

Integriertes Klimaschutzkonzept der Stadt Bayreuth

POTENZIALSTUDIE
ABWASSER UND ABFALL



Potenzialstudie Abwasser und Abfall

Im Auftrag der Stadt Bayreuth
 Luitpoldplatz 13
 95444 Bayreuth



Ansprechpartner

Klimaschutzmanagement
Amt für Umwelt- und Klimaschutz
Stadt Bayreuth
Kanalstr. 3
95444 Bayreuth



Sachbearbeiterinnen: Jana Edlinger und Gesa Thomas

Tel. 0921 / 25-1142 und 0921 / 25-1141

Endenergie- und Treibhausgasbilanz und Potenzialstudien erstellt von

EVF - Energievision Franken GmbH
Schwarzenbacher Str. 2
95237 Weißdorf
Tel. 09251 / 85 99 99 0
Email: mail@energievision-franken.de
Web: www.energievision-franken.de



Autoren:

Dipl.-Geogr. Univ. Ralf Deuerling (Projektleitung)

Urheberrechtshinweis

Die vorliegende Studie unterliegt dem geltenden Urheberrecht. Sollte einer Nutzung durch Dritte zugestimmt und der Inhalt an anderer Stelle wiedergegeben werden, sind die Autoren gemäß anerkannten wissenschaftlichen Arbeitsweisen zu nennen.

Haftungsausschluss

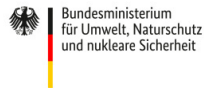
Die vorliegenden Ausführungen wurden nach dem aktuellen Stand der Technik, nach den anerkannten Regeln der Wissenschaft sowie nach bestem Wissen und Gewissen der Autoren erstellt. Irrtümer vorbehalten.

Fremde Quellen wurden entsprechend gekennzeichnet. Die Ergebnisse basieren weiterhin im dargelegten Maß auf Aussagen und Daten von fachkundigen Dritten, die im Rahmen von Befragungen ermittelt wurden. Alle Angaben und Quellen

wurden sorgfältig auf Plausibilität geprüft. Die Autoren können dahingehend jedoch keine Garantie für die Belastbarkeit der ausgewiesenen Ergebnisse geben. Weiterhin basieren die Ergebnisse der vorliegenden Ausführungen auf Rahmenbedingungen, die sich aus den dargelegten Gesetzen, Verordnungen und rechtlichen Normen ergeben. Diese, bzw. deren gerichtliche Auslegung, können sich ändern. Die Ausführungen können dahingehend nicht den Anspruch erheben, eine Rechtsberatung zu ersetzen und darf auch ausdrücklich nicht als eine solche verstanden werden.

Gefördert durch Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) und der Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld „Kommunalrichtlinie“ vom 22. Juli 2020.

Im Auftrag des:



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
1. Abwasser	6
1.1 Vorstellung der Bayreuther Kläranlage.....	6
1.2 Das Klärverfahren	8
1.3 Energie- und THG-Bilanz	9
1.4 Bewertung anhand energetischer Beurteilungskriterien.....	12
1.5 Effizienzsteigerungspotenziale und Nutzung erneuerbarer Energien.....	14
1.5.1 Optimierung mit Stromspeicher	14
1.5.2 Sanierung der Baukörper	15
1.5.3 Rechenanlage.....	15
1.5.4 Sandfang.....	15
1.5.5 Vorklärung.....	15
1.5.6 Denitrifikationsbecken.....	15
1.5.7 Nitrifikationsbecken.....	16
1.5.8 Nachklärbecken	16
1.5.9 Biologische P-Speicherung / Hydrolyse	16
1.5.10 Deammonifikation	16
1.5.11 Spurenstoffelimination	16
1.5.12 Schlammmentwässerung.....	17
1.5.13 Klärschlammreformierung	17
1.5.14 Energiegewinnung	18
1.5.15 Gasspeicher.....	18
1.5.16 Betriebsgebäude / Werkstätten.....	19
1.5.17 Abwärmenutzung aus dem Abwasser.....	19
1.6 Mittel- und Langfristige Einspar- und Versorgungsziele.....	20
1.7 Empfehlungen.....	24
2. Abfall	25
2.1 Bestandsaufnahme.....	25
2.1.1 Quantitative Bewertung des vorhandenen Abfallaufkommens.....	27
2.1.2 Qualitative Bestandsaufnahme	31
2.1.3 Abfallentsorgungsstrukturen	33
2.2 Potenzialanalyse.....	34
2.2.1 Bewertung des Potenzials des Organikanteils im Restabfall	34
2.2.2 Alternative Nutzung der heute bereits getrennt erfassten Bioabfälle	35
2.2.3 Erneuerbare Energien an der Reststoffdeponie Heinersgrund	36
2.3 Empfehlungen.....	41
Verwendete Abkürzungen.....	43
Abkürzungen allgemein.....	43
Abkürzungen für Namen	43
Gesetze und Verordnungen	43
Glossar	44
Literatur- und Quellenverzeichnis	45

Wichtige Hinweise zu Nutzungs- und Urheberrechten sowie verwendeter Lizenzen Dritter	46
Abbildungsverzeichnis.....	47
Tabellenverzeichnis.....	48

1. Abwasser

1.1 Vorstellung der Bayreuther Kläranlage

Die Kläranlage Bayreuths wurde im Jahr 1958 errichtet und liegt ganz im Norden des Stadtgebiets im Gewerbegebiet am Bauhof in den Auen des Roten Mains.

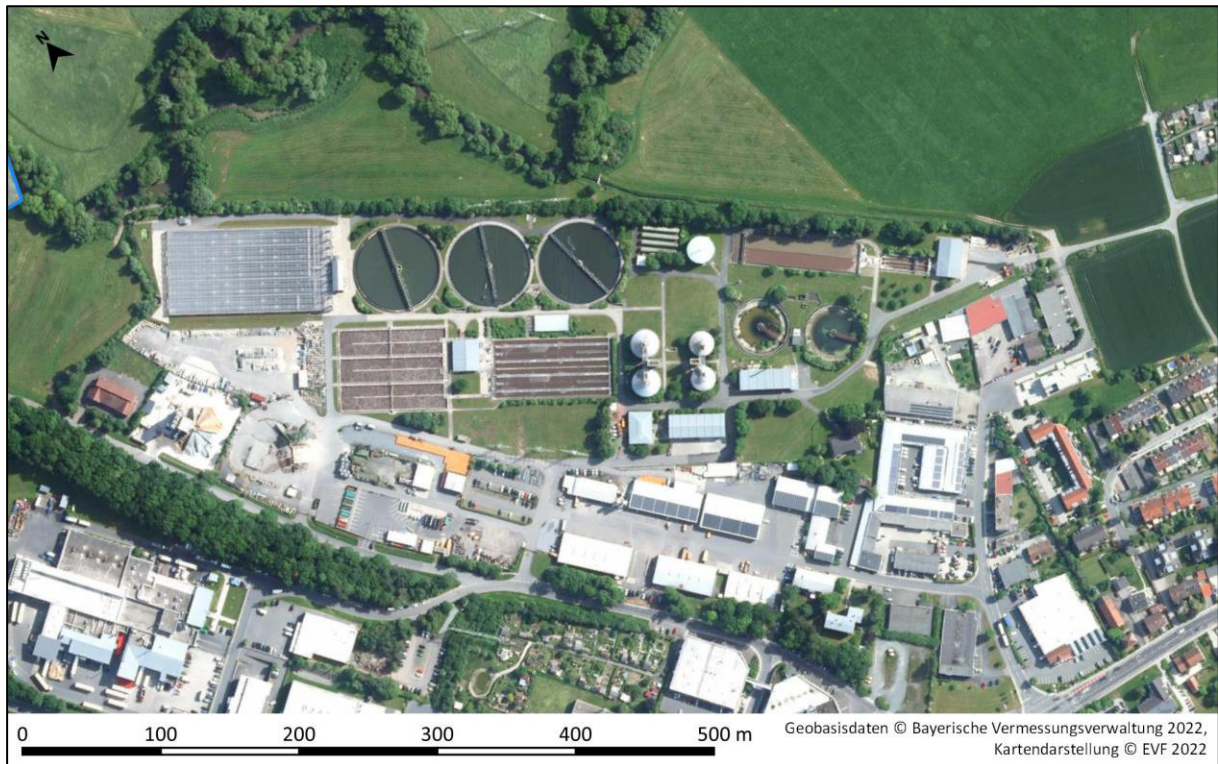


Abbildung 1: Luftbild der Kläranlage

(QUELLE: EIGENE BEARBEITUNG EVF 2022)

Die Kläranlage entsorgt das Abwasser des gesamten Stadtgebiet Bayreuths und der Gemeinden Creussen, Obern- und Unterschreez, Eckersdorf, Donndorf und Oberwaiz. Insgesamt sind etwa 90.000 Einwohner an die Kläranlage angeschlossen. Darüber hinaus leiten gewerbliche Einleiter ihr Abwasser in die Kläranlage. Größere Verbraucher sind z.B. ein Schlachthof, eine Käserei und eine Brauerei. Diese verfügen über keine biologischen Abwasserreinigungsanlagen, ggf. aber Fettabscheider sowie Misch- und Ausgleichsbecken und Neutralisationsanlagen. Die Ableitung des gereinigten Abwassers erfolgt in den Roten Main.

Die Kläranlage wurde in der Vergangenheit sukzessive ausgebaut und saniert. Während sie im Jahr 1958 für 120.000 Einwohnergleichwerte errichtet wurde, wurde die Kapazität im Jahr 1977 nochmals auf 300.000 Einwohnergleichwerte erweitert.

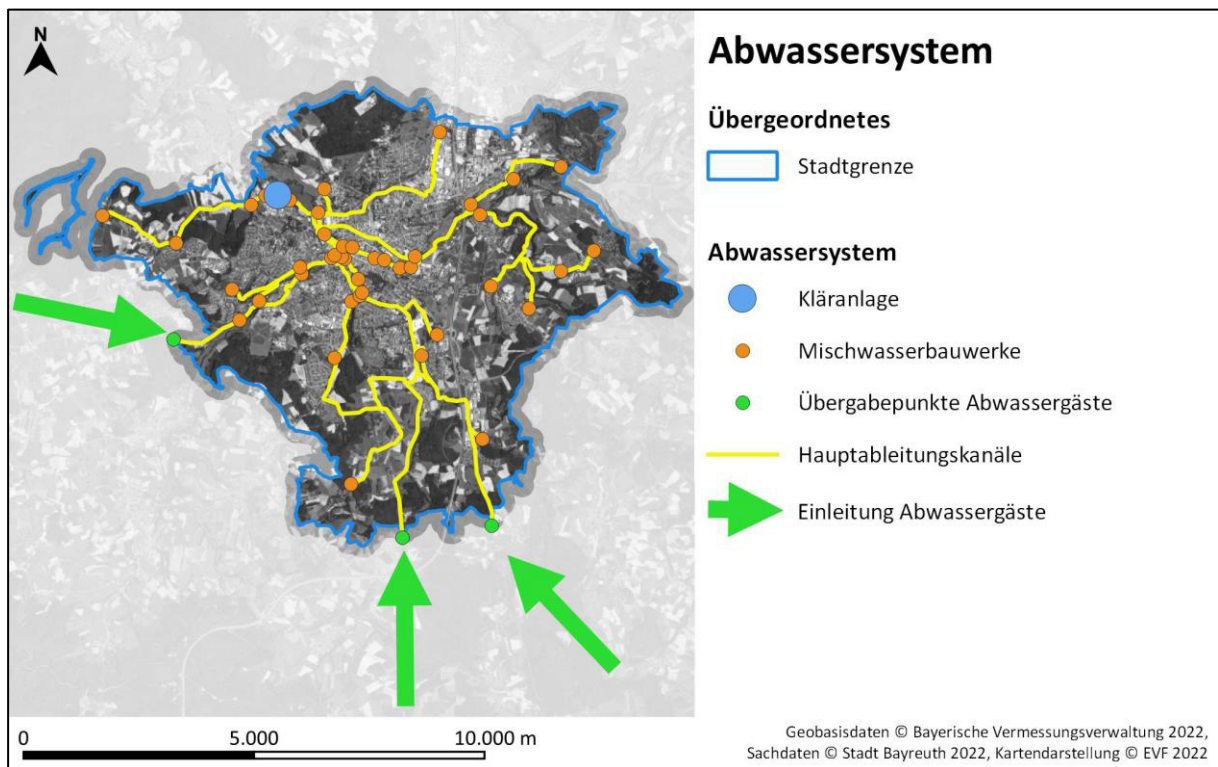


Abbildung 2: Versorgungsgebiet der Bayreuther Kläranlage

(QUELLE: STADT BAYREUTH 2021A, EIGENE BEARBEITUNG EVF 2022)

Seit den 90er Jahren wurden einige mehr oder weniger aufwendige Effizienzsteigerungsmaßnahmen bzgl. Ressourcen- und Energieeffizienz umgesetzt. Hierzu gehören u.a. eine Phosphat-Fällung, eine Schlammmentwässerung, eine Erneuerung der Gasverwertung, weitere biologische Reinigungsstufen zur Stickstoff- und Phosphat-Eliminierung, Vorklär- und Abscheideanlagen und die Schlammbehandlung. Die Schlammmentwässerung findet mittlerweile sogar per solarthermischer Energie statt (siehe Abb. 3– Hintergrund). Die Kläranlage wurde durch diese Modernisierungsmaßnahmen kontinuierlich an die neuen technischen Möglichkeiten hinsichtlich Energie- und Ressourceneffizienz angepasst.



Abbildung 3: Luftaufnahme des Kläranlagengeländes mit solarer Trocknung im Hintergrund

(QUELLE: STADT BAYREUTH 2015, EIGENE BEARBEITUNG EVF 2022)

1.2 Das Klärverfahren

In der Kläranlage werden die Abwässer über verschiedene mechanische und biologische Prozesse gereinigt, so dass sie nach Durchlauf der Anlage bedenkenlos in die Natur abgegeben werden können.

Die **mechanische Abwasserreinigung** von ungelösten Stoffen erfolgt über eine Reihe von Absetz- und Filtrationsvorgängen. Zunächst werden die Abwässer mittels eines **Feinrechers** von groben Schwebstoffen, wie Lumpen oder Holz- und Kunststoffresten, befreit. Im Anschluss können sich aufgrund einer verringerten Fließgeschwindigkeit und des Einblasens von Umgebungsluft im belüfteten **Sandfang** Sand und andere mineralische Bestandteile absetzen. Abschließend werden die Abwässer in das **Vorklärbecken** geleitet. Innerhalb der zwei-stündigen Verweildauer können sich alle verbleibenden absetzbaren Stoffe am Beckenboden ablagern. Diese werden als sogenannter Primärschlamm gesammelt und in den Faulbehälter geleitet.

Die **biologische Abwasserreinigung** dient der Befreiung der Abwässer von gelösten Stoffen wie Phosphat und Nitrat. In der ersten Stufe werden die in den Abwässern befindlichen Bakterien in einem **Anaerobbecken** (Becken ohne Sauerstoff und ohne Nitrat) in eine Stresssituation versetzt und geben Phosphat frei. Innerhalb der veränderten Milieus in den folgenden Becken werden die Bakterien dazu veranlasst das Phosphat wieder verstärkt aufzunehmen und in die Zellsubstanz einzubauen. Durch Abzug der Bakterien im Überschussschlamm kann auf diese Weise das Phosphat größtenteils biologisch aus den Abwässern entfernt werden. Bei Bedarf wird dieser Vorgang aber durch Zugabe von Metallsalzen chemisch unterstützt. Anschließend wird in der zweiten Stufe unter anoxischen

Verhältnissen (ohne freien Sauerstoff) im **Denitrifikationsbecken** nitrathaltiges Abwasser aus dem Nitrifikationsbecken zugeführt. In Ermangelung von freiem Sauerstoff nutzen die Bakterien den im Nitrat (NO_3) befindlichen Sauerstoff. Der dabei zurückbleibende Stickstoff (N_2) entweicht gasförmig in die Atmosphäre. In der dritten und letzten Stufe wird durch Zugabe von Luftsauerstoff im **Nitrifikationsbecken** der im Wasser befindliche Stickstoff von Ammonium (NH_4) über Nitrit (NO_2) zu Nitrat (NO_3) oxidiert, welches wiederum im Denitrifikationsbecken zu gasförmigem Stickstoff umgewandelt wird.

Zum Schluss erfolgt in den drei **Nachklärbecken** die Trennung von Wasser und Schlamm.

Der im Klärprozess gewonnene Schlamm wird in die Faultürme geleitet, wo Fäulnisbakterien unter Luftabschluss und bei rund 40°C ein Faulgas erzeugen, das zu $2/3$ aus Methan und zu $1/3$ aus Kohlenstoffdioxid besteht. Der zurückbleibende ausgefaulte Schlamm wird getrocknet und zur thermischen Verwertung verladen. Das entstandene Methan wird gespeichert und kann in den drei bestehenden Blockheizkraftwerken verwertet werden. Die dortigen Generatoren erzeugen bis zu 1.317 KW elektrische Leistung. Durch die Zwischenspeicherung kann ein gleichmäßiger Betrieb der Kraftwerke gewährleistet werden.

1.3 Energie- und THG-Bilanz

Die Treibhausgasemissionen der Kläranlage setzen sich aus denjenigen des Strom- und des Wärmeverbrauchs zusammen. Insgesamt werden in der Kläranlage aktuell ca. 4,3 Mio. kWh Strom und ca. 11,8 Mio. kWh Wärme verbraucht (STADT BAYREUTH 2021A, WEBER INGENIEURE 2010).

Die benötigte Energie wird zum größten Teil bereits durch die eigene Klärgasgewinnung und -verstromung in einem Kraft-Wärme-Kopplungs (KWK) -Prozess erzeugt. Insgesamt können in den Faultürmen pro Jahr etwa 2,5 Mio. m^3 Klärgas gewonnen und in Energie umgewandelt werden. Von den 4,3 Mio. benötigten Kilowattstunden Strom können bereits ca. 4,2 Mio. kWh selbst erzeugt werden ($>96\%$). Da zu Zeiten geringer Last mehr Strom erzeugt als verbraucht wird, wird auch Überschussstrom in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Dabei handelt es sich um weitere 390.000 kWh erneuerbaren Stroms, die im öffentlichen Stromnetz Strom aus CO_2 -intensiven fossilen Quellen des deutschen Kraftwerk-Park-Mix verdrängen. Insgesamt müssen aus technischen Gründen trotzdem ca. 150.000 kWh Strom aus dem öffentlichen Stromnetz (KW-Park-Mix Deutschland) bezogen werden.

