umsetzung dieser Klimaschutzpotenziale soll durch das „Bündnis Kreislaufwirtschaft auf dem Bau“ und die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand weiter gefördert sowie die Ansätze des Cradle to Cradle oder Urban Minings vorangetrieben werden.

Die rheinland-pfälzischen **Deponien** dienen als Schadstoffsenske für Abfälle, die nicht mehr verwertbar sind und daher dem Kreislauf entzogen und dort abgelagert wurden und werden. Das im Deponiekörper entstehende Deponiegas wird kontrolliert gefasst und meist verstromt. Ob- schon bei den rheinland-pfälzischen Deponien die vorgeschriebene Deponiegasfassung eingerichtet wurde, bestehen noch Optimierungsmöglichkeiten. Durch staatliche Förderprogramme sollen Deponiebetreiber weiterhin in den Bereichen Deponiegasfassung und In-situ-Stabilisierung unterstützt werden, um so einen noch größeren Beitrag zum Klimaschutz leisten zu können.

Mit dem Beratungsförderprogramm **EffCheck** (EffizienzCheck) bietet das Land rheinland-pfälzischen Unternehmen die Chance, ihre Ressourceneffizienz zu optimieren und gleichzeitig Kosten zu senken. Mit der Umsetzung der EffCheck-Maßnahmen können die Unternehmen ökologische und ökonomische Ziele kombinieren und hiermit einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Durch diese etablierte Landesförderung sollen Unternehmen auf dem Weg zur Klimaneutralität unterstützt werden.

Die jährliche Vermeidung klimarelevanter Emissionen² der betrachteten Bereiche kann für Rheinland-Pfalz wie folgt zusammengefasst werden³:

- Energieauskopplung (Strom/Wärme/Prozessdampf) ca. 274.000 t CO₂-eq.
- Erfassung von klimarelevanten Gasen ca. 216.000 t CO₂-eq.
- Verwendung von Sekundärrohstoffen ca. 187.000 t CO₂-eq.
- Ressourceneinsparung durch EffChecks ca. 46.000 t CO₂-eq.

Dies entspricht den jährlichen klimarelevanten Emissionen von etwa 74.500⁴ Einwohnern Deutschlands.

Auch wenn die Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leistet, muss die Abfallvermeidung der erste Schritt sein. Denn grundsätzlich gilt:

Der beste Abfall ist der, der gar nicht erst entsteht. Ein Abfall, der nicht entstanden ist, schont Ressourcen und trägt zum Klimaschutz bei.

Neben dem positiven Klimaeffekt ist aber auch die zentrale Aufgabe der Kreislaufwirtschaft hervorzuheben: Bei der Erzeugung und dem Umgang mit Abfällen muss immer der Schutz von Mensch und Umwelt sichergestellt sein.

2 Für eine bessere Vergleichbarkeit verschiedener Treibhausgasemissionen werden diese entsprechend ihres globalen Erwärmungspotenzials in CO₂-Äquivalente (CO₂-eq.) umgerechnet. CO₂ entspricht dabei dem Wert 1; bspw. Methan wird mit dem Faktor 25 multipliziert (vgl. Memmler et al. (2018), UBA (2021a)).

3 Für den Bereich der Bau- und Abbruchabfälle konnten aufgrund der Datenlage keine konkreten Einsparungen ermittelt werden, daher wird hier in Kapitel 6 auf Einsparpotenziale verwiesen.

4 Berechnet auf Basis von UBA (2021b).

2 ELEKTROALTGERÄTE

2.1 Ausgangssituation

Der zunehmende Einsatz elektrischer und elektronischer Geräte jeglicher Art sowie eine abnehmende Nutzungsdauer der Geräte führen zu einem kontinuierlichen Anstieg der Menge zu entsorgender Elektroaltgeräte.

So sind im Jahr 2019 weltweit ca. 53,6 Mio. t Elektroschrott angefallen, 20 % mehr als noch vor fünf Jahren¹.

Statistisch „produzierte“ in diesem Jahr jeder Bewohner der Erde durchschnittlich 7,3 kg Elektroaltgeräte, in Deutschland sogar 19,4 kg. Somit fielen deutschlandweit eine Gesamtmenge von gut 1,6 Mio. t Altgeräte zur Entsorgung an².

Demgegenüber wurden in 2018 in Deutschland nur insgesamt ca. 850.000 t Elektro- und Elektronikaltgeräte über offizielle Sammel- und Entsorgungssysteme erfasst. Dies bedeutet, dass rund die Hälfte der in der Bundesrepublik angefallenen EAG nicht bzw. nicht ordnungsgemäß gesammelt und verwertet werden.

Unsachgemäß entsorgte Elektrogeräte bedeuten oft nicht nur eine Vermüllung/Verschmutzung der Umwelt, sondern tragen auch zur Klimabelastung

bei. Zum einen dadurch, dass manche Gerätarten klimarelevante Gase enthalten, die bei Freisetzung zur Erderwärmung beitragen, zum anderen durch den Verlust der in den Geräten enthaltenen Materialien, wie Metalle und Kunststoffe. Denn gerade in der Wiedergewinnung sogenannter „Sekundärrohstoffe“ ist ein erhebliches Potenzial zur CO₂-Einsparung enthalten, wie nachfolgend erläutert wird.

Unter den Elektrogeräten nehmen die Wärmeüberträger eine besondere Stellung ein. Zu diesen Geräten gehören insbesondere Kühl- und Gefriergeräte, Ausgabeautomaten mit Kühlfunktion, Wärmepumpen und Klimageräte, die heute immer häufiger zum Einsatz kommen. Auch sie enthalten noch heute klimarelevante Stoffe, weshalb an die Entsorgung dieser Geräte zur Vermeidung von Klimabelastungen besondere Anforderungen zu stellen sind. Deshalb wurde diese Altgerätegruppe für eine Abschätzung des Treibhauspotenzials ausgewählt.

Die meisten Wärmeüberträgergeräte arbeiten nach dem Prinzip der Kompressionskältemaschine. Bei den Kompressionsgeräten können klimarelevante Gase sowohl als Kältemittel im Kühlkreislauf als auch als Treibmittel in den Isolierschäumen enthalten sein. Bis in die 90er Jahre wurden

1 Vgl. Forti et al. (2020), S. 24

2 Vgl. Forti et al. (2020), S. 76, 108

hierzu bevorzugt (vollhalogenierte) Fluorchlor-
kohlenwasserstoffe (FCKW) verwendet, da diese
ungiftig, chemisch stabil und nicht brennbar sind.

Aufgrund ihres Ozonzerstörungs- und Treib-
hauspotenzials wurden diese in Haushaltskühlge-
räten übergangsweise durch die weniger schäd-
lichen teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffe
(HFKW) ersetzt. Als klimaneutrale Alternativen
kommen heute verstärkt sogenannte natürliche
bzw. nicht-halogenierte Kältemittel, wie z. B. Koh-
lenwasserstoffe (KW), Kohlendioxid (CO₂) oder
Ammoniak (NH₃), zum Einsatz. Diese besitzen
kein Ozonabbaupotenzial und nur ein sehr ge-
ringes Treibhauspotenzial, sind allerdings teilweise
brennbar bzw. giftig.

2.2 Klimaschutzbeitrag

Als Grundlage für die Abschätzung des Klima-
schutzbeitrags der in Rheinland-Pfalz entsorgten
Kühlgeräte wurden insbesondere die beiden Stu-
dien „Ökobilanzielle Untersuchung zur Verwer-
tung von FCKW- und KW-haltigen Kühlgeräten“
des Öko-Instituts e. V., Freiburg von 2007 und
2016 (Update) herangezogen³. In diesen Arbeiten
werden die ökologischen Potenziale verschiedener
Entsorgungsverfahren für Wärmeüberträger mit-
einander verglichen.

Ordnungsgemäße Kühlgeräteentsorgung

Es wird davon ausgegangen, dass aktuell noch in
ca. 25 % der gesammelten Geräte (H)FCKW-hal-
tige Kältemittel enthalten sind⁴.

3 Vgl. Dehoust et al. (2007), Schüler und Sutter (Update
2016)

4 Vgl. Mattern (2019), Schwellinger und Dietershagen
(2019), S. 379-391

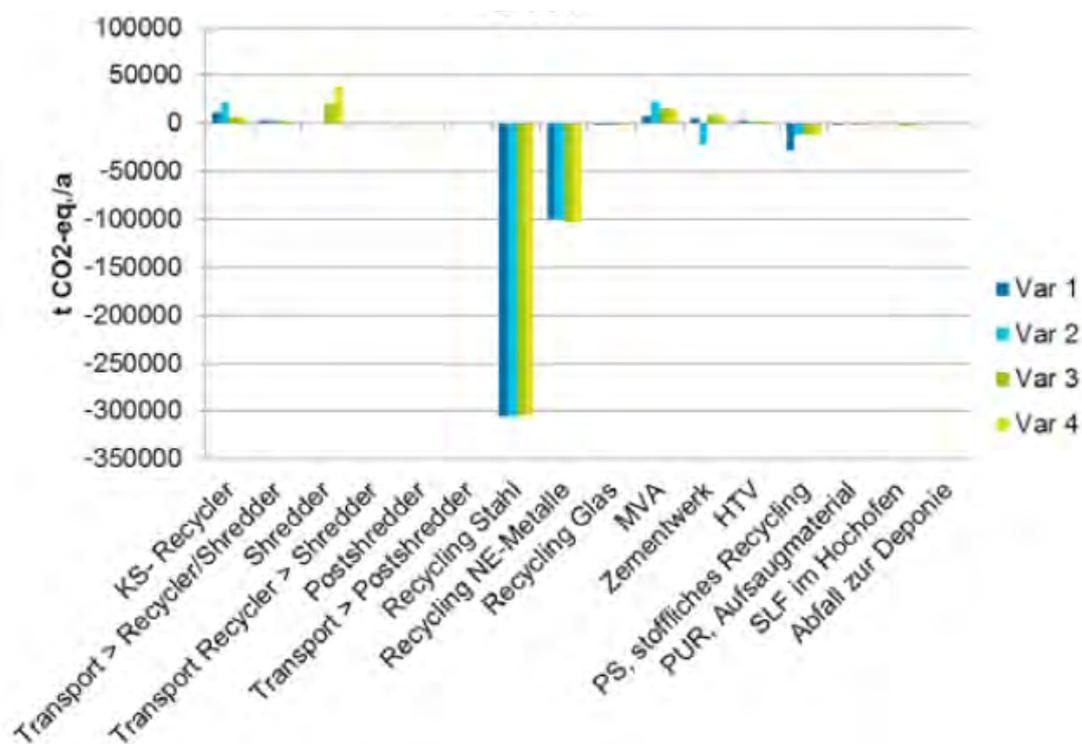


Abb. 1: Treibhauspotenzial nach Prozessschritten (Standardvarianten, 55 % KW-haltige Geräte)
(© Schüler und Sutter)

In 2020 beträgt die zu erwartende Sammelmenge in Rheinland-Pfalz 6.800 bis 8.600 t an Wärmeüberträgern. Hieraus ergibt sich folgender Klimaschutzbeitrag:

Die ordnungsgemäße Entsorgung der rheinland-pfälzischen Kühlgeräte hat im Jahr 2020 einen Beitrag zur CO₂-Einsparung von ca. 23.000 bis 29.000 t CO₂-eq. geleistet.

Dies entspricht etwa dem Ausstoß von klimarelevanten Treibhausgasen, die bei ca. 105 bis 135 Millionen Kilometer Autofahrt freigesetzt werden⁵.

Diese „Einsparungen“ beruhen insbesondere auf den Gutschriften für die bei der Entsorgung zurückgewonnenen (Sekundär-) Rohstoffen. Wie in Abbildung 1 auf der vorigen Seite gut zu erkennen ist, haben die Metalle hieran den größten Beitrag (negative Werte = Gutschrift).

Ein noch größerer Beitrag zum Klimaschutz erfolgt aktuell durch Rückhaltung der in den Altgeräten enthaltenen Kühl- und Treibmittel. Diese zurzeit noch oftmals klimaschädlichen Gase werden in den Entsorgungsanlagen aufgefangen und anschließend umweltgerecht entsorgt.

Durch diese Rückhaltung der Kühl- und Treibmittel aus der rheinland-pfälzischen Kühlgeräteentsorgung wurde im Jahr 2020 die Freisetzung von ca. 96.000 bis 121.000 t CO₂-eq. vermieden.

Zu beachten ist, dass dieser Wert im Laufe der nächsten Jahre durch ein deutlich geringeres Treibhauspotenzial moderner KW-Kühlgeräte, im Vergleich zu den FCKW-Geräten⁶, merklich sinken wird.

5 eigene Berechnung anhand Umrechnungsfaktor gemäß UBA (2021c) Emissionstabelle Personenverkehr: 215,6 g CO₂-eq./km

6 FCKW-Gerät ca. 2.800 kg CO₂-eq.
KW-Gerät ca. 1,28 kg CO₂-eq.

Eigene Berechnung, Grundlage: durchschnittliche Kühl- und Treibmittelmengen aus Dehoust et al. (2007), Schüller und Sutter (Update 2016), Global Warming Potential (GWP) 100 aus Schwellinger und Dietershagen (2019), S. 379-391

Illegale Entsorgung

Rund jedes zweite in Deutschland anfallende EAG wird nicht ordnungsgemäß entsorgt.

Hierunter fallen insbesondere die illegal ins Ausland verbrachten Geräte. Eine Abschätzung der dadurch freigesetzten Menge an CO₂-Äquivalenten konnte aufgrund fehlender Daten nicht erfolgen.

Teilweise werden auch Geräte zur Entsorgung gegeben, deren Kühlkreislauf defekt ist oder aufgrund illegaler Beraubung des kupferhaltigen Kompressors bereits entleert ist. Dadurch werden in Rheinland-Pfalz derzeit schätzungsweise 2.800 bis 3.600 t CO₂-eq. verursacht.



Abb. 2: Auto mit EAG für den illegalen Export (© SAM)



Abb. 3: Kühlgeräte, mit und ohne Kompressor (© LfU)

Wieder- und Weiterverwendung

Auch die Wieder- und Weiterverwendung, also die Nutzung von Gebrauchtgeräten sowie die längere Verwendung von Elektrogeräten, leistet einen deutlichen Beitrag zum Klimaschutz. Allerdings geht der Trend eher in Richtung kürzerer Nutzungszeiten, auch wenn die technisch mögliche Lebenszeit eines Gerätes noch lange nicht ausgeschöpft ist. Dadurch werden große Mengen an Energie und Ressourcen beansprucht, deren Bereitstellung wiederum mit erheblichen Klimabelastungen verbunden ist.

Durch die Komplexität der Wieder- und Weiterverwendung von EAG ist es schwierig, eine seriöse Schätzung des Klimaschutzbeitrags vorzunehmen. Sie hängt von vielen Faktoren ab, wie Art, Qualität, Alter, Zustand und Energieeffizienz des Gerätes. Zudem spielen auch das Vorhandensein eines Marktes, Innovationszyklen oder die Verfügbarkeit von Ersatzteilen und Reparaturbetrieben eine entscheidende Rolle.

Beispielhaft sei auf die Studie des Öko-Instituts Freiburg zum Einfluss der Nutzungsdauer von u. a. Waschmaschinen auf ihre Umweltwirkung⁷ hingewiesen.

Obwohl die kürzer genutzten Waschmaschinen eine aktuellere und damit bessere Energieeffizienz aufweisen als die länger genutzten Geräte zeigte sich, dass die negativen Umweltauswirkungen der kürzer genutzten Geräte bei allen untersuchten Umweltindikatoren in der Summe höher waren, als bei durchschnittlich und länger genutzten Geräten. Beim Treibhauspotenzial macht die Herstellung den Hauptunterschied. Die kürzer genutzten Waschmaschinen verursachen hier ca. das Dreifache an CO₂-eq. Die vergleichsweise geringen Stromeinsparungen durch eine bessere Energieeffizienz können diesen Beitrag nicht ausgleichen.

