

# Fallstudie in der Stadt Schwabach

Ökoeffiziente Verwertung von Bioabfällen  
und Grüngut in Bayern

Auftraggeber

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt,  
und Gesundheit (StMUG)

Projekt-Nr.:

710183

Bearbeiter:

Thorsten Pitschke  
Siegfried Kreibe

Augsburg, April 2010



**Inhalt**

|     |                                                                                      |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | FALLSTUDIE 4: BIOABFALL- UND GRÜNGUTENTSORGUNG IN DER STADT SCHWABACH.....           | 1  |
| 1.1 | Beschreibung Ist-Situation.....                                                      | 1  |
| 1.2 | Analyse Ist-Situation.....                                                           | 3  |
| 1.3 | Analyse Einzelverfahren zur Bioabfall- und Grüngutentsorgung .....                   | 8  |
| 1.4 | Strategische Überlegungen zur Veränderung der Entsorgungsstruktur in Schwabach ..... | 13 |



# 1 Fallstudie 4: Bioabfall- und Grüngutentsorgung in der Stadt Schwabach

## 1.1 Beschreibung Ist-Situation

### 1.1.1 Mengen und Entsorgungswege

Die folgende Tabelle fasst die Eckdaten zur Entsorgung von Bioabfällen und Grüngut in der Stadt Schwabach zusammen.

Tabelle 1.1: Entsorgung von Bioabfällen und Grüngut in der Stadt Schwabach. Quellen: Angaben der Stadt Schwabach. Stand 2008.

| Parameter                         | Stadt Schwabach                                                                                                                                   |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Organisation der Entsorgung       | Erfassung in Eigenleistung und Entsorgung durch die Stadtdienste GmbH                                                                             |
| Einwohnerzahl                     | 38.705                                                                                                                                            |
| Gebietsstruktur                   | Städtisch (>500 und <1.750 EW/km <sup>2</sup> )                                                                                                   |
| Erfasste Bioabfall-Menge          | 3.057 t bzw. 78,9 kg/EW                                                                                                                           |
| Bioabfall -Erfassungssystem       | Flächendeckendes Holsystem                                                                                                                        |
| Erfasste Grüngut-Menge            | 4.678 t bzw. 120,8 kg/EW aus Haushalten und zusätzlich 1.149 t bzw. 29,6 kg/EW aus kommunaler Grünflächenpflege über die Stadt Schwabach entsorgt |
| Grüngut-Erfassungssystem          | Flächendeckendes Bringsystem                                                                                                                      |
| Erfasste Haus-/Geschäftsmüllmenge | 3.765 t bzw. 97,3 kg/EW                                                                                                                           |
| Anteil Bioabfall im Restmüll      | Annahme nach Sortieranalyse aus dem Jahr 2000: 21,6 % <sup>1</sup> bzw. 813 t                                                                     |
| Verwertungsweg Bioabfall          | Vergärung (100 %)                                                                                                                                 |
| Verwertungsweg Grüngut            | Kompostierung (100 %)                                                                                                                             |
| Verwertungsweg Restmüll           | MVA (100%)                                                                                                                                        |

Die im Holsystem erfassten Bioabfälle gehen vollständig der Vergärungsanlage der Stadtdienste GmbH in Schwabach zu. Aus dem angelieferten Material werden bezogen auf die Anliefermenge ca. 30 % im Stofflöser als strukturreiche Leichtfraktion abgetrennt. Dieses Material geht der Grüngutkompostierung am Standort zu.

Das über 8 ganzjährige, 11 saisonale Sammelstellen oder in Direktanlieferung erfasste Grüngut wird in der offenen Kompostieranlage des Entsorgungszentrum Schwabach behandelt

Die Restabfälle aus der Stadt Schwabach werden erfasst und anschließend, inklusive der darin enthaltenen biogenen Anteile, in der MVA Nürnberg beseitigt.

<sup>1</sup> Angabe ohne den Anteil des kompostierbaren Anteils aus dem Mittelmüll. Nach Angabe der Stadt Schwabach bestehen die organischen Abfälle fast ausschließlich aus Küchenabfällen.

Zur Erfassung der Abfälle durch der Stadt Schwabach sind die folgenden Transportleistungen notwendig:

- 17.259 km für das Einsammeln und den Transport zur MVA von 3.765 t Restabfall
- 13.791 km für das Einsammeln und den Transport zur Vergärungsanlage von 3.057 km t Bioabfall
- 2.631 km für den Transport von 5.827 t Grüngut<sup>2</sup> von den Sammelstellen zur Verwertungsanlage

## 1.1.2 Entsorgungsverfahren

Die Angaben zur Beschreibung der Verfahren für die Entsorgung der in der Stadt Schwabach erfassten Abfälle beruhen soweit verfügbar auf Angaben der Anlagenbetreiber. Für Parameter, zu denen die Anlagenbetreiber keine Informationen zur Verfügung stellen konnten, muss bifa in Näherung auf die Angaben zur Beschreibung eines durchschnittlichen Anlagenbetriebs aus der Basisstudie zurückgreifen.

### 1.1.2.1 Bioabfallvergärung (inkl. Abtrennung einer Grüngutfraktion)

Tabelle 1.2: Vergärung von Bioabfällen (inklusive der Abtrennung einer grüngutreichen Fraktion zur Kompostierung) aus der Stadt Schwabach. Quellen: Herstellerangaben und bifa-Basisstudie.

| Parameter     | Beschreibung                                                                                                                                                                                            |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technik       | Thermophile Nassvergärung. Die Anlage behandelt nahezu ausschließlich Bioabfälle                                                                                                                        |
| Abluftfassung | Geschlossenes System: Absaugung der Abluft in Zonen und Schleusen, zusätzlich Hallenabsaugung. Abpressen der Gärrückstände und Zwischenlagerung ebenfalls in der Halle. Abluftreinigung über Biofilter. |
| Emissionen    | Keine anlagenspezifischen Werte zur Beschreibung der Emissionen C-/N-haltiger Verbindungen verfügbar.                                                                                                   |

### 1.1.2.2 Grüngutkompostierung

Tabelle 1.3: Grüngutkompostierung in der Stadt Schwabach. Quellen: Herstellerangaben und bifa-Basisstudie.

| Parameter  | Kompostierungsanlage I                                                                                                                                                                                                          |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technik    | Das Grüngut wird gehäckselt und gelagert. Material aus der Vergärung wird nach dem Abladen auf der Rottefläche mit Häckselgut vermischt und zur Miete aufgesetzt und Abdeckung mit Häckselgut<br>Offene Mieten ohne Überdachung |
| Emissionen | Kompostierung von GG gemeinsam mit Bioabfällen<br>Keine anlagenspezifischen Werte zur Beschreibung der Emissionen C-/N-haltiger Verbindungen verfügbar                                                                          |

<sup>2</sup> Annahme: Es kommen Fahrzeuge zum Einsatz, die pro Fahrt 10,1 t Grüngut transportieren: Die Transportentfernung von der Grüngutsammelstelle zur Kompostierung beträgt dabei 5,7 km.

### 1.1.2.3 Entsorgung von Bioabfall als Teil des Restabfalls

Der Heizwert des Anteils organischen Abfalls im Restabfall wird in Analogie zur Basisstudie zu 5,1 MJ/kg angenommen. Die Wirkungsgrade der Nutzung der aus der thermischen Behandlung gewonnenen Energie in der MVA Nürnberg bezogen auf den Energiegehalt der organischen Abfälle sind:

- Strom 0%
- Fernwärme: 0%
- Prozessdampf: 67%

### 1.1.3 Kosten

Die folgende Übersicht fasst die Kosten zusammen, die der Stadt Schwabach für die Entsorgung von Bioabfall beziehungsweise Grüngut entstehen.

Tabelle 1.4: Übersicht Entsorgungskosten Stadt Schwabach. BA: Bioabfall, GG: Grüngut. Quelle: Angaben der Stadt Schwabach. Kursiver Text: Angaben nicht zur Veröffentlichung im Rahmen des Endberichtes zum Vorhaben bestimmt.

| Entsorgungsstruktur Stadt Schwabach      | Kosten [€/t] | Anmerkungen             |
|------------------------------------------|--------------|-------------------------|
| <i>Erfassung</i>                         |              |                         |
| Bioabfall als Teil des Restabfalls [€/t] | 135,35       | Quelle: Stadt Schwabach |
| Holsystem Bioabfall [€/t]                | 140,7        | Quelle: Stadt Schwabach |
| Bringsystem Grüngut [€/t]                | 29,4         | Quelle: Stadt Schwabach |
| <i>Entsorgung</i>                        |              |                         |
| MVA [€/t]                                | 190          | Quelle: Stadt Schwabach |
| Vergärung Bioabfall [€/t]                | 109,38       | Quelle: Stadt Schwabach |
| Grüngutkompostierung, offen [€/t]        | 39,02        | Quelle: Stadt Schwabach |

## 1.2 Analyse Ist-Situation

### 1.2.1 Erfasste Mengen

Die folgende Abbildung zeigt die im Stadtgebiet Schwabach erfassten, einwohnerbezogenen Mengen an Bioabfällen und Grüngut und stellt sie korrespondierenden Durchschnittswerten für Bayern gegenüber.

