

KLIMARELEVANZ DER ABLUFTREINIGUNG BEI DER MECHANISCH-BIOLOGISCHEN ABFALLBEHANDLUNG (MBA)

Projekt KAMBA

Christian Neubauer
Christoph Lampert



Projektleitung

Christian Neubauer, Umweltbundesamt

AutorInnen

Christian Neubauer, Umweltbundesamt

Christoph Lampert, Umweltbundesamt

Auftraggeber

Lebensministerium, Abteilung VI/3

Lektorat

Maria Deweis, Umweltbundesamt

Satz/Layout

Elisabeth Riss, Umweltbundesamt

Praxisdaten und Erfahrungswerte bereitgestellt von

Ketel Ketelsen, Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft und Energietechnik GmbH (iba)

Johannes Siemion, Björnsen Beratende Ingenieure GmbH (bce)

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Diese Publikation erscheint ausschließlich in elektronischer Form auf <http://www.umweltbundesamt.at/>.

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2012

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-191-8

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	7
SUMMARY	10
1 EINLEITUNG	13
2 MODELLIERUNG DER ANWENDUNGSFÄLLE	14
2.1 Rahmenbedingungen	14
2.2 Bilanzräume	14
2.2.1 Mechanische Aufbereitung	16
2.2.2 Anaerobe/aerobe biologische Behandlung (Anwendungsfälle A)	16
2.2.3 Aerobe biologische Rotte (Anwendungsfälle B)	17
2.2.4 Aerobe Trocknung (Anwendungsfälle C)	18
2.2.5 Abluftreinigung	19
2.3 Ausgewählte Anwendungsfälle	19
2.3.1 Annahmen zum Abluftmanagement	19
2.3.2 Auswahl anaerobe/aerobe biologische Behandlung (Anwendungsfälle A)	20
2.3.3 Auswahl aerobe biologische Rotte (Anwendungsfälle B)	21
2.3.4 Auswahl aerobe Trocknung (Anwendungsfälle C)	22
3 BERECHNUNGSMETHODE	23
3.1 Allgemeine Beschreibung	23
3.2 Wahl der Systemgrenzen	23
3.3 Energieverbrauch und THG-Emissionen	24
3.3.1 Energieverbrauch	24
3.3.2 Klimarelevante Emissionen	24
3.3.3 Klimarelevante Gutschriften	25
4 DATENERHEBUNG	26
4.1 Daten zu Energieverbrauch und -ertrag	26
4.2 Aggregatkenndaten	27
4.3 Rohgasdaten	27
4.3.1 Anaerobe/aerobe Behandlung (Anwendungsfälle A)	27
4.3.2 Aerobe biologische Rotte (Anwendungsfälle B)	29
4.3.3 Aerobe Trocknung (Anwendungsfälle C)	30
5 BERECHNUNG UND AUSWERTUNG	31
5.1 Vergleich der Anwendungsfälle A „anaerobe Trockenvergärung“	32
5.2 Vergleich der Anwendungsfälle B „aerobe biologische Rotte“	34
5.3 Vergleich der Anwendungsfälle C „aerobe Trocknung“	37

5.4	Vergleiche von Verfahren mit gleichem Abluftreinigungskonzept	39
5.4.1	Verfahren mit Kombination aus RTO & Biofilter.....	40
5.4.2	Verfahren mit ausschließlicher Verwendung von RTO.....	41
5.4.3	Verfahren mit ausschließlicher Verwendung von Biofiltern.....	43
5.5	Vergleiche betreffend des Effektes der Abluftreinigungsanlagen im Hinblick auf die Klimarelevanz	44
6	ZUSAMMENFASSUNG UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE	47
6.1	Ergebnisse der Modellberechnungen	47
6.2	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Österreich	48
6.3	Einflussgrößen auf die Berechnungsergebnisse	50
6.4	Klimarelevanz im Kontext anderer Wirkungskategorien	53
7	VERZEICHNISSE	54
7.1	Literaturverzeichnis	54
7.2	Abkürzungsverzeichnis	56
8	ANHANG	57
8.1	Detaillierte Darstellung – Anwendungsfälle A	57
8.1.1	Verfahren mit Vergärung und nachfolgender Tunnelrotte.....	57
8.1.2	Verfahren mit Vergärung und nachfolgender Hallenrotte	60
8.2	Detaillierte Darstellung – Anwendungsfälle B	63
8.2.1	Verfahren mit Intensivrotte als Tunnelrotte und Nachrotte als Tunnelrotte	63
8.2.2	Verfahren mit Intensivrotte als Tunnelrotte und Nachrotte als Hallenrotte	66
8.2.3	Verfahren mit Intensivrotte als Tunnelrotte und Nachrotte als offene Rotte.....	69
8.2.4	Verfahren mit Intensivrotte als Hallenrotte und Nachrotte als Hallenrotte	72
8.2.5	Verfahren mit Intensivrotte als Hallenrotte und Nachrotte als offene Rotte.....	75
8.3	Detaillierte Darstellung – Anwendungsfälle C	78
8.3.1	Verfahren mit Trocknung als Tunneltrocknung nach erfolgter mechanischer Aufbereitung	78
8.3.2	Verfahren mit Trocknung als Hallentrocknung nach erfolgter mechanischer Aufbereitung	81
8.4	Rohgasdaten zu den modellierten Anwendungsfällen	84
8.4.1	Rohgasdaten Anwendungsfälle A – Trockenvergärung mit nachfolgender aerober Rotte	84
8.4.2	Rohgasdaten Anwendungsfälle B – Aerobe Intensivrotte mit aerober Nachrotte	85
8.4.3	Rohgasdaten Anwendungsfälle C – Aerobe Trocknung	86

TABELLEN

Tabelle 1: Betrachtete anaerobe/aerobe Behandlungsverfahren.....	20
Tabelle 2: Betrachtete aerobe Behandlungsverfahren.....	21
Tabelle 3: Betrachtete aerobe Trocknungsverfahren.....	22
Tabelle 4: Eingangsdaten Energieverbrauch und Energieertrag.....	26
Tabelle 5: Eingangsdaten Aggregate.....	27
Tabelle 6: Einfluss ausgewählter Eingangsgrößen auf die Gesamtbilanz (Änderungen in %).	52
Tabelle 7: Einfluss ausgewählter Eingangsgrößen auf die THG- Emissionen (Änderungen in kg CO ₂ -Äquiv.).....	52
Tabelle 8: Eingangsdaten Rohgas Anwendungsfälle A.....	84
Tabelle 9: Eingangsdaten Rohgas Anwendungsfälle B.....	85
Tabelle 10: Eingangsdaten Rohgas Anwendungsfälle C.....	86

ABBILDUNGEN

Abbildung 1: Gesamtbilanzen der Varianten der Trockenvergärung (Anwendungsfälle A).....	32
Abbildung 2: Frachten und Konzentrationen an TOC im Reingas der Anwendungsfälle A.....	34
Abbildung 3: Gesamtbilanzen der Varianten der aeroben Rotte (Anwendungsfälle B).....	35
Abbildung 4: Frachten und Konzentrationen an TOC im Reingas der Anwendungsfälle B.....	37
Abbildung 5: Gesamtbilanzen der Varianten der aeroben Trocknung (Anwendungsfälle C).....	38
Abbildung 6: Frachten und Konzentrationen an TOC im Reingas der Anwendungsfälle C.....	39
Abbildung 7: Abluftreinigungskonzept: Kombination aus RTO & Biofilter.....	40
Abbildung 8: Abluftreinigungskonzept: Ausschließliche Verwendung RTO.....	42
Abbildung 9: Abluftreinigungskonzept: Ausschließliche Verwendung Biofilter.....	43
Abbildung 10: Effekt der Abluftreinigung im Hinblick auf die Klimarelevanz I.....	45
Abbildung 11: Effekt der Abluftreinigung im Hinblick auf die Klimarelevanz II.....	46
Abbildung 12: Anwendungsfall A1/TV & TR (WS + RT).....	57
Abbildung 13: Anwendungsfall A2/TV & TR (WS + BF).....	58

Abbildung 14: Anwendungsfall A3/TV & TR (WS + BF & WS + RT).....	59
Abbildung 15: Anwendungsfall A4/TV & HR (WS + RT).....	60
Abbildung 16: Anwendungsfall A5/TV & HR (WS + BF).....	61
Abbildung 17: Anwendungsfall A6/TV & HR (WS + BF & WS + RT).....	62
Abbildung 18: Anwendungsfall B1/TR & TR (WS + RT).....	63
Abbildung 19: Anwendungsfall B2/TR & TR (WS + BF).....	64
Abbildung 20: Anwendungsfall B3/TR & TR (WS + BF & WS + RT).....	65
Abbildung 21: Anwendungsfall B4/TR & HR (WS + RT).....	66
Abbildung 22: Anwendungsfall B5/TR & HR (WS + BF).....	67
Abbildung 23: Anwendungsfall B6/TR & HR (WS + BF & WS + RT).....	68
Abbildung 24: Anwendungsfall B7/TR & OR (WS + RT).....	69
Abbildung 25: Anwendungsfall B8/TR & OR (WS + BF).....	70
Abbildung 26: Anwendungsfall B9/TR & OR (WS + BF & WS + RT).....	71
Abbildung 27: Anwendungsfall B13/HR & HR (WS + RT).....	72
Abbildung 28: Anwendungsfall B14/HR & HR (WS + BF).....	73
Abbildung 29: Anwendungsfall B15/HR & HR (WS + BF & WS + RT).....	74
Abbildung 30: Anwendungsfall B16/HR & OR (WS + RT).....	75
Abbildung 31: Anwendungsfall B17/HR & OR (WS + BF).....	76
Abbildung 32: Anwendungsfall B18/HR & OR (WS + BF & WS + RT).....	77
Abbildung 33: Anwendungsfall C1/TT (WN + RT).....	78
Abbildung 34: Anwendungsfall C2/TT (WN + BF).....	79
Abbildung 35: Anwendungsfall C3/TT (WN + BF & WN + RT).....	80
Abbildung 36: Anwendungsfall C4/HT (WN + RT).....	81
Abbildung 37: Anwendungsfall C5/HT (WN + BF).....	82
Abbildung 38: Anwendungsfall C6/HT (WN + BF & WN + RT).....	83

ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Bericht, der im Auftrag des Lebensministeriums erstellt wurde, werden ausgewählte, der Praxis nachgebildete Anwendungsfälle der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung gemischter Siedlungs- und Gewerbeabfälle modelliert und entsprechend deren Klimarelevanz beurteilt.

Für die Anwendungsfälle A (**Teilstromvergärung**¹) wurden sechs, für die Anwendungsfälle B („**klassische**“ **Rotteverfahren**, ausgeführt als aerobe biologische Intensivrotte und aerobe biologische Nachrotte²) 15 und für die Anwendungsfälle C (**Trocknungsverfahren**³) sechs verschiedene Verfahrensvarianten mit unterschiedlichen Abluftmengen und TOC-Frachten und jeweils unterschiedlichen Abluftreinigungskonzepten modelliert.

Eingangsdaten betreffend Rohgaskonzentrationen und -frachten sowie Kenndaten zum Betrieb der mechanisch-biologischen Verfahren und Abluftreinigungsaggregate basieren auf Erfahrungswerten und kontinuierlichen Messungen zahlreicher MBA-Anlagen in Deutschland. Diese werden nach den Anforderungen der 30. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung (30. BImSchV) betrieben. Für MBA-Anlagen in Österreich lagen kaum kontinuierliche Messdaten zu Betrieb und Emissionen vor, diese konnten daher nicht Eingang in die Berechnungen finden.

Für die Ermittlung der Klimarelevanz wurden bei den Emissionen direkte (am Standort auftretend) sowie im Bereich der Energiebereitstellung auch indirekte Emissionen (in der Vorkette auftretend) berücksichtigt. An klimarelevanten Gutsschriften wurde die Erzeugung von Ammoniumsulfat (ASL) im sauren Wäscher sowie in den Verfahrensvarianten mit Vergärung die Erzeugung von Strom berücksichtigt.

Betrachtung der einzelnen Anwendungsfälle

Bei der **Teilstromvergärung** zeigen die Verfahren mit kombiniertem Abluftreinigungskonzept (A3, A6, Verwendung von Biofiltern und RTO) die geringsten Gesamtbelastungen. Die besten Ergebnisse weist dabei das Verfahren A3 (Teilstromvergärung, Tunnelrotte) mit einer Gesamtbelastung von – 9,8 kg CO₂-Äquiv./t MBA auf.

Wird die Abluft ausschließlich über Biofilter gereinigt, so werden die Grenzwerte der MBA-Richtlinie für TOC (MBA-RL: 100 g C/t MBA und TMW 20 mg C/m³) um ein Vielfaches überschritten. Bei der Reinigung der Abluft ausschließlich über die RTO bzw. RTO kombiniert mit Biofilter werden die Grenzwerte eingehalten (darüber hinaus werden auch die Grenzwerte der 30. BImSchV von 55 g C/t MBA und TMW 20 mg C/m³ eingehalten).

Modellierte Anwendungsfälle

Verwendete Datenbasis

Emissionen für die Bewertung der Klimarelevanz

Anwendungsfälle A

¹ Tunnelrotte (Verfahren A1–A3) Abluftmenge 3.750 m³/t MBA, TOC-Fracht 1,3 kg C/t MBA; Hallenrotte (Verfahren A4–A6) Abluftmenge 4.900 m³/t MBA, TOC-Fracht 1,0 kg C/t MBA.

² Tunnelrotte (Verfahren B1–B9) Abluftmenge (4.000 m³/t MBA), TOC-Fracht 1,15 kg C/t MBA; Hallenrotte (Verfahren B13–B18) Abluftmenge 5.250 m³/t MBA, TOC-Fracht 0,9 kg C/t MBA.

³ Tunneltrocknung (Verfahren C1–C3) Abluftmenge 3.500 m³/t MBA, TOC-Fracht 0,5 kg C/t MBA; Hallentrocknung (Verfahren C4–C6) Abluftmenge 6.125 m³/t MBA TOC-Fracht 0,4 kg C/t MBA.

Anwendungsfälle B Bei den „klassischen“ Rotteverfahren zeigen ebenfalls die Verfahren mit kombiniertem Abluftreinigungskonzept die geringsten Gesamtbelastungen. Die besten Ergebnisse weist das Verfahren B9 (Tunnelrotte mit offener Nachrotte) mit einer Gesamtbelastung von 18,8 kg CO₂-Äquiv./t MBA auf. Bei der Tunnelrotte werden die höchsten Belastungen bei ausschließlicher Reinigung im Biofilter, bei der Hallenrotte bei ausschließlicher Reinigung in der RTO ausgewiesen.

Bei Abluftreinigungskonzepten mit ausschließlicher Verwendung des Biofilters werden die Grenzwerte der MBA-RL bei der Fracht um das 6,5- bis 9-fache und bei der Konzentration um das 6- bis 11-fache überschritten. Bei Anwendung der Abluftreinigungskonzepte mit ausschließlicher Verwendung der RTO bzw. mit Kombinationsverfahren RTO und Biofilter werden die Grenzwerte eingehalten (darüber hinaus werden bei diesen Verfahren auch die Grenzwerte der 30. BImSchV eingehalten).

Anwendungsfälle C Bei den Trocknungsverfahren zeigen die Verfahren mit Abluftreinigungskonzepten unter ausschließlicher Verwendung von Biofiltern die geringsten Gesamtbelastungen. Die besten Ergebnisse weist das Verfahren C5 (Hallentrocknung) mit einer Gesamtbelastung von 9,0 kg CO₂-Äquiv./t MBA) auf, wobei dies vorwiegend mit den geringen Frachten an TOC und Lachgas im Rohgas zu begründen ist. Bei ausschließlicher Verwendung des Biofilters werden jedoch die TOC-Grenzwerte der MBA-RL überschritten.

Vergleich der Anwendungsfälle miteinander

Bei Anwendung der Abluftreinigungskonzepte mit ausschließlicher Verwendung der RTO bzw. mit Kombinationsverfahren RTO & Biofilter werden die Grenzwerte der MBA-RL für TOC eingehalten. Die Grenzwerte der 30. BImSchV werden ebenso eingehalten – mit Ausnahme der Hallentrocknung mit kombinierter Abluftbehandlung, bei welcher der Frachtgrenzwert überschritten wird.

Teilstromvergärung mit Gutschriften durch die Biogasnutzung

Die Anwendungsfälle A (Teilstromvergärung) zeigen im Vergleich mit den Anwendungsfällen B und C durch die Gutschrift für den erzeugten Strom aus der Biogasnutzung (18 bis 24 kg CO₂-Äquiv./t) in Hinblick auf die Klimarelevanz die besten Gesamtbilanzen. Dabei zeigen die Anwendungsfälle A mit Behandlung der Abluft in der RTO oder kombiniert mit Biofilter eine negative Gesamtbilanz (von – 6 bis – 10 kg CO₂-Äquiv./t MBA).

Bei den Kombinationsverfahren aus RTO & Biofilter der Anwendungsfälle B und C zeigt sich, dass die Verfahren mit Hallenrotte/-trocknung (B15, B18 und C6) etwas höhere Gesamtbelastungen aufweisen (> 22 kg CO₂-Äquiv./t MBA). Die Verfahren mit Tunnelrotte/-trocknung weisen Belastungen in den Bereichen 19 bis 21 kg CO₂-Äquiv./t MBA auf.

Würden in den Anwendungsfällen die Begrenzung der Lachgasemissionen gemäß der 30. BImSchV (100 mg N₂O/t MBA) ausgereizt, so wäre die Gesamtbelastung der Anlagen um rund 22 kg CO₂-Äquiv./t MBA höher, was die Bedeutung des Parameters Lachgas unterstreicht.

Verfahren unter ausschließlicher Verwendung der RTO weisen jeweils die höchsten Belastungen im Hinblick auf die Klimarelevanz auf. Verfahren unter ausschließlicher Verwendung von Biofiltern überschreiten hingegen die Grenzwerte der MBA-RL für TOC teilweise um ein Vielfaches.

Demnach wird, basierend auf den durchgeführten Bewertungen, das Abluftreinigungskonzept der Kombination von Biofiltern & RTO bei den Anwendungsfällen A und B als bevorzugtes Verfahren empfohlen. Damit können gezielt hoch belastete Abluftströme der Rotte/Trocknung über die RTO und gering belastete Abluftströme der Hallenbereiche unter Einhaltung der Vorgaben der MBA-RL für TOC über den Biofilter gereinigt werden.

***Kombination von
Biofiltern & RTO
wird empfohlen***

Aus Sicht der Klimarelevanz ist bei den Anwendungsfällen C die alleinige Behandlung im Biofilter zu bevorzugen. Allerdings werden dabei im Falle der Tunnel-trocknung sowohl die Begrenzungen der TOC-Fracht als auch der TOC-Konzentration der MBA-RL um das 2- bis 3-fache überschritten. Bei der Hallen-trocknung werden die Vorgaben für die TOC-Fracht um 35 % und für die TOC-Konzentration um 10 % überschritten.

Die Einhaltung der Grenzwerte der MBA-RL unter Berücksichtigung einer geringen Klimabelastung wird bei allen modellierten Anwendungsfällen nur durch das Abluftreinigungskonzept der Kombination von Biofiltern & RTO ermöglicht.

SUMMARY

In this report selected use cases, which represent simulated mechanical-biological treatment processes for mixed municipal and commercial waste as they are used in practice, are modelled and evaluated in terms of their climate relevance.

Modelled applications For the use cases “A” (**partial digestion**⁴) six different process options were modelled, while 15 were modelled for the use cases “B” (“**classic**“ **rotting processes** with an aerobic biological intensive rotting stage and an aerobic biological post-rotting stage⁵) and six different process options (with different amounts of exhaust air and TOC loads, and different exhaust air treatment systems in each case) for the use cases “C” (**drying processes**⁶).

Used data Input data relating to crude gas concentrations and loads, as well as the data used on the operation of the mechanical biological systems and exhaust air treatment devices, are based on experience and continuous measurements carried out at a large number of mechanical biological treatment facilities in Germany. These facilities are operated according to the requirements of the 30th Federal Emission Control Ordinance (*Bundesimmissionsschutzverordnung*). In Austria, hardly any continuous measurement data were available on operations and emissions, which is why no such data could be included in the calculations.

Emissions considered for evaluating climate relevance To evaluate the climate relevance, direct emissions (arising at the site of the facility) and indirect emissions associated with the energy supply (during the upstream chain) were considered. The production of ammonium sulphate (ASL) in the acid scrubber was taken into account as a climate-relevant credit, as was the production of electricity in those process options which included digestion.

Examining the individual use cases

Use cases A As regards **partial digestion**, processes with combined exhaust air treatment systems (A3, A6, use of biofilters and RTO) show the lowest total emission loads. The A3 process (partial digestion, rotting in a tunnel) achieves the best result here with a total emission load of – 9.8 kg of CO₂ Equiv./t MBT.

Where the exhaust air is treated with biofilters only, the limit values of the Guideline on the Mechanical Biological Treatment of Waste for TOC (100 g C/t MBT and a daily mean of 20 mg C/m³) are exceeded significantly. Where the exhaust air is treated through RTO only, or via RTO combined with biofilters, compliance with the limit values is achieved (and the limit values of the 30th Federal Emission Control Ordinance of 55 g C/t MBT and the daily mean value of 20 mg C/m³ are also complied with).

⁴ Rotting in a tunnel (processes A1–A3) amount of exhaust air 3,750 m³/t MBT, TOC load 1.3 kg C/t MBA; rotting in a closed hall (processes A4–A6) amount of exhaust air 4,900 m³/t MBA, TOC load 1.0 kg C/t MBT.

⁵ Rotting in a tunnel (processes B1–B9) amount of exhaust air (4,000 m³/t MBT), TOC load 1.15 kg C/t MBT; rotting in a closed hall (processes B13–B18) amount of exhaust air 5.250 m³/t MBT, TOC load 0.9 kg C/t MBT.

⁶ Drying in a tunnel (processes C1–C3) amount of exhaust air 3,500 m³/t MBT, TOC load 0.5 kg C/t MBT; drying in a closed hall (processes C4–C6) amount of exhaust air 6,125 m³/t MBT TOC load 0.4 kg C/t MBT.

Of the “**classic**“ **rotting processes**, those with combined exhaust air treatment systems show the lowest total emission loads. The process B9 (rotting in a tunnel with an open post-rotting stage) achieves the best results with a total emission load of 18.8 kg CO₂ Equiv./t MBT. With rotting processes in a tunnel, the highest loads were found to occur where only biofilters are used for treatment, while in the case of rotting in a closed hall, emission loads are highest where treatment is performed through RTO only.

Use cases B

Exhaust air treatment systems using a biofilter only were found to result in a 6.5- or up to 9-fold exceedance of the limit values of the Guideline on the Mechanical Biological Treatment of Waste for emission loads, and in a 6- up to 11-fold exceedance with respect to the concentrations. Where exhaust air treatment systems with RTO only (or with a combination of RTO and biofilter are used), compliance with the limit values is achieved (and the limit values of the 30th Federal Emission Control Ordinance are complied with as well).

With respect to the **drying processes**, emission loads were found to be lowest for those which include exhaust air treatment systems where only biofilters are used. The C5 process (drying in a closed hall) achieves the best results with a total emission load of 9.0 kg CO₂ Equiv./t MBT, which is mainly due to low TOC and nitrous oxide loads in the crude gas. If only a biofilter is used, however, the TOC limit values of the Guideline on the Mechanical Biological Treatment of Waste are exceeded.

Use cases C

Comparing the use cases with each other

Where exhaust air treatment systems with RTO only (or with a combination of RTO and biofilter) are used, compliance with the limit values of the Guideline on the Mechanical Biological Treatment of Waste for TOC is achieved. The limit values of the 30th Federal Emission Control Ordinance are also complied with – except for the drying process in closed halls with combined exhaust air treatment where the limit value for loads is exceeded.

Compared with the use cases B and C, the use cases A (partial digestion) achieve the best overall balances in terms of climate relevance as a result of the electricity produced from biogas utilisation which can be counted as a credit (18 up to 24 kg CO₂ Equiv./t). Here the overall balance for those use cases A where the exhaust air is treated via RTO (or RTO combined with a biofilter) is negative (from – 6 to – 10 kg CO₂ Equiv./t MBT).

Partial digestion: credit through biogas utilisation

The RTO & biofilter combination processes in the use cases B and C show that the total emission loads are slightly higher (> 22 kg CO₂ Equiv./t MBT) for processes with rotting/drying in a closed hall (B15, B18 and C6). The loads for processes which involve rotting/drying in a tunnel are in the range of 19 up to 21 kg CO₂ Equiv./t MBT.

If, in these use cases, the limit for nitrous oxide emissions as specified in the 30th Federal Emission Control Ordinance (100 mg N₂O/t MBT) were to be fully exploited, the total emission loads for the facilities would be about 22 kg CO₂ Equiv./t MBT higher, which underlines the importance of the parameter nitrous oxide.

Processes where only RTO is used show the highest emission loads with respect to climate relevance, while those processes where only biofilters are used partially exceed the limit values of the Guideline on the Mechanical Biological Treatment of Waste for TOC significantly.

A combination of biofilters & RTO is recommended

On the basis of the performed evaluations, an exhaust air treatment system which combines biofilters & RTO is therefore recommended as a process which is preferable for the use cases A and B. With this process, exhaust air streams with high pollutant loads from rotting/drying can be treated specifically with RTO while exhaust air streams with low pollutant loads from closed halls are treated with biofilters, thus ensuring compliance with the requirements of the Guideline on the Mechanical Biological Treatment of Waste for TOC.

From the perspective of climate relevance, biofilter-only treatment is preferable in the use cases C. The drying process in a tunnel, however, has been found to result in a 2- or 3-fold exceedance of both the limits for TOC loads and for the TOC concentration of the Guideline on the Mechanical Biological Treatment of Waste. In the case of the drying process in a closed hall, the requirements for the TOC load are exceeded by 35 %, for the TOC concentration by 10 %.

Bearing in mind that climate impacts should be kept low, compliance with the recommended values of the Guideline on the Mechanical Biological Treatment of Waste can only be achieved when using an exhaust air treatment system which combines biofilters & RTO in all of the modelled use cases.

1 EINLEITUNG

Die aerobe mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) hat sich in Österreich, begleitend zur thermischen Abfallbehandlung, zu einer bedeutenden Option der Behandlung von gemischten Siedlungs- und Gewerbeabfällen entwickelt. Dabei werden in Österreich, ähnlich wie in Deutschland, neben Verfahren der Tunnelrotte auch Verfahren der Hallenrotte eingesetzt. Im Gegensatz zu Deutschland kommen anaerobe Verfahren zur Behandlung von gemischten Siedlungs- und Gewerbeabfällen in Österreich nicht zur Anwendung.

Zur Abluftbehandlung werden in Österreich vorwiegend Wäscher/Biofilter-Systeme zur Reinigung der anfallenden Abluft aus MBA-Anlagen eingesetzt. Nur eine MBA-Anlage reinigte die Abluft im Jahr 2011 über das Verfahren der Regenerativen Thermischen Oxidation (RTO). In Deutschland wird die Abluft aufgrund der verbindlichen Festschreibung von Emissionsgrenzwerten in der 30. BImSchV überwiegend über RTO-Anlagen gereinigt, Biofilter kommen zusätzlich zur Reinigung schwach belasteter Abluft zum Einsatz. Die Grenzwerte in Deutschland erfordern eine entsprechende Mehrfachnutzung und Minimierung der Abluft, was hohe Anforderungen an das Abluftmanagement stellt. Darüber hinaus ergeben sich dadurch Probleme hinsichtlich der Korrosion von Anlagenteilen (insbesondere der Hallen).

Die verbindliche Regelung in Deutschland besteht seit 2005, wodurch entsprechende Erfahrungen betreffend Abluftmanagement, insbesondere mit dem Betrieb der Abluftreinigung vorliegen. Vor diesem Hintergrund und unter der Annahme, dass in Österreich durch die MBA-Verordnung wie in Deutschland eine verbindliche rechtliche Regelung kommen wird, werden im vorliegenden Bericht Varianten der Abluftreinigung für ausgewählte, der Praxis nachgebildete Anwendungsfälle im Hinblick auf deren Klimarelevanz bewertet.

Ziel der Studie ist es, durch entsprechende Modellierung festzustellen, welche Verfahrensvarianten der Prozessführungen

- aerobe biologische Rotte in Kombination mit anaerober Vergärung als Teilstromvergärung (Anwendungsfälle A),
- aerobe biologische Intensivrotte in Kombination mit aerober biologischer Nachrotte (Anwendungsfälle B),
- aerobe biologische Trocknung (Anwendungsfälle C)

in Kombination mit welchen Verfahrensvarianten der Abluftreinigung

- ausschließlich Wäscher/RTO,
- ausschließlich Wäscher/Biofilter,
- Wäscher/Biofilter in Kombination mit Wäscher/RTO

die aus Sicht der Klimarelevanz vorteilhafteste Betriebsführung darstellt.

Abluftmanagement & Abluftbehandlung

Ziel der Studie

2 MODELLIERUNG DER ANWENDUNGSFÄLLE

2.1 Rahmenbedingungen

Im Zuge der Modellierung war es wichtig, Anwendungsfälle aus der Praxis zu berücksichtigen. In Österreich kommen im Bereich der MBA von Siedlungsabfällen neben den Verfahren der aeroben biologischen Rotte auch Verfahren der aeroben Trocknung zur Anwendung.

Darüber hinaus war es von Bedeutung, im Hinblick auf eine Optimierung der MBA potenzielle Verfahren zu berücksichtigen, die für eine Adaptierung der Anlagen in Frage kommen. Dahingehend wurde das Kombinationsverfahren der anaeroben/aeroben Prozessführung in die vergleichende Bewertung mit aufgenommen.

2.2 Bilanzräume

Untersuchte Anwendungsfälle

Folgende Anwendungsfälle werden betrachtet:

- Anaerobe/aerobe biologische Behandlung (**Anwendungsfälle A**),
- Aerobe biologische Rotte (**Anwendungsfälle B**),
- Aerobe Trocknung (**Anwendungsfälle C**).

Rotte-/Trocknungs- verfahren

Die Rotte/Trocknung kann je nach Anwendungsfall unterschiedlich ausgeführt sein: Hallenrotte/-trocknung, Tunnelrotte/-trocknung, offene Nachrotte bzw. Kombinationen daraus.

Bei der Tunnelrotte/-trocknung können Wasserhaushalt und Luftmanagement aktiv gesteuert werden. Die Abluft wird durch Umluftführung angereichert und kann vollständig erfasst und der Abluftreinigung zugeführt werden.

Bei der Hallenrotte/-trocknung können Wasserhaushalt und Luftmanagement aktiv gesteuert werden. Die Abluft wird durch Saugbelüftung abgezogen und kann vollständig erfasst und der Abluftreinigung zugeführt werden. Bei der Hallenrotte erfolgt keine Umluftführung.

Im Zuge der offenen Rotte können Wasserhaushalt und Luftmanagement teilweise gesteuert werden. Sofern eine Ausführung mit Saugbelüftung der offenen Mieten vorhanden ist, kann Abluft teilweise erfasst und der Abluftreinigung zugeführt werden. Für die Modellierung wird angenommen, dass keine Abluffterfassung im Zuge der offenen biologischen Nachrotte erfolgt.

Abluftreinigung

Die Abluftreinigung kann wiederum verschiedene Aggregate bzw. Kombinationen davon umfassen

- Wäscher neutral (WN),
- Wäscher sauer (WS),
- Biofilter (BF),
- Regenerativ thermische Oxidation (RTO).

In Summe ergeben die genannten Verfahren insgesamt eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten. Folgende Annahmen reduzieren die Anzahl der betrachteten Anwendungsfälle:

- Es wird davon ausgegangen, dass die „Mechanische Aufbereitung vor der biologischen Behandlung (M)“ für alle Anwendungsfälle ident stattfindet.
- Es wird davon ausgegangen, dass die „Anaerobe Trockenvergärung als Teilstromvergärung (A – TV)“ nicht mit anschließender „Aerober offener Nachrotte (A – OR)“ kombiniert ausgeführt wird.
- Es wird davon ausgegangen, dass die „Aerobe Intensivrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HR)“ nicht mit anschließender „Nachrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRN)“ kombiniert ausgeführt wird.
- Es wird davon ausgegangen, dass die „Geschlossene aerobe Trocknung (C – TT & C – HT)“ als einstufiger Prozess ohne Nachbehandlung stattfindet.

Einschränkungen

Somit ergeben sich folgende Bilanzräume:

Mechanische Aufbereitung:

- Mechanische Aufbereitung vor der biologischen Behandlung (M).

Anaerobe/aerobe biologische Behandlung (Anwendungsfälle A):

- Anaerobe Trockenvergärung als Teilstromvergärung (A – TV);
- Aerobe biologische Nachbehandlung
 - Aerobe Nachrotte nach Vergärung als Tunnelrotte geschlossen (A – TR),
 - Aerobe Nachrotte nach Vergärung als Mietenrotte in geschlossener Halle (A – HR).

Aerobe biologische Rotte (Anwendungsfälle B):

- Aerobe Intensivrotte
 - Geschlossene aerobe Intensivrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TR),
 - Geschlossene aerobe Intensivrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HR);
- Aerobe biologische Nachbehandlung
 - Geschlossene aerobe Nachrotte nach aerober biologischer Intensivrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRN),
 - Geschlossene aerobe Nachrotte nach aerober biologischer Intensivrott als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRN),
 - Offene Nachrotte ohne Ablufferfassung nach aerober biologischer Intensivrotte (B – ORN).

Aerobe Trocknung (Anwendungsfälle C):

- Aerobe Trocknung als Tunneltrocknung – nach der mechanischen Aufbereitung (C – TT),
- Aerobe Trocknung als Mietentrocknung in geschlossener Halle – nach der mechanischen Aufbereitung (C – HT).

Bei den Anwendungsfällen A und B wird jeweils vor den Reinigungsaggregaten ein saurer Wäscher vorgeschaltet.

Ermittelte Bilanzräume

In den Anwendungsfällen C wird anstelle eines sauren Wäschers ein neutraler Wäscher vorgeschaltet, da bei der Trocknung mit wesentlich geringeren Stickstofffrachten (u. a. Ammoniak) im Rohgas gerechnet wird.

2.2.1 Mechanische Aufbereitung

Die mechanische Abfallbehandlung im Rahmen der MBA von gemischten Siedlungs- und Gewerbeabfällen umfasst in der Regel die Aufbereitungsschritte der Zerkleinerung, Siebung, Sichtung und Klassierung mit gezielter Wertstoffabtrennung und Konditionierung der Abfallmengen für die weitere thermische und biologische Behandlung. Für die Berechnung der klimarelevanten Belastungen werden nur die durch das Abluftmanagement bedingten Belastungen berücksichtigt.

2.2.1.1 Mechanische Aufbereitung vor der biologischen Behandlung (M)

Nach UMWELTBUNDESAMT (2008A) wurden im Jahr 2007 bei 14 bilanzierten MBA-Anlagen ca. 52 % des in die MBA-Anlagen eingebrachten Abfalls durch die mechanische Aufbereitung abgetrennt und einer externen stofflichen Verwertung und/oder thermischen Behandlung zugeführt.

Generell findet die mechanische Aufbereitung vor der intensiven biologischen Behandlung statt und es wird dabei – basierend auf den Erhebungen nach UMWELTBUNDESAMT (2008A) – für die Modellierung der Anwendungsfälle angenommen, dass 50 % des Anlageninputs in eine MBA-Anlage durch die mechanische Aufbereitung abgetrennt und extern einer weiteren Behandlung zugeführt wird.

2.2.2 Anaerobe/aerobe biologische Behandlung (Anwendungsfälle A)

In Österreich befindet sich keine MBA-Anlage zur Behandlung gemischter Siedlungsabfälle mit anaerober Behandlungsstufe (Vergärung) in Betrieb (Stand: Ende 2011).

