

Teilkonzept zum Klimaschutzkonzept der Stadt Halberstadt

Klimafreundliche Abwasserbehandlung

Erstellt von:

Dr.-Ing. Ute Urban

Dipl.-Ing. (FH) Carina Friedel

Prof. Dr.-Ing. Andrea Heilmann

November 2012

Vertraulichkeitsvermerk

Die im Bericht verwendeten Daten sind vertraulich zu behandeln und dürfen nicht an Dritte weitergegeben werden. Eventuelle Veröffentlichungen von Ergebnissen müssen im Vorfeld mit der Abwassergesellschaft Halberstadt GmbH abgestimmt und möglichst anonym verwendet werden.

Inhaltsverzeichnis

1. Istzustandsaufnahme	6
1.1 Abwasserzusammensetzung	6
1.2 Kanalnetz	8
1.3 Verfahrenstechnik	8
1.4 Energieverbrauch.....	12
2. Dynamische Simulation	15
3. Optimierung und Potenziale	19
3.1 Verfahrenstechnische Optimierung.....	19
3.1.1 Einsatz effizienterer Kompressoren.....	19
3.1.2 Wärmerückgewinnung aus BHKW bzw. Faulgastemperierung	20
3.1.3 Wärmerückgewinnung aus dem Ablauf der Kläranlage.....	21
3.1.4 Wärmegewinnung aus dem Kanalnetz	23
3.2 Einsatz von Erneuerbaren Energien	24
3.2.1 Photovoltaik auf Betriebsgebäuden.....	24
3.2.2 Verbesserung der Gaserzeugung im Faulbehälter	26
3.2.3 Installation einer Kleinwindanlage	27
4. Energie- und CO ₂ -Bilanz	28
5. Handlungsempfehlungen.....	34
6. Zusammenfassung und Ausblick.....	35
Literaturverzeichnis	37
Anhang	38
Anhang 1: Simulationsmodell der Kläranlage Halberstadt in Simba	39
Anhang 2: Energiequelle Wasserwirtschaft.....	40
Anhang 3: Umweltinnovationsprogramm	41
Anhang 4: Investitionskosten von Photovoltaik-Anlagen.....	42
Anhang 5: Diagramm zur Abschätzung von Freivolumen zur Co-Vergärung.....	43
Anhang 6: Richtangebote für Turbokompressoren, Aerzener	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	BSB5 im Zulauf über dem täglichen Durchfluss 2009 bis Juni 2012 ...	7
Abbildung 2:	Häufigkeit der Stromverbräuche aller Kläranlagen nach Barjenbruch, DWA	12
Abbildung 3:	Effizienzklassen gemäß DIN EN 60034-30	14
Abbildung 4:	Simulationsmodell der Kläranlage Halberstadt (gelb: Sollgrößen, Eingabewerte; blau: Auslesefelder)	15
Abbildung 5:	Simulationsergebnis zur Luftmenge in den Kaskaden über der Zeit .	16
Abbildung 6:	Simulationsergebnis der Ammoniumkonzentration am Zulauf (in), 2. Belebungs-kaskade (2) und am Ablauf (out)	17
Abbildung 7:	Simulationsergebnis der Faulgaserzeugung	18
Abbildung 8:	Beitrag der Wasserwirtschaft zu kommunalen Energiewende	19
Abbildung 9:	Darstellung der Zulauf- und Ablauftemperatur der Kläranlage	21
Abbildung 10:	Aufbau auf stillgelegten Becken der Kläranlage Halberstadt (Foto: U. Urban)	25
Abbildung 11:	Diagramm zur Abschätzung des Freivolumens für die Co-Vergärung, (hier Kläranlage Halberstadt schwarzer Pfeil)	26
Abbildung 12:	Einwohnerspezifischer Strombezug 2008 bis 2010	28
Abbildung 13:	Resultierende CO ₂ -Emissionen	29
Abbildung 14:	CO ₂ -Emissionen der Kläranlage Halberstadt mit möglichen Einsparpotenzialen	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 : Durchschnittliche Reinigungsleistung	6
Tabelle 2 : Abwasserzusammensetzung Daten 2009 bis Juni 2012	7
Tabelle 3 : Errechneter jährlicher Strombedarf der Aggregate	13
Tabelle 4 : Steuerung der BHKW-Leistung in Abhängigkeit des Stromverbrauchs der Kläranlage	18
Tabelle 5 : Energiedaten des Jahres 2010 der Kläranlage Halberstadt	21
Tabelle 6 : Freie Dachflächen mit theoretisch zu erzeugender Strommenge	24
Tabelle 7 : Energieverbrauch und CO2-Emissionen der Kläranlage Halberstadt für das Jahr 2011	29
Tabelle 8 : Energie- und CO2-Bilanz mit den vorgeschlagenen Maßnahmen Szenario 1	31
Tabelle 9 : Energie- und CO2-Bilanz mit den vorgeschlagenen Maßnahmen Szenario 2	32
Tabelle 10 : Entwicklung der CO2-Emissionen.....	33

1. Istzustandsaufnahme

1.1 Abwasserzusammensetzung

Die Kläranlage Halberstadt wurde im Jahr 2000 nach zweijähriger Bauzeit in Betrieb genommen. Es handelt sich um eine Kläranlage der Größenklasse 4, die für 60.000 Einwohnergleichwerte (EW) ausgebaut ist, die Stickstoff- und Phosphoreliminierung erfolgt in einer dreistufigen Kaskadennitri- und denitrifikation.

Sie ist für einen Trockenwetterabfluss von 540 m³/h ausgelegt, bei Regenwetter können bis 1350 m³/h behandelt werden, bevor das Abwasser zwischengespeichert werden muss. Pro Jahr werden ca. 3 Millionen Kubikmeter Abwasser behandelt (Tabelle 1). Die behördlichen Überwachungswerte werden bei allen zu überwachenden Parametern eingehalten und unterschritten (Tabelle 1).

Laut dem 21. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen von 2008 erreichen 70 % aller untersuchten Kläranlagen der Größenklasse 4 einen CSB von unter 30 mg/l im Ablauf und 68 % erreichen eine Reinigungsleistung von unter 1 mg/l beim Ammonium-Stickstoff. Auch beim Gesamtphosphor liegt die Kläranlage Halberstadt mit 0,7 mg/l in dem für ihre Größenklasse typischen Bereich (¹).

Tabelle 1 : Durchschnittliche Reinigungsleistung

Messgröße in mg/l	Rohwasser Zulauf (mg/l)	Behördliche Überwachung (mg/l)	Ablauf Kläranla- ge (mg/l)
Chemischer Sauer- stoffbedarf CSB	600 - 800	90	≤ 30,0
Biologischer Sauer- stoffbedarf BSB ₅	300 - 600	20	≤ 12,0
Ammonium-Stickstoff NH ₄ -N	60 - 70	10	≤ 1,0
Gesamtstickstoff Nges-N	60 - 80	18	≤ 8,0
Gesamtphosphor Pges-P	8 - 12	2	≤ 0,7
Abfiltrierbare Stoffe AFS	300 - 600	--	≤ 6,0

In Abbildung 1 ist die Abwasserkonzentration über der täglichen Zulaufmenge dargestellt. Durch die Vermischung mit Niederschlagswasser wird die Abwasserkonzentration deutlich gesenkt.

¹ DWA: 21. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2008, Hennef

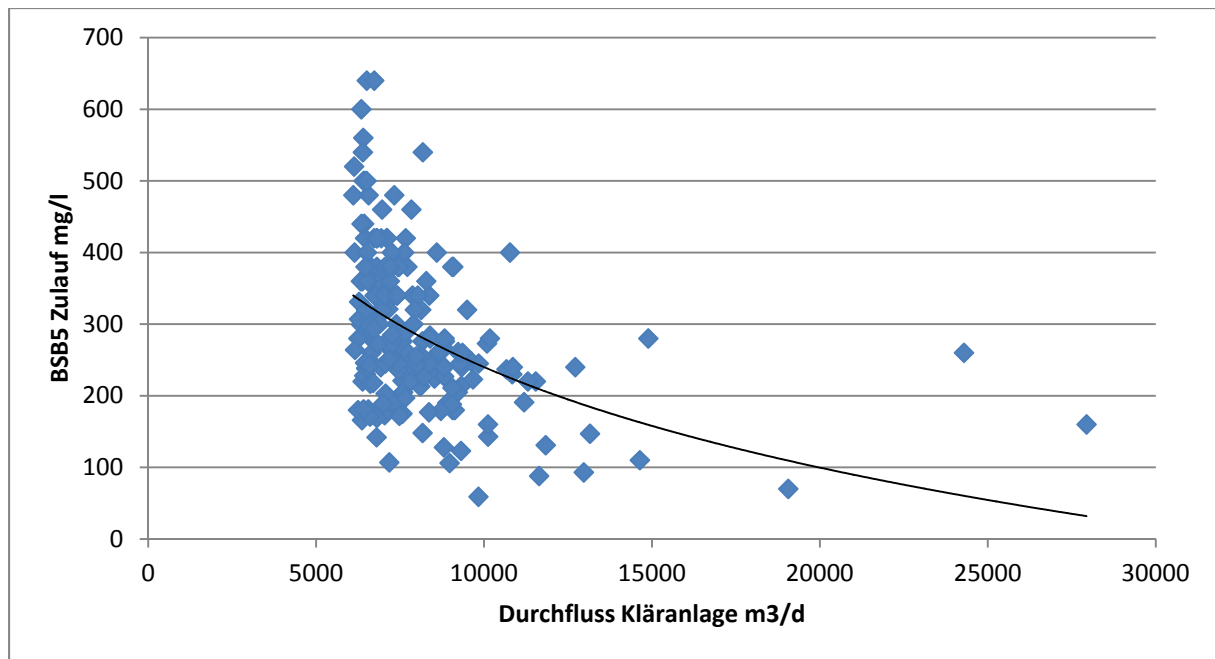


Abbildung 1: BSB5 im Zulauf über dem täglichen Durchfluss 2009 bis Juni 2012

Tabelle 2 zeigt die Abwasserzusammensetzung der Kläranlage auf Basis des Betriebstagebuchs des Betreibers für die Jahre 2009-2012.