Tabelle 1.5: Erfasste BA-, GG- und Restabfallmengen. Stadt Schwabach und Bayern im Vergleich. Quellen: Angaben der Stadt Schwabach für 2008 und LfU-Abfallbilanz 2007.

| Fraktionen           | Stadt Schwabach                       | Bayern, städtisch                    | Bayern, gesamt                     |
|----------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Bioabfall [kg/EW*a]  | 78,9                                  | 97,9                                 | 62,2                               |
| Grüngut [kg/EW*a]    | 150,5<br>(davon 120,8 aus Haushalten) | 91,4<br>(davon: 74,4 aus Haushalten) | 82,7<br>(davon: 67 aus Haushalten) |
| Restabfall [kg/EW*a] | 97,3                                  | 165,7                                | 147,3                              |

|                                                                                                  |        |          |          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|----------|
| Geschätzter Anteil organischer Abfälle im Hausmüll (21,6 % nach Sortieranalyse, ohne Mittelmüll) | ca. 21 | ca. 36,5 | ca. 32,4 |
| Organische Abfälle, gesamt [kg/EW*a]                                                             | 250,4  | 225,8    | 177,3    |

Im Vergleich der durchschnittlich erfassten, einwohnerbezogenen Mengen im Stadtgebiet Schwabach und den städtischen Regionen Bayerns zeigt sich:

- Die über die Biotonne in Schwabach erfassten Bioabfallmengen sind geringer als der Durchschnitt der bayerischen Städte. Mitverantwortlich dafür ist, dass die Stadt Schwabach über die Biotonne überwiegend strukturarme Küchenabfälle für die Vergärung erfassen möchte. Gartenabfälle sind in der Biotonne nicht erwünscht.
- Die im Bringsystem aus den Haushalten erfasste Menge an Grüngut ist in Schwabach im Vergleich zu den bayerischen Städten deutlich größer. Diese könnte u.a. eine Mitursache für die geringere Pro-Kopf-Restabfallmenge in Schwabach sein. Mitursache ist die besondere Bebauungsstruktur in der Stadt Schwabach, die eine größere Grüngutmenge bedingt. Die Zahl der Privatgärten im Stadtgebiet ist sehr hoch, so dass potenziell eine große Grüngutmenge zur Entsorgung anfällt. Die Gartenflächen sind dabei meist klein. Nach Angaben der Stadt Schwabach ist daher, aufgrund möglicher Geruchsbelästigungen von Nachbargrundstücken, der Anreiz zur Eigenkompostierung der anfallen Grünabfälle auf dem eigenen Grundstück gering. Zusätzlich wird die Eigenkompostierung von Seiten der Stadt Schwabach nur bedingt gefördert.

## 1.2.2 Entsorgungswege

Die folgende Abbildung zeigt die Wege für die Verwertung von Bioabfällen und Grüngut durch die Stadt Schwabach.

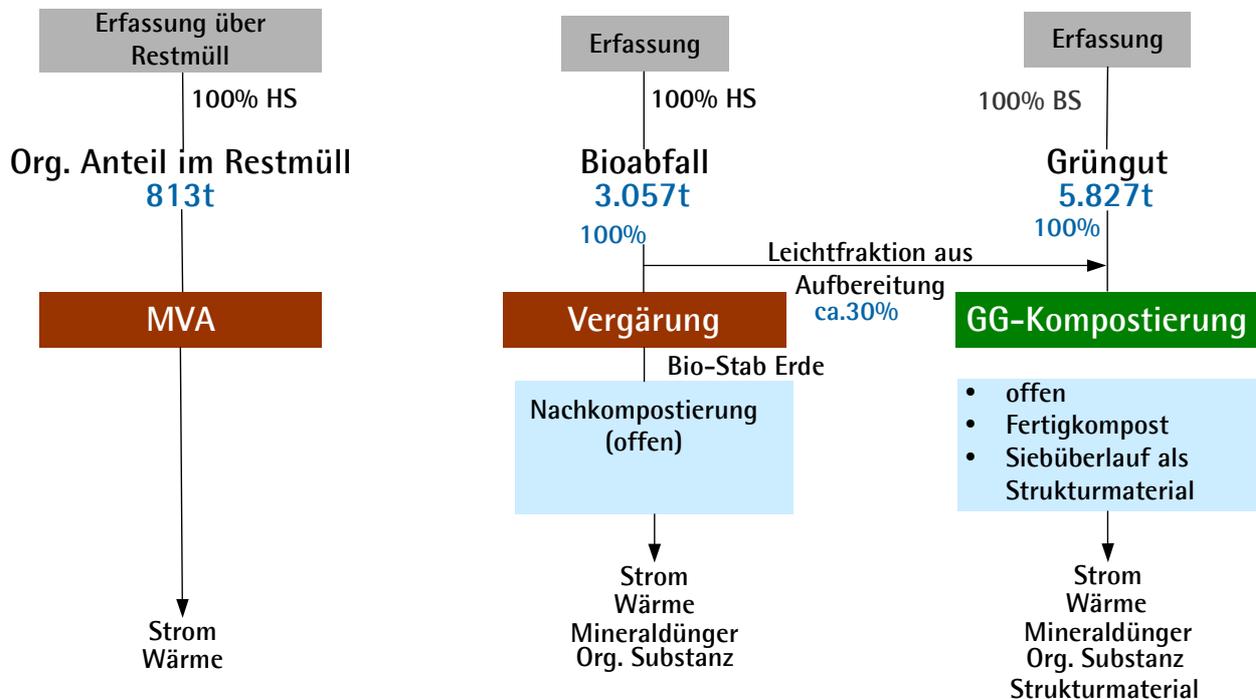


Abbildung 1.1: Ist-Situation der BA-/GG-Entsorgung (SC\_Ist) durch den ASN.

Folgende Unterschiede sind im Vergleich zur Entsorgungsstruktur für ganz Bayern (vergleiche Kapitel 8.1 der Basisstudie) festzustellen:

- Die Stadt Schwabach setzt bei der Bioabfallbehandlung vollständig auf die Vergärung (100% versus 35% in Bayern). Aus der Aufbereitung des Inhalts der Biotonne für die Vergärung wird eine Leichtfraktion, die überwiegend aus grüngutähnlichen Materialien besteht, abgetrennt.
- Grünabfälle werden ausschließlich kompostiert. In der offenen Anlage wird Fertigkompost erzeugt. Der Siebüberlauf aus der Kompostkonfektionierung geht als Strukturmaterial einem Kompostier-/Erdenwerk zu.

## 1.2.3 Quantifizierung der gesamten Entsorgungsstruktur der Stadt Schwabach (Entsorgung von 9.697 t Bioabfall und Grüngut)

### 1.2.3.1 Zusatznutzen

Neben der Entsorgungsleistung zielen die Verfahren zur Behandlung von Bioabfällen und Grüngut auf die Bereitstellung eines hochwertigen, stofflichen Produkts und auf die Nutzung des Energieinhaltes. Diesen Zusatznutzen kommt im Rahmen der Bilanzierung der Umweltwirkungen eine besondere Bedeutung zu.

Die Zusatznutzen vermeiden die Produktion einer entsprechenden Menge Energie oder der stofflichen Produkte aus konventionellen Herstellungsprozessen. Die so vermiedenen Belastungen aus den konventionellen Herstellungsprozessen reduzieren rechnerisch die Umweltbelastungen bei der Behandlung von Bioabfällen beziehungsweise Grüngut.

In den folgenden Tabellen ist dargestellt, welche Zusatznutzen mit der Entsorgung der von der Stadt Schwabach erfassten Bioabfälle und Grüngut verbunden sind.