Nach UMWELTBUNDESAMT DEUTSCHLAND (2010) führt, unabhängig vom wirtschaftlichen Ergebnis, die Integration einer Vergärung zu einer deutlichen Verbesserung der Energieeffizienz und Klimabilanz der MBA-Anlage. Gegenüber einer ausschließlichen Rotte-MBA lassen sich durch entsprechende Gutschriften bei der Energieerzeugung aus dem produzierten Biogas klimawirksame CO₂-Emissionen in der Größenordnung von 50–100 kg CO₂/t MBA einsparen.⁷

2.2.2.1 Anaerobe Trockenvergärung als Teilstromvergärung (A – TV)

Bei den für die Nachrüstung angebotenen Vergärungsverfahren wird von allen Anbietern eine Ausführung als Teilstromvergärung bestätigt. Bei bestehenden MBA-Anlagen hat sich in Deutschland insbesondere die Trockenvergärung als Teilstromvergärung etabliert (UMWELTBUNDESAMT DEUTSCHLAND 2010).

⁷ Gilt für Deutschland mit deutschem Strommix.

In Deutschland wurde u. a. das kontinuierliche Verfahren mit einem Anteil von z. B. 70 % zur Vergärung als geeignetes Verfahren zur Nachrüstung von ausschließlich aerob betriebenen MBA-Anlagen bewertet (UMWELTBUNDESAMT DEUTSCHLAND 2010). Dabei wurden neben einem negativen Aspekt (bei Verfahren mit niedrigen Trockengehalten im Reaktor ist zusätzlich eine Abtrennung einer Schwerfraktion erforderlich) folgende Kriterien als positiv bewertet:

- gute Betriebserfahrungen,
- mehrere Verfahrensanbieter vorhanden,
- technische Eignung für Restabfall nachgewiesen,
- sehr hohe Gaserträge nachgewiesen,
- Einbindung in bestehende Rottekapazitäten möglich,
- Konzeption einer Teilstrombehandlung möglich,
- variable Ausbaugrößen möglich,
- keine Veränderung der Stoffstromaufteilung in der MBA erforderlich.

Positive Aspekte der Teilstromvergärung

Auf Basis dessen wurde die Trockenvergärung als kontinuierliche Teilstromvergärung mit einem Anteil **von 70 % zur Vergärung** und **30 % zur Nachrotte** als Verfahren für die gegenständliche Studie aufgenommen.

Die 30 % des Inputmaterials in die biologische Behandlung, welche nicht der Vergärung zugeführt werden, werden gemeinsam mit dem Gärrest der nachfolgenden aeroben biologischen Behandlung zugeführt.

Es wird angenommen, dass vom Eintrag in die biologische Behandlung (70 % Vergärung + 30 % Nachrotte) 11 % als Biogas im Zuge der Anaerobtechnik ausgetragen, 27 % als Wasserverlust ausgetragen, 7 % im Zuge der Nachrotte abgebaut, und 55 % schlussendlich deponiert werden (UMWELTBUNDESAMT DEUTSCHLAND 2010).

Für die aerobe Nachrotte in den Anwendungsfällen A werden folgende zwei Anwendungsfälle betrachtet:

- **Aerobe biologische Rotte nach Vergärung als Tunnelrotte geschlossen (A – TR),**
- **Aerobe biologische Rotte nach Vergärung als Mietenrotte in geschlossener Halle (A – HR).**

Tunnel- oder Hallenrotte nach der Vergärung

2.2.3 Aerobe biologische Rotte (Anwendungsfälle B)

Diese Verfahrensvariante stellt die für Österreich typische Anlagenkonstellation dar. Die ausschließlich aerobe Behandlung, geteilt in eine intensive aerobe Rotte mit angeschlossener aerober Nachbehandlung, wird an mehreren Standorten in Österreich praktiziert (siehe auch UMWELTBUNDESAMT 2006).

2.2.3.1 Aerobe biologische Intensivrotte

Die aerobe Intensivrotte ist generell in geschlossenen Bereichen auszuführen, wo Wasserhaushalt und Luftmanagement aktiv gesteuert und die entstehenden Abluftmengen gezielt erfasst werden können.

Tunnel- oder Hallenrotte Für die aerobe Intensivrotte in den Anwendungsfällen B werden folgende zwei Anwendungsfälle betrachtet:

- **Geschlossene aerobe Intensivrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRI),**
- **Geschlossene aerobe Intensivrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRI).**

2.2.3.2 Aerobe biologische Nachrotte

Die aerobe biologische Nachbehandlung kann sowohl in geschlossenen als auch in offenen Bereichen (auch überdachten Bereichen) durchgeführt werden.

Tunnel-, Hallenrotte oder offene Rotte Für die aerobe Nachrotte in den Anwendungsfällen B werden folgende drei Anwendungsfälle betrachtet:

- **Geschlossene aerobe Nachrotte nach aerober biologischer Intensivrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRN),**
- **Geschlossene aerobe Nachrotte nach aerober biologischer Intensivrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRN),**
- **Offene Nachrotte ohne Ablufferfassung nach aerober biologischer Intensivrotte (B – ORN).**

2.2.4 Aerobe Trocknung (Anwendungsfälle C)

Die aerobe Trocknung kann sowohl als biologische Trocknung (auch mechanisch-biologische Stabilisierung) oder als rein physikalische Trocknung (mechanisch-physikalische Stabilisierung) erfolgen.

Ziel der aeroben Trocknung

Das Ziel bei der biologischen Trocknung ist es, das Material möglichst stark unter Nutzung der durch die Mikroorganismen erzeugten Wärme auszutrocknen. Bei der rein physikalischen Trocknung wird die gesamte Trocknungsenergie von außen als Wärme zugeführt. Doch ist auch bei den technischen Realisierungen der „biologischen“ Trocknung der energetische Beitrag des biologischen Teilabbaus gering, d. h. die Energie zur Trocknung wird auch hier überwiegend auf physikalischem Wege (über die Belüftung) erbracht. Bei der rein physikalischen Trocknung kann der Mehraufwand an Wärme durch eine Verkürzung der Trocknungszeit und einen deutlich reduzierten Belüftungsaufwand kompensiert werden. Zudem geht bei der rein physikalischen Trocknung kein Teil der Organik wegen biologischen Abbaus verloren, sodass die gesamte im Restabfall enthaltene Organik zur Energiegewinnung genutzt werden kann (SOYEZ & PLICKERT 2002).

Aufgrund der oben erwähnten Tatsache, dass die Energie zur Trocknung stets überwiegend auf physikalischem Wege (über die Belüftung) erbracht wird, wird nachfolgend nicht zwischen „biologischer Trocknung“ und „rein physikalischer Trocknung“ unterschieden, sondern derartige Verfahren werden umfassend als „aerobe Trocknung“ bezeichnet.

Tunnel- oder Hallentrocknung

Für die aerobe Trocknung in den Anwendungsfällen C werden folgende zwei Anwendungsfälle betrachtet:

- **Aerobe Trocknung als Tunneltrocknung (C – TT),**
- **Aerobe Trocknung als Mietentrocknung in geschlossener Halle (C – HT).**

2.2.5 Abluftreinigung

2.2.5.1 Wäscher neutral (WN)

Neutrale Wäscher werden bei der aeroben Trocknung (Anwendungsfälle C) vor der weiteren Abluftbehandlung im Biofilter bzw. der RTO-Anlage vorwiegend zur Abluftkonditionierung bzw. Staubabscheidung eingesetzt. Es erfolgt kein Säureeinsatz und es fällt keine Ammoniumsulfatlösung (ASL) an.

2.2.5.2 Wäscher sauer (WS)

Saure Wäscher werden bei der aeroben Rotteführung (Anwendungsfälle A und B) vor der weiteren Abluftbehandlung im Biofilter bzw. der RTO-Anlage vorwiegend zur Ammoniakabscheidung, aber auch zur Abluftkonditionierung bzw. Staubabscheidung eingesetzt. Durch den Einsatz von Säure fällt Ammoniumsulfatlösung (ASL) an.

2.2.5.3 Biofilter (BF)

Der Biofilter ist als geschlossener Flächen- oder Containerbiofilter ausgeführt, bei dem Wasserhaushalt und Luftmanagement aktiv gesteuert und die Abluft gezielt über einen Kamin abgeleitet werden können.

2.2.5.4 Regenerative Thermische Oxidation (RTO)

Die RTO-Anlage ist als 2-linige 3-Kammern RTO-Anlage ausgeführt.

2.3 Ausgewählte Anwendungsfälle

2.3.1 Annahmen zum Abluftmanagement

Generell wurden jene Abluftmengen, welche über Punkt- und Hallenabsaugung aus der mechanischen Aufbereitung gesammelt und entweder als Zuluft in andere Bereiche oder der Abluftreinigung zugeleitet werden, für alle Verfahren konstant angenommen.

Abluftsammlung

Um einen Unterdruck in den Hallen zu gewährleisten, wird aus nachfolgenden Bereichen stets aktiv Luft abgezogen:

Aktive Absaugung

- aus der Halle der mechanischen Aufbereitung;
- aus der die saugbelüftete Hallenrotte umgebenden Halle;
- aus der die Tunnelrotte umgebenden Halle (Tunnelvorhalle).

Für die Modellierung wird angenommen, dass die diesen Bereichen zugeleitete Frischluft passiv, also ohne Ventilatoren in die Hallenbereiche eingetragen wird, da in der Praxis nur vereinzelt Ventilatoren zur Unterstützung der Frischluftzufuhr eingesetzt werden.

Bei allen Verfahren werden 1/3 (1.000 m³/t MBA) der abgesaugten Abluft aus der mechanischen Aufbereitung über Punkquellen und 2/3 (2.000 m³/t MBA) über die Hallenabsaugung erfasst.

Kombination von Biofiltern und RTO

Im Vergleich zu der ausschließlichen Reinigung über eine RTO-Anlage bzw. Biofilteranlage (z. B. A1 ausschließlich RTO und A2 ausschließlich BF) werden die Abluftmengen der dazu betrachteten Kombinationsvariante (z. B. A3, RTO & BF) nach konstanten Schlüsseln innerhalb der Verfahren A (70/30), B (70/30) und C (60/40) auf die Reinigungsaggregate der RTO-Anlage und der Biofilteranlage aufgeteilt. Beim Verfahren C wird mehr zum Biofilter geleitet, da davon ausgegangen wird, dass die Abluft aus Trocknungsanlagen entsprechend geringer belastet ist und dies eine Reinigung einer entsprechend höheren Menge über den Biofilter ermöglicht. Diese Ansätze sind auch vergleichbar mit einer Umfrage nach WALLMANN et al. (2008) in Deutschland, wonach im Durchschnitt knapp zwei Drittel der in einer MBA anfallenden Abluftströme in RTO-Anlagen behandelt werden.

2.3.2 Auswahl anaerobe/aerobe biologische Behandlung (Anwendungsfälle A)

Tabelle 1: Betrachtete anaerobe/aerobe Behandlungsverfahren.

Nr.	Fall	Mechanische Aufbereitung	Intensive biologische Behandlung	Biologische Nachbehandlung	Abluftreinigung	
1	A1	50 % Abtrennung (M)	Trockenvergärung als Teilstromvergärung (A – TV)	Aerobe Nachrotte als Tunnelrotte geschlossen (A – TR)	Wäscher sauer (WS)	RTO
2	A2	50 % Abtrennung (M)	Trockenvergärung als Teilstromvergärung (A – TV)	Aerobe Nachrotte als Tunnelrotte geschlossen (A – TR)	Wäscher sauer (WS)	Biofilter (BF)
3	A3	50 % Abtrennung (M)	Trockenvergärung als Teilstromvergärung (A – TV)	Aerobe Nachrotte als Tunnelrotte geschlossen (A – TR)	Wäscher sauer (WS)	RTO & Biofilter (BF)
4	A4	50 % Abtrennung (M)	Trockenvergärung als Teilstromvergärung (A – TV)	Aerobe Nachrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (A – HR)	Wäscher sauer (WS)	RTO
5	A5	50 % Abtrennung (M)	Trockenvergärung als Teilstromvergärung (A – TV)	Aerobe Nachrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (A – HR)	Wäscher sauer (WS)	Biofilter (BF)
6	A6	50 % Abtrennung (M)	Trockenvergärung als Teilstromvergärung (A – TV)	Aerobe Nachrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (A – HR)	Wäscher sauer (WS)	RTO & Biofilter (BF)
7*	A7	50 % Abtrennung (M)	Trockenvergärung als Teilstromvergärung (A – TV)	Offene Nachrotte ohne Ablufferfassung	Wäscher sauer (WS)	RTO
8*	A8	50 % Abtrennung (M)	Trockenvergärung als Teilstromvergärung (A – TV)	Offene Nachrotte ohne Ablufferfassung	Wäscher sauer (WS)	Biofilter (BF)
9*	A9	50 % Abtrennung (M)	Trockenvergärung als Teilstromvergärung (A – TV)	Offene Nachrotte ohne Ablufferfassung	Wäscher sauer (WS)	RTO & Biofilter (BF)

*... Hell-Grau hinterlegte Anwendungsfälle sind in der Praxis unwahrscheinlich und werden daher nicht mitberücksichtigt (siehe auch Kapitel 2.2)

Grafische Darstellungen zu den einzelnen Verfahren finden sich in Anhang 8.1.

2.3.3 Auswahl aerobe biologische Rotte (Anwendungsfälle B)

Tabelle 2: Betrachtete aerobe Behandlungsverfahren.

Nr.	Fall	Mechanische Aufbereitung	Intensive biologische Behandlung	Biologische Nachbehandlung	Abluftreinigung	
10	B1	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRI)	Aerobe Nachrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRN)	Wäscher sauer (WS)	RTO
11	B2	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRI)	Aerobe Nachrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRN)	Wäscher sauer (WS)	Biofilter (BF)
12	B3	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRI)	Aerobe Nachrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRN)	Wäscher sauer (WS)	RTO & Biofilter (BF)
13	B4	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRI)	Aerobe Nachrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRN)	Wäscher sauer (WS)	RTO
14	B5	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRI)	Aerobe Nachrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRN)	Wäscher sauer (WS)	Biofilter (BF)
15	B6	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRI)	Aerobe Nachrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRN)	Wäscher sauer (WS)	RTO & Biofilter (BF)
16	B7	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRI)	Aerobe Offene Nachrotte (B – ORN)	Wäscher sauer (WS)	RTO
17	B8	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRI)	Aerobe Offene Nachrotte (B – ORN)	Wäscher sauer (WS)	Biofilter (BF)
18	B9	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRI)	Aerobe Offene Nachrotte (B – ORN)	Wäscher sauer (WS)	RTO & Biofilter (BF)
19*	B10	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRI)	Aerobe Nachrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRN)	Wäscher sauer (WS)	RTO
20*	B11	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRI)	Aerobe Nachrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRN)	Wäscher sauer (WS)	Biofilter (BF)
21*	B12	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRI)	Aerobe Nachrotte als Tunnelrotte geschlossen (B – TRN)	Wäscher sauer (WS)	RTO & Biofilter (BF)
22	B13	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRI)	Aerobe Nachrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRN)	Wäscher sauer (WS)	RTO
23	B14	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRI)	Aerobe Nachrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRN)	Wäscher sauer (WS)	Biofilter (BF)
24	B15	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRI)	Aerobe Nachrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRN)	Wäscher sauer (WS)	RTO & Biofilter (BF)
25	B16	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRI)	Aerobe Offene Nachrotte (B – ORN)	Wäscher sauer (WS)	RTO
26	B17	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRI)	Aerobe Offene Nachrotte (B – ORN)	Wäscher sauer (WS)	Biofilter (BF)
27	B18	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Intensivrotte als Mietenrotte in geschlossener Halle (B – HRI)	Aerobe Offene Nachrotte (B – ORN)	Wäscher sauer (WS)	RTO & Biofilter (BF)

*... Hell-Grau hinterlegte Anwendungsfälle sind in der Praxis unwahrscheinlich und werden daher nicht mitberücksichtigt (siehe auch Kapitel 2.2)

Grafische Darstellungen zu den einzelnen Verfahren finden sich in Anhang 8.2.

2.3.4 Auswahl aerobe Trocknung (Anwendungsfälle C)

Tabelle 3: Betrachtete aerobe Trocknungsverfahren.

Nr.	Fall	Mechanische Aufbereitung	Intensive biologische Behandlung	Biologische Nachbehandlung	Abluftreinigung	
28	C1	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Trocknung als Tunnel-trocknung (C – TT)	Keine	Wäscher neutral (WN)	RTO
29	C2	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Trocknung als Tunnel-trocknung (C – TT)	Keine	Wäscher neutral (WN)	Biofilter (BF)
30	C3	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Trocknung als Tunnel-trocknung (C – TT)	Keine	Wäscher neutral (WN)	RTO & Biofilter (BF)
31	C4	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Trocknung als Mieten-trocknung in geschlossener Halle (C – HT)	Keine	Wäscher neutral (WN)	RTO
32	C5	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Trocknung als Mieten-trocknung in geschlossener Halle (C – HT)	Keine	Wäscher neutral (WN)	Biofilter (BF)
33	C6	50 % Abtrennung (M)	Aerobe Trocknung als Mieten-trocknung in geschlossener Halle (C – HT)	Keine	Wäscher neutral (WN)	RTO & Biofilter (BF)

Grafische Darstellungen zu den einzelnen Verfahren finden sich in Anhang 8.3.

3 BERECHNUNGSMETHODE

3.1 Allgemeine Beschreibung

Bei der Betrachtung der Klimarelevanz der einzelnen Verfahrens- und Abluftbehandlungsvarianten werden die klimarelevanten Gase CO₂ (aus fossilen Quellen)⁸, Methan sowie Lachgas berücksichtigt.

Zur Beurteilung der Klimarelevanz werden einerseits die Emissionen, welche durch die Abluftbehandlung verursacht werden, sowie die in der Abluft verbleibenden Emissionen herangezogen. Andererseits werden Gutschriften für die Erzeugung von Ammoniumsulfatlösung (ASL) sowie in den Anwendungsfällen A für die Erzeugung von Strom aus Biogas berücksichtigt.

Bei den Emissionen werden dabei direkte (am Standort auftretend) sowie im Bereich der Energiebereitstellung (Erdgas für RTO, Strom) auch indirekte Emissionen (in der Vorkette auftretend) berücksichtigt.

Bei dem in der RTO eingesetzten fossilen Erdgas sowie beim benötigten bzw. substituierten Strom wurden die Emissionen in den Vorketten zur Erzeugung dieser Energieträger mit Hilfe des Emissionsmodells GEMIS Österreich Vers. 4.5 (Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme)⁹ berechnet.

Für den Strommix Österreich wurde der Mix des österreichischen Kraftwerks-parks im Jahr 2008 angesetzt.

Als Zeithorizont für die Klimarelevanz der einzelnen Treibhausgase wurden 100 Jahre gewählt. Für Methan wurde dementsprechend ein Treibhausgasfaktor (Äquivalenzfaktor) von 25 und für Lachgas von 298 verwendet (entsprechend IPCC 2007).

Eingangsdaten für die Berechnungen wurden von den Projektpartnern, basierend auf vorhandenen Messergebnissen und Praxiserfahrungen, zur Verfügung gestellt. Es wurden keine eigenen Messungen durchgeführt.

Im Bericht angegebene Emissionen an THG sind immer als Kohlendioxid-Äquivalent (CO₂-Äquiv.) zu verstehen.

**Belastende
Emissionen und
Gutschriften**

3.2 Wahl der Systemgrenzen

Die Systemgrenze umfasst die Sammlung und den Transport der gesammelten Abluftströme aus den modellierten Verfahren gegebenenfalls zwischen den Verfahrensschritten und zu den Abluftreinigungsanlagen (Wäscher, Biofilter, RTO) sowie den Energieverbrauch der Abluftreinigungsanlagen selbst. Zusätzlich werden die direkten Emissionen, welche über die Kamine der Abluftreinigungsanlagen als Reingas ausgetragen werden, mit betrachtet.

**Energieverbrauch
Abluftmanagement**

⁸ CO₂ aus dem Abbau von biogenen Materialien wird als klimaneutral betrachtet.

⁹ GEMIS berücksichtigt alle wesentlichen Prozesse von der Primärenergie- und Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie- und Stoffbereitstellung und bietet somit die Möglichkeit, neben den produkt-spezifischen lokalen Emissionen auch die vorgelagerten Emissionen zu berücksichtigen.

**Energieverbrauch
Luftmanagement
Rotte/Trocknung** Des Weiteren wird der Energieverbrauch der Be- und Entlüftung der Rotte-/Trocknungsverfahren berücksichtigt, um den Mehraufwand an Energie bestimmter Verfahren mit einzubeziehen, der nötig ist, um definierte Abluftqualitäten dieser Verfahren bereitzustellen. Der Energieaufwand für die mechanische Aufbereitung, welche für alle Verfahren als erster Behandlungsschritt ident angenommen wurde, wird nicht berücksichtigt.

3.3 Energieverbrauch und THG-Emissionen

3.3.1 Energieverbrauch

**Berücksichtigter
Energieeinsatz**

Energie wird benötigt für

- das Sammeln und den Transport der gesammelten Abluftströme (Hallenabluft, Punktabsaugung) gegebenenfalls zwischen den Verfahrensschritten und zu den Abluftreinigungsanlagen (Wäscher, Biofilter, RTO);
- den Betrieb der Abluftreinigungsaggregate;
- den Betrieb des Rotte-/Trocknungsverfahrens (Be- und Entlüftung), um bestimmte Abluftqualitäten bereitzustellen.

Energieträger

Mit Ausnahme der RTO-Anlage wird nur Strom als Energieträger benötigt. Bei der Behandlung in der RTO-Anlage wird zusätzlich zum Strom auch Heizgas (Erdgas, Biogas) benötigt.

Bei den Berechnungen bei der RTO wird berücksichtigt, dass das zu reinigende Rohgas selbst einen Heizwert hat und dadurch den Bedarf an Heizgas beeinflusst.

Für den Heizwert der im Rohgas enthaltenen Menge an Methan und NMVOC¹⁰ wurden folgende Werte angesetzt:

- Methan: 50 MJ/kg (bei einer Dichte von 0,72 kg/m³),
- NMVOC: 46 MJ/kg.

3.3.2 Klimarelevante Emissionen

**Emissionen bei
anaerobem Abbau**

Beim anaeroben Abbau organischer Substanz (Vergärung) entsteht Biogas, das vor allem aus Methan (ca. 55 %) und CO₂ (ca. 45 %) besteht. Das Biogas kann energetisch verwertet werden (z. T. als Heizgas in einer RTO, Verwertung in einem Blockheizkraftwerk (BHKW)). Bei der anschließenden aeroben biologischen Nachrotte des festen Gärrestes kommt es bis zur weitgehenden Aerobisierung des Materials zu erhöhten Methanemissionen.

**Emissionen bei
aerobem Abbau**

Unter aeroben Abbaubedingungen entsteht vorwiegend CO₂. Da eine vollständige Aerobisierung nicht gewährleistet werden kann, wird auch bei aeroben Verfahren (wie der biologischen Rotte) Methan gebildet. Zusätzlich wird bei Nitrifizierungs- und Denitrifizierungsprozessen zu einem Teil auch Lachgas gebildet.

¹⁰ NMVOC (non methane volatile organic compounds) sind eine Gruppe von leicht flüchtigen organischen Verbindungen ohne Methan. Einen genauen Heizwert gibt es nicht. Als Annäherung wird der Mittelwert aus Propan und Butan verwendet.

Neben den durch den biologischen Abbau verursachten THG-Emissionen sind bei der Behandlung von Rohgas in einer RTO die Emissionen durch das Heizgas, sofern kein Biogas dafür eingesetzt wird (Anwendungsfälle B und C), zu berücksichtigen. Des Weiteren kann es sowohl im Biofilter als auch in der RTO zu einer sekundären Bildung von Lachgas aus Ammoniak kommen.

3.3.2.1 Direkt klimarelevante Emissionen

Direkt klimarelevante Emissionen werden aus biologischen Prozessen über das Reingas sowie durch den Verbrauch von fossilen Energieträgern am Standort freigesetzt.

Emissionen am Standort

Für den Verbrauch von Erdgas als Heizgas wird eine Emission von 0,257 kg CO_{2-Äquiv.}/kWh angesetzt.¹¹

3.3.2.2 Indirekt klimarelevante Emissionen

Bei den indirekt klimarelevanten Emissionen werden die Emissionen bei der Stromerzeugung berücksichtigt. Strom wird für die Abluftführung sowie den Betrieb der Abluftreinigungsaggregate benötigt. Des Weiteren wird der Stromverbrauch der Be- und Entlüftung der Rotte-/Trocknungsverfahren berücksichtigt, um dem Mehraufwand an Energie bestimmter Verfahren Rechnung zu tragen, der nötig ist, um definierte Abluftqualitäten dieser Verfahren bereitzustellen.

Emissionen aus der vorgelagerten Stromerzeugung

Für die Berechnung der strombedingten indirekten klimarelevanten Emissionen mit GEMIS Österreich 4.5 wurde der Strommix 2008 des österreichischen Kraftwerksparks herangezogen.

1 kWh: 0,253 kg CO_{2-Äquiv.}/kWh

3.3.3 Klimarelevante Gutschriften

An klimarelevanten Gutschriften wird die Erzeugung von Ammoniumsulfat (ASL) im Säuren Wäscher berücksichtigt. Nach (BIWA 2009) beträgt die Gutschrift für ASL: 1,189 kg CO_{2-Äquiv.}/kg ASL.

Erzeugung von Ammoniumsulfat

Im Falle der Trockenvergärung (Anwendungsfälle A) können Gutschriften für die erzeugte Strommenge lukriert werden. Es wird angenommen, dass das erzeugte Biogas in den Anwendungsfällen, in denen eine RTO vorgesehen ist, zur Abdeckung des Heizgasbedarfs eingesetzt und die verbleibende Biogasmenge verstromt wird. In den Anwendungsfällen, in denen nur ein Biofilter vorgesehen ist, wird das Biogas vollständig in einem BHKW verstromt. Der elektrische Wirkungsgrad des BHKW wird mit 38,5 % angenommen.¹² Es erfolgt keine Nutzung der Abwärme. Für den Stromeigenverbrauch der Vergärung wird kein Energieverbrauch angesetzt.

Stromerzeugung aus Biogas

¹¹ THG-Emissionen von Erdgas (Durchschnitt von 2004 bis 2007); GEMIS 4.5; umfasst neben direkten auch indirekte Emissionen aus der Bereitstellung von Erdgas.

¹² Nach (VOGT et al. 2008) liegen die elektrischen Wirkungsgrade von Biogasanlagen in Abhängigkeit von der Leistung zwischen 32 % (30 kW Leistung) und 41 % (2.000 kW Leistung).

4 DATENERHEBUNG

Die für die vergleichende Berechnung der Klimarelevanz unterschiedlicher Anwendungsfälle erforderlichen Daten wurden in Abstimmung mit den beiden externen Ingenieurbüros iba (Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft und Energietechnik GmbH; Hannover) und bce (Björnsen Beratende Ingenieure GmbH; Koblenz) erhoben.

Die in den nachfolgenden Tabellen dargestellten und für die Berechnungen verwendeten Modellwerte wurden aus Mittelwerten aus Messwerten, Erfahrungswerten oder Angaben aus der Literatur abgeleitet. Sofern keine Daten verfügbar waren, wurde über Faktoren umgerechnet, welche aus Annahmen resultieren und nachfolgend in den Unterkapiteln gelistet werden. Die Eingangswerte wurden in der Regel auf Abfallinput in die Gesamtanlage bezogen.

Eingang in die nachfolgenden Berechnungen fanden vorwiegend Erfahrungswerte aus Deutschland, da für Österreich keine Praxisdaten aus kontinuierlichen Betriebs- und Emissionsmessungen verfügbar waren.

4.1 Daten zu Energieverbrauch und -ertrag

*Tabelle 4: Eingangsdaten Energieverbrauch und Energieertrag
(Quelle: Datensammlung Umweltbundesamt 2011).*

Parameter	Modellwert	Einheit
Energieverbrauch Luftförderung Hallenabsaugung	1	kWh/1.000 m ³
Energieverbrauch Luftförderung Punktabsaugung	2	kWh/1.000 m ³
Energieverbrauch Absaugung Mietenrotte	1	kWh/1.000 m ³
Energieverbrauch Absaugung Tunnelrotte (Umluft)	1,5	kWh/1.000 m ³
Anzahl Umläufe Luft Tunnelrotte	3	–
Energieverbrauch Absaugung Mietentrocknung	1	kWh/1.000 m ³
Energieverbrauch Absaugung Tunnelrocknung (Umluft)	2	kWh/1.000 m ³
Anzahl Umläufe Luft Tunnelrocknung	3	–
Trockenvergärung Biogaserzeugung (bez. Input Vergärung)	125	m ³ /t FS Input
Trockenvergärung Biogaserzeugung	43,75	m ³ /t FS MBA
Trockenvergärung Methananteil im Biogas	55	%
Anteil Biogas zu Fackel	5	%
Trockenvergärung Elektrischer Wirkungsgrad BHKW	38,5	%

4.2 Aggregatkenndaten

Tabelle 5: Eingangsdaten Aggregate (Quelle: Datensammlung Umweltbundesamt 2011).

Parameter	Modellwert	Einheit
Biofilter Abreinigung NMVOC	70	%
Biofilter Abreinigung Methan	0	%
Mindest-TOC-Gehalt Reingas ¹³	15	mg/m ³
Biofilter Abreinigung Ammoniak	60	%
Biofilter Neubildung Lachgas (% des zugeleiteten NH ₃ -N)	22	%
Biofilter Energieverbrauch	1	kWh/1.000 m ³
RTO TOC-Konzentration in der gereinigten Abluft	7	mg/m ³
RTO Methangehalt in TOC in der gereinigten Abluft	80	%
RTO Neubildung Lachgas (% des zugeleiteten NH ₃ -N)	22	%
RTO Eigenenergieverbrauch Strom	2,5	kWh/1.000 m ³
RTO Heizgasverbrauch	15	kWh/1.000 m ³
RTO TOC-Konzentration für Heizgasverbrauch*	150	mg/m ³
RTO Methangehalt in TOC für Heizgasverbrauch*	60	%
Wäscher sauer Ammoniak-Konzentration in der ger. Abluft	5	mg/m ³
Wäscher sauer Ammoniak-Abscheidegrad	85	%
Wäscher sauer Säurekonzentrat	96	%
Wäscher sauer ASL-Bildung (kg ASL/kg abgereinigtem NH ₃)	3,88	kg/kg NH ₃
Wäscher sauer Energieverbrauch (enth. in BF/RTO-Verbrauch)	0	kWh/1.000 m ³
Wäscher neutral Ammoniak-Konzentration in gereinigter Abluft	wie Rohgas	mg/m ³
Wäscher neutral Ammoniak-Abscheidegrad	0	%
Wäscher neutral Energieverbrauch (enth. in BF/RTO-Verbrauch)	0	kWh/1.000 m ³

* Zusammensetzung des Rohabgases bei der Bestimmung des RTO-Heizgasverbrauchs

4.3 Rohgasdaten

Für die in Kapitel 2.3 modellierten Anwendungsfälle wurden Rohgasdaten entsprechend Anhang 8.4 erhoben.

4.3.1 Anaerobe/aerobe Behandlung (Anwendungsfälle A)

Die Rohgaswerte zu den Anwendungsfällen A finden sich in Tabelle 8 im Anhang 8.4.1. Die nachfolgenden Annahmen sind zwecks besseren Verständnisses gemeinsam mit den Tabellen zu lesen.

¹³ Ohne Methan-C

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Wird in einem Anwendungsfall (Fälle A3 und A6) die Abluft sowohl in der RTO als auch im Biofilter gereinigt, so werden 70 % der Abluftmenge der RTO und 30 % dem Biofilter zugeleitet.
- Für die Mischluft, welche bei den Anwendungsfällen A3 und A6 dem Biofilter (30 %) zugeleitet wird, wurde ein Methangehalt im TOC des Rohgases von 2 % CH₄-C angenommen.
- Für die spezifischen Abluftmengen bei der Rotte des Gärrestes mit 30 % noch nicht biologisch behandelter Materialien lag nur die Abluftmenge bei der Tunnelrotte vor. Um die Abluftmenge bei der Hallenrotte abzuschätzen wurde das gleiche Verhältnis (Faktor) der Abluftmengen wie bei der Intensivrotte der aeroben Behandlung (Anwendungsfälle B) angesetzt. Dieser Faktor bildet das Verhältnis des Abluftvolumens der Tunnelrotte (B1) zum Abluftvolumen der Hallenrotte (B13) ab.

Frachten Tunnel/Hallenrotte	Rotte-Typ	Volumen (Nm ³)	Faktor „Mehr an Hallenluft“
B13	Hallenrotte	5.250	1,3
B1	Tunnelrotte	4.000	1

- Für die Tunnelrotte lagen TOC- und Ammoniak-Frachten für die geteilten Abluftströme zur RTO-Anlage und Biofilteranlage vor. Für die Hallenrotte lagen keine TOC- und Ammoniak-Frachten für die geteilten Abluftströme vor.

Für die Ermittlung der TOC- und Ammoniak-Frachten in der Hallenrotte wurde (wie bei der Annahme der Abluftmenge) das gleiche Verhältnis (Faktor) der TOC-Frachten wie bei der Intensivrotte der aeroben Behandlung (Anwendungsfälle B) bei Tunnelrotte (B1) zu Hallenrotte (B13) angesetzt.

Frachten Tunnel/Hallenrotte	Rotte-Typ	Frachten C (g/t)	Faktor „Mehr an TOC in Tunnelabluft“
B1	Tunnelrotte	1.150	1,3
B13	Hallenrotte	900	1

Für die Aufteilung auf die geteilten Abluftströme zu RTO-Anlage und Biofilteranlage wurde für die TOC-Frachten bei der Hallenrotte und für die Ammoniak-Frachten bei der Tunnel- und Hallenrotte das gleiche Verhältnis wie für die TOC-Fracht bei der Tunnelrotte angesetzt:

Frachten Teilströme 70/30 zu BF & RTO	Volumen-Teilströme	Frachten C (g/t)	Aufteilung Frachten auf geteilte Abluftströme
A1, A2	100 %	1.312,50	1
A3 zur RTO	70 %	1.200,00	0,91
A3 zum BF	30 %	112,50	0,09

- Für Lachgas wurde zur Berechnung eine Fracht von 20 g N₂O/t MBA primäres Lachgas (Lachgas das aus dem Rotteprozess stammt und nicht in der Abgasreinigung gebildet wird) sowohl bei der Tunnel- als auch bei der Hallenrotte angesetzt. Für die Aufteilung von Lachgas auf die geteilten Abgasströme zu RTO-Anlage und Biofilteranlage wurden sowohl bei der Tunnel- als auch bei der Hallenrotte die gleichen Verhältnisse (Faktoren) wie beim TOC angesetzt.

4.3.2 Aerobe biologische Rotte (Anwendungsfälle B)

Die Rohgaswerte zu den Anwendungsfällen B finden sich in Tabelle 9 im Anhang 8.4.2. Die nachfolgenden Annahmen sind zwecks besseren Verständnisses gemeinsam mit den Tabellen zu lesen.

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Wird in einem Anwendungsfall (z. B. B3) die Abluft sowohl in der RTO als auch im Biofilter gereinigt, so werden 70 % der Abluftmenge der RTO und 30 % dem Biofilter zugeleitet.
- Für die Mischluft, welche bei Kombinationsverfahren dem Biofilter (30 %) zugeleitet wird, wurde ein Methangehalt im TOC des Rohgases von 2 % CH₄-C angenommen.
- Die Lachgasbildung in der Intensivrotte wird als vernachlässigbar gering angesehen.¹⁴ Im Rohgas aus der Intensivrotte schlägt Lachgas aus zugeleiteten Bereichen (z. B. der Nachrotte) durch.
- Für Lachgas aus der Nachrotte wurde für die Berechnung eine Fracht von 20 g N₂O/t MBA primäres Lachgas (Lachgas das aus dem Rotteprozess stammt und nicht in der Abgasreinigung gebildet wird) angesetzt.
- Für die Umrechnung der spezifischen Volumenströme von Tunnelrotte auf Hallenrotte im Bereich der Nachrotte wurde das gleiche Verhältnis (Faktor) wie bei der Intensivrotte angesetzt.