Dieses Ergebnis lässt sich jedoch nicht verallgemeinern. Insbesondere bei energieintensiven Geräten, wie z. B. Kühlgeräten, die rund um die Uhr betrieben werden, macht sich der Stromverbrauch über die Lebensdauer entsprechend deutlicher bemerkbar, wie das Beispiel in der nachfolgenden Tabelle zeigt:

Tab. 1: Stromverbrauch in kWh in 20 Jahren⁸

	Waschmaschine	Kühlgerät
alt (lange Nutzung)	4.860	6.600
neu	4.545	1.800
Differenz	315	4.800

Fazit der Studie war, dass die Nutzung eines Gerätes bis zum Ende seiner technischen Lebensdauer in den meisten Fällen ökologisch vorteilhaft ist. Allerdings kann insbesondere bei energieverbrauchsrelevanten Geräten auch ein früherer Austausch ökologisch und ökonomisch sinnvoll sein. Auch Altgeräte mit einem hohen Schadstoffpotenzial⁹ sollten statt einer Wiederverwendung besser der ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt werden.

2.3 Klimaschutzmaßnahmen

Die Abschätzungen im vorherigen Kapitel zeigen, dass eine Steigerung der Sammelmengen, eine Vermeidung der illegalen Entsorgung und eine Erhöhung der Nutzungsdauer durch Wieder- und Weiterverwendung von EAG einen hohen Beitrag zum Klimaschutz leisten können.

Um diesen Beitrag weiter zu steigern, ist es wichtig alle Akteure für die Klimarelevanz von Elektrogeräten zu sensibilisieren.

Die Sensibilisierung für diese Thematik muss bei den Herstellern und Vertriebern beginnen und die Verbraucherinnen und Verbraucher als Nutzer sowie die Reparaturbetriebe, Sammler und Entsorger einbeziehen.

⁸ Werte aus Prakash et al. (2016), umgerechnet aus MJ

⁹ z. B. Flachbildschirme mit quecksilberhaltiger Hintergrundbeleuchtung

⁷ Vgl. Prakash et al. (2016), S. 243ff

Steigerung der Sammelquote

Zur Steigerung der Sammelquote ist es wichtig auch solche EAG zu erfassen, die zur Zeit keiner ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt werden. In der Behandlung dieser Geräte in Anlagen nach dem Stand der Technik liegt ein erhebliches Potenzial für den Klimaschutz. Um dieses Klimapotenzial zu erschließen sind verstärkte Kontrollen notwendig. Aber auch wir Verbraucherinnen und Verbraucher sind gefordert, Altgeräte ordnungsgemäß und nicht illegal zu entsorgen.

Es sollte daher eine Selbstverständlichkeit sein, EAG bei einer „berechtigten“ Sammelstelle, wie insbesondere bei einem Wertstoffhof des öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgers (öRE) oder bei Elektrohändlern¹⁰, abzugeben.

Mindestens genauso wichtig ist es zu wissen, wohin Altgeräte NICHT gehören.

Elektroaltgeräte NICHT in den Restmüll werfen und grundsätzlich NICHT an gewerbliche Sammler oder Schrotthändler abgeben!

Nach dem Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) sind EAG einer vom Restmüll getrennten Erfassung zuzuführen¹¹, nicht zuletzt, um aus den Geräten Rohstoffe für die Herstellung neuer Produkte zu gewinnen.

Auch die Abgabe der Elektroaltgeräte an gewerbliche Sammler oder Schrotthändler ist nicht legal, da diese im Allgemeinen nicht zur Annahme solcher Geräte berechtigt sind, und bei diesen "Entsorgungswegen" die Wahrscheinlichkeit einer ungeordneten und damit umweltgefährdenden Entsorgung groß ist.

¹⁰ Wer im Einzelfall noch berechtigt ist EAG zu sammeln, ist im ElektroG geregelt.

¹¹ Gemäß § 10 ElektroG haben Besitzer von Altgeräten diese einer vom unsortierten Siedlungsabfall getrennten Erfassung zuzuführen.

Für das Ziel, die Sammelquoten zu steigern und die ungeordnete Entsorgung von EAG zu verhindern, müssen die Bedeutung der ordnungsgemäßen Entsorgung von EAG für den Klimaschutz sowie die negativen Auswirkungen illegaler Entsorgung kommuniziert werden. Über geeignete Möglichkeiten der besseren Öffentlichkeitsaufklärung und -information wird die Landesregierung Gespräche mit u. a. dem Landkreis-/Städtetag sowie den Handwerkskammern und Handelsverbänden führen.

Wieder- und Weiterverwendung stärken

Insbesondere die längere Nutzung sowie die Wiederverwendung von (aufbereiteten) Altgeräten trägt in vielfältiger Weise zum Umweltschutz bei. Eine längere Nutzung erzeugt keine zusätzlichen Umweltbelastungen und bei der Wiederverwendung bleibt die einmal in die Geräteherstellung investierte Energie weitestgehend erhalten.

Warum also nicht bei einem der mittlerweile zahlreichen (Internet-) Gebrauchtgeräte-Händler ein gebrauchtes Handy oder einen professionell aufbereiteten Laptop statt eines Neugerätes kaufen und dadurch neben der Umwelt auch noch den eigenen Geldbeutel entlasten?

Um die Wieder- und Weiterverwendung voranzubringen ist es notwendig, alle Beteiligten umfassend, z. B. über den Zusammenhang zwischen der Nutzungsdauer und den verursachten Umwelt- bzw. Klimabelastungen eines Gerätes, aufzuklären und für das Thema zu sensibilisieren.

Den Grundstein für die Wiederverwendung legen die Betreiber der EAG-Rücknahmestellen, da bereits hier geeignete Geräte separiert werden müssen. Hersteller entscheiden über die Langlebigkeit und Reparierbarkeit der Geräte und das Handwerk ist u. a. für die Ausbildung der künftig benötigten Reparaturfachkräfte zuständig.

Diese und weitere Akteure sollen über die entsprechenden Verbände (Handwerkskammern, Landkreis-/Städtetag, Handelsverbänden, etc.) durch das Land angesprochen und informiert werden.

Die Weiterverwendung, also längere Nutzung von Elektro- und Elektronikgeräten, liegt vor allem in der Hand der Verbraucherinnen und Verbraucher. WIR entscheiden z. B. nach zwei Jahren ein neues Handy anzuschaffen – oder eben das „alte“, im Allgemeinen noch intakte Gerät – weiter zu nutzen. Kurz gesagt:

Weiternutzung: Mehr Abfallvermeidung und Klimaschutz geht nicht!

Generell gilt es bei allen Beteiligten den Gedanken der Nachhaltigkeit mehr ins Bewusstsein zu bringen, so dass langlebige und reparaturfreundliche (gebrauchte) Geräte häufiger angeboten und auch nachgefragt werden. Dazu müssen auch die Rahmenbedingungen wie z. B. längere Verfügbarkeit von Ersatzteilen beim Hersteller oder flächendeckend geeignete Reparaturwerkstätten vorhanden sein. Ebenso muss die ordnungsgemäße Entsorgung wirklich ausgedienter Geräte eine Selbstverständlichkeit sein.

Würden Geräte länger verwendet und öfter repariert statt entsorgt, würde dies neben einer Reduzierung der Altgerätemenge auch den (illegalen)

Export von EAG und die Umweltbelastungen in anderen Regionen der Erde vermindern. Um die Weiterverwendung von Geräten voranzubringen hat der Gesetzgeber mit Ökodesign-Verordnungen für verschiedene Gerätearten Vorgaben geschaffen, die eine bessere Reparierbarkeit sicherstellen sollen, so z. B. durch die Verpflichtung der Hersteller über einen vorgegebenen Zeitraum bestimmte Ersatzteile vorzuhalten und Reparatur- und Wartungsanleitungen zur Verfügung zu stellen.

„Neue“ Wärmeüberträger

Nicht unerwähnt bleiben sollen auch „neuere“ Arten von Wärmeüberträgern, wie z. B. Wärmepumpentrockner und Klimageräte, die immer weitere Verbreitung finden. In Neubauten ist der Einsatz von Wärmepumpen und Klimaanlage stark im Kommen und auch die stetig an Zahl und Größe wachsenden EDV-Zentren benötigen Kühlanlagen für ihre Server. Gerade in Wärmepumpen und Klimaanlage werden auch heute noch klimarelevante Gase eingesetzt, so dass die Entsorgung dieser Gerätearten zukünftig dringend in ordnungsgemäße Bahnen gelenkt werden muss.



Abb. 4: Klimageräte an einer Hausfassade (© Pixabay)

3 BIOABFÄLLE

3.1 Ausgangssituation

Zu den in diesem Kapitel betrachteten Bioabfällen zählen alle organischen Abfälle aus privaten Haushalten. Es wird unterschieden zwischen küchenstämmigen Abfällen, wie Lebensmittelabfällen und Speiseresten, und Gartenabfällen.

Die haushaltsnahe Getrenntsammlung von Bioabfällen begann in den 1980er Jahren und wurde 2015 mit dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) deutschlandweit verpflichtend eingeführt.

Für küchenstämmige Abfälle erfolgt die Getrenntsammlung in der Regel über die haushaltsnahe Biotonne. In einigen Regionen ist ein Bringsystem eingerichtet.

Gartenabfälle aus privaten Haushalten werden über die Biotonnen und spezielle Grünschnittsammelaktionen gesammelt, oder auch an Wertstoffhöfen und Grünschnittsammelstellen entgegengenommen.

Im Jahr 2018 wurden in Deutschland über die Getrenntsammlungssysteme der öRE fast 10 Mio. t Bioabfälle erfasst. Dies entsprach 2018 einem durchschnittlichen Pro-Kopf-Aufkommen von 120 kg je Einwohner.

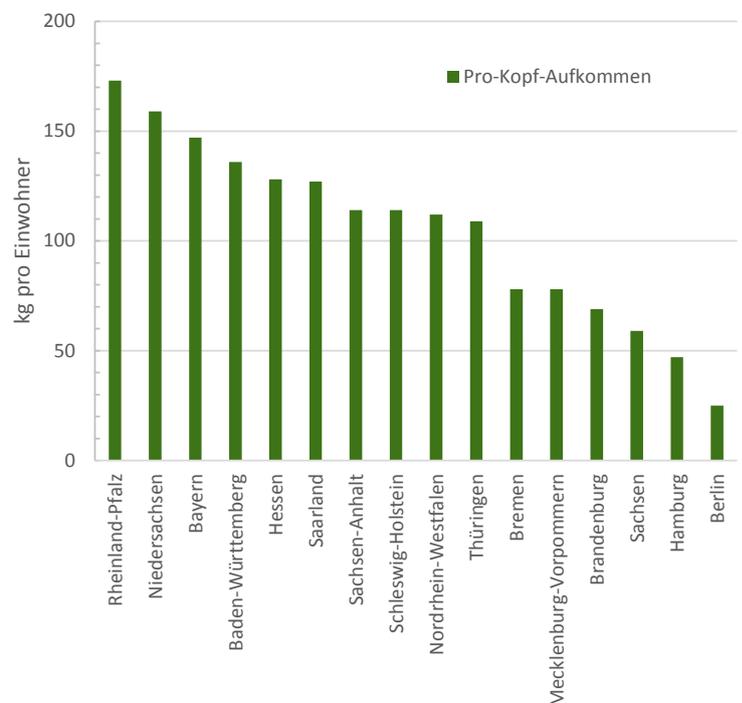


Abb. 5: Getrennt gesammelte organische Abfälle nach Bundesländern in 2018 (Daten: Statistisches Bundesamt (2021))

Im Vergleich der Bundesländer ist Rheinland-Pfalz seit 2015 Spitzenreiter bei den getrennt erfassten organischen Abfällen pro Einwohner. Diese lagen 2018 bei 173 kg pro Einwohner (vgl. Abbildung 5).

3.2 Bioabfallbehandlung

In Abbildung 6 sind die rheinland-pfälzischen Verwertungswege der Biotonnenabfälle und der Gartenabfälle in absoluten Mengen (in t) und Anteilen (in %) für das Jahr 2018 abgebildet.

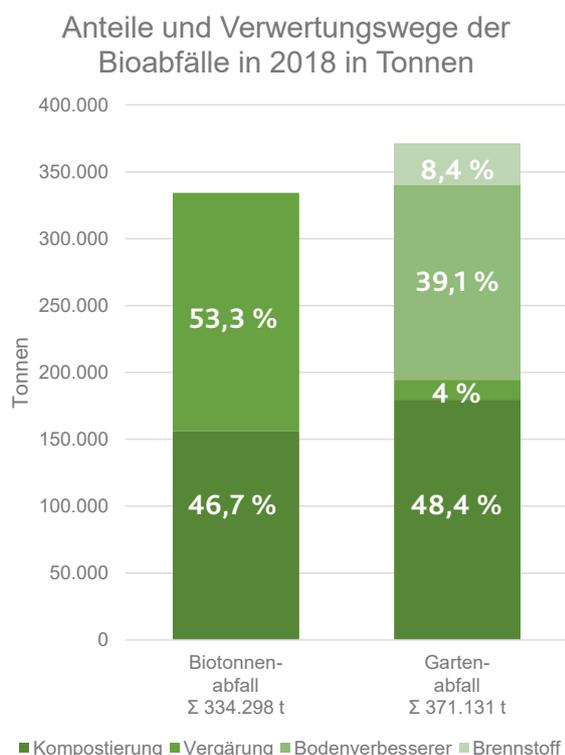


Abb. 6: Verwertungswege der Biotonnen- und Gartenabfälle in Rheinland-Pfalz 2018 (Daten aus Landesabfallbilanz Rheinland-Pfalz 2018)

Zu den gängigen Behandlungsmethoden von Biotonnenabfällen zählen die Vergärung und die Kompostierung.

Bei den Gartenabfällen wird krautiges Material wie Rasen und Laub primär kompostiert, geringere Mengen auch vergoren. Holzige Gartenabfälle werden als Strukturmaterial bei der Kompostierung eingesetzt bzw. geschreddert und zur Bodenverbesserung in der Landwirtschaft verwendet, oder als Brennstoff (heizwertreiche Fraktion) zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt.

Vergärung

Bei der Vergärung handelt es sich um eine Behandlungsmethode von Bioabfällen mit dem Ziel der Biogaserzeugung. Diese Form der energetischen Verwertung trägt durch die anschließende Nutzung des Biogases zur Reduktion von Treibhausgasen bei.

Sehr gut geeignet sind leicht abbaubare und energiereiche, küchenstämmige Abfälle, die von Bakterien unter Ausschluss von Sauerstoff (anaerober Prozess) abgebaut werden.

Bei der Vergärung von Bioabfällen entsteht Biogas. Dieses brennbare Gas wird aufgefangen und entweder zur Stromerzeugung genutzt oder aufbereitet und in das Gasnetz eingespeist. Die bei der Verstromung entstehende Wärme wird üblicherweise als Prozesswärme genutzt und/oder in ein Nahwärmenetz eingespeist.

Je nach Vergärungsmethode entstehen flüssige und/oder feste Gärreste. Nach entsprechender Behandlung dieser Gärreste können sie als Flüssigdünger oder Kompost stofflich verwertet werden.

Die Mehrfachnutzung durch energetische Verwertung (Biogaserzeugung) und anschließende stoffliche Nutzung durch Behandlung und Verwendung der Gärreste, bezeichnet man auch als Kaskadennutzung.¹

Kompostierung

Die Kompostierung ist eine Behandlungsmethode mit dem Ziel der Komposterzeugung. Die Nutzung von Kompost, z. B. als Düngemittel in der Landwirtschaft, gilt als stoffliche Verwertung und trägt zum Natur- und Klimaschutz bei.

¹ Vgl. Kern et al. (2010), Knappe et al. (2019), Knappe et al. (2012), Raussen und Kern (2016)

Bei der Kompostierung werden die organischen Bestandteile der Bioabfälle von Bodenlebewesen (Mikroorganismen) abgebaut, welche Sauerstoff aus der Luft benötigen (aerober Prozess).

