

## Konzept zur regenerativen Energiegewinnung und zur Schließung der Wasser- und Stoffkreisläufe im Siedlungsbau

Dr. Katharina Backes und Jörg Reichmann, RESOB Ingenieurgesellschaft, Kempener Str. 22, 40699 Erkrath

Die RESOB Ingenieurgesellschaft bietet ökonomisch und ökologisch sinnvolle Ver- und Entsorgungskonzepte für Siedlungen und Kommunen mit Kreislaufführung von Wasser und Nährstoffen mit regenerativem Energiegewinn. Durch bauphysikalische Sanierungen der Gebäude mit einer Verbesserung der Isolation und der Luftdichtigkeit der Gebäude und einer hocheffizienten Anlagen- und Steuertechnik mit Kraft-Wärme-Kopplung und Wärmepumpen wird das Konzept wirtschaftlich. Finanziert werden diese Maßnahmen durch ein Einspar-Contracting d.h. aus der Effizienzsteigerung durch die Eigenenergieerzeugung sowie Kosteneinsparungen im Bereich Strom- und Wärmeversorgung sowie Müll- und Abwasserentsorgung.

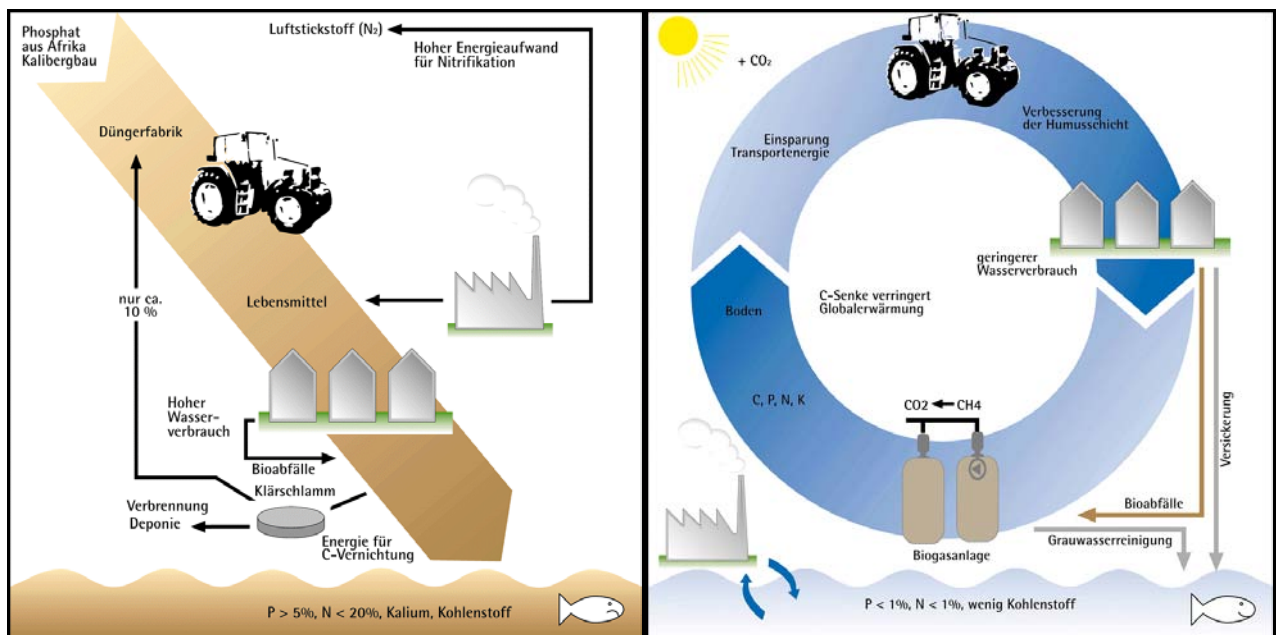


Abb. 1 Lineare Stoffströme im Siedlungsbau (End of pipe Behandlung)

Abb. 2: Stoffströme bei Wiederherstellung geschlossener Stoffkreisläufe im Siedlungsbau (Teilstrombehandlung)

Siedlungen in ihrer heutigen Form sind stoffliche Einbahnstraßen. Lebensmittel, Energie und Wasser werden als **Input** zugeführt (Abb. 1). Dünger wird von weit her transportiert oder energieaufwendig produziert. Als **Output** entstehen **Abwasser**, **Abwärme** und **Abfälle**. Nur ein geringer Teil der 'Abfallstoffe' wird verwertet. Das meiste muss energieaufwendig wieder entsorgt werden. Die meisten Stoffe gelangen letztendlich in die Gewässer. So werden Stickstoff und Phosphor mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zu höchstens 80 und 95% entfernt. Kalium gelangt zu 100% in die Gewässer. Eutrophierung der Binnengewässer, Seen und Meere sind die Folge.