Frachten Tunnel/Hallenrotte	Rotte-Typ	Volumen (Nm ³)	Faktor „Mehr an Hallenluft“
B13	Hallenrotte	5.250	1,3
B1	Tunnelrotte	4.000	1

- Die Ermittlung der spezifischen Frachten an TOC und Ammoniak der geteilten Abluftströme zur RTO-Anlage und Biofilteranlage bei der Intensivrotte (Tunnel- und Hallenrotte) erfolgte über die gleichen Verhältnisse wie in den Anwendungsfällen A.

Frachten Teilströme 70/30 zu BF & RT	Volumen-Teilströme	Frachten C (g/t)	Aufteilung Frachten auf geteilte Abluftströme
A1, A2	100 %	1.312,50	1
A3 zur RTO	70 %	1.200,00	0,91
A3 zu BF	30 %	112,50	0,09

- Für die Ermittlung der spezifischen Frachten an Ammoniak bei der Nachrotte wurden die gleichen Faktoren wie beim TOC angesetzt, welche aus Betriebsdaten der Anwendungsfälle B berechnet wurden. Die Faktoren berücksichtigen das Verhältnis der Fracht TOC der Tunnelrotte (Intensivrotte) zur Fracht TOC bei offener Rotte (Nachrotte). Das bekannte Verhältnis für TOC wird auch für Ammoniak angesetzt.

Frachten Tunnel/Offene Rotte	Rotte-Typ	Frachten C (g/t)	Faktor „Mehr an TOC in Tunnelablufte“
B1	Tunnelrotte	1.150	191,7
B16	Offene Rotte	6	1

- Für die Ammoniakfracht wurde für die Hallenrotte die gleiche Fracht wie bei der Tunnelrotte angesetzt.

¹⁴ Optimierter Betrieb wird vorausgesetzt.

4.3.3 Aerobe Trocknung (Anwendungsfälle C)

Die Rohgaswerte zu den Anwendungsfällen C finden sich in Tabelle 10 im Anhang 8.4.3. Die nachfolgenden Annahmen sind zwecks besseren Verständnisses gemeinsam mit den Tabellen zu lesen.

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Wird in einem Anwendungsfall (C3 und C6) die Abluft sowohl in der RTO als auch im Biofilter gereinigt so werden 60 % der Abluftmenge der RTO und 40 % dem Biofilter zugeleitet.
- Für die Mischluft, welche bei Kombinationsverfahren dem Biofilter (40 %) zugeleitet werden, wurde ein Methangehalt im TOC des Rohgases von 1 % CH₄-C angenommen.
- Die Ermittlung der spezifischen Frachten an TOC und Ammoniak der geteilten Abluftströme zur RTO-Anlage und Biofilteranlage bei der Tunnel- und Hallentrocknung erfolgte unter den gleichen Voraussetzungen wie in den Anwendungsfällen A.

Frachten Teilströme 70/30 zu BF & RT	Volumen-Teilströme	Frachten C (g/t)	Aufteilung Frachten auf geteilte Abluftströme
A1, A2	100	1.312,50	1
A3 zur RTO	60	1.200,00	0,91
A3 zu BF	40	112,50	0,09

- Für die Hallentrocknung wurde ein um den Faktor 1,75 höherer Volumenstrom als bei der Tunnelrocknung angesetzt.

Frachten Tunnel/Hallenrotte	Rotte-Typ	Volumen (Nm ³)	Faktor „Mehr an Hallenluft“
C4	Hallentrocknung	6.125	1,75
C1	Tunnelrocknung	3.500	1

- Die Ermittlung der spezifischen Frachten an TOC für die Hallentrocknung erfolgte über das bekannte Verhältnis (Faktor) der Fracht TOC der Tunnelrotte (Intensivrotte) zur Fracht TOC bei Hallenrotte (Intensivrotte) aus den Anwendungsfällen B.

Frachten Tunnel/Hallenrotte	Rotte-Typ	Frachten C (g/t)	Faktor „Mehr an TOC in Tunnelablufte“
B1	Tunnelrotte	1.150	1,3
B13	Hallenrotte	900	1

- Für die Ammoniak- und Lachgasemissionen liegen Daten für die Abluftkonzentrationen aus der Tunnelrocknung vor. Für die Ammoniak- und Lachgasfrachten bei der Hallentrocknung wurden die gleichen Frachten wie bei der Tunnelrotte angesetzt.

5 BERECHNUNG UND AUSWERTUNG

Für die betrachteten Verfahren wird die Klimabelastung in Kilogramm Kohlendioxid-Äquivalent pro Tonne Abfallinput in die MBA-Anlage ermittelt.

Dafür werden berücksichtigt:

als Belastungen

- direkte Emission an
 - Methan im Reingas nach erfolgter Abluftreinigung oder diffuser Emission aus der offenen Nachrotte,
 - Lachgas im Reingas nach erfolgter Abluftreinigung oder diffuser Emission aus der offenen Nachrotte;
- indirekte Emission durch Energieaufwendungen für den Betrieb
 - der Abluftreinigungsaggregate,
 - der Rotte-/Trocknungsluft- und -umluffführung,
 - des Luftmanagements (Transport von Luftmengen in die Hallen, zwischen den Hallen und zur Abluftreinigung);

als Gutschriften

- die Energieerzeugung bei der Vergärung (Anwendungsfälle A),
- die Erzeugung von Ammoniumsulfat (Anwendungsfälle A und B).

In den folgenden Kapiteln werden die Verfahren innerhalb der jeweiligen Anwendungsfälle verglichen.

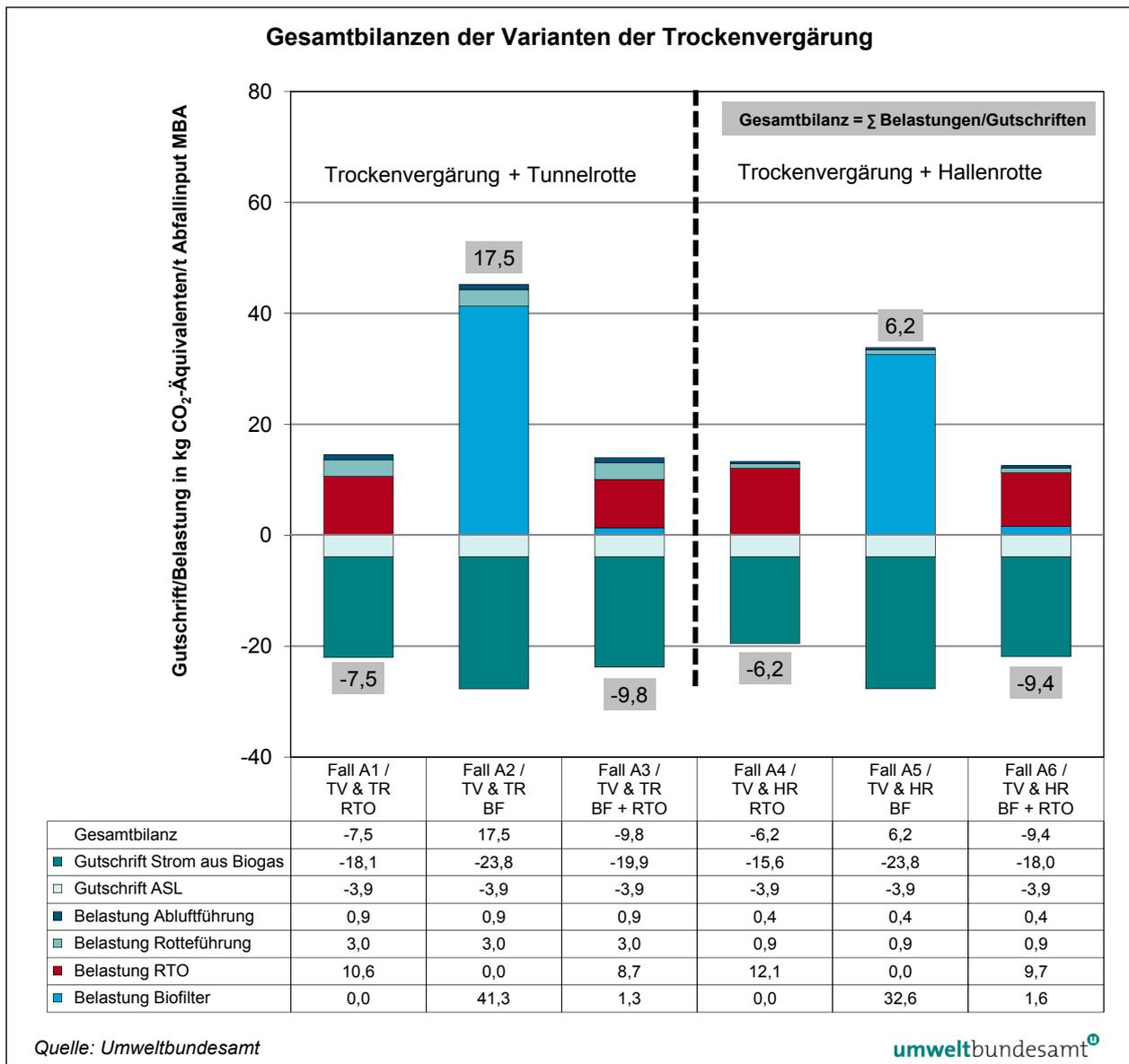
Emissionen aus der offenen Nachrotte werden als Belastung mit dargestellt. Bei Grenzwertvergleichen werden diese jedoch nicht berücksichtigt.

Verfahrensschemata zu den betrachteten Verfahren finden sich für die Anwendungsfälle A im Anhang 8.1, für die Anwendungsfälle B im Anhang 8.2 und für die Anwendungsfälle C im Anhang 8.3.

Gegenüberstellung von Belastungen und Gutschriften

5.1 Vergleich der Anwendungsfälle A „anaerobe Trockenvergärung

Anwendungsfälle A Die Anwendungsfälle A umfassen insgesamt sechs unterschiedliche Verfahrensmöglichkeiten. Die Verfahren A1–A3 (Tunnelrotte) werden mit geringeren Abluftmengen (3.750 m³/t MBA) bzw. höheren TOC-Frachten (1,3 kg C/t MBA) im Vergleich zu den Verfahren A4–A6 (Hallenrotte; 4.900 m³/t MBA bzw. 1 kg C/t MBA) betrieben, mit jeweils unterschiedlichen Abluftreinigungskonzepten. Abbildung 1 zeigt die klimarelevanten Gutschriften/Belastungen der betrachteten Anwendungsfälle A.



TV..Trockenvergärung, TR..Tunnelrotte, HR..Hallenrotte

Abbildung 1: Gesamtbilanzen der Varianten der Trockenvergärung (Anwendungsfälle A).

Durch den Einsatz von Biogas als Heizgas erzielen die Verfahren mit RTO eine negative Gesamtbilanz, d. h. die Gutschriften übersteigen die Emissionen. Die Kombination BF & RTO zeigt dabei die besten Bilanzen (Verfahren A3 mit einer Gesamtbelastung von $-9,8 \text{ kg CO}_2\text{-Äquiv./t MBA}$ vor dem Verfahren A6 mit einer Gesamtbelastung von $-9,4 \text{ kg CO}_2\text{-Äquiv./t MBA}$). Die Tunnelrotte zeigt dabei geringfügig bessere Gesamtbilanzen als die Hallenrotte.

**Gesamtbilanz des
Verfahrens A3 als
bestes Ergebnis**

Die Verfahren A2 und A5 mit 100 % Abluftreinigung über den Biofilter führen zu Belastungen von 6,2 (Hallenrotte) bis 17,5 $\text{kg CO}_2\text{-Äquiv./t MBA}$ (Tunnelrotte). Die hohe Belastung bei der Tunnelrotte ist dabei vor allem auf den höheren TOC-Frachtwert im Rohgas zurückzuführen.

Die Belastungen durch die angewandte Rotteführung liegen bei den Verfahren A1–A3, bedingt durch die energieintensivere Tunnel-Rotteführung, auf höherem Niveau als jene bei den Verfahren A4–A6 mit Hallen-Rotteführung.

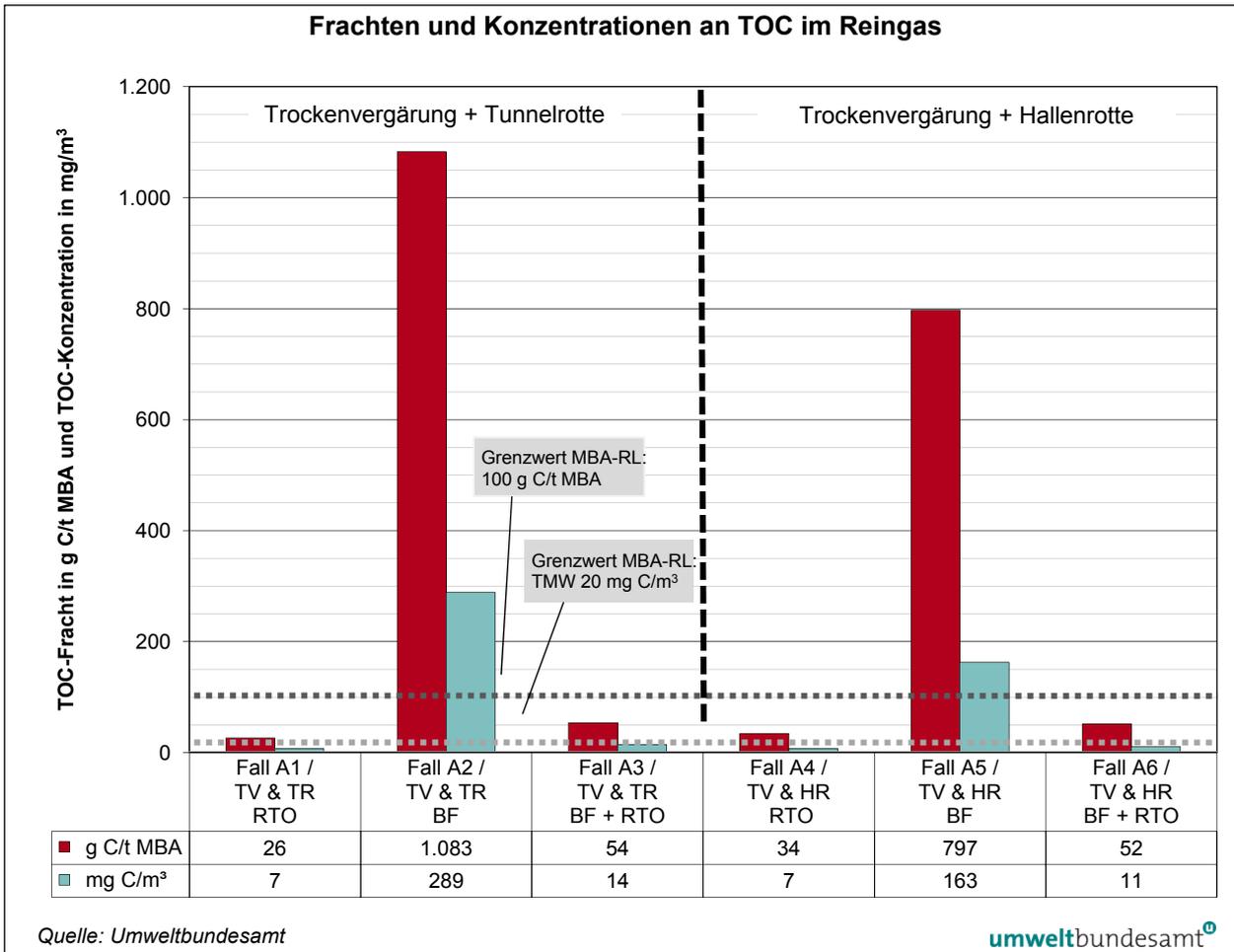
Die Belastungen durch die angewandte Abluftführung liegen bei den Verfahren A1–A3 auf höherem Niveau als jene bei den Verfahren A4–A6, bedingt durch das eingestellte Abluftmanagement zwischen mechanischer Aufbereitung, Rotte sowie Abluftreinigung.

Die Gutschriften durch die Nutzung von ASL sind bei den Verfahren A1–A3 und A4–A6 praktisch ident.

Die Gutschriften durch die Nutzung von Biogas sind bei den Verfahren, bei denen 100 % des Abgases über Biofilter gereinigt werden, mit 23,8 $\text{kg CO}_2\text{-Äquiv./t MBA}$ am höchsten. Werden 100 % der Abluft über eine RTO gereinigt, so sind bei der Tunnelrotte die Gutschriften durch die Stromerzeugung (ca. 18 $\text{kg CO}_2\text{-Äquiv./t MBA}$), bedingt durch die höhere TOC-Belastung im Rohgas um rund 2,5 $\text{kg CO}_2\text{-Äquiv./t MBA}$ höher als bei der Hallenrotte.

Für den Betrieb der RTO müssen knapp 20 % (Tunnelrotte) bis 30 % (Hallenrotte) des erzeugten Biogases in der RTO als Heizgas eingesetzt werden.

In Abbildung 2 werden die Frachten und Konzentrationen an Gesamt-Kohlenstoff im Reingas der Anwendungsfälle A1–A6 den Grenzwerten der österreichischen MBA-RL gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass beim Abluftreinigungskonzept mit ausschließlicher Verwendung des Biofilters die Grenzwerte um ein Vielfaches überschritten werden (siehe A2 und A5). Bei Anwendung der Abluftreinigungskonzepte mit ausschließlicher Verwendung der RTO (siehe A1 und A4) bzw. mit Kombinationsverfahren RTO & Biofilter (siehe A3 und A6) werden die Grenzwerte eingehalten (darüber hinaus werden auch die Grenzwerte der 30. BImSchV von 55 g C/t MBA und TMW 20 mg C/m^3 eingehalten).



TV..Trockenvergärung, TR..Tunnelrotte, HR..Hallenrotte

Abbildung 2: Frachten und Konzentrationen an TOC im Reingas der Anwendungsfälle A.

5.2 Vergleich der Anwendungsfälle B „aerobe biologische Rotte“

Anwendungsfälle B

Die Anwendungsfälle B umfassen insgesamt 15 unterschiedliche Verfahrensmöglichkeiten. Die Verfahren B1–B9 (Tunnel-Intensivrotte) werden mit geringeren Abluftmengen (4.000 m³/t MBA) bzw. höheren TOC-Frachten (1,15 kg C/t MBA) im Vergleich zu den Verfahren B13–B18 (Hallen-Intensivrotte; 5.250 m³/t MBA bzw. 0,9 kg C/t MBA) betrieben, mit jeweils unterschiedlichen Abluftreinigungskonzepten. Abbildung 3 zeigt die klimarelevanten Gutschriften/Belastungen der Verfahren.

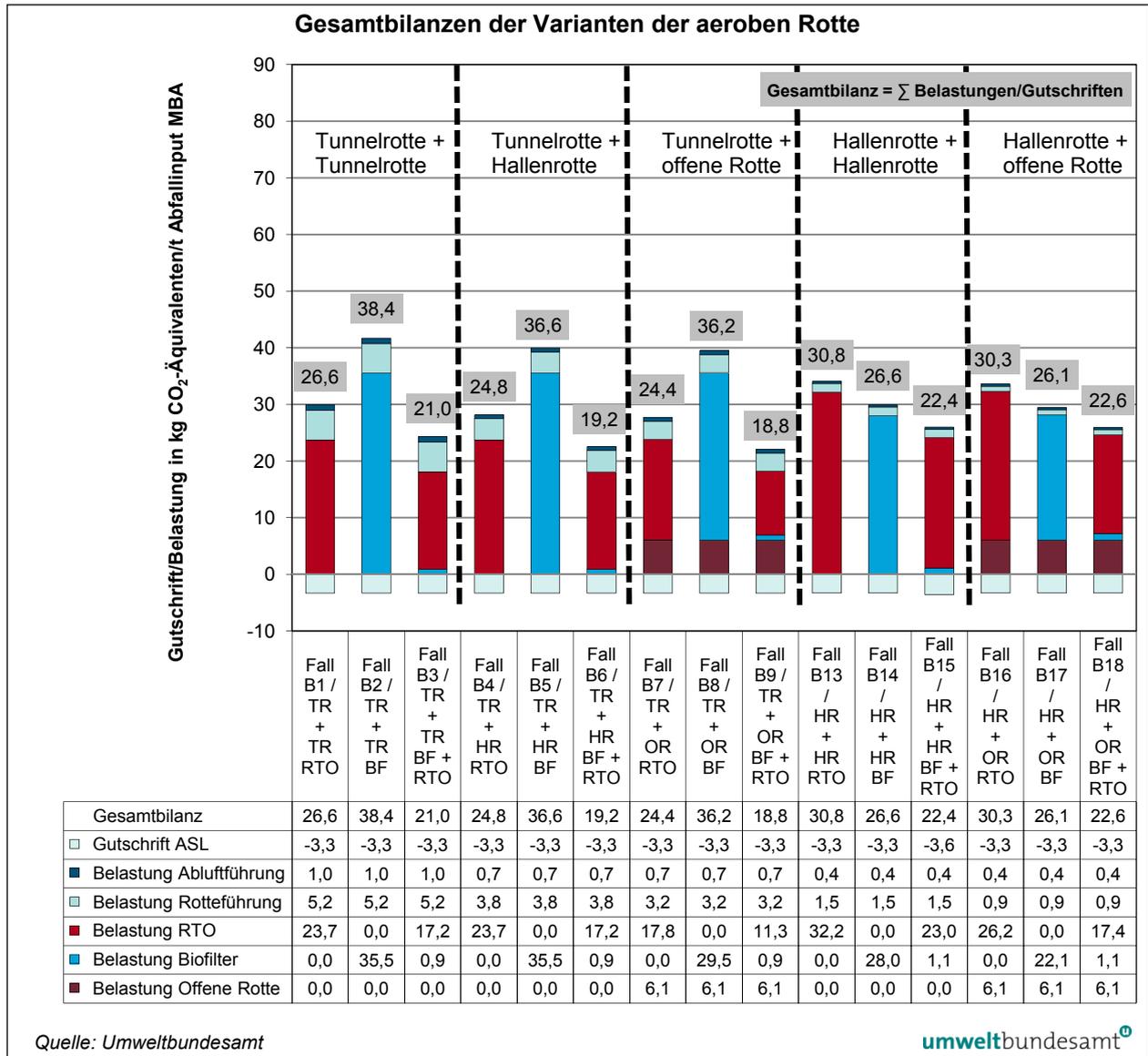


Abbildung 3: Gesamtbilanzen der Varianten der aeroben Rotte (Anwendungsfälle B).

Die Gesamtbilanzen der Verfahren zeigen innerhalb der Anwendungsfälle B die Verfahren mit kombiniertem Abluftreinigungskonzept vorteilhaft gegenüber den anderen Verfahren. Die geringste Gesamtbelastung zeigt Verfahren B9 (Tunnelrotte mit offener Nachrotte) mit einer Gesamtbelastung von 18,8 kg CO₂-Äquiv./t MBA vor dem Verfahren B6 (Tunnelrotte mit Nachrotte in der Halle) mit einer Gesamtbelastung von 19,2 kg CO₂-Äquiv./t MBA). Die Gesamtbilanz bei den kombinierten Verfahren ist um rund 5,5 (bei der Tunnelrotte) bis ca. 8 kg CO₂-Äquiv./t MBA (bei der Hallenrotte) besser als bei einer vollständigen Behandlung in einer RTO.

Die Belastungen durch die RTO befinden sich bei den Verfahren mit Tunnelrotte (B1, B4 bzw. B7 mit 24–26 kg CO₂-Äquiv./t MBA) mit ausschließlicher Verwendung von RTO auf einem geringeren Niveau als jene bei den Verfahren mit Hallenrotte (B13 bzw. B16 mit ca. 31 kg CO₂-Äquiv./t MBA). Dies ist durch die geringeren Abluftmengen zur RTO-Anlage und die höheren TOC-Frachtwerte im Rohgas bei den Verfahren B1–B9 bedingt.

Gesamtbilanz des Verfahrens B9 als bestes Ergebnis

Bei der Tunnelrotte zeigt die Gesamtbilanz bei einer vollständigen Behandlung der Abluft im Biofilter, bedingt durch den höheren TOC-Frachtwert im Rohgas, die höchsten Werte (36–38 kg CO₂-Äquiv./t MBA je nach Ausführung der Nachrotte). Bei der Hallenrotte liegen jedoch die Emissionen zwischen der vollständigen Behandlung der Abluft in der RTO sowie der kombinierten Behandlung.

Die Belastungen durch die Nachrotte sind durch die Emissionen an Lachgas geprägt (angenommene Fracht: 20 g N₂O/t MBA bzw. ca. 6 kg CO₂-Äquiv./t MBA). Im Falle der offenen Nachrotte (B7–B9 bzw. B16–B18) werden die Emissionen direkt an die Umgebungsluft abgegeben.¹⁵

Die Belastungen durch die angewandte Rotteführung nehmen vom Verfahren B1 (rund 5 kg CO₂-Äquiv./t MBA) bis hin zum Verfahren B18 (rund 1 kg CO₂-Äquiv./t MBA) ab, bedingt durch die energieintensivere Tunnel-Intensivrotteführung bei den Verfahren B1–B9 (B1–B3 mit nachgeschalteter Tunnelrotte, B4–B6 mit nachgeschalteter Hallenrotte, B7–B9 mit offener Nachrotte) im Vergleich zur Hallen-Intensivrotteführung bei den Verfahren B13–B18 (B13–B15 mit nachgeschalteter Hallenrotte, B16–B18 mit offener Nachrotte).

Die Belastungen durch die angewandte Ablufführung sind sehr gering (< 1 kg CO₂-Äquiv./t MBA). Die Belastung bei den Verfahren B1–B9 ist höher als jene bei den Verfahren B13–B18, bedingt durch das eingestellte Abluftmanagement zwischen mechanischer Aufbereitung, Intensiv- und Nachrotte sowie Abluftreinigung.

Die Gutschriften durch die Nutzung von ASL liegen bei allen Verfahren bei rund 3,3 kg/t MBA.

In Abbildung 4 werden die Frachten und Konzentrationen an Gesamt-Kohlenstoff im Reingas der Anwendungsfälle B1–B18 den Grenzwerten der österreichischen MBA-RL gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass beim Abluftreinigungskonzept mit ausschließlicher Verwendung des Biofilters die Frachtgrenzwerte um das 6,5- bis 9-fache und der Konzentrationswert um das 6- bis 11-fache überschritten werden (siehe B2, B5, B8, B14 und B17). Bei Anwendung der Abluftreinigungskonzepte mit ausschließlicher Verwendung der RTO (siehe B1, B4, B7, B13 und B16) bzw. mit Kombinationsverfahren RTO & Biofilter (siehe B3, B6, B9, B15 und B18) werden die Grenzwerte eingehalten (darüber hinaus werden bei diesen Verfahren auch die Grenzwerte der 30. BImSchV von 55 g C/t MBA und TMW 20 mg C/m³ eingehalten).

¹⁵ Die Emissionen aus der offenen Nachrotte werden bei der Gesamtbilanz mitberücksichtigt

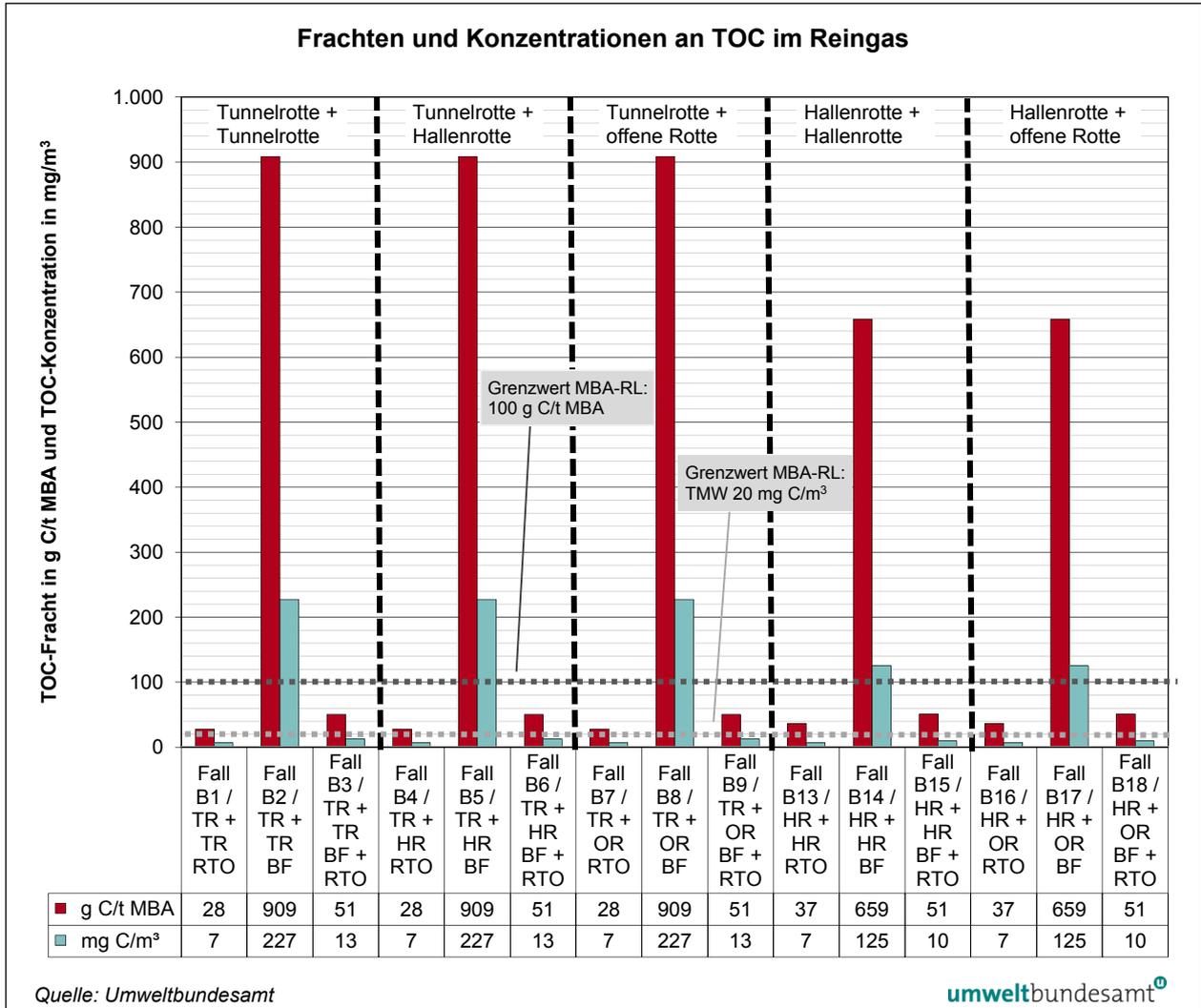


Abbildung 4: Frachten und Konzentrationen an TOC im Reingas der Anwendungsfälle B.

5.3 Vergleich der Anwendungsfälle C „aerobe Trocknung“

Die Anwendungsfälle C umfassen insgesamt sechs unterschiedliche Verfahrensmöglichkeiten. Die Verfahren C1–C3 (Tunnel Trocknung) werden mit geringeren Abluftmengen (3.500 m³/t MBA) bzw. höheren TOC-Frachten (0,525 kg C/t MBA) im Vergleich zu den Verfahren C4–C6 (Hallentrocknung; 6.125 m³/t MBA bzw. 0,41 kg C/t MBA) betrieben, mit jeweils unterschiedlichen Abluftreinigungskonzepten. Abbildung 5 zeigt die klimarelevanten Belastungen der Verfahren.

Anwendungsfälle C

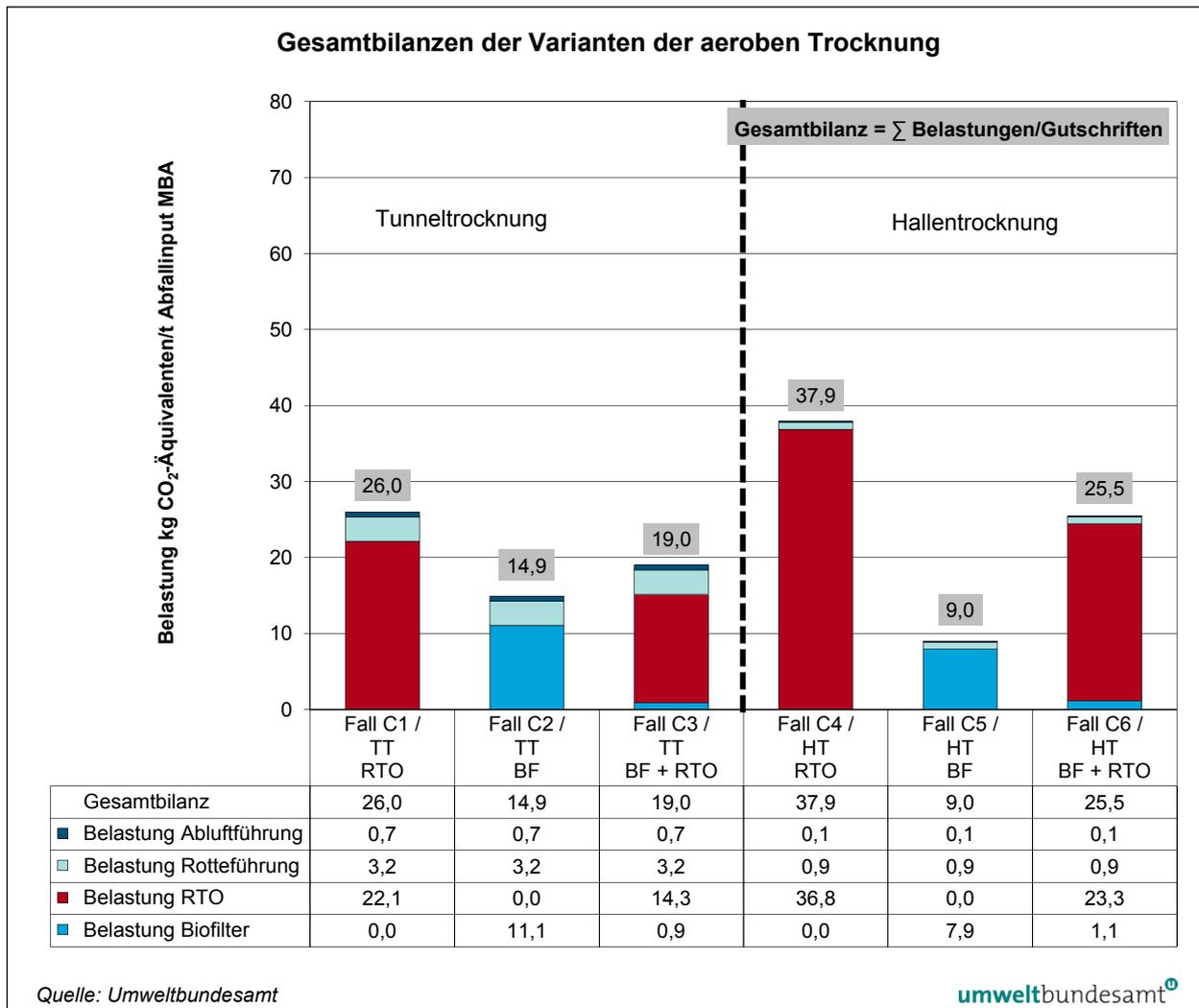


Abbildung 5: Gesamtbilanzen der Varianten der aeroben Trocknung (Anwendungsfälle C).