Abhängig von der Kompostierungsdauer entstehen Frischkomposte oder Fertigkomposte. Fein abgeseibte Fertigkomposte mit begrenztem Gehalt an löslichen Pflanzennährstoffen werden als Substratkomposte zur Herstellung von Pflanzern verwendet.

Zu den positiven stofflichen Eigenschaften von Komposten zählen u. a.:

- die Humusproduktion mit verbesserter Wasser- und Nährstoffspeicherung im Boden,
- die Düngewirkung mit Einsparung von mineralischem Dünger und
- das Potenzial zur Substitution von Torf.²

² Vgl. Kern et al. (2010), Knappe et al. (2012), Springer (2010a)

Bodenverbesserung

Zur Bodenverbesserung wird holziges Material geschreddert und zum Nutzen der Landwirtschaft oder zur ökologischen Verbesserung aufgebracht, um die Bodenstabilität zu fördern.

Thermische Verwertung

Heizwertreiche Fraktionen wie z. B. grobstückiges holziges Material oder der Siebüberlauf von Grün- gutkompostierungsanlagen werden in Biomasse(heiz)kraftwerken als Brennstoff eingesetzt. Man spricht hierbei von einer thermischen Verwertung.



Abb. 7: Grüngut und Kompost (© VHE)

Hochwertige Verwertung

Eine umfassende Nutzung der wertgebenden Eigenschaften des Bioabfalls bei gleichzeitiger Wahrung von hohen Emissionsstandards bezeichnet man als hochwertige Verwertung.

Beispielsweise gilt die Verwertung der küchenstämmigen Abfälle als besonders hochwertig bei Beachtung folgender Punkte:

1. Kaskadennutzung mit
2. hohen Emissionsstandards,
3. hohen energetischen Wirkungsgraden der Anlage und
4. Herstellung von Fertigkomposten mit hochwertiger Verwertung.³

3.3 Klimaschutzbeitrag

Die Bioabfallverwertung leistet insgesamt einen positiven Beitrag zur Reduktion von klimaschädlichen Treibhausgasen. Durch den mikrobiellen Abbau der organischen Stoffe entstehen allerdings auch klimarelevante Gase, welche zu geringen Teilen nicht gefasst werden können.

Zu den relevantesten Emissionen zählen kohlenstoffhaltige Verbindungen, wie Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) sowie stickstoffhaltige Verbindungen, wie Lachgas (N₂O) als direkt oder Ammoniak (NH₃) als indirekt wirksames Treibhausgas.

Da das entstehende Kohlendioxid nicht fossilen Ursprungs ist und bei der Bildung der Biomasse assimiliert wurde, werden die CO₂-Emissionen als nicht klimawirksam betrachtet.⁴

³ Vgl. Knappe et al. (2019)

⁴ Vgl. Cuhls et al. (2015), Kehres et al. (2010)

Energetische Verwertung

In Rheinland-Pfalz wurden im Jahr 2018 gut 53 %⁵ der Biotonnenabfälle einer Vergärungsanlage zugeführt. Durch zwei weitere in Betrieb genommene Vergärungsanlagen steigt die Kaskadennutzung in Rheinland-Pfalz ab 2021 voraussichtlich auf ca. 60 % und liegt deutlich über dem Bundesdurchschnitt von schätzungsweise 33 %⁶.

Durch die Behandlung in Vergärungsanlagen und die Verstromung des gewonnenen Biogases sowie die Wärmenutzung wurden etwa 5.000 t CO₂-eq. im Jahr 2018 eingespart.⁷

Die heizwertreiche Fraktion und die Siebüberläufe einiger Grüngutkompostierungsanlagen betragen etwa 32.000 t (in 2018) und wurden als Brennstoff in Biomasse(heiz)kraftwerken eingesetzt.

Durch die thermische Verwertung der grobstückigen holzigen Brennstoffe und dem daraus erzeugten Strom wurden etwa 24.000 t CO₂-eq. eingespart.⁸

Stoffliche Verwertung

Im Jahr 2018 wurden in Rheinland-Pfalz etwa 18.000 t flüssiger Gärrest und 132.000 t Kompost erzeugt.⁹

Der flüssige Gärrest ersetzt mineralischen Dünger in der Landwirtschaft und spart dadurch etwa 1.000 t CO₂-eq. ein.¹⁰

⁵ Vgl. LfU et al. (2020), S. 92

⁶ Vgl. Knappe et al. (2019), S. 73f

⁷ Vgl. LfU et al. (2020), S. 92

⁸ eigene Abschätzung basierend auf LfU et al. (2020), S. 43 in Verbindung mit Daten der öRE die im Rahmen der Siedlungsabfallbilanz erhoben werden sowie Richter et al. (2019), S. 37

⁹ eigene Auswertung basierend auf LfU et al. (2020) und LfU und Witzenhausen-Institut (2019)

¹⁰ eigene Abschätzung basierend auf Raussen und Kern (2016), S. 13 und Springer (2010b) S. 14 sowie LfU et al. (2020)

Die Abnehmer von Komposten wie etwa Landwirtschaft oder Erdenwerk sind grob abschätzbar, aber der eigentliche Verwendungszweck wie Humusreproduktion, Substitution von mineralischem Dünger oder Torf ist nicht immer eindeutig abgrenzbar. Teilweise werden auch mehrere Verwendungszwecke erfüllt.

Die spezifischen Treibhausgaseinsparungen je Tonne Kompost für den jeweiligen Verwendungszweck sind sehr unterschiedlich. Die höchste Einsparung je Tonne Kompost ergibt sich aus der Torfsubstitution, diese ist mehr als 10-mal höher als die Substitution von mineralischem Dünger.¹¹

Insgesamt wurden durch den Einsatz von Komposten etwa 10.000 t CO₂-eq. eingespart, davon entfielen etwa 45 % auf den Verwendungszweck Humusreproduktion und 41 % auf die Substitution von mineralischem Dünger.¹²

Die Abschätzung der Emissionseinsparung durch die Verwendung von Kompost basiert auf Annahmen und unterliegt entsprechenden Unsicherheiten.

Energiebilanz

In Rheinland-Pfalz wurden 2018 durch die energetische und stoffliche Verwertung der Biotonnen- und Gartenabfälle etwa 40.000 t CO₂-eq. eingespart; davon entfallen auf:

- Vergärung: 5.000 t CO₂-eq.
- Holzige Brennstoffe: 24.000 t CO₂-eq.
- Flüssige Gärreste: 1.000 t CO₂-eq.
- Komposte: 10.000 t CO₂-eq.

11 abgeleitet aus Schneider et al. (2019), Springer (2010a) und BGK (2010)

12 eigene Abschätzung basierend auf Bidlingmaier et al. (2012), BGK (2017), Hüttner et al. (2019), Schneider et al. (2019), Springer (2010a&b), LfU et al. (2020)

Dem gegenüber stehen etwa 30.000 t CO₂-eq.¹³ Emissionen für die Behandlung, Lagerung und Ausbringung von Komposten und Gärprodukten.

Die Bilanz der Bioabfallbehandlung ist demnach positiv.

3.4 Klimaschutzmaßnahmen

Die Abschätzungen im vorherigen Abschnitt zeigen, dass die Bioabfallverwertung in Rheinland-Pfalz einen kontinuierlichen Beitrag zur Vermeidung von Treibhausgasen leistet und eine positive Bilanz aufweist.

Dennoch kann das Klimaschutzpotenzial durch geeignete Maßnahmen noch weiter ausgeschöpft werden.

Vergärungskapazitäten erhöhen

So wird beispielsweise die Kaskadennutzung durch die Fortschreibung des Klimaschutzkonzeptes des Klimaschutzministeriums¹⁴ aus 2020 weiter vorangetrieben. Eine entsprechende Schwerpunktsetzung bei der Förderrichtlinie des Klimaschutzministeriums zielt auf den Neubau und die Modernisierung von Bioabfallvergärungsanlagen.¹⁵

13 eigene Abschätzung basierend auf den Medianwerten nach Cuhls et al. (2015), S. 137 und unter der Annahme gleichbleibender Randbedingungen sowie der entsprechenden Mengenverhältnisse gemäß LfU et al. (2020)

14 Link zum Klimaschutzkonzept RLP: https://mkuem.rlp.de/de/service/publikationen/detail/?tx_rlppublications_detail%5Bpublication%5D=2049&tx_rlppublications_detail%5Bpage%5D=1&tx_rlppublications_detail%5Baction%5D=show&tx_rlppublications_detail%5Bcontroller%5D=Publication&cHash=8ef6c969ae4c4e16f101b1ba9e237256

15 Link zur Förderung von Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft und des Bodenschutzes: <https://mkuem.rlp.de/en/themen/klima-und-ressourcenschutz/foerderung-von-massnahmen-der-kreislaufwirtschaft-und-des-bodenschutzes/>

Anlagen- und Betriebsoptimierung

Generell führt eine angepasste Betriebsweise der Behandlungsanlage zur Reduzierung klimarelevanter Gase und senkt insbesondere bei Vergärungsanlagen den Eigenenergiebedarf. Für die Optimierung der Anlagen, z. B. Reduktion von Methanschluß im System, ist eine individuelle Betrachtung erforderlich. Rheinland-Pfalz bietet mit der Förderrichtlinie EffCheck (s. Kapitel 8) eine Unterstützung bei der technischen und betrieblichen Optimierung an, um die Potenziale von emissionsmindernden Maßnahmen zu identifizieren und zu nutzen.

Sammelmengen steigern

Allgemein ist eine Umlenkung der organischen Abfälle aus der Restabfalltonne in die Biotonne möglich. Zudem besteht in einigen rheinland-pfälzischen Gebietskörperschaften ein Steigerungspotenzial der Sammelmengen durch die Erhöhung des Anschlussgrades an die Biotonne. Die ohne Qualitätsverluste realisierbaren Mehrmengen werden insgesamt auf 18.000 t bis 32.000 t geschätzt.

Durch Vergärung und anschließende stoffliche Verwertung dieser Mehrmengen ergeben sich zusätzliche Einsparungen in Höhe von 800 t bis 1.400 t CO₂-eq.

Durch geeignete Zielvorgaben der Landesregierung soll dieses Potenzial zukünftig besser erschlossen werden.

Fremdstoffe minimieren

Qualitativ hochwertiger und vermarktungsfähiger Kompost und Gärrest muss weitgehend frei von Fremdstoffen sein. Insbesondere Kunststoffe und Glas sind teilweise in großen Mengen enthalten. Zur Ausschleusung der Fremdstoffe sind zum Teil aufwändige technische Verfahrensschritte notwendig. Damit wird der Eigenenergieverbrauch erhöht und anhaftendes organisches Material wird einer hochwertigen Verwertung entzogen.

Das effektivste Mittel zur Reduzierung der Fremdstoffe ist eine intensive Öffentlichkeitsarbeit durch die öRE. Neben der individuellen Öffentlichkeitsarbeit bietet sich eine Beteiligung an bundesweiten Initiativen wie „Aktion Biotonne“ und „Wir für Bio“ an. Das Land unterstützt die öRE durch verschiedene Angebote. So organisiert das LfU regelmäßig Netzwerkpartnertreffen zum kommunalen Stoffstrommanagement. Ferner stellt das LfU eine Anwendung zur kostenlosen Erstellung von zielgruppenspezifischen und mehrsprachigen Abfalltrennhilfen zur Verfügung.

Förderung der Torfsubstitution

Die hohen spezifischen Einsparungen bei der Substitution von Torf verdeutlichen den Stellenwert der hochwertigen Verwertung in diesem Bereich.

Initiiert durch die Torfminderungsstrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft werden derzeit Torfalternativen evaluiert, um die Torfsubstitution gezielt voranzutreiben.

Die Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen werden im Rahmen von Netzwerkpartnertreffen oder anderen Veranstaltungen kommuniziert, um auf diese Weise möglichen Hemmnissen beim Einsatz von Torfersatzstoffen entgegenzuwirken.

4 KUNSTSTOFFABFÄLLE

4.1 Ausgangssituation

Kunststoffe stellen einen wichtigen Bestandteil unseres modernen Lebens dar und sind aufgrund ihrer vielfältigen Einsatzmöglichkeiten aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Das spiegelt sich auch in den Produktionsmengen wider. Lag in den 50er Jahren die weltweite Kunststoffproduktionsmenge noch bei 1,5 Mio. t, so ist sie im Jahr 2019 bereits auf 368 Mio. t angestiegen¹.

Kunststoffe, die am Ende ihrer Nutzungsdauer nicht einer ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt werden, sondern in der Umwelt verbleiben, zerfallen dort in immer kleinere Partikel (sog. Mikro- und Nanoplastik).

Die Folgen durch Kunststoffabfälle in der Umwelt sind in den letzten Jahren vermehrt ins öffentliche Bewusstsein gerückt: Plastikmüllteppiche im Meer, die so groß sind wie ein ganzer Kontinent, und Vögel und Meerestiere, die sich in alten Fischernetzen verfangen oder verenden, weil sie Kunststoffpartikel für Nahrung halten. Die Vermüllung von Stränden und der gesamten Landschaft u. a. durch das achtlose Wegwerfen von Kunststoffabfällen, haben weitreichende Folgen. Ändern wir nichts an dieser Situation, so wird nach Angaben der Ellen MacArthur Foundation (2016) bis 2050 mehr Plastik als Fische in unseren Meeren schwimmen.



Abb. 8: Plastikmüll am Strand (© Kochneva Tetyana)

Aus Gründen des Umwelt- und Klimaschutzes hat es sich die Europäische Union mit dem Green Deal und der Kunststoffstrategie zur Aufgabe gemacht, zukünftig verstärkt Kunststoffe in einem möglichst geschlossenen Kreislauf zu führen. Neben der Stärkung von Mehrwegsystemen sollen u. a. das Recycling vorangetrieben und der Rezyklateinsatz von Kunststoffen in Produkten erhöht werden. Hierauf hat der deutsche Gesetzgeber bereits reagiert und höhere Verwertungsquoten für Kunststoffverpackungen gefordert. Nach § 16 Verpackungsgesetz sind Kunststoffverpackungen zu mindestens 90 Masse-% einer Verwertung zuzuführen, wovon mindestens 70 % durch werkstoffliche Verwertung sicherzustellen sind. Zudem sollen Produkte so gestaltet werden, dass sie zu einem möglichst hohen Prozentsatz recycelt werden können (Stichwort: Design for Recycling).

¹ Vgl. Statista (2021)

Kunststoffproduktion und -abfälle in Deutschland

Die Kunststoffproduktion (Neuware) in Deutschland betrug im Jahr 2019 insgesamt 10,3 Mio. t. Der Großteil der Kunststoffe wird im Verpackungs- und Baubereich eingesetzt (zusammen mehr als 50 %).

Bei kurzlebigen Produkten (z. B. Verpackungen) beträgt die Nutzungsdauer teilweise nur wenige Tage, bei langlebigen Produkten (z. B. Kunststoffrohre im Baubereich) bis zu 80 Jahren. Das spiegelt sich auch in dem Abfallaufkommen wider: Während Kunststoffverpackungen knapp ein Drittel des Kunststoffverbrauches ausmachen, beträgt ihr Anteil am Kunststoffabfallaufkommen fast 60 %².

Im Jahr 2019 wurden insgesamt 6,28 Mio. t Kunststoffabfälle in Deutschland gesammelt und einer stofflichen oder energetischen Verwertung zugeführt. Davon sind rund 85 % bei gewerblichen Endverbrauchern sowie in Privathaushalten (Post-Consumer-Abfälle) angefallen³. Die restlichen Mengen fielen bei der Herstellung und vor allem bei der Verarbeitung der Kunststoffe an.

Verwertung von Kunststoffabfällen



Abb. 9: Kunststoffabfälle in einem Recyclingbetrieb (© LfU)

In Deutschland gibt es drei Verwertungswege für Kunststoffabfälle: werkstofflich, rohstofflich und energetisch.

² Vgl. Conversio Market & Strategy GmbH (2020a)

³ Vgl. Conversio Market & Strategy GmbH (2020a)

(Werk)stoffliche Verwertung

Die werkstoffliche Verwertung, auch Recycling genannt, beinhaltet u. a. das Trennen der einzelnen Kunststoffsorten, das Mahlen und anschließende Umschmelzen in Regranulat.