Tabelle 2 : Abwasserzusammensetzung Daten 2009 bis Juni 2012

2009 bis Juni 2012		Minimum	Maximum	Mittelwert
Durchfluss Kläranlage	m³/d	5527,0	28102,0	8229,0
BSB ₅ Zulauf	mg/l	3,0	680,0	294,0
Nges Zulauf	mg/l	7,9	107,2	63,8
Pges Zulauf	mg/l	1,0	26,0	9,8
CSB Ablauf	mg/l	15,0	275,0	28,0
Nges Ablauf	mg/l	0,1	21,2	7,3
NH ₄ Ablauf	mg/l	0,0	14,0	1,4
NO ₃ Ablauf	mg/l	0,1	88,5	4,1
Pges Ablauf	mg/l	0,0	11,1	0,7
Abzug Primärschlamm	m³/d	0,0	188,0	99,0
Abzug Überschussschlamm	m³/d	0,0	497,0	271,0
Gasproduktion	m³/d	0,0	1279,0	812,0
Methananteil	%	25,7	69,1	62,4
Schlamm zur Entwässerung	m³/d	0,0	238,0	95,0
TS-Gehalt entwässerter Schlamm	%	0,3	33,7	24,5

Der hohe maximale Durchfluss wird bei Regenereignissen erreicht, da ein Teil des Stadtgebietes Halberstadt im Mischsystem entwässert wird.

1.2 Kanalnetz

An die Kläranlage der Abwassergesellschaft Halberstadt sind die Stadt Halberstadt und die Ortsteile Aspenstedt, Athenstedt, Emersleben, Klein Quenstedt, Sargstedt, Schachdorf Ströbeck und Veltinsmühle angeschlossen. Das Kanalnetz hat eine Länge von 292 km. Während in den Ortsteilen das gesamte Abwasser im Trennsystem gesammelt wird, das heißt bei 126,8 km des Leitungssystems handelt es sich um Schmutzwasserleitungen, die das Abwasser zur Kläranlage transportieren, werden im Stadtgebiet von Halberstadt 41,5 km im Mischsystem entwässert. Regenwasserleitungen leiten das Regenwasser auf einer Länge von 123,7 km direkt in die Vorfluter. 41,8 % des Kanalnetzes wurden in den Jahren 1991 bis 2000 erbaut und 14,4 % ab 2010 ⁽²⁾.

1.3 Verfahrenstechnik

Das Abwasser aus dem Einzugsgebiet wird zunächst im Rechengebäude von Grobstoffen befreit. Auch Kanalspülgut und Fäkalschlamm werden dort angeliefert. Der prinzipielle Aufbau ist im Folgenden dargestellt.

Rechengebäude

- 2 Stufenrechen min 3 mm Spaltweite und $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{h}$
- Rechengutwäsche/Rechengutpresse
- Grobstoffwäscher
- 3 Reststoffcontainer
- Gebläse für belüfteten Sandfang
- Elektrische Schaltanlagen

Kanalspülgutannahme

- Annahmestation für Kanalspülgut mit Grobstoffabscheidung und Förderschnecke $V = 15 \text{ m}^3$

Im Sand- und Fettfang werden 95 % der Sand und Fettpartikel abgeschieden.

Belüfteter Sand- und Fettfang

- Länge = 20 m
- Max. Durchfluss $2240 \text{ m}^3/\text{h}$
- Fließgeschwindigkeit $\leq 0,2 \text{ m/s}$

Rohabwasserpumpensumpf

- Vorlagevolumen $V = 70 \text{ m}^3$
- Pumpstation mit Füllstandreglung

² Statistische Erhebung über die öffentliche Abwasserbeseitigung 2011, Landesamt für Umweltschutz Sachsen Anhalt, Halle

Das Mischwasserspeicherbecken dient zur temporären Zwischenspeicherung von Abwasser bei erhöhtem Anfall z. B. durch Regenereignisse.

Rohabwasserpumpwerk

- Im Regenwetterfall werden Abwassermengen bis 1350 m³/h direkt zur Grobentschlammung und zur biologischen Stufe geleitet
- Darüber hinaus anfallendes Abwasser wird temporär in den Mischwasserbecken zwischengespeichert
- 6 Pumpen mit verschiedenen Leistungen

Mischwasserspeicher

- Ehemalige Vorklärbecken
- 3 Becken mit Gesamtvolumen von $V = 2100 \text{ m}^3$

Funktionsgebäude mit Grobentschlammung

- *Erdgeschoss*: Trafostation, Mittel- und Niederspannungsverteilung, BHKW, maschinelle Schlammeindickung, Zentrifuge mit Schalträumen, Container-raum, Gebläsestation
- *Kellergeschoss*: Primär- und Schlammwasserspeicher, Heizungsanlage, Brauchwasseranlage, Wärmetauscher für Faulbehälter, verbindende Rohrleitungen und Armaturen, Messgeräte, Schieber und Pumpen
- *Grobentschlammung*: $V = 2 \times 280 \text{ m}^3 = 560 \text{ m}^3$

Nach der mechanischen Vorbehandlung des Abwassers folgt die biologische Reinigungsstufe in einer Dreier-Kaskade mit verteilter Zulaufführung. Dort werden die gelösten Inhaltsstoffe wie Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorverbindungen durch aerobe Mikroorganismen abgebaut. In der Kaskade werden neun Becken spiralförmig hintereinander durchflossen. Die Belüftung der Nitrifikationsbecken erfolgt durch am Boden verlegte Gummi-Membranbelüfter, die Luft feinblasig eintragen. Die Versorgung der sechs Becken mit Luftsauerstoff erfolgt durch fünf Drehkolben-gebläse, die lastabhängig betrieben werden.

Kaskadenbiologie

- $9 \times V = 950 \text{ m}^3 = 8550 \text{ m}^3$ Gesamtvolumen
- $T = 5,3 \text{ m}$, $L = 13,4 \text{ m}$, $B = 13,4 \text{ m}$
- 3 Denitrifikationsbecken mit Rührwerk
- 6 Belüftungsbecken/ Nitrifikation (je 37 m³/Min. Luftansaugleistung)
- 4 x (20+16+14) Rohrbelüfter
- Rührwerke in den Nitrifikationsbecken (Kombibecken)

Das Abwasser-Belebtschlammgemisch wird nach der Kaskadenbiologie auf die beiden Nachklärbecken aufgeteilt. Der abgesetzte Schlamm aus den Nachklärbecken wird als Rücklaufschlamm in die Kaskadenbiologie zurückgepumpt und der Überschussschlamm wird eingedickt und dem Faulbehälter zugeführt.

Die Klarphase aus den Nachklärbecken fließt vollbiologisch gereinigt in die Holtemme.

Verteiler Nachklärbecken und Rücklaufschlamm-Pumpwerk

- Verteilerbauwerk; Aufteilung des Abwassers auf 1 oder 2 Nachklärbecken
- 2 Rücklaufschlamm-Pumpen zu je 1500 m³/h
- 1 Reservepumpe

2 Nachklärbecken

- D = 32 m, A = 803 m², mittlere Tiefe T = 4,8 m, V = 3850 m³
- Schlammtrichter in der Beckenmitte bis 8 m tief

Ablaufmessaanlage

- Behördliche Probennahmestelle mit IDM-Durchfluss-Mengenmesseinrichtung und automatischem Dauerprobenahmegerät

Der anfallende Klärschlamm aus der Grobentschlammung und dem Nachklärbecken wird eingedickt und im Faulurm unter anaeroben Bedingungen ausgefault. Das entstehende Methangas wird zur Beheizung der Betriebsgebäude sowie zur Kraft-Wärme-Kopplung im BHKW verwendet.