Gesamtbilanz des Verfahrens C5 als bestes Ergebnis

Die Gesamtbilanzen der Verfahren mit Abluftreinigungskonzepten mit ausschließlicher Verwendung von Biofiltern zeigen die geringsten Emissionen an CO₂-Äquiv./t MBA beim Verfahren C5 (Hallenrotte mit einer Gesamtbelastung von 9,0 kg CO₂-Äquiv./t MBA), gefolgt vom Verfahren C2 (Tunnelrotte mit einer Gesamtbelastung von 14,9 kg CO₂-Äquiv./t MBA).

Die Belastungen durch den Biofilter sind bei dem Verfahren C2 höher als jene bei den Verfahren C5, bedingt durch den höheren TOC-Frachtwert im Rohgas bei den Verfahren C1–C3.

Die Belastungen durch die RTO befinden sich bei den Verfahren C1 bzw. C3 auf geringerem Niveau als jene bei den Verfahren C4 bzw. C6, bedingt durch den höheren TOC-Frachtwert im Rohgas und die geringeren Abluftmengen zur RTO-Anlage bei den Verfahren C1–C3.

Die Belastungen durch die angewandte Rotteführung liegen bei den Verfahren C1–C3 auf höherem Niveau als jene bei den Verfahren C4–C6, bedingt durch die energieintensivere Tunnel-Rotteführung bei den Verfahren C1–C3 im Vergleich zur Hallen-Rotteführung bei den Verfahren C4–C6.

In Abbildung 6 werden die Frachten und Konzentrationen an Gesamt-Kohlenstoff im Reingas der Anwendungsfälle C1–C6 den Grenzwerten der österreichischen MBA-RL gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass beim Abluftreinigungskonzept mit ausschließlicher Verwendung des Biofilters die Grenzwerte überschritten werden (siehe C2 und C5). Bei Anwendung der Abluftreinigungskonzepte mit ausschließlicher Verwendung der RTO (siehe C1 und C4) bzw. mit Kombinationsverfahren RTO & Biofilter (siehe C3 und C6) werden beide Grenzwerte eingehalten.

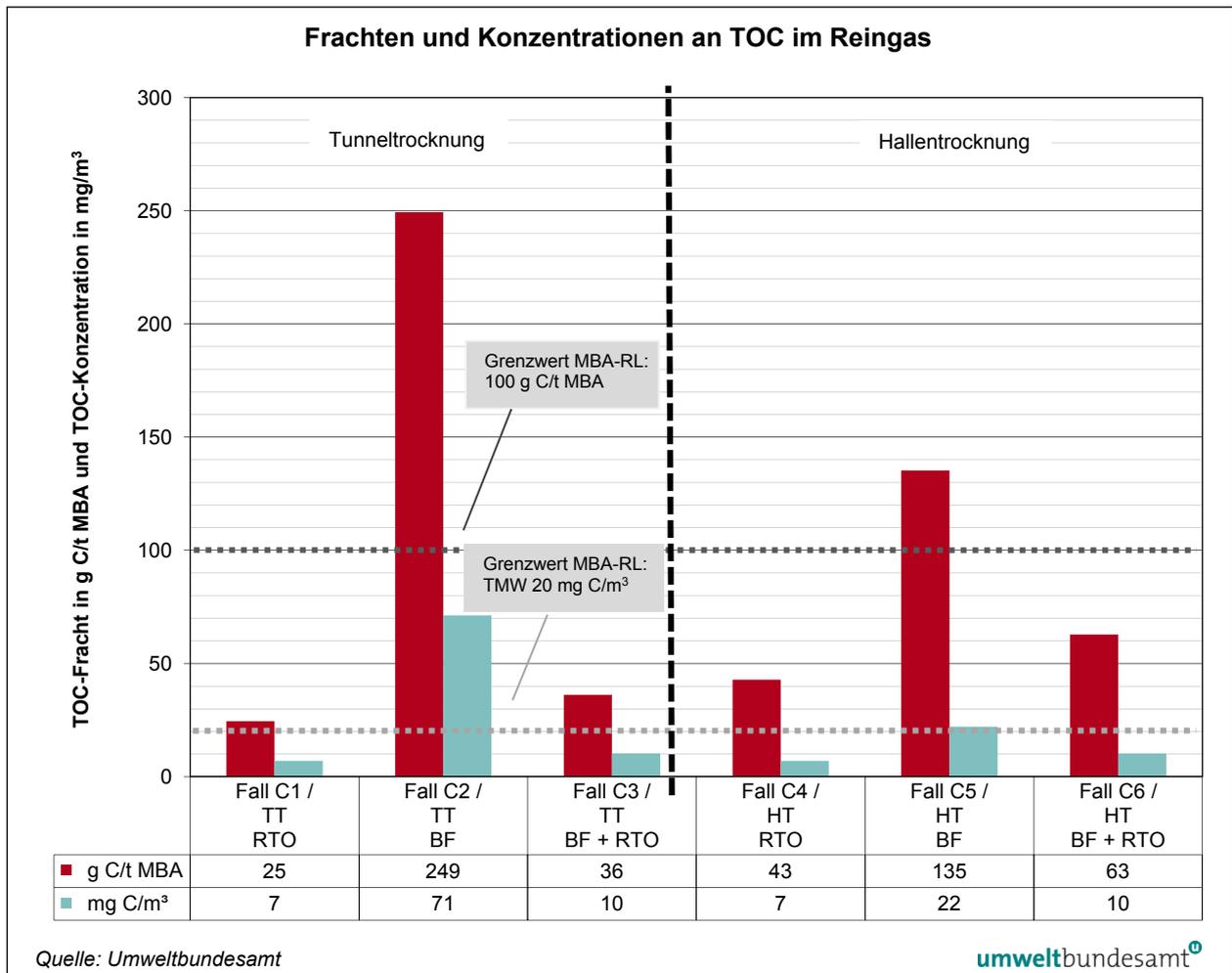


Abbildung 6: Frachten und Konzentrationen an TOC im Reingas der Anwendungsfälle C.

5.4 Vergleiche von Verfahren mit gleichem Abluftreinigungskonzept

In den folgenden Kapiteln werden die Gesamtbilanzen bei den Anwendungsfällen, getrennt nach Abluftreinigungskonzept dargestellt.

Die Belastungen durch Lachgas entsprechen annähernd jener Belastung, welche sich auch im Rohgas der Rotte/Trocknung wiederfindet, da weder durch die RTO noch durch den Biofilter eine Reduktion an Lachgas in der gereinigten Ab-

Belastungen an Lachgas

luft erreicht werden kann. Die Lachgasemissionen sind bei den Anwendungsfällen A am höchsten (Teilstromvergärung) und bei den Anwendungsfällen C am geringsten (Trocknung).

Gutschriften durch Nutzung von ASL und Biogas

Die Gutschriften durch die Nutzung von ASL sind vom Gehalt an Ammoniak im Rohgas abhängig. Bei den Anwendungsfällen C wird keine Gutschrift für ASL lukriert, da hier ein neutraler Wäscher vor der nachfolgenden Abluftreinigung aufgrund der zu erwartenden geringen Ammoniakgehalte eingesetzt wird.

Die Gutschriften durch die Nutzung von Biogas werden ausschließlich bei den Anwendungsfällen A (Teilstromvergärung) lukriert.

5.4.1 Verfahren mit Kombination aus RTO & Biofilter

Für die Abluftreinigungskonzepte der „Kombination aus RTO & Biofilter“ wurde bei den Anwendungsfällen A3 und A6 sowie B3, B6, B9, B15 und B18 eine Aufteilung der Abluftmengen auf die Reinigungsaggregate von 70 % zur RTO und 30 % zum Biofilter und bei den Anwendungsfällen C3 und C6 von 60 % zur RTO und 40 % zum Biofilter angenommen. Abbildung 7 zeigt die klimarelevanten Belastungen der Verfahren.

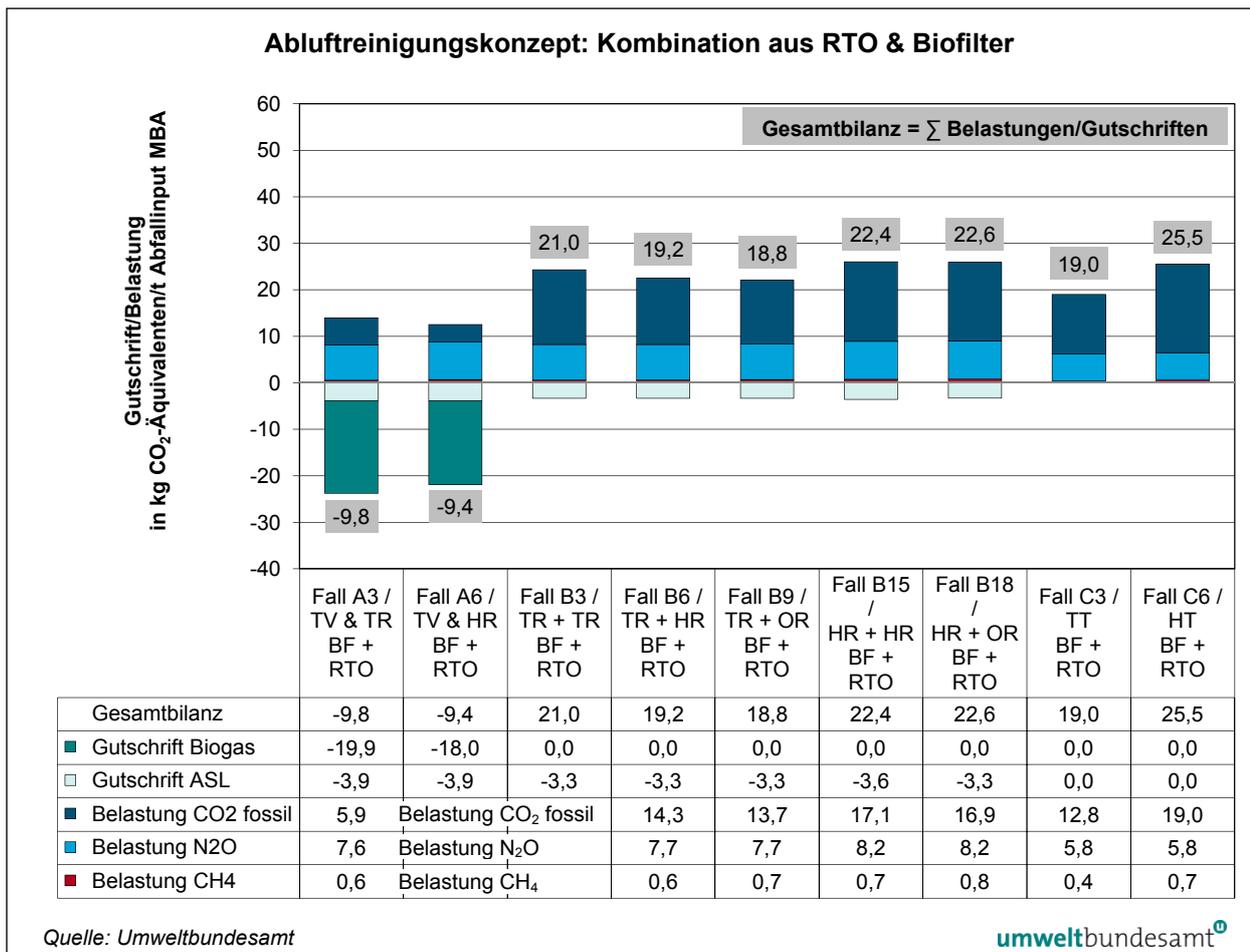


Abbildung 7: Abluftreinigungskonzept: Kombination aus RTO & Biofilter.

Die TOC-Fracht wird beim Kombinationsverfahren in der RTO, der vorwiegend hochbelastete Abluftströme zugeleitet werden, weitestgehend abgereinigt (bis auf eine angenommene Konzentrationen von 7 mg/m^3 in der gereinigten Abluft), womit auch die Belastung durch das enthaltene Methan gering ausfällt.

Belastungen

Die Belastung durch Lachgas liegt zwischen 5,8 (bei den Anwendungsfällen C) und 8,2 $\text{kg CO}_2\text{-Äquiv./t MBA}$ (Anwendungsfälle B mit Hallenrotte).

Die Belastungen durch fossiles Kohlendioxid erfolgen vorwiegend durch den Energieeintrag in die RTO (Heizgaseinsatz). Hierbei zeigt sich, dass die Hallen-Intensivrotte/-trocknungsverfahren (A6, B15, B18 bzw. C6) höhere Aufwendungen als die Tunnel-Intensivrotte/-trocknungsverfahren (A3, B3, B6, B9 bzw. C3) erfordern, bedingt durch den geringeren vorausgesetzten Eigenenergiegehalt des Rohgases bei der Hallenrotte/-trocknung. Die Energieaufwendungen für den Betrieb der Biofilter sind demgegenüber sehr gering. Zusätzlich sind für diese Belastungen die Energieaufwendungen der Prozessluft der Rotte/Trocknung und der Abluftführung zwischen mechanischer Aufbereitung, Rotte/Trocknung sowie Abluftreinigung von Bedeutung.

Die Gutschriften durch die Nutzung von ASL liegen bei den Anwendungsfällen A und B zwischen 3,3 und 3,9 $\text{kg CO}_2\text{-Äquiv./t MBA}$. Die Gutschriften durch die Nutzung von Biogas werden ausschließlich bei den Anwendungsfällen A (Teilstromvergärung) lukriert.

Gutschriften

Die Gegenüberstellung der Anwendungsfälle A, B und C zeigt, dass die Anwendungsfälle A mit Teilstromvergärung durch die Gutschrift der Biogasnutzung die in Hinblick auf die Klimarelevanz besten Optionen der Verfahrensführung darstellen, mit Gesamtbelastungen geringer als $-9 \text{ kg CO}_2\text{-Äquiv./t MBA}$. Bei den „Kombinationsverfahren aus RTO & Biofilter“ der Anwendungsfälle B und C zeigt sich, dass jene Verfahren mit Hallenrotte/-trocknung (B15, B18 und C6) die Verfahren mit den etwas höheren Belastungen darstellen (Belastungen von mehr als $22,4 \text{ kg CO}_2\text{-Äquiv./t MBA}$). Alle weiteren Verfahren weisen Belastungen in den Bereichen $19\text{--}21 \text{ kg CO}_2\text{-Äquiv./t MBA}$ auf.

Gesamtbilanz

5.4.2 Verfahren mit ausschließlicher Verwendung von RTO

Für die Abluftreinigungskonzepte der „**ausschließlichen Verwendung von RTO**“ wurde die erfasste Abluftmenge jeweils zu 100 % der RTO zugeleitet. Die Abbildung 8 zeigt die klimarelevanten Belastungen der Verfahren.

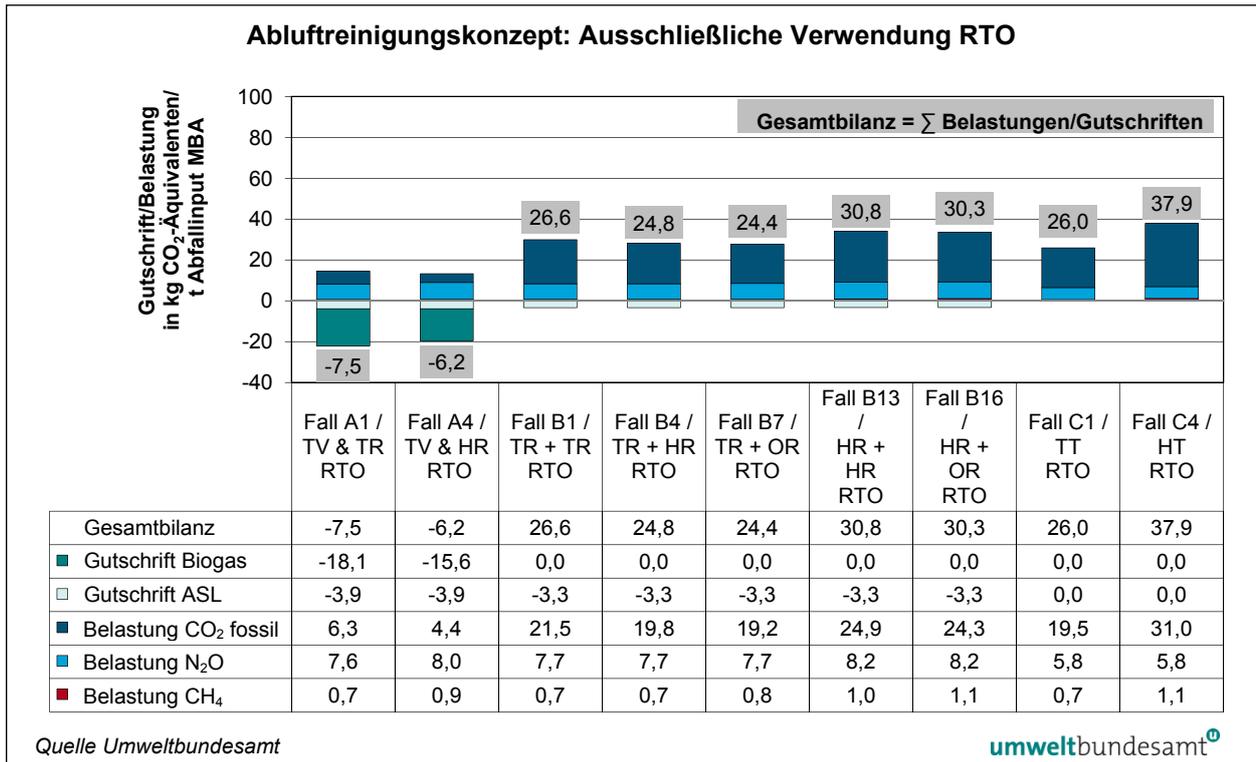


Abbildung 8: Abluftreinigungskonzept: Ausschließliche Verwendung RTO.

Belastungen Die TOC-Fracht wird bei den Abluftreinigungskonzepten der „ausschließlichen Verwendung der RTO“, mit 100 % Zuleitung aller erfassten Abluftströme zur RTO, weitestgehend abgereinigt (bis auf Konzentrationen von 7 mg/m³ in der gereinigten Abluft), womit auch die Belastung durch das enthaltene Methan gering ausfällt.

Die Belastung durch Lachgas liegt zwischen 5,8 (bei den Anwendungsfällen C) und 8,2 kg CO₂-Äquiv./t MBA (Anwendungsfälle B mit Hallenrotte).

Die Belastungen durch fossiles Kohlendioxid erfolgen vorwiegend durch den Energieeintrag in die RTO (Heizgaseinsatz). Hierbei zeigt sich, dass die Hallen-Intensivrotte/-trocknungsverfahren (A4, B13, B16 bzw. C4) höhere Aufwendungen als die Tunnel-Intensivrotte/-trocknungsverfahren (A1, B1, B4, B7 bzw. C1) erfordern, bedingt durch den geringeren Eigenenergiegehalt des Rohgases bei der Hallenrotte/-trocknung und der geringeren zu behandelnden Luftmenge. Zusätzlich sind für diese Belastungen die Energieaufwendungen der Prozessluft der Rotte/Trocknung und der Abluftführung zwischen mechanischer Aufbereitung, Rotte/Trocknung sowie Abluftreinigung von Bedeutung.

Gutschriften Die Gutschriften durch die Nutzung von ASL liegen bei den Anwendungsfällen A und B zwischen 3,3 und 3,9 kg CO₂-Äquiv./t MBA. Die Gutschriften durch die Nutzung von Biogas werden ausschließlich bei den Anwendungsfällen A (Teilstromvergärung) lukriert.

Gesamtbilanz Eine Gegenüberstellung der Anwendungsfälle A, B und C zeigt, dass die Anwendungsfälle A mit Teilstromvergärung durch die Gutschrift der Biogasnutzung die in Hinblick auf die Klimarelevanz besten Optionen der Verfahrensführung darstellen, mit Gesamtbelastungen geringer als – 6 kg CO₂-Äquiv./t MBA. Bei den Abluftreinigungskonzepten der „ausschließlichen Verwendung von RTO“ der Anwendungsfälle B und C zeigt sich, dass jene Verfahren mit Hallen-Intensivrotte/

-trocknung (B13, B16 und C4) die Verfahren mit den etwas höheren Belastungen darstellen (Belastungen von mehr als 30 kg CO₂-Äquiv./t MBA). Alle weiteren Verfahren weisen Belastungen in den Bereichen 24–27 kg CO₂-Äquiv./t MBA auf.

5.4.3 Verfahren mit ausschließlicher Verwendung von Biofiltern

Für die Abluftreinigungskonzepte der „**ausschließlichen Verwendung von Biofiltern**“ wurde die erfasste Abluftmenge jeweils zu 100 % dem Biofilter zugeleitet. Die Abbildung 9 zeigt die klimarelevanten Belastungen der Verfahren.

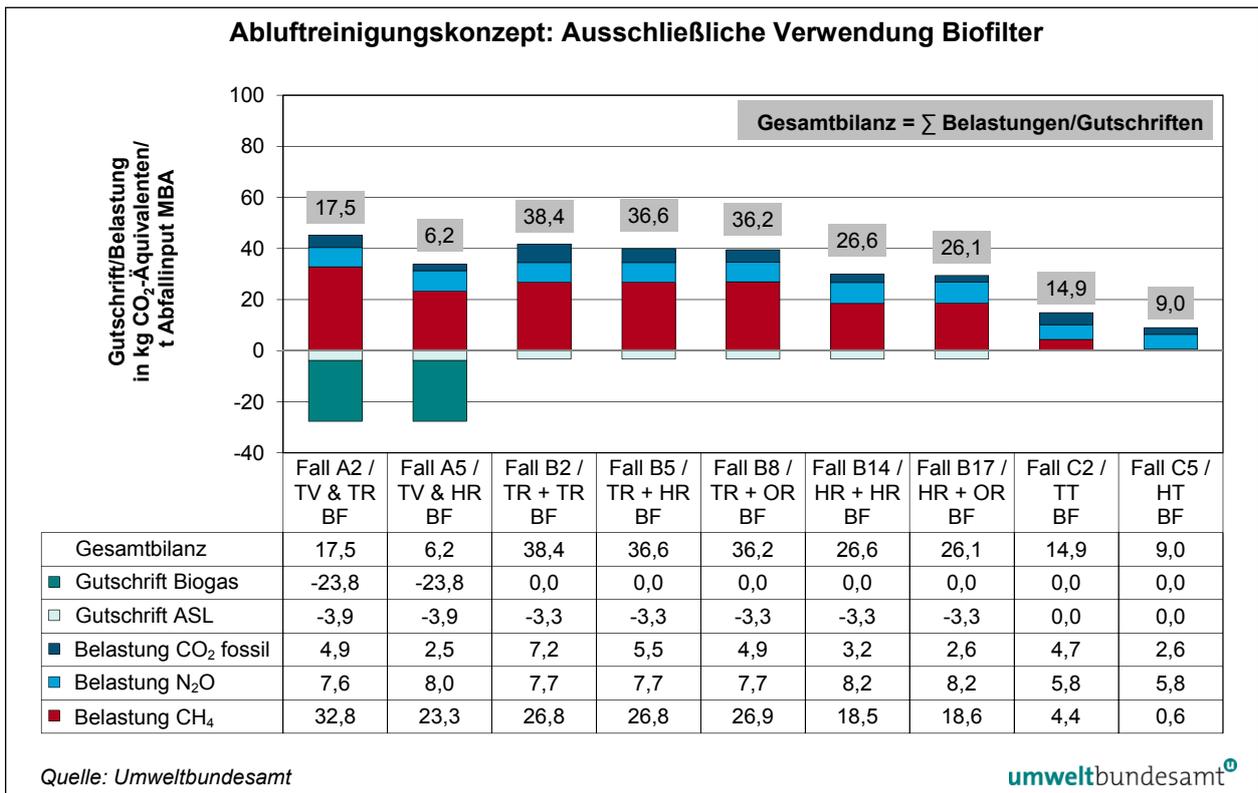


Abbildung 9: Abluftreinigungskonzept: Ausschließliche Verwendung Biofilter.

Die TOC-Fracht wird bei den Abluftreinigungskonzepten der „**ausschließlichen Verwendung von Biofiltern**“, mit 100 % Zuleitung aller erfassten Abluftströme zum Biofilter, nur eingeschränkt abgereinigt (Methanabbau zu 0 % und NMVOC-Abbau zu 70 % bzw. eine Mindestkonzentration in der Abluft von 15 mg NMVOC-C), womit auch die Belastung durch das enthaltene Methan groß ist. Durch die gering angenommenen TOC-Frachten bei den Anwendungsfällen C (Trocknung) ist die Belastung durch Methan bei diesen Verfahren entsprechend geringer als bei den Verfahren der Anwendungsfälle A und B.

Belastungen

Die Belastung durch Lachgas liegt zwischen 5,8 (bei den Anwendungsfällen C) und 8,2 kg CO₂-Äquiv./t MBA (Anwendungsfälle B mit Hallenrotte).

Die Belastungen durch fossiles Kohlendioxid erfolgen vorwiegend durch Energieaufwendungen der Prozessluft der Rotte/Trocknung und der Abluftführung zwischen mechanischer Aufbereitung, Rotte/Trocknung sowie Abluftreinigung.

Gutschriften Die Gutschriften durch die Nutzung von ASL liegen bei den Anwendungsfällen A und B zwischen 3,3 und 3,9 kg CO₂-Äquiv./t MBA. Die Gutschriften durch die Nutzung von Biogas werden ausschließlich bei den Anwendungsfällen A (Teilstromvergärung) lukriert.

Gesamtbilanz Eine Gegenüberstellung der Anwendungsfälle A, B und C zeigt, dass die Anwendungsfälle A mit Teilstromvergärung (6–17,5 kg CO₂-Äquiv./t MBA) aufgrund der Gutschrift der Biogasnutzung in Hinblick auf die Klimarelevanz gegenüber den Anwendungsfällen B (26–38 kg CO₂-Äquiv./t MBA) vorteilhaft sind. Die Gesamtbilanzen der Abluftreinigungskonzepte der „ausschließlichen Verwendung von Biofiltern“ der Anwendungsfälle C (Belastungen in den Bereichen 9–15 kg CO₂-Äquiv./t MBA) zeigen Gesamtbilanzen, die zwischen der Teilstromvergärung Tunnelrotte und Teilstromvergärung Hallenrotte liegen.

5.5 Vergleiche betreffend des Effektes der Abluftreinigungsanlagen im Hinblick auf die Klimarelevanz

In den folgenden Abbildungen werden die Belastungen im Rohgas (inklusive der Aufwendungen für die Rotte/Trocknung) den Belastungen im Reingas (inklusive der Aufwendungen für die Ablufführung und -reinigung) für die einzelnen modellierten Verfahren gegenübergestellt. Die Differenz aus der Belastung des Rohgases und des Reingases ergibt gemeinsam mit den Gutschriften des jeweiligen Verfahrens einen Gesamteffekt, der durch das eingesetzte Abluftreinigungskonzept erzielt wird.

Verfahren mit negativer Gesamtbilanz Abbildung 10 zeigt jene Verfahren, welche eine negative Gesamtbilanz ausweisen. Dies sind jene, bei denen die Abluftreinigung inklusive der Gutschriften insgesamt zu einer geringeren Emission an CO₂-Äquiv./t MBA führt als ohne Abluftbehandlung. Es zeigt sich, dass alle Kombinationsverfahren mit RTO und Biofilter der Anwendungsfälle A (A3 und A6) und ein Großteil jener der Anwendungsfälle B (B3, B6, B9 und B15) eine negative Gesamtbilanz aufweisen. Dabei weist das Verfahren A3 (Teilstromvergärung mit Tunnelrotte) den größten Gesamteffekt mit – 32,6 kg CO₂-Äquiv./t MBA auf.

Des Weiteren befinden sich in dieser Listung mit negativer Gesamtbilanz auch die Verfahren der Anwendungsfälle A mit vollständiger Abluftbehandlung in der RTO (A1 und A4) sowie die Verfahren der Anwendungsfälle B, welche mit Tunnel-Intensivrotteführung und dem Abluftreinigungskonzept der „ausschließlichen Verwendung von RTO“ betrieben werden (B1, B4 und B7). Auch in dieser Listung befinden sich die Verfahren der Anwendungsfälle A mit vollständiger Abluftbehandlung im Biofilter (A2 und A5).

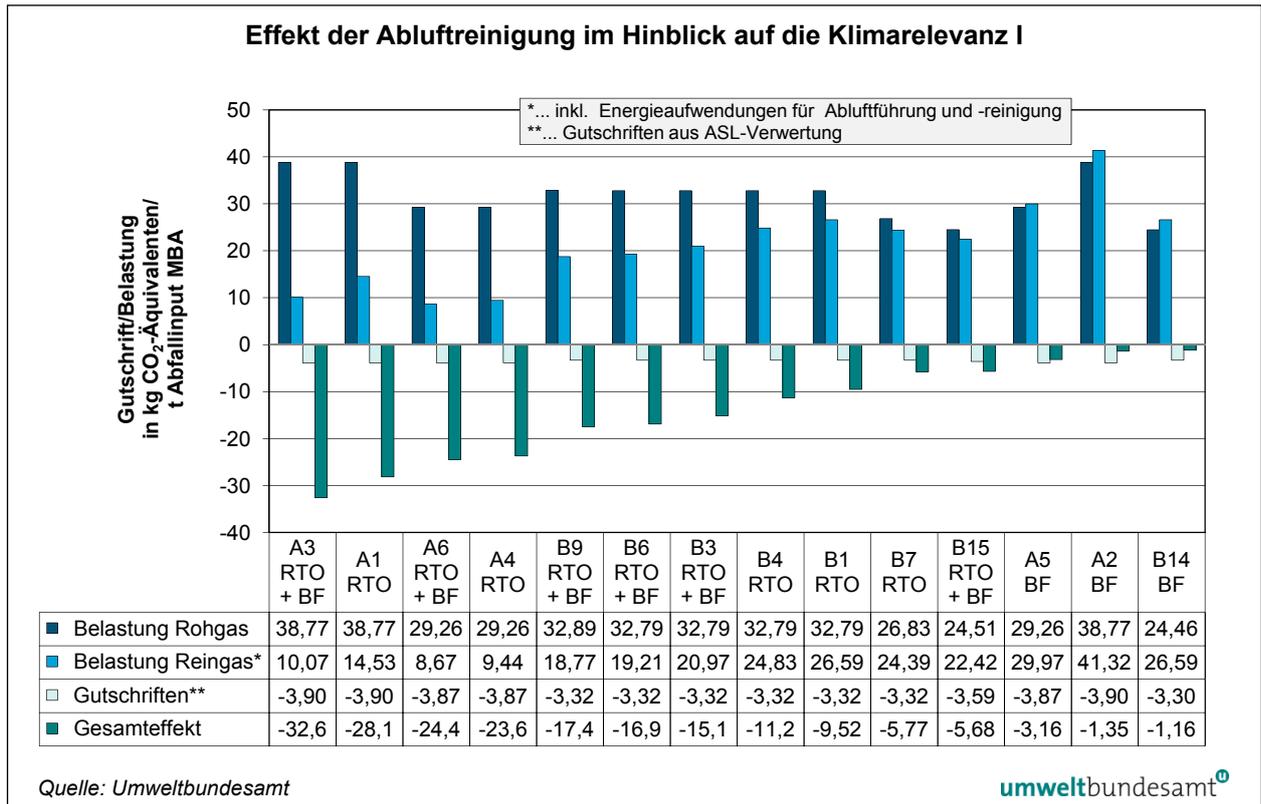


Abbildung 10: Effekt der Abluftreinigung im Hinblick auf die Klimarelevanz I.

Abbildung 11 zeigt jene Verfahren, welche eine positive Gesamtbilanz ausweisen. Dies sind jene, bei denen die Abluftreinigung inklusive der Gutschriften insgesamt zu einer höheren Emission an CO_{2-Äquiv./t} MBA führt als ohne Abluftbehandlung. Es zeigt sich, dass alle Verfahren der Anwendungsfälle C (Trocknung) unabhängig vom angewandten Abluftreinigungskonzept darunter sind, wobei das Verfahren C4 (Hallentrocknung, ausschließliche Behandlung der Abluft in der RTO) die schlechteste Gesamtbilanz mit einer zusätzlichen Belastung von 34,45 kg CO_{2-Äquiv./t} MBA aufweist. Dies ist dadurch bedingt, dass bei diesem Verfahren hohe Abluftmengen bei der Hallentrocknung, geringe Frachten an Gesamt-Kohlenstoff sowie ein geringer Methangehalt im TOC einen entsprechend hohen Energieverbrauch bei der RTO bewirken.

Des Weiteren befinden sich in dieser Listung mit positiver Gesamtbilanz auch die Verfahren der Anwendungsfälle B mit Hallen-Intensivrotteführung und offener Nachrotte, unabhängig von den verwendeten Abluftreinigung (B16, B17 und B18).

Verfahren mit positiver Gesamtbilanz

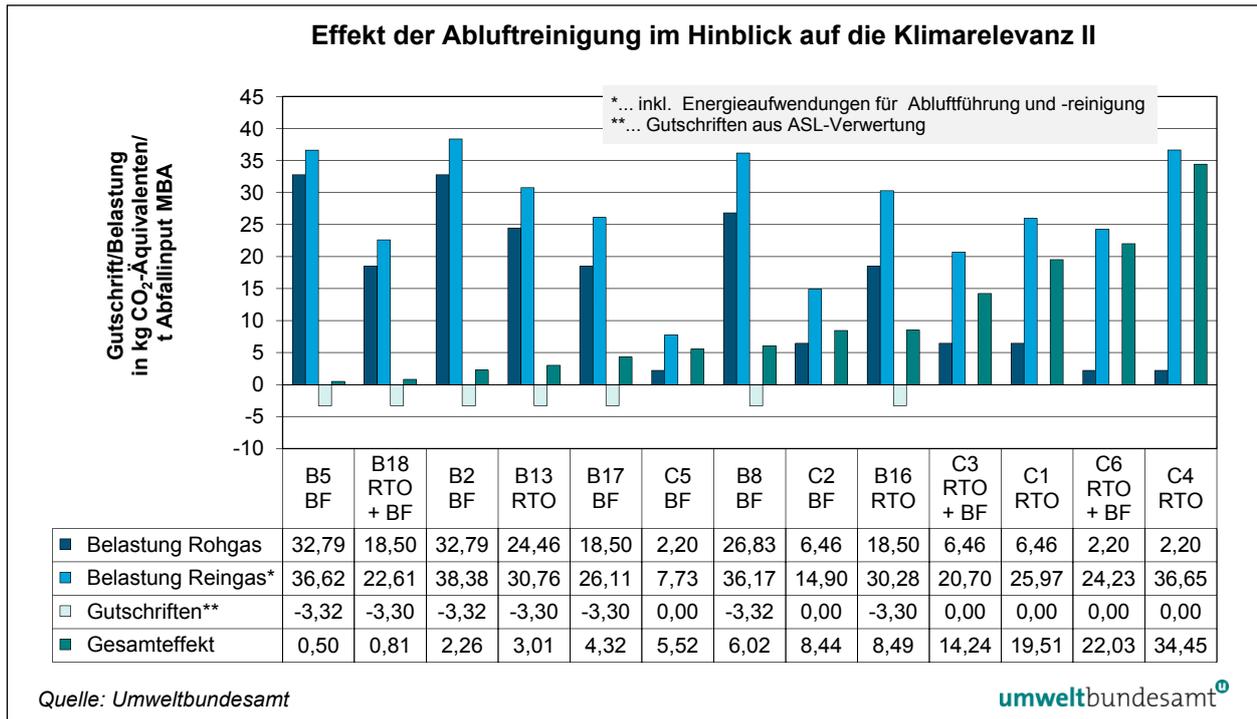


Abbildung 11: Effekt der Abluftreinigung im Hinblick auf die Klimarelevanz II.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

Nachfolgend werden die Berechnungen und Auswertungen des Kapitels 5 dargestellt und die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Österreich diskutiert. Darüber hinaus werden wichtige Stellgrößen, welche wesentlichen Einfluss auf die Klimabelastung des Systems MBA haben, bewertet.