Rohstoffliche Verwertung

Die rohstoffliche Verwertung (auch chemisches Recycling genannt) bezeichnet die Umwandlung der Kunststoffpolymere in ihre chemischen Grundbausteine (sog. Monomere) z. B. durch Pyrolyse, Vergasung oder Verflüssigung.⁴

Werkstoffliche und rohstoffliche Verwertung werden unter dem Begriff Recycling zusammengefasst, wobei der Anteil der rohstofflichen Verwertung derzeit mit etwa 1 % noch gering ist⁵.

Energetische Verwertung

Bei der energetischen Verwertung werden die Kunststoffabfälle verbrannt und deren Energie genutzt. Das kann sowohl in Müllheizkraftwerken als auch in sonstigen Kraftwerken und in der Zementindustrie als Ersatzbrennstoff erfolgen. Dabei substituiert der Kunststoff einen Teil des Brennstoffes. Die energetische Verwertung kommt immer dann zum Einsatz, wenn Kunststoffabfälle aufgrund ihrer Heterogenität oder Verunreinigungen aus technischen Gründen stofflich nicht recycelt werden können oder es wirtschaftlich nicht zumutbar ist.

Verwertungsquoten

In Deutschland wurden 2019 insgesamt 99 % der erfassten Kunststoffabfälle verwertet, davon ca. 46 % stofflich und ca. 53 % energetisch. Dies gilt für die Verwertung von allen Kunststoffabfällen, d. h. inklusive der Produktions- und Verarbeitungsabfälle. Diese lassen sich, sofern sie sauber und sortenrein gesammelt werden, in der Regel problemlos recyceln. Meistens können sie direkt wieder in den Produktionsprozess vor Ort eingesetzt werden.

⁴ Vgl. Vogel et al. (2020)

⁵ Vgl. Conversio Market & Strategy GmbH (2020a)

Bei der Verwertung von sowohl gewerblichen als auch privaten Endverbraucherabfällen ist aufgrund der Heterogenität der Abfallströme der Anteil der stofflichen Verwertung mit knapp 39 % geringer. Diese Abfälle werden entsprechend häufiger energetisch verwertet.⁶

4.2 Klimaschutzbeitrag

Die Abbildung 10 verdeutlicht, dass die Herstellung von Kunststoffen – im Vergleich zur Verarbeitung und Entsorgung – mit fast zwei Dritteln den größten Anteil der CO₂-Emissionen verursacht.

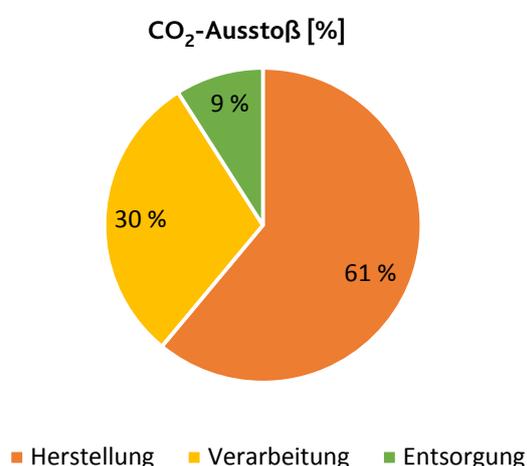


Abb. 10: Anteil CO₂-Emissionen bei der Kunststoffherstellung, -verarbeitung und -entsorgung (Daten: Heinrich-Böll-Stiftung & BUND (2019))

Zur Steigerung des Klimaschutzbeitrages ist es deshalb entscheidend, dass die Kunststoffabfälle möglichst werkstofflich recycelt werden, um damit die Herstellung von neuen Kunststoffen zu reduzieren und dadurch CO₂ einzusparen. Dementsprechend sollten nicht vermeidbare Kunststoffabfälle in einem möglichst geschlossenen Kreislauf gehalten werden. Das Kunststoffrecycling leistet so einen wertvollen Beitrag zur Ressourcenschonung und zum Klimaschutz.

6 Vgl. Conversio Market & Strategy GmbH (2020a)

Stoffliche Verwertung

Die stoffliche Verwertung führt zu einer Einsparung von Primärrohstoffen und damit, aufgrund des hohen Energieaufwandes/-einsatzes bei der Herstellung von Kunststoffen aus Erdöl, auch zu einer Energieeinsparung.

Je nach vorliegender Datenbasis und betrachteter Kunststoffsorte ergeben sich unterschiedliche Abschätzungen für den rheinland-pfälzischen Klimaschutzbeitrag durch das Recycling von Kunststoffen.

Jede Tonne Recyclingkunststoff, die anstelle vergleichbarer Neuware zum Einsatz kommt, vermeidet in Abhängigkeit der Kunststoffsorte zwischen 1,45 und 3,22 t CO₂-eq. klimarelevante Treibhausgase.⁷

In Deutschland werden gemäß Conversio Market & Strategy GmbH (2020a) aus Endverbraucherabfällen und Produktions- und Verarbeitungsabfällen insgesamt knapp 2 Mio. t Rezyklat zur Herstellung von Produkten eingesetzt. Davon ersetzen 68 % den Einsatz von Kunststoff-Neuware, 29 % substituieren andere Werkstoffe, wie Holz oder Beton. Umgerechnet auf Rheinland-Pfalz entspricht das ca. 68.000 t Rezyklat, das Neuware ersetzt.

Durch den Einsatz von Rezyklat anstelle von Kunststoff-Neuware konnten 2019 in Rheinland-Pfalz etwa zwischen 100.000 und 200.000 t CO₂-eq. eingespart werden.

Für das Recycling von Kunststoffverpackungen ergibt sich folgende Abschätzung:

In Rheinland-Pfalz wurden 2020 laut Landesabfallbilanz 144.767 t Verpackungsabfälle über den Gelben Sack / die Gelbe Tonne als Leichtverpackungen (LVP) gesammelt⁸. Der Kunststoffanteil am Gesamtstrom der Gelben Sack-Sammlungen beträgt etwa 43 %⁹. Davon wurden im Jahr 2020 rund 27.000 t werkstofflich recycelt (43 %¹⁰).

7 Vgl. bvse-Fachverband für Kunststoffrecycling (2019)

8 Vgl. LfU et al. (2021)

9 Vgl. Conversio Market & Strategy GmbH (2020b)

10 Vgl. Conversio Market & Strategy GmbH (2020b)

Durch das Recycling von Kunststoffverpackungen konnten in Rheinland-Pfalz im Jahr 2020 etwa zwischen 39.000 und 87.000 t CO₂-eq. eingespart werden.

Ersatz fossiler Kohlenstoffquellen

Durch die energetische Verwertung und dem rohstofflichen Recycling von Kunststoffabfällen werden fossile Kohlenstoffquellen, wie z. B. Rohöl, Gas etc., ersetzt. Die energetische Verwertung von Kunststoffabfällen trägt dadurch ebenfalls zu einer Senkung von Treibhausgasen bei. Für eine fundierte Abschätzung des daraus resultierenden Klimaschutzbeitrags für Rheinland-Pfalz liegen keine belastbaren Daten vor.

Verlängerung Produktlebensdauer

Kunststoffverpackungen erfüllen eine wichtige Funktion. Sie schützen beispielsweise Lebensmittel und sorgen für deren längere Haltbarkeit. Somit führen Verpackungen indirekt zu CO₂-Einsparungen indem weniger Lebensmittel, für deren Herstellung ebenfalls Ressourcen verbraucht und CO₂ verursacht werden, weggeworfen werden. Der hieraus resultierende Klimaschutzbeitrag für Rheinland-Pfalz kann aufgrund fehlender Daten nicht abgeschätzt werden.

4.3 Klimaschutzmaßnahmen

Die vorangegangenen Kapitel haben gezeigt, dass das Recycling von Kunststoffabfällen und der Einsatz von Kunststoffrezyklaten in Neuprodukten Primärrohstoffe schonen und im Vergleich zur Produktion aus Rohöl, Energie und CO₂-Emissionen einsparen. Alle Akteure – aus der Politik, Produktion, Entsorgung oder die Verbraucherinnen und Verbraucher – sind gefragt, um das Recycling weiter voranzubringen und das Image und damit den Ein- und Absatz von Kunststoffrezyklaten zu verbessern.

Durch nachfolgende Maßnahmen sowie den Ausbau bereits bestehender Initiativen könnte das Potenzial zum Ressourcen- und Klimaschutz durch Vermeidung und Recycling stärker ausgeschöpft werden.

Abfallvermeidung und Kreislaufführung

Die Industrie setzt sich bereits für die Vermeidung von Kunststoffabfällen ein. Die Kampagne „Null Pelletverlust“ setzt beispielsweise direkt bei den Kunststoffherzeugern mit dem Ziel an, Kunststoffgranulat-Verluste innerhalb der Kunststoff-Wertschöpfungskette zu minimieren.

Auch Verbraucherinnen und Verbraucher können zur Abfallvermeidung beitragen. Anregungen hierzu gibt der Absatz „Eigenes Konsumverhalten überdenken“.

Eine Kreislaufführung der Kunststoffabfälle durch werkstoffliches Recycling setzt eine getrennte Sammlung und/oder automatisierte, möglichst sortenreine Sortierung voraus. Zukünftig sollte daher im Gewerbe- und Industriebereich sowie bei kommunalen Wertstoffsammlungen der Fokus auf einen weiteren Ausbau der sortenreinen Erfassung (frei von Fremd- und Störstoffen) recycelbarer Kunststoffabfälle gelegt werden.

Auch die Weiterentwicklung der automatisierten Sortierung gemischter Abfallströme kann einen wichtigen Beitrag zum Ausbau des Kunststoffrecyclings leisten. Pilotprojekte und Demonstrationsanlagen zeigen, dass sich mit Hilfe von weiterentwickelten Sortiertechnologien aus gemischten Siedlungsabfallmengen sortenreine und farblich getrennte Kunststoffrezyklate aller Art gewinnen lassen.

Dies gilt es durch Schaffung von Anreizen und rechtlicher Sicherheit zu unterstützen. Außerdem sollen Selbstverpflichtungen der Industrie gefördert und die Forschung vorangetrieben werden.

Im gewerblichen Bereich sollte darauf geachtet werden, dass die Gewerbeabfallverordnung, welche eine separate Sammlung auch von Kunststoffabfällen vorschreibt, strikt eingehalten und vollzogen wird¹¹.

Auch in Privathaushalten besteht bei der Getrenntsammlung von Kunststoffen weiterhin Optimierungsbedarf. Hier sollten Fehlwürfe im Rest- und Bioabfall durch verstärkte Aufklärungsmaßnahmen und Informationskampagnen reduziert werden¹².

Erhöhung des Rezyklatanteils

Zur Erhöhung des Rezyklatanteils in Produkten müssen weitere Märkte für Kunststoffrezyklate geschaffen und die Akzeptanz für Recyclingkunststoffe durch Qualitätssicherung und Zertifizierung erhöht werden. Als eine Steuerungsmöglichkeit wird z. B. die gesetzliche Festlegung eines Mindestrezyklatanteils in Kunststoffprodukten gesehen.

Zudem muss sichergestellt sein, dass Kunststoffabfälle mit Inhaltsstoffen, die inzwischen als Schadstoffe identifiziert und reguliert wurden (z. B. Dämmplatten mit bestimmten Flammschutzmitteln), aus dem Kreislauf ausgeschleust werden¹³.

Gestaltung der Produkte

Die Gestaltung der Produkte, vor allem im Bereich der Verpackungen, beeinflusst maßgeblich die Möglichkeiten eines hochwertigen Recyclings am Ende des Lebenszyklus. Beispielsweise erschweren Verbundmaterialien (s. g. Multilayer) oder großflächige Etiketten aus Fremdmaterial (z. B. Papier) das Recycling. Im Verpackungsgesetz wurden entsprechende gesetzliche Rahmenbedingungen geschaffen. Diese zielen darauf ab, bereits

bei der Entwicklung der Verpackung die Recyclingfähigkeit zu berücksichtigen und dadurch das Recycling voranzutreiben. Mit dem EffCheck-Ecodesign fördert das Land Rheinland-Pfalz u. a. ein recyclinggerechtes Design von Produkten.

Ein weiterer Beitrag zur Ressourcenschonung und zum Klimaschutz ist der Einsatz leichterer (materialärmerer) Kunststoffverpackungen.

Eigenes Konsumverhalten überdenken

Wir Verbraucherinnen und Verbraucher können ebenfalls entscheidend zur Vermeidung und zum hochwertigen Recycling von Kunststoffabfällen beitragen. Insbesondere muss ein Umdenken im Hinblick auf die Nutzung von kurzlebigen Kunststoff-Einwegprodukten, wie z. B. Verpackungen, stattfinden.

Durch Aufklärung und Sensibilisierung der Bürgerinnen und Bürger sollen die Bedeutung der Abfallvermeidung sowie der richtigen Abfalltrennung stärker ins Bewusstsein gerückt werden.

Hierzu bietet die Landesregierung bereits Informationskampagnen an, wie z. B.:

- die Kampagne des Klimaschutzministeriums „Müll nicht rum“¹⁴ mit Informationen und Tipps zur Abfallvermeidung für verschiedene Abfallströme, wie z. B. Kunststoffe, Textilien oder Smartphones; über eine interaktive Karte werden verschiedene Maßnahmen und Aktionen angezeigt, wie z. B. Mehrwegsysteme, Unverpackt-Läden oder Trinkwasserbrunnen
- das Landesprogramm „Umweltschutz im Alltag“¹⁵ und der „Umwelttipp des Monats“ mit alltagstauglichen Beispielen
- die Abfalltrennhilfe¹⁶, die über einen kostenlosen Online-Baukasten in verschiedenen Sprachen erstellt werden kann

11 Vgl. Conversio Market & Strategy GmbH (2020b)

12 Vgl. Conversio Market & Strategy GmbH (2020b)

13 Vgl. Vogel et. al (2020)

14 Link zu Kampagne „Müll nicht rum“ (<https://muellnicht-rum.rlp.de/>)

15 Link zu Umweltschutz im Alltag (<https://umweltschutz-im-alltag.rlp.de/de/startseite/>)

16 Link zu Abfalltrennhilfe (<https://lfu.rlp.de/de/bodenschutz-abfallwirtschaft/abfallbaukasten/>)

- den „Anti-Littering-Flyer“¹⁷, der ebenfalls über das Baukasten-Prinzip in verschiedenen Sprachen erstellt werden kann
- das Netzwerk „LernOrt Nachhaltigkeit Rheinland-Pfalz“¹⁸ u. a. mit außerschulischen Lernorten zur Kreislaufwirtschaft

Diese Initiativen gilt es noch mehr ins öffentliche Bewusstsein zu bringen und auszubauen.

Um den Verbraucherinnen und Verbrauchern die Kaufentscheidung zu erleichtern und den Anteil des Kunststoffzyklates eines Produktes zu erkennen, stehen zudem verschiedene Umweltlogos zur Verfügung, mit denen Unternehmen ihre Produkte kennzeichnen können.

Beispielhaft können das Umweltzeichen „Blauer Engel“ sowie das RAL-Gütezeichen „%-Anteil Produkte aus Recycling-Kunststoff“ genannt werden (s. Abbildung 11).



Abb. 11: Umweltzeichen „Blauer Engel“ und RAL-Gütezeichen (© RAL)

Biologisch abbaubare Kunststoffe als Lösung?

Kunststoffprodukte mit der Aufschrift „kompostierbar“ oder „biologisch abbaubar“ – wie z. B. Einweggeschirr oder Blumentöpfe – suggerieren den Verbraucherinnen und Verbrauchern, dass diese Produkte problemlos über den Biomüll entsorgt werden können.

Dies ist jedoch in den meisten Fällen ein Trugschluss. Die kommunalen Satzungen legen fest, ob und welche biologisch abbaubaren Kunststoffprodukte über die Biotonne tatsächlich entsorgt werden dürfen, da sie sich nur unter bestimmten Bedingungen vollständig abbauen.