Nacheindicker

- D = 8 m mit Krähwerk
- T = 5 m, V = 250 m³

Schlammpeicher

- D = 8 m mit Mischeinrichtung
- T = 5 m, V = 250 m³

Treppenturm

- Höhe = 15,5 m
- Verschiedene Rohrleitungen zur Versorgung des Faulbehälters und Faulgasableitung

Faulbehälter

- D = 13,5 m, Tiefe/Höhe = 14 m, V = 2000 m³
- Betriebstemperatur = 35 – 37 °C

Gasbehälter

- V = 400 m³ zur Zwischenspeicherung von Faulgas

Gasfackel

- Verbrennung ggf. überschüssigen Faulgases, z. B. bei Wartung des BHKWs

Auslaufbauwerk

- Einleitung des gereinigten Abwassers in Vorfluter Holtemme
- Online-Analysenstation

Schlammbecken/Erdfaulbecken

- Reservefläche für zeitweilige Zwischenlagerung von Klärschlamm

Messtechnik

Am Zulauf werden der Durchfluss, die Leitfähigkeit die Temperatur und der pH-Wert gemessen.

Im ersten Denitrifikationsbecken werden die Ammoniumkonzentration, der Füllstand und der Phosphatgehalt automatisch gemessen.

Am Überlauf der 6 Nitrifikationsbecken erfolgt die Messung der Sauerstoffkonzentration durch Sauerstoffsonden. In den Nitrifikationsbecken 2.1 und 2.2 sind Sonden zur Ammoniummessung installiert.

Die Nitratkonzentration wird am Überlauf des 3. Denitrifikationsbeckens sowie im Ablauf der Kaskadenbiologie gemessen.

Im Auslaufbauwerke werden Phosphat- und Ammoniumgehalt des gereinigten Abwassers gemessen.

Im Verteilerbauwerk vor den Nachklärbecken werden die Abwassertemperatur und der pH-Wert des biologisch gereinigten Abwassers überwacht.

1.4 Energieverbrauch

Der gesamte Stromverbrauch der Kläranlage Halberstadt lag im Jahr 2011 bei 1532 MWh/a. Das entspricht bei einer durchschnittlichen Belastung von 36.625 Einwohnergleichwerten einem spezifischen Energiebedarf von 41,8 kWh/EW*a (bei Berechnung nach BSB-Ansatz mit 60 g/EW*d BSB), wenn man die Stromeigenproduktion der Kläranlage durch das Blockheizkraftwerk mit einbezieht, sinkt der spezifische Strombedarf pro Einwohner auf 24,5 kWh/EW*a, was laut Barjenbruch ⁽³⁾ nur 15 % aller untersuchten Kläranlagen erreichten (Abbildung 2).

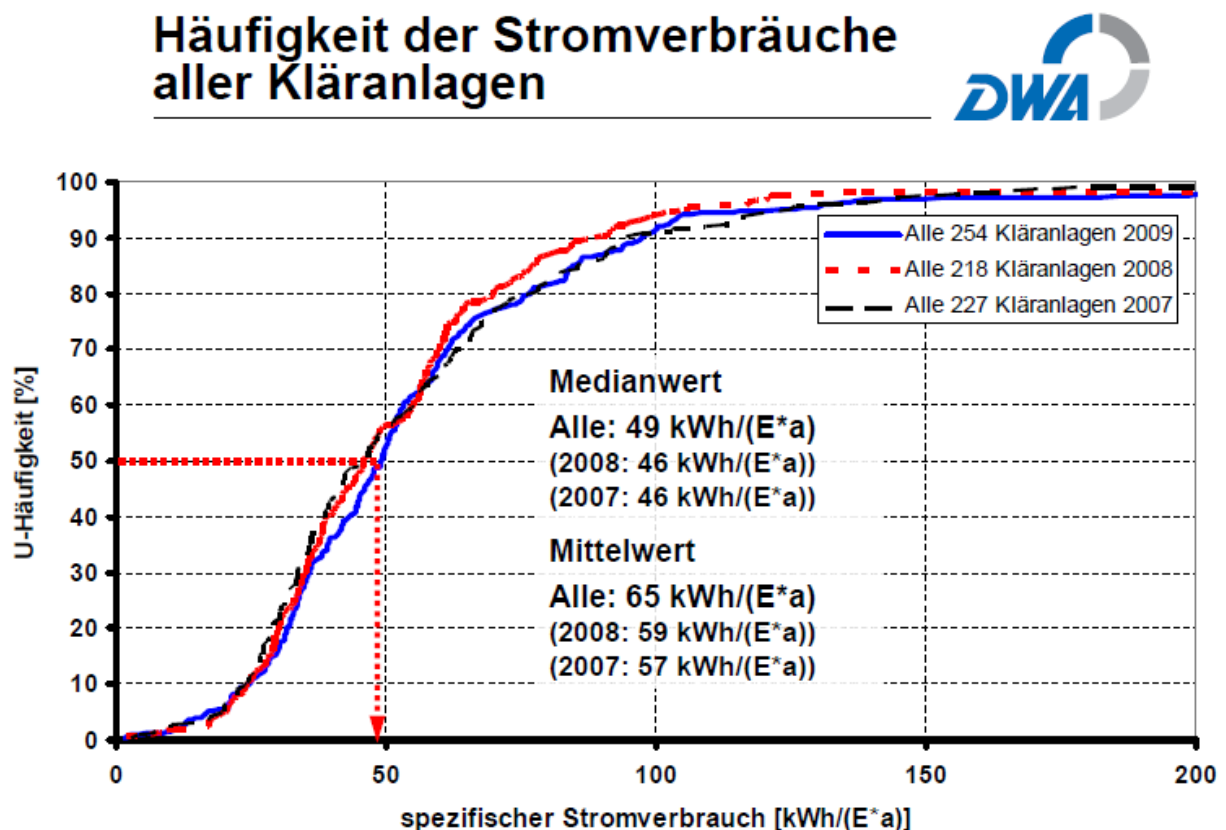


Abbildung 2: Häufigkeit der Stromverbräuche aller Kläranlagen nach Barjenbruch, DWA

In Tabelle 3 ist der errechnete Verbrauch der einzelnen Aggregate der Kläranlage aufgeschlüsselt. Dabei wird deutlich, dass die Belüftung der Belebungsbecken 52 % des Gesamtenergiebedarfes der Kläranlage ausmacht.

³ Barjenbruch et al.: Energiebedarf 2009 auf Kläranlagen im Landesverband Nord-Ost. Chancen für Optimierungspotenziale, DWA-Landesverband Nord-Ost

Tabelle 3 : Errechneter jährlicher Strombedarf der Aggregate

Aggregat	Geschätzte Betriebszeit h/a	Berechneter Gesamtverbrauch MWh/a	Frequenzumrichter vorhanden
Sandfangpumpe	2226	3,34	
Fettpumpe	188	0,41	x
Gebläse Sandfangbelüftung	4510	27,06	x
Sandfangsaugräumer	1000	0,30	
Tauchmotorpumpe Sandfangsaugräumer	500	0,75	
Fahrbahnheizung Sandfang	50	0,08	
Mischwasserpumpen	506	37,44	
Rohwasserpumpen	2756	305,92	x
Grobentschlammungs-Längsräumer	500	0,25	
Fahrbahnheizung Doppellängsräumer	50	0,16	
Beschickungspumpe Primärschlammindicker	1000	3,00	x
Mazerator Primärschlammumpwerk	1158	10,42	
Gebläse Belebungsbecken	4240	795,00	x (IE2)
Ventilator Abluft Gebläseraum	8760	6,57	
Tauchmotorrührwerke BB-Deni 1-3, Nitri 2.1	3619	33,29	x
Rezirkulationspumpen Belebungsbecken Deni 1-3	3679	27,59	
Rücklaufschlammumpen	3490	94,23	x
Rundräumer Nachklärbecken	8760	16,12	
Schwimmschlammumpen Nachklärbecken	500	2,40	
Kellerentwässerungspumpen RLS-PW	20	0,05	
Frischschlammumpen	2512	11,05	
Förderpumpe für org. Reststoffe	58	0,06	
Heizschlammumwälzpumpen	4235	31,76	x
Brauchwasserpumpen Druckerhöhungsanlage	3198	25,90	
Trübwasserpumpen	998	5,99	
Kondensatpumpe	200	0,11	
Kellerentwässerungspumpen Funktionsgebäude	50	0,12	
Mazerator vor Pumpe für org. Reststoffe	58	0,32	
Mazerator vor Heizschlamm-Umwälzpumpen	4235	46,59	
Rührwerk Schlamm Speicher	8235	20,59	
Rührwerk Rohschlammumpensumpf	4324	6,49	
Rührwerk Speicher org. Reststoff	193	0,29	
Rührwerk Trübwasserspeicher	3000	7,50	
Rührwerk Primärschlamm Speicher	3806	9,52	
Krählwerk Nacheindicker	8600	2,15	
NaOH-Dosierpumpen	58	0,03	
Summe		1532,85	

Die Aggregate die bereits mit einem Frequenzumrichter ausgestattet sind, lassen sich drehzahl geregelt fahren und arbeiten somit vergleichsweise effizient. Bei Installation der Aggregate wurde die Effizienzklasse eff2 (heute IE2) erreicht. Durch die

Verbesserung der Motoren sind jetzt schon Aggregate mit IE3 verfügbar, s. Abbildung 3 (DIN 60034). Im Bereich bis 30 kW sind hier Verbesserungen des Wirkungsgrades von 2-4 % je nach Leistungsklasse möglich. Die Premium Effizienzklasse IE 3 sollte für Aggregate eingesetzt werden, die zumindest 500 h/a betrieben werden.