In Siedlungen, die nach dem RESOB-Kreislaufkonzept gebaut oder saniert werden (Abb. 2), werden die natürlichen Wasser- und Stoffkreisläufe wieder hergestellt. Die Nährstoffe werden sinnvoll auf die Agrarflächen zurückgeführt, wobei auch deren Energiegehalt genutzt wird. Hierdurch ist die Belastung der Flüsse und Meere mit diesen Stoffen gleich Null und die Gefahren einer zunehmenden Eutrophierung werden drastisch entschärft.

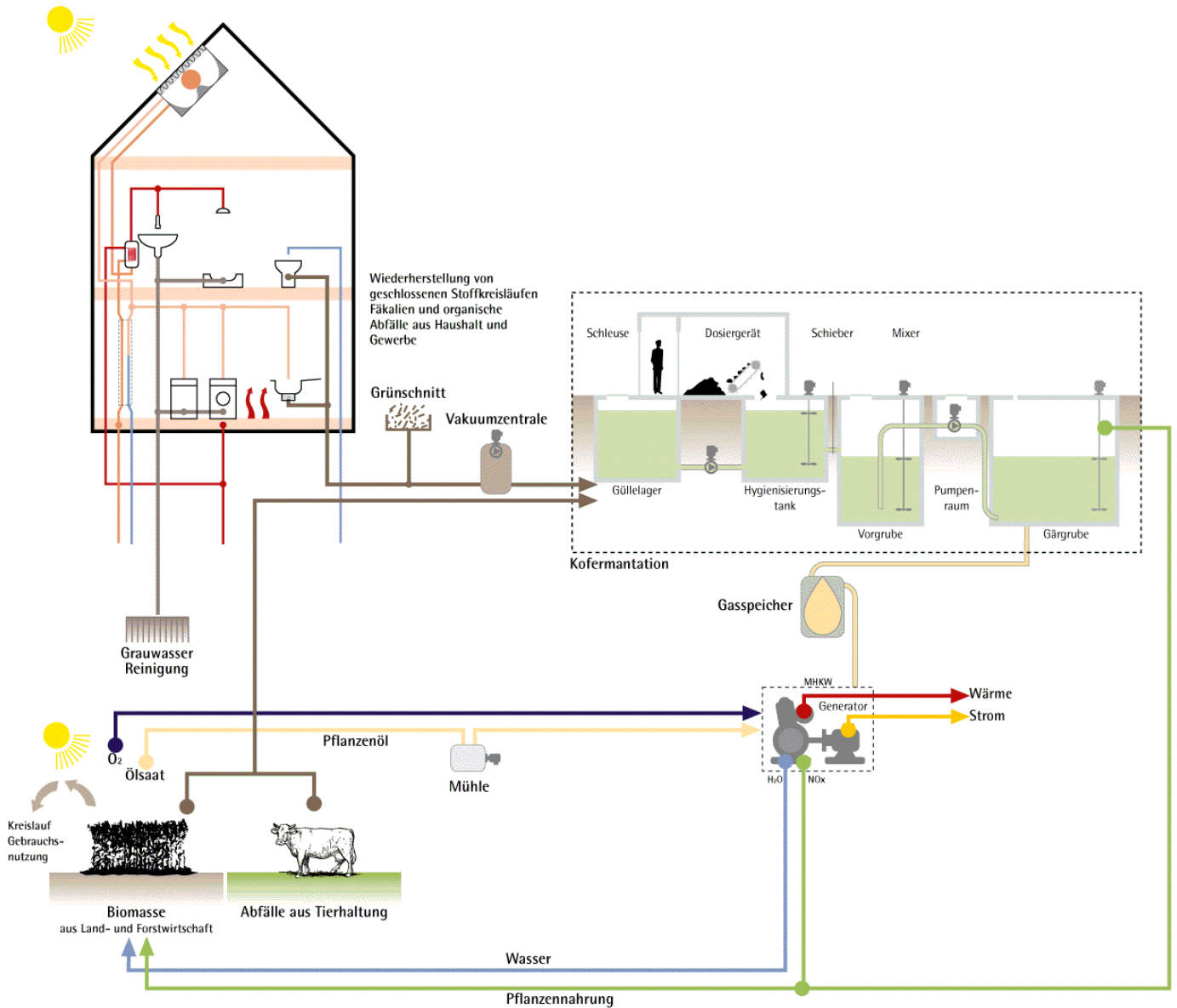


Abb. 3: Schematische Darstellung des Kreislaufkonzepts mit Kofermentation und regenerativer Energieversorgung

## Komponenten des RESOB-Kreislaufsystems:

Im RESOB-Kreislaufkonzept (Abb. 3) werden Fäkalien und Küchenabfälle gar nicht erst mit anderen Abfällen bzw. Abwässern vermischt, sondern in hoher Konzentration getrennt gesammelt, so dass deren energetische Nutzung möglich wird.

In den Haushalten werden getrennte Abflussstränge für Schwarzwasser (Fäkalien und Urin) und Grauwasser (Handwaschbecken, Dusche, Waschmaschine etc.) installiert.