In den Bioabfallbehandlungsanlagen kann in der Regel nicht zwischen biologisch abbaubaren und herkömmlichen Kunststoffen unterschieden werden. Die Kunststoffe müssen demnach gemeinsam mit anderen Störstoffen aufwendig aussortiert und als Restabfall entsorgt werden. Das belastet die Umwelt und ist sehr teuer. Aus diesem Grund sind beispielsweise biologisch abbaubare Tüten in vielen Städten und Landkreisen nicht für die Bioabfallsammlung zugelassen.

Auch das Problem der Landschaftsvermüllung (Littering) kann durch abbaubare Kunststoffe nicht gelöst werden. Zum einen bauen sich die Kunststoffe in der Umwelt nicht vollständig ab, und zum anderen bedarf es mit Blick auf die Bekämpfung der Landschaftsvermüllung eines Umdenkens in der Bevölkerung, damit Abfälle erst gar nicht in die Umwelt gelangen.

Grundsätzlich hat der Einsatz von biologisch abbaubaren Kunststoffen deshalb nur dort einen Sinn, wo ein Zusatznutzen generiert wird oder nicht sicher ausgeschlossen werden kann, dass Kunststoffe in die Umwelt gelangen und dort verbleiben. Dies muss im Einzelfall geprüft werden. Ihr Einsatz ist z. B. für spezielle Anwendungen im Weinbau (Pheromonfallen) oder in der Landwirtschaft (Mulchfolien) denkbar. Voraussetzung dafür ist jedoch eine Zertifizierung der biologischen Abbaubarkeit nach entsprechender Norm in Abhängigkeit des jeweils betroffenen Umweltmediums (hier: landwirtschaftlich genutzte Böden)¹⁹.

¹⁹ Vgl. UBA (2017) und Burgstaller et al. (2018)

¹⁷ Link zu Anti-Littering-Flyer (<https://lfu.rlp.de/de/bodenschutz-abfallwirtschaft/abfallbaukasten/>)

¹⁸ Link zu außerschulischen Lernorten (<https://mkuem.rlp.de/de/themen/klima-und-ressourcenschutz/kreislaufwirtschaft/ausserschulische-lernorte/>)

5 RESTABFÄLLE

5.1 Ausgangssituation

Seit vielen Jahren werden Wertstoffe wie z. B. Papier, Bioabfall, Glas, Metall und Holz getrennt gesammelt, um sie dem Recycling, d. h. der stofflichen Verwertung, zuzuführen. In privaten Haushalten und auch in gewerblichen Betrieben sowie im Baubereich fallen aber auch große Mengen an Abfällen an, die nicht recycelt werden können.

Ein Teil dieser Abfälle wird in Müllheizkraftwerken (MHKW) entsorgt. In Rheinland-Pfalz werden drei MHKW betrieben und darin pro Jahr etwa 750.000 t Abfälle verbrannt. Hierbei handelt es sich etwa zur Hälfte um Abfälle aus der Restabfalltonne.

Bei der Verbrennung der Abfälle wird Energie freigesetzt, die als Strom, Wärme oder Prozessdampf genutzt werden kann. Da die rheinland-pfälzischen MHKW sehr effizient arbeiten und bei der Abfallverbrennung mehr Energie freigesetzt wird, als für den Prozess benötigt wird, spricht man von einer „energetischen Verwertung“ der Abfälle.

Als Rückstand fällt vor allem sogenannte Müllverbrennungsschlacke an, die in spezialisierten Anlagen aufbereitet wird.



Abb. 12: Schlacke aus MHKW (© Scherer & Kohl GmbH)

Ziel dieser Aufbereitung ist die Rückgewinnung von möglichst reinen Metallfraktionen, die in der Schlacke eingeschlossen sind, und die Herstellung einer mineralischen Fraktion, die als Ersatzbaustoff, z. B. im Straßenbau verwendet werden kann.

Jedes Jahr werden aus der Schlacke der rheinland-pfälzischen MHKW etwa 11.000 t Eisenmetalle und 3.000 t Nichteisenmetalle zurückgewonnen und als Sekundärrohstoffe genutzt.

5.2 Klimaschutzbeitrag

Als Grundlage für die Abschätzung des Klimaschutzbeitrags der in den rheinland-pfälzischen MHKW energetisch verwerteten Abfälle wurden die Angaben der Anlagenbetreiber zur abfallbasierten Energieerzeugung ausgewertet. Diese sind auch in der jährlichen „Landesabfallbilanz Rheinland-Pfalz“¹ veröffentlicht.

Des Weiteren wurden die vom UBA im Rahmen der „Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger“² veröffentlichten Ergebnisse für die abfallbasierte Energieerzeugung zugrunde gelegt.

Energieauskopplung

Feste Abfälle, z. B. aus der Restabfalltonne, enthalten Energie. Dieser Energiegehalt wird als Heizwert beschrieben und liegt je nach

Zusammensetzung der Abfälle bei ungefähr 8.000 bis 12.000 Kilojoule pro Kilogramm Abfall. Diese Energie kann durch die Verbrennung als Strom, Wärme oder Prozessdampf genutzt werden.

Im Jahr 2018 wurden in den rheinland-pfälzischen MHKW pro Tonne verbranntem Abfall 361 kWh Strom in das Netz eingespeist sowie 578 kWh Wärme und 961 kWh Prozessdampf erzeugt.

Während die Verbrennung in MHKW dem Hauptzweck der schadlosen Verwertung dient, ist die Energieauskopplung als positiver Nebeneffekt zu bewerten. Die durch die energetische Verwertung erzeugte Energie ersetzt an verschiedenen Stellen die mit konventionellen Energieträgern erzeugte Energie:

- Strom wird ins Stromnetz eingespeist,
- Wärme wird über Fernwärmenetze zur Beheizung zahlreicher Gebäude genutzt und
- Prozessdampf kann in industriellen Prozessen genutzt werden.

1 Vgl. LfU et al. (2011 bis 2019)

2 Vgl. Memmler et al. (2013, 2014, 2017, 2018)

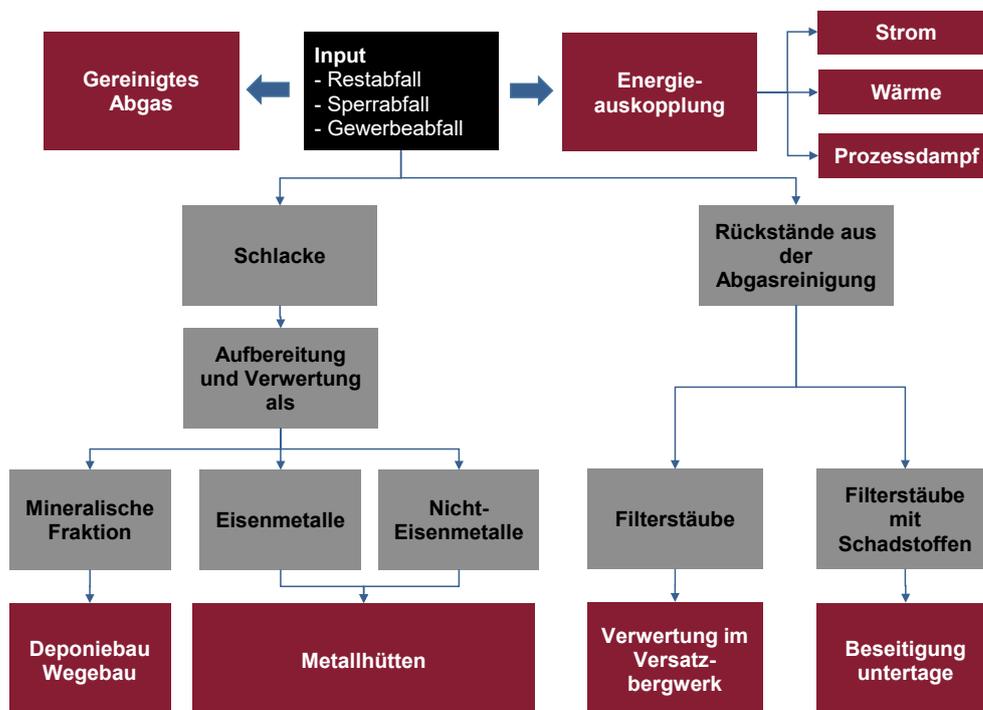


Abb. 13: Fließbild rheinland-pfälzische MHKW

Die sogenannte „abfallbasierte Energieerzeugung“ trägt zum Klimaschutz bei, da bei der Erzeugung von Strom, Wärme und Prozessdampf durch Müllverbrennung insgesamt weniger Emissionen entstehen als bei der Erzeugung der entsprechenden Energiemengen mit fossilen Energieträgern. Das Umweltbundesamt ermittelt und veröffentlicht regelmäßig den sich aus dem Vergleich ergebenden „Nettovermeidungsfaktor“, auf dessen Basis der Klimaschutzbeitrag für die rheinland-pfälzischen MHKW ermittelt wurde.

Die abfallbasierte Energieerzeugung in den rheinland-pfälzischen MHKW hat im Jahr 2018 einen Beitrag zur CO₂-Einsparung von ca. 235.000 t CO₂-eq. geleistet.

Hierbei ist zu beachten, dass bei der Berechnung des Nettovermeidungsfaktors im Bereich Stromerzeugung eine Substitution von Steinkohle und Gas (65 % bzw. 35 %) sowie im Wärmebereich eine Substitution von zu 100 % fossil erzeugter Fernwärme zugrunde gelegt wurde.

Der Anteil erneuerbarer Energien wird im deutschen Strom- und Wärmemix durch den konsequenten Ausbau von Wind- und Sonnenkraft sowie die Nutzung von Biomasse als Energieträger noch weiter steigen und soll in nicht allzu ferner Zukunft 100 Prozent erreichen. Dagegen werden Restabfälle auch weiterhin zu einem gewissen Anteil aus fossilen Bestandteilen (z. B. Kunststoffen) bestehen.

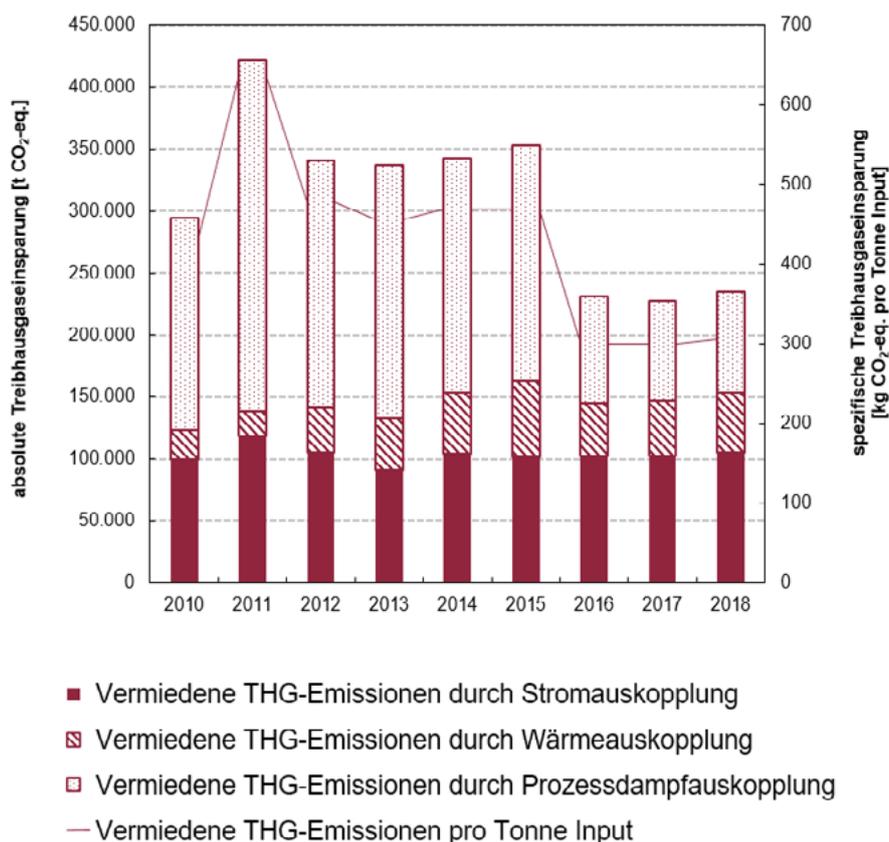


Abb. 14: Entwicklung der vermiedenen Treibhausgasemissionen (THG) durch Energieauskopplung aus den rheinland-pfälzischen MHKW in den Jahren 2010 bis 2018. (Hinweise: Der zugrundeliegende Nettovermeidungsfaktor wurde von Memmler et al. für die Jahre 2012, 2013, 2016 und 2017 veröffentlicht. Für die übrigen Jahre wurde der jeweils zuletzt veröffentlichte Nettovermeidungsfaktor unverändert übernommen. Seit 2016 koppelt ein MHKW betriebsbedingt weniger Energie aus.)

Metallrückgewinnung

Durch die Rückführung von metallischen Sekundärrohstoffen wie Eisen, Kupfer, und Aluminium in den Stoffkreislauf können die entsprechenden Primärrohstoffe eingespart werden.

Da die Gewinnung und Aufbereitung von metallischen Primärrohstoffen sehr aufwändig und energieintensiv ist, wird sowohl aus ökologischen als auch aus wirtschaftlichen Gründen versucht, diese Rohstoffe so lange wie möglich im Kreislauf zu führen.

Mit jeder Tonne Eisen, die als Sekundärrohstoff genutzt wird, werden schätzungsweise 1,8 t CO₂-eq. eingespart, mit jeder Tonne Aluminium sogar 18,45 t CO₂-eq. und mit jeder Tonne Kupfer 3,99 t CO₂-eq.³

Hieraus lässt sich für die Metallrückgewinnung aus rheinland-pfälzischen Schlacken ableiten, dass diese auch unter Berücksichtigung der mit Schlackeaufbereitung, Transport und der weiteren Behandlung der Sekundärrohstoffe verbundenen Eigenemissionen unter dem Strich einen relevanten positiven Beitrag zum Klimaschutz leistet.

Die Metallrückgewinnung aus rheinland-pfälzischen Schlacken hat im Jahr 2018 einen Beitrag zur CO₂-Einsparung von ca. 53.000 t CO₂-eq. geleistet.

Darüber hinaus ist die Nutzung der mineralischen Fraktion aus der Schlackeaufbereitung als Ersatzbaustoff ebenfalls als Baustein zum Klima- und Ressourcenschutz zu werten.

³ Vgl. März (2012)



Abb. 15: Grober Eisenschrott aus Schlackeaufbereitung (© Scherer & Kohl GmbH)

Status-Quo insgesamt

Mit der energetischen Verwertung von Abfällen in den drei rheinland-pfälzischen MHKW mit anschließender Metallrückgewinnung aus den Müllverbrennungsschlacken wurden im Jahr 2018 insgesamt mehr als 280.000 t CO₂-eq. eingespart.

Bezogen auf die energetisch verwertete Abfallmenge (= MHKW-Input) bedeutet dies, dass mit jeder Tonne Abfall so viel Treibhausgasemissionen vermieden wurden, wie bei einer Autofahrt über 1.700 Kilometer entstehen.⁴

⁴ eigene Berechnung anhand Umrechnungsfaktor gemäß UBA (2021c) Emissionstabelle Personenverkehr: 215,6 g CO₂-eq./km

Insgesamt wurden 2018 pro Tonne energetisch verwertetem Abfall Treibhausgasemissionen in Höhe von ca. 375 kg CO₂-eq. vermieden.

5.3 Klimaschutzmaßnahmen

Die vorgenannten Abschätzungen zeigen, dass die rheinland-pfälzischen MHKW aktuell und seit vielen Jahren einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Dieser Beitrag beruht zum größten Teil auf der Energieauskopplung und den dadurch vermiedenen Emissionen der konventionellen Energieerzeugung.