Abbildung 3: Effizienzklassen gemäß DIN EN 60034-30

Zur Erarbeitung eines Konzepts zur klimateffizienten Abwasserreinigung wurde eine dynamische Simulation zur Ermittlung der Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz durchgeführt und Potenziale zur Nutzung von Erneuerbarer Energien ermittelt.

2. Dynamische Simulation

Mit Hilfe des Simba-Programms wurde die Anlage als biologisches Modell nachgebildet, um die ablaufenden Prozesse abbilden zu können. Das Modell der Anlage ist in Abbildung 4 dargestellt.

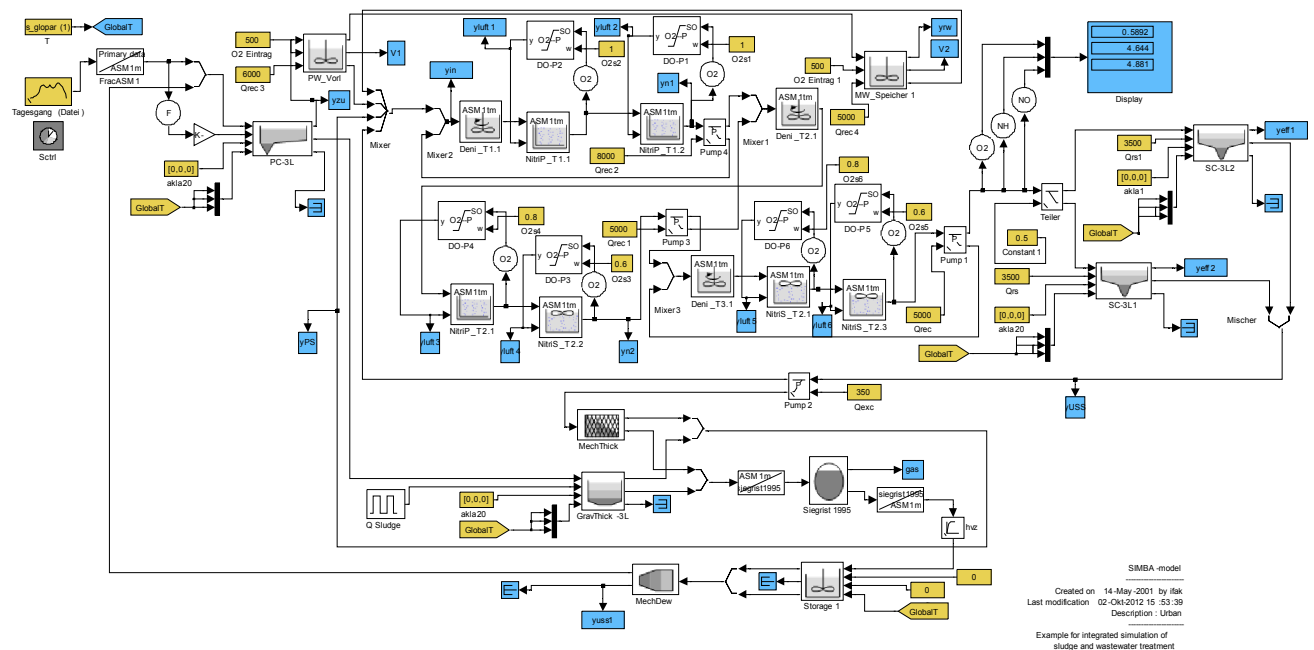


Abbildung 4: Simulationsmodell der Kläranlage Halberstadt (gelb: Sollgrößen, Eingabewerte; blau: Auslesefelder)

Die Steuerung der Belebungsstufe aus 9 Einzelbecken erfolgt durch die Vorgabe von Sauerstoffsollwerten in den einzelnen Kaskaden. Diese variieren zwischen 0,3 bis 1,0 mg/l und reichen zur Durchmischung der Reaktoren gerade aus. In der letzten Nitrifikationsstufe sind zusätzlich Rührwerke eingebaut, so dass die Belüftung in dieser Kaskade auch abgeschaltet werden kann, wenn die Belastung der Kläranlage niedrig ist.

Die Nitrifikationsbecken sind jeweils mit vier Fallleitungen für die Luftzufuhr ausgestattet. Dem sinkenden Luftbedarf in den Belebungskaskaden wird durch die Anzahl der installierten Rohrbelüfter Rechnung getragen. Hierbei sind in der 1. Nitrifikationsstufe 20, in der zweiten Stufe 16 und in der letzten Stufe 14 Rohrbelüfter pro Fallleitung eingebaut.

Die Rezirkulation wird nach dem Nitratgehalt im Ablauf der Nitrifikationsstufe gesteuert (2,0 - 6,0 mg/l) und somit nur betrieben, wenn eine ausreichende Nitratkonzentration vorherrscht.

Durch die Simulation konnte die Verteilung der Luftmenge ermittelt werden. Bei normalem Tageszulauf von ca. 7.000 m³/d (Trockenwetter) ergibt sich ein Luftbedarf von ca. 65.000 m³/d (s. Abbildung 5).

Die Belüftung der ersten Nitrifikationsstufe erfordert dabei ca. 28.000 m³/d. In der 2. Stufe kann der Tagesgang der Belastung der Anlage beobachtet werden. Im Mittel werden hier ca. 23.000 m³/d benötigt. In der dritten Nitrifikationskaskade werden nur noch 15.000 m³/d benötigt. Dies wird durch die Anordnung der Belüftungsrohre bereits angenähert. Zudem sind Rührwerke vorhanden, die Absetzerscheinungen des Belebtschlammes verhindern.

Abbildung 6 zeigt die Simulationsergebnisse für den Ammoniumgehalt. Der Ammoniumabbau in den Stufen wird daraus ersichtlich. Die Ablaufkonzentration von ca. 3 mg/l kann nachgebildet werden.