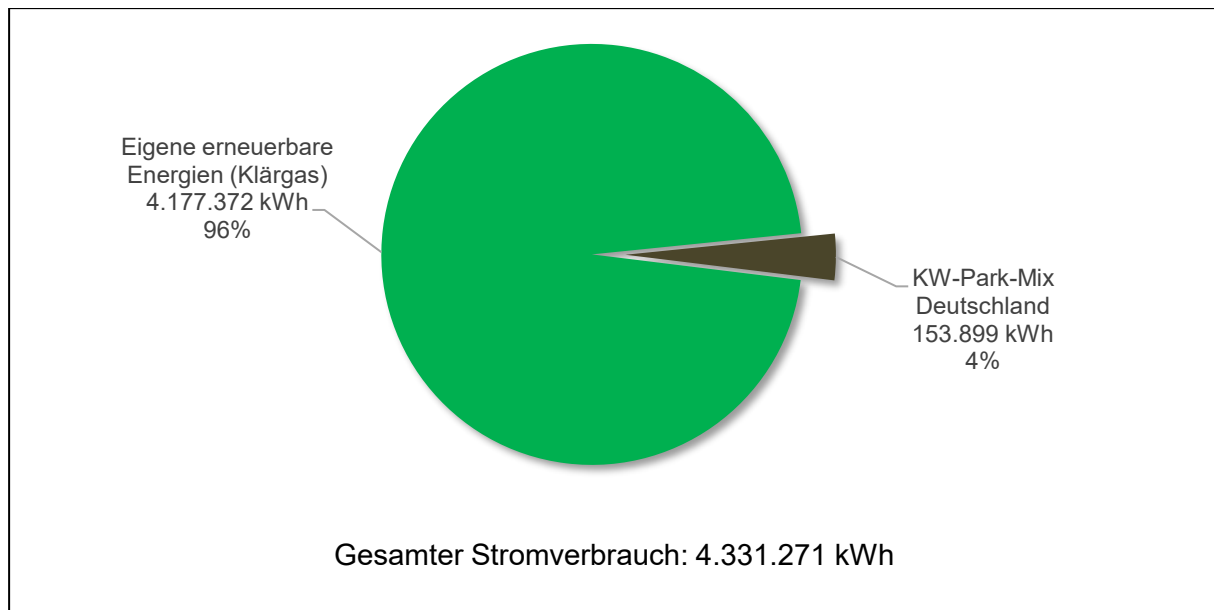


Abbildung 4: Anteil erneuerbarer Energien am Strombedarf der Kläranlage

(QUELLE: EIGENE BERECHNUNG UND DARSTELLUNG EVF 2022)

Im KWK-Prozess der Klärgasverstromung wird i.d.R. auch mehr Wärme erzeugt als für die Beheizung der Faultürme und der Gebäude benötigt wird. Sollte die selbst erzeugte Wärme nicht ausreichen, kann über den Erdgasanschluss nachgeheizt werden. Hierfür bestand in den letzten Jahren aber kein Bedarf.

Insgesamt werden ca. 7,1 Mio. kWh Wärme erzeugt. Für die Faultürme und für Heizzwecke werden nur ca. 4,7 Mio. kWh benötigt. Der Wärmeüberschuss in Höhe von ca. 2,4 Mio. kWh wird ergänzend zur solaren Trocknung im Bereich der Klärschlammmentwässerung genutzt und optimiert damit den Klärprozess und die Klärschlammmentsorgung. Vor allem im Winter wird der Klärschlamm mit ca. 4,6 Mio. kWh Abwärme einer benachbarten Biogasanlage zusätzlich getrocknet. Der solare Anteil an der Klärschlamm-trocknung kann nicht bestimmt werden. Der Wärmebedarf der Kläranlage wird damit jedoch vollständig durch erneuerbare Energien bereitgestellt.

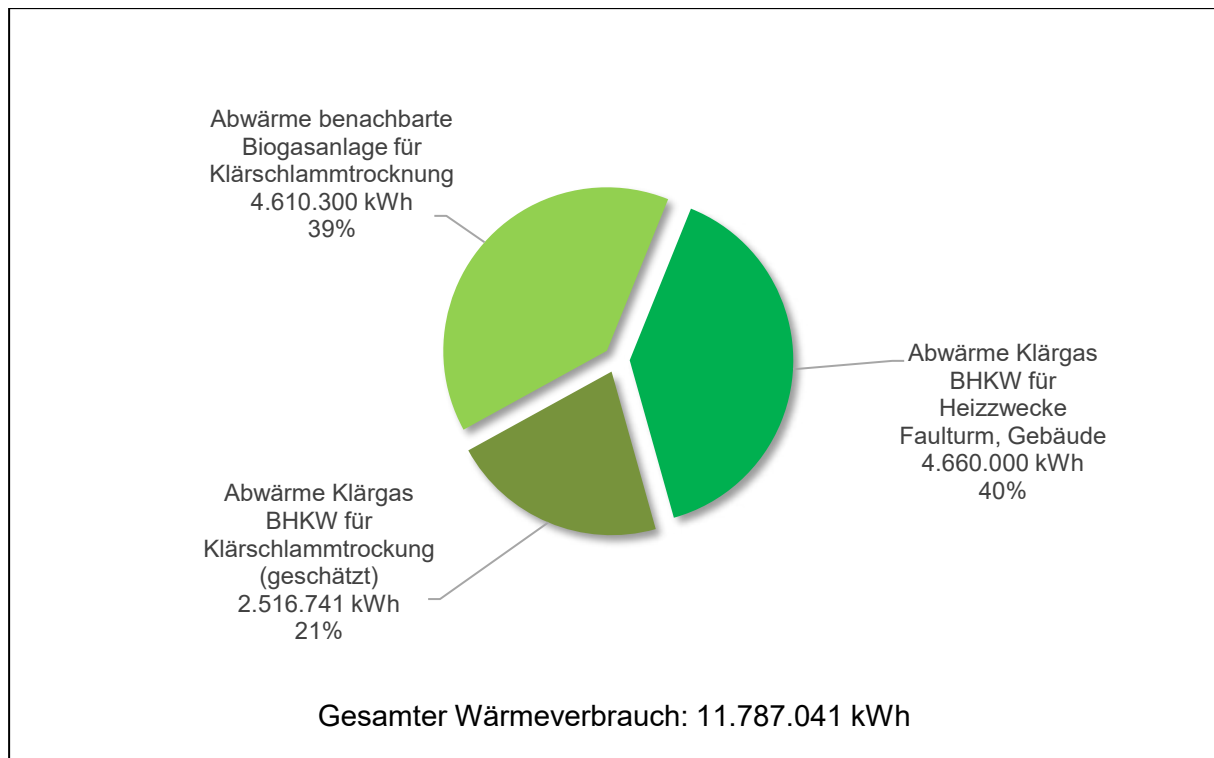


Abbildung 5: Wesentliche Wärmeverbraucher der Kläranlage

(QUELLE: EIGENE BERECHNUNG UND DARSTELLUNG EVF 2022)

Die Treibhausgasemissionen ergeben sich aus dem Prozess der Klärgasgewinnung, dem Strombezug aus dem öffentlichen Stromnetz und dem Wärmebezug der benachbarten Kläranlage. Dabei zählen Klär- und Biogas grundsätzlich zu den klimaneutralen und erneuerbaren Energieträgern. Die Anlagenherstellung des Klärgas-BHKW, der Biogasanlage und z.B. die Düngemittel der Substrate für die Rohstoffe (die „Vorkette“) werden jedoch in der Lebenszyklusanalyse berücksichtigt. Während durch den Bezug der 150.000 kWh Strom aus dem öffentlichen Stromnetz (KW-Park-Mix-Deutschland) insgesamt ca. 61 t Treibhausgase pro Jahr entstehen, werden in der Vorkette der Klärgasverstromung mit einem Ertrag von insgesamt ca. 4,5 Mio. kWh Strom und ca. 7,1 Mio. kWh Wärme pro Jahr aber nur ca. 6 t Treibhausgase emittiert. Hinzu kommen die Treibhausgasemissionen der Vorkette der von der Biogasanlage erzeugten Wärme. Diese betragen ca. 341 t. Insgesamt belaufen sich die Treibhausgasemissionen auf ca. 407 t pro Jahr. Gleichzeitig werden aber auch ca. 390.000 kWh erneuerbarer Strom in das Stromnetz eingespeist. Da diese den CO₂-intensiven Strom aus dem KW-Park-Mix Deutschlands verdrängen, kann eine CO₂-Gutschrift in Höhe von 154 t/a angenommen werden. In Summe werden durch den Betriebsprozess der Kläranlage also ca. 253 t Treibhausgase pro Jahr emittiert. Diese entstehen jedoch nicht durch den unmittelbaren Betrieb der Anlagen, sondern vor allem in der Vorkette.

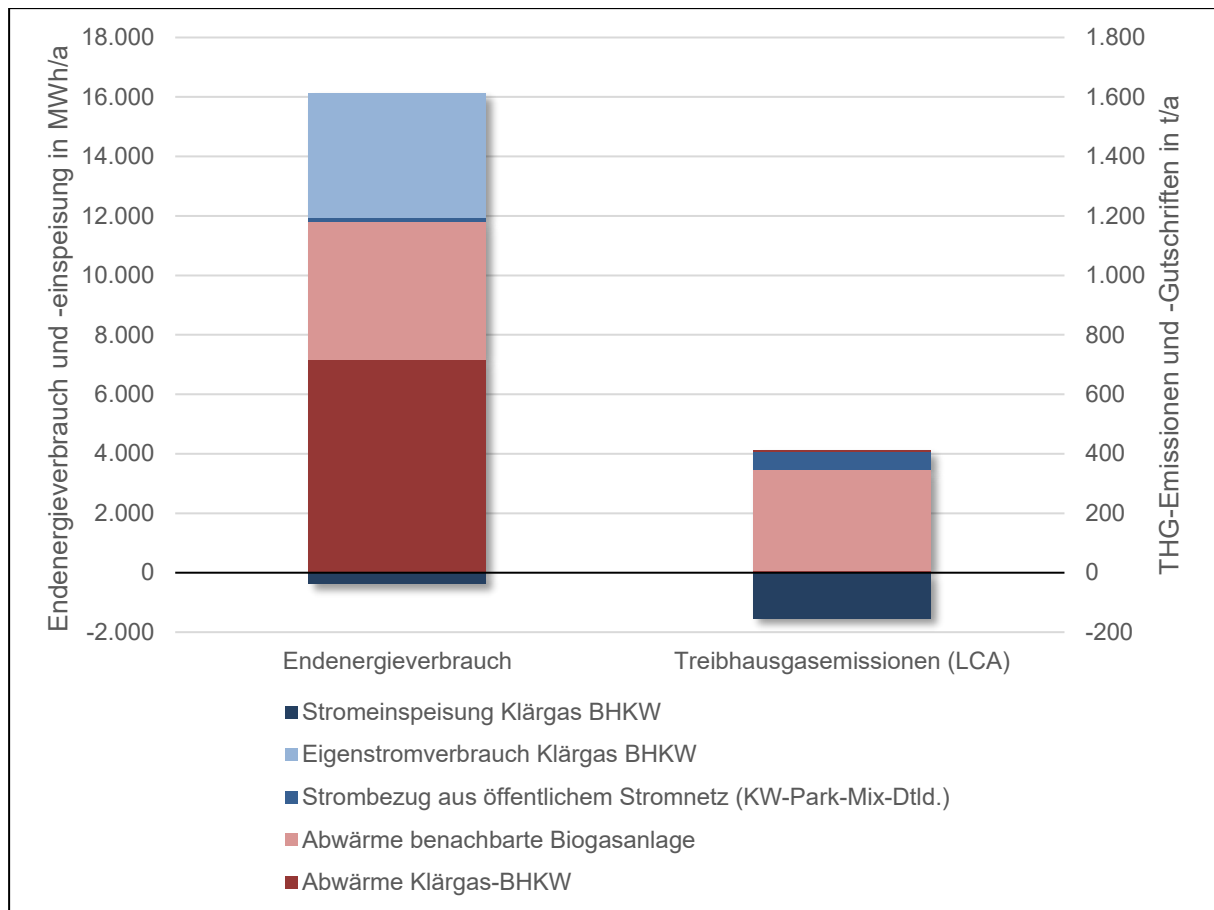


Abbildung 6: Energie- und THG-Bilanz der Kläranlage Bayreuths

(QUELLE: EIGENE BERECHNUNG UND DARSTELLUNG EVF 2022)

Zum Vergleich: Würde die Kläranlage nicht durch erneuerbare Energien, sondern durch Erdgas-BHKW und Erdgas-Heizungen versorgt werden, entstünden ca. 2.700 t THG pro Jahr. Durch den weitgehenden Einsatz von erneuerbaren Energien (Klärgas und Biogas) konnten also bereits ca. 91 % THG vermieden werden.

Der gesamte Anteil genutzter lokaler erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch beträgt heute ca. 99 %.

1.4 Bewertung anhand energetischer Beurteilungskriterien

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Kläranlage seit ihrer Errichtung kontinuierlich energetisch saniert und optimiert wurde, aus diesem Grund bereits sehr effizient arbeitet und weitgehend auf dem aktuellen Stand der Technik ist.

Die fortwährende Optimierung lässt sich auch an den sinkenden Stromverbräuchen der letzten Jahre ablesen. Einzige Ausnahme stellt ein kleinerer Ansprung des Stromverbrauchs im Inbetriebnahmejahr der solaren Trocknungsanlage dar. Hierdurch wurde zwar zwischenzeitlich wieder etwas mehr Energie benötigt, jedoch konnten hierdurch deutliche Einsparungen in der Klärschlamm Entsorgung erzielt werden. Darüber hinaus konnte das System fortwährend optimiert werden und die Stromverbräuche sinken wieder (vgl. Abb. 7).

Insgesamt werden bezüglich des Energieaufwands für den gesamten Klärprozess bereits zu etwas mehr als 99 % erneuerbare Energien eingesetzt. Ein höherer Anteil ist nur mit unverhältnismäßigem Aufwand möglich. Der Klärmeister optimiert die Kläranlage fortwährend im laufenden Betrieb und viele Ansatzpunkte für Energie- und Effizienzsteigerungen wurden in der Vergangenheit bereits umgesetzt.

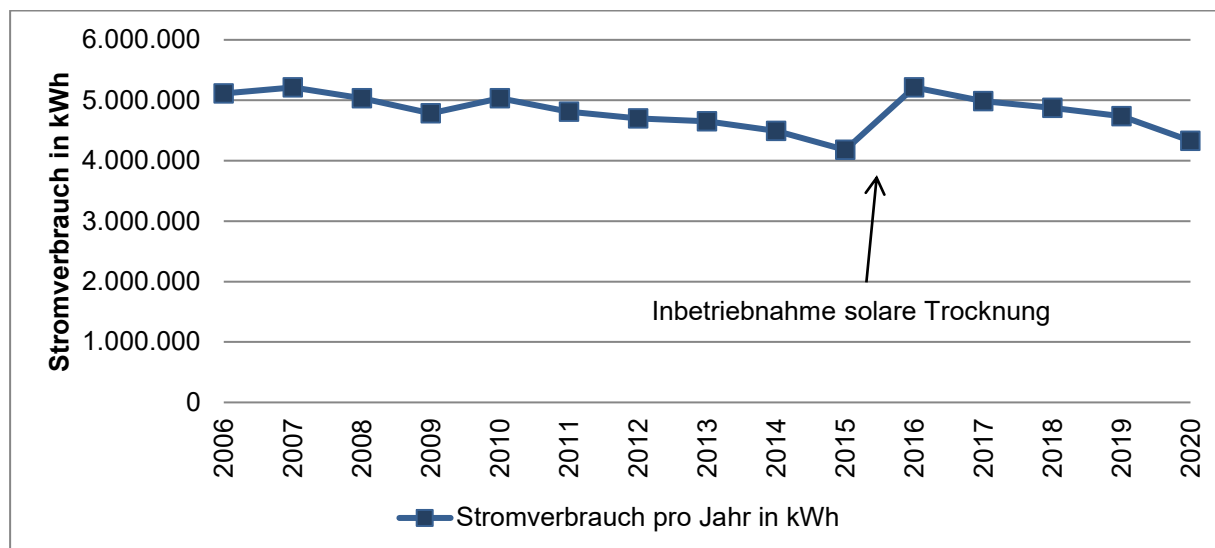


Abbildung 7: Entwicklung des Stromverbrauchs der Kläranlage in Bayreuth

(QUELLE: STADT BAYREUTH 2021A, EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

Ebenso attestiert die Energieanalyse des Ingenieurbüros Weber Ingenieure GmbH bereits im Jahr 2010 für die Kläranlage sehr gute Verbrauchswerte. Diese liegen nahe an den Zielwerten und Einsparpotenziale werden nur noch bedingt gesehen (WEBER INGENIEURE 2010). Obwohl sich die Schmutzwasserfrachten in den letzten Jahren durch Betriebserweiterungen der angeschlossenen gewerblichen Einleiter erhöht hat und zusätzliche Einleiter hinzugekommen sind, konnte der relative Energieverbrauch des Klärprozesses deutlich gesenkt werden.

Tabelle 1: Übersicht relativer Stromverbrauch der Kläranlage

Parameter	Einheit	2006	2014	2020
Gesamtverbrauch Strom	kWh/a	5.048.135	4.491.000	4.331.271
Abwasserzufluss	m³/a	13.400.047	11.210.000	11.602.902
Stromverbrauch je m³	kWh/m³	0,38	0,40	0,37
Einwohnerwerte	EW	124.767	156.000	212.667
Stromverbrauch je Einwohnerwert	kWh/EW	40,5	28,8	20,4
Ausbau EW	E	300.000	300.000	300.000
Stromverbrauch je Ausbau EW	kWh/E	16,8	15,0	14,4

(QUELLE: WEBERINGENIEURE 2010, STADT BAYREUTH 2021A, EIGENE BERECHNUNGEN EVF 2022)

Eine Analyse der erzeugten und genutzten Gasmengen zeigt darüber hinaus, dass kein Klärgas abgefackelt wird. Das Gas wird also bereits vollständig genutzt und eine Erweiterung der KWK-Kapazitäten ist nicht möglich.