6.1 Ergebnisse der Modellberechnungen

Die Eingangsdaten für die Modellberechnungen in Kapitel 5 spiegeln einen Betrieb nach 30. BImSchV (Mehrfachnutzung der Abluft und geringe Abluftmengen zur Abluftreinigung) wider und basieren auf kontinuierlichen Emissions- und Betriebsdaten deutscher MBA-Anlagen. Auf Basis kontinuierlicher Messungen können Verfahrensbedingungen weitestgehend repräsentativ abgebildet werden. Die Vorgaben der 30. BImSchV und darin definierte Grenzwerte sind von allen deutschen MBA-Anlagen einzuhalten.

Bei allen Anwendungsfällen A (Teilstromvergärung; A3 und A6) und B („klassische Rotte“; B3, B6, B9, B15 und B18) zeigen die Ergebnisse, dass die Abluftreinigungskonzepte der Kombinationsverfahren (Verwendung von BF & RTO) die vorteilhafte Variante im Hinblick auf die Klimabelastung im Vergleich zur ausschließlichen Reinigung über die RTO-Anlage (A1, A4 bzw. B1, B4, B6, B13 und B16) bzw. Biofilteranlage (A2 und A5 bzw. B2, B5, B7, B14 und B17) darstellen (siehe Abbildung 1 und Abbildung 3).

Bei den Anwendungsfällen C stellen in Hinblick auf die Klimabelastung die Abluftreinigungskonzepte C2 und C5 der „ausschließlichen Verwendung von Biofilteranlagen“ die vorteilhafte Variante dar.

Die ausschließliche Verwendung von Biofilteranlagen zeigt in den Anwendungsfällen B für Hallenrotte-Systeme (B14 und B17) bessere Werte als die Variante „ausschließliche Verwendung von RTO“ (B13 und B16).

Die Abluftreinigungskonzepte der „ausschließlichen Verwendung von RTO-Anlagen“ stellen die vorteilhafte Variante bei den Anwendungsfällen A und B für Tunnelrotte-Systeme (A1, A4, B1, B4 und B7) gegenüber der Variante „ausschließliche Verwendung von Biofilteranlagen“ (A2, A5, B2, B5 und B8) dar. Bei den Anwendungsfällen C sind diese Abluftreinigungskonzepte (C1 und C4) die nachteiligste Variante im Hinblick auf die Klimarelevanz.

In den Anwendungsfällen A und B können mit alleiniger Reinigung der Abluft über RTO und bei einem kombinierten Abgasreinigungskonzept die Anforderungen der 30. BImSchV im Hinblick auf die Frachtgrenzwerte für Gesamtkohlenstoff und die Konzentrationsgrenzwerte für Gesamtkohlenstoff – siehe Abbildung 2, Abbildung 4 und Abbildung 6) eingehalten werden.

Bei Abluftreinigungskonzepten mit ausschließlicher Verwendung des Biofilters werden die Grenzwerte der in Bezug auf die Kohlenstofffracht weniger strengen MBA-RL bei der Fracht um das 6,5- bis 9-fache und bei der Konzentration um das 6- bis 11-fache überschritten.

Basisdaten für die Bewertung der Klimabelastung

Kombination von Biofiltern & RTO vorteilhaft für die Anwendungsfälle A und B

Verwendung von Biofiltern vorteilhaft für die Anwendungsfälle C

Einhaltung der Grenzwerte

In den Anwendungsfällen C werden bei Anwendung der Abluftreinigungskonzepte mit ausschließlicher Verwendung der RTO bzw. mit Kombinationsverfahren RTO und Biofilter die Grenzwerte der MBA-RL für TOC eingehalten. Ebenso werden die Grenzwerte der 30. BImSchV eingehalten – mit Ausnahme bei der Hallentrocknung mit kombinierter Abluftbehandlung, bei der der Frachtgrenzwert überschritten wird.

Bei den Anwendungsfällen C ist die alleinige Behandlung im Biofilter zu bevorzugen, allerdings werden dabei im Falle der Tunneltrocknung sowohl die Begrenzungen der TOC-Fracht als auch der TOC-Konzentration der MBA-Richtlinie um das 2- bis 3-fache überschritten. Bei der Hallentrocknung werden die Vorgaben für die TOC-Fracht um 35 % und für die TOC-Konzentration um 10 % überschritten.

6.2 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Österreich

Nach UMWELTBUNDESAMT (2006, 2008b) werden nicht alle MBA-Anlagen in Österreich entsprechend den Vorgaben der MBA-RL betrieben.

Kontinuierliche Messungen von Emissions- und Betriebsdaten österreichischer MBA-Anlagen liegen nur eingeschränkt vor und ergeben kein repräsentatives Bild. Eine Aussage über die tatsächlichen Emissionen ist somit nicht möglich.

Literaturwerte (WINDSPERGER 2000; ANGERER 2003) zur Emissionssituation in österreichischen MBA-Anlagen basieren auf Messungen, welche noch vor dem Inkrafttreten des Vorbehandlungsgebotes der Deponieverordnung 1996 und den darin festgelegten Ablagerungskriterien (Brennwert etc.) und den damit verbundenen notwendigen Adaptierungen bei den MBA-Anlagen durchgeführt wurden. Diese Daten zeigen im Vergleich zur aktuellen Situation in Deutschland Hinweise auf geringere Frachten an Gesamt-Kohlenstoff und höhere, der Abluftreinigung zugeleitete Abluftmengen in österreichischen MBA-Anlagen. Vereinzelt werden dabei aber auch höhere Frachten festgestellt. Dahingehend ergeben sich unter Umständen für Österreich andere aktuelle Betriebs- und Emissionsdaten bei den MBA-Anlagen (vor allem auch andere Rohgaszusammensetzungen), weshalb zu prüfen ist, ob die Ergebnisse der Modellberechnungen auf den Anlagenpark in Österreich übertragbar sind.

Übertragbarkeit ist zu prüfen

Aufgrund fehlender aktueller Betriebs- und Emissionsdaten österreichischer Anlagen ist eine Modellierung der klimarelevanten Emissionen für österreichische Anlagen auf Basis der für Deutschland durchgeführten Berechnungen nicht möglich. Dafür wären mehrere belastbare Datensätze Voraussetzung, wobei zentral die Abhängigkeit der Gesamtkohlenstofffracht von der Abluftmenge bekannt sein muss.

NMVOC- und Methan-Fracht

Die NMVOC-Fracht ist bei MBA-Anlagen mit oder ohne Vergärung oder mit Trocknung im Gegensatz zur Methanfracht relativ konstant (zwischen 320 und 400 g NMVOC-C/t MBA). Hingegen scheint eine (deutliche) Abhängigkeit der CH₄-Fracht von der Abluftmenge möglich.

Bei den betrachteten Anwendungsfällen B wurden bei zwei verschiedenen Behandlungsverfahren (Tunnelrotte und Hallenrotte), die mit unterschiedlichen (Ab-)Luftmengen betrieben werden, unterschiedliche Methanfrachten angesetzt:

bei der Tunnelrotte¹⁶ wird mit einer spezifischen Abluftmenge von 4.000 m³ eine größere Methanfracht freigesetzt als bei der Hallenrotte mit 5.000 m³. Es ist jedoch fraglich, inwieweit die Differenzen in der Methanfracht auf die unterschiedlichen spezifischen Abluftmengen zurückzuführen sind. Folglich ist auch eine Fortschreibung der beobachteten Unterschiede (Zunahme spezifische Abluftmenge – Abnahme Methanfracht) eine reine Annahme.

Auch die Lachgasfracht verändert sich wahrscheinlich in Abhängigkeit von den spezifischen Abluftmengen. Die Lachgasbildung ist temperaturabhängig und beginnt in Bereichen unter 45 °C und stammt bei optimierten Betriebsbedingungen praktisch nur aus der Nachrotte (bzw. teilweise aus der Anlieferung des Materials). Erhöhte Luftmengen haben den Effekt, dass einerseits die Vorläufersubstanz der Lachgasbildung – Ammoniak – verstärkt aus den Mieten ausgetrieben wird. Andererseits hat die Luftmenge auch einen Einfluss auf die Temperaturverteilung in den Mieten. Der Gesamteffekt erhöhter Abluftmengen auf die Lachgasemissionen ist unbekannt.

Lachgasfracht

Zur Modellierung der C-Frachten und C-Konzentrationen in der gereinigten Abluft ist neben der oben erwähnten (nicht bekannten) Abhängigkeit der Gesamtkohlenstofffracht und Lachgasfracht von den spezifischen Abluftmengen auch die Reinigungsleistung der eingesetzten Biofilter relevant. In Biofiltern werden unterschiedliche Abbauleistungen erreicht. Die erzielbaren Wirkungsgrade werden sowohl von der Auslegung und dem Betrieb des Biofilters als auch von den im Rohgas vor dem Biofilter vorliegenden Belastungen beeinflusst.

Kohlenstofffracht

Bei hohen Luftmengen und entsprechend niedrigeren NMVOC-Konzentrationen ergeben sich geringere Reinigungsleistungen von Biofiltern.¹⁷

Die Bestimmung jener Punkte, ab denen ein bestimmtes Abluftreinigungssystem (nur Biofilter, nur RTO oder eine Kombination der beiden Verfahren) in Hinblick auf die Klimarelevanz vorteilhaft ist, kann anhand des derzeitigen Informationsstandes für österreichische Anlagen nicht bestimmt werden.

Die in den vorherigen Kapiteln durchgeführten Berechnungen zeigen jedoch, dass die Vorgaben der MBA-Richtlinie bei alleiniger Reinigung der Abluft mittels Biofilter knapp nicht eingehalten werden können, auch wenn sich kein Methan im Abgasstrom befindet.

Die Werte der deutschen Anlagen zeigen ebenso in allen Anwendungsfällen A und B für eine kombinierte Anwendung von Biofilter & RTO die besten Ergebnisse in Hinblick auf die Klimarelevanz. Zusätzlich können bei dieser Kombination auch die Anforderungen der 30 BImSchV und damit auch der österreichischen MBA-RL erfüllt werden.

¹⁶ Mit dreifacher Umluftführung: Es werden bis zu 12.000 m³ Luft durch die Miete gedrückt/gesaugt.

¹⁷ Persönliche Mitteilung K. Ketelsen 2011.

6.3 Einflussgrößen auf die Berechnungsergebnisse

Generell kann in Hinblick auf die Klimarelevanz gesagt werden:

- Eine höhere TOC-Konzentration in der Abluft verbessert die Ergebnisse der Behandlung in der RTO.
- Eine geringere Methankonzentration verbessert die Ergebnisse der Behandlung im Biofilter.

Entsprechend verändern sich auch die Ergebnisse bei einer Kombination der beiden Behandlungsarten (schwach belastete Abluft in den Biofilter, hoch belastete Abluft in die RTO).

Bei der Ableitung der Modellwerte für die Berechnungen wurden vorhandene Messergebnisse und Praxiserfahrungen aus Deutschland eingesetzt. Vielfach mussten dabei Werte aus einer Bandbreite ausgewählt werden oder für Bereiche, für die keine Daten vorlagen, Annahmen getroffen werden. Der Einfluss einzelner wichtiger Einflussgrößen auf das Gesamtergebnis der Klimarelevanz der Abluftreinigung soll in diesem Kapitel gezeigt werden.

Kohlenstofffracht

Von wesentlicher Bedeutung sind die im Rohgas angereicherten **Frachten an TOC**. Bei einer Behandlung in der RTO wird der Heizgasbedarf der RTO durch die im Rohgas enthaltene Energiemenge beeinflusst. TOC wird vor allem in der Intensivrotte und weniger in der Nachrotte gebildet, generell in Tunnelsystemen auf höherem Niveau als in Hallensystemen. In den modellierten Anwendungsfällen betrug die TOC-Konzentration im Rohgas in den Anwendungsfällen A¹⁸ 350 mg/m³ bei Tunnelrotte und 210 mg/m³ bei Hallenrotte, in den Anwendungsfällen B¹⁹ 287,5 mg/m³ bei der Tunnelrotte und 171,4 mg/m³ bei der Hallenrotte sowie in den Anwendungsfällen C²⁰ 150 mg/m³ bei der Tunnelrotte und 67 mg/m³ bei der Hallenrotte.

Methanfracht

Von großem Interesse ist auch der im TOC des Rohgases enthaltene **Anteil an Methan**. In herkömmlichen Biofiltern mit dem vorrangigen Ziel der Geruchsreduzierung und mit Filtervolumenbelastungen von höher als 50 m³/(m³h) wird Methan in der Regel nicht oder nur gering abgebaut. Auch gemäß BAT Dokument liegt die Effizienz für Methan nahe bei 0 % (EUROPEAN COMMISSION 2006). Nach CUHLS et al. (2008) kann die CH₄-Reduktion zwischen 0 % bis maximal etwa 30 % liegen, bei optimierter Auslegung der Biofilter liegt sie im Bereich von 5–15 %, d. h. im Mittel bei 10 %. In stark vernässten, verdichteten oder ungleichmäßig durchlüfteten Biofiltern kann es auch zu einer geringen Methan Neubildung kommen. In dieser Studie wurde mit einem Methanabbau von 0 % gerechnet.

Zusatzgasverbrauch der RTO

RTOs benötigen zur Behandlung der Abluft große Heizgas Mengen. Der durchschnittliche Gasverbrauch zur Aufrechterhaltung des Oxidationsprozesses schwankt zwischen 13,6–15,8 kWh/1.000 Nm³ behandelter Abluft (WALLMANN et al. 2008). In (BMLFUW 2005) finden sich folgende Angaben zum Energieverbrauch: Bei energieoptimierten Systemen (ca. 95 % thermischer Wirkungsgrad) muss mit einem Energieverbrauch von 9–14 kWh/1.000 m³ Nm³ behandelter Abluft gerechnet werden. Nach KETELSEN (2011) müssen für den Betrieb einer

¹⁸ Frachten TOC Anwendungsfälle A: Tunnelrotte 1.312 g/t MBA, Hallenrotte 1.027 g/tMBA.

¹⁹ Frachten TOC Anwendungsfälle B: Tunnelrotte 1.150 g/t MBA, Hallenrotte 900, g/tMBA.

²⁰ Frachten TOC Anwendungsfälle C: Tunnelrocknung 525 g/t MBA, Hallenrocknung 411 g/tMBA.

RTO je nach System und Auslegung zwischen 15 und 20 kWh/1.000 Nm³ behandelter Abluft an Energie dem Brennerraum zugeführt werden. In dieser Studie wurde ein Energieverbrauch von 15 kWh/1.000 m³ Nm³ behandelter Abluft angesetzt.

Die Lachgasemissionen beeinflussen die Ergebnisse ebenfalls stark. So liegt etwa der Anteil des N₂O bei den Anwendungsfällen B mit Abgasreinigung über Biofilter an der Gesamtbelastung bei rund 20 %. Wesentlich stärker (relativ gesehen) ist der Anteil bei einer Abluftreinigung ausschließlich über die RTO: In diesem Fall trägt bei den Anwendungsfällen B Lachgas zu 25–30 % zur Gesamtbelastung bei. Lachgas wird nur gering in der Intensivrotte und vorwiegend in der Nachrotte gebildet. Es kann weder durch Biofilteranlagen noch durch RTO-Anlagen abgebaut werden und schlägt (ggf. unter Berücksichtigung geringerer sekundärer Lachgasbildung) in das Reingas durch.

Lachgasfracht

Im Folgenden wird deshalb sowohl die primäre Lachgasbildung (Annahme in der Studie 20 g N₂O/t MBA) als auch die sekundäre Lachgasbildung in Biofiltern bzw. RTO variiert und der Effekt auf die Klimabilanz betrachtet (Annahme in der Studie: 22 % des Ammoniaks der Abluft die dem Biofilter oder der RTO zugeleitet wird, wird in Lachgas umgewandelt).²¹

Zusätzlich wird berechnet, welchen Einfluss eine Ausreizung des N₂O-Grenzwertes der 30. BImSchV (100 g N₂O/t MBA) auf die Gesamtergebnisse hätte.

In Tabelle 6 wird der Einfluss ausgewählter Eingangsgrößen auf die Ergebnisse der Verfahren A1–A3 und B1–B3 dargestellt. Dabei werden die Einflussgrößen TOC-Fracht im Rohgas, Lachgas-Fracht im Rohgas sowie Heizgasverbrauch RTO um 5 % erhöht, die Einflussgrößen Methangehalt TOC im Rohgas, Methanabbau Biofilter, Lachgasneubildung Biofilter sowie Lachgasneubildung RTO um 5 Prozentpunkte erhöht.

Je nach gewähltem Abluftreinigungsverfahren kann es bei einer Erhöhung der Einflussgrößen zu einer Zunahme oder einer Abnahme der Belastung, ausgedrückt in CO₂-Äquivalent, kommen.

Zwei Beispiele zur Erklärung der Werte in Tabelle 6:

- Steigt die TOC-Fracht im Rohgas so sinkt aufgrund der höheren Eigenenergie im Rohgas die Belastung bei Systemen mit Abluftreinigungskonzepten unter Verwendung einer RTO. Eine Erhöhung der TOC-Fracht im Rohgas um 5 % führt zu einer Verringerung der Belastung im Verfahren A1 um 1,2 % und B1 um 0,7 %.
- Steigt der Methangehalt im TOC des Rohgases um 5 Prozentpunkte (von 75 % auf 80 %) so führt dies bei den Abluftreinigungskonzepten unter ausschließlicher Verwendung von Biofiltern zu einer Erhöhung der Belastung im Verfahren A2 von 11,1 % bzw. B2 von 5,0 %).

²¹ Siehe auch Studien CUHLS C. (2001) und KETELSEN K. (2011)

Tabelle 6: Einfluss ausgewählter Eingangsgrößen auf die Gesamtbilanz (Änderungen in %).

Parameter	Änderung Eingangsgröße	Änderung Ergebnis A1 (%)	Änderung Ergebnis A2 (%)	Änderung Ergebnis A3 (%)	Änderung Ergebnis B1 (%)	Änderung Ergebnis B2 (%)	Änderung Ergebnis B3 (%)
Absolutwerte		%-Änderung vom Absolutwert					
TOC-Fracht im Rohgas	+ 5	- 1,2	+ 8,6	- 0,9	- 0,7	+ 3,5	- 0,9
Lachgas-Fracht im Rohgas	+ 5	+ 4,1 %	+ 1,7 %	+ 3,1	+ 1,1	+ 0,8	+ 1,4
Heizgasverbrauch RTO	+ 5	+ 3,8	k. A.	+ 2,0	+ 2,9	k. A.	+ 2,6
Prozentwerte		%-Änderung um Prozentpunkte					
%-Methangehalt TOC im Rohgas	+ 5	- 1,6	+ 11,1	+ 0,8	- 1,0	+ 5,0	- 0,4
%-Methanabbau Biofilter	+ 5	k. A.	- 10,3	- 0,0	k. A.	- 3,5	- 0,0
%-Lachgasneubildung Biofilter	+ 5	k. A.	+ 2,0	+ 1,1	k. A.	+ 1,0	+ 0,6
%-Lachgasneubildung RTO	+ 5	+ 5,1	k. A.	+ 2,6	+ 1,5	k. A.	+ 1,3

Gegenläufige Trends sind dunkelgrau hervorgehoben; k. A. = keine Auswirkung.

In der folgenden Tabelle 7 sind die absoluten Veränderungen der THG-Emissionen in kg CO₂-Äquiv. bei Änderung der ausgewählten Eingangsgrößen dargestellt.

Tabelle 7: Einfluss ausgewählter Eingangsgrößen auf die THG-Emissionen (Änderungen in kg CO₂-Äquiv.).

Parameter	Änderung Eingangsgröße	Änderung Ergebnis A1 (kg)	Änderung Ergebnis A2 (kg)	Änderung Ergebnis A3 (kg)	Änderung Ergebnis B1 (kg)	Änderung Ergebnis B2 (kg)	Änderung Ergebnis B3 (kg)
Absolutwerte		%-Änderung vom Absolutwert					
TOC-Fracht im Rohgas	+ 5	- 0,1	+ 1,6	- 0,1	- 0,2	+ 1,3	- 0,2
Lachgas-Fracht im Rohgas	+ 5	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,3
Heizgasverbrauch RTO	+ 5	+ 0,3	k. A.	+ 0,2	+ 0,8	k. A.	+ 0,5
Prozentwerte		%-Änderung um Prozentpunkte					
%-Methangehalt TOC im Rohgas	+ 5	- 0,1	+ 2,2	+ 0,1	- 0,3	+ 1,9	- 0,1
%-Methanabbau Biofilter	+ 5	k. A.	- 1,6	- 0,0	k. A.	- 1,3	- 0,0
%-Lachgasneubildung Biofilter	+ 5	k. A.	+ 0,4	+ 0,1	k. A.	+ 0,4	+ 0,1
%-Lachgasneubildung RTO	+ 5	+ 0,4	k. A.	+ 0,3	+ 0,4	k. A.	+ 0,3

Gegenläufige Trends sind dunkelgrau hervorgehoben; k. A. = keine Auswirkung.

Für die Lachgasfracht wird in der 30. BImSchV ein Grenzwert von 100 g N₂O/t MBA vorgeschlagen. Bei Ausreizung dieser Fracht bedeutet dies eine Lachgasbedingte Emission von 29,8 kg CO₂-Äquiv./t MBA. Bei den Verfahren A werden bei der Tunnelrotte 5,3 g N₂O und bei der Hallenrotte 7,0 g N₂O sekundär in Biofilter oder RTO gebildet, bei den Verfahren B werden bei der Tunnelrotte 5,7 g N₂O und bei der Hallenrotte 7,5 g N₂O sekundär gebildet. Die primäre N₂O-Bildung wurde sowohl in den Anwendungsfällen A als auch B mit 20 g/t MBA angesetzt.

Unter voller Ausreizung des Grenzwertes der MBA-RL erhöhen sich damit die THG-Bilanzen wie folgt:

- Anwendungsfälle A: Tunnelrotte + 22,2 kg CO₂-Äquiv./t MBA, Hallenrotte + 21,8 kg CO₂-Äquiv./t MBA
- Anwendungsfälle B: Tunnelrotte + 22,1 kg CO₂-Äquiv./t MBA, Hallenrotte + 21,6 kg CO₂-Äquiv./t MBA

Ergebnisse

- Eine Erhöhung der TOC-Fracht im Rohgas führt zu einer deutlichen Mehrbelastung bei den Varianten mit Biofiltern (plus 1,3–1,6 kg CO₂-Äquiv./t MBA), aber nur zu einer geringen Verbesserung bei den Varianten mit Behandlung ausschließlich in einer RTO (minus 0,1–0,2 kg CO₂-Äquiv./t MBA).
- Eine Erhöhung des Methananteils um 5 %-Punkte im TOC führt zu einer deutlichen Mehrbelastung bei den Varianten mit Biofiltern (plus 1,9–2,2 kg CO₂-Äquiv./t MBA mehr), aber nur zu einer geringen Verbesserung bei den Varianten mit Behandlung ausschließlich in einer RTO (minus 0,1–0,3 kg CO₂-Äquiv./t MBA).
- Eine Erhöhung der Lachgasfracht im Rohgas führt unabhängig vom Abluftbehandlungsverfahren zu erhöhten THG-Emissionen (je g N₂O pro t/MBA zu plus 0,3 kg mehr CO₂-Äquiv./t MBA).
- Die Erhöhung des Methanabbaus im Biofilter um 5 %-Punkte verringert deutlich die Emissionen bei der Behandlung im Biofilter (minus 1,3–1,6 kg CO₂-Äquiv./t MBA).
- Die Erhöhung der Lachgasneubildung in RTO oder Biofilter um 5 %-Punkte erhöht die Gesamtemission um bis zu plus 0,4 kg CO₂-Äquiv./t MBA.

6.4 Klimarelevanz im Kontext anderer Wirkungskategorien

Die gegenständliche Studie bietet keine vollständige Lebenszyklusanalyse, sondern bewertet die Wirkungskategorien Klimarelevanz und fossile Ressourcen für definierte Systemgrenzen. Im Zuge einer vollständigen Lebenszyklusanalyse – der systematischen Analyse der Umweltwirkungen von Produkten/Prozessen während des gesamten Lebensweges – sind darüber hinaus weitere Wirkungskategorien von Bedeutung (z. B. Versauerung, terrestrische Eutrophierung, PM10 Risikopotenzial, Ozonbildungspotenzial oder Krebsrisiko (Human-toxizität)). Dahingehend sind die Ergebnisse der gegenständlichen Studie auch ausschließlich für die Bewertung der Wirkungskategorien Klimarelevanz und fossile Ressourcen heranzuziehen.

Für die Bewertung von Grenzwerten sind entsprechend alle Wirkungskategorien zu analysieren.²²

Eine vergleichende Bewertung der Wirkungskategorien wird in einschlägigen LCA-Anwendungen (z. B. SimaPro, Umberto, GEMIS) angeboten, bedarf jedoch einer umfassenden systemorientierten Modellierung. Nach IFEU (2008) wurde eine vergleichende Bewertung der Umweltauswirkungen verschiedener Abluftreinigungskonzepte einer mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBA) auf Basis von Umberto durchgeführt. Ergebnisse für die modellierten Verfahrensvarianten mit unterschiedlichen Abluftreinigungskonzepten zeigen, dass im Vergleich mit der Wirkungskategorie Klimarelevanz andere Wirkungskategorien ähnlich bedeutend sind (siehe IFEU 2008, Seite 28ff).

²² Der Prozess der Ökobilanzierung wird in den Normen „EN ISO 14040:2009-11 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen“ und „EN ISO 14044:2006-10 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (vormals EN ISO 14041-43)“ standardisiert und umfasst folgende vierstufige Herangehensweise: 1) Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen; 2) Sachbilanz; 3) Wirkungsabschätzung und 4) Auswertung.

7 VERZEICHNISSE

7.1 Literaturverzeichnis

- ANGERER, T. (2003): Beitrag zur Charakterisierung und Reduktion von Abgasemissionen aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen; Dissertation Montanuniversität Leoben (MUL).
- BIWA (2009): Büro Ibold Wagner Apitz – Klimarelevanz und Energieeffizienz, Untersuchungen zur Klimarelevanz der Abfallwirtschaft in den Abfallverbänden des Freistaates Sachsen.
- CUHLS, C. (2001): Schadstoffbilanzierung und Emissionsminderung bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung: Veröffentlichung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover (Heft 114).
- CUHLS, C., MÄHL, B., BERKAU, S. & CLEMENS, J. (2008): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. Abschlussbericht. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – Abfallwirtschaft; Förderkennzeichen: 206 33 326; Bearbeitung: Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer Gewitra GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dezember 2008.
- DACH, J.; WARNSTEDT, A.; SIEMION, J. & MÜLLER, G. (2007): Ökoeffizienz der regenerativ thermischen Oxidation (RTO) im Hinblick auf die Vermeidung klimawirksamer Emissionen; Internationale Tagung MBA 2007.
- EUROPEAN COMMISSION (2006): Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries, August 2006
- IFEU (2008): Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH – Vergleichende Bewertung der Umweltauswirkungen verschiedener Abluftreinigungskonzepte einer mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBA).
- KETELSEN, K. (2011): Kurzgutachten zur Frachtbegrenzung für Emissionen aus der MBA; Studie erstellt im Auftrag des Lebensministeriums.
- SOYEZ, K. & PLICKERT, S. (2002): Stoffstrommanagement durch mechanisch-biologische Abfallbehandlung.
- UMWELTBUNDESAMT (2006): Ist-Stand der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Österreich: Statusbericht 2006 (REP0071). Neubauer C. & Öhlinger A., Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2008a): Behandlung von gemischten Siedlungs- und Gewerbeabfällen in Österreich: Betrachtungszeitraum 2003–2007 (REP0225). Neubauer C. & Walter B., Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2008b): Emissionsschutz bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung: Praxiserfahrungen und Schlussfolgerungen aus Genehmigungsstand (nicht veröffentlicht), Neubauer C. & Öhlinger A., Umweltbundesamt, Wien.

- UMWELTBUNDESAMT DEUTSCHLAND (2010): Optimierung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlungsanlagen (MBA) unter Berücksichtigung von Ressourcen und Klimaschutzaspekten. Ketelsen K., Kanning K. & Cuhls C.: Förderkennzeichen: 363 01 254; Bearbeitung: Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer Gewitra GmbH und Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft und Energietechnik GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes, Juni 2010.
- VOGT, R., GÄRTNER, S., MÜNCH, J., REINHARDT, G. & KÖPPEN, S. (2008): Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. Verbundprojekt, gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Projektträger: Forschungszentrum Jülich F&E-Vorhaben, FKZ: 0327544.
- WINDSPERGER, A. (2001): Technologie und Konzepte der Abluftreinigung bei mechanisch-biologischen Anlagen zur Vorbehandlung von Restmüll: Endberichte der Projektkoordination. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW).
- WALLMANN, R.; DORSTEWITZ, H.; HAKE, J.; FRICKE, K. & SANTEN, H. (2007): Abluftbehandlung nach 30. BImSchV – erste Betriebserfahrungen und Optimierungsansätze. 10. Münsteraner Abfallwirtschaftstage. Zitiert in: Dach, J. et al. (2007).
- WALLMANN, R.; FRICKE, K. & HAKE, J. (2008): Energieeffizienz bei der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung, erschienen in Müll und Abfall Nr. 7 2008: 332–339.

Rechtsnormen und Leitlinien

- Dreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutz-Gesetzes – Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen – 30. BImSchV (Bundesumweltministerium Deutschland 2001).
- EN ISO 14040:2009-11: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006. Ausgabedatum: 2009-11.
- EN ISO 14044: 2006-10: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Ausgabedatum: 2006-10.
- Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 2007).
- Richtlinie für die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2002).
- Richtlinie zum Stand der Technik der Kompostierung (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2005).

7.2 Abkürzungsverzeichnis

ASL	Ammoniumsulfatlösung
BF	Biofilter
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMLFUW.....	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BR	Bilanzraum
CO ₂ -Äquiv.	Kohlendioxid-Äquivalent
FS	Feuchtsubstanz
HMW	Halbstundenmittelwert
HR.....	Hallenrotte
HT	Hallentrocknung
IR	Intensivrotte
LCA	Life Cycle Assessment
MBA	mechanisch-biologische Abfallbehandlung
MBA-RL.....	Richtlinie über die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen
NR.....	Nachrotte
NMVOC.....	non methane volatile organic compounds
n. r.....	nicht relevant
OR.....	offene Rotte
RT	RTO-Anlage
RL	Richtlinie
RTO	regenerative thermische Oxidation
TMW	Tagesmittelwert
TOC	Total Organic Carbon (Gesamtkohlenstoff)
TR	Tunnelrotte
TT.....	Tunneltrocknung
TV	Trockenvergärung
WN	Wäscher neutral
WS	Wäscher sauer

8 ANHANG

8.1 Detaillierte Darstellung – Anwendungsfälle A

8.1.1 Verfahren mit Vergärung und nachfolgender Tunnelrotte

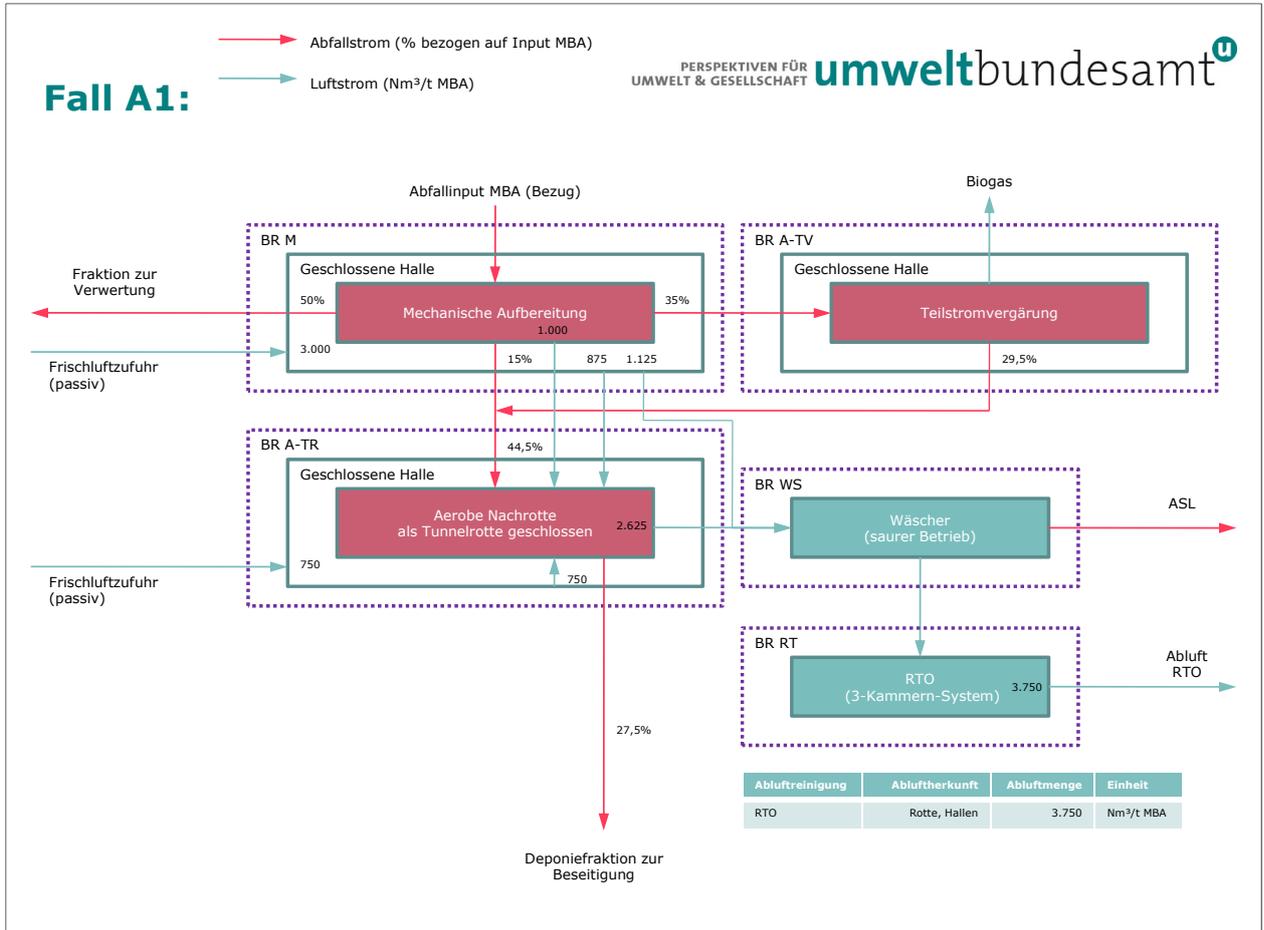


Abbildung 12: Anwendungsfall A1/TV & TR (WS + RT).