Tabelle 1.6: Substituierte Güter aus der Entsorgung von 9.697 t Bioabfällen und Grüngut.

|                                                       | Substituierte Güter aus BA/GG<br>Entsorgung in Schwabach |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Elektrische Energie [kWh]                             | 311                                                      |
| Thermische Energie [kWh]                              | 1.309                                                    |
| Stickstoff-Dünger als N [t]                           | 7                                                        |
| Kalium-Dünger als K <sub>2</sub> O [t]                | 13                                                       |
| Phosphat-Dünger als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [t] | 10                                                       |
| Kalk-Dünger als CaO [t]                               | 69                                                       |
| Magnesium-Dünger als MgO [t]                          | 9                                                        |
| Torf/Rindenumus [t]                                   | 81                                                       |
| Humus-C [t]                                           | 76                                                       |
| gespeicherter Kohlenstoff [t]                         | 41                                                       |

Die an die Zusatznutzen gekoppelte Vermeidung der Umweltbelastungen aus den konventionellen Herstellungsprozessen ist in der Ermittlung der Umweltwirkungen in den folgenden Kapiteln stets berücksichtigt.

### 1.2.3.2 Umweltbe-/entlastungen

Die folgende Abbildung quantifiziert die Umweltbe- bzw. -entlastungen der Entsorgung von 9.697 t Bioabfällen und Grüngut durch die Stadt Schwabach (SC\_Ist) als Einwohnerwerte differenziert nach den betrachteten Wirkungskategorien (positive Einwohnerwerte: Umweltbelastung; negative Einwohnerwerte: Umweltentlastung).

Die Einwohnerwerte setzen die Ergebnisse für jeden Wirkungsindikator in Relationen zu den zugehörigen Gesamtemissionen in Deutschland. Diese Normierung macht deutlich, welche quantitative Bedeutung die verschiedenen Umweltkategorien im Vergleich miteinander haben. Die Einwohnerwerte erlauben einen größenordnungsbezogenen Vergleich der verschiedenen Wirkungsindikatorergebnisse. Je größer die Anzahl der Einwohnerwerte für eine Wirkungskategorie ist, desto höher ist ihr Beitrag zur Gesamtumweltbelastung in Deutschland in dieser Umweltwirkung.

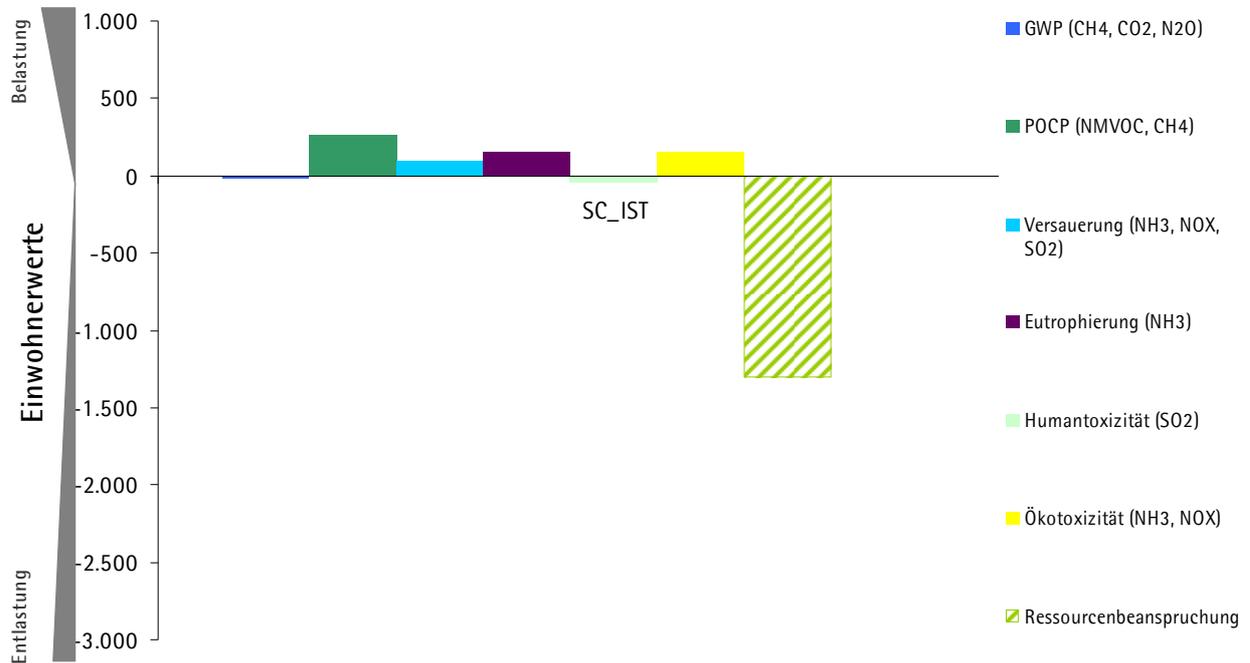


Abbildung 1.2: Entsorgung (inklusive Erfassung) von 9.697 t Bioabfällen und Grüngut aus der Stadt Schwabach (SC\_Ist). Umweltbe-/entlastungen in Einwohnerwerten für Deutschland. GWP: Global Warming Potential. POCP: Photochemical Ozone Creation Potential. NMVOC: Flüchtige, organische Verbindungen ohne Methan.

Die Bereitstellung von Energie aus der Behandlung von Bioabfall und Grüngut führt durch die Substitution fossil erzeugter Energie zu Umweltentlastungen in den Wirkungskategorien Treibhauseffekt (GWP) und Humantoxizität (quantifiziert durch den Einzelparameter  $SO_2$ ). Diesen Umweltentlastungen stehen Umweltbelastungen in den Wirkungskategorien Eutrophierung, Versauerung, photochemische Oxidantienbildung und Ökotoxizität (quantifiziert durch die Einzelparameter  $NH_3$  und  $NO_x$ ) gegenüber, die im wesentlichen durch die Emission C-/N-haltiger Verbindungen bei der Kompostierung und Vergärung erzeugt werden.

Die Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung ergibt die im Vergleich der Wirkungskategorien größte Entlastung der Umwelt durch die Schonung der endlichen Phosphatreserven aufgrund der Substitution konventioneller P-Dünger.

Die Transporte zur Erfassung der biogenen Abfälle belasten die Umwelt durch die Emissionen aus der Treibstoffproduktion bzw. der Verbrennung. Der Anteil der Abfallerfassung fällt in Abhängigkeit von der Wirkungskategorie unterschiedlich aus. Die Wirkungskategorien, in denen der umweltbelastende Einfluss durch die Abfallerfassung besonders deutlich wird, sind:

- Treibhauspotenzial (GWP): 18% der Umweltbelastungen aus der Entsorgungsstruktur werden durch die Erfassung verursacht
- $NO_x$ : 33% der Umweltbelastungen aus der Entsorgungsstruktur werden durch die Erfassung verursacht

- SO<sub>2</sub>: 46% der Umweltbelastungen aus der Entsorgungsstruktur werden durch die Erfassung verursacht

### 1.2.3.3 Kosten

Die Gesamtkosten der Stadt Schwabach für die Entsorgung von 9.697 t Bioabfällen und Grünut auf Basis der in Tabelle 1.4 beschriebenen tonnagebezogenen Werte zeigt die folgende Abbildung.

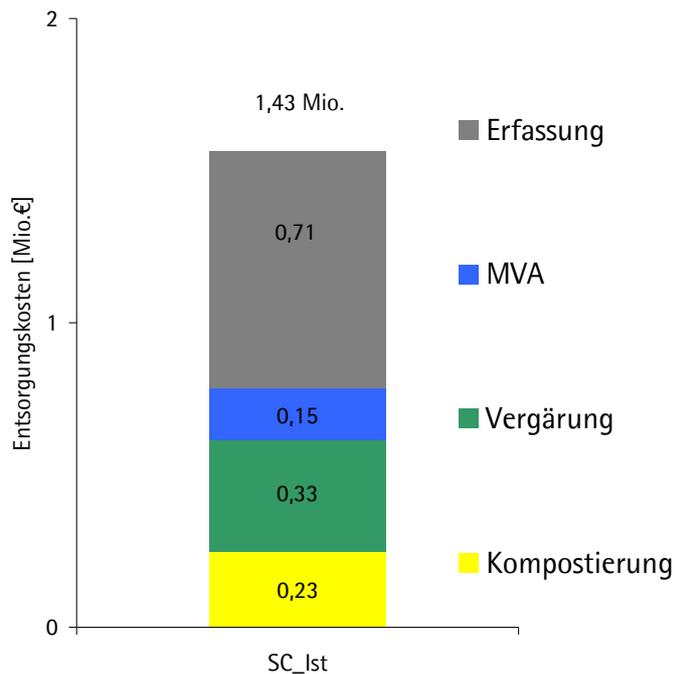


Abbildung 1.3: Gesamtkosten der Entsorgung (inklusive Erfassung) von 9.697 t Bioabfällen und Grünut.