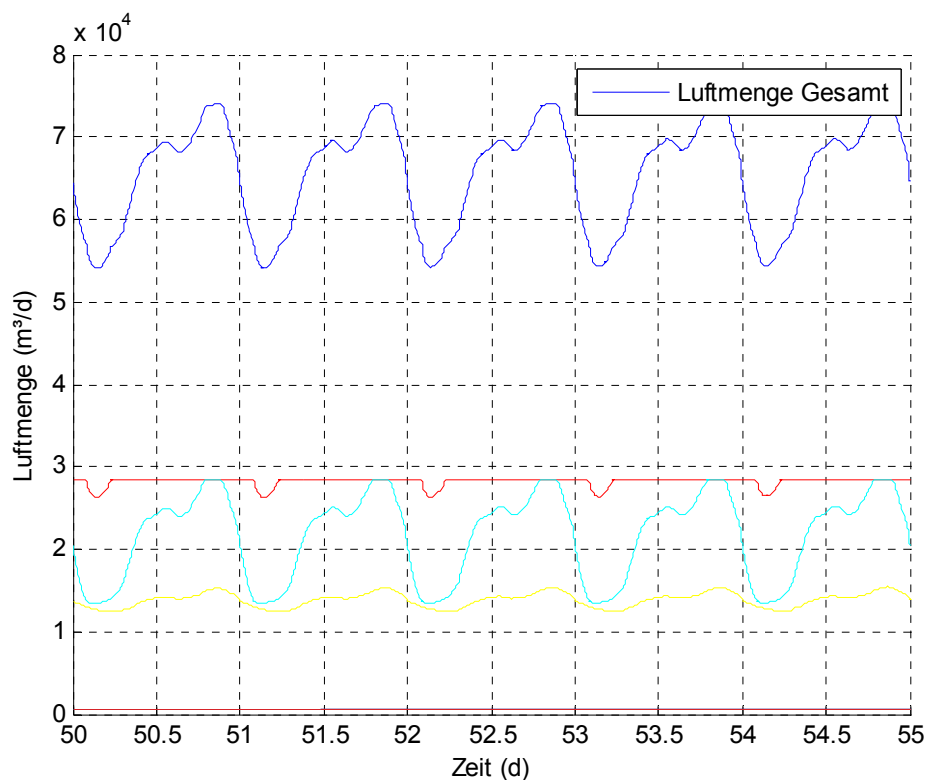


Abbildung 5: Simulationsergebnis zur Luftmenge in den Kaskaden über der Zeit

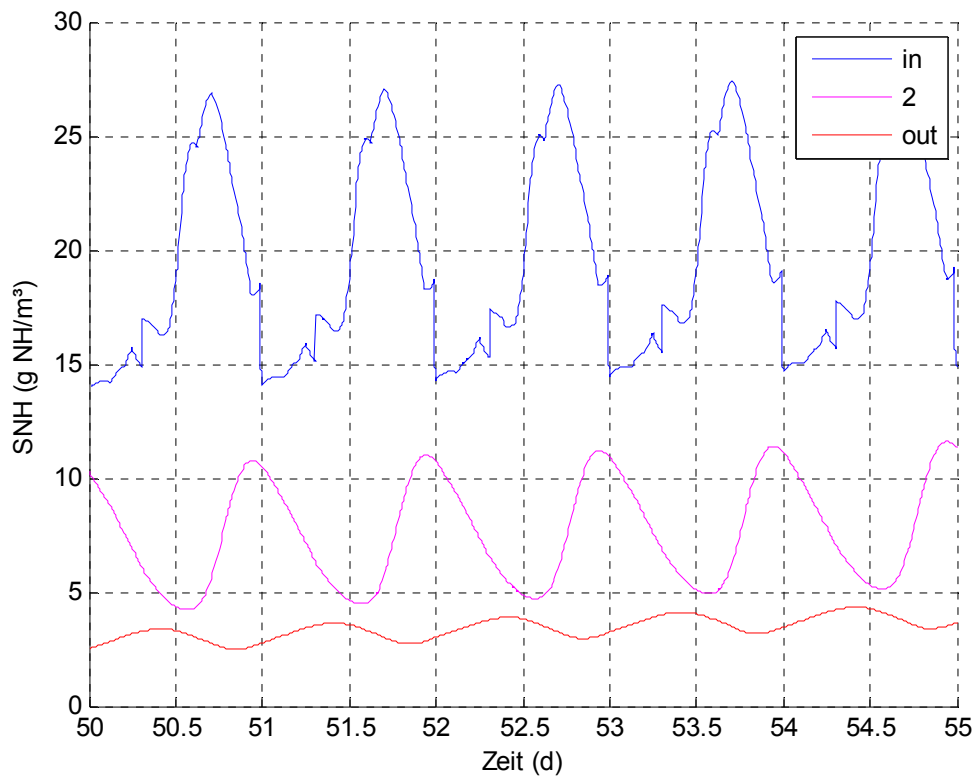


Abbildung 6: Simulationsergebnis der Ammoniumkonzentration am Zulauf (in), 2. Belebungskaskade (2) und am Ablauf (out)

Die Schlammstabilisierung erfolgt in der Anlage anaerob über den Faulturm. Der Überschussschlamm wird durch zwei Wärmetauscher im Kühlkreislauf des Blockheizkraftwerkes auf ca. 37 °C erwärmt, so dass der Faulprozess mesophil betrieben wird. Die ermittelte Gaserzeugung aus der Simulation beträgt ca. 770 m³ pro Tag mit einem Methangehalt von ca. 60 %, was sich mit den Betriebsdaten der letzten drei Jahre deckt. Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse der Simulation bei gleichmäßigem Trockenwetter-Zulauf zur Kläranlage.

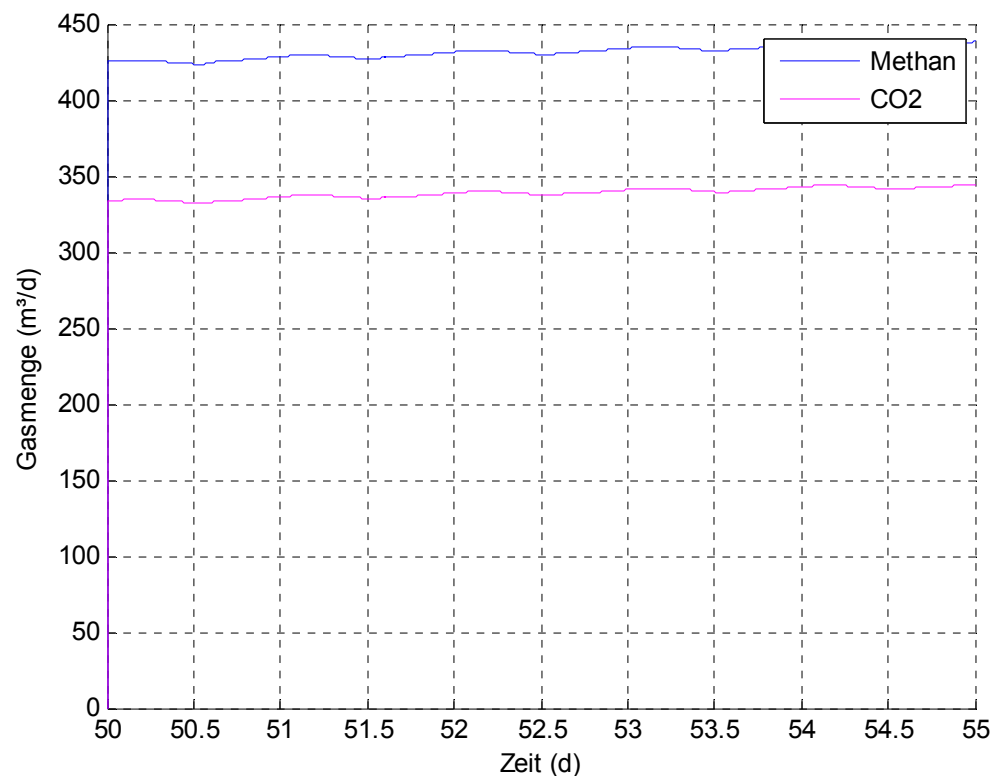


Abbildung 7: Simulationsergebnis der Faulgaserzeugung

Das Blockheizkraftwerk wird in Abhängigkeit der Stromlast der Kläranlage betrieben, um Spitzenlasten im Strombezug zu vermeiden. Das im Faulturm gebildete Gas wird dabei im Gasraum des Faulturms und im separaten Gasspeicher mit einem Volumen von 400 m³ gespeichert.

Tabelle 4 : Steuerung der BHKW-Leistung in Abhängigkeit des Stromverbrauchs der Kläranlage

Stromverbrauch KA (kW)	Leistung BHKW 100 kWel. (%)
100	55
270	75
300	80
310	90
315	95
320	100

3. Optimierung und Potenziale

Abbildung 8 zeigt den möglichen Beitrag von Kläranlagen zur Energiewende. Einige der dort vorgestellten Maßnahmen werden für die Kläranlage Halberstadt untersucht und hinsichtlich der möglichen Energie- und CO₂-Reduzierung bewertet.

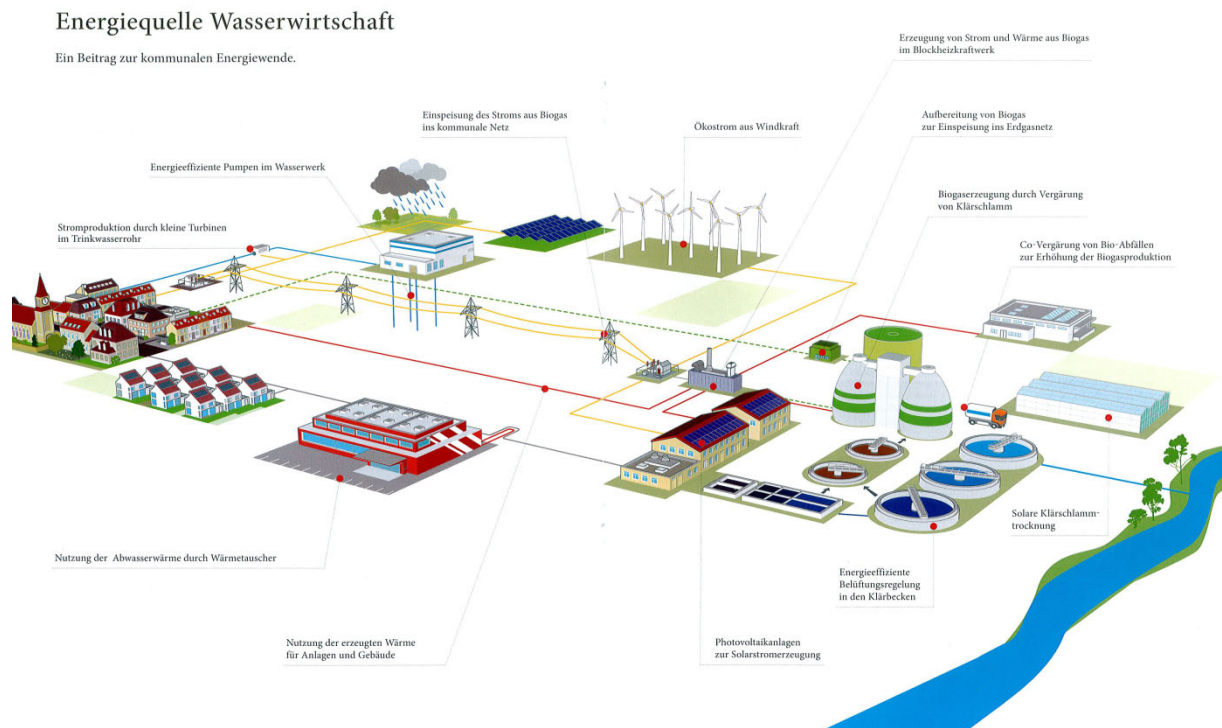


Abbildung 8: Beitrag der Wasserwirtschaft zu kommunalen Energiewende (⁴)

3.1 Verfahrenstechnische Optimierung

3.1.1 Einsatz effizienterer Kompressoren

Niedrige Sauerstoffsollwerte in der Belebung von 0,3 – 1,0 mg/l werden bereits realisiert. Zudem wurde eine Mischwasser-Speicherung vor der biologischen Stufe realisiert. Beim Umbau der Anlage im Jahr 2000 wurden die alten Vorklärbecken für die Speicherung von Mischwasser umgenutzt. Der Volumenstrom über die Belebungsstufe ist auf 1.350 m³/h begrenzt. Bei Regenereignissen wird das zusätzlich zuströmende Abwasser in den Mischwasserspeichern aufgefangen und verzögert über die Belebungsstufe geführt, was eine Vergleichsmäßigung der Belastung darstellt.