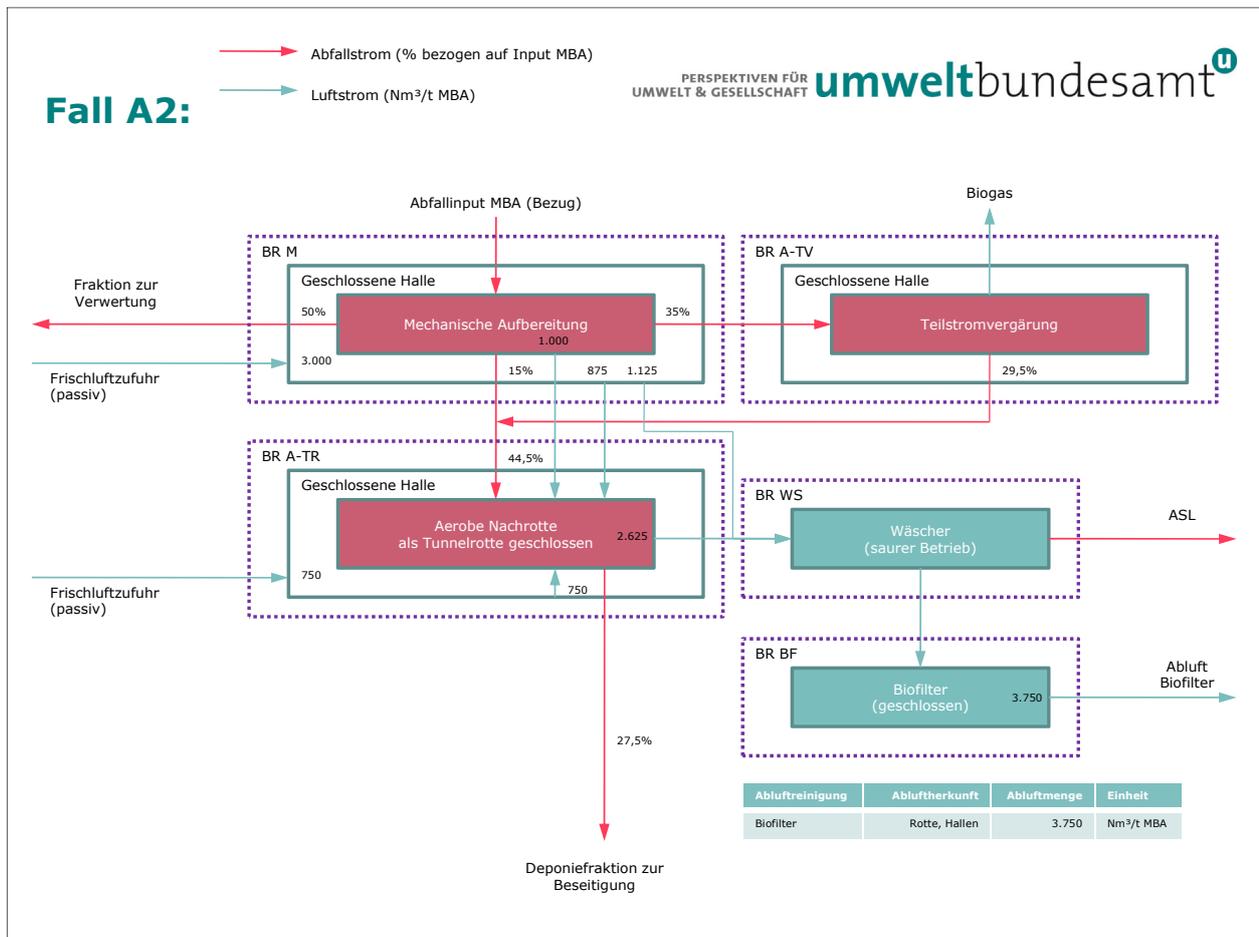


Abbildung 13: Anwendungsfall A2/TV & TR (WS + BF).

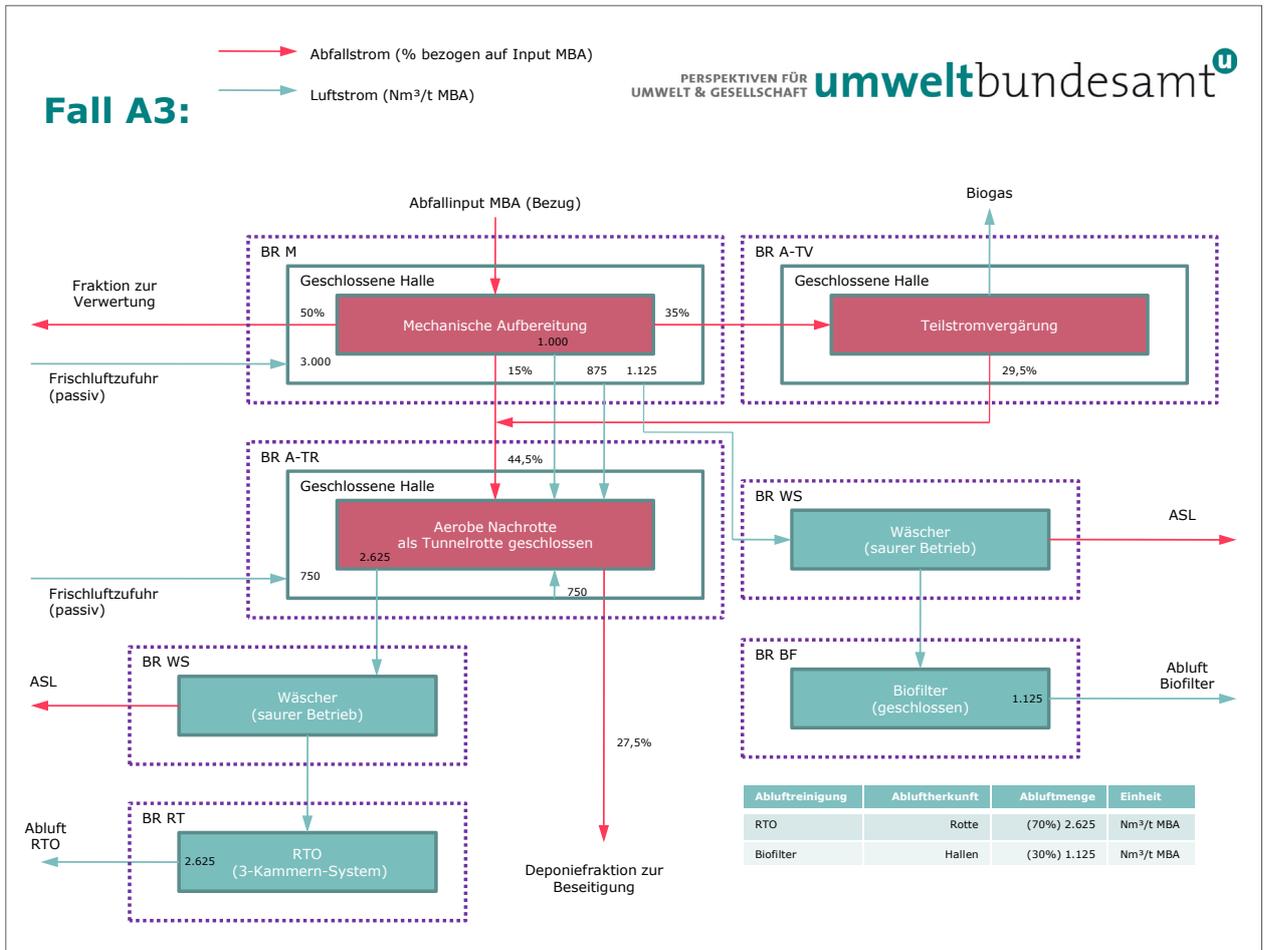


Abbildung 14: Anwendungsfall A3/TV & TR (WS + BF & WS + RT).

8.1.2 Verfahren mit Vergärung und nachfolgender Hallenrotte

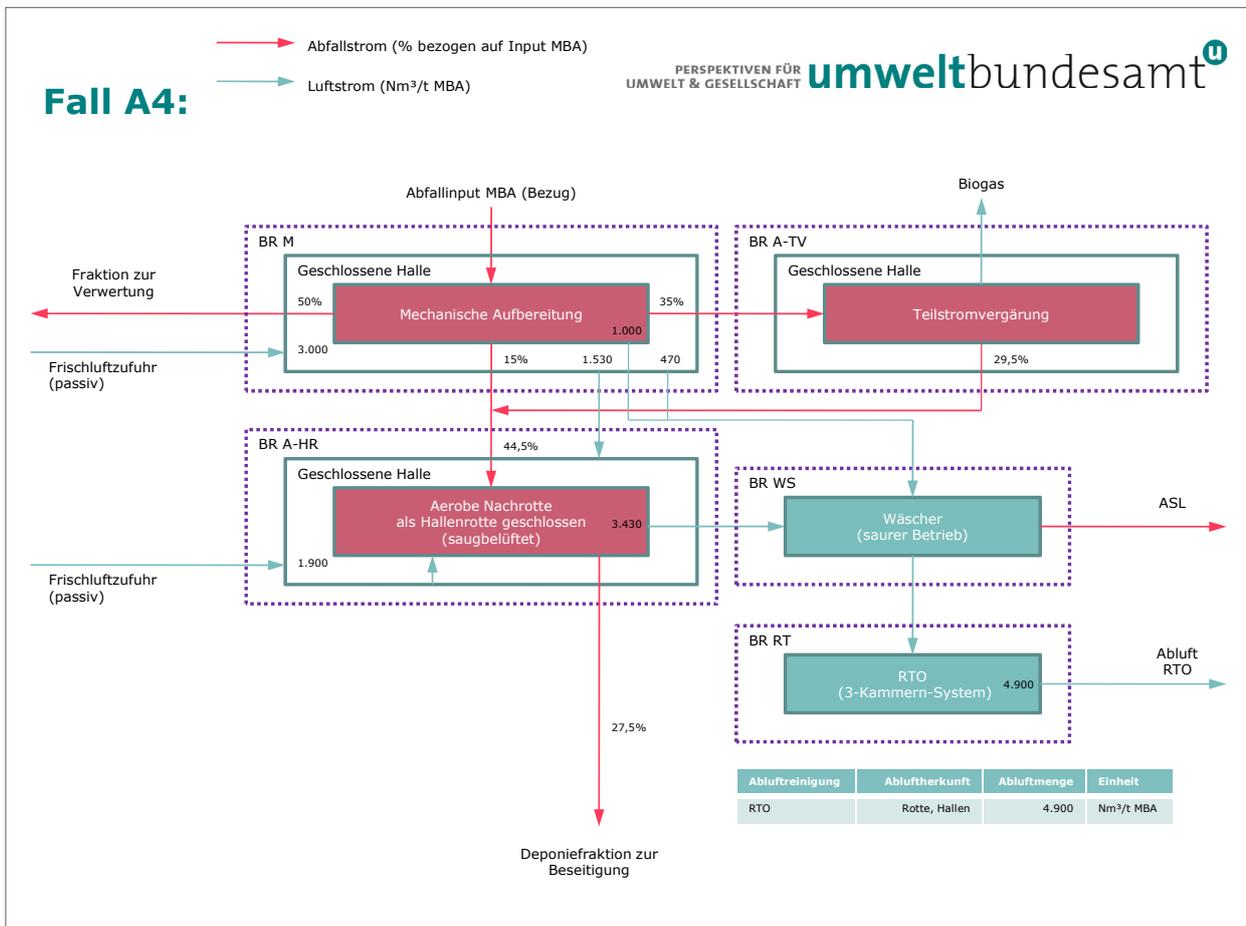


Abbildung 15: Anwendungsfall A4/TV & HR (WS + RT).

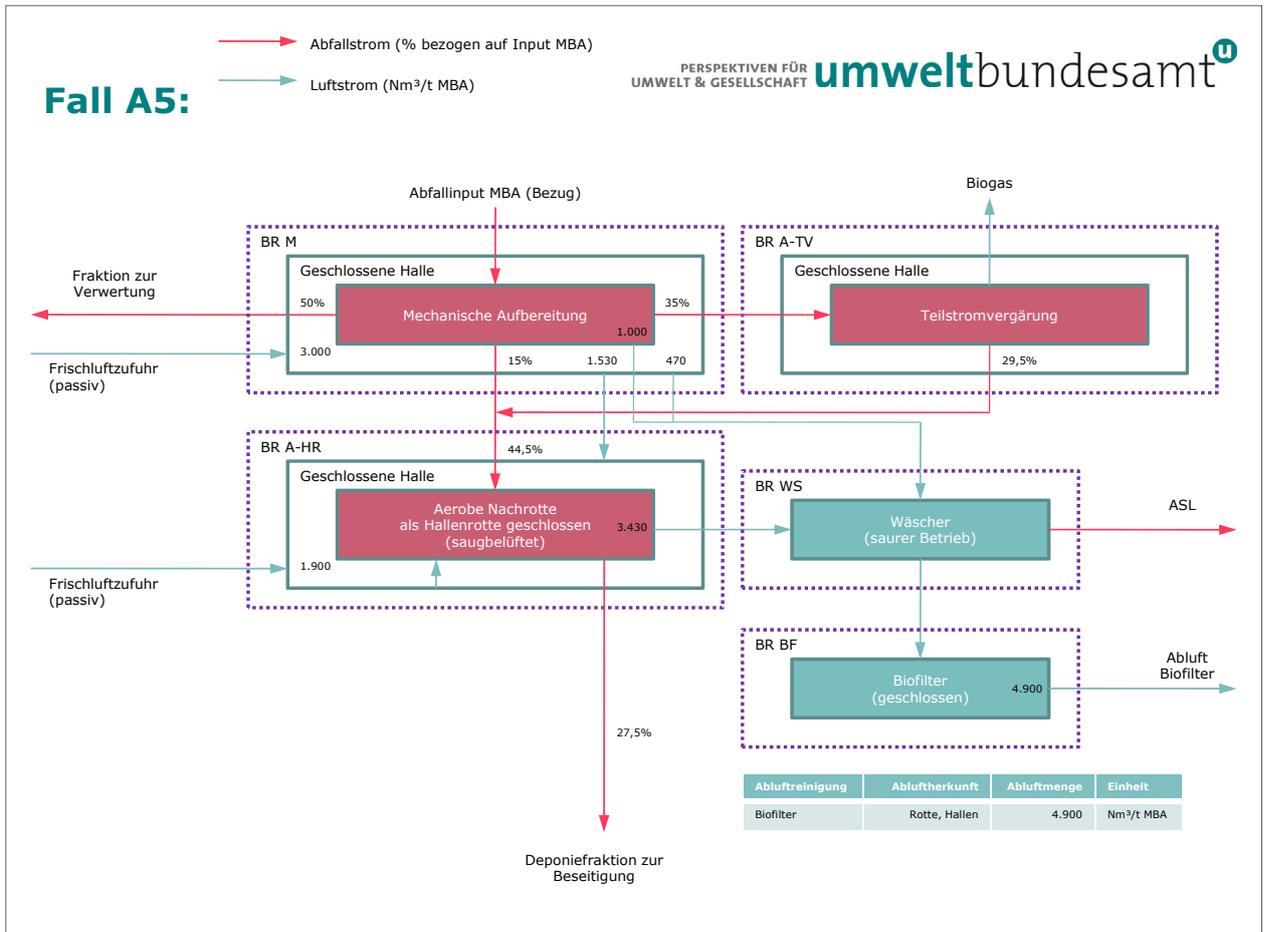


Abbildung 16: Anwendungsfall A5/TV & HR (WS + BF).

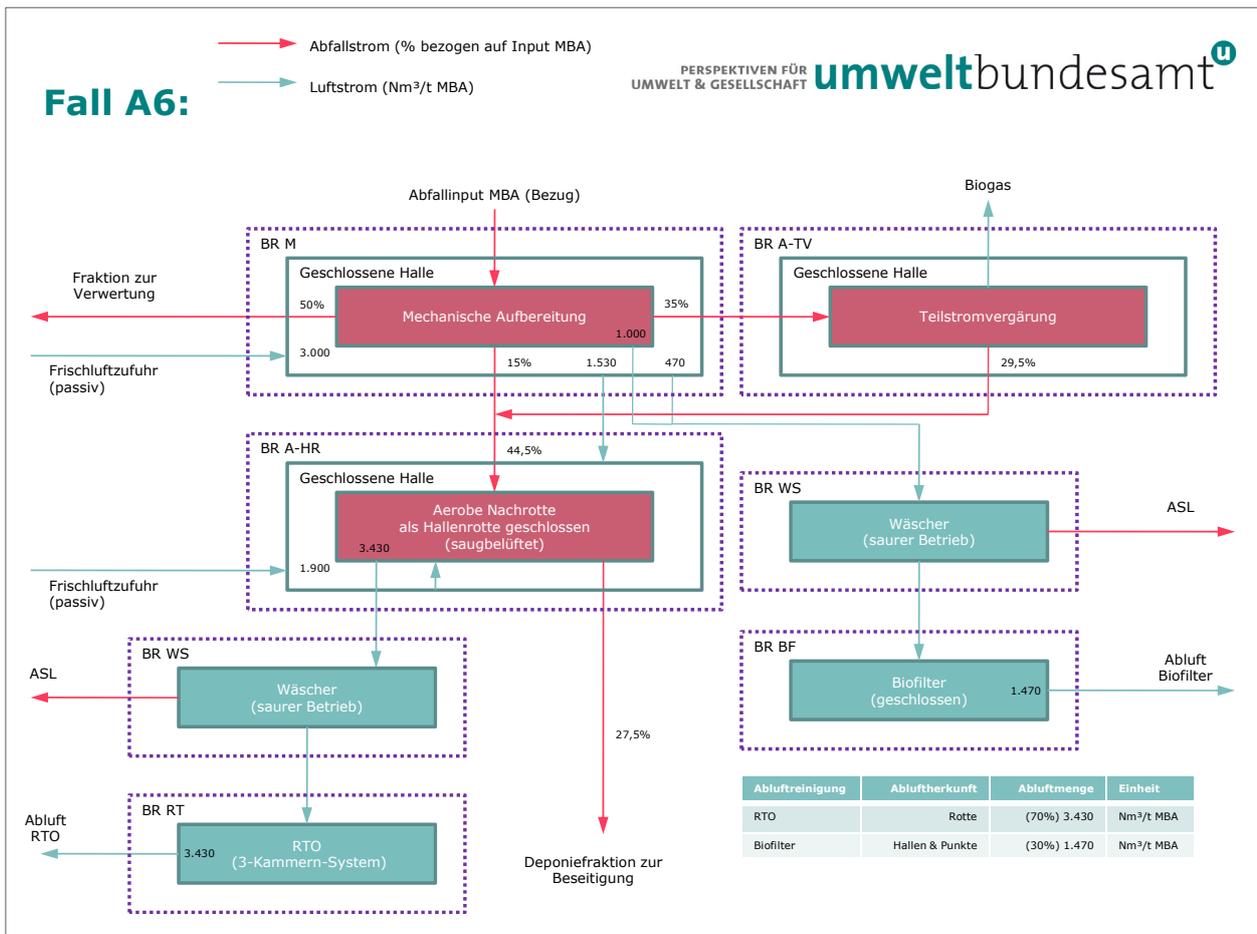


Abbildung 17: Anwendungsfall A6/TV & HR (WS + BF & WS + RT).

8.2 Detaillierte Darstellung – Anwendungsfälle B

8.2.1 Verfahren mit Intensivrotte als Tunnelrotte und Nachrotte als Tunnelrotte

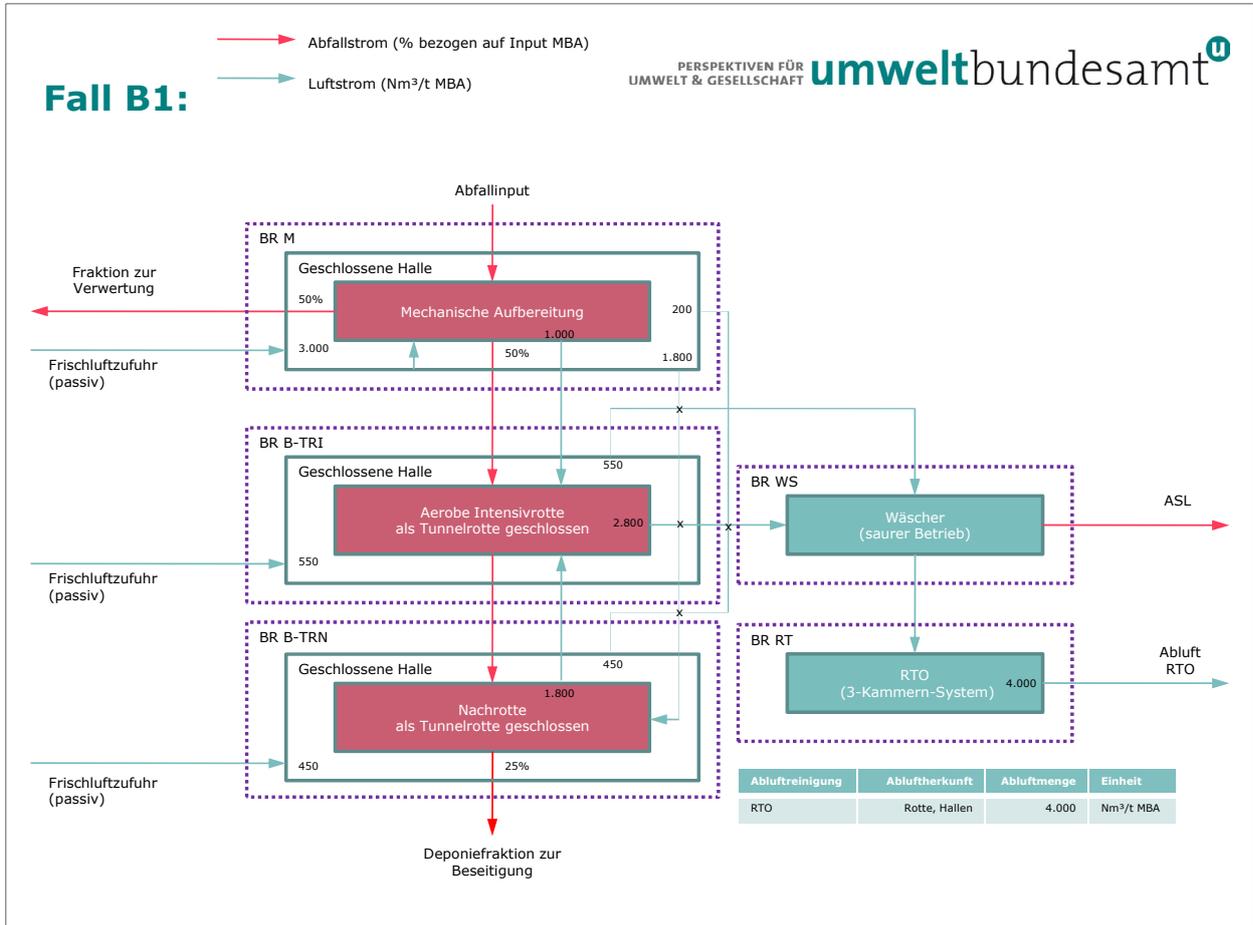


Abbildung 18: Anwendungsfall B1/TR & TR (WS + RT).

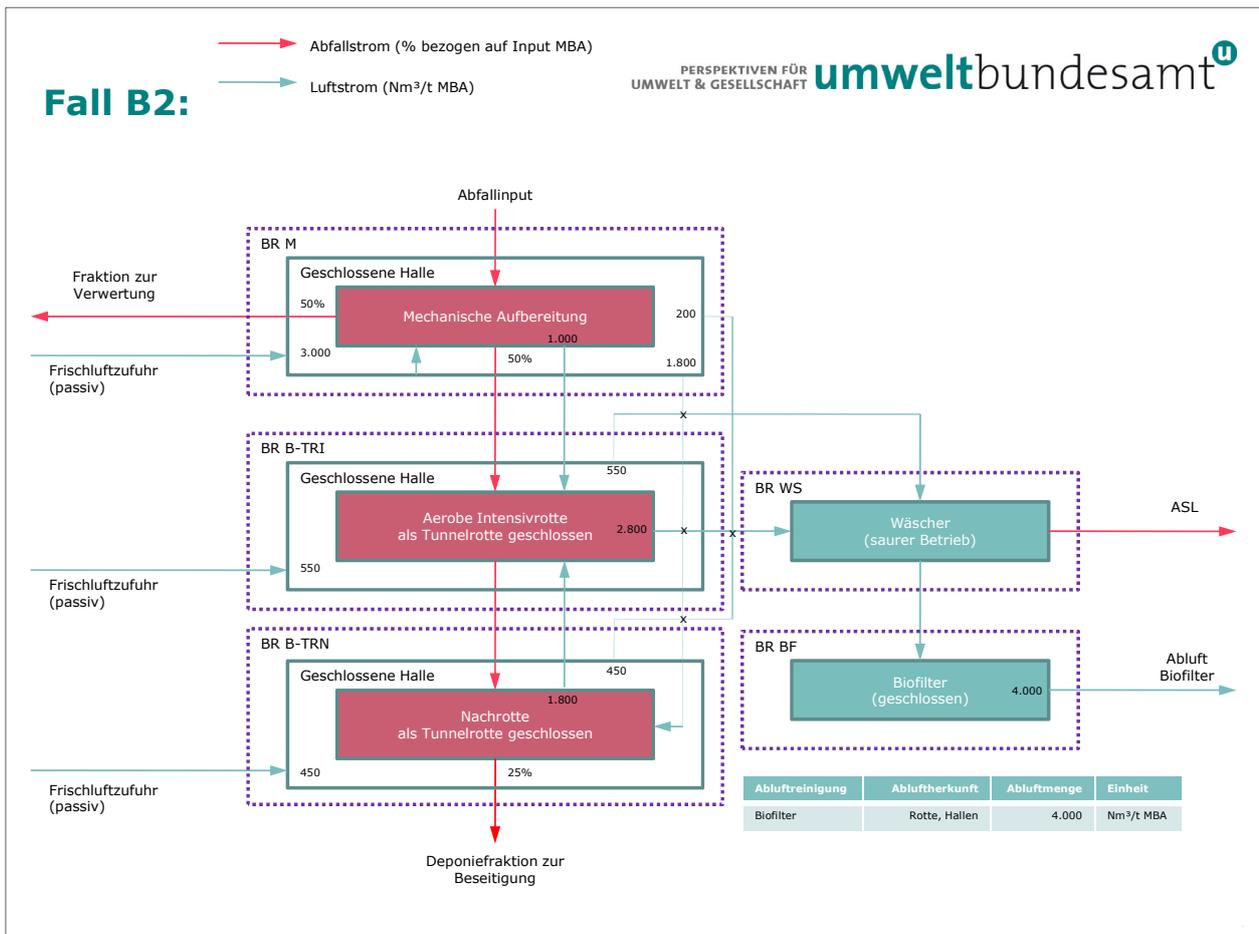


Abbildung 19: Anwendungsfall B2/TR & TR (WS + BF).

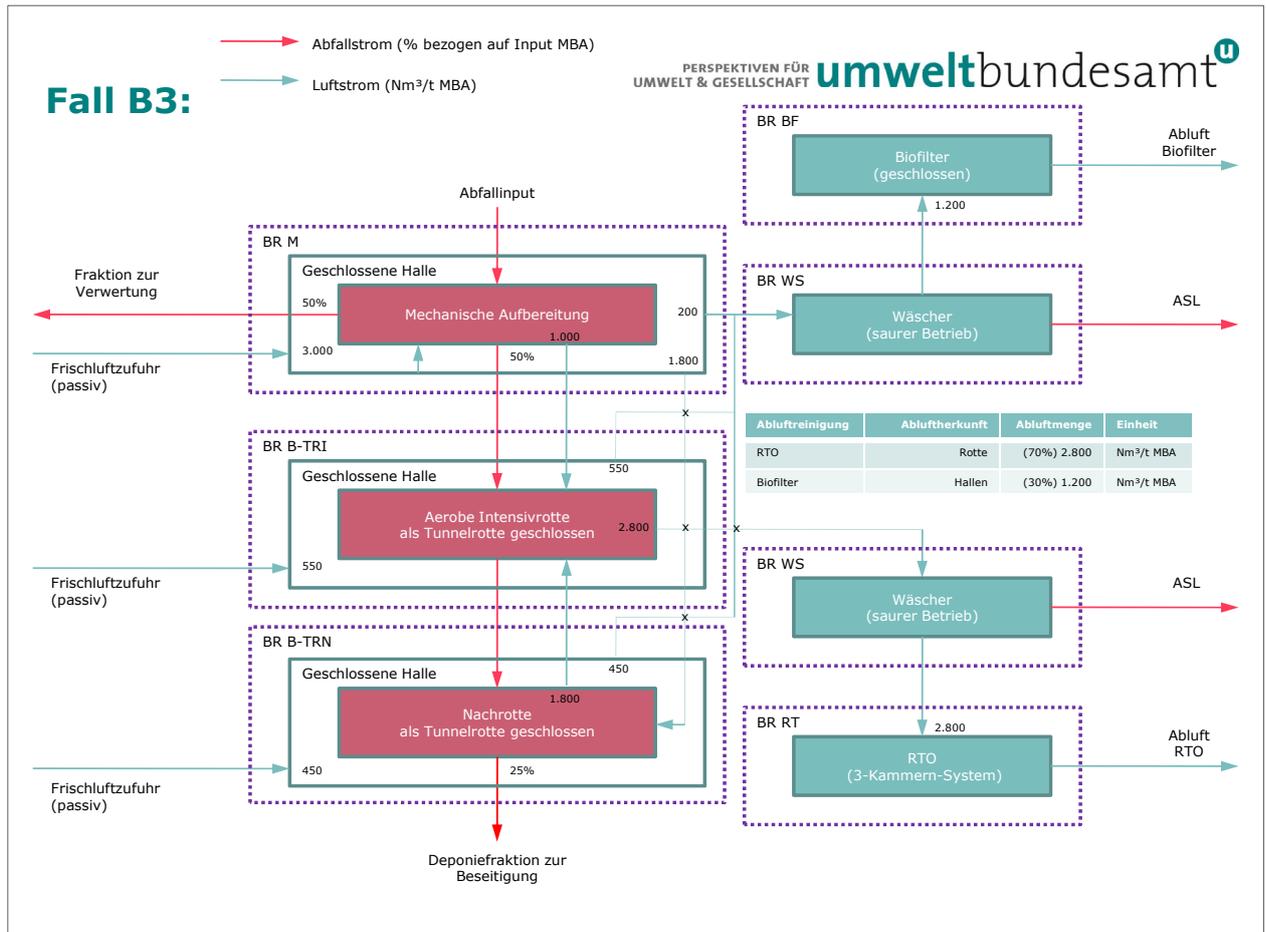


Abbildung 20: Anwendungsfall B3/TR & TR (WS + BF & WS + RT).

8.2.2 Verfahren mit Intensivrotte als Tunnelrotte und Nachrotte als Hallenrotte

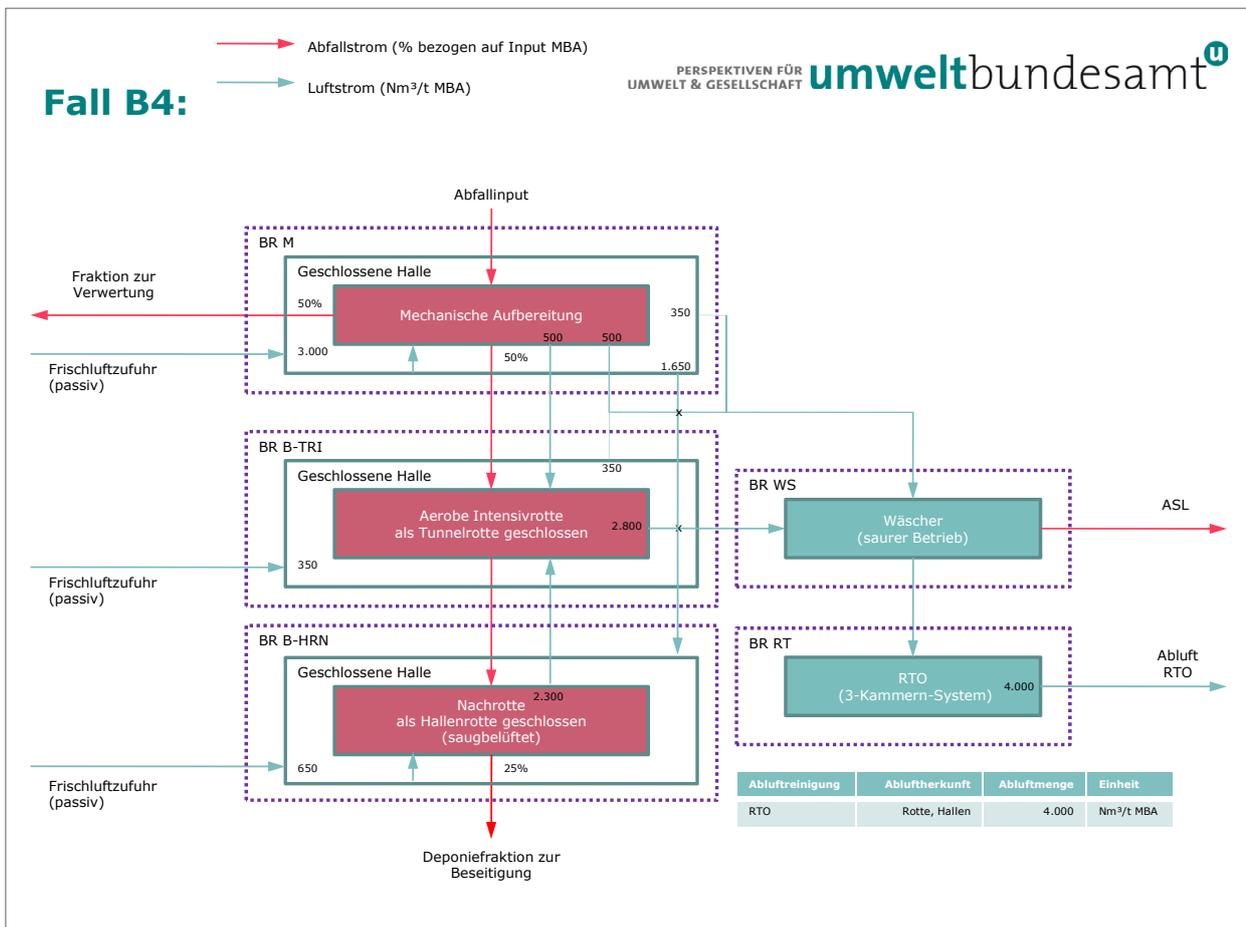


Abbildung 21: Anwendungsfall B4/TR & HR (WS + RT).