Die Gesamtkosten betragen ca. 1,43 Mio.€. Der Anteil der Erfassung an diesen Kosten beträgt ca. 50%. Auf die Behandlung organischer Abfälle als Teil des Restabfalls in einer thermischen Behandlungsanlage entfallen 11 % der Gesamtkosten. Vergärung und Kompostierung haben einen Anteil von 39 %. Umgelegt auf die erfasste und behandelte Gesamtmenge betragen die durchschnittlichen Behandlungskosten 147 €/t.

## 1.3 Analyse Einzelverfahren zur Bioabfall- und Grünutentsorgung

Die folgende Analyse stellt die Umweltwirkungen und Kosten der Verfahren gegenüber auf die die Stadt Schwabach zurückgreift. Diese Verfahren sind soweit als möglich charakterisiert durch anlagenspezifische Parameter (vergleiche Tabelle 1.1 ff.).

### 1.3.1 Umweltwirkungen – Ökologie-Index

Die Bezugseinheit für die im Folgenden dargestellten Umweltwirkungen ist die Entsorgung von 1.000 kg Bioabfall beziehungsweise Grünut. Das Ergebnis der ökologischen Betrachtung für jedes Verfahren ist der Ökologie-Index.

Der Ökologie-Index errechnet sich für jedes Verfahren aus der Umweltbe- bzw. -entlastung für eine Wirkungskategorie (quantifiziert als Einwohnerwert) multipliziert mit der Summe aus Ökologische Gefährdung und Distance-to-Target und anschließender Summation über alle Wirkungskategorien. Je höher der Ökologie-Index eines Verfahrens ist, desto höher sind die mit der Entsorgung verbundenen Umweltwirkungen. Negative Ökologie-Indizes stehen für Umweltenlastungen bei Betrachtung der Entsorgungsverfahren und Äquivalenzsysteme. Eine ausführliche Beschreibung der Methodik zur Ermittlung des Ökologie-Index findet sich in der Basisstudie

Aufgrund des extremen Einflusses der Ressourcenbeanspruchung Phosphat auf das ökologische Gesamtergebnis bei gleichzeitiger methodischer Unsicherheit bei der Berücksichtigung der Ressourcenbeanspruchung wird der Ökologie-Index jeweils mit und ohne Einbeziehung der Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung dargestellt. Die Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung vereinigt die Parameter KEA fossil und Rohphosphat. Aufgrund des hohen Beitrages des Parameters Rohphosphat ist die Wirkungskategorie nahezu ausschließlich durch diesen Beitrag bestimmt. Dies gilt für alle weiteren quantitativen Angaben zur Ressourcenbeanspruchung.

Die Abbildungen zeigen für die jeweiligen Verfahren den Ökologie-Index, das heißt den aggregierten Gesamtwert zur Beschreibung der Umweltwirkungen, differenziert nach den Beiträgen der Wirkungskategorien.

### Bioabfallbehandlung

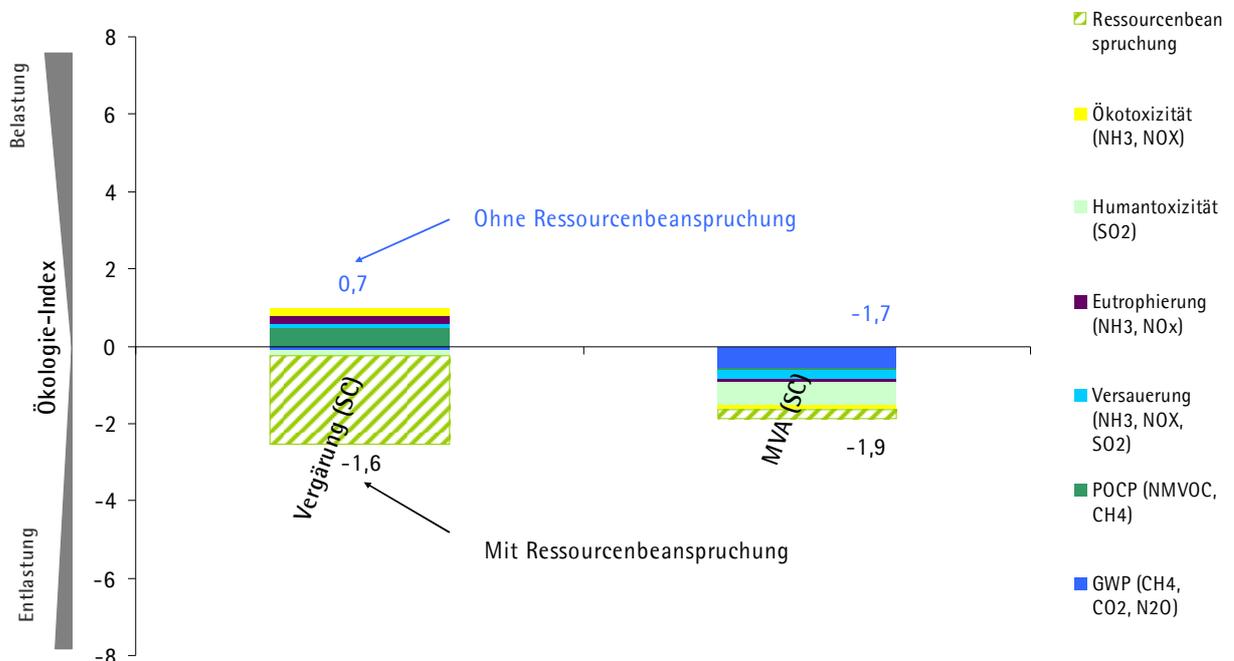


Abbildung 1.4: Verfahren der Stadt Schwabach zur Bioabfallentsorgung: Entsorgung von 1.000 kg. Beiträge der Wirkungskategorien zum Ökologie-Index. Für jedes Verfahren sind zwei Ökologie-Indizes angegeben: Mit Berücksichtigung der Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung (schwarz) bzw. ohne deren Berücksichtigung (blau). Für jede Wirkungskategorie ist dargestellt, welche Verbindungen signifikant

ten Einfluss haben. GWP: Global Warming Potential. POCP: Photochemical Ozone Creation Potential. NMVOC: Flüchtige, organische Verbindungen ohne Methan.

Da für die Vergärungsanlage der Stadt Schwabach keine spezifischen Emissionswerte vorliegen, werden stattdessen die Werte für den durchschnittlichen Anlagenbetrieb in Bayern übernommen. Für die Vergärung waren zusätzlich keine anlagenspezifischen Werte zur Beschreibung der stofflichen Eigenschaften der festen Gärreste verfügbar<sup>3</sup>. Unterschiede zwischen der von der Stadt Schwabach eingesetzten Anlage und dem bayernweiten Durchschnitt sind deshalb im Wesentlichen durch die Menge an erzeugter Energie beziehungsweise stofflichen Produkten bestimmt. Eine Besonderheit am Betrieb der Vergärungsanlage in Schwabach ist das Ausschleusen einer grüngutreichen Fraktion zur Kompostierung noch vor der Vergärungsstufe.

Mit Blick auf die Umweltwirkungen der Verfahren, auf die die Stadt Schwabach zurückgreift gilt:

- Mit Berücksichtigung der Ressourcenbeanspruchung: Alle Verfahren sind mit Umweltentlastungen verbunden. Die Mitbehandlung in einer MVA ist dabei mit einer etwas größeren Entlastung verbunden als die Vergärung in Schwabach. Im Vergleich zum durchschnittlichen Betrieb einer Vergärungsanlage ergibt sich eine deutlich geringere Entlastung in der Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung.
- Ohne Berücksichtigung der Ressourcenbeanspruchung: Die thermische Behandlung ist ökologisch vorteilhafter als die Vergärung. Die thermische Behandlung ist mit Umweltentlastungen verbunden, die Vergärung dagegen mit einer Umweltbelastung. Die MVA Nürnberg schneidet deshalb aufgrund ihres sehr hohen Wirkungsgrades bei der Energieerzeugung am Besten ab. Die Belastungen aus der Vergärung werden durch die Emissionen C-/N-haltiger Verbindungen insbesondere bei der Nachbehandlung und dem Ausbringen der Gärprodukte bzw. der offenen Kompostierung der aus der Abfallaufbereitung abgetrennten, grünguthaltigen Fraktion verursacht.