**1. Grauwasser** wird als leicht verschmutztes Abwasser in einem separaten Abflussstrang abgeleitet und nach der Rückgewinnung der enthaltenen Wärme dezentral in einer vertikal durchströmten Kiesbeetfilteranlage gereinigt.

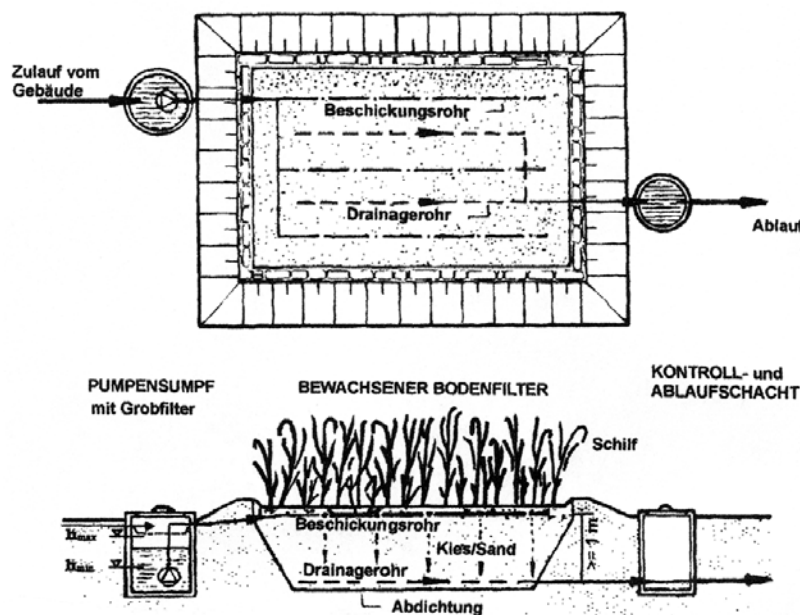


Abb. 4: Prinzipskizze einer vertikal durchströmten Kiesbeetfilteranlage in Aufsicht und im Querschnitt

Tabelle 1: Vergleich der Abflusswerte von herkömmlichen Entwässerungssystemen und einer Kiesbeetfilteranlage mit Grauwasserbeschickung

		herkömmliches Entwässerungssystem	Grauwasserreinigung Pflanzenkläranlage
Menge	[l/(E*d)]	200 <sup>1)</sup>	70
CSB	[kg/(E*a)]	3,6	0,8
BSB <sub>5</sub>	[kg/(E*a)]	0,4	0,1
N <sub>ges</sub>	[kg/(E*a)]	0,73	0,2
P <sub>ges</sub>	[kg/(E*a)]	0,07	0,01
K <sup>2)</sup>	[kg/E*a]	1,7	< 0,4

Aufgrund der deutlich verringerten Nährstoffbelastung und der geringen Schmutzfracht liegen bei diesen Anlagen erheblich bessere Reinigungswerte vor als dies bei herkömmlicher Reinigung in zentralen Kläranlagen der Fall ist. Der Abfluss aus der Pflanzenkläranlage hat Badewasserqualität und wird versickert oder einem Oberflächengewässer zugeführt.