Ein weiterer positiver Beitrag zum Klimaschutz ergibt sich aus der Metallrückgewinnung. Dieser wird in Zukunft tendenziell steigen, da die Nutzung von Sekundärrohstoffen immer mehr an Bedeutung gewinnen wird.

Damit die rheinland-pfälzischen MHKW noch möglichst lange einen positiven Klimaschutzbeitrag leisten, müssen die individuellen Randbedingungen berücksichtigt und zukunftsorientierte Maßnahmen ergriffen werden.

Hierbei ist wichtig zu verstehen, dass das Verbrennen in Müllheizkraftwerken in erster Linie der schadlosen Entsorgung von Abfällen dient, für die es zum aktuellen Zeitpunkt keinen besseren Entsorgungsweg gibt. Der bisher positive Beitrag der MHKW zum Klimaschutz ist nur ein Nebeneffekt, der dem Umstand geschuldet ist, dass die Energiewende noch nicht vollständig gelungen ist.

Abfallvermeidung und stoffliche Verwertung haben aus Gründen des Klima- und Ressourcenschutzes immer Vorrang vor der energetischen Verwertung. Diese Rangfolge ist im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) verankert.

Anlagen-Input

Die Betreiber der MHKW müssen mit den Abfällen umgehen, die unter Beachtung der Vorschriften des KrWG für die energetische Verwertung in den MHKW „übrig bleiben“.

Eine Optimierung des Anlagen-Inputs durch den Anlagenbetreiber im Hinblick auf eine hohe Energieausbeute oder Metallgehalt ist nicht zweckmäßig.

Nur der Abfallerzeuger – im Falle der Restabfälle sind das die Bürger und Bürgerinnen – kann hier Einfluss nehmen. Auch wenn die Müllverbrennung aktuell noch einen positiven Klimaschutzbeitrag leistet, wird dieser mit steigendem Anteil erneuerbarer Energien im deutschen Energiemix sinken.

Für jeden Bürger und jede Bürgerin bedeutet dies, dass die Menge der Restabfälle weiter reduziert werden muss. Hierbei gelten folgende Grundsätze:

- Abfälle sind in erster Linie zu vermeiden. Hier stehen insbesondere Einwegartikel im Fokus, die aufgrund ihrer Materialzusammensetzung oder Eigenschaften bereits nach kurzer Nutzungsdauer als Restabfall entsorgt werden und in großen Mengen anfallen (z. B. „Coffee-to-Go“-Becher).
- Ebenso zeigt die konstant steigende Menge an Sperrabfällen sehr deutlich den Trend hin zur Wegwerfgesellschaft. Insgesamt ist dringend ein Umdenken bei Verbrauchern erforderlich. Nachhaltiger Konsum ist ein wesentlicher Baustein der Abfallvermeidung.
- Abfälle, die stofflich verwertet werden können, sind getrennt zu erfassen, da eine Kreislaufführung durch stoffliche Verwertung Vorrang vor der rein energetischen Verwertung hat. Dies betrifft insbesondere Küchenabfälle und sonstige organische Abfälle, die über die Biotonne einer Kaskadennutzung (Vergärung + Kompostierung) zugeführt werden können, aber auch Kunststoffabfälle, für die immer mehr Möglichkeiten zur stofflichen Verwertung geschaffen werden.

Neben weiteren getrennt zu erfassenden Wertstoffen wie z. B. Glas, Papier oder Alttextilien liegt es aufgrund des besonderen Wertstoff- aber teilweise auch Schadstoffgehaltes in der besonderen Verantwortung der Bürgerinnen und Bürger, Elektro- und Elektroaltgeräte sowie Batterien und Akkumulatoren nicht über die Restabfalltonne zu entsorgen.

Abfallvermeidung und die Getrenntsammlung von Abfällen zugunsten einer stofflichen Verwertung haben Vorrang vor der energetischen Verwertung.

Anlagentechnik

Müllheizkraftwerke werden grundsätzlich zur langfristigen Gewährleistung der Entsorgungssicherheit für bestimmte Abfälle konzipiert und betrieben.

Nach der Inbetriebnahme werden regelmäßig Revisionen und (Teil-)Modernisierungen sowohl infolge rechtlicher Änderungen als auch zur Sicherstellung eines zuverlässigen Betriebs durchgeführt.

Positive Effekte auf den Klimaschutz können vor allem durch technische Optimierungen zur Effizienzsteigerung und durch Reduzierung der Eigenemissionen erreicht werden.

Ganz wesentlich ist jedoch auch, in welchem Maße die ausgekoppelte Energie genutzt werden kann, d. h. ob beispielsweise genügend Abnehmer für Wärme oder Prozessdampf vorhanden sind. An dieser Stelle wirken sich auch strukturelle Gegebenheiten am Standort der MHKW aus, die von den Anlagenbetreibern nicht oder nur bedingt beeinflusst werden können.

Schlackeaufbereitung

Die Rückgewinnung von Metallen als Sekundärrohstoffe wird auch in Zukunft eine hohe Bedeutung haben.

Sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene wurden in verschiedenen Forschungsvorhaben Untersuchungen angestellt, wie die Schlackeaufbereitung optimiert werden kann.

Hier gilt es neue Entwicklungen intensiv zu verfolgen und sich daraus ergebende Möglichkeiten für die rheinland-pfälzischen Schlacken zu bewerten, um zukunftsorientiert handeln zu können.

6 BAU- UND ABBRUCHABFÄLLE

6.1 Ausgangssituation

Die bei Baumaßnahmen anfallenden, nicht gefährlichen mineralischen Abfälle stellen mit einer Gesamtmenge von ca. 11 Mio. t/a in Rheinland-Pfalz die mit Abstand größten Abfallmassen dar. Insbesondere Boden und Steine (ca. 6 Mio. t/a), Bauschutt (ca. 2,1 Mio. t/a) und Straßenaufbruch (Asphalt, ca. 0,6 Mio. t/a) sind hierbei die größten Teilströme.¹

Aufgrund dieser immensen Menge stehen sie im Fokus der Bemühungen, um die im Kreislaufwirtschaftsgesetz gesteckten Ziele zu erreichen: Abfallvermeidung, Wiederverwendung und hochwertiges Recycling. Gefährliche mineralische Abfälle müssen dem Wirtschaftskreislauf entzogen werden und auf der Schadstoffsenske Deponie abgelagert werden. Der wertvolle Deponieraum muss geschont werden und ist daher nur für die Ablagerung von gefährlichen Abfällen sinnvoll, welche durch die Belastung nicht mehr im Kreislauf geführt werden können.²

Als Instrument wurde im Oktober 2012 auf Initiative des damaligen Umweltministeriums das „Bündnis Kreislaufwirtschaft auf dem Bau Rheinland-Pfalz“ mit allen bedeutenden Akteuren geschlossen (www.kreislaufwirtschaft-bau.rlp.de).

¹ Vgl. Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz (2019)

² Vgl. Dehne et al. (2016)

Dabei standen die aus abfallwirtschaftlicher Sicht „klassischen“ Ziele wie Verringerung des Abfallaufkommens und Schonung der natürlichen Ressourcen durch Recycling im Vordergrund. Gerade die zum Teil dramatischen Auswirkungen des Klimawandels zeigen die Notwendigkeit, den Klimaschutz im Bereich der Bau- und Abbruchabfälle verstärkt in die Kreislaufwirtschaft mit einzubeziehen.

Boden und Steine

Aus abfallwirtschaftlicher Sicht liegen die größten Potenziale in der Vermeidung von Abfällen durch intelligente Planung der Baumaßnahmen. Kann der Bodenaushub zur Geländemodellierung oder zur Verfüllung von Hohlräumen wieder direkt auf der Baustelle eingesetzt werden, so fällt er gar nicht erst als Abfall an. Ein Verzicht auf Unterkellerung ist hier als weitere Möglichkeit zu nennen. Falls der Abtransport des Bodens nicht vermieden werden kann, so muss nach der Abfallhierarchie durch ein intelligentes Bodenmanagement die Verwertung des Materials in bodenähnlichen Anwendungen oder in technischen Bauwerken, eventuell nach einer mechanischen Aufbereitung mit möglichst kurzen Transportentfernungen, vorrangig erfolgen.

Bauschutt

Auch hier steht an erster Stelle die Abfallvermeidung mit der Frage, ob ein bestehendes Gebäude unbedingt abgerissen werden muss oder nicht für eine Umnutzung erhalten und dabei auch energetisch saniert werden kann.

Falls der Abriss unvermeidbar ist, muss durch einen selektiven Rückbau sichergestellt werden, dass Schadstoffe separiert werden und sortenreine Fraktionen wie bspw. Betonabbruch qualifizierten Aufbereitungsanlagen als Inputmaterial zur Verfügung stehen.

Die so hergestellten Recyclingbaustoffe müssen alle bautechnischen Anforderungen (DIN-Normen etc.) erfüllen und sind denen aus mineralischen Rohstoffen hergestellten absolut ebenbürtig. Der verstärkte Einsatz dieser Recycling-Baustoffe (RC-Baustoffe) – insbesondere in Baumaßnahmen der öffentlichen Hand – ist im Landeskreislaufwirtschaftsgesetz (LKrWG) ausdrücklich gefordert und ein zentrales Ziel des „Bündnisses Kreislaufwirtschaft auf dem Bau“. Neben klassischen Anwendungen im Tiefbau wie der Einsatz als Frost- oder Tragschicht können aufbereitete mineralische Abfälle auch hochwertig im Hochbau als Gesteinskörnung in ressourcenschonendem Beton (R-Beton) eingesetzt werden.



Abb. 16: Pilotprojekt R-Beton, Neubau des Umweltbildungszentrums Mainz (© Heidelberg Cement AG/Steffen Fuchs)

Straßenaufbruch (Asphalt)

Im Bereich des teerfreien, nicht gefährlichen Straßenaufbruchs ist eine hochwertige Wiederverwendung durch den Einsatz des Materials in mobilen und stationären Asphaltmischanlagen bereits heute weitgehend erreicht, was sich in einer Recyclingquote von fast 99 % widerspiegelt.³

³ Vgl. Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz (o. D.)



Abb. 17: Bauabfallaufbereitungsanlage (© Scherer & Kohl GmbH)

6.2 Klimaschutzbeitrag

Der Klimaschutzbeitrag bei den mineralischen Abfällen liegt hauptsächlich im Bereich der Transportentfernungen und der Energie die in Bauwerken steckt (graue Energie).

Die bei der Bauabfallaufbereitung zu RC-Baustoffen notwendigen Prozesse wie Brechen, Sieben und Klassieren sind hinsichtlich ihres Energieaufwandes mit denen der Baustoffproduktion aus mineralischen Rohstoffen vergleichbar, wodurch sich der Klimaschutzbeitrag im Wesentlichen auf die Abfallvermeidung und die Verringerung von Transportentfernungen konzentriert. An dieser Stelle sei aber auch auf die sonstigen negativen Folgen vom Abbau mineralischer Rohstoffe wie den Flächenverbrauch und die erheblichen Eingriffe in bestehende Ökosysteme mit Auswirkungen auf das Klima hingewiesen.

Transport

Der bei der Entsorgung von Bauabfällen notwendige Transport erfolgt heute und in näherer Zukunft i. d. R. per LKW (Diesel). Bei 11 Mio. t/a Abfallaufkommen in Rheinland-Pfalz sind hierfür ca. 500.000 LKW-Fahrten notwendig.

Bei einer angenommenen durchschnittlichen Entfernung von 50 km ergeben sich ca. 23.000 t CO₂-Emissionen/a allein durch den Transport.

Könnten ca. 30 % dieser Fahrten entfallen, würde das eine CO₂-Einsparung von ca. 7.000 t/a bedeuten.⁴

⁴ Heinrich Feeß GmbH & Co. KG (2020)



Abb. 18: Selektiver Rückbau, Abbruch der mineralischen Grundsubstanz nach Entkernung und Schadstoffentfrachtung (© Scherer & Kohl GmbH)

Gebäude als Materialressource – Graue Energie

Der Gebäudebestand in Deutschland umfasst rund 10,5 Mrd. t mineralische Baustoffe. Als graue Energie wird der Energieaufwand bezeichnet, der für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung eines Produktes benötigt wird und somit in jedem Gebäude steckt. So werden bspw. allein bei der Herstellung von 1 t Mauerziegel ca. 285 kg CO₂ benötigt⁵. Diese graue Energie bleibt durch Vermeidung des Gebäudeabrisses, Wiederverwendung von Bauteilen sowie des Recyclings von energieintensiven Baustoffen zur CO₂-Einsparung erhalten und muss nicht für die Herstellung der Bauprodukte aus Primärrohstoffen verwendet werden.

Bei einer Nutzung von 30 % wiederverwendeten Bauteilen bei den neu errichteten Einfamilienhäusern wäre 2019 eine Einsparung von rund 30.000 t CO₂ möglich gewesen.⁶

5 Vgl. Dechantsreiter (2016)

6 eigene Berechnungen auf Basis von Dechantsreiter (2016)

6.3 Klimaschutzmaßnahmen

Transportkilometer

Die mögliche Verringerung der Transportkilometer lässt sich nur schwer abschätzen, da durch die aufgezeigten Möglichkeiten der Abfallvermeidung einige Fahrten ganz wegfallen könnten, wodurch sich der größte Klimaschutzaspekt ergeben würde. Eine realistische Möglichkeit liegt in der Verkürzung der Transportentfernung durch Schaffung von dezentralen Aufbereitungsplätzen und/oder Hallen zur Zwischenlagerung, zumindest für die Ballungsräume. Zukünftig könnte eine weitere CO₂-Einsparung durch den Einsatz klimaneutraler LKW-Antriebe (bspw. Brennstoffzelle) erfolgen.

Wiederverwendung von Bauteilen

Ein Teil der „Grauen Energie“ der bestehenden Gebäude könnte durch konsequente Nutzung der Wiederverwendung von Bauteilen genutzt werden.



Abb. 19: Auch historische Baustoffe stehen zur Wiederverwendung bereit (© Dinkholder Mühle)

Zur Erreichung dieser Ziele müssen insbesondere Fragen der Haftung und Garantie beim Einsatz dieser Bauteile geklärt werden. Eine gute Möglichkeit zur Verbreitung des Angebots ist die Nutzung von Bauteilebörsen.

Urban Mining und Cradle to Cradle bei der Planung

Die größten Klimaschutzpotenziale ergeben sich aus der intelligenten Planung von zukünftigen Bauvorhaben. Instrumente hierfür sind Urban-Mining-Konzepte (Nutzung der Gebäude als zukünftiges Rohstofflager) und Cradle to Cradle (konsequente Kreislaufwirtschaft ohne Wertstoffverluste).

Es gilt, auch Architekten/Planer in die Aspekte der Kreislaufwirtschaft mit einzubeziehen. Hierzu gehören ein konsequentes Bodenmanagement zur Abfallvermeidung, mögliche Konzepte zur Gebäudeumnutzung bereits bei der Planung sowie der Einsatz von recyclingfähigen Bauprodukten, die einen sortenreinen Rückbau erleichtern. Ein hilfreiches Instrument ist die Einführung eines „Gebäudepasses“, in dem alle verbauten Materialien verzeichnet sind.

Vorbildfunktion der öffentlichen Hand

Durch das LKrWG ist bereits heute der Einsatz von umweltfreundlichen RC-Materialien bei öffentlichen Ausschreibungen gefordert. Im Bausektor nützt der Einsatz dieser Materialien – wie oben dargelegt – auch dem Klimaschutz. Durch eine konsequente Ausrichtung der Ausschreibungspraxis mit höherer Gewichtung der umwelt- und klimaschutzrelevanten Aspekte dieser RC-Materialien vergrößert sich der Beitrag der Kreislaufwirtschaft zum Klimaschutz. Dies wird auch weiterhin ein zentrales Thema im „Bündnis Kreislaufwirtschaft auf dem Bau“ sein.

7 DEPONNIEN

7.1 Ausgangssituation

Seit Juni 2005 dürfen auf Deponien in Deutschland nur noch mineralische Abfälle (z. B. nicht verwertbarer Erdaushub) oder vorbehandelte Abfälle mit geringen organischen Belastungen abgelagert werden.