Wie in Tabelle 3 dargestellt ist, ist die Belüftung der Belebungsbecken mit 795 MWh/a der energieintensivste Prozess der Abwasserbehandlung. Momentan erfolgt die Kompression der Luft durch 5 Drehkolbengebläse, wovon zwei als Reserve die-

⁴ VEOLIA Wasser, Unternehmenszeitschrift nahdran., Mai 2012

nen. Durch den Einsatz energieeffizienterer Gebläse lassen sich vorsichtig abgeschätzt etwa 10 % der Energie ⁽⁵⁾ einsparen, die für das Belebungsbecken benötigt wird. Das entspricht einer Einsparung von 79,5 MWh/a, also einer Senkung des Gesamtstromverbrauches um 5,2 %.

Der Luftbedarf beträgt durch die reduzierte Belastung der Kläranlage derzeit ca. 70.000 m³/d (s. Simulation) im Trockenwetterfall. Die neuen Aggregate sollten für diesen Betriebspunkt optimal ausgelegt werden. Als Reserve können zwei bis drei der vorhandenen Aggregate mit einer Luftleistung von jeweils ca. 50.000 m³/d genutzt werden, um Spitzenlasten abdecken zu können. Durch den vorzugsweisen Betrieb der neuen Aggregate kann der Energieverbrauch reduziert werden, aber die Ersatzinvestitionskosten gering gehalten werden, da nicht die gesamte Leistung ersetzt wird. Richtangebote sind im Anhang 6 beigefügt.

3.1.2 Wärmerückgewinnung aus BHKW bzw. Faulgastemperierung

Das installierte BHKW zur Verstromung des Faulgases hat eine elektrische Leistung von 100 kW und ca. 160 kW thermisch. Der Kühlwasserkreislauf des BHKWs ist an das Heizsystem für den Faulschlamm und das Betriebsgebäude angeschlossen.

Der Faulschlamm wird auf 35-38 °C erwärmt, um den Prozess im Faulturm optimal zu betreiben. Das Heizwasser des Wärmetauschers hat somit ca. 40-45 °C im Rücklauf.

Im Winter wird Wärmeenergie für die Beheizung des Betriebsgebäudes genutzt, so dass keine zusätzliche Abwärme zur Verfügung steht.

Die Auswertung der Daten des Jahres 2010 in Tabelle 5 zeigt, dass bei der derzeitigen Einstellung auch in den Sommermonaten Erdgas bezogen wurde. Durch die Optimierung des BHKW-Betriebes und des Heizkessels sollte erreicht werden, dass von Mai bis September (außer Wartungsarbeiten am BHKW) kein Erdgas bezogen werden muss. Dies würde eine Einsparung von ca. 5 % bedeuten und kann durch Optimierung der Einstellung der Steuerung erreicht werden.

⁵ Herstellerangabe Aerzener, Telefonische Information, 09.11.2012

Tabelle 5 : Energiedaten des Jahres 2010 der Kläranlage Halberstadt

	Faulgas			Erdgas- bezug	Strom		
	Gaser- zeugung	Gasver- brauch BHKW	Gasver- brauch Heizung		Energie- bezug KA	Energie- eigener- zeugung KA	Energie- verbrauch KA
Einheit	m³	m³	m³	m³	kWH	kWH	kWH
Januar	23353	19214	199	7211	91824	46587	138411
Februar	21531	17619	469	5916	82104	43570	125674
März	26251	21177	1414	5117	86368	52445	138813
April	27438	21599	2368	2358	77732	53717	131449
Mai	28388	23771	1735	648	75048	59245	134293
Juni	25245	22317	270	206	72740	54202	126942
Juli	24896	22403	85	158	72068	52171	124239
August	24722	22412	53	411	78668	53152	131820
September	25222	22948	8	109	70104	56288	126392
Oktober	24719	21727	570	1018	74692	53410	128102
November	25061	21993	776	3271	78384	54916	133300
Dezember	25743	21438	1187	5419	88144	52764	140908
Summe	302570	258619	9134	31842	947876	632467	1580343
Mittelwert	25214	21552	761	2653			
Höchstwert	28388	23771	2368	7211			

3.1.3 Wärmerückgewinnung aus dem Ablauf der Kläranlage

Die Abwassertemperaturen des Zulaufs und des Ablaufs der Jahre 2009 bis Juni 2012 sind in Abbildung 9 dargestellt. Daraus wird deutlich, dass Wärmeenergie aus dem Ablauf genutzt werden kann, denn die Ablauftemperatur bleibt beinahe immer über 9 °C, so dass für den Betrieb einer Wärmepumpe eine akzeptable Vorlauf-temperatur erreicht wird.

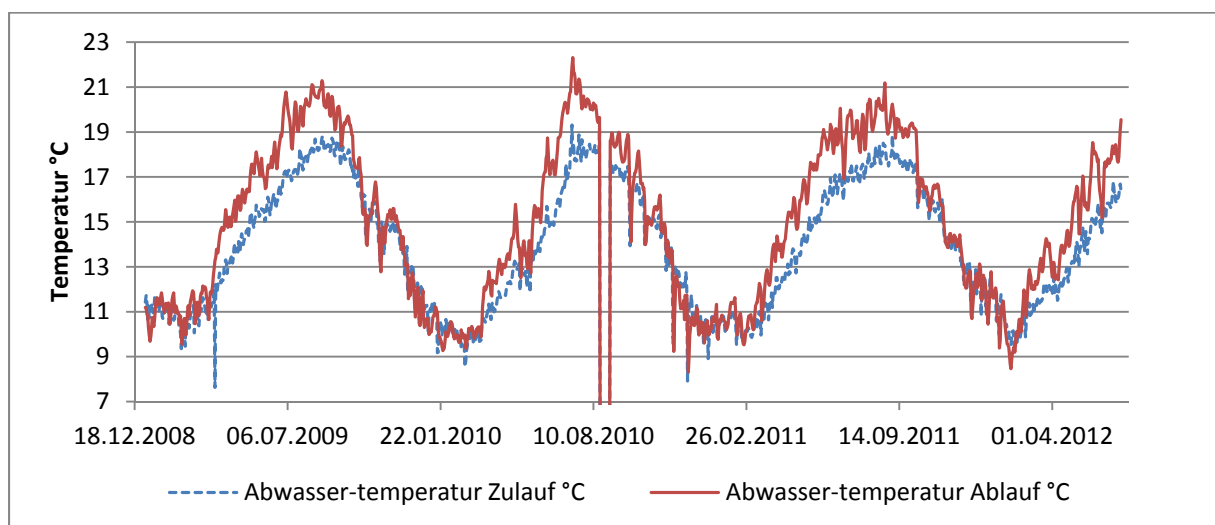


Abbildung 9: Darstellung der Zulauf- und Ablauftemperatur der Kläranlage

Der nutzbare Energieinhalt E des Abwassers kann gemäß Formel (1) berechnet werden:

$$E = Q * \Delta T * c_p \quad (1)$$

mit

Q [m³/h] Volumenstrom

ΔT nutzbare Temperaturdifferenz, hier ca. 2 K

c_p [kJ/kgK] spezifische Wärmekapazität des Wassers (4,182 kJ/kgK)

Bei einem Volumenstrom von ca. 200 m³/h ergibt sich somit eine nutzbare Leistung von 1600 MJ/h, was ca. 440 kW entspricht.

Allerdings kann diese Energie nur genutzt werden, wenn ein ausreichend dimensionierter Wärmetauscher installiert werden kann. Dies ist im Belebungsbecken nur eingeschränkt möglich.

Im Belebungsbecken ist die Installation eines Lamellenabscheiders, der gleichzeitig als Wärmetauscherplatte dient, denkbar. Dieser Wärmetauscher kann nur im letzten Nitrifikationsbecken installiert werden, um den biologischen Prozess der Kläranlage möglichst wenig zu beeinträchtigen. Somit ist die Fläche des Wärmetauschers begrenzt.

Die konvektive Wärmeübergangszahl für „Wasser an ebenen Wänden“ wird in der Literatur mit 100...1000 W/m²K⁽⁶⁾ angegeben. Am Überlauf des Belebungsbeckens mit einer Länge von 13,5 m können zwei parallele Platten mit einer Länge von 2 m befestigt werden, so dass eine Wärmetauscherfläche von 54 m² erreicht werden kann.