---

<sup>3</sup> Der feste Gärückstand wird als Bio-Stab-Erde (Frischkompost) zur offenen Nachkompostierung abgegeben,

## Grüngutbehandlung

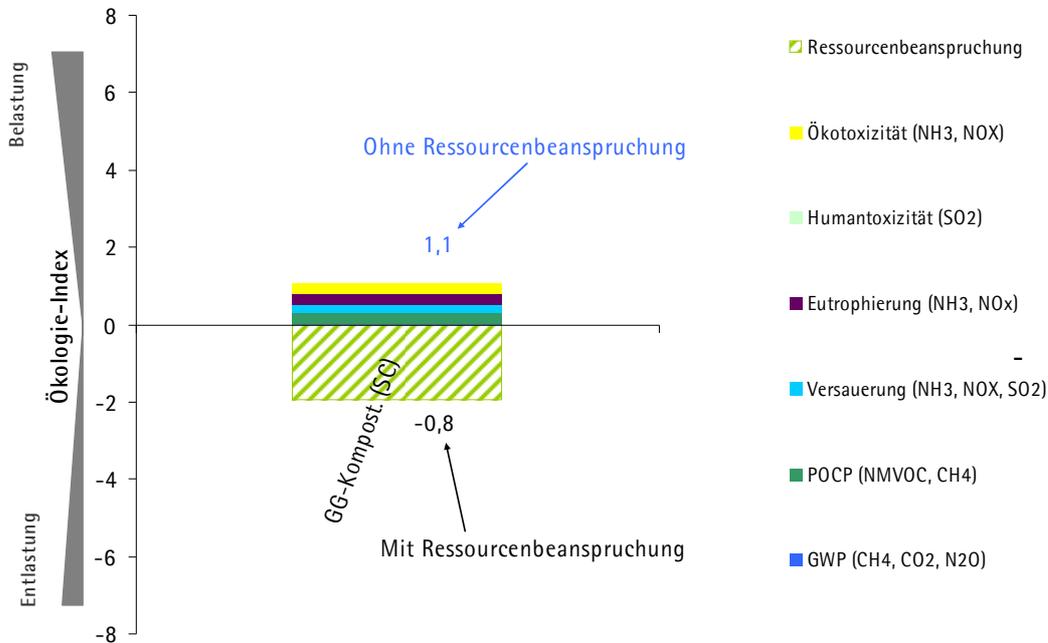


Abbildung 1.5: Verfahren zur Grüngutentsorgung der Stadt Schwabach. Entsorgung von 1.000 kg. Beiträge der Wirkungskategorien zum Ökologie-Index. Für jedes Verfahren sind zwei Ökologie-Indizes angegeben: Mit Berücksichtigung der Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung (schwarz) bzw. ohne deren Berücksichtigung (blau). Für jede Wirkungskategorie ist dargestellt, welche Verbindungen signifikanten Einfluss haben. GWP: Global Warming Potential. POCP: Photochemical Ozone Creation Potential. NMVOC: Flüchtige, organische Verbindungen ohne Methan.

Das ökologische Gesamtergebnis der Grüngutkompostierungsanlage, auf die die Stadt Schwabach zurückgreift, folgt qualitativ den Ergebnissen für einen bayernweiten Durchschnitt. Es stellt sich eine geringe Umweltbelastung ohne Berücksichtigung der Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung ein, während sich bei ihrer Berücksichtigung eine Umweltentlastung einstellt. Die stoffliche beziehungsweise energetische Nutzung des Siebüberlaufes zur Bereitstellung von Nährstoffen, organischer Substanz oder Energie anstatt der Nutzung als Strukturmaterial würde die umweltbezogenen Wirkungen weiter verbessern.

### 1.3.2 Ökoeffizienzvergleich

Die Ökoeffizienzanalyse stellt das Ergebnis der ökobilanziellen Betrachtung den mit der Entsorgung verbundenen spezifischen Kosten gegenüber. Die Visualisierung der Ergebnisse zeigen die folgenden Ökoeffizienz-Portfolios. Die Abbildungen für Bioabfall- und Grüngutbehandlung kombinieren die Ökologie-Indizes (vergleiche Abbildung 1.6 und Abbildung 1.7 und die entsprechenden Entsorgungskosten (vergleiche Tabelle 1.4)

Die Ökoeffizienz-Portfolios sind so aufgebaut, dass links unten im Diagramm Verfahren mit hohen Entsorgungskosten und hohen positiven Ökologie-Indizes (→ "niedrige Ökoeffizienz") zu finden sind, während

Verfahren mit niedrigen Entsorgungskosten und hohen negativen Ökologie-Indizes rechts oben aufgetragen werden (→"hohe Ökoeffizienz").

### Bioabfallbehandlung

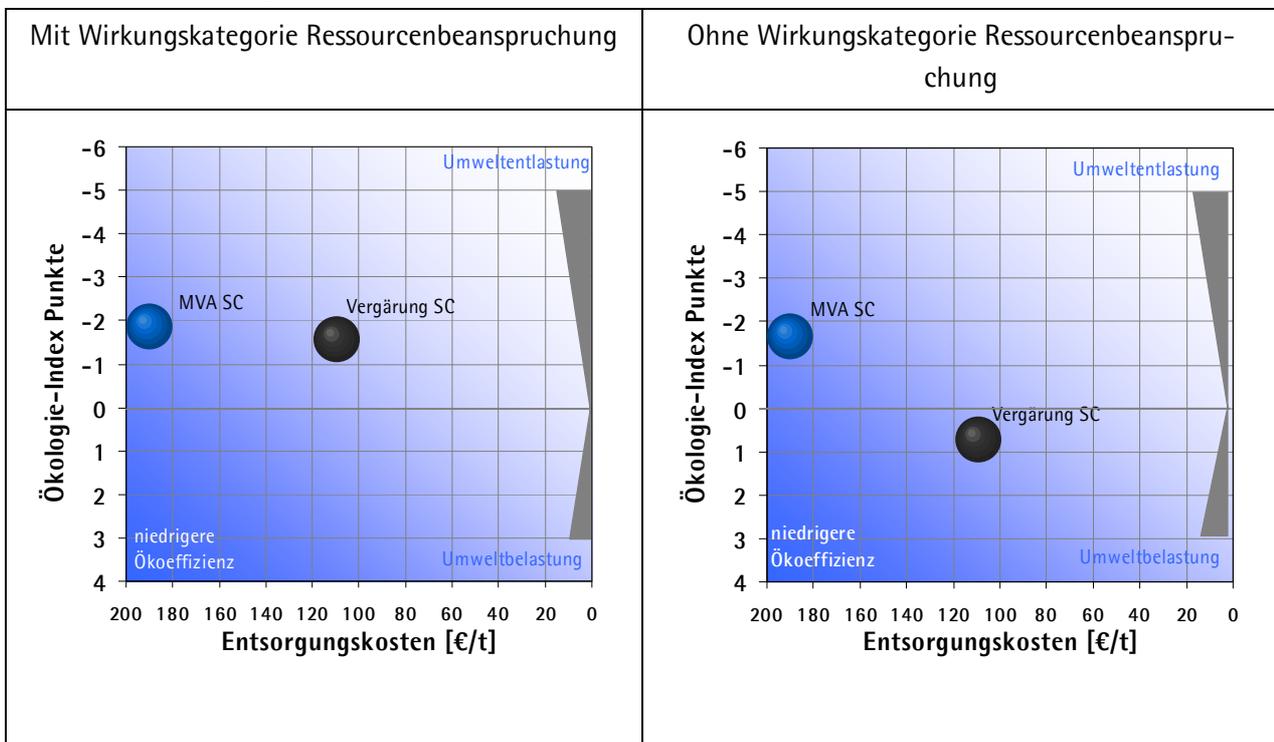


Abbildung 1.6: Ökoeffizienz-Portfolios BA-Entsorgung. Ökologie-Index < 0 bedeutet Umweltentlastung. Ökologie-Index > 0 bedeutet Umweltbelastung.

Bei Berücksichtigung der Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung bestehen geringe ökologische Vorteile bei der Mitbehandlung von Bioabfällen in der MVA. Die im Vergleich deutlich geringeren Entsorgungskosten für die Vergärung führen aber zu einer höheren Ökoeffizienz dieses Verfahrens. Ohne Berücksichtigung der Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung vergrößert sich der ökologische Unterschied zwischen den beiden Verfahren, so dass sich mit Blick auf die Ökoeffizienz kein eindeutiger Vorteil für ein Verfahren ausweisen lässt.