Bis dahin wurde der gesamte Inhalt der Restabfalltonne und auch Gewerbeabfall auf den Deponien beseitigt. Diese Abfälle wiesen meist einen hohen Organikgehalt auf, so dass im Deponiekörper ein Rotteprozess einsetzte, der u. a. zur Entstehung von Deponiegas mit hohem Methangehalt führte. Dadurch trägt Deponiegas, wenn es freigesetzt wird, zum Treibhauseffekt bei.

Weltweit stellen Deponien sogar die drittgrößte anthropogene Methanquelle (nach Gewinnung und Transport von Gas und der Viehzucht von Wiederkäuern) dar.¹

In Deutschland haben die Treibhausgasemissionen im Bereich der Abfalldeponierung von gut 34 Mio. t CO₂-eq. im Jahr 1990 auf weniger als 8 Mio. t CO₂-eq. in 2018 deutlich abgenommen.² Maßgeblich dazu beigetragen haben:

- die konsequente energetische Nutzung von Abfällen mit hohen organischen Gehalten,
- das Deponierungsverbot dieser Abfälle und
- die Optimierung der Deponiegaserfassung durch u. a. aufwändige Oberflächenabdichtungssysteme auf neueren Deponien.

Durch die Vorbehandlung von Restabfällen in Müllheizkraftwerken oder in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) gelangt mittlerweile nur noch sehr wenig Organik in den Deponiekörper, so dass zukünftig kaum noch Deponiegas entstehen kann bzw. in die Umwelt entweicht. Die heutigen Deponiegasmengen in Deutschland haben also ihre Ursache in der früheren Ablagerung organikhaltiger Abfälle.

1 Vgl. IPCC (2013)

2 Vgl. Prognos AG, INFA GmbH (2020), S. 195ff.



Abb. 20: Rekultivierte Deponieoberfläche mit Gasbrunnenköpfen (© LfU)

7.2 Klimaschutzbeitrag

Für die Beurteilung der rheinland-pfälzischen Deponien hinsichtlich ihres Beitrags zum Klimaschutz wurden die 38 Deponien betrachtet, die einen relevanten Anfall an Deponiegas aufweisen.

Deponiegas enthält in erster Linie Methangas, das gegenüber Kohlendioxid um den Faktor 25³ klimaschädlicher ist; danach folgt Kohlendioxid in relevanter Menge. Der Anteil von Stickstoff im Deponiegas schwankt in Abhängigkeit der jeweiligen Deponiegasphase zwischen 0 und 80 % (s. Abbildung 21). Sauerstoff kommt nur in sehr geringen Anteilen vor, ebenso Spurenstoffe, die teilweise schädlich sein können und z. B. Motoren und andere Aggregate der Deponiegasverwertung angreifen.

Im Deponiekörper selbst, der aus verschiedenen Deponieabschnitten besteht, finden unterschiedliche Abbauphasen statt, die im Wesentlichen von der Zeit, dem Organik- und dem Feuchtegehalt der deponierten Abfälle abhängig sind.

Somit ist bei den meisten Deponien eine Mischung dieser verschiedenen Gasphasen gegeben, auf welche die einzusetzende Technik der Deponiegasverwertung abgestimmt werden muss. Sinkt der Methangehalt und/oder die entstehende Gasmenge mit der Zeit ab, muss die Technik angepasst werden.

Auf den 38 Deponien wird mit dem entstehenden Deponiegas derzeit wie folgt umgegangen:

- Bei 18 Deponien werden Motoren, größtenteils mit Kraft-Wärme-Kopplung, zur Verwertung des Deponiegases eingesetzt,
- an acht Deponien entsteht nur noch so wenig Deponiegas, dass es nicht mehr verwertet, sondern über eine Fackel beseitigt werden kann,
- an vier weiteren Deponien gibt es wegen des geringen Methangehaltes Sonderlösungen, bei zwei davon wird das Gas in der benachbarten MBA mitverwertet,

³ Vgl. Memmler et al. (2018)

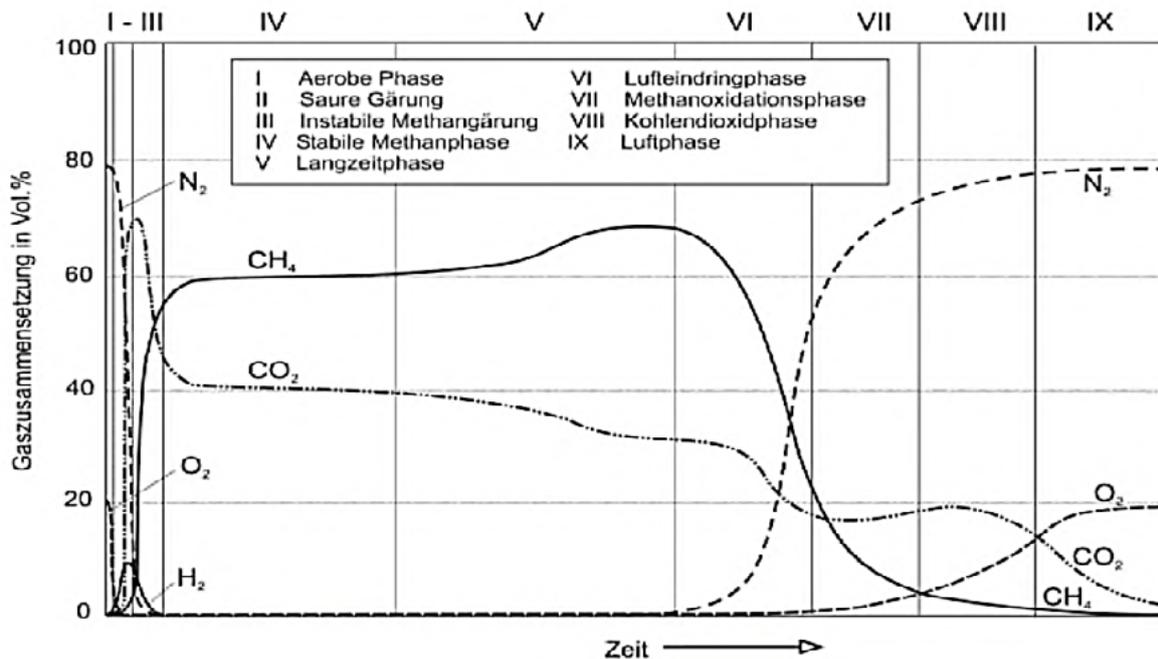


Abb. 21: Hauptkomponenten im Deponiegas, Konzentrationsverläufe von Methan (CH₄), Kohlendioxid (CO₂) etc. während der verschiedenen Abbauphasen (I-IX) im Deponiekörper (© Rettenberger)

- bei vier Deponien findet eine biologische Behandlung des wenigen, noch entstehenden Deponiegases über Biofilter, Methanoxidationsfenster oder ähnliche Lösungen statt und
- bei vier weiteren Deponien wird keine Gasfassung und -behandlung betrieben, da die Gasentwicklung minimal ist.

Berechnungen für das Jahr 2017

Auf den 38 Deponien wurden im Jahr 2017 etwa 16 Mio. m³ Deponiegas gefasst und verwertet oder beseitigt.

Mit der Fassung des anfallenden Deponiegases werden ca. 120.000 t CO₂-eq. pro Jahr eingespart. Die Verstromung des gefassten Deponiegases erbringt nochmal ca. 10.000 t CO₂-eq. pro Jahr.

Diffus entweichendes Deponiegas

An Undichtigkeiten in der Oberflächenabdichtung oder bei Anschlüssen (z. B. an den Gasbrunnen, verursacht meist durch Setzungen) wird unkontrolliert Methangas freigesetzt. Diese Stellen werden bei den gesetzlich vorgeschriebenen Mess- und Kontrollprogrammen z. B. durch Flammenionisationsdetektoren (FID; s. Abb. 23) aufgespürt. Eine Abschätzung der dabei austretenden Deponiegasmengen ist nicht möglich. So sind bspw. die Messungen v. a. abhängig vom Luftdruckverlauf. Die tatsächlichen Emissionen lassen sich nicht hochrechnen. Jedoch können anhaltende, ungewöhnlich hohe Messwerte dazu führen, dass ein auffälliger Bereich aufgegraben werden muss. Solche Bereiche fallen meist auch bei Begehungen auf, weil Methanemissionen das Pflanzenwachstum stören.



Abb. 22: Schwachgasfackel zur Beseitigung von Deponiegas mit geringem Methangehalt (© LfU)

7.3 Klimaschutzmaßnahmen

In den vergangenen Jahren konnten durch die gesetzlich vorgeschriebene Deponiegasfassung und -verwertung die Emissionen deutlich vermindert werden. Gleichwohl bestehen grundsätzlich Optimierungsmöglichkeiten, wobei diese in Abhängigkeit vom Alter der Deponie, den abgelagerten Mengen und der bereits vorhandenen Technik sehr individuell sind. Dies wird bereits durch die Deponiebetreiber regelmäßig überprüft.

Verbesserungen am Gasfassungssystem einer Deponie sind möglich und werden durch ein Förderprogramm des Bundes⁴ unterstützt. Dieses umfasst auch die Möglichkeit einer In-situ-Stabilisierung einer Deponie. Hierbei handelt es sich um die „Wiederbelebung“ des Deponiekörpers durch Eintrag von Luft oder Wasser. Damit können die Inhalte des Deponiekörpers weitestgehend ausreagieren und die Deponiegasbildung in überschaubaren Zeiträumen stark reduziert werden.

4 Vgl. BMUV (2020a)

Sowohl für die Optimierung des Gasfassungssystems als auch für die In-situ-Stabilisierung ist vorab die Durchführung einer auf die jeweilige Deponie bezogenen Potenzialanalyse erforderlich. Damit soll festgestellt werden, ob diese Maßnahmen zielführend im Sinne des Klimaschutzes sind. Für den Förderantrag sind Nachweise zu erbringen, dass die Emissionen durch die geplanten Maßnahmen mindestens um vorgegebene Prozentsätze vermindert werden.

Grundsätzlich hat der Deponiebetreiber darauf zu achten, dass die Entgasung der Deponie optimal erfolgt. Sind Schäden am Gasfassungssystem erkennbar, hat der Deponiebetreiber diese schnellstmöglich der zuständigen Behörde (Struktur- und Genehmigungsdirektion) zu melden und zu beheben.

Diese Aufrechterhaltung eines einwandfreien Betriebs des Entgasungssystems liegt allein schon aus Gründen des Arbeits- und Explosionsschutzes im Interesse des Deponiebetreibers.

In Rheinland-Pfalz wurden bereits und werden weiterhin bei mehreren Deponien die Fördermöglichkeiten in Anspruch genommen oder es laufen Überlegungen in dieser Hinsicht.

Damit ist ein weitestgehend emissionsarmer Entgasungsbetrieb der rheinland-pfälzischen Deponien auch für die Zukunft gewährleistet.



Abb. 23: FID-Begehung einer Deponie (© LUBW)

8 EFFCHECK

8.1 Ausgangssituation

Material- und Energieeffizienz steigern, Kosteneinsparpotenziale erkennen, nutzen und Wettbewerbsvorteile sichern – Unternehmen müssen sich ständig diesen Herausforderungen stellen.

Der Anteil der Materialkosten im verarbeitenden Gewerbe ist mit 43 % der Gesamtkosten sehr hoch. Einsparungen auf diesem Gebiet machen sich weit deutlicher in der Unternehmenskasse bemerkbar als bei den Personal- oder

Energiekosten. Unternehmen reduzieren durch die Senkung des Energie- und Materialverbrauchs ihre Kosten und können wettbewerbsfähiger produzieren. Gleichzeitig schont ein sparsamer Umgang mit Rohstoffen die Umwelt und liefert einen Beitrag zu den Klimaschutzzielen des Landes Rheinland-Pfalz.

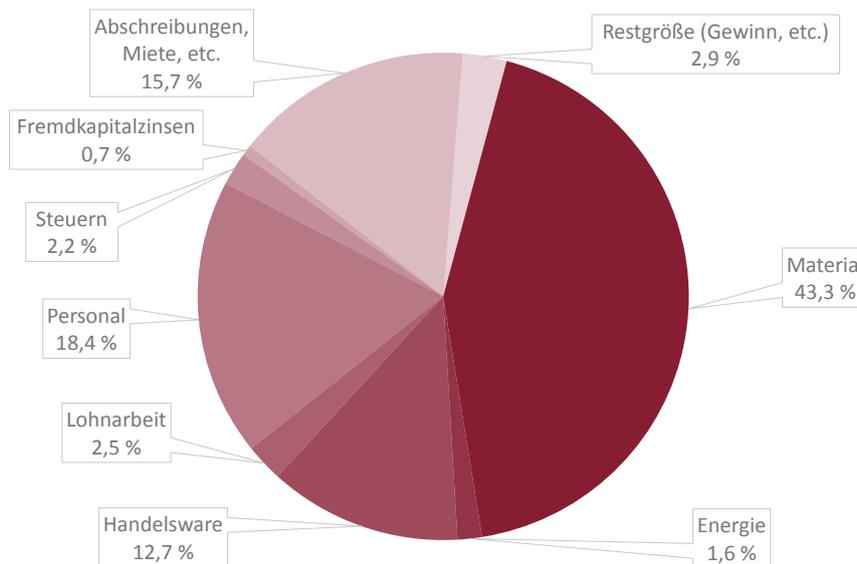


Abb. 24: Kostenstruktur der Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes (Daten: Statistisches Bundesamt (2019))

Das Ziel einer nachhaltigen Ressourcenwirtschaft liegt darin, das wirtschaftliche Wachstum und den Wohlstand vom Einsatz natürlicher Ressourcen zu entkoppeln („mit weniger mehr erreichen“) und dadurch auch weniger klimaschädliche Treibhausgase frei zu setzen.¹

Hierbei unterstützt das Land Rheinland-Pfalz interessierte private und kommunale Unternehmen seit 2007 mit der Förderung von Betriebsberatungen zur Erhöhung der Ressourceneffizienz.

Die zuständige Bewilligungsbehörde für den Eff-Check ist das Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz. Mit der Projektbegleitung sind das LfU und die SAM Sonderabfall-Management-Gesellschaft Rheinland-Pfalz mbH beauftragt.

Das Konzept des EffChecks (EffizienzCheck) beruht auf der Grundidee des Produktionsintegrierten Umweltschutzes (PIUS), einer vorsorgenden, in die Produktionsabläufe integrierten Herangehensweise. Dieser Ansatz kombiniert ökologische und ökonomische Interessen.

Mit dem EffCheck erhalten Betriebe die Möglichkeit mit geringem finanziellen Einsatz einen Maßnahmenkatalog zu Ressourcen- und Kosteneinsparungen erstellen zu lassen. Grundlage ist eine individuelle Potenzialanalyse durch externe Beratungsunternehmen.

Nach einem bewährten Verfahren erhält das Unternehmen einen schriftlichen Bericht mit den herausgearbeiteten Potenzialen. Es werden konkrete Lösungsvorschläge erarbeitet, um die Produktions- und Betriebsabläufe effizienter und klimaneutraler zu gestalten.

Seit 2019 wird privaten und kommunalen Betrieben auch der EffCheck Industrie 4.0 angeboten. Mit dieser Variante werden Ressourceneffizienz- und Kosteneinsparpotenziale herausgearbeitet, die mittels digitaler Maßnahmen umgesetzt werden können.