Unter Annahme des Literaturwertes am unteren Ende mit 150 W/m²K und 2 K erreichbarer Temperaturdifferenz, kann eine Wärmeleistung von 16,3 kW entnommen werden.

Diese Wärmeenergie kann im Winter durch die Nutzung einer Wärmepumpe für die Beheizung der Betriebsgebäude genutzt werden. Die Jahresarbeitszahl ϵ einer Wärmepumpe berechnet sich in Abhängigkeit des Temperaturniveaus nach Formel (2):

$$\epsilon = \eta * \frac{T_w}{T_w - T_k} \quad (2) \quad (7)$$

mit

η Wirkungsgrad der Wärmepumpe (Gütegrad), $\eta = 0,5$

⁶ Hemming, W. Verfahrenstechnik, S. 132, Vogel Verlag, 8. Auflage, 1999

⁷ Heinrich, Narjock, Nestler, Wärmepumpenanwendung (S. 19), VEB Verlag Technik, 1982

T_w erforderliche Heiztemperatur (hier 50 °C, 323 K)

T_k nutzbare Umgebungstemperatur (hier 7 °C, 270 K)

Für den Betrieb im Winter ergibt sich somit eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3, so dass aus der Umgebungsenergie von 16,3 kW mit der einer erforderlichen elektrischen Leistung von ca. 8 kW insgesamt eine Heizleistung von 32 kW zur Verfügung gestellt werden kann. Diese Leistung kann die vorhandene Heizungsanlage mit einer Leistung von 300 kW unterstützen.

Da die Abwärme des BHKW zur Verfügung steht, ist dieser zusätzliche Wärmebedarf nur an etwa 50 % der Jahresstunden erforderlich, so dass 128.000 kWh Erdgas pro Jahr hierdurch ersetzt werden könnten. Im Gegenzug erhöht sich der Stromverbrauch für den Betrieb der Wärmepumpe um etwa 32.000 kWh pro Jahr. Durch die Verbindung mit der Photovoltaik-Anlage kann diese Installation jedoch sinnvoll werden.

Allerdings ist dies eine theoretische Berechnung. Bisher sind für diese Anwendung noch keine Praxiserfahrungen auf Kläranlagen vorhanden. Dies ermöglicht aber die Nutzung des Umweltinnovationsprogrammes des BMU/UBA (s. Anhang 3).

3.1.4 Wärmegewinnung aus dem Kanalnetz

Wärmegewinnung aus dem Kanalnetz durch Wärmepumpen zur Heizung der Betriebsgebäude ist technisch möglich. Am Zulauf der Kläranlage Halberstadt sind die technischen Gegebenheiten mit einem Rohrdurchmesser von DN 1000 dafür vorhanden. Die Temperatur des Zulaufes der Kläranlage schwankt jedoch zwischen 7 °C und 19 °C und beträgt im Mittel 13 °C im Jahresverlauf (Abbildung 9). Dies unterschreitet knapp die Herstellervorgaben von 14 °C im Jahresdurchschnitt. Des Weiteren sollte die Abwassertemperatur beim Eintritt in die biologische Verfahrensstufe 8 °C nicht dauerhaft unterschreiten, um die Abbauleistung nicht zu beeinträchtigen. Daher ist es sinnvoller, die Wärmerückgewinnung am Auslauf der Kläranlage zu installieren, da sich die Abwassertemperatur während des Reinigungsprozesses im Mittel auf 15 °C erhöht. ⁽⁸⁾

⁸ Schmid-Schmieder V.: Wärmerückgewinnung auf Kläranlagen, aus wasserwirtschaft wassertechnik 01-02/2009

3.2 Einsatz von Erneuerbaren Energien

3.2.1 Photovoltaik auf Betriebsgebäuden

Die Abwassergesellschaft Halberstadt hat bereits einige der Dachflächen ihrer Betriebsgebäude an die Halberstadtwerke vermietet, die Photovoltaik-Anlagen darauf installiert haben. Diese Energieerzeugung wird nicht in die Energie- und CO₂-Bilanz eingerechnet. Es stehen auf dem Betriebsgelände allerdings noch andere Dachflächen zur Verfügung. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die zur Verfügung stehenden Flächen und der theoretischen jährlichen Strommenge, die mit den Modulen erreicht werden kann.

In die Betrachtung wurden auch Dachflächen mit West- und Ostausrichtung einbezogen, da durch sinkende Preise für Solarzellen auch Photovoltaik-Anlagen auf Dachflächen effizient machen, die nicht nach Süden ausgerichtet sind. Für die Berechnung wurde von einem Wirkungsgrad von 12 % und 1000 kWh pro 10 m² für Dachflächen mit Südausrichtung, 860 kWh pro 10 m² für Dachflächen mit Westausrichtung und 880 kWh pro 10 m² installierter Leistung für Dachflächen mit Ostausrichtung und einer Dachneigung von je 30 ° ausgegangen.

Auf dem Betriebsgelände befinden sich auch die Becken der alten stillgelegten Kläranlage, die zum Teil als Mischwasserspeicher genutzt werden. Darauf befindet sich ein Aufbau, der als Unterbau für eine Photovoltaik-Anlage genutzt werden kann. Er hat etwa eine Fläche von 200 m² (Abbildung 10). Die alten Klärbecken bieten weiteres Flächenpotenzial, wenn sie mit geeigneten Aufbauten versehen werden.

Tabelle 6 : Freie Dachflächen mit theoretisch zu erzeugender Strommenge

Gebäude	Ausrichtung	Dachfläche in m ²	Jahresertrag MWh
Treppenturm	S	15	1,5
Gebäude Rohwasser-Pumpwerk	S	40	4,0
	S	170	17,0
Aufbau altes Klärbecken	S	200	20,0
Altes Gebäude	S	260	26,0
Rechengebäude	W/O	230	20,0
Kfz-Hallen	W/O	120	10,3
Fäkalannahmestation	W/O	60	5,2
Funktionsgebäude mit Grobentschlammung	W/O	210	18,2
Gesamt		1305	122,2



Abbildung 10: Aufbau auf stillgelegten Becken der Kläranlage Halberstadt (Foto: U. Urban)

In optimaler Südausrichtung könnten ca. 685 m² Dachfläche und alte Klärbecken genutzt werden, was einer Peakleistung von ca. 68-70 kWp entspricht.

Nutzt man auch die West- und Ost-Dachflächen, könnten 130 kWp als Peak-Photovoltaik-Leistung installiert werden. Damit könnte die Kläranlage mittags bei Spitzenlast im Stromnetz ihren Strombezug stark reduzieren oder eine stärkere Vergleichmäßigung im Bezug erreichen, da bei hoher Solarstrahlung Faulgas gespeichert werden kann.

Die Ost-West-Ausrichtung ermöglicht eine gleichmäßigere Tagesproduktion und eine Glättung der Mittagsspitze, als eine reine Südausrichtung. Allerdings sind die spezifischen Stromerträge geringer und die Wirtschaftlichkeit somit ungünstiger (Investitionskosten von Photovoltaik-Anlagen s. Anhang 4).

3.2.2 Verbesserung der Gaserzeugung im Faulbehälter

Die Kläranlage Halberstadt verfügt über einen Faulturm mit einem Faulbehältervolumen von 2000 m³ und einer Verweilzeit von ca. 20 Tagen. Für die Abschätzung von ggf. noch nutzbarem freiem Volumen ist eine grafische Abschätzung möglich. Mit Hilfe des „Diagrammes zur Abschätzung des Freivolumens für die Co-Vergärung“ nach Scheer ⁽⁹⁾ (Abbildung 11) kann abgelesen werden, inwieweit der Gasertrag des Faulturmes erhöht werden kann.