**Grüngutbehandlung**

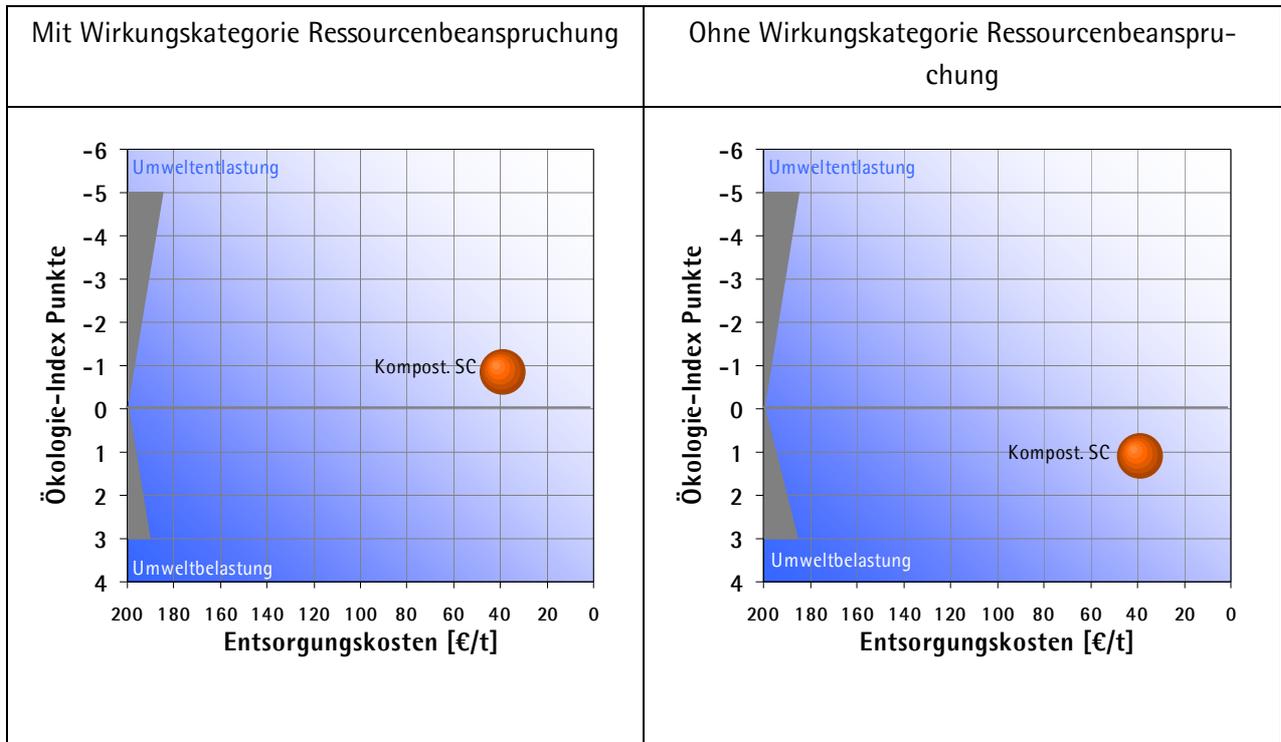


Abbildung 1.7: Ökoeffizienz-Portfolios GG-Entsorgung. Ökologie-Index < 0 bedeutet Umwelentlastung. Ökologie-Index > 0 bedeutet Umweltbelastung.

Das von der Stadt Schwabach erfasste Grüngut wird ausschließlich kompostiert, so dass ein Ökoeffizienzvergleich der Kompostierung mit anderen Verfahren nicht möglich ist. Die Kompostierung von Grüngut ist ein kostengünstiger Entsorgungsweg. Mit Blick auf die Umweltwirkung ergeben sich bei Berücksichtigung beziehungsweise ohne Berücksichtigung der Ressourcenbeanspruchung geringe Umweltbe- bzw. -entlastungen.

**1.4 Strategische Überlegungen zur Veränderung der Entsorgungsstruktur in Schwabach**

In Abstimmung mit der Stadt Schwabach wurde beschlossen, im Rahmen der Fallstudie die Neuausschreibung der Bioabfallentsorgung und die mögliche energetischen Verwertung des Siebüberlaufs aus der Grüngutkompostierung orientierend in einen ökologischen und ökonomischen Vergleich zur aktuellen Entsorgungssituation zu setzen.

**1.4.1 Zukünftige Bioabfallverwertung – Kompostierung anstelle Vergärung**

Im Zuge der Neuausschreibung der Bioabfallverwertung wird die Stadt Schwabach die erfassten Bioabfälle einer teilgeschlossenen Kompostierung zuführen. Da die Verwertung nicht mehr im Stadtgebiet Schwabach stattfinden wird, steigen in jedem Fall die Aufwendungen zum Transport der Bioabfälle. Für die Stadt Schwabach sind im Rahmen der Umstellung der Bioabfallentsorgung zwei Fragen von Interesse:

1. Welche ökologischen Wirkungen hat der Wechsel von der Bioabfallvergärung zur Kompostierung?
2. Welchen Einfluss auf die ökologischen Wirkungen der Bioabfallverwertung hat zusätzlich der gesteigerte Aufwand zum Transport der Bioabfälle?

Zu Beantwortung der ersten Frage vergleicht bifa das bisherige Vergärungskonzept mit dem in der Basisstudie bilanzierten, typischen Anlagenbetrieb für eine teilgeschlossene Kompostierung. Da keine Spezifikation zur Beschreibung der Kompostieranlage zur Verfügung steht, greift bifa auf die Parameter aus der Basisstudie zurück. Insbesondere werden dabei auch die Durchschnittsangaben für Bayern zur Beschreibung der Mengen und stofflichen Eigenschaften der Komposte übernommen.

Zur Quantifizierung steigender Transportaufwendungen sieht bifa folgende Modellbildung vor: Die in der Stadt erfassten Bioabfälle werden zu einer Umladestation transportiert. Die Umladestation liegt außerhalb der Stadt. Deshalb steigt die Strecke für die Erfassungsfahrzeuge um ca. 4km. Die Bioabfälle werden in der Umladestation auf größere LkW verladen. Diese Fahrzeuge transportieren durchschnittlich 19,5 t Bioabfall zu Kompostieranlage. Die Distanzen für den Transport der Bioabfälle von der Umladestation zur Verwertungsanlage werden zu 50 km beziehungsweise 200 km angenommen. Es sei angemerkt, dass die Kompostierungsanlage, in der zukünftig die Bioabfälle aus Schwabach behandelt werden, ca. 50 vom Stadtgebiet Schwabach entfernt ist. Weitere Anlagen, die an der Ausschreibung zur Bioabfallentsorgung teilgenommen, sind deutlich weiter entfernt. Die zur Modellbildung angenommene Distanz von 200 km zum Anlagenstandort ist daher plausibel.

Die folgende Abbildung zeigt die Änderung des ökologischen Gesamtergebnisses, quantifiziert als Ökologie-Index, für die Entsorgung von 3.057 t Bioabfall durch die Stadt Schwabach in folgenden Szenarien:

- SC\_BAVGN: Bisherige Situation der Vergärung (inklusive der Kompostierung der aus der Aufbereitung abgetrennten Leichtfraktion) der erfassten Bioabfälle im Stadtgebiet Schwabach
- SC\_BAKTG: Teilgeschlossene Kompostierung der erfassten Bioabfälle, mit der Annahme, dass die Kompostierung im Stadtgebiet Schwabach stattfindet und deshalb Erfassungs- und Transportdistanzen unverändert bleiben
- SC\_BAKTG 50km: Teilgeschlossene Kompostierung der erfassten Bioabfälle, mit der Annahme, dass die Kompostierung 50 km vom Stadtgebiet Schwabach entfernt stattfindet.
- SC\_BAKTG 200km: Teilgeschlossene Kompostierung der erfassten Bioabfälle, mit der Annahme, dass die Kompostierung 200 km vom Stadtgebiet Schwabach entfernt stattfindet.