¹ Vgl. Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III (Prog-Ress III) - Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen (BMUV (2020b))

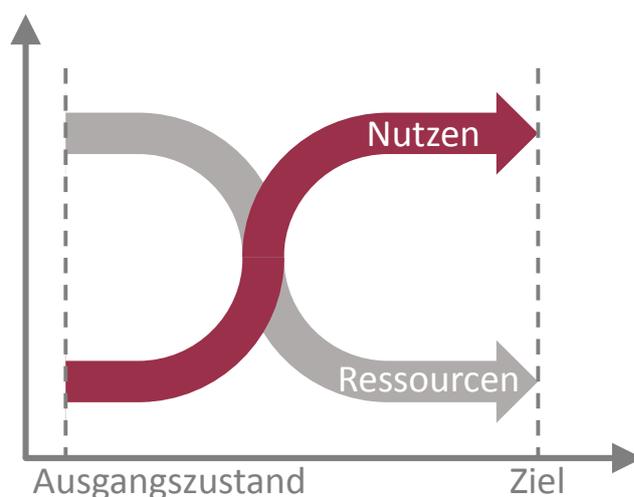


Abb. 25: Steigerung des Nutzens bei gleichzeitiger Reduzierung des Ressourceneinsatzes

Teilnehmende Betriebe erhalten für einen Eff-Check einen Zuschuss in Höhe von 70 % der Beratungskosten (max. Förderbetrag 5.200 €).

8.2 Klimaschutzbeitrag

Bisher wurden 230 Unternehmen hinsichtlich Ressourcen- und Energieeffizienz beraten.

Anhand eines Monitorings von ca. 20 % der bisherigen Betriebe wurde abgeleitet, dass etwa 72 % der im EffCheck analysierten Maßnahmen tatsächlich erfolgreich umgesetzt wurden. Die folgende Aufstellung zeigt beispielhaft mögliche EffCheck Maßnahmen:

- Detektion und Beseitigung von Leckagen in Druckluftleitungen
- Einsatz von Präsenz- und Bewegungsmeldern
- Verringerung von Ausschuss durch verbesserte Qualitätskontrollen
- Umstellung der Beleuchtung auf LED-Technik
- Rückführen von Wertstoffen in den Produktionskreislauf

- Computerunterstützte Materialausnutzung beim Zuschnitt von Blechen
- Nutzung moderner Schweißtechnologie
- Eigenstromproduktion durch Photovoltaik-Anlagen

Im Durchschnitt spart jedes Unternehmen durch einen EffCheck ca. 200 t CO₂-eq. pro Jahr ein.

Insgesamt leisten diese Unternehmen durch eine jährliche Treibhausgaseinsparung von ca. 46.000 t CO₂-eq. einen Beitrag zum Klimaschutz.²

Dieser ökologische Vorteil wirkt sich auch finanziell für die Firmen aus. Jeder EffCheck-Betrieb spart im Mittel 55.000 € pro Jahr bei einmaliger Investition von durchschnittlich 125.000 € ein.

8.3 Klimaschutzmaßnahmen

Rund 160.000 Unternehmen gibt es in Rheinland-Pfalz.³

Es gilt noch viel mehr Unternehmen für die Durchführung eines EffChecks zu gewinnen, da jedes EffCheck-Unternehmen potenziell einen positiven Beitrag zum Klimaschutz liefert und im Durchschnitt durch einen EffCheck jährlich 200 t CO₂-eq. einspart.

² Dies entspricht ungefähr der Menge an CO₂-eq., die von einem PKW auf einer gefahrenen Strecke von ca. 210 Mio. km ausgestoßen wird (eigene Berechnung anhand Umrechnungsfaktor gemäß UBA (2021c) Emissionstabelle Personenverkehr: 215,6 g CO₂-eq./km)

³ Vgl. Dammers und Kowalczyk (2020)

Zudem profitieren die Firmen auch finanziell von einem EffCheck. Umgesetzte EffCheck-Maßnahmen lohnen sich im Mittel bereits nach weniger als drei Jahren.

Zahlreiche EffCheck-Präsentationsblätter zeigen für verschiedene Branchen die Möglichkeiten und Erfolge einer EffCheck-Beratung auf.

Durch das Veranstalten von Ressourceneffizienz-Unternehmer-Frühstücken (RUF) steigert das LfU den Bekanntheitsgrad des Beratungsprogramms.

Mit der Verbesserung der Landesförderung durch die Investitionszuschussprogramme der Investitions- und Strukturbank Rheinland-Pfalz (ISB) des Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau (MWVLW) werden Synergien genutzt und Anreize für die Durchführung von EffChecks geschaffen.

Insgesamt steht mit dem EffCheck ein bewährtes Beratungsförderprogramm für private und kommunale Unternehmen in Rheinland-Pfalz zur Verfügung. Die Erarbeitung von Ressourcen- und Kosteneinsparpotenzialen bildet eine Grundlage für die nachhaltige Ausrichtung der teilnehmenden Unternehmen. Die umgesetzten Effizienzmaßnahmen sind ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Klimaneutralität der rheinland-pfälzischen Unternehmenslandschaft.

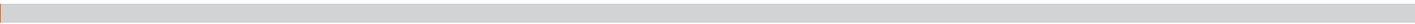
Literaturverzeichnis

- Bidlingmaier, W., Kraft, E., Sebök, S., Springer, C. (2012): Energieeffizienz und CO₂-Bilanz von biologischen Verfahren zur Verwertung von Bioabfällen. EdDE-Dokumentation 14. Auftraggeber: Entsorgungsgemeinschaft der deutschen Entsorgerwirtschaft e.V. (EdDE) Köln.
- Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (BGK) (2010): Energiebilanzen und Treibhausgasemissionen der Kompostierung. Humuswirtschaft & Kompost aktuell. 11/2010. S. 1f.
- Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (BGK) (2017): Schriftliche Mitteilung zum Kompostaufkommen. [zitiert nach Knappe et al. (2019)].
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (2020a): Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld „Kommunalrichtlinie“.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (2020b): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm ProgRess III. URL: <https://www.bmuv.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/ressourceneffizienz/deutsches-ressourceneffizienzprogramm>
- Burgstaller, M., Potrykus, A., Weißenbacher, J., Kabasci, S., Merrettig-Bruns, U., Sayder, B. (2018): Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe. Umweltbundesamt (Hrsg.). Texte 57/2018.
- bvse-Fachverband für Kunststoffrecycling (2019): CO₂-Gutschriften für mehr Recycling und Klimaschutz. URL: <https://www.bvse.de/gut-informiert-kunststoffrecycling/pressemitteilungen-kunststoffrecycling/5252-co2-gutschriften-fuer-mehr-recycling-und-klimaschutz.html> [Zugriff am 04.02.2022].
- Conversio Market & Strategy GmbH (Conversio) (2020a): Bericht. Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019.
- Conversio Market & Strategy GmbH (Conversio) (2020b): Kurzfassung der Studie. Kunststoffrelevante Abfallströme in Deutschland 2019.
- Cuhls, C., Mähl, B., Clemens, J. (2015): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. Umweltbundesamt (Hrsg.). Texte 39/2015.
- Dammers, D., Kowalczyk, M. (2020): Mittelstandsbericht 2020. Statistischer Bericht über die Situation der mittelständischen Wirtschaft in Rheinland-Pfalz. Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz (Hrsg.).
- Dechantsreiter, U. (2016): Bauteile wiederverwenden – Werte entdecken. Ein Handbuch für die Praxis. U. Dechantsreiter und Bundesverband bauteilnetz Deutschland e. V. (Hrsg.). München: oekom Verlag.
- Dehne, I., Knappe, F., Oethjen-Dehne, R., Theis, S. (2016): Abschätzung des zukünftigen Bedarfs an Deponiekapazitäten in Rheinland-Pfalz. Kurzfassung der Studie im Auftrag des Landesamtes für Umwelt Rheinland-Pfalz.
- Dehoust, G., Schüler, D., Rüdener, I. (2007): Ökobilanzielle Untersuchung zur Verwertung von FCKW- und KW-haltigen Kühlgeräten. Endbericht. Öko-Institut e.V. Darmstadt, Freiburg. Auftraggeber: RAL Gütegemeinschaft Rückproduktion von FCKW-haltigen Kühlgeräten e.V. Ellen MacArthur Foundation (2016): The new plastics economy. Rethinking the future of plastics.

- Deutscher Bundestag (2020): Methanemissionen der Tierhaltung. Drucksache 19/19700.
- Ellen MacArthur Foundation (2016): The new plastics economy. Rethinking the future of plastics.
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., Bel, G. (2020): The Global E-waste Monitor 2020. Quantities, flows, and the circular economy potential. URL: <http://ewastemonitor.info/> [Zugriff am 27.07.2020].
- Gabler Wirtschaftslexikon (2021): Umweltindikatoren. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/umweltindikatoren-48320> [Zugriff am 14.09.2021].
- Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) (2019): Plastikatlas. Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoffe. 6. Auflage.
- Heinrich Feeß GmbH & Co. KG, Kirchheim-Teck (2020): telefonische Auskunft.
- Hüttner, A., Richter, F., Kern, M., Raussen, T., Turk, T. (2019): Leitfaden zur hochwertigen Behandlung und Verwertung von kommunalen pflanzlichen Reststoffen im Land Hessen. Auftraggeber: Kompetenzzentrum HessenRohstoffe (HeRo e. V.).
- IPCC (2013): Climate Change 2013, Working Group I: The Science of Climate Change. [zitiert in Hamburger Bildungsserver (2022); Reihenfolge korrigiert].
- Kehres, B., Mähl, B., Clemens, J., Cuhls, C., Reinhold, J., Müsken, J. (2010): Betrieb von Kompostierungsanlagen mit geringen Emissionen klimarelevanter Gase. Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (Hrsg.).
- Kern, M., Raussen, T., Funda, K., Lootsma, A., Hofmann, H. (2010): Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz. Umweltbundesamt (Hrsg.). Texte 43/2010.
- Knappe, F., Reinhardt, J., Kern, M., Turk, T., Raussen, T., Kruse, S., Hüttner, A. (2019): Ermittlung von Kriterien für eine hochwertige Verwertung von Bioabfällen und Ermittlung von Anforderungen an den Anlagenbestand. Abschlussbericht. Umweltbundesamt (Hrsg.). Texte 49/2019.
- Knappe, F., Vogt, R., Lazar, S., Höke, S. (2012): Optimierung der Verwertung organischer Abfälle. Umweltbundesamt (Hrsg.). Texte 31/2012.
- Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU), SAM Sonderabfall-Management-Gesellschaft Rheinland-Pfalz mbH, Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH (2011 bis 2019, jährlich): Landesabfallbilanz Rheinland-Pfalz für die Jahre 2010 bis 2018. Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz (Hrsg.).
- Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU), SAM Sonderabfall-Management-Gesellschaft Rheinland-Pfalz mbH, Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH (2020): Landesabfallbilanz Rheinland-Pfalz 2018. Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz (Hrsg.).
- Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU), SAM Sonderabfall-Management-Gesellschaft Rheinland-Pfalz mbH, Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH (2021): Landesabfallbilanz Rheinland-Pfalz 2020. Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz (Hrsg.).

- Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU), Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH (2019): Entsorgungsanlagen-Kataster Rheinland-Pfalz 2018. Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz (Hrsg.).
- März, P. (2012): Die Metalle der Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen. Dissertation. Fachbereich 13 – Bauingenieurwesen und Geodäsie der Technischen Universität Darmstadt.
- Mattern, M. (2019): Aktennotiz Besuch Fa. Stena Technoworld GmbH, 55774 Baumholder am 14.11.2019.
- Memmler, M., Lauf, T., Schneider, S. (2018): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2017. Umweltbundesamt (Hrsg.). Climate Change 23/2018.
- Memmler, M., Lauf, T., Wolf, K., Schneider, S. (2017): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016. Umweltbundesamtes (Hrsg.). Climate Change 23/2017.
- Memmler, M., Merkel, K., Pabst, J., Rother, S., Schneider, S., Dreher, M. (2013): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2012. Umweltbundesamt (Hrsg.). Climate Change 15/2013.
- Memmler, M., Schrempf, L., Hermann, S., Schneider, S., Pabst, J., Dreher, M. (2014): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2013. Umweltbundesamt (Hrsg.). Climate Change 29/2014.
- Prakash, S., Dehoust, G., Gsell, M., Schleicher, T., Stamminger, R. (2016): Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“. Umweltbundesamt (Hrsg.). Texte 11/2016.
- Prognos AG, INFA GmbH (2020): Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2020. ASA, BDE, BDSAV, BDSV, bvse, DGAW, InWesD, ITAD, KdK, IFAT, PlasticsEurope Deutschland e. V., VDM, VDMA, VHI, VKU (Hrsg.).
- Raussen, T., Kern, M. (2016): Optimale Aufbereitung von Gärresten aus der Bioabfallbehandlung. Ein Leitfaden. Ministerium für Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.).
- Rettenberger, G. (2017): Deponie. In: Kranert, M.: Einführung in die Kreislaufwirtschaft, 5. Auflage 2017, Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Richter, F., Kern, M., Raussen, T., Wagner, J. (2019): Schlussbericht. Optimierung der Erfassung, Aufbereitung und stofflich-energetischen Verwertung von Grüngut in Deutschland (Grün-OPTI). Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH.
- Schneider, M., Röhlen, S., Keßel, N. (2019): Herausforderungen und Perspektiven der Bioabfallwirtschaft. Neues aus Forschung und Praxis – Weiterentwicklung der Bioabfallwirtschaft. Tagungsband Witzenhausen-Institut. Kern, M., Raussen, T. (Hrsg.).
- Schüler, D., Sutter, J. (Update 2016): Ökobilanzielle Untersuchung zur Verwertung von FCKW- und KW-haltigen Kühlgeräten. Öko-Institut e.V. Darmstadt, Freiburg. Auftraggeber: RAL Gemeinschaft Rückproduktion von Kühlgeräten e.V.

- Schwellinger, S., Dietershagen, T. (Fa. Alba) (2019): Aufbereitung von Kühlgeräten differenziert nach dem Treibmittel FCKW oder Pentan zur Reduktion der Betriebskosten und Optimierung der Entsorgung. Thiel, S., Holm, O., Thomé-Kozmiensky, E., Goldmann, D., Friedrich, B. (Hrsg.). Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH. Neuruppin.
- Springer, C. (2010a): Energie und CO₂ – Bilanz der Kompostierung unter Einbezug des Substitutionspotenzials des Komposts. Müll und Abfall. 08/2010. S. 386-396.
- Springer, C. (2010b): Energie- und CO₂-Bilanz von Kompostierungsanlagen – die Basis für einen Effizienzpass. Bd. 10 der Reihe Manuskripte zur Abfallwirtschaft. Rhombos Verlag. Berlin. [zitiert nach Bidlingmaier et al. (2012)].
- Statista (2021): Weltweite und europäische Kunststoffproduktion in den Jahren von 1950 bis 2020. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167099/umfrage/weltproduktion-von-kunststoff-seit-1950/> [Zugriff am 02.02.2022].
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2019): Produzierendes Gewerbe. Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden 2017. Fachserie 4 Reihe 4.3.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2021): Genesis Tabelle: 32121-0003. Aufkommen an Haushaltsabfällen: Bundesländer, Jahre, Abfallarten. URL: <https://www-genesis.destatis.de> [Zugriff am 06.07.2021].
- Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz (2019): Umwelt: Zeitreihen Land. URL: <http://www.statistik.rlp.de/de/gesamtwirtschaft-umwelt/umwelt/zeitreihen-land/tabelle-11/> [Zugriff am 23.07.2021].
- Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz (o. D.). URL: <http://www.statistik.rlp.de/> [Zugriff am 23.07.2021].
- Umweltbundesamt (UBA) (2017): Kurzposition Biokunststoffe. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/uba_kurzposition_biokunststoffe.pdf [Zugriff am 04.02.2022].
- Umweltbundesamt (UBA) (2021a): Glossar. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/service/glossary/> [Zugriff am 26.07.2021].
- Umweltbundesamt (UBA) (2021b): Treibhausgas-Emissionen in der Europäischen Union. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-der-europaeischen-union#hauptverursacher> [Zugriff am 29.09.2021].
- Umweltbundesamt (UBA) (2021c): Emissionsdaten. Emissionstabelle Personenverkehr (2019). URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#TREMODO> [Zugriff am 22.07.2021].
- Vogel, J., Krüger, F., Fabian, M. (2020): Hintergrund. Chemisches Recycling. Umweltbundesamt (Hrsg.).





RheinlandPfalz

LANDESAMT FÜR UMWELT

Kaiser-Friedrich-Straße 7
55116 Mainz

Poststelle@lfu.rlp.de
www.lfu.rlp.de