1.5 Effizienzsteigerungspotenziale und Nutzung erneuerbarer Energien

Seitens der Kläranlage wurde bereits ein vorbildliches Sanierungskonzept für die Kläranlage ausgearbeitet. Dieses beinhaltet wichtige Sanierungs- und Effizienzsteigerungsmaßnahmen für die Kläranlage von einem Sanierungsplan für die Betriebsgebäude und ambitionierten Optimierungsmaßnahmen für die technischen Verfahrensstufen bis hin zu der Vorstellung verschiedener Ausbaukonzeptionen bis 2040 (vgl. Stadt Bayreuth 2019). Diese sollen im Folgenden in Kürze wiedergegeben werden und weitere Effizienzsteigerungspotenziale vorgestellt werden.

1.5.1 Optimierung mit Stromspeicher

Die Bayreuther Kläranlage deckt ihren Energieverbrauch bereits zu etwas mehr als 99 % durch erneuerbare Energien. Dieser Wert ist bereits herausragend. Es werden aber ca. 390.000 kWh/a in das öffentliche Stromnetz eingespeist und aus diesem aktuell aus technischen Gründen ca. 150.000 kWh/a wieder entnommen. Durch einen Stromspeicher könnte diese Bilanz verbessert werden und der Deckungsanteil durch erneuerbare Energien auf 100 % gehoben werden. Darüber hinaus könnte der Speicher der Bereitstellung von Regelleistung dienen. Der Aufwand hierfür wird jedoch als verhältnismäßig hoch erachtet. Sobald Stromspeicher günstiger am Markt erhältlich sind, könnte hier entsprechend optimiert werden.

1.5.2 Sanierung der Baukörper

Im Rahmen des Sanierungskonzepts der Kläranlage besteht zunächst Sanierungsbedarf für ältere Baukörper. Diese sind teilweise bereits älter als 60 Jahre und müssen in den kommenden Jahren saniert oder erneuert werden. Im Zuge dieser Maßnahmen ist auf eine energieeffiziente Bauweise zu achten.

1.5.3 Rechenanlage

Die Rechenanlage wurde 2001 in Betrieb genommen und ist heute etwa 21 Jahre in Betrieb. Die typische Nutzungsdauer beträgt 30-40 Jahre und für die maschinentechnischen Teile ca. 10 – 14 Jahre. Die Anlagen sind aktuell aber noch gut in Schuss und entsprechen bezüglich Hygiene und Abscheideleistung dem Stand der Technik. Wenn diese mittelfristig dann jedoch erneuert werden muss, sollte eine Umstellung des Rechensystems von dem aktuellen Filterstufenrechen auf Harkenumlaufrechen geprüft werden.

1.5.4 Sandfang

Der Sandfang wurde ebenfalls 2001 in Betrieb genommen ist und ist damit 21 Jahre alt. Auch der Sandfang ist aktuell noch gut in Schuss. Im Bereich der Abscheideleistung sowie der Anlagenverfügbarkeit ist er auf dem Stand der Technik. Optimierungspotenzial besteht jedoch im Bereich der Anlagenhygiene. Hier sollte eine Schlitzabdeckung nachgerüstet werden.

1.5.5 Vorklärung

Das Vorklärbecken wurde 1975 in Betrieb genommen und ist damit bereits 47 Jahre in Betrieb. Die maschinentechnische Ausstattung wurde 2001 erneuert und ist damit bereits 21 Jahre in Betrieb. Die Vorklärung entspricht bzgl. Volumen und Volumengliederung nicht mehr dem Stand der Technik und es besteht Erneuerungsbedarf. Stand der Technik wäre heute eine kleinteilige Volumenverteilung, damit die Gaserzeugung und die Stickstoffelimination aktiv beeinflusst werden kann. Die Maschinentechnik müsste wegen der bereits erfolgten Nutzungsdauer mittelfristig erneuert werden.

1.5.6 Denitrifikationsbecken

Die Denitrifikation wurde 1975 installiert und wird damit bereits seit 47 Jahren genutzt. Im Jahr 1998 wurden maschinentechnische Anlagenteile erneuert und die Becken saniert, welche mittlerweile auch schon wieder 24 Jahre in Betrieb sind.

Das aktuelle Verfahren der Denitrifikation entspricht nicht mehr dem Stand der Technik und müsste mittelfristig erneuert werden. Auch die Maschinentechnik hat ihre Lebensdauer bereits erreicht. Letztere kann jedoch auf Grund des guten Zustands noch weitergenutzt und muss erst mittelfristig erneuert werden.

1.5.7 Nitrifikationsbecken

Das Nitrifikationsbecken und die zugehörige Anlagentechnik wurden 1998 in Betrieb genommen. Die Belüfterelemente wurden 2015 erneuert. Das Nitrifikationsbecken und die Anlagentechnik entsprechen grundsätzlich noch dem Stand der Technik und kann auf Grund des guten Zustands mittelfristig so weiterbetrieben werden. Im Jahr 2020 wurden die Turbo-Verdichter (Lufterzeugung) durch energiesparende magnetgelagerte Verdichter ausgetauscht.

1.5.8 Nachklärbecken

Die beiden älteren Nachklärbecken wurden 1975 in Betrieb genommen und weisen demnach eine Nutzungsdauer von 47 Jahren auf. Die maschinentechnische Ausrüstung wurde 1998 zusammen mit dem Neubau des dritten Nachklärbeckens erneuert und weist damit eine Nutzungsdauer von 24 Jahren auf. Die alten Nachklärbecken erfüllen nicht mehr die Normen. Diese müssten mittelfristig erneuert werden.

1.5.9 Biologische P-Speicherung / Hydrolyse

Die Anforderungen an die P-Speicherung können aktuell wegen Leistungsreserven im Bereich der Nachklärung in Verbindung mit einer chemischen Fällung weitestgehend eingehalten werden. Hier sollte zukünftig eine Phosphorabreicherung über MAP-Fällung angestrebt oder alternative Verfahrensweisen geprüft werden. Der hierdurch recycelte Phosphor könnte dann direkt landwirtschaftlich verwertet oder der Düngemittelindustrie zugeführt werden. Das Verfahren der MAP-Fällung hat darüber hinaus einige wirtschaftliche Vorteile, weil es auch positive Auswirkungen auf andere Prozesse hat und die Energiebilanz nicht belastet.

Darüber hinaus sollte eine Hydrolyse des Überschussschlammes als ergänzender Verfahrensschritt eingeführt werden. Hierdurch kann bereits chemisch gefällter Phosphor erfasst und der Klärgasanfall um ca. 20% erhöht werden.

1.5.10 Deammonifikation

Die aktuelle Anlagentechnik ist für die Deammonifikation grundsätzlich ausreichend. Durch den Einsatz eines sog. SBR-Verfahrens könnte der Energieaufwand jedoch nochmals um 5% gesenkt werden und bessere Reinigungsergebnisse bei gleichzeitig höherer Anlagenverfügbarkeit erzielt werden.

1.5.11 Spurenstoffelimination

Mit dem aktuellen Klärverfahren ist keine Eliminierung von Spurenstoffen (Arzneistoffe, Pflanzenbehandlungsmittel, etc.) möglich. Der Handlungsdruck, solche Stoffe aus dem Abwasser zu entfernen, wird jedoch zunehmend erkannt und es werden diesbezüglich verschiedene Verfahren geprüft. Dabei handelt es sich insbesondere um adsorptive und

oxidative Verfahren. Adsorptive Verfahren binden die Spurenstoffe in einem sog. Adsorbat, welche dann leichter aus dem Wasser entfernt werden können. In Oxidativen Verfahren werden die Spurenstoffe durch den Zusatz von besonders reaktionsfreudigem Ozon chemisch verändert, damit sie zum einen keine schädliche Wirkung mehr haben und besser biologisch abgebaut werden können. Die beiden Verfahren können auch in Kombination angewendet werden. Ein zielführendes Konzept wäre eine Ozonung mit nachgeschaltetem Sandfilter mit granulierter Aktivkohle (Adsorbat). Durch die Installation einer solchen Spurenstoffelimination könnten weitere anthropogene Verunreinigungen beseitigt werden, die im aktuellen Verfahren nicht erfasst werden können.

1.5.12 Schlammmentwässerung

Die Schlammmentwässerung wurde erst 2016 installiert und entspricht dem Stand der Technik. Eine Erneuerung ist mittelfristig nicht notwendig. Bisherige Betriebserfahrungen haben jedoch gezeigt, dass die Entwässerung im Winter schlechter funktioniert als in den wärmeren Monaten. Die Schlammmentwässerung könnte in diesem Zusammenhang weiter optimiert werden, wenn zusätzliche Speicherkapazitäten zur Verfügung stünden.

1.5.13 Klärschlammreformierung

Klärschlamm gehört zu den erneuerbaren und klimaneutralen Energien, da es sich hier um Biomasse handelt, deren CO₂-Emissionen bei der energetischen Verwertung in der Bilanz Null beträgt. Die Kläranlage kann derzeit den Klärschlamm noch nicht weiter verwerten. Er wird jedoch an andere Müllverbrennungsanlagen geliefert und dort in dieser Hinsicht bereits thermisch verwertet.

Um den Klärschlamm vor Ort in der Kläranlage zu verwerten, stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung:

- Pyrolyse
- Vergasung
- Verbrennung

Eigene Untersuchungen der Kläranlage haben gezeigt, dass die Pyrolyse zwar zu geringeren jährlichen Betriebskosten führen würde, die Investitionskosten jedoch so hoch sind, dass sich eine eigene Anlage nicht in einem absehbaren Zeitraum amortisieren würde.

1.5.14 Energiegewinnung

Das Maschinenhaus, in dem die Klärgas-BHKW untergebracht sind, wurde 1957 errichtet und ist damit bereits 65 Jahre alt. Es entspricht nicht mehr dem Stand der Technik, ist wirtschaftlich und technisch erschöpft und bedarf der Erneuerung.

Zwei der drei BHKW wurden bereits im Jahr 1996 installiert. Diese weisen mittlerweile eine Betriebslaufzeit von insgesamt 26 Jahren auf und müssen erneuert werden. Neue BHKW weisen auch eine deutlich höhere Effizienz auf. Das dritte BHKW wurde im Jahr 2010 in Betrieb genommen und ist erst etwa 12 Jahre alt. Dessen Erneuerung ist in ca. 8 - 13 Jahren notwendig.

Um den Betrieb der Klärgasverstromung möglichst wenig zu beeinträchtigen und wegen der heute ungünstigen Lage wird vorgeschlagen, ein notwendiges neues Maschinenhaus in einem neu zu errichtendem Gebäude zu realisieren. Ebenso sollten weitere wichtige maschinen- und verfahrenstechnische Anlagen in dieser „Energiezentrale“ untergebracht werden, z.B.:

- Gasreinigung / Gastrocknung
- Substratannahmestation
- MAP-Anlage
- Energiespeicher / Methanisierungseinheit
- Vakuumentgasung Faulschlamm
- Hydrolyse des Überschussschlamm

1.5.15 Gasspeicher

Die bestehenden Gasbehälter an der Kläranlage sind teilweise bereits sehr alt. So finden sich an der Kläranlage zum einen Hochdruckgasspeicher, die bereits 1975 errichtet wurden, damit bereits über 47 Jahre alt sind, und korrosionsbedingt bereits mit niedrigerem Druck betrieben werden müssen. Zum anderen weist die Kläranlage einen Niederdruck-Gasspeicher auf, der im Jahr 1996 errichtet wurde und nun 25 Jahre alt ist. Letzterer kann vermutlich wegen des guten Zustands noch einige Jahre weiterbetrieben werden. Die Hochdruckspeicher müssen kurz- bis mittelfristig jedoch ersetzt werden. Ein Ersatz sollte in Form von Niederdruckgasspeichern

erfolgen und mit der oben thematisierten „Energiezentrale“ und der möglichen Erhöhung des Gasanfalls durch die Hydrolyse abgestimmt werden.

1.5.16 Betriebsgebäude / Werkstätten

Die Werkstätten wurden 1957 errichtet und weisen damit eine Nutzungsdauer von über 65 Jahren auf. Der energetische Zustand entspricht dem der 1950er Jahre und ist als deutlich ineffizient zu bewerten.

Das Betriebsgebäude wurde 1989 errichtet und weist die energetischen Eigenschaften eines Gebäudes aus den 1980er Jahren auf.

Sowohl die Werkstätten als auch das Betriebsgebäude sind sanierungsbedürftig.

1.5.17 Abwärmenutzung aus dem Abwasser

Die Kläranlage Bayreuths entsorgt nicht nur das Abwasser aus dem Stadtgebiet, sondern auch von Fremdeinleitern. Insgesamt werden ca. 11,6 Mio. m³ Abwasser geklärt. Dies entspricht einem mittleren Abfluss von ca. 368 Litern je Sekunde. Würde dieses Abwasser über einen Wärmetauscher und einer Wärmepumpe nur um 1 °K abgekühlt werden, entspräche dies einer Wärmeentzugsleistung in Höhe von ca. 1.500 kW thermisch, die als Heizleistung in Gebäuden genutzt werden kann. Das Wasser würde sich nach dem Wärmeentzug in Abhängigkeit zur Entfernung zur Kläranlage wieder auf mindestens 8- 10°C erwärmen, da das Kanalnetz im Boden verläuft und dieser in den typischen Tiefen auch im Winter Temperaturen von 8-10°C aufweist. Eine Störung des Kläranlagenbetriebs durch zu niedrige Temperaturen ist unwahrscheinlich, sollte in den Planungen jedoch berücksichtigt werden.

Wird diese Heizleistung in Höhe von max. ca. 1.500 kW in den typischen Heizperioden genutzt, entspräche dies einer Nutzungszeit in Höhe von ca. 1.800 Stunden. Damit könnten ca. 2.700 MWh Wärme als Heizwärme genutzt werden. **Würden diese 2.700 MWh Abwärme aus dem Abwasser z.B. den Energieträger Erdgas ersetzen, könnten damit ca. 420 t Treibhausgase pro Jahr eingespart werden.**

Diese Heizleistung teilt sich entlang der einzelnen Hauptabwasserkanäle (siehe Abb. 2) und entsprechend der jeweils abgeführten Abwassermenge auf. Einzelne durchschnittliche Abflussmengen der Hauptabwasserkanäle sind im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen nicht bekannt. Die größten Mengen und damit das größte Potenzial fließen jedoch im Bereich des Stadtteils „City“ ab. Hier finden sich teilweise auch größere Verbraucher in unmittelbarer Nähe zu den Hauptabwasserkanälen, wo die Abwärme des Abwassers genutzt werden könnte.

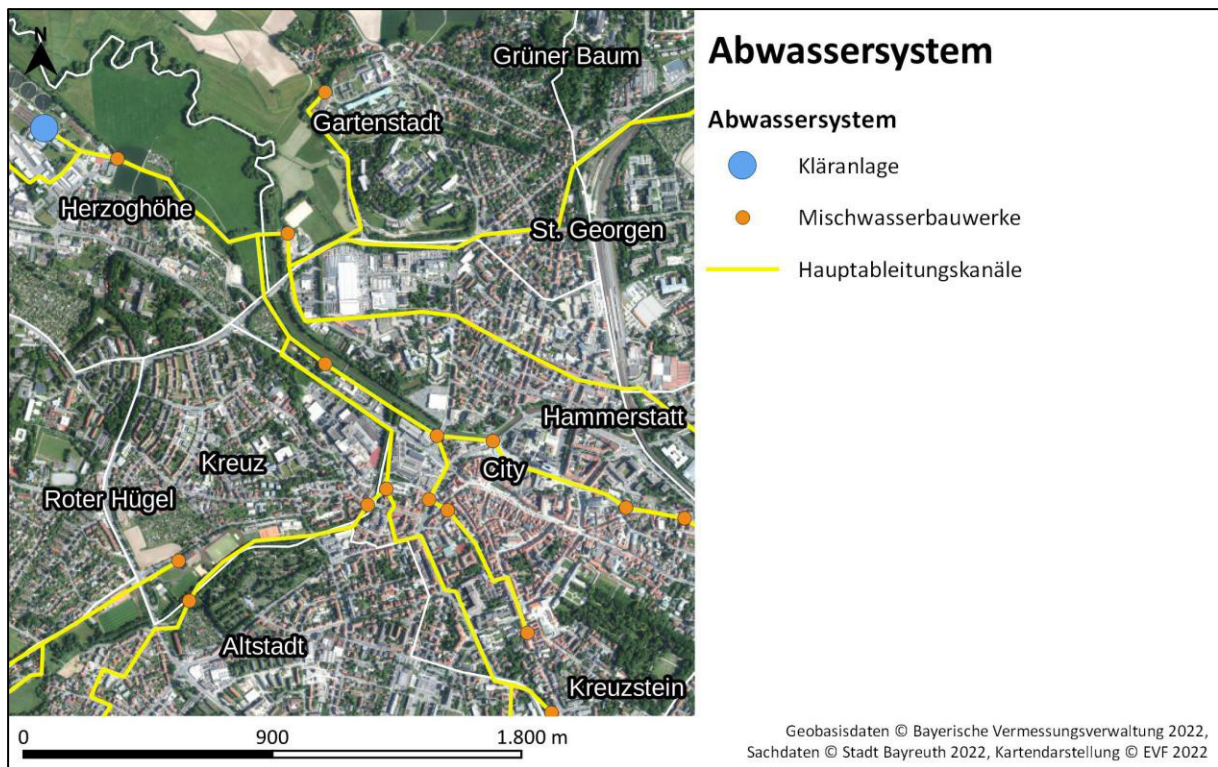


Abbildung 8: Ausschnitt der Hauptabwasserkanäle im Stadtgebiet mit dem größten Durchfluss

(QUELLE: STADT BAYREUTH 2022A; EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

1.6 Mittel- und Langfristige Einspar- und Versorgungsziele

Wie bereits oben genannt, wurde durch den Abwasserbetrieb bereits ein schlüssiges Sanierungskonzept für die Kläranlage entwickelt. Dieses ordnet die anstehenden wichtigen Sanierungsmaßnahmen in den zeitlichen Kontext und stimmt die Maßnahmen miteinander ab. Der folgende Übersichtslageplan zeigt die Gebäudeteile und technischen Einrichtungen, die in Abhängigkeit zur typischen Nutzungsdauer kurz- (rot), mittel- (gelb) und langfristig (grün) saniert werden müssten:

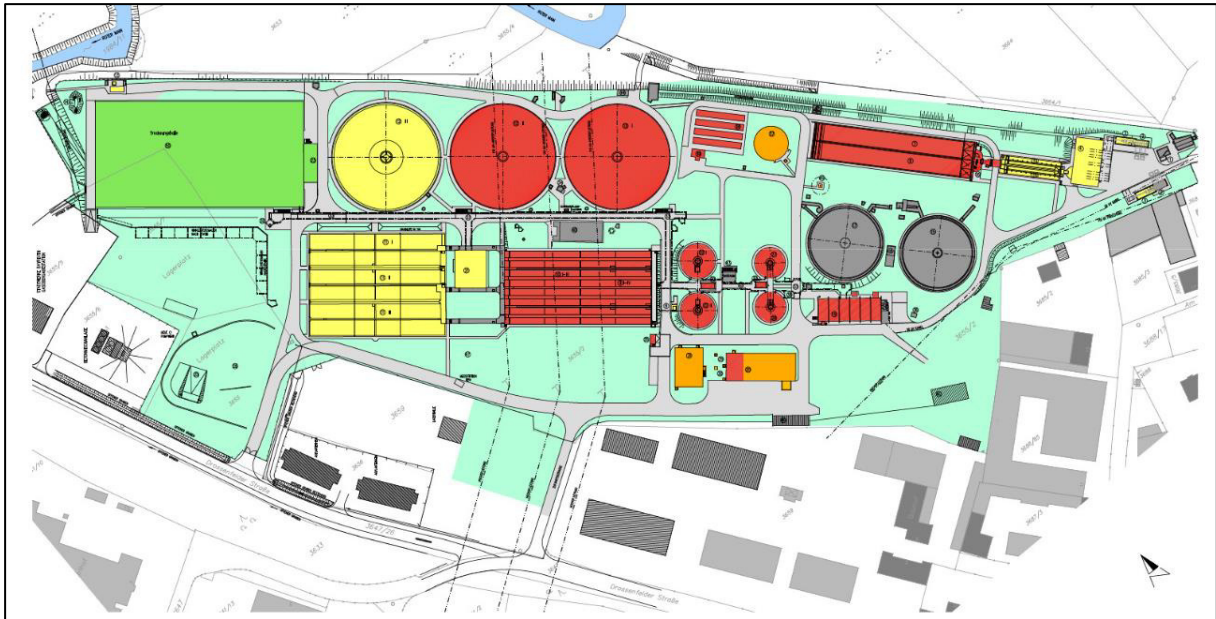


Abbildung 9: Lageplan der sanierungsbedürftigen Gebäude an der Kläranlage

(QUELLE: STADT BAYREUTH 2019)

Das Sanierungskonzept untersucht die notwendigen Sanierungen bis zu einem Zeithorizont bis 2040. Nachfolgende Übersicht zeigt die Nutzungsdauer der verschiedenen Gebäude und technischen Einrichtungen im Jahr 2040 und verdeutlicht den Handlungsbedarf:

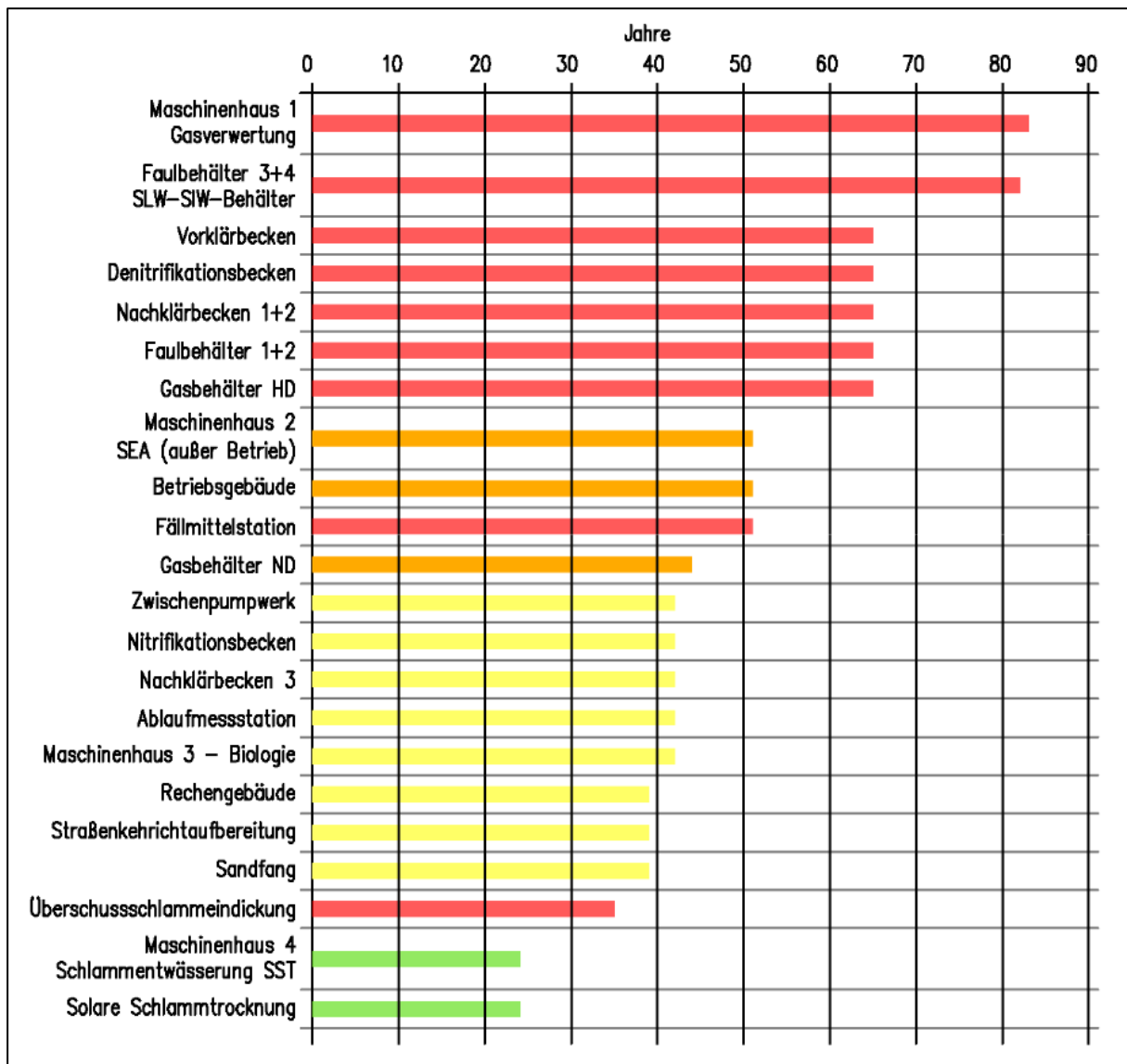


Abbildung 10: Klärwerk Bayreuth – Nutzungsdauer vorhandener Baukörper bis 2040

(QUELLE: STADT BAYREUTH 2019)

Für die Sanierung und den Ausbau werden insgesamt 7 Hauptvarianten und weitere Untervarianten diskutiert. Die Kostenprognose zeigt, dass insgesamt ein Investitionsbedarf in Höhe von ca. 86,8 Mio. Euro ansteht. Ein Großteil hiervon jedoch erst nach 2040.

Maßnahmen	Kurzbeschreibung	Investitions- kosten	Investitions- kosten	Investitions- kosten	Priorität Abschnitt
Klärwerk Bayreuth Ausbaukonzeption bis 2040		[EUR, netto]	[EUR, brutto]	[EUR, brutto inkl. 20% Baunebenkosten]	
Mechanische Reinigungsstufe	Neubau von Rechenanlage, belüftetem Sandfang und Straßenkehrgutannahme	11.200.000	13.300.000	16.000.000	C
AN/DN-Becken	Neubau Anaerob- und Denitrifikationsbecken	8.600.000	10.200.000	12.200.000	D
Druckluftherzeugung Belebungsbecken	Neubau Turboverdichterstation, Anpassung Regelungstechnik, Wärmerückgewinnung (Unterhaltsmaßnahme, aktuell bereits in Umsetzung)	----	----	----	A
Nachklärung	Neubau Nachklärbecken 1+2, Umbau Mittelbauwerk Nachklärbecken 3	9.600.000	11.400.000	13.700.000	D
Schlammwasser- teilstrombehandlung (Deammonifikation)	Die bei der Schlammfäulung und Schlammmentwässerung anfallenden Schlammwässer werden energieeffizient in einem getrennten biologischen Reaktor behandelt	600.000	700.000	800.000	C
4. Reinigungsstufe	Elimination von anthropogenen Spurenstoffen aus dem Ablauf der Nachklärung über Ozonung und Filtration	8.200.000	9.800.000	11.800.000	B
Vorklärung	Neubau Vorklärbecken mit Installationsganganschluss	2.800.000	3.300.000	4.000.000	B
Phosphormangement	Phosphorabreicherung über ÜSS-Hydrolyse und MAP-Abscheidung	1.300.000	1.500.000	1.800.000	B
Flüssigschlamm-speicher	Bewirtschaftung der Schlammmentwässerung und solaren Schlamm-trocknung über Flüssigschlamm-speicherung	1.500.000	1.800.000	2.200.000	D
Weitergehende Schlammbehandlung	Klärschlamm-pyrolyse mit Wärmerückgewinnung und Trockengut-speicher	6.300.000	7.500.000	9.000.000	B
Energiezentrale	Neubau des Maschinenhauses Gasverwertung mit Energierückgewinnung und Energieverteilung, Gasreinigung	4.800.000	5.700.000	6.800.000	A
Regelenergiespeicher	Neubau von 2 Niederdruckgasbehältern mit Gasmessschacht	2.600.000	3.100.000	3.700.000	A
Betriebsräume	Neubau Sozialgebäude mit Werkstätten und zentraler Warte	3.400.000	4.000.000	4.800.000	A
		60.900.000	72.300.000	86.800.000	

Abbildung 11: Klärwerk Bayreuth – Kostenprognose Sanierungsbedarf

(QUELLE: STADT BAYREUTH 2019)

Dabei wird der Sanierungsbedarf in die o.g. Prioritäten und Umsetzungszeiträume aufgeteilt:

Priorität	Umsetzungszeitraum	Kostenprognosen
		[EUR, brutto]
A	2021 bis 2025	12.800.000
B	2026 bis 2035	22.100.000
C	2036 bis 2040	14.000.000
D	nach 2040	ohne
Summe		48.900.000

Abbildung 12: Klärwerk Bayreuth – Kostenprognose Sanierungsbedarf – Teilsummen und Prioritäten

(QUELLE: STADT BAYREUTH 2019)

1.7 Empfehlungen

Die Kläranlage wird mit 99 % bereits weitgehend durch erneuerbare Energien versorgt und die vorhandene Anlagentechnik wurde fortwährend optimiert. In diesem Rahmen konnte der spezifische Stromverbrauch auch kontinuierlich gesenkt werden. Neue Verfahren wie die solare Klärschlamm-trocknung haben die Effizienz des Klärprozesses weiter steigern können. Dennoch sind viele Gebäude und Anlagentechniken mittlerweile in die Jahre gekommen und müssen kurz- oder mittelfristig saniert werden.

Grundsätzlich wird empfohlen, den bereits erarbeiteten Sanierungsfahrplan des Abwasserbetriebs in Zukunft umzusetzen. Dieser ist bereits detailliert ausgearbeitet und müsste höchstens in Anbetracht der in der Zwischenzeit hinzugekommen technischen Möglichkeiten und rechtlichen Vorschriften geringfügig angepasst werden.

Aus energetischer Sicht sind kurz- bis mittelfristig vor allem folgende Sanierungen besonders wichtig:

- **Hydrolyse-Verfahren**

Durch die Hydrolyse kann aus energetischer Sicht vor allem die Klärgas-Erzeugung und damit die Strom- und Wärmeerzeugung angehoben werden. Überschüssiger Strom kann gespeichert oder einfach in das Stromnetz eingespeist werden und die Wärme kann die in relativer Hinsicht „CO₂-intensive“ Wärme der Biogasanlage ersetzen. Einhergehend mit dieser Maßnahme sollten jedoch auch die Gas-Speicherkapazitäten angepasst werden.

- **Vakuumentgasung**

Um die Gasausbeute weiter zu steigern, könnte auch mit relativ einfachen Mittel eine weitere Vakuumentgasung des Klärschlamm eingerichtet werden. Dies würde zum einen den Klärschlamm weiter entwässern und zum anderen den Klärgasanfall nochmals steigern.

- **Energiezentrale**

Ein weiterer wichtiger Schritt ist die Umgestaltung der dezentralen Energietechnik zu einer zusammenfassenden Energiezentrale. In diesem Zuge sollten auch die alten Klärgas-BHKW durch neue BHKW mit höheren Wirkungsgraden ersetzt werden.

- **Bandrockner für Klärschlamm**

Während der Klärschlamm vor allem im Winter mit den gegebenen Mitteln noch nicht optimal getrocknet werden kann, könnte ein ergänzender Bandrockner Abhilfe schaffen. Durch den weiteren Wasserentzug des Klärschlamm verringern sich die

Entsorgungskosten.

- **Betriebsgebäude und Werkstätten**

Es wurde festgestellt, dass die Betriebsgebäude und Werkstätten in die Jahre gekommen und sanierungsbedürftig sind. Diese könnten entweder saniert oder neu errichtet werden. Da die Gebäude heute weit auseinanderliegen und dies den Betrieb negativ beeinflusst, ist auch über einen Neubau nachzudenken. In beiden Fällen ist auf eine energieeffiziente Umsetzung zu achten. Im besten Fall werden bei einer Umsetzung Effizienzhauskriterien im Sinne der BEG (Bundesförderung für effiziente Gebäude) erfüllt. Der Minderbedarf an Wärme durch energetische Sanierung kann dann wiederum der effizienteren Klärschlamm Trocknung zu Gute kommen.

- **Grundsätzliches zu Maschinen und Antriebstechniken**

Ganz grundsätzlich sollten in Zukunft bei den anstehenden Wartungsarbeiten und bei Ausfällen energieeffiziente Techniken eingesetzt werden. Dies betrifft vor allem Pumpen und Motoren. Hier sollte weiterhin stets geprüft werden, ob effizientere Technologien als die bislang eingebauten am Markt erhältlich sind und diese sollten dann auch bevorzugt genutzt werden.

- **Nutzung der Abwärme aus dem Abwasser**

Im Stadtgebiet findet sich ein Potenzial für die Abwärmenutzung aus dem Abwasser in Höhe von insgesamt ca. 1.500 kW und 2.700 MWh/a. Bis zu 420 t Treibhausgase pro Jahr könnten bei der Nutzung eingespart werden. Dieses Potenzial sollte an geeigneten Stellen genutzt werden.

2. Abfall

2.1 Bestandsaufnahme

Bereits seit der Jahrtausendwende befassen sich die Abfallbetriebe der Kommunen vertieft mit Umweltschutz und Abfallvermeidung. Diese Bemühungen haben sich u.a. in der EU-Abfallrahmenrichtlinie und dem deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) niedergeschlagen. In Bayern wird das KrWG darüber hinaus in dem Bayerischen Abfallwirtschaftsgesetz (BayAbfG) konkretisiert. Verantwortlich für die Verwertung und Entsorgung der Abfälle sind die Gebietskörperschaften der Landkreise und kreisfreien Städte. Die Stadt Bayreuth ist damit selbst für die kommunalen Abfälle der Stadt verantwortlich. Gewerbliche Abfälle werden nicht durch die Gebietskörperschaft erfasst. Diese werden privat

entsorgt. Eine Auswertung dieser gewerblichen Abfälle ist im Rahmen der vorliegenden Potenzialanalyse nicht möglich.

Der Restmüll der Stadt Bayreuth wird in der Müllverbrennungsanlage Schwandorf thermisch verwertet. Die Asche aus der Verbrennung wird deponiert. Grundsätzlich setzen sich die kommunalen Abfälle aus den Abfällen der Haus- und Sperrmüllsammlungen, der Abfälle aus der Biotonne, den biologisch abbaubaren Garten- und Parkabfällen, den getrennt erfassten Wertstoffen und sonstigen Abfällen zusammen.

Für die Ablagerung von Inertabfällen, d. h. nicht brennbare, belastete Abfälle, dient die Reststoffdeponie Heinersgrund. Hier wurden bis 1982 (für Notfälle bis 1994) auch Hausmüll aus Stadt und Landkreis Bayreuth entsorgt. Die Bioabfälle werden in der Biotonne getrennt erfasst und zusammen mit dem Grüngut (Garten- und Parkabfälle) in der Kompostieranlage Am Buchstein kompostiert. Ebenso werden sonstige Wertstoffe über den Gelben Sack getrennt erfasst oder an den Wertstoffhöfen gesammelt.

Seit vielen Jahren bleiben die Abfallmengen in Bayreuth bei nahezu gleichbleibender Bevölkerung und fortwährenden Informationskampagnen auf gleichbleibendem Niveau (vgl. Abb. 13). Von kleineren Schwankungen abgesehen fallen insgesamt ca. 35.000 Tonnen Abfälle pro Jahr an. Darunter befinden sich ca. 15.000 Tonnen Haus- und Sperrmüll, ca. 4.500 Tonnen Abfälle aus der Biotonne, ca. 4.000 Tonnen Garten- und Parkabfälle, ca. 10.500 Tonnen getrennt erfasste Wertstoffe und ca. 140 Tonnen sonstige Abfälle. Bei den letztgenannten konnte die Erfassungsquote von insgesamt ca. 20 Tonnen pro Jahr im Jahr 2004 auf heute ca. 140 Tonnen pro Jahr gesteigert werden.