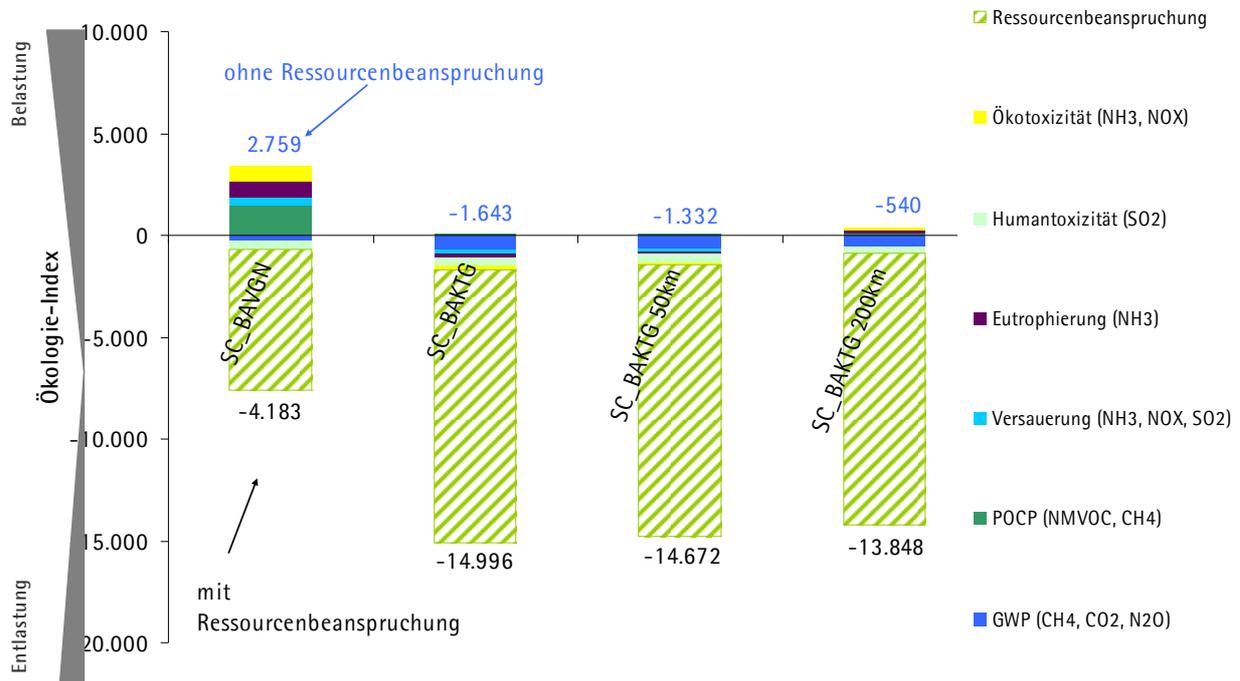


Abbildung 1.8: Entsorgung von 3.057 t Bioabfall in der Stadt Schwabach. Bisherige Situation (SC\_BAVGN) und Szenarien zur Kompostierung bei verschiedenen Transportentfernungen (SC\_BAKTG, SC\_BAKTG 50km, SC\_BAKTG 200km). Beiträge der Wirkungskategorien zum Ökologie-Index. Für jedes Szenario sind zwei Ökologie-Indizes angegeben: Mit Berücksichtigung der Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung (schwarz) bzw. ohne deren Berücksichtigung (blau). Für jede Wirkungskategorie ist dargestellt, welche Verbindungen signifikanten Einfluss haben. GWP: Global Warming Potential. POCP: Photochemical Ozone Creation Potential. NMVOC: Flüchtige, organische Verbindungen ohne Methan.

Der Vergleich der Szenarien SC\_BAVGN und SC\_BAKTG zeigt, dass die Umstellung der Bioabfallverwertung von der aktuellen Vergärungsstrategie auf die teilgeschlossene Kompostierung, sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung der Ressourcenbeanspruchung, grundsätzlich mit deutlich positiven Umweltwirkungen verbunden ist. Durch die teilgeschlossene Kompostierung werden bei guter Betriebsführung<sup>4</sup> zukünftig

- die luftseitigen Emissionen an CH<sub>4</sub>, NMVOC, NH<sub>3</sub> und N<sub>2</sub>O deutlich reduziert und zusätzlich
- eine größere Menge an organischer Substanz und Nährstoffen bereitgestellt, die über die Substitution von Ackergras, Torf und mineralischen Pflanzennährstoffen die Umwelt entlasten.

Dazu sei angemerkt, dass die Fallstudie für die Prognose der aktuellen und der zukünftigen Mengen an stofflichen Produkten und den korrespondierenden Nutzen nur orientierende Näherungen treffen kann. Der Grund dafür ist, dass keine Daten verfügbar sind, die eine weitere Spezifikation für die Situation in Schwabach ermöglichen. Deshalb muss zur Charakterisierung der stofflichen Eigenschaften sowohl der aktuell erzeugten kompostierten Gärprodukte als auch der in Zukunft erzeugten Bioabfallkomposte weitgehend auf Durchschnittsdaten für Bayern zurückgegriffen werden.

<sup>4</sup> Alle Parameter zur Beschreibung der ökologischen Wirkungen der teilgeschlossenen Kompostierung stammen aus der Basisstudie. Dort wird ein typischer Anlagenbetrieb bei guter Betriebsführung beschrieben.

Zukünftig hat die Stadt Schwabach für die Kompostierung der Bioabfälle und den zugehörigen Transport von der Umladestation Kosten von ca.41 €/t zu tragen. Im Vergleich zu den bisherigen Kosten für die Vergärung sinken damit die Behandlungskosten erheblich. Die folgende Abbildung stellt für die Entsorgung von 3.057 t Bioabfall die aktuelle Version (Sc\_Ist\_BAVGN) und das Szenario zur teilgeschlossenen Kompostierung bei einer Transportentfernung von 50 km ((Sc\_Ist\_KTG 50km) in einem Ökoeffizienz-Portfolio gegenüber. Die Gesamtkosten für Erfassung<sup>5</sup> und Verwertung<sup>6</sup> sind pro Tonne Bioabfall angegeben.

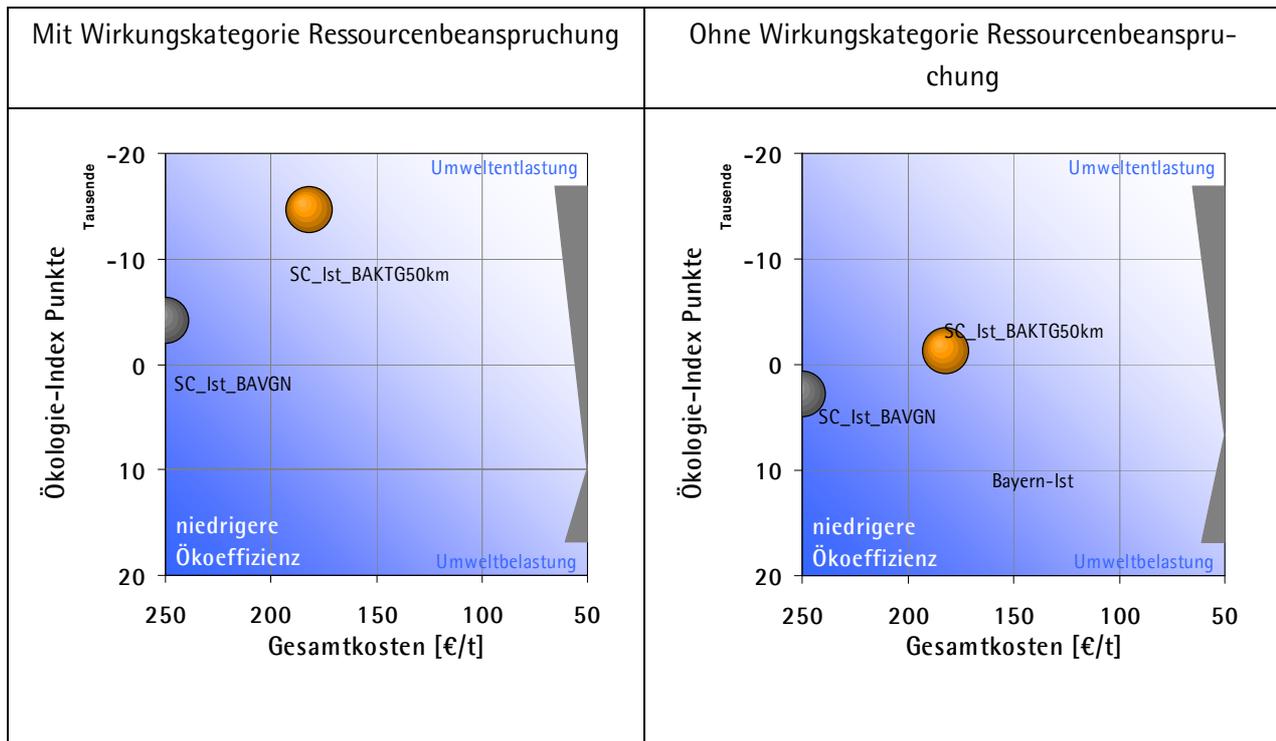


Abbildung 1.9: Ökoeffizienz-Portfolios zur Entsorgung von 3.057 t Bioabfall in der Stadt Schwabach. Bisherige Situation (SC\_BAVGN) und Szenario zur Kompostierung (SC\_BAKTG 50km) Ökologie-Index < 0 bedeutet Umweltentlastung. Ökologie-Index > 0 bedeutet Umweltbelastung.