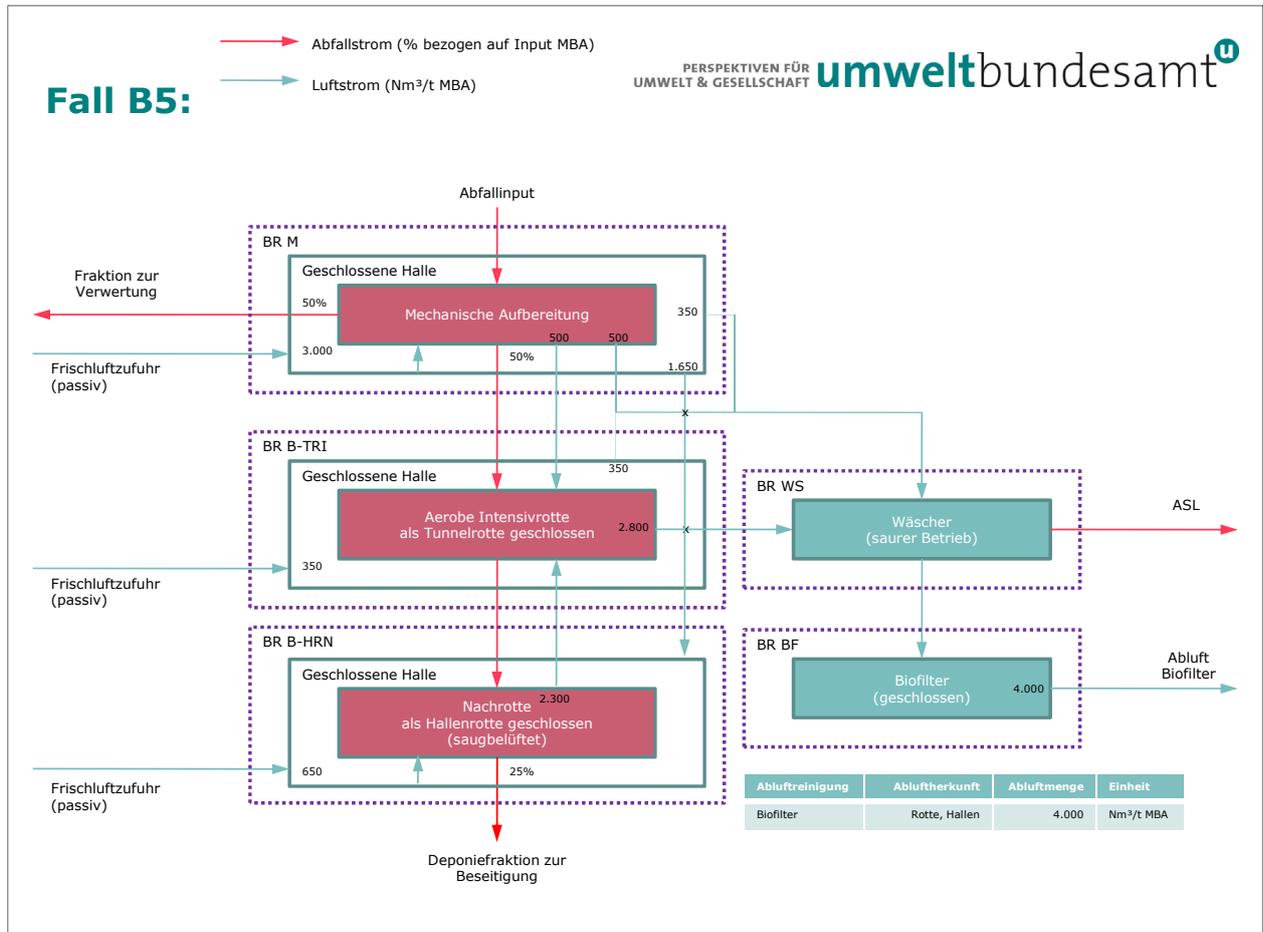


Abbildung 22: Anwendungsfall B5/TR & HR (WS + BF).

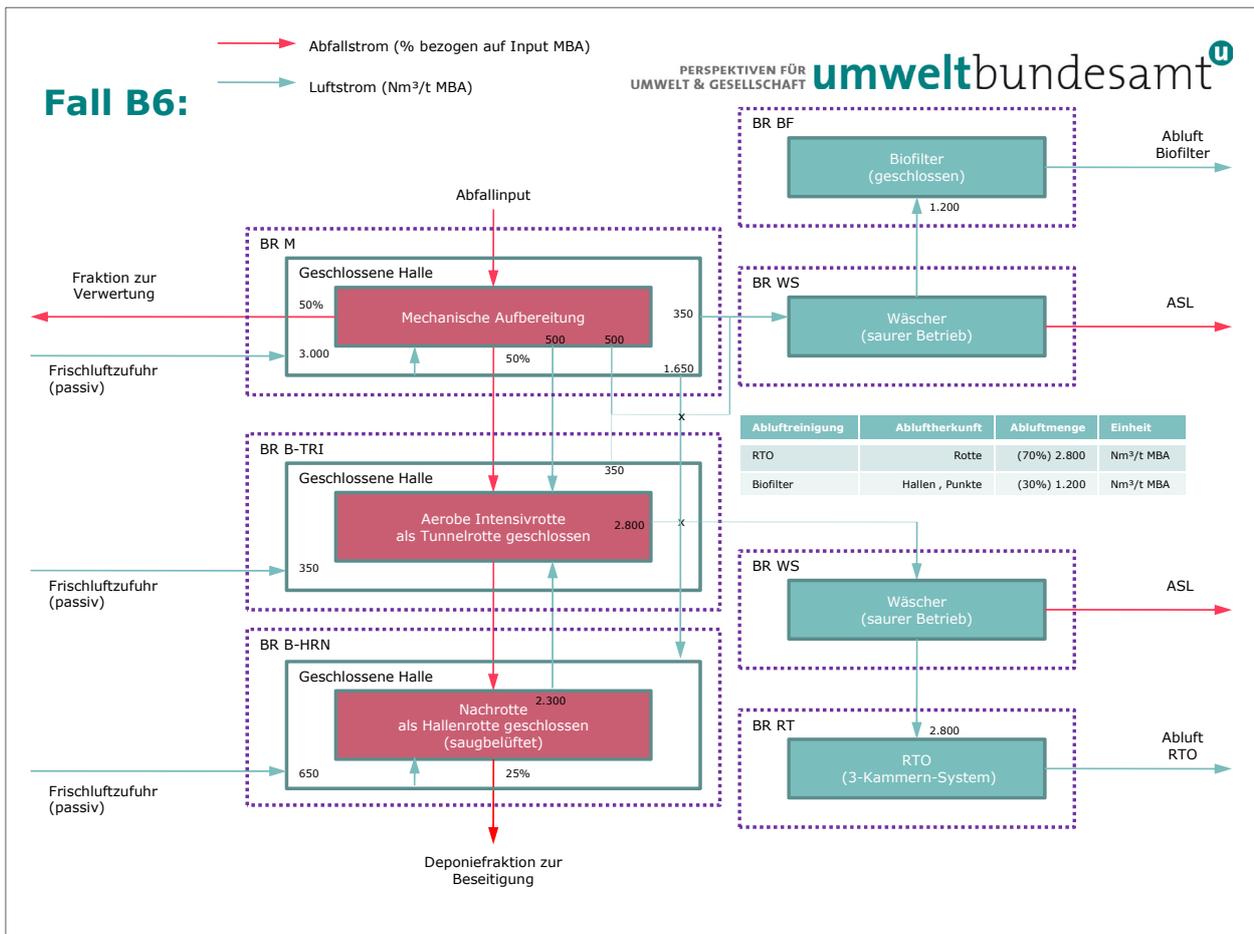


Abbildung 23: Anwendungsfall B6/TR & HR (WS + BF & WS + RT).

8.2.3 Verfahren mit Intensivrotte als Tunnelrotte und Nachrotte als offene Rotte

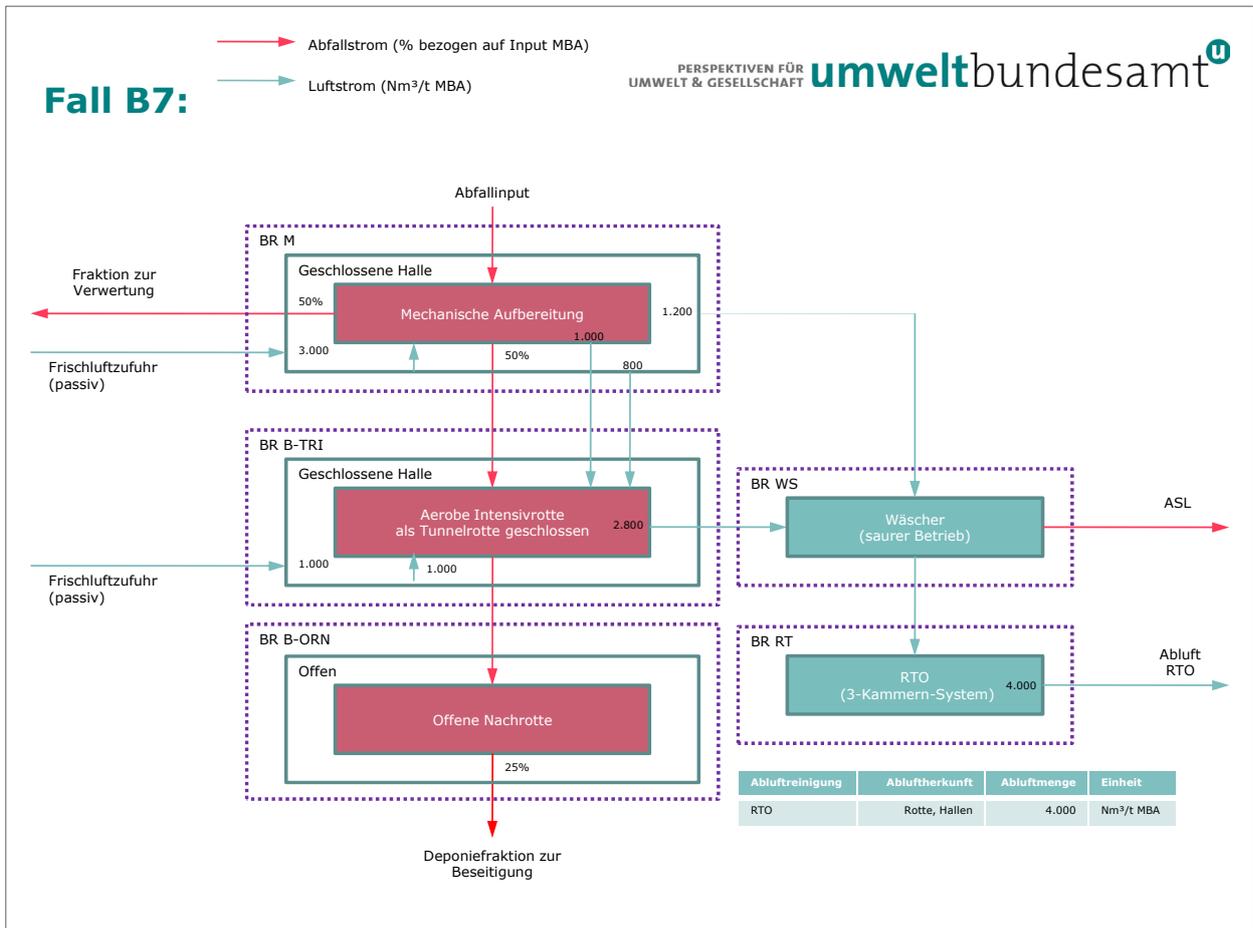


Abbildung 24: Anwendungsfall B7/TR & OR (WS + RT).

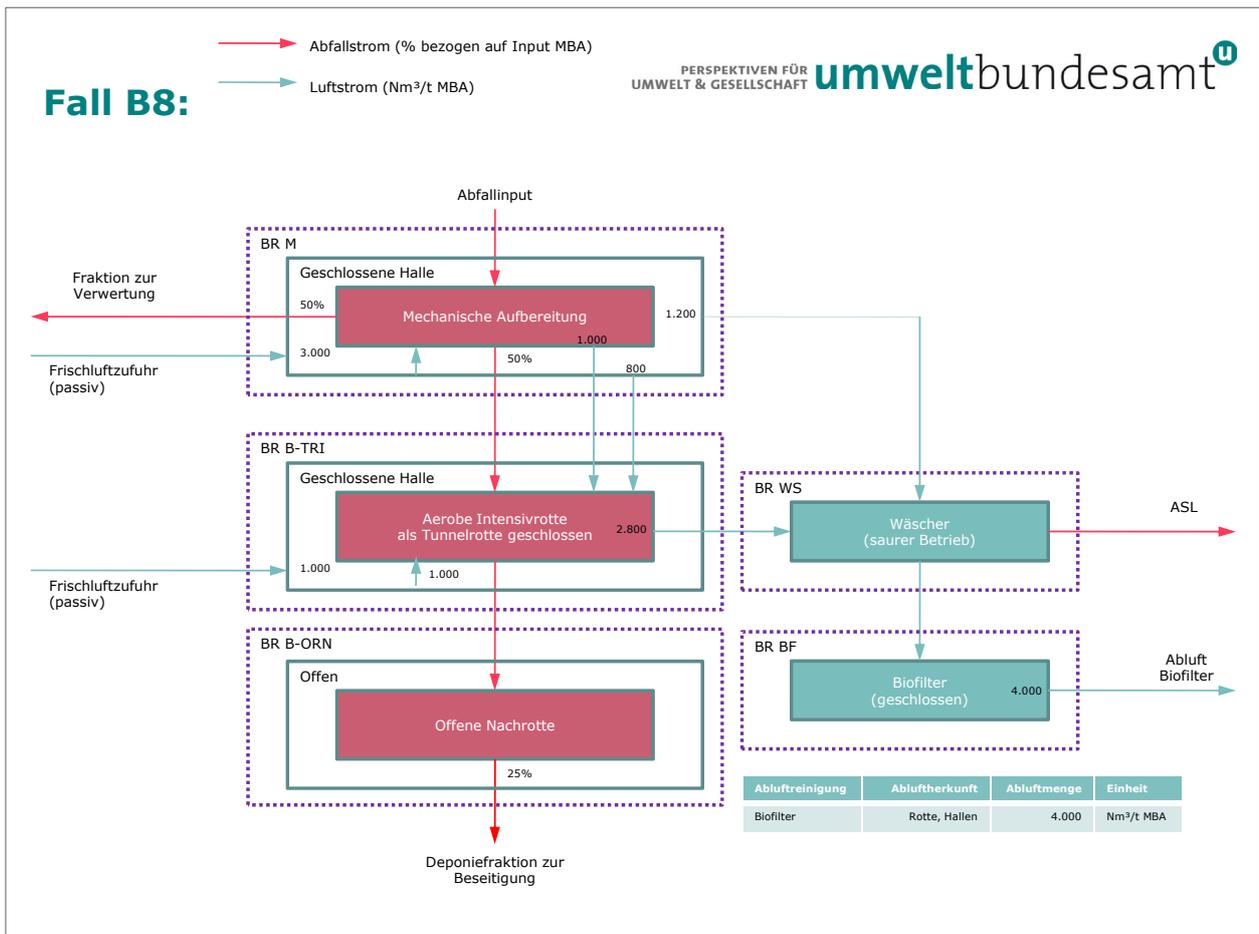


Abbildung 25: Anwendungsfall B8/TR & OR (WS + BF).

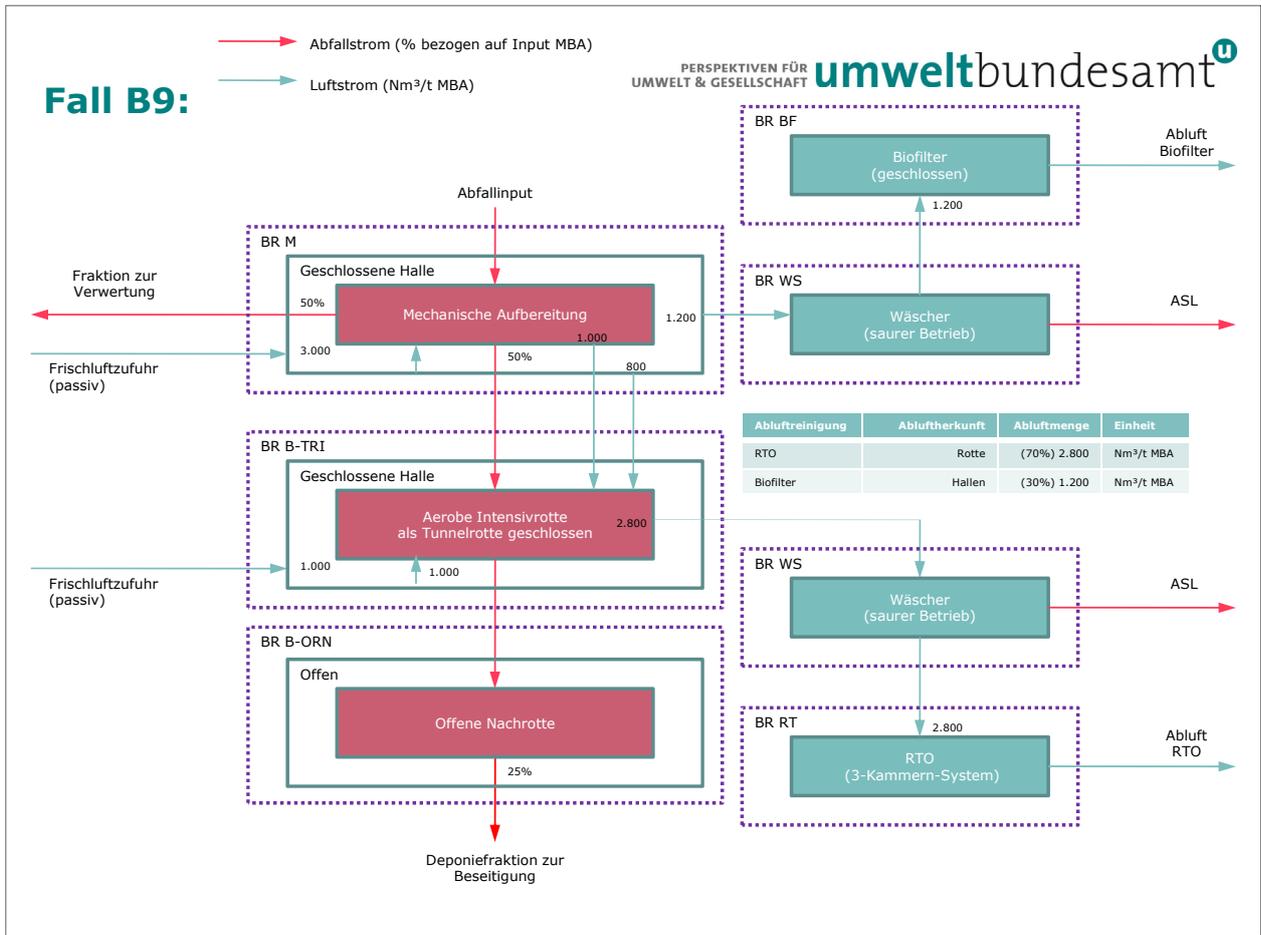


Abbildung 26: Anwendungsfall B9/TR & OR (WS + BF & WS + RT).

8.2.4 Verfahren mit Intensivrotte als Hallenrotte und Nachrotte als Hallenrotte

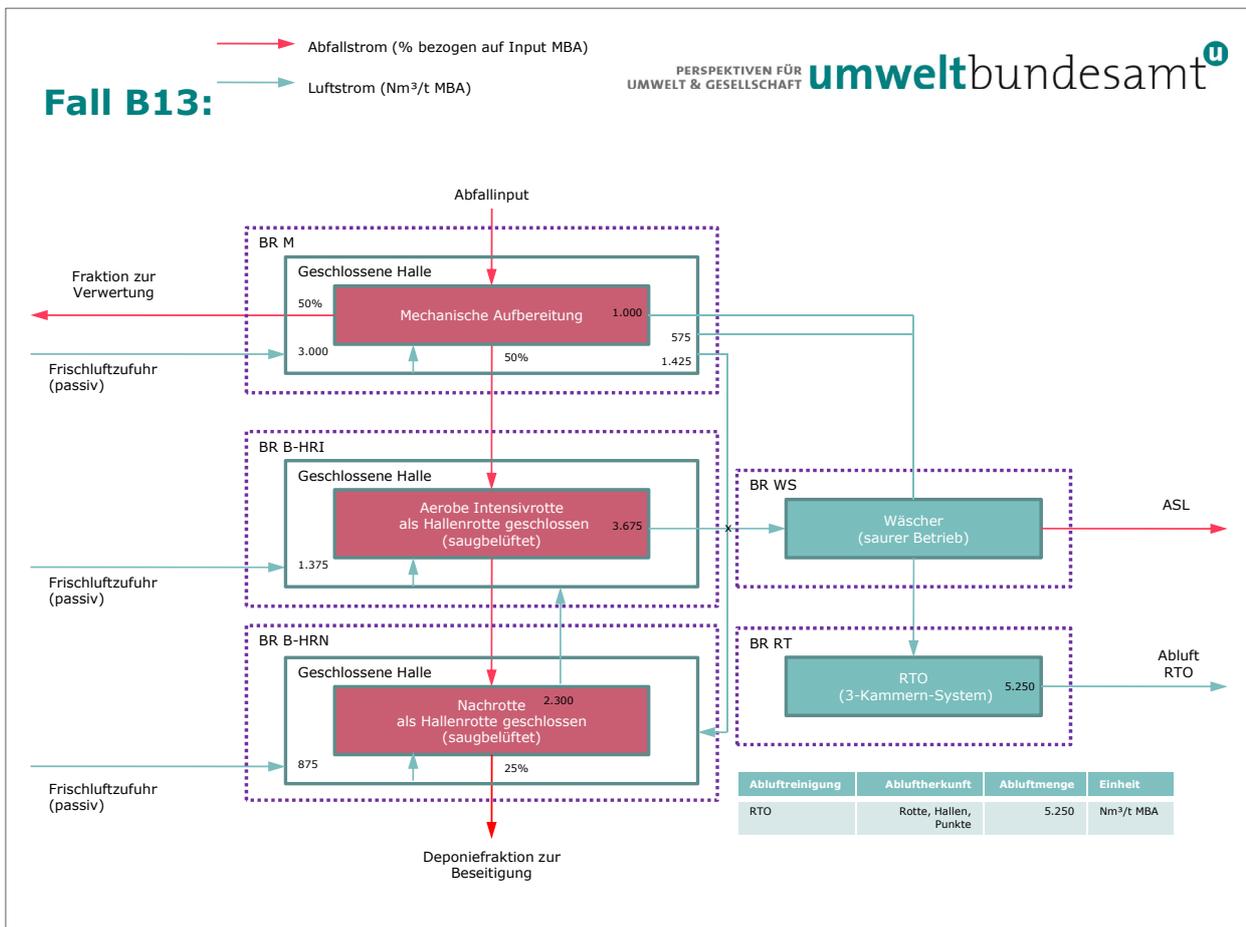


Abbildung 27: Anwendungsfall B13/HR & HR (WS + RT).

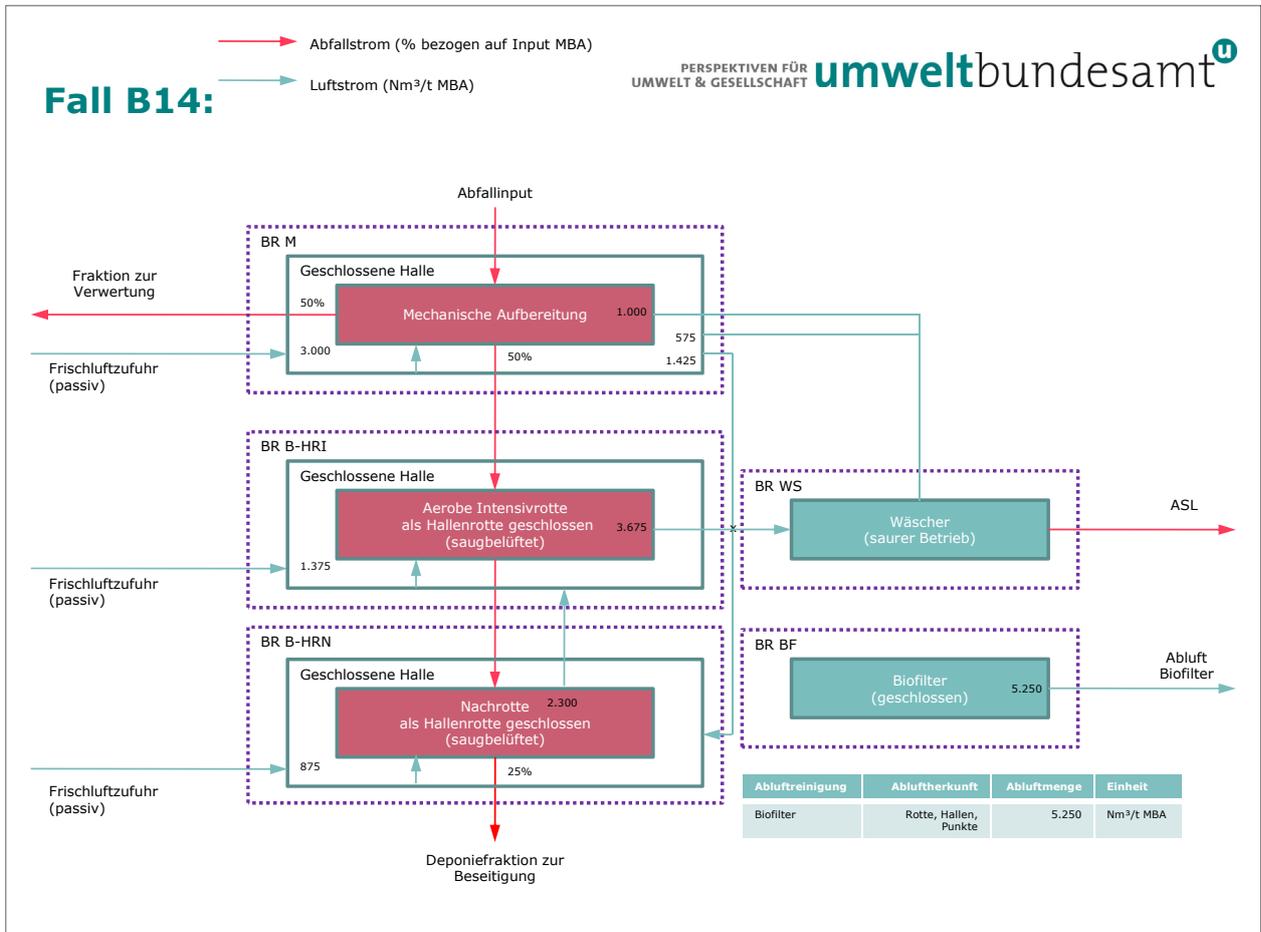


Abbildung 28: Anwendungsfall B14/HR & HR (WS + BF).

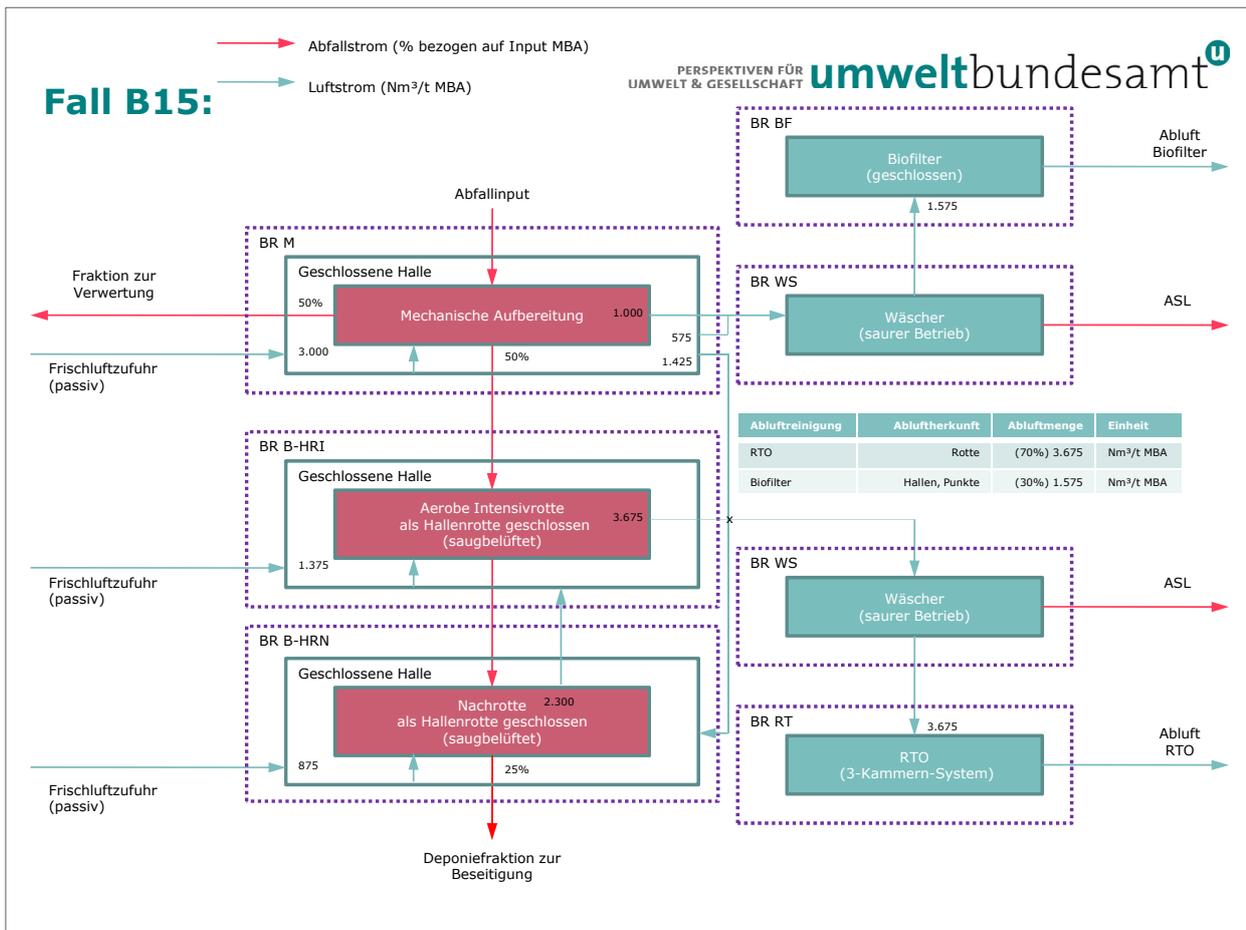


Abbildung 29: Anwendungsfall B15/HR & HR (WS + BF & WS + RT).

8.2.5 Verfahren mit Intensivrotte als Hallenrotte und Nachrotte als offene Rotte

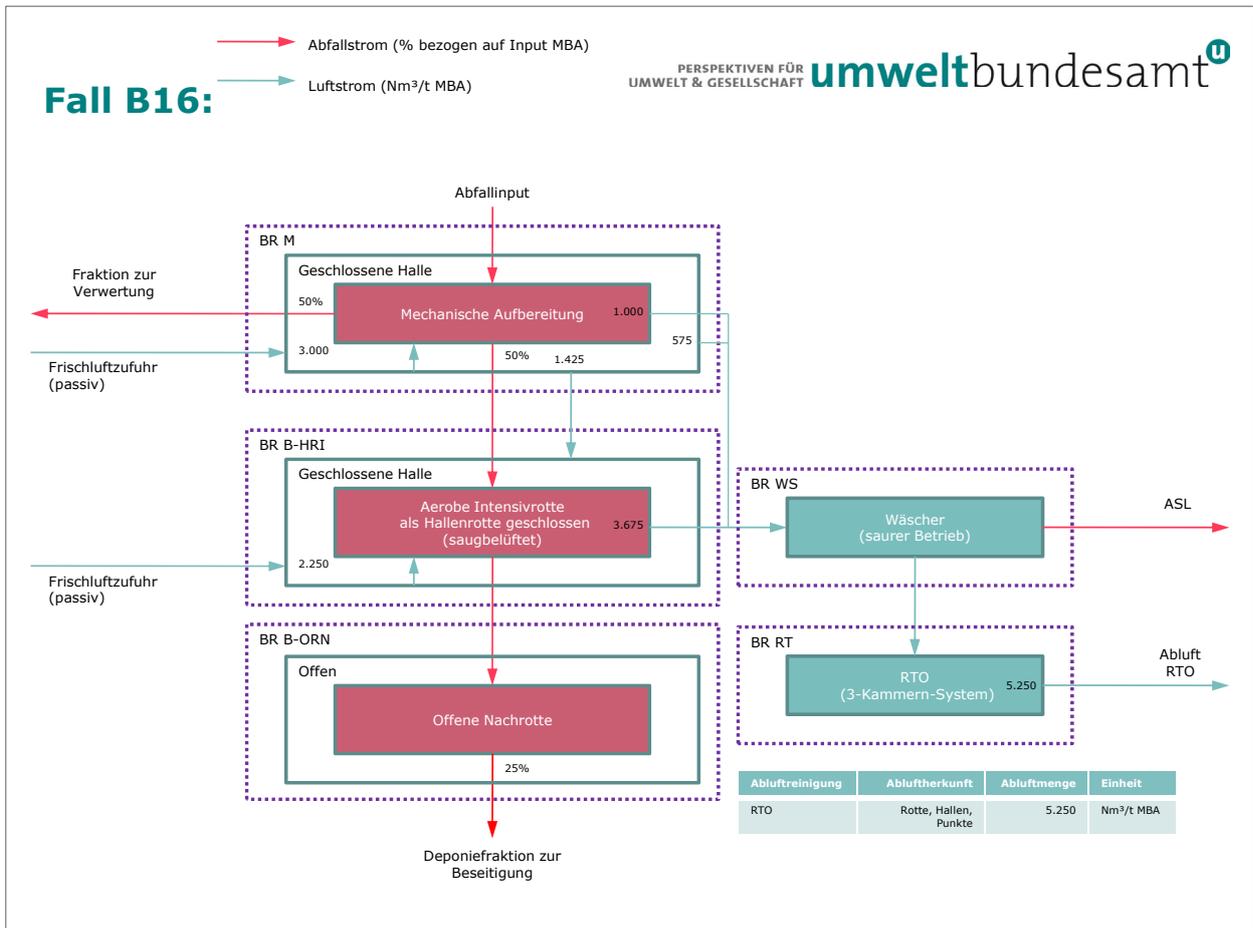


Abbildung 30: Anwendungsfall B16/HR & OR (WS + RT).

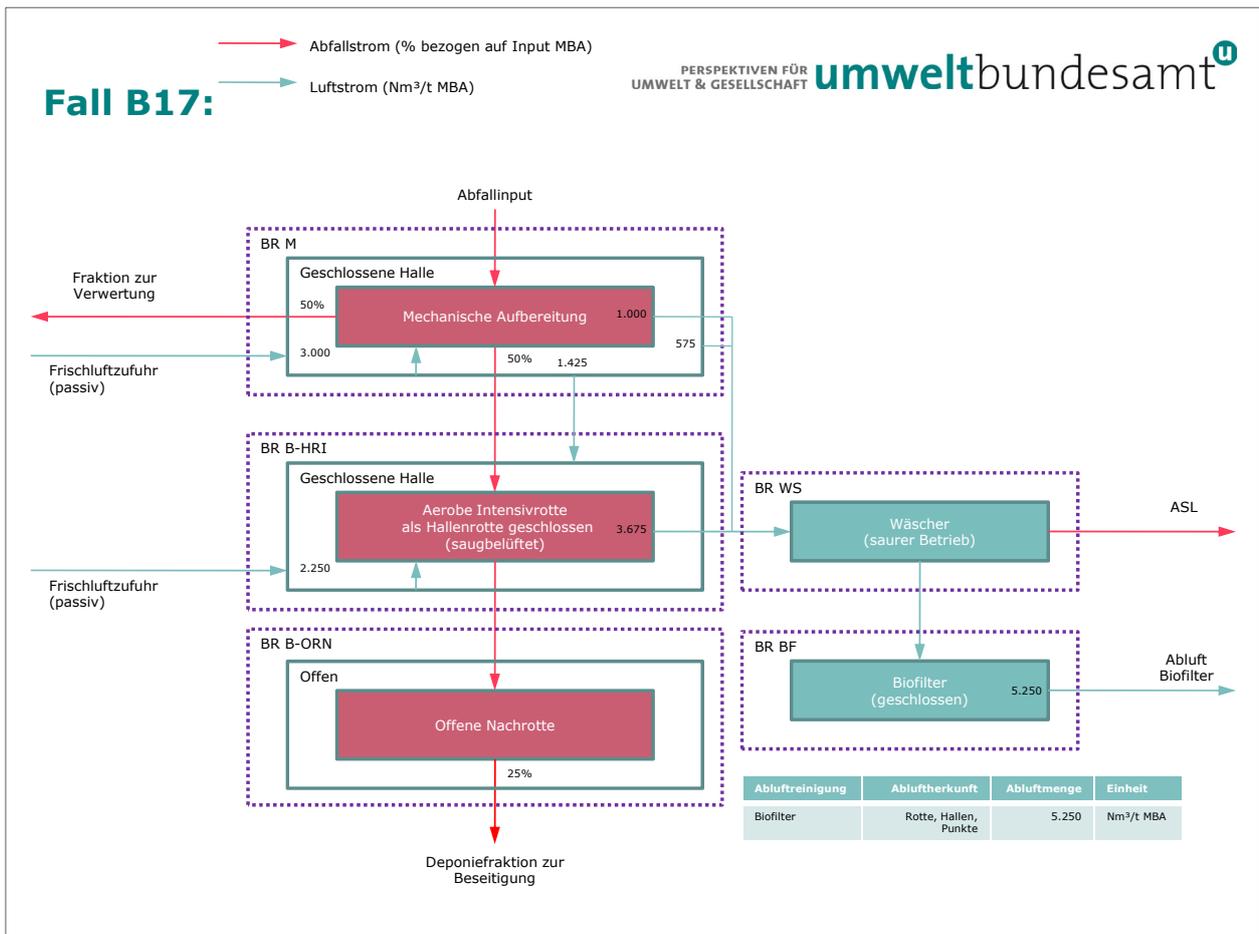


Abbildung 31: Anwendungsfall B17/HR & OR (WS + BF).