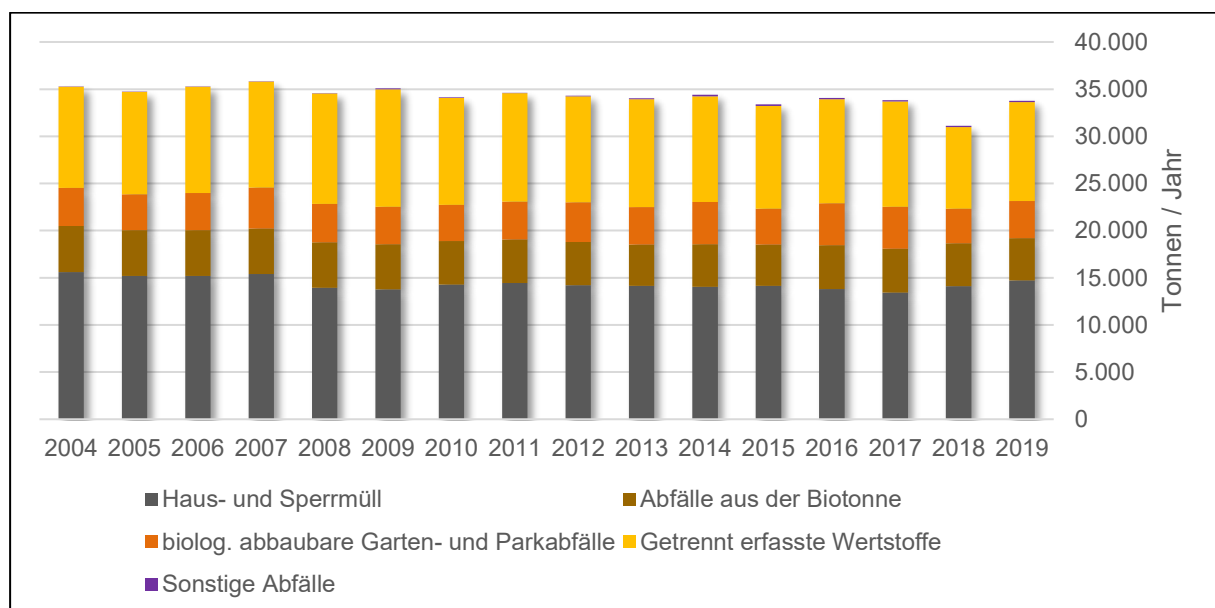


Abbildung 13: Aufkommen Haushaltsabfälle

(QUELLE: STATISTISCHE ÄMTER 2021)

Folgende Grafik unterstreicht die erfassten Abfallmengen je Einwohner. Diese sind seit 2004 bis auf geringe Schwankungen nahezu gleichgeblieben. Die tendenziell rückläufige Entwicklung ist kaum zu erkennen. Insgesamt werden je Einwohner ca. 451 kg Abfälle gesammelt. Hierunter fallen ca. 200 kg Haus- und Sperrmüll, ca. 60 kg Abfälle aus der Biotonne, ca. 50 kg Gartenabfälle, ca. 140 kg Wertstoffe und ca. 2 kg sonstige Abfälle pro Jahr.

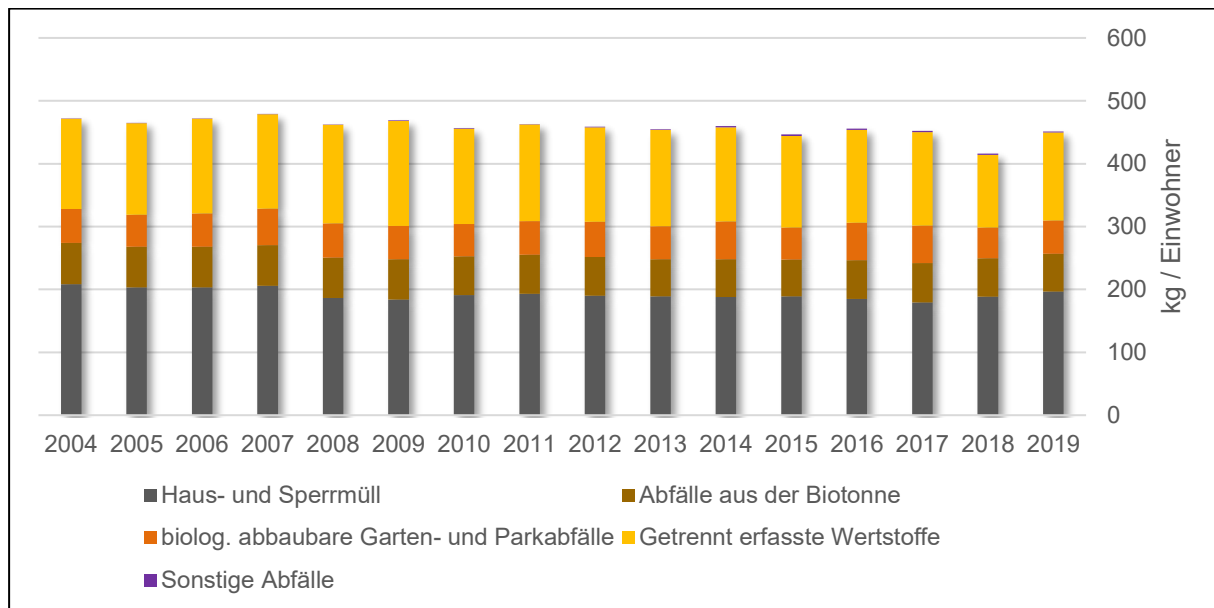


Abbildung 14: Aufkommen Haushaltsabfälle pro Einwohner

(QUELLE: STATISTISCHE ÄMTER 2021)

2.1.1 Quantitative Bewertung des vorhandenen Abfallaufkommens

In einem ersten Schritt lohnt es sich, die Abfallmengen mit weiteren Gebietskörperschaften in Deutschland zu vergleichen. Hier liegt Bayreuth (roter Punkt in Abb. 15) mit 451 kg/EW insgesamt im guten Mittelfeld. Der Mittelwert aller Gebietskörperschaften liegt bei 477 kg/EW.

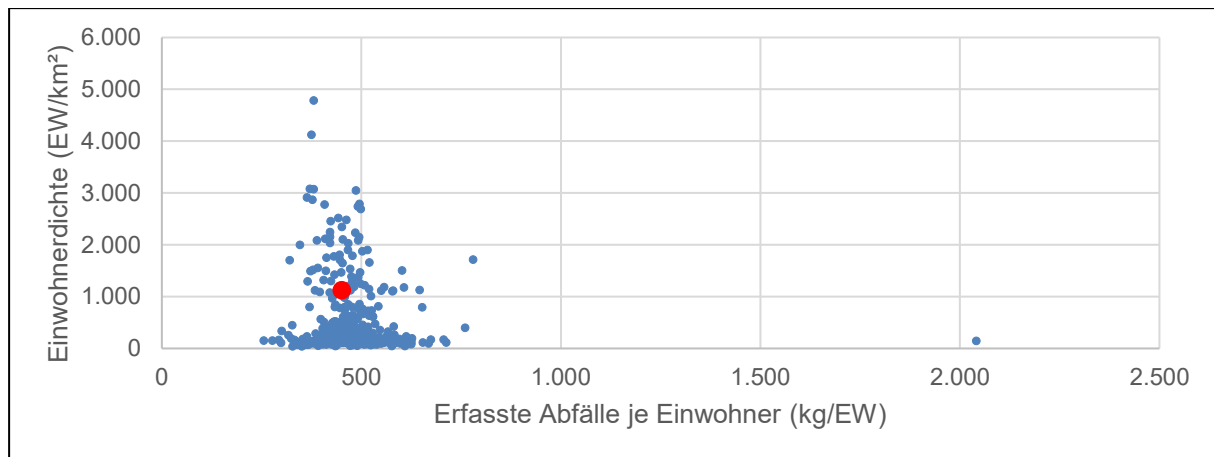


Abbildung 15: Insgesamt erfasste Abfälle je Einwohner in Abhängigkeit zur Einwohnerdichte nach Landkreisen und kreisfreien Städten (deutschlandweit)

(QUELLE: STATISTISCHE ÄMTER 2021; EIGENE BERECHNUNGEN EVF 2021)

Auch hinsichtlich der Einwohnerzahl ist Bayreuth (roter Punkt in Abb. 16) unauffällig. Es werden insgesamt ähnlich viele Abfälle gesammelt, wie in anderen Gebietskörperschaften ähnlicher Größe. Der Durchschnitt der erfassten Abfälle der vergleichbaren Größenklasse hinsichtlich Einwohnerdichte liegt bei ca. 488 kg/EW. Die geringe Abweichung lässt sich durch regionalspezifische Unterschiede und allgemeine Schwankungen erklären.

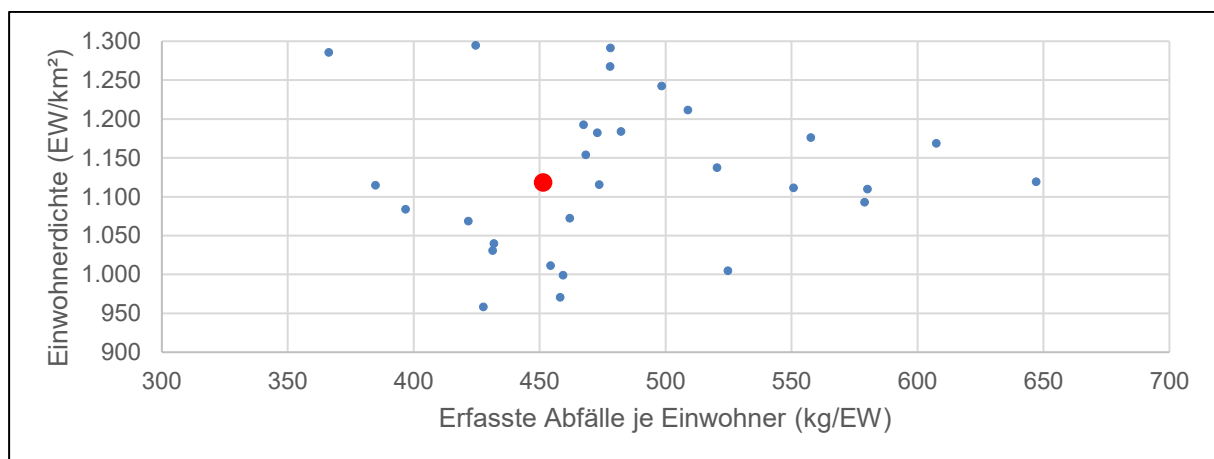


Abbildung 16: Insgesamt erfasste Abfälle je Einwohner in Abhängigkeit zur Einwohnerdichte nach Landkreisen und kreisfreien Städten (Einwohnerdichte von 900 - 1.300 EW/km²)

(QUELLE: STATISTISCHE ÄMTER 2021; EIGENE BERECHNUNGEN EVF 2021)

In Bayreuth werden damit also in etwa genauso viele Abfälle gesammelt wie in allen anderen Gebietskörperschaften Deutschlands. Es wird davon ausgegangen, dass weitgehend alle vorhandenen Haushaltsabfälle erfasst werden.

Da die Restabfälle bereits thermisch verwertet werden, soll im Folgenden ein Blick auf die bislang kompostierten biogenen Anteile geworfen werden. Diese können theoretisch noch einer Vergärung und Biogaserzeugung und damit einer energetischen Verwertung zugeführt werden.

Die Stadt Bayreuth sammelt insgesamt ca. 113 kg organische Abfälle (Bioabfälle und Grüngut) je Einwohner ein. Der bundesweite Durchschnitt beträgt 140 kg je Einwohner. Zum bundesweiten Durchschnitt zählen jedoch auch viele ländliche Gebietskörperschaften mit einer geringeren Einwohnerdichte, die erfahrungsgemäß häufig auch größere Mengen Grüngut erfassen als städtische Gebietskörperschaften. Die vergleichende Betrachtung soll deshalb auch differenziert mit Kommunen gleicher Einwohnerdichte erfolgen. Werden nur die Kommunen mit einer Einwohnerdichte von 900 bis 1.300 Einwohnern je Quadratkilometer betrachtet, sammeln diese bundesweit im Durchschnitt 124 kg organische Abfälle je Einwohner. Auch in diesem Zusammenhang erfasst die Stadt Bayreuth damit also bereits ähnlich viele organische Abfälle wie alle anderen Gebietskörperschaften gleicher Einwohnerdichte.

Werden wiederum nur die über die Biotonne erfassten Abfälle differenziert betrachtet, zeigt sich, dass auch hier Bayreuth mit ca. 60 kg/EW sehr nahe am Mittelwert liegt (63 kg/EW).

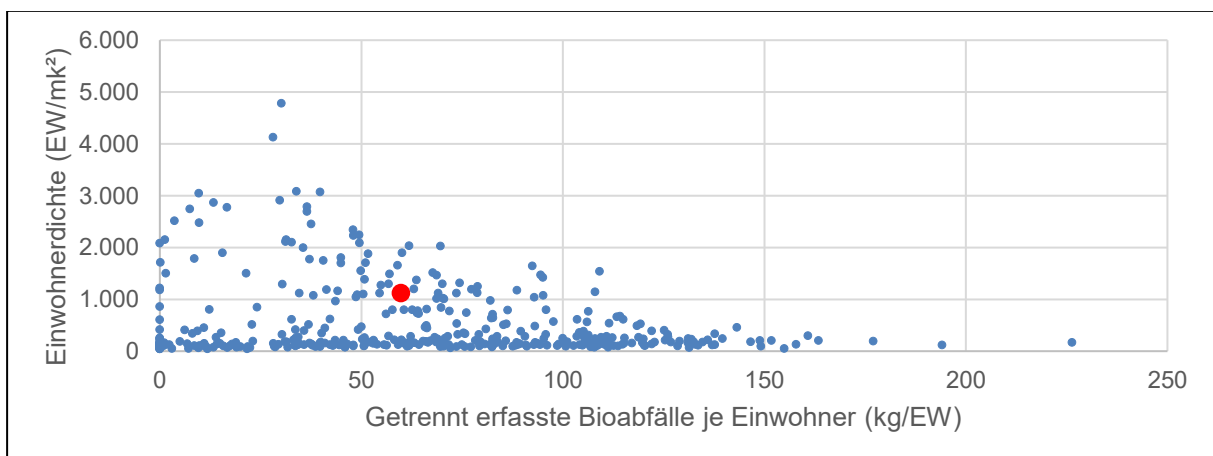


Abbildung 17: Getrennt erfasste Bioabfälle je Einwohner in Abhängigkeit zur Einwohnerdichte nach Landkreisen und kreisfreien Städten (deutschlandweit)

(QUELLE: STATISTISCHE ÄMTER 2021; EIGENE BERECHNUNGEN EVF 2021)

Im Direkten Vergleich mit anderen Gebietskörperschaften gleicher Einwohnerdichte zeigt sich ebenfalls, das Bayreuth mit 59,8 kg/EW stellvertretend genau den Mittelwert von 59,8 kg/EW vertritt.

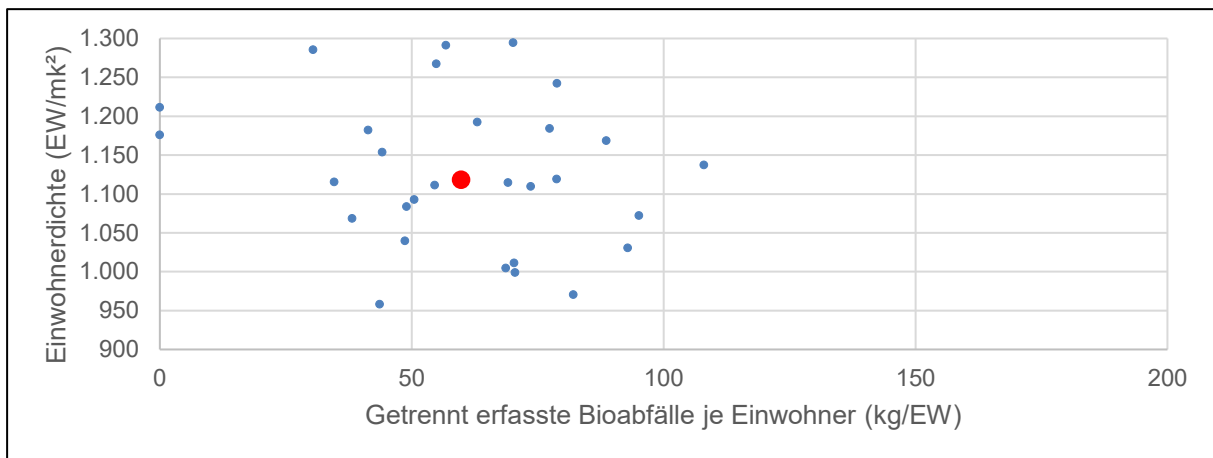


Abbildung 18: Getrennt erfasste Bioabfälle je Einwohner in Abhängigkeit zur Einwohnerdichte nach Landkreisen und kreisfreien Städten (Einwohnerdichte von 900 - 1.300 EW/km²)

(QUELLE: STATISTISCHE ÄMTER 2021; EIGENE BERECHNUNGEN EVF 2021)

Bei den sonstigen biologisch abbaubaren Garten- und Parkabfällen erfasst Bayreuth mit 53 kg/EW etwas weniger als der bundesdeutsche Durchschnitt aller Gebietskörperschaften mit insgesamt ca. 77 kg/EW im Jahr. Diese auf den ersten Blick vorhandene Diskrepanz könnte jedoch tatsächlich mit der Einwohnerdichte und den ansonsten vielen ländlichen Gebietskörperschaften zusammenhängen.

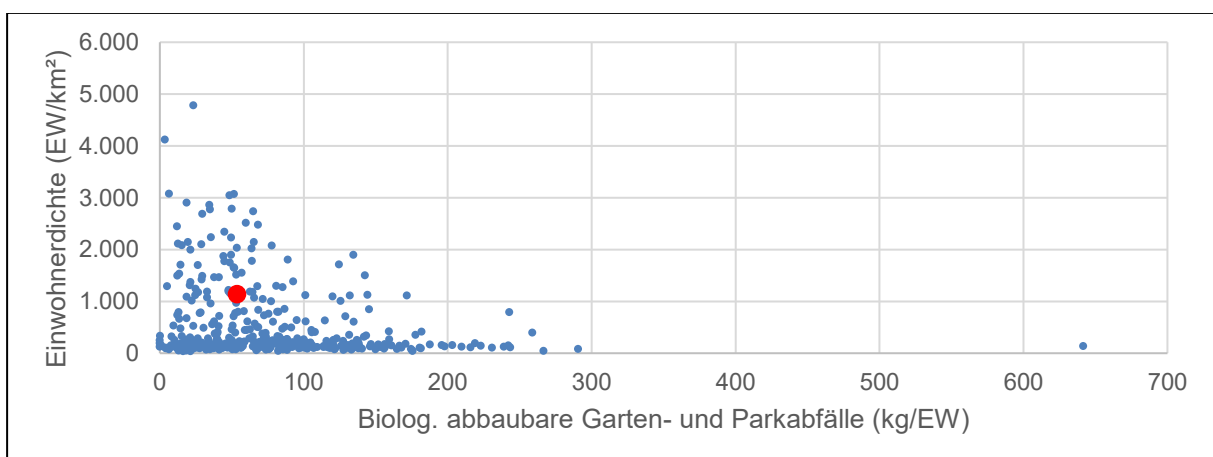


Abbildung 19: Biolog. abbaubare Garten- und Parkabfälle je Einwohner in Abhängigkeit zur Einwohnerdichte nach Landkreisen und kreisfreien Städten (deutschlandweit)

(QUELLE: STATISTISCHE ÄMTER 2021; EIGENE BERECHNUNGEN EVF 2021)

Im direkten Vergleich mit anderen Gebietskörperschaften gleicher Größe zeigt sich jedoch ebenfalls eine etwas geringere Erfassungsquote. Während in Bayreuth nur ca. 53 kg/EW erfasst werden, liegt der Durchschnitt der übrigen Gebietskörperschaften gleicher Einwohnerdichte bei ca. 65 kg/EW.