Den Einfluss gesteigerter Aufwendungen für den Transport der Bioabfälle zu Kompostieranlagen zeigt sich im Vergleich der Szenarien SC\_BAKTG, SC\_BAKTG 50km, SC\_BAKTG 200km. Wie erwartet, verschlechtert sich das ökologische Gesamtergebnis bei steigenden Transportentfernungen. Die an eine steigende Transportentfernung geknüpften Mehremissionen an CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> führen zu Umweltbelastungen in allen Wirkungskategorien mit Ausnahme der Ressourcenbeanspruchung. Sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung der Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung ergibt sich als ökologisches Gesamtergebnis stets eine Umweltentlastung, die aber mit steigender Transportentfernung abnimmt.

#### 1.4.2 Energetische Verwertung des Siebüberlaufs aus der GG-Kompostierung

Zurzeit erfolgt auf der Grüngutkompostieranlage der Stadt Schwabach eine Absiebung des Rotteoutputs zur Gewinnung von Komposten. Der Siebüberlauf größer 12 mm wird dann zur Weiterverarbeitung an

<sup>5</sup> Siehe Tabelle 1.4. Annahme: Keine Änderung im Szenario SC\_BAKTG 50 km

<sup>6</sup> Szenario SC\_Ist\_BAVGN: siehe Tabelle 1.4. SC\_BAKTG 50 km: 41 €/t

wechselnde Abnehmer abgegeben. Der Anteil des Siebüberlaufs beträgt 16 % der gesamten kompostierten Grüngutmenge. Aktuell wird der Siebüberlauf als Strukturmaterial in einem Kompost- und Erdenwerk eingesetzt. Aufgrund der geringen Abbaubarkeit des holzigen Materials ist diese Fraktion für eine Bereitstellung von Pflanzennährstoffen oder Humus wenig geeignet. Eine Substitution von mineralischen Düngern beziehungsweise anderen Humuslieferanten wird für diese Fraktion nicht angenommen.

Durch die Verwertung des holzigen und heizwertreichen Siebüberlaufs in einem BMHKW könnte allerdings sein Energiegehalt genutzt werden. Über die damit verbundene Substitution fossiler Energieträger werden die Umweltwirkungen aus der Grüngutverwertung reduziert.

In der Vergangenheit konnte kein Abnehmer für die energetische Verwertung identifiziert werden. Die Perspektiven sollten sich aber aufgrund der gestiegenen Nachfrage an biogenen Energieträgern inzwischen verbessert haben. Zur Konfektionierung des Siebüberlaufs als Brennstoff sind weitere Aufbereitungsschritte, wie das Abtrennen von Störstoffen, wahrscheinlich. Diese werden in der orientierenden Betrachtung im Rahmen der Fallstudie nicht berücksichtigt, da keine Informationen zur stofflichen Zusammensetzung des Siebüberlaufs verfügbar sind.

Analog zur Basisstudie wird angenommen, dass die energetische Verwertung in robusten Anlagen, die geringe Anforderungen hinsichtlich Stückigkeit und Feuchte des Inputmaterials stellen, erfolgt. Als Heizwert werden für den heizwertreichen Siebüberlauf 13 MJ/kg angenommen. Alle weiteren Angaben zur Beschreibung der energetischen Verwertung sind in der Basisstudie dokumentiert.

Bei der Kompostierung von 5.827 t Grüngut fallen ca. 932 t Siebüberlauf an. Durch die energetische Verwertung dieser Fraktion in einem BMHKW werden ca. 976 kWh elektrische und ca. 429 kWh thermische Energie erzeugt<sup>7</sup>. Durch die Bereitstellung dieser Energiemengen werden Belastungen aus der fossilen Energieerzeugung vermieden, die der Grüngutverwertung als Gutschriften zur Verringerung der Umweltbelastungen angerechnet werden können. Diesen Gutschriften stehen Umweltbelastungen durch Emissionen aus der thermischen Behandlung der Siebüberläufe gegenüber.

In der folgenden Abbildung ist das ökologische Gesamtergebnis für die Erfassung und offene Kompostierung von 5.827 t Grüngut in der Kompostieranlage der Stadt Schwabach mit Nutzung des Siebüberlaufs als Strukturmaterial (SC\_Ist\_GGKO) und mit energetischer Verwertung des Siebüberlaufs (SC\_Ist\_GGKOeV) dargestellt.

---

<sup>7</sup> bei einem elektrischen Wirkungsgrad von 29% werden 25% der maximal erzeugten Wärme beziehungsweise 12,8% der erzeugten Gesamtenergie extern genutzt

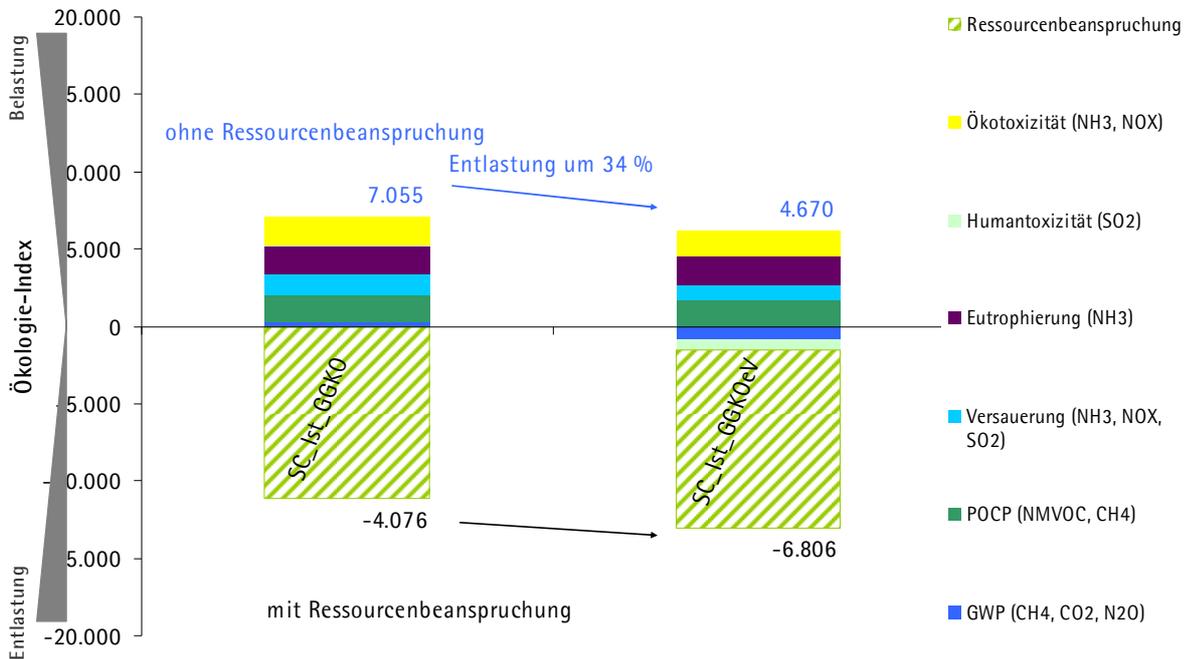


Abbildung 1.10: Erfassung und offene Kompostierung von 5.827 t Grüngut in der Stadt Schwabach. Einsatz des Siebüberlaufs als Strukturmaterial (SC\_Ist\_GGKO) und Variante mit energetischer Verwertung des Siebüberlaufs (SC\_Ist\_GGKOeV). Beiträge der Wirkungskategorien zum Ökologie-Index. Für jedes Szenario sind zwei Ökologie-Indizes angegeben: Mit Berücksichtigung der Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung (schwarz) bzw. ohne deren Berücksichtigung (blau). Für jede Wirkungskategorie ist dargestellt, welche Verbindungen signifikanten Einfluss haben. GWP: Global Warming Potential. POCP: Photochemical Ozone Creation Potential. NMVOC: Flüchtige, organische Verbindungen ohne Methan.

Die energetische Verwertung des Siebüberlaufs reduziert deutlich die mit der Grünguterfassung und -verwertung verbundenen umweltbezogenen Wirkungen. Die Grüngutkompostierung mit Einsatz des Siebüberlaufs als Strukturmaterial ist mit Umweltbelastungen in den Wirkungskategorien Treibhauspotenzial (GWP) und Humantoxizität (SO<sub>2</sub>) verbunden. Dagegen stellen sich bei energetischer Nutzung des Siebüberlaufs Umweltentlastungen in diesen Wirkungskategorien ein.

Inwieweit die energetische Verwertung des Siebüberlaufs die Entsorgungskosten des Anlagenbetreibers und möglicherweise den Entsorgungspreis für die Stadt Schwabach ändert, ist nicht zu quantifizieren. Die ökonomischen Wirkungen sind daher nicht Bestandteil der weiteren Betrachtungen.