## 2. Vakuumtechnologie:

Zur getrennten Erfassung des häuslichen Abwassers sind die Wohnungen an ein Unterdruckentwässerungssystem angeschlossen. Vakuumtoiletten, die mit 0,7-1,2 l pro Spülgang einen deutlich geringeren Wasserverbrauch als herkömmliche Toiletten mit 5-6 l Wasserverbrauch haben, erfassen das Schwarzwasser. Durch die geringe Wassermenge weisen diese Fäkalien eine Konzentration auf, die ideal für die Verwertung in einer Biogasanlage ist. An das Vakuumsystem werden auch Becken mit Spezial-Hechslern angeschlossen über die Küchenabfälle und Speisereste zerkleinert und hygienisch abgesaugt werden. Über die dünnen Vakuumleitungen sind die einzelnen Gebäude mit einer Vakuumzentrale verbunden, von wo Schwarzwasser und Biomüll der Biogasanlage zugeführt werden. In dem Leitungssystem des Vakuumsystems sind keine Abwasserverluste oder Eindringen von Fremdwasser durch undichte Kanalsysteme möglich, da Undichtigkeiten in den Vakuumröhren sofort durch den auftretenden Druckanstieg bemerkt werden.

## 3. Biogasanlage

In der Biogasanlage wird das Schwarzwasser je nach örtlichen Verhältnissen mit Gülle und anderen Bioabfällen (aus der Lebensmittelherstellung, Speisereste aus Großküchen, Flotatfett, Fettabscheiderfett, Grasschnitt etc.) vergoren. Durch diese Kofermentation wird eine deutliche Verbesserung der Gasausbeute erreicht. Die Gasausbeute aus Schwarzwasser beträgt 40-50 l pro Einwohner und Tag. Das entspricht ungefähr 100 kWh pro Person und Jahr, was 10 Liter Heizöl ersetzt.

Das hier verwendete Biogasverfahren ist ein kombiniertes Speicher-Durchflussverfahren. Um zu verhindern, dass unvergorenes Material in den Abfluss gelangt, wird durch eine Trennwand eine Pfropfenströmung erzielt. Zur Homogenisierung wird von unten Biogas in den Fermenter eingeblasen. Die Beheizung erfolgt über Edelstahlrohre durch die Wasser gepumpt wird. Die Betriebstemperatur des Fermenters soll mit 55°C im thermophilen Bereich liegen. Bei dieser Betriebstemperatur beträgt die Verweilzeit im Fermenter ca. 15 Tagen. Aufgrund von Hygienevorschriften kann je nach Substrat die Verweildauer auf 20 Tage verlängert werden.

Im Fermenter vergärt die Biomasse unter Produktion von Biogas (hauptsächlich Methan), das dem Motorheizkraftwerk zugeleitet wird.

Durch die innerhalb von Siedlungen anfallenden biogenen Stoffströme (Bioabfall und Schwarzwasser) kann so 12-15% des Primärenergiebedarfs von Siedlungen gedeckt werden.

Das durchgorene Material wird als hochwertiger Dünger in der Landwirtschaft eingesetzt, dessen Vorzüge gegenüber der konventionellen Düngung mit Gülle darin bestehen, dass

- er homogener ist als Gülle und durch seine gute Fließfähigkeit besser auszubringen und weniger ätzend ist. Eine Geruchsbelästigung bei der Ausbringung ist nicht mehr vorhanden.
- die Nährstoffzusammensetzung konstanter ist als bei Gülle und die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe durch Verengung des C/N-Verhältnisses günstiger, wodurch die Nitratauswaschung herabgesetzt wird.

Ein Beitrag zum Klimaschutz ist die verringerte Freisetzung der Methan und Lachgasfreisetzung im Vergleich zu Gülle (Herzog & Kuhn 1996) und die Fixierung von CO<sub>2</sub> in Form von Humusbildung auf dem Acker von 220-250 kg CO<sub>2</sub> pro Einwohner und Jahr.