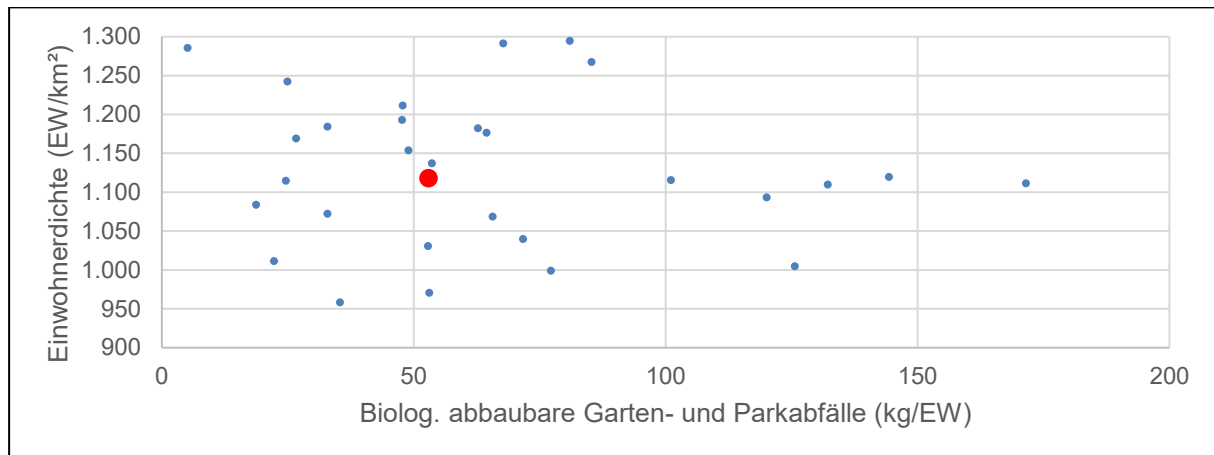


Abbildung 20: Biolog. abbaubare Garten- und Parkabfälle je Einwohner in Abhängigkeit zur Einwohnerdichte nach Landkreisen und kreisfreien Städten (Einwohnerdichte von 900 - 1.300 EW/km²)

(QUELLE: STATISTISCHE ÄMTER 2021; EIGENE BERECHNUNGEN EVF 2021)

2.1.2 Qualitative Bestandsaufnahme

Hinsichtlich der Zusammensetzung des Restabfalls wurde im Jahr 2018 eine entsprechende Analyse von der Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH durchgeführt. Dies kam in den untersuchten Stichproben zu dem Ergebnis, dass insgesamt immer noch etwa 55 % der Abfälle, die über den Restmüll erfasst werden, theoretisch über andere Erfassungssysteme verwertet werden könnten. Bei nur 45 % der Abfälle handelt es sich um genau diejenigen Abfälle, die über die Restmülltonne erfasst werden sollten. Praktisch lassen sich die Fehlerwürfe jedoch nur sehr schwer vermeiden. Dies liegt vor allem an der in der Praxis beobachtbaren Bequemlichkeit der Entsorgenden. Bei der Organik handelt es sich insbesondere um Küchen- und Nahrungsabfälle, sowie um verpackte Lebensmittel.

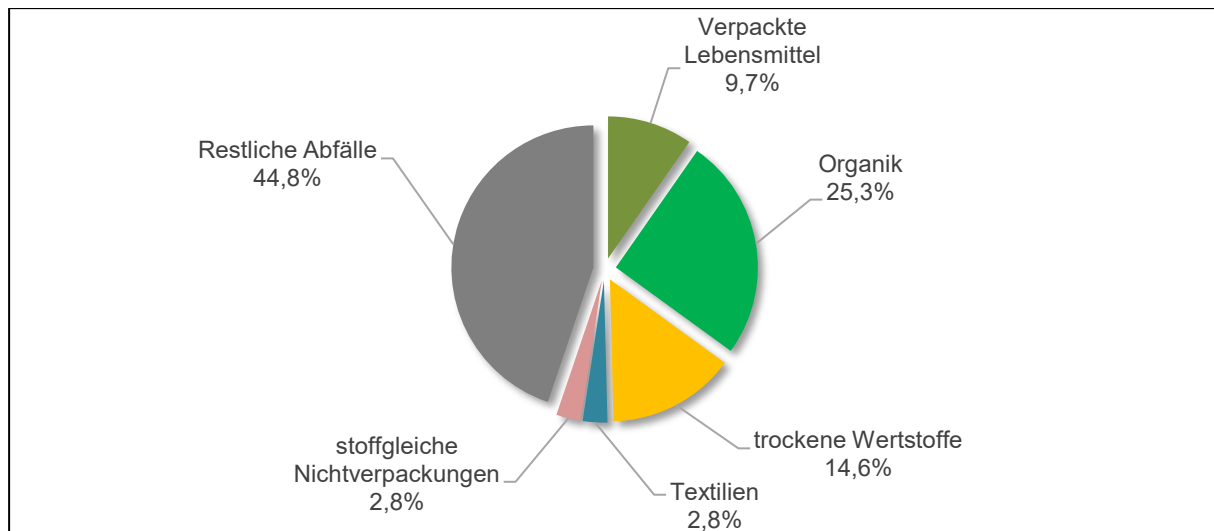


Abbildung 21: Zusammensetzung des Restmülls

(QUELLE: WITZENHAUSEN-INSTITUT 2018; EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

Auch bezüglich der an der Kompostanlage am Buchstein und den dort angelieferten biogenen Abfällen wurde von der Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH im Jahr 2016 bereits eine Biogutanalyse durchgeführt. Diese zeigt, dass in den Bioabfällen ca. 4,2 % Störstoffe enthalten sind.

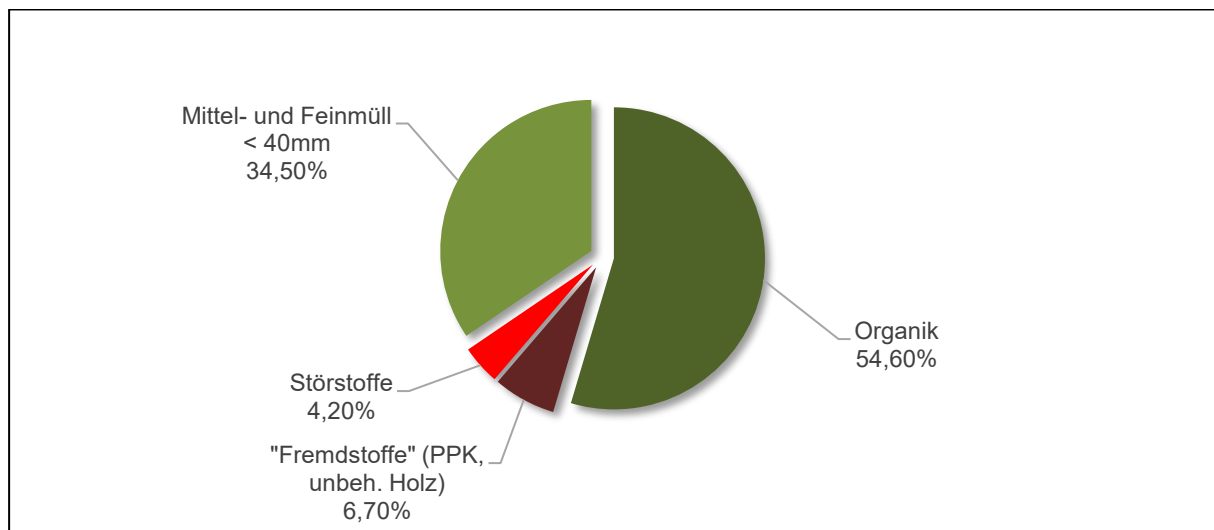


Abbildung 22: Zusammensetzung der Bioabfälle

(QUELLE: WITZENHAUSEN-INSTITUT 2016; EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

Grundsätzlich stammen diese Störstoffe, hauptsächlich Plastiktüten, hauptsächlich aus den innerstädtischen Gebieten und vom Stadtrand mit Mehrfamilienhausbebauung. Dort erreichen

die Störstoff-Quoten einen Anteil von bis zu 5 %. Die meisten Störstoffe wurden in der Bayreuther Innenstadt beobachtet. Der Anteil an Störstoffen beträgt hier zwischen 7 % bis über 9%. In den Gebieten mit Ein- und Zweifamilienhäusern und in den generell ländlichen Gebieten sind die Anteile von Störstoffen deutlich niedriger.

Aus diesem Grund wurden in der Vergangenheit bereits mehrere stichprobenartige Kampagnen für eine korrekte Trennung der Abfälle durchgeführt. Fehlwürfe wurden vor Ort festgestellt und die Entsorgenden auf das Fehlverhalten hingewiesen.

2.1.3 Abfallentsorgungsstrukturen

Die Abfälle werden in der Stadt Bayreuth getrennt erfasst. Für die meisten gängigen Haushaltsabfälle existieren sowohl Hol- als auch Bring-Systeme:

- **Rest- und Bioabfälle** werden im 14-tägigen Rhythmus im Hol-System entsorgt. Während der Restmüll über den Zweckverband Müllverwertung Schwandorf thermisch verwertet wird, werden die Bioabfälle an der Kompostanlage Am Buchstein kompostiert.
- **Grünabfälle** werden über die Biotonne (Hol-system) und 5x im Jahr im Rahmen der städtischen Gartenabfallsammlungen sowie direkt an den Kompostierungsanlagen Am Buchstein und Bindlacher Berg (bis 2m³ kostenfrei) entsorgt werden (Bring-System). Zudem besteht die Möglichkeit der Eigenkompostierung.
- Für das **Altpapier** stehen 72 Wertstoffsammelplätze im gesamten Stadtgebiet zur Verfügung (Bring-System). Eine weitere Möglichkeit sind blaue Tonnen (Hol-System), die im 4-wöchentlichen Rhythmus geleert werden. Dabei handelt es sich jedoch nicht um ein städtisches Angebot.
- Für **Altglas** stehen im Stadtgebiet ebenfalls im gesamten Stadtgebiet auf den Wertstoffsammelplätzen Glascontainer zur Verfügung (Bring-System).
- **Leichtverpackungen** werden über den „Gelben Sack“ im 4-wöchentlichen Rhythmus erfasst (Hol-System); **Metalldosen** werden über Sammelcontainer an den Wertstoffsammelplätzen erfasst (Bring-System). Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Verpackungen im Wertstoffhof abzugeben.
- Bürger können **Sperrmüll** 2x im Jahr kostenlos abholen lassen (Hol-System) oder bei der Müllumladestation Bayreuth abgeben (Bring-System).
- **Altkleider** können in vielerorts von unterschiedlichen Anbietern aufgestellten Altkleidercontainern entsorgt werden.
- **Schadstoffe und Problemüll aus privaten Haushalten** können kostenlos am Wertstoffhof abgegeben werden (Bring-System).
- **Elektrogeräte** können kostenlos am Wertstoffhof entsorgt werden (Bring-System). Großgeräte können auch mit der Sperrmüllabfuhr entsorgt werden (Hol-System).

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass vor allem die Hol-Systeme sehr komfortabel für den Entsorgenden sind und die Abfuhrintervalle mit denen anderer Gebietskörperschaften durchaus vergleichbar sind.

Als generelle Abfallvermeidungsstrategie für Grün- und Bioabfälle werden darüber hinaus Kompostbehälter und damit die Eigenkompostierung bezuschusst. Ebenso bezuschusst werden schon seit 1996 der Kauf von Mehrwegwindeln und der Kauf eines Gartenhäckslers. Mit Öffentlichkeitskampagnen wie „Bio? Logisch ohne Plastik!“, oder Bioabfallheften für Schulen wird versucht, die Bevölkerung für die korrekte Trennung der Abfälle zu sensibilisieren. Die Umweltkampagne „Let's Go Mehrweg“ beabsichtigt weiterhin, Abfälle zu vermeiden. Das Angebot einer Abfall-App erinnert die Bürger an Abfuhrtermine und klärt über die korrekte Mülltrennung auf und gibt wertvolle Tipps für einzelne Entsorgungswege (Abfall-ABC).

2.2 Potenzialanalyse

2.2.1 Bewertung des Potenzials des Organikanteils im Restabfall

Wie oben bereits geschildert, befinden sich im Restabfall noch ca. 35 % organische Anteile. Diese setzen sich aus 9,7 % verpackten Lebensmitteln, 14,1 % Küchenabfälle, 7,7 % Nahrungsabfälle, 3 % Gartenabfälle und 0,5 % sonstige Organik (WITZENHAUSEN-INSTITUT 2018). Damit werden immerhin ca. 5.000 t biogene Abfälle pro Jahr über die Restmülltonne entsorgt, die eigentlich über die Biotonne getrennt erfasst werden sollten. Die Gründe hierin liegen i.d.R. vor allem in der Bequemlichkeit der Entsorgenden und ggf. aber auch an noch nicht ausreichenden Informationskampagnen zur Aufklärung und Animation zur Mülltrennung.

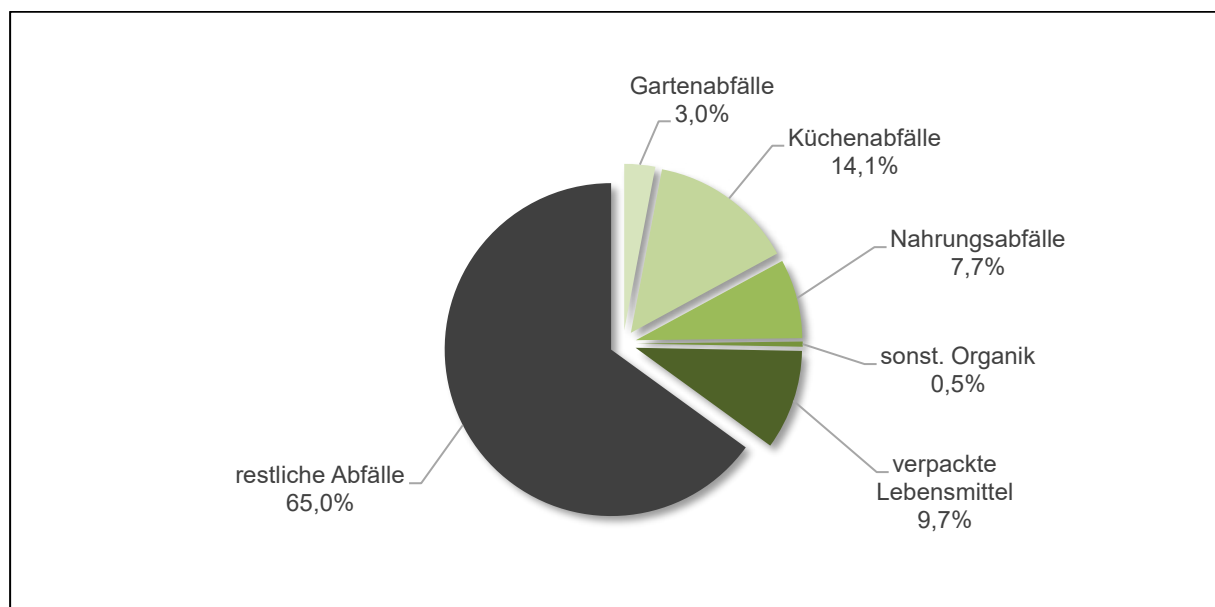


Abbildung 23: Organikpotenzial im Restabfall

Die biogenen Anteile des Restmülls werden heute aber auch bereits energetisch in einer Müllverbrennungsanlage verwertet. Dabei wird sowohl Strom, als auch Wärme für ein örtliches Wärmenetze am Standort des Müllheizkraftwerks erzeugt. Sie werden also bereits energetisch genutzt.

Theoretisch könnte die Stadt Bayreuth versuchen, die biogenen Anteile durch Maßnahmen, die eine bessere Trennung erzielen, selbst zu erfassen und dann z.B. mit einer Bioabfallvergärungsanlage auf dem eigenen Stadtgebiet in Strom und Wärme umwandeln. Zum einen würden die damit erfassten Mengen biogener Abfälle aber selbst zusammen mit den bereits heute erfassten Mengen aus der Biotonne (insgesamt maximal ca. 9.500 t) für einen wirtschaftlichen Betrieb nicht ausreichen (es wären mindestens etwa 5x so große Mengen für den wirtschaftlichen Betrieb einer eigenen Vergärungsanlage notwendig), und zum anderen würden die biogenen Abfälle aus der Restmülltonne dann auch nur an einer anderen Stelle genutzt werden. Dennoch würden die biogenen Abfälle im Gegensatz zur gemeinsamen Müllverbrennung mit den Restabfällen nach einer Vergärung und anschließender Kompostierung dem Stoffkreislauf zurückgeführt werden können. Die so entstehenden Gärreste müssten nicht zusammen mit den Restabfall-Schlacken auf Deponien eingelagert werden.