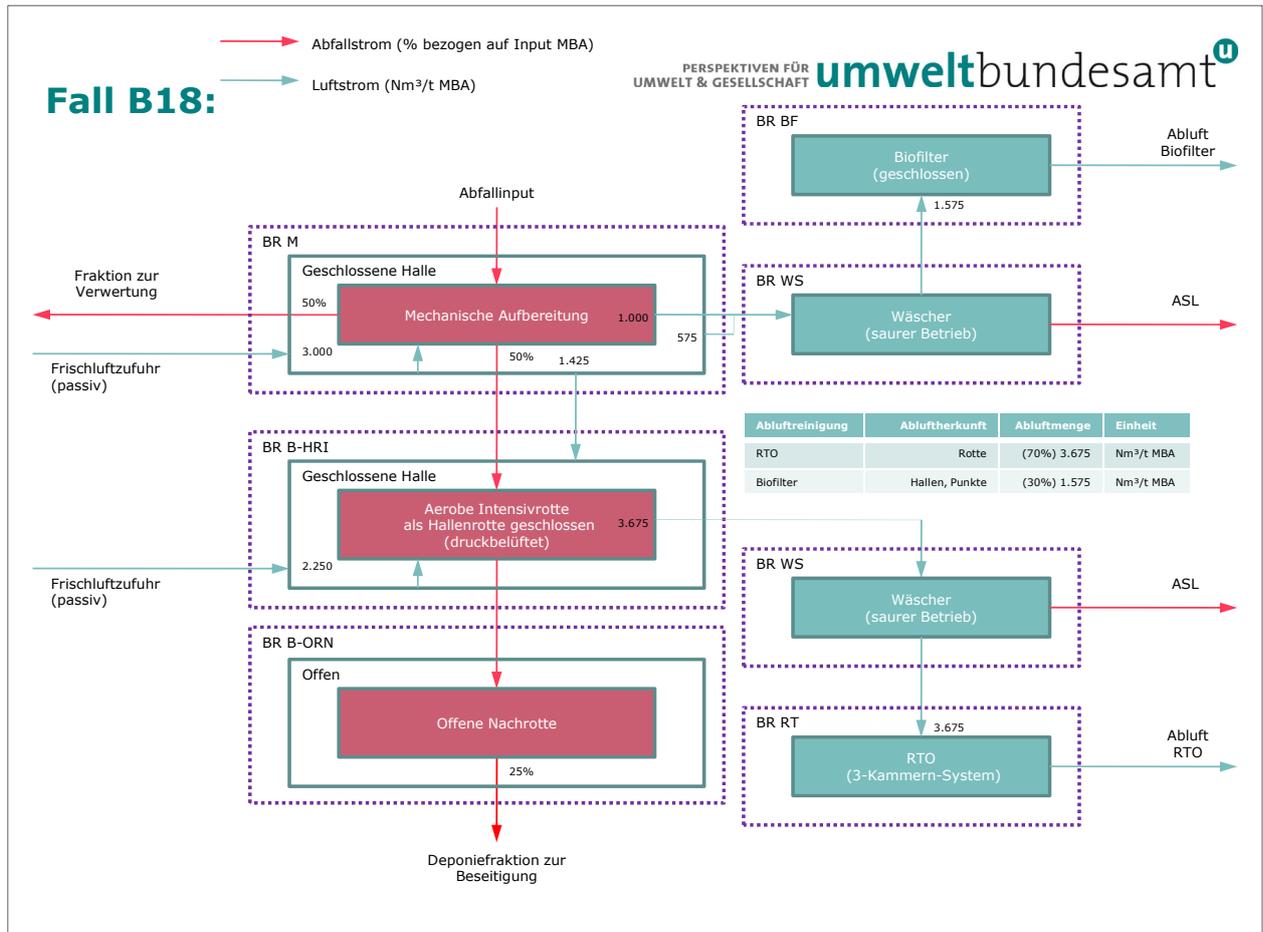


Abbildung 32: Anwendungsfall B18/HR & OR (WS + BF & WS + RT).

8.3 Detaillierte Darstellung – Anwendungsfälle C

8.3.1 Verfahren mit Trocknung als Tunneltrocknung nach erfolgter mechanischer Aufbereitung

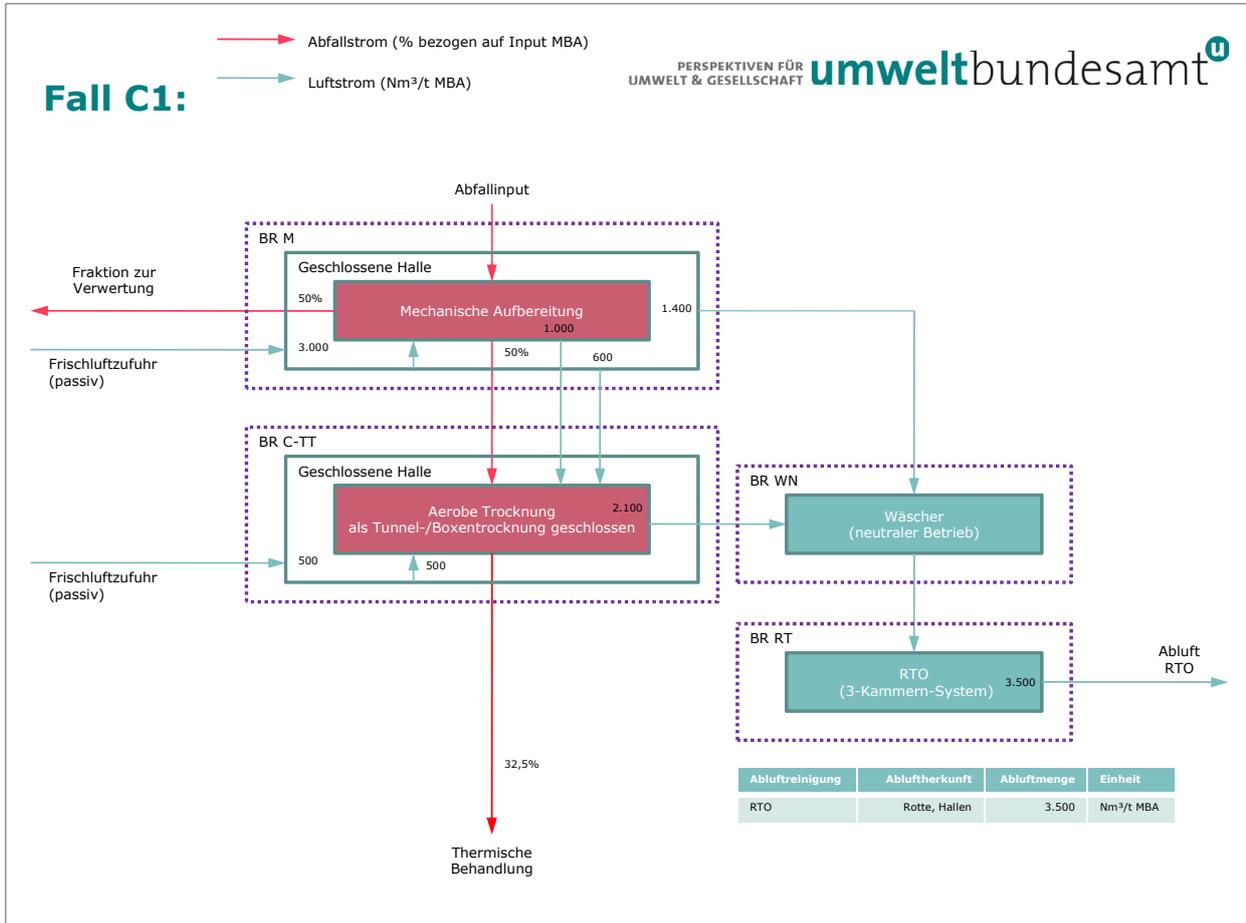


Abbildung 33: Anwendungsfall C1/TT (WN + RT).

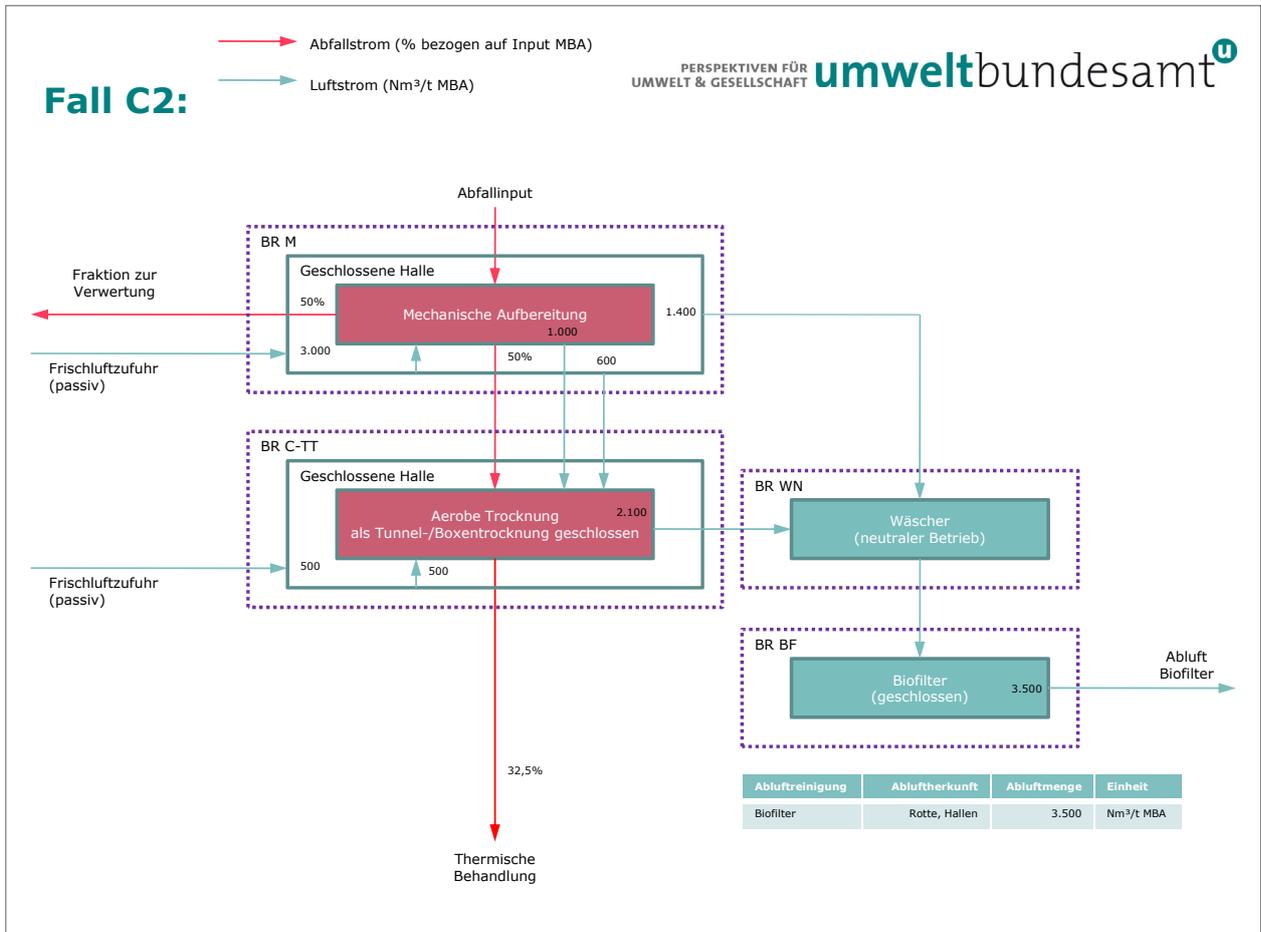


Abbildung 34: Anwendungsfall C2/TT (WN + BF).

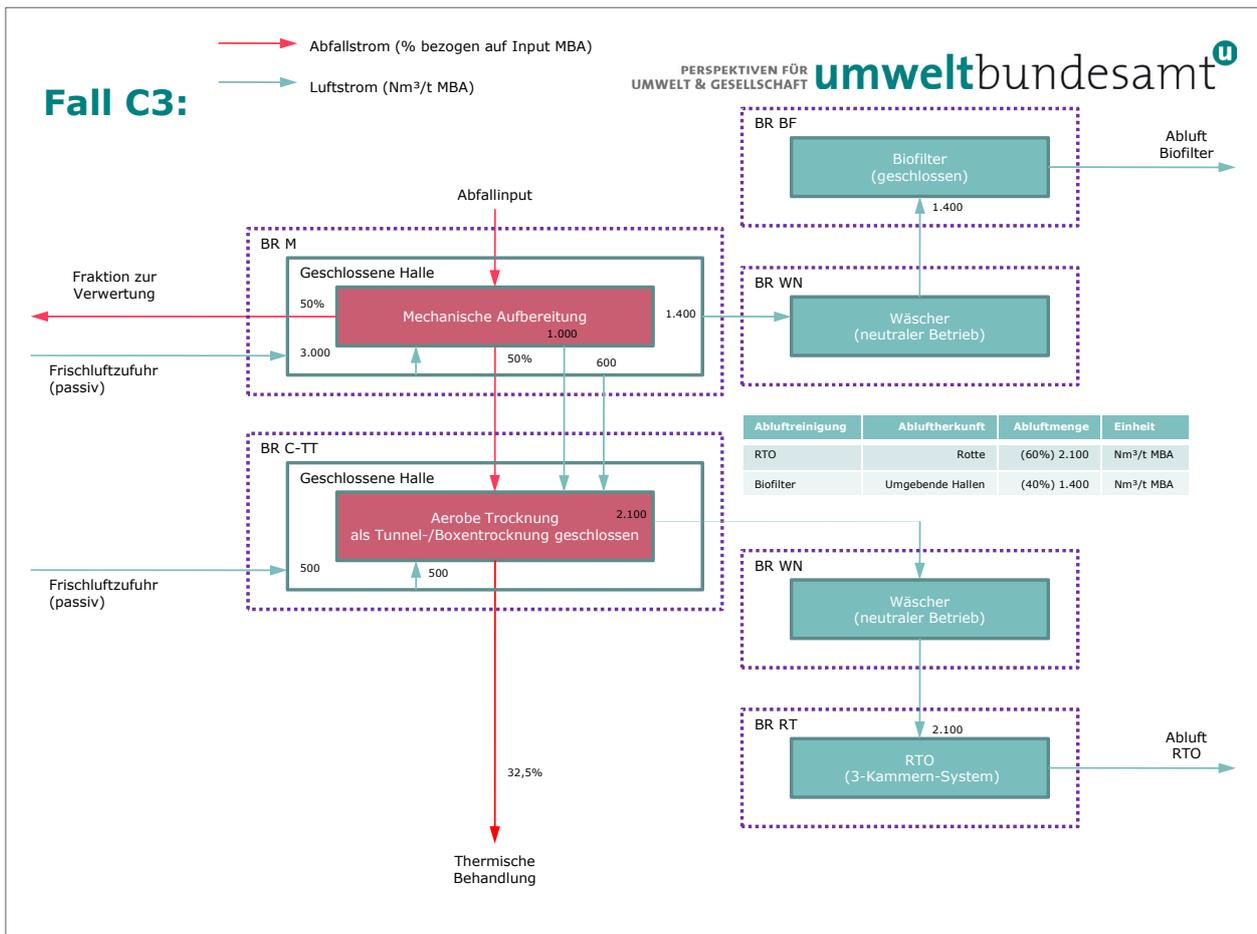


Abbildung 35: Anwendungsfall C3/TT (WN + BF & WN + RT).

8.3.2 Verfahren mit Trocknung als Hallentrocknung nach erfolgter mechanischer Aufbereitung

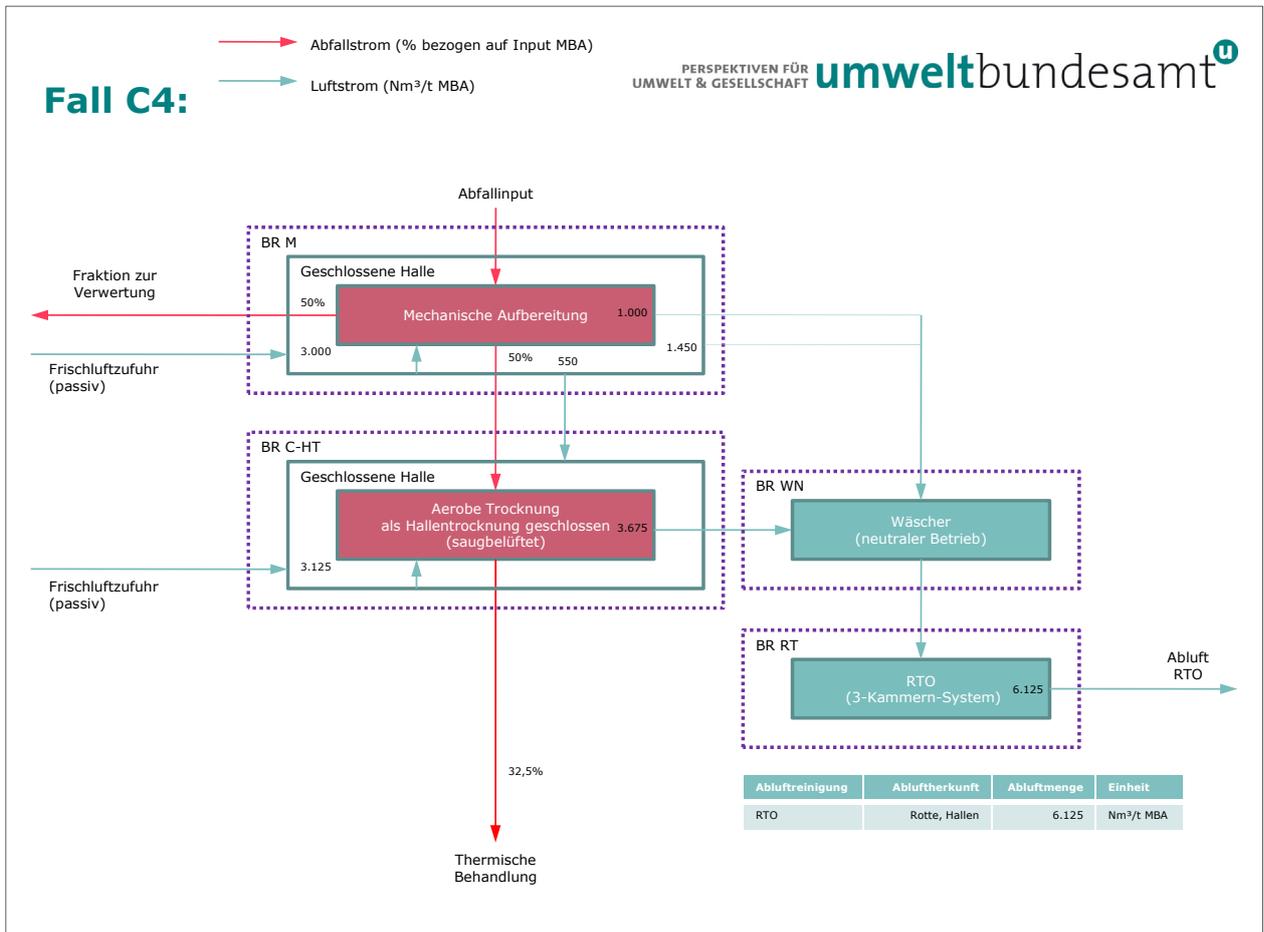


Abbildung 36: Anwendungsfall C4/HT (WN + RT).

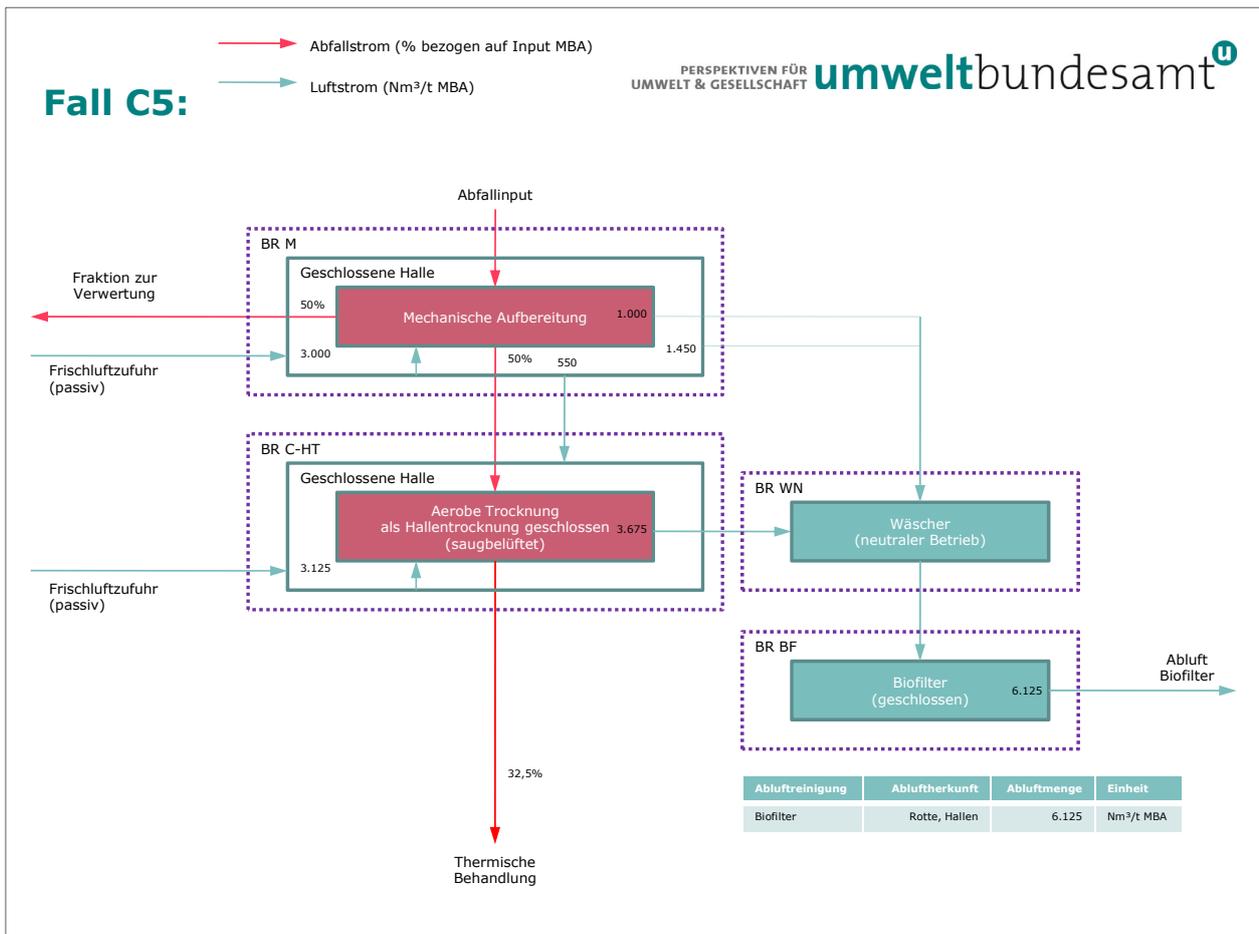


Abbildung 37: Anwendungsfall C5/HT (WN + BF).

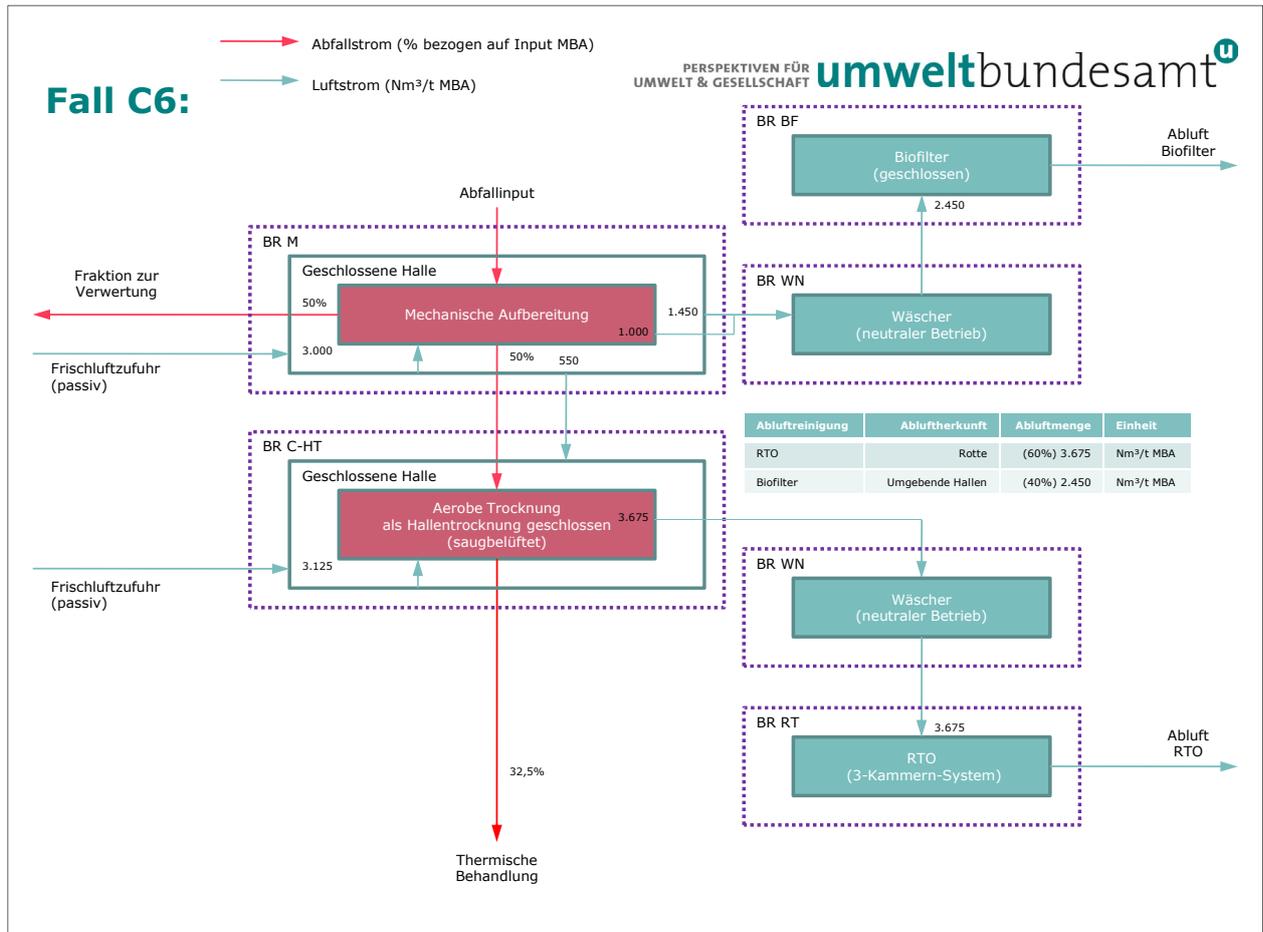


Abbildung 38: Anwendungsfall C6/HT (WN + BF & WN + RT).

8.4 Rohgasdaten zu den modellierten Anwendungsfällen

8.4.1 Rohgasdaten Anwendungsfälle A – Trockenvergärung mit nachfolgender aerober Rotte

Tabelle 8: Eingangsdaten Rohgas Anwendungsfälle A (Quelle: Datensammlung Umweltbundesamt 2011).

Tunnelrotte/Hallenrotte	Intensivrotte/Nachrotte	Aufteilung Abluftströme		Zuleitung Abluftströme		Volumenstrom Nm ³ /t MBA	TOC		davon CH ₄ -C in %	CH ₄ mg/Nm ³	N ₂ O mg/Nm ³	O ₂ -N g/t MBA	H ₂ mg/Nm ³	NH ₃ g/t MBA	NMVOC g/t MBA
		100	100	RT	BF		mg/Nm ³	g/t MBA							
TR	NR Rohgas A1	100	100	RT	BF	3.750	350,00	1.312,50	75,00	262,50	5,33	20,00	230,00	862,50	328,13
TR	NR Rohgas A2	100	100	BF	BF	3.750	350,00	1.312,50	75,00	262,50	5,33	20,00	230,00	862,50	328,13
TR	NR Rohgas A3 Teilstrom RTO (70 %)	70	70	RT	RT	2.625	457,14	1.200,00	81,84	374,14	6,97	18,29	300,41	788,57	217,88
TR	NR Rohgas A3 Teilstrom Biofilter (30 %)	30	30	BF	BF	1.125	100,00	112,50	2,00	2,00	1,52	1,71	65,71	73,93	110,25
HR	NR Rohgas A4 (saugbelüftet)	100	100	RT	RT	4.900	209,63	1.027,17	68,06	142,66	4,08	20,00	176,02	862,50	328,13
HR	NR Rohgas A5 (saugbelüftet)	100	100	BF	BF	4.900	209,63	1.027,17	68,06	142,66	4,08	20,00	176,02	862,50	328,13
HR	NR Rohgas A6 Teilstrom RTO (saugbelüftet) (70 %)	70	70	RT	RT	3.430	357,76	939,13	74,25	203,29	6,97	18,29	300,41	788,57	241,84
HR	NR Rohgas A6 Teilstrom Biofilter (30 %)	30	30	BF	BF	1.470	59,89	88,04	2,00	1,20	1,17	1,71	50,29	73,93	86,28

Eingabewerte
berechnet, ggf. über Faktoren/Annahmen

8.4.2 Rohgasdaten Anwendungsfälle B – Aerobe Intensivrotte mit aerober Nachrotte

Tabelle 9: Eingangdaten Rohgas Anwendungsfälle B (Quelle: Datensammlung Umweltbundesamt 2011).

Tunnelrotte/Hallenrotte	Intensivrotte/Nachrotte	Aufteilung Abluftströme		Zuleitung Abluftströme		Volumenstrom Nm³/t MBA	TOC mg/Nm³	TOC g/t MBA	davon CH ₄ -C in %	CH ₄ mg/Nm³	CO ₂ mg/Nm³	CO ₂ g/t MBA	NH ₃ mg/Nm³	NH ₃ g/t MBA	NMVOC
		100	RT	100	BF										
TR	IR	Rohgas B1, B4, B7	100	RT	4.000	287,50	1.150,00	1.150,00	70,00	201,25	268,33	entspr. NR	185,00	740,00	345,00
TR	IR	Rohgas B2, B5, B8	100	BF	4.000	287,50	1.150,00	1.150,00	70,00	201,25	268,33	entspr. NR	185,00	740,00	345,00
TR	IR	Rohgas B3, B6, B9 Teilstrom RTO (70 %)	70	RT	2.800	375,51	1.051,43	1.051,43	76,38	286,80	382,39	entspr. NR	241,63	676,57	248,40
TR	IR	Rohgas B3, B6, B9 Teilstrom Biofilter (30 %)	30	BF	1.200	82,14	98,57	98,57	2,00	1,64	2,19	entspr. NR	52,86	63,43	96,60
HR	IR	Rohgas B13, B16 (saugbelüftet)	100	RT	5.250	171,43	900,00	900,00	61,67	105,71	140,95	entspr. NR	140,95	740,00	345,00
HR	IR	Rohgas B14, B17 (saugbelüftet)	100	BF	5.250	171,43	900,00	900,00	61,67	105,71	140,95	entspr. NR	140,95	740,00	345,00
HR	IR	Rohgas B15, B18 Teilstrom RTO (saugbelüftet) (70 %)	70	RT	3.675	223,91	822,86	822,86	67,26	150,60	200,80	entspr. NR	184,10	676,57	269,40
HR	IR	Rohgas B15, B18 Teilstrom Biofilter (30 %)	30	BF	1.575	48,98	77,14	77,14	2,00	0,98	1,31	entspr. NR	40,27	63,43	75,60
TR	NR	Rohgas B1-B3	100	IR	1.800	3,33	6,00*	6,00*	50,00	1,67	2,22	11,11	2,14	3,86	3,00
HR	NR	Rohgas B4-B6, B13-B15	100	IR	2.300	2,61	6,00*	6,00*	50,00	1,30	1,74	8,70	1,68	3,86	3,00
OR	NR	Rohgas B7-B9, B16-B18	100	-	n. r.	n. r.	6,00*	6,00*	50,00	n. r.	n. r.	n. r.	n. r.	3,86	3,00

*... Werte basieren auf Messungen zur offenen Nachrottemission von zwei deutschen Anlagenstandorten.

Eingabewerte
berechnet, ggf. über Faktoren/Annahmen

8.4.3 Rohgasdaten Anwendungsfälle C – Aerobe Trocknung

Tabelle 10: Eingangsdaten Rohgas Anwendungsfälle C (Quelle: Datensammlung Umweltbundesamt 2011).

Tunnelrotte/Hallenrotte	Intensivrotte/Nachrotte	Aufteilung Abluftströme	Zuleitung Abluftströme	Volumenstrom Nm ³ /t MBA	TOC mg/Nm ³	TOC g/t MBA	TC	CH ₄ -C in %	CH ₄ mg/Nm ³	N ₂ mg/Nm ³	N ₂ g/t MBA	HN ₃ mg/Nm ³	HN ₃ g/t MBA	NMVO
		100	RT	3.500	150,00	525,00		25,00	50,00	2,00	7,00	12,50	43,75	393,75
		100	BF	3.500	150,00	525,00		25,00	50,00	2,00	7,00	12,50	43,75	393,75
		60	RT	2.100	228,57	480,00		27,25	83,05	3,05	6,40	19,05	40,00	349,20
		40	BF	1.400	32,14	45,00		1,00	0,32	0,43	0,60	2,68	3,75	44,55
		100	RT	6.125	67,08	410,87		4,17	3,73	1,14	7,00	7,14	43,75	393,75
		100	BF	6.125	67,08	410,87		4,17	3,73	1,14	7,00	7,14	43,75	393,75
		60	RT	3.675	102,22	375,65		4,46	6,08	1,74	6,40	10,88	40,00	358,88
		40	BF	2.450	14,37	35,22		1,00	0,19	0,24	0,60	1,53	3,75	34,87

	Eingabewerte
	berechnet, ggf. über Faktoren/Annahmen

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04
Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at
www.umweltbundesamt.at

In der Studie werden ausgewählte, der Praxis nachgebildete Anwendungsfälle der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) mit unterschiedlichen Abluftreinigungskonzepten modelliert und entsprechend deren Klimarelevanz beurteilt. Neben aeroben Rotte- und Trocknungsverfahren wird auch die Teilstromvergärung betrachtet. Auf Basis von kontinuierlichen Betriebs- und Emissionsdaten aus deutschen MBA-Anlagen finden direkte Emissionen (Reingas-Frachten an Methan und Lachgas sowie fossiler Zusatz-Energiebedarf für die Abluftreinigung) am Standort sowie indirekte Emissionen durch die Energiebereitstellung Eingang in die Berechnungen.

Als wesentliches Ergebnis zeigt sich, dass die Einhaltung der Grenzwerte der MBA-Richtlinie unter Berücksichtigung einer geringen Klimabelastung bei allen modellierten Anwendungsfällen nur durch das Abluftreinigungskonzept der Kombination von Biofiltern und RTO ermöglicht wird.