Durch die thermophile Betriebsweise des Fermenters werden seuchen- und phytohygienisch relevante Organismen inaktiviert (Philipp und Böhm 1997), wogegen in herkömmlichen Kläranlagen diese lediglich um ein bis zwei Zehnerpotenzen reduziert werden (Kulle und Englert 1997).

Endokrin wirkende Substanzen, die z.B. aus Arzneimittelreste via Fäkalien und Urin ausgeschieden werden, gelangen nicht in die Gewässer. Schon geringste Konzentrationen dieser Stoffe können zu Reproduktionsstörungen bei Fischen und anderen Lebewesen führen (Leisewitz 1997), so dass eine Freisetzung vermieden werden soll. Aufgrund der hohen Temperaturen und des mikrobiellen Abbaus werden die Konzentrationen an endokrinen Stoffen im Fermenter reduziert.

#### **4. Kraft-Wärme-Kopplung: thermodynamische Kaskade von Motorheizkraftwerken und Wärmepumpen:**

Zur dezentralen regenerativen Strom- und Wärmeerzeugung werden Zündstrahl-Motorheizkraftwerke (MHKW) eingesetzt, die sowohl mit flüssigen (Heizöl, behandeltes Pflanzenöl) als auch mit gasförmigen Brennstoffen (Erdgas, Biogas, Schwachgas) betrieben werden können. Bei hoher Flexibilität bei der Wahl des Brennstoffes liegt der Gesamtwirkungsgrad bei 91% und der elektrische Wirkungsgrad bei 39%.

Brenngase für das MHKW werden in der Biogasanlage und in einem Holzvergaser erzeugt. Der für die Zündstrahltechnik notwendige Anteil von 10% flüssigem Brennstoff soll mit behandeltem Pflanzenöl gedeckt werden.

Die produzierte Wärme wird in ein Nahwärmenetz eingespeist und auch als Prozesswärme für den Fermenter verwendet.

Zur saisonalen Wärme- und Kältespeicherung werden Wärmepumpen zur Beheizung und Kühlung sowie zur saisonalen Wärme- und Kältespeicherung im Erdreich eingesetzt. Durch die thermodynamische Kaskadenschaltung von MHKW's und Wärmepumpen werden primärenergetische Wirkungsgrade von 130 bis 160 % erreicht.

#### **5. Wirtschaftlichkeit des Kreislaufkonzepts:**

Durch die energetische Nutzung des Schwarzwassers und die dezentrale Reinigung des Grauwassers entfallen die oft erheblichen Kosten für den Kanalanschluss an eine konventionelle Kläranlage. In der Größenordnung entsprechen diese Kosten den Investitionen für die Biogasanlage.

Durch Einnahmen aus der Strom- und Wärmeerzeugung einerseits und durch verminderte Abwasser- und Müllgebühren andererseits, kann die komplexe RESOB-Kreislauftechnologie finanziert werden, ohne dass für die Nutzer im Vergleich zu konventionellen Versorgungsstrategien höhere Kosten entstehen. Nach Wegfall der Finanzierungskosten gibt RESOB den entstehenden Kostenvorteil in vollem Umfang an den Nutzer weiter. So können die Kosten für die Ver- und Entsorgung mittelfristig, d.h. in den nächsten 12 bis 15 Jahren um mindestens 25 bis 35% reduziert werden !

Bei der **konventionellen 'End of pipe' Behandlung** (Abb. 5) treten nur energieverbrauchende Prozesse auf. Die im Abwasser und im Bioabfall enthaltene Energie wird nicht genutzt, sondern durch weiteren Energieverbrauch vernichtet. Die Energiebilanz ist negativ.

Bei der **Teilstrombehandlung** steht den verbrauchenden Prozessen ein Netto-Energiegewinn von 103 kWh pro Einwohner und Jahr gegenüber. In der Biogasanlage wird die in den Stoffen enthaltene Energie in Form von Biogas gewonnen und zur Erzeugung von Strom und Wärme verwendet. Die Energiebilanz ist positiv.