2.2.2 Alternative Nutzung der heute bereits getrennt erfassten Bioabfälle

Weiterhin werden die getrennt erfassten Bioabfälle aus der Biotonne heute unter Einsatz von Energie kompostiert und noch nicht energetisch verwertet. Bei den heute bereits getrennt erfassten Bioabfällen handelt es sich um ca. 4.500 t/a. Durch Maßnahmen, die mehr biogene Anteile aus der Restmülltonne in die getrennte Erfassung über die Biotonne verlagern, könnte die gesamte Menge getrennt erfasster Bioabfälle vermutlich auf über 5.000 t/a ansteigen. In einer Gemeinschaft mit anderen Gebietskörperschaften könnte dann ggf. eine gemeinsame Bioabfallvergärungsanlage betrieben werden (ähnlich wie die gemeinsame Müllverbrennungsanlage). Die Bioabfallvergärungsanlage könnte dann wie eine Biogasanlage sowohl Strom als auch Wärme für ein Fernwärmesystem erzeugen. An einem geeigneten Standort könnte das erzeugte Biogas sogar aufbereitet und so konditioniert werden, um in das Erdgasnetz als Biomethan eingespeist werden zu können. Dabei sollten insgesamt jedoch größere Mengen Bioabfälle (ab ca. 50.000 t/a [Erfahrungswert der Autoren]) für eine solche gemeinsame Bioabfallvergärungsanlage akquiriert werden.

Diese Möglichkeit wurde bereits im Rahmen des Zweckverbandes Müllverbrennung Schwandorf untersucht. Die Realisierung ist zum Zeitpunkt der Untersuchung an der

Unwirtschaftlichkeit, dem Standort und den Transportwegen einer zentralen Vergärungsanlage im Verbandsgebiet gescheitert.

2.2.3 Erneuerbare Energien an der Reststoffdeponie Heinersgrund

Die Reststoffdeponie Heinersgrund ist eine Deponie der Klasse 2 und wird vom Stadtbauhof Bayreuth betrieben. Während früher auch Haushaltsabfälle deponiert wurden, werden heute nur noch belastete Inertabfälle eingelagert.

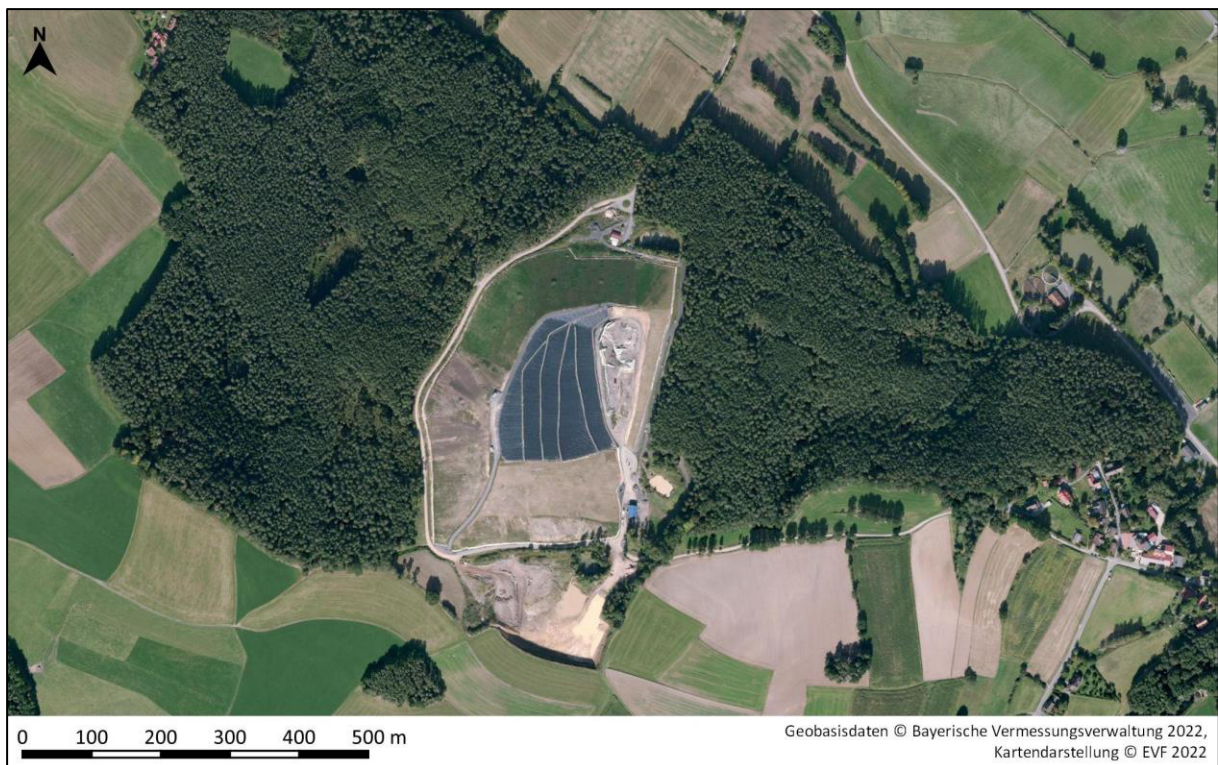


Abbildung 24: Reststoffdeponie Heinersgrund

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

Bei den Recherchen wurden an der Deponie dennoch Potenziale für die Nutzung erneuerbarer Energien ermittelt. Diese sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

2.2.3.1 Energetische Nutzung des Deponiegases

Bereits seit 1991 wird an der Deponie Deponiegas aktiv erfasst. Während dieses in der Vergangenheit bei höheren Gaserträgen mittels BHKW verstromt wurde, wurde die Verstromung im Jahr 2004 wegen sinkender Gaserträge deinstalliert. Seitdem wird das Deponiegas, welches heute noch zu etwa 30-40% aus dem brennbaren Treibhausgas Methan

besteht, abgefackelt. Statt dem äußerst klimawirksamen Treibhausgas Methan wird durch das Abfackeln das weniger klimawirksame Treibhausgas CO₂ emittiert. Das Methan wird damit heute jedoch nicht mehr energetisch genutzt. Aus technischer Sicht kann dieses jedoch nach wie vor genutzt werden. Immerhin werden jährlich ca. 200.000 m³ Deponiegas mit einem Methangehalt von ca. 30-40% abgefackelt. Das abgefackelte Gas weist damit einen Energiegehalt von ca. 700 MWh auf, die mittels BHKW in ca. 245 MWh Strom (angenommener elektrischer Wirkungsgrad in Höhe von ca. 35 %) und 385 MWh Wärme (angenommener thermischer Wirkungsgrad in Höhe von ca. 55 %) umgewandelt und genutzt werden könnten.

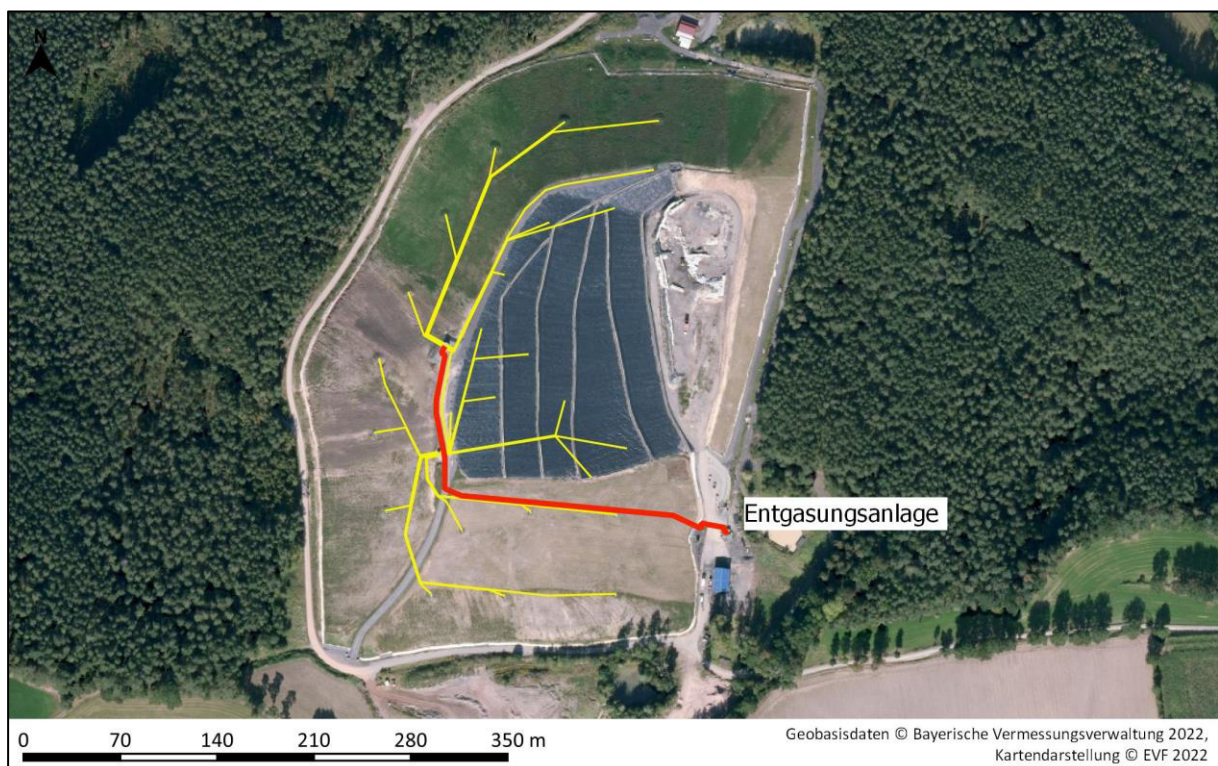


Abbildung 25: Gasauffangsystem an der Reststoffdeponie Heinersgrund

(QUELLE: STADT BAYREUTH 2021B; EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

Zwar würden auch bei der Verbrennung des Methans in einem Deponiegas-BHKW dieselben CO₂-Emissionen entstehen, wie aktuell durch das Abfackeln entstehen, jedoch könnte durch die Stromerzeugung CO₂-intensiver Strom aus dem deutschen Kraftwerk-Park-Mix substituiert werden. **Damit könnten ca. 100 t Treibhausgase pro Jahr vermieden werden.**

Leider besteht in diesem Zusammenhang vor Ort an der Deponie kein größerer Wärmebedarf, durch den zusätzliche Erlöse (oder Einsparungen) generiert werden könnten. Allein aus den Erlösen der Deponiegas-Verstromung kann unter den aktuellen Rahmenbedingungen kein

wirtschaftlicher Betrieb eines Deponiegas-BHKW eingerichtet werden. Die mit der Verstromung im Zusammenhang stehenden Kosten können nicht durch die Einspeiseerlöse (weder nach EEG, noch nach KWKG) aufgefangen werden. Den Investitionskosten für technische Anlagenteile wie Gastrocknung, Gasreinigung, Gasverdichter, BHKW, Einhausung, Fackelanlagen für Not- und Dauerbetrieb, Fundamentierung, etc. in Höhe von ca. 300.000 € stehen jährliche Erlöse in Höhe von ca. 25.000 € (EEG-Vergütung) bzw. ca. 30.000 € (KWKG) gegenüber. Bei einer erwartbaren Lebensdauer des Deponiegas-BHKW von 10 Jahren würden sich gerade so die Investitionskosten amortisieren. Nach den ersten 10 Betriebsjahren muss das BHKW i.d.R. kostenintensiv generalüberholt und Verschleißteile erneuert werden. Hinzu kommen aber auch noch Wartungs-, Betriebsführungs- und Zinskosten. Darüber hinaus ist in Zukunft mit sinkenden Gaserträgen und damit auch mit sinkenden Einspeiseerlösen zu rechnen, da keine neuen biogenen Abfälle eingelagert werden, die vergären und damit Deponiegas erzeugen können.

Neben einer direkten energetischen Nutzung an der Deponie würde theoretisch auch die Aufbereitung und Konditionierung des im Deponiegas enthaltenen Methans zu Erdgas und dessen Einspeisung in das Erdgasnetz in Frage kommen. Hierfür sind jedoch die Deponiegasmengen aus wirtschaftlicher Sicht deutlich zu klein und die Kosten für eine entsprechende Aufbereitungsanlage und der Anschluss an das Erdgasnetz im Verhältnis zu hoch.

2.2.3.2 Photovoltaikanlage auf den stillgelegten Flächen

Neben dem Deponiegas bieten sich auch die ungenutzten Flächen der Deponie für die Erzeugung von Strom mit Photovoltaikanlagen (PV) an. In diesem Zusammenhang sieht auch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) Abfalldeponien und ähnliche Konversionsflächen als besonders privilegierte Flächen für PV-Anlagen an. Die hierfür geeigneten Flächen gehen aus der folgenden Abbildung hervor.

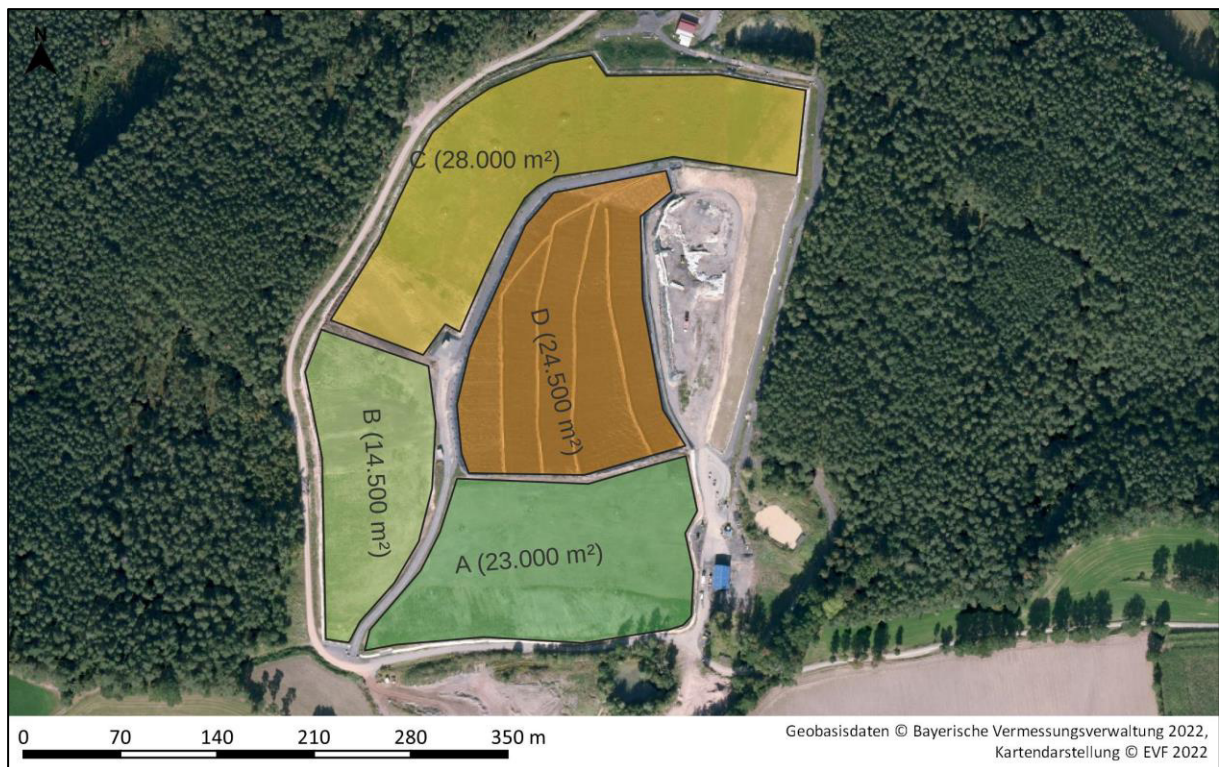


Abbildung 26: Potenzialflächen für PV-Anlagen an der Reststoffdeponie Heinersgrund

(QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG EVF 2022)

Bei den dargestellten Potenzialflächen ist hinsichtlich der Eignung jedoch auch Hangneigung und die Ausrichtung zur Sonne von Bedeutung. Der Deponiekörper stellt eine Anhöhe von ca. 20 Metern Höhe dar und die Potenzialflächen befinden sich an dessen seitlichen Flanken. Die am besten geeignete Fläche ist Fläche A. Diese ist nahezu optimal nach Süden ausgerichtet. Fläche B ist auch noch relativ gut nach Westsüdwest ausgerichtet. Fläche C dagegen ist in einem etwas geringeren Gefälle nach Nordwest ausgerichtet. Die Module müssten hier im passenden Abstand zueinander in einer besseren Ausrichtung zur Sonne aufgerichtet werden. Mittel- bis langfristig würde theoretisch auch Fläche D zur Verfügung stehen, wenn diese abgedeckt wird. Diese ist leicht nach Nord ausgerichtet, weist jedoch ein noch geringeres Gefälle auf. Aber auch hier sollten die Module in einem passenden Abstand zueinander und zur Sonne ausgerichtet installiert werden. Theoretisch könnten insgesamt ca. 90.000 m² für die Stromerzeugung mit PV-Anlagen genutzt werden. Das Potenzial ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 2: Potenzial für erneuerbaren Strom aus PV-Anlagen an der Deponie Heinersgrund

Flächenbez.	Ausrichtung	Fläche	Potenzial Leistung	Potenzial Arbeit
A	Süd	23.000 m ²	ca. 4.000 kW	ca. 4.000 MWh/a
B	West-südwest	14.500 m ²	ca. 2.500 kW	ca. 2.000 MWh/a
C	Nordwest	28.000 m ²	ca. 1.500 kW	ca. 1.500 MWh/a
D	Nord	24.500 m ²	ca. 2.000 kW	ca. 2.000 MWh/a
Summe		90.000 m²	ca. 10.000 kW	ca. 9.500 MWh/a

(QUELLE: EIGENE BERECHNUNGEN EVF 2022)

Das Gesamtpotenzial beläuft sich damit in Abhängigkeit zur Effizienz der gewählten Module auf bis zu ca. 10 MW Leistung und ca. 9.500 MWh erneuerbaren Strom pro Jahr. Das Potenzial entspricht damit etwa dem einer großen modernen Windkraftanlage. Mit dem erzeugten Strom könnten bilanziell etwa 2.700 durchschnittliche 3-Personen-Haushalte (Stromverbrauch ca. 3.500 kWh/a) versorgt werden. Da durch den erneuerbaren Strom CO₂-intensiver Strom aus dem deutschen Kraftwerk-Park-Mix verdrängt wird, **könnten bis zu ca. 3.000 t Treibhausgase pro Jahr eingespart werden**. Die Fläche D kann heute jedoch noch nicht genutzt werden und steht nur mittel- bis langfristig zur Verfügung.