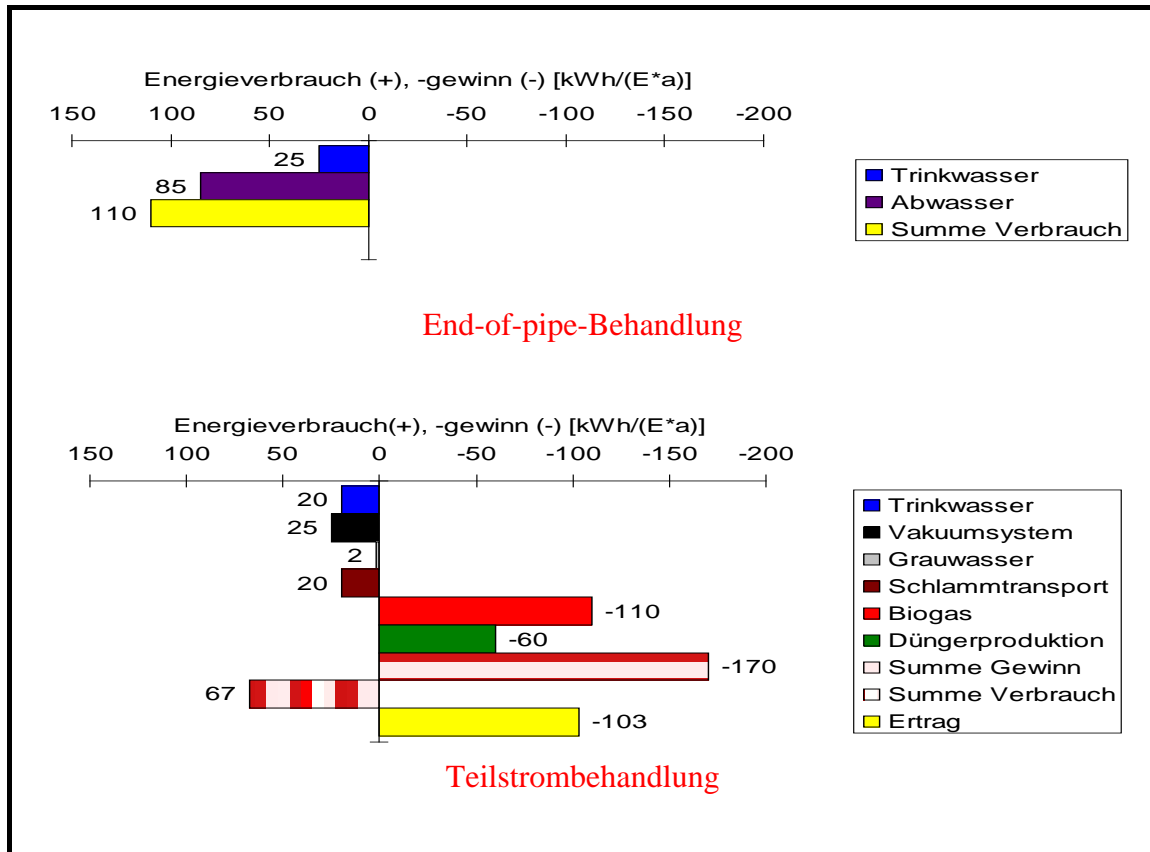


Abb. 5: Energieverbrauch bei konventioneller Abwasserbehandlung (End-of-pipe-Behandlung) im Vergleich zu einer Teilstrombehandlung (Wiederherstellung geschlossener Stoffkreisläufe)

### Literatur:

Herzog E, Kuhn E (1996): Kofermentation, Positionspapier: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt (Hrsg.).

Kulle E-P, Englert R (1997): Untersuchungsergebnisse einer Teich-Pflanzen-Kläranlage im Sommer und Winterbetrieb, Naturnahe Abwasserbehandlung durch Pflanzenkläranlagen, Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin e.V. 30.9.-1.10.1997 in Lutherstadt Wittenberg.

Leisewitz (1997): Stoffströme wichtiger hormonell wirkender Substanzen. UBA Projekt Nr. 10601076, zitiert in UBA-Texte 46/1997.

Philipp W, Böhm R (1997): Hygieneanforderungen an Verfahren der Bioabfallvergärung. In: K Wiemer, M Kern (Hrsg.) Bio- und Restabfallbehandlung, M.I.C. Baeza-Verlag Witzenhausen-Institut, S. 313-344.