In allen Varianten ist bezüglich der Montage eine Unterkonstruktion zu wählen, die das Gasauffangsystem nicht beschädigt. Entsprechende Systeme sind am Markt erhältlich. Die Investitionskosten liegen deshalb tendenziell jedoch etwas höher als bei konventionellen Freiflächen-PV-Anlagen. Die Deponie ist auch relativ gut an das Stromnetz angeschlossen. Theoretisch könnte sogar eine kleinere Anlage mit bis zu 750 kW ohne großen Einspeiseweg vor Ort an das Stromnetz angeschlossen werden. Erste Untersuchungen haben aber gezeigt, dass größere Anlagen jedoch an einem weiter entfernten Netzverknüpfungspunkt angeschlossen werden müssten. Möglich wäre dies u.a. im 2 km entfernten Harsdorf oder im 5 km entfernten Unterkonnnersreuth/Heinersreuth. Das nächstgelegene Umspannwerk liegt im Stadtgebiet Bayreuths, ebenfalls ca. 5,5 km entfernt.

2.3 Empfehlungen

Die Abfälle der Stadt Bayreuth und deren Erfassungsquoten sind unauffällig. Es werden etwa genauso viele Abfälle je Einwohner erfasst wie in anderen Gebietskörperschaften.

Ansatzpunkte und Einsparpotenziale werden vor allem in folgenden Bereichen gesehen:

- **Intensivierte Aufklärungsarbeit und Informationskampagnen**

Die Abfall-App und die Informationskampagnen mit Plakaten klären die Bürger eigentlich über die korrekte Trennung der Abfälle auf. Um weitere Fehlwürfe zu vermeiden sind größere Anstrengungen notwendig. **Die laufende Aufklärungsarbeit und Informationskampagnen sollten auf jeden Fall beibehalten werden und eher weiter intensiviert werden.**

Darüber hinaus erfasst die Stadt Bayreuth in den letzten Jahren gleichbleibende Abfallmengen je Einwohner auch über die einzelnen Abfallfraktionen hinweg. Dabei wurde festgestellt, dass in der Restmülltonne größere Mengen Fehlwürfe vorhanden sind. Auch dies zeigt, dass weiterer Aufklärungsbedarf für das korrekte Trennen der Abfälle vorhanden ist.

Insbesondere im Umfeld der Studentenwohnheime wurden darüber hinaus die höchsten Fehlwurfquoten in der Biotonne ermittelt. Hier sollte eine gezielte Kampagne durchgeführt werden. Auf Grund der höheren Fluktuation der Anwohner sollte insbesondere diese Kampagne fortwährend und gezielt durchgeführt werden.

- **Optimierung der Entsorgungsstrukturen in der Innenstadt und in Wohngebieten mit Mehrfamilienhausbebauung**

Es wurde festgestellt, dass insbesondere in der Innenstadt, sowie in Gebieten mit Mehrfamilienhausbebauung höhere Quoten mit Fehlwürfen in der Biotonne entstehen. An diesen Stellen sollte das Erfassungssystem optimiert werden. In der Innenstadt könnten beispielsweise gut sichtbare, farblich leicht auseinanderzuhaltende, ggf. mit Infotafeln beschriftete getrennte Container aufgestellt werden. Im Bereich der Mehrfamilienhausbebauung sollten die Informationskampagnen erweitert werden.

- **Energieerzeugung aus Bioabfällen**

Die Bioabfälle werden heute noch unter Einsatz von Energie kompostiert. Durch eine Vergärung in einer Bioabfallvergärungsanlage könnte Biogas erzeugt und in Wärme und Strom umgewandelt werden. Die hygienisierten Gärreste können im Anschluss mit den Grün- und Gartenabfällen zusammen kompostiert werden. Die Kompostierung wäre dann sogar weniger energieaufwendig, da sich eine Hygienisierung erübrigen würde. Im besten Fall kann das Biogas zu Biomethan aufbereitet und konditioniert werden und fossiles Erdgas im Erdgasnetz substituieren. Dabei sollte zunächst versucht werden, durch entsprechende Informationskampagnen den Anteil in der Biotonne erfasster biogener Abfälle zu erhöhen. Aber selbst, wenn alle biogenen Anteile aus der Restmülltonne erfasst würden, würden die Mengen der Stadt Bayreuth für eine eigene Bioabfallvergärungsanlage noch nicht ausreichen. Es müsste also eine Kooperation (Zweckverband, o.ä.) mit anderen Gebietskörperschaften initiiert werden, um eine

gemeinsame energetische Verwertungsanlage aufbauen zu können.

Könnten die potentiell erfassbaren ca. 5.000 t Bioabfälle pro Jahr der Stadt Bayreuth in einer Bioabfallvergärungsanlage in Biomethan umgewandelt und damit Erdgas im Erdgasnetz ersetzen, könnten ca. 3.000 MWh Erdgas für ca. 130 Haushalte (ca. 25 MWh/Haushalt) durch Biomethan substituiert und insgesamt ca. 650 Tonnen THG/a eingespart werden.

- **Nutzung des Standorts der Restmülldeponie Heinersgrund**

Die von der Stadt betriebene Restmülldeponie Heinersgrund bietet theoretisch zwei Möglichkeiten, Energie aus erneuerbaren Quellen zu nutzen. Einmal könnten die unterirdisch vorhandenen verbliebenen Mengen Deponiegas, die die nächsten Jahre weiter entstehen werden, in einer KWK-Anlage genutzt werden. Andererseits bieten die oberirdischen Flächen die Möglichkeit, PV-Anlagen mit relativ großer Leistung zu installieren.

Die überschlägige Berechnung zum Deponiegas-BHKW hat gezeigt, dass die aktuellen Rahmenbedingungen eher schlecht stehen. Ein Betrieb wäre aller Voraussicht nach unwirtschaftlich. Dennoch sollte die weitere Entwicklung insbesondere im Zusammenhang mit der im Jahr 2021 neu gewählten und nun eher progressiven Bundesregierung weiter beobachtet werden. Ggf. ändern sich die gesetzlichen und fördertechnischen Rahmenbedingungen in relativ kurzer Zeit und der Betrieb des Deponiegas-BHKW könnte wieder wirtschaftlich werden. In einem Klimaschutz-Controlling sollten die Rahmenbedingungen fortwährend geprüft werden und bei günstigen Bedingungen kann die Maßnahme wirtschaftlich umgesetzt werden. Bezüglich der Nutzung durch eine PV-Anlage bietet die Deponie grundsätzlich ausreichend große Freiflächen, um eine größere Anlage zu errichten. Dabei wird der Deponiekörper auch vom Erneuerbare-Energien-Gesetz bereits als besonders privilegierte Fläche für PV-Anlagen angesehen. Die Wirtschaftlichkeit hängt hier maßgeblich von den Investitionskosten für die Einspeiseleitung ab. Es wird wegen der großen zur Verfügung stehenden Fläche grundsätzlich davon ausgegangen, dass eine PV-Anlage auf dem Deponiekörper wirtschaftlich betrieben werden kann. Es sollten von verschiedenen Anbietern Angebote eingeholt werden, die auch die Wirtschaftlichkeit des Betriebs darstellen.

Verwendete Abkürzungen

Abkürzungen allgemein

BISKO	Bilanzierungssystematik Kommunal
BHKW	Blockheizkraftwerk
°C	Grad Celsius
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EW	Einwohner (-gleichwerte -Abwasser)
°K	Grad Kelvin
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KW-Park-Mix	Kraftwerk-Park-Mix
MAP-Fällung	Magnesium-Ammonium-Phosphat-Fällung
Mio.	Millionen
PKW	Personenkraftwagen
P-Speicherung	Phosphor-Speicherung
PV	Photovoltaik
t	Tonne
THG	Treibhausgase
SBR	Sequencing-Batch-Reactor

Abkürzungen für Namen

EVF	EVF – Energievision Franken GmbH
StMELF	Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Gesetze und Verordnungen

BayAbfG	Bayerisches Abfallwirtschaftsgesetz
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz

Glossar

Anaerobbecken	Ein Becken, in welchem weder Sauerstoff in freier Form noch in gebundener Form als Stickstoffdioxid zur Verfügung steht
Adsorptive Verfahren	Die zu entfernenden Substanzen werden an die Oberfläche eines Festkörpers (Adsorbens) gebunden und können dann gemeinsam wieder entfernt werden. Hierbei wird häufig Aktivkohle genutzt.
Anoxisches Becken	Ein Becken, in welchem kein Sauerstoff in freier Form, unter Umständen jedoch gebunden in Stickstoffdioxid zur Verfügung steht
Deammonifikation	Ein Verfahren, um Stickstoff aus einem Gemisch zu entfernen. Hierbei wird das Ammonium zunächst vollständig in Nitrit und dann in Nitrat (Siehe Nitrifikation) umgewandelt. In der Folge wird das im Nitrat gebundene Stickstoff durch Bakterien zu molekularem Stickstoff umgewandelt und kann als Gas entweichen (Siehe Denitrifikation).
Denitrifikation	Verfahren zur Umwandlung des im Nitrat gebundenen Stickstoffs zu molekularem Stickstoff. Bakterien nutzen in Ermangelung von freiem Sauerstoff den im Nitrat gebunden Sauerstoff für ihren Stoffwechsel. Übrig bleibt der Stickstoff in molekularer gasförmiger Form, welcher dann entweichen kann.
Kraft-Wärme-Kopplungs-Prozess	Ein thermodynamischer Prozess, welcher parallel zu elektrischer bzw. mechanischer Energie auch nutzbare Wärme erzeugt.
Magnesium-Ammonium-Phosphat-Fällung (MAP-Fällung)	Chemisches Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor beispielsweise als Düngemittel. Durch Anhebung des pH-Wertes im Faulschlamm wird Magnesium-Ammonium-Phosphat in kristalliner Form ausgefällt. Nach einer entsprechenden Aufbereitung kann das MAP in der Folge als Dünger eingesetzt werden.
Nitrifikation	Verfahren zur Umwandlung von Ammonium zu Nitrat. Mit Hilfe von Sauerstoff aus der Umgebung wird in zwei Teilprozessen Ammonium zuerst zu Nitrit und dann zu Nitrat aufoxidiert.

Oxidative Verfahren

Die zu entfernenden Substanzen werden durch die Zugabe von Oxidationsmitteln chemisch verändert. Die ursprünglichen Spurenelemente verlieren dabei ihre ursprünglichen Eigenschaften und können unter Umständen leichter entfernt werden und/oder als Gas entweichen.

Literatur- und Quellenverzeichnis

AGROSCOPE 2012: Ökobilanz von Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART [Hrsg.], M. Alig et. Al. [Autoren], Basel, 2012.

COLMAN ET. AL. 2007: Red, white and ,green': the cost of carbon in the global wine trade. T. Colman et. Al. [Autoren]. American Association of Wine Economists [Hrsg.].

IFEU 2020: Ökologische Fußabdrücke von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IfEU) [Hrsg.]. G. Reinhardt et. Al. [Autoren]. Heidelberg, 2020.

STADT BAYREUTH 2019: Schlammbehandlung und Energiewirtschaft – Konzeptplanung vom 22.02.2019. Von der Stadt und dem städtischen Abwasserbetrieb für die vorliegenden Auswertungen übergeben. Stadt Bayreuth [Hrsg.], 2019

STADT BAYREUTH 2021A: Betriebsdaten der Kläranlage. Lose Sammlung von Rechnungen und technischen Angaben zur Kläranlage. Von der Stadt und dem städtischen Abwasserbetrieb für die vorliegenden Auswertungen übergeben. Stadt Bayreuth [Hrsg.], 2021

STADT BAYREUTH 2021B: Betriebsdaten und Informationen zur Reststoffdeponie Heinersgrund. Lose Sammlung von Berichten und technischen Angaben zur Reststoffdeponie. Von der Stadt und dem städtischen Abfallbetrieb für die vorliegenden Auswertungen übergeben. Stadt Bayreuth [Hrsg.], 2021

STATISTISCHE ÄMTER 2021: Regionaldatenbank der statistischen Ämter des Bundes und der Länder; Statistische Daten zum Abfallaufkommen in Bayreuth. Information und Technik Nordrhein-Westfalen (IT.NRW) [Hrsg.] im Auftrag der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, 2021

WEBERINGENIEURE 2010: Energieanalyse Kläranlage Bayreuth – Studie 2010. Weber Ingenieure GmbH [Hrsg.]. Dr.-Ing. U. Zettl et. Al. [Autor*in], Pforzheim, 2010. Von der Stadt Bayreuth zur Auswertung für die vorliegende Studie übergeben.

Witzenhausen-Institut 2016: Biogutanalyse in Stadt und Landkreis Bayreuth. Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH [Hrsg.], Dipl.-Ing. Dipl.-Geogr. H.-J. Siepenkothen [Autor]. Witzenhausen, 2016.

Witzenhausen-Institut 2018: Restabfallanalyse in der Stadt Bayreuth. Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH [Hrsg.], Dipl.-Ing. Dipl.-Geogr. H.-J. Siepenkothen [Autor]. Witzenhausen, 2018.

Wichtige Hinweise zu Nutzungs- und Urheberrechten sowie verwendeter Lizenzen Dritter

Folgende Lizenzen und Nutzungsbedingungen Dritter müssen bei einer Vervielfältigung, Veröffentlichung und/oder anderweitigen Nutzung des Energiekonzepts und/oder von Auszügen daraus unbedingt beachtet werden:

In Kartendarstellung wurden im Rahmen einer von der Bayerischen Vermessungsverwaltung bereitgestellten Creative Commons Namensnennung 3.0 Lizenz bestimmte Geodaten verwendet (z.B. Digitales Orthophoto, Digitales Geländemodell, etc.). Die Stellen wurden entsprechend gekennzeichnet. Die Nutzungsbedingungen und Lizenzbestimmungen sind auf der Homepage der Bayerischen Vermessungsverwaltung (<http://www.vermessung.bayern.de>) einsehbar und müssen bei einer Veröffentlichung und/oder Vervielfältigung unbedingt beachtet werden.

Darüber hinaus wurden vom Auftraggeber unter Beachtung der vereinbarten Nutzungsbedingungen bestimmte Geodaten verwendet, die einer Lizenz von der Bayerischen Vermessungsverwaltung unterliegen. Hierbei handelt es sich insbesondere um folgende Geodaten:

- Digitales Orthophoto 20cm (DOP20)
- Digitale Flurkarte (DFK)
- Tatsächliche Nutzung (TN)

Diese Daten wurden in einigen Kartendarstellungen unverändert und/oder durch die Darstellung von darauf aufbauenden Analysen verwendet. Die betreffenden Stellen wurden entsprechend gekennzeichnet. Sie dürfen nur im Rahmen des vorliegenden Klimaschutzkonzepts und unter Beachtung der damit in Verbindung stehenden Nutzungsbedingungen verwendet werden. Lizenznehmer ist der im Impressum genannte Auftraggeber. Ohne die ausdrückliche Zustimmung des im Impressum genannten

Auftraggebers und der Bayerischen Vermessungsverwaltung dürfen diese Daten nicht veröffentlicht, vervielfältigt und/oder anderweitig verwendet werden.

Weitere Informationen zur Lizenz und den Nutzungsbedingungen können bei dem im Impressum genannten Auftraggeber und bei der Bayerischen Vermessungsverwaltung (<http://www.vermessung.bayern.de>) eingeholt werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Luftbild der Kläranlage.....	6
Abbildung 2: Versorgungsgebiet der Bayreuther Kläranlage	7
Abbildung 3: Luftaufnahme des Kläranlagengeländes mit solarer Trocknung im Hintergrund ...	8
Abbildung 4: Anteil erneuerbarer Energien am Strombedarf der Kläranlage	10
Abbildung 5: Wesentliche Wärmeverbraucher der Kläranlage.....	11
Abbildung 6: Energie- und THG-Bilanz der Kläranlage Bayreuths	12
Abbildung 7: Entwicklung des Stromverbrauchs der Kläranlage in Bayreuth.....	13
Abbildung 8: Ausschnitt der Hauptabwasserkanäle im Stadtgebiet mit dem größten Durchfluss	20
Abbildung 9: Lageplan der sanierungsbedürftigen Gebäude an der Kläranlage	21
Abbildung 10: Klärwerk Bayreuth – Nutzungsdauer vorhandener Baukörper bis 2040	22
Abbildung 11: Klärwerk Bayreuth – Kostenprognose Sanierungsbedarf	23
Abbildung 12: Klärwerk Bayreuth – Kostenprognose Sanierungsbedarf – Teilsummen und Prioritäten	23
Abbildung 13: Aufkommen Haushaltsabfälle	26
Abbildung 14: Aufkommen Haushaltsabfälle pro Einwohner	27
Abbildung 15: Insgesamt erfasste Abfälle je Einwohner in Abhängigkeit zur Einwohnerdichte nach Landkreisen und kreisfreien Städten (deutschlandweit).....	28
Abbildung 16: Insgesamt erfasste Abfälle je Einwohner in Abhängigkeit zur Einwohnerdichte nach Landkreisen und kreisfreien Städten (Einwohnerdichte von 900 - 1.300 EW/km ²).....	28
Abbildung 17: Getrennt erfasste Bioabfälle je Einwohner in Abhängigkeit zur Einwohnerdichte nach Landkreisen und kreisfreien Städten (deutschlandweit).....	29

Abbildung 18: Getrennt erfasste Bioabfälle je Einwohner in Abhängigkeit zur Einwohnerdichte nach Landkreisen und kreisfreien Städten (Einwohnerdichte von 900 - 1.300 EW/km ²).....	30
Abbildung 19: Biolog. abbaubare Garten- und Parkabfälle je Einwohner in Abhängigkeit zur Einwohnerdichte nach Landkreisen und kreisfreien Städten (deutschlandweit).....	30
Abbildung 20: Biolog. abbaubare Garten- und Parkabfälle je Einwohner in Abhängigkeit zur Einwohnerdichte nach Landkreisen und kreisfreien Städten (Einwohnerdichte von 900 - 1.300 EW/km ²)	31
Abbildung 21: Zusammensetzung des Restmülls.....	32
Abbildung 22: Zusammensetzung der Bioabfälle.....	32
Abbildung 23: Organikpotenzial im Restabfall.....	34
Abbildung 24: Reststoffdeponie Heinersgrund.....	36
Abbildung 25: Gasauffangsystem an der Reststoffdeponie Heinersgrund.....	37
Abbildung 26: Potenzialflächen für PV-Anlagen an der Reststoffdeponie Heinersgrund.....	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht relativer Stromverbrauch der Kläranlage	14
Tabelle 2: Potenzial für erneuerbaren Strom aus PV-Anlagen an der Deponie Heinersgrund....	40