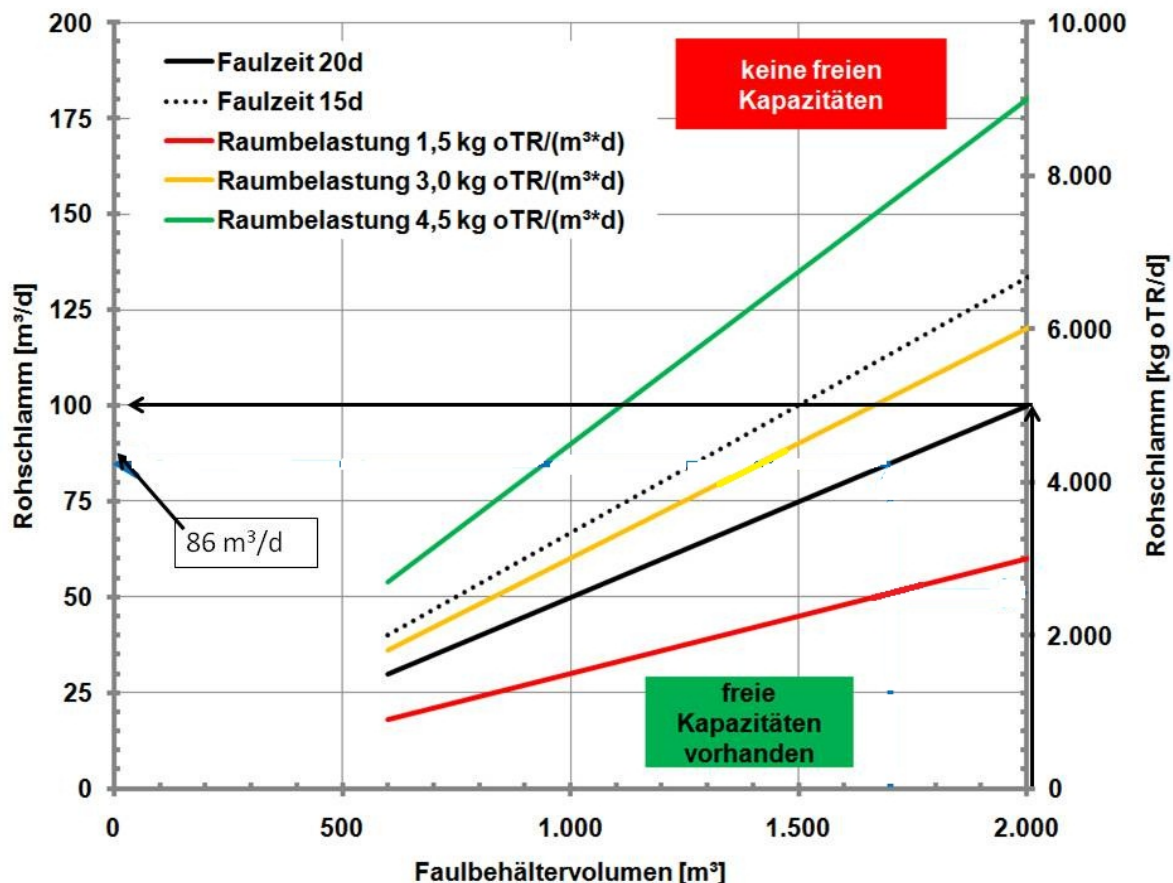


Abbildung 11: Diagramm zur Abschätzung des Freivolumens für die Co-Vergärung ⁽⁹⁾, (hier Kläranlage Halberstadt schwarzer Pfeil)

Im ersten Halbjahr 2012 wurden durchschnittlich 86 m³/d Schlamm zur Vergärung aus der Biologie und aus dem Vorklärbecken abgezogen. Wie in Abbildung 11 abzu- lesen ist, kann eine Anlage mit einem Faulbehältervolumen von 2000 m³ und einer Faulzeit von 20 Tagen 100 m³ Rohschlamm pro Tag vergären. Somit ergibt sich durchschnittlich ein freies Volumen von 14 m³/d für die Vergärung von Co-Substraten (s. Anhang 5).

Wenn diese freie Kapazität genutzt würde, um Klärschlamm aus umliegenden Klär- anlagen und Kleinkläranlagen anzunehmen, da dies als Co-Substrat für die Steue- rung des Faulprozesses verfahrenstechnisch günstig zu regeln ist, kann die

⁹ Scheer, H.; Urban, I.: Co-Vergärung in Faulbehältern von Kläranlagen, Lehrertag des DWA-Landesverbandes Hessen/ Rheinland-Pfalz/ Saarland, 26./27.01.2010, Wiesbaden-Naurod

Faulgasproduktion von im Moment 863 m³/d auf 1003 m³/d erhöht werden. Das entspricht einer durchschnittlichen Steigerung der Stromproduktion des BHKV von 1816 kWh auf 2110 kWh am Tag und somit einer Erhöhung der Stromeigenproduktion um 14 %.

Beim Einsatz energiereicherer Co-Substrate anstelle von Klärschlamm lässt sich die Gasproduktion weiter steigern, allerdings ist die Beherrschung des Faulprozesses dann erheblich aufwendiger und erfordert zusätzliche Analysen sowohl im Faultrum als auch des Substrates. Durch die vergleichsweise geringe freie Kapazität für Co-Substrate ist dies nicht lohnenswert, so dass mit Klärschlamm ein vergleichbares Substrat empfohlen wird.

3.2.3 Installation einer Kleinwindanlage

Das Errichten einer Kleinwindanlage ist nur eingeschränkt möglich, da der Standort nicht als Vorranggebiet im Regionalen Entwicklungsplan 2009 (¹⁰) ausgewiesen ist. Gemäß § 60 Bauordnung Sachsen-Anhalt benötigt man für Windkraftanlagen bis zu einer Nabenhöhe von 10 m zwar keine Baugenehmigung (¹¹), so dass eine solche Anlage errichtet werden könnte. Allerdings kann diese Anlage aufgrund der herrschenden Standortbedingungen nicht wirtschaftlich betrieben werden. Durch die hohe Rauigkeitsklasse 3 (¹²) aufgrund der Bebauungssituation am Standort ist bei 10 m Nabenhöhe und einer durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von 3,4 bis 3,7 m/s (¹³) nur mit einer Stromproduktion von 12.000 bis 15.000 kWh/a zu rechnen, so dass die Option zunächst nicht berücksichtigt wird.

¹⁰ Planungsgemeinschaft Harz, Regionaler Entwicklungsplan, genehmigt 21.04.2009

¹¹ Bauordnung des Landes Sachsen-Anhalt (BauO LSA), 2005

¹² www.renewable-energy-concepts.com

¹³ Deutscher Wetterdienst: Jahresmittel der Windgeschwindigkeit, 10 m über Grund in Sachsen-Anhalt, Offenbach, 2004

4. Energie- und CO₂-Bilanz

Aus den vorliegenden Energiedaten der Kläranlage Halberstadt wurde eine CO₂-Bilanz für die letzten 3 Jahre erstellt. Durch Maßnahmen wie die Anpassung der Sauerstoffsollwerte und die Installation eines weiteren Wärmetauschers zur Nutzung der Abwärme des BHKW wurde seit 2009 eine Reduzierung des spezifischen Strombezuges um 13 % von 28,57 kWh/EW*a auf 24,95 kWh/EW*a erreicht.

Abbildung 12 zeigt die monatlichen Werte des Strombezuges der Anlage. Hieraus werden die Reduzierungen deutlich. Der Richtwert für Kläranlagen der Größenklasse 4 wird mit etwa 30 kWh/EW*a⁽¹⁴⁾ angegeben. Bei Abzug der Eigenerzeugung von 25 % wird der Richtwert von 22,5 kWh/EW*a Strombezug, bzw. 1,875 kWh/EW*Monat, beinahe erreicht. Um den Zielwert des Umweltinnovationsprogrammes von 18 kWh/EW*a (1,5 kWh/EW*Monat) zu errichten, müssen weitere Einsparungen realisiert werden.

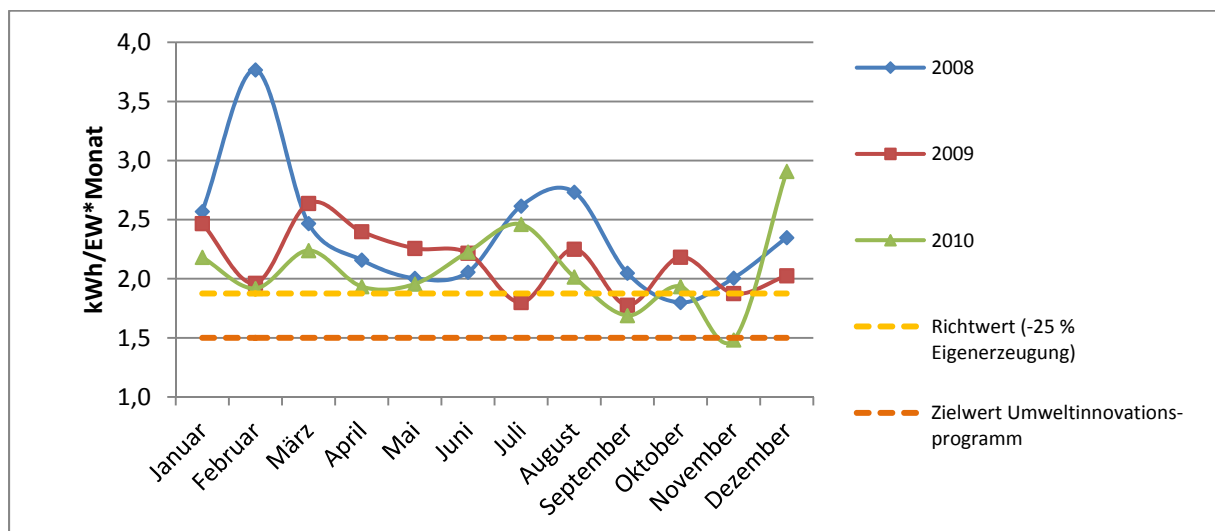


Abbildung 12: Einwohnerspezifischer Strombezug 2008 bis 2010

In Tabelle 7 sind der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen der Kläranlage für das Jahr 2011 dargestellt. Etwa 75 % der CO₂-Emissionen werden durch den Bezug von Strom für die Kläranlage verursacht. Auch die Eigenerzeugung von Strom und Wärme durch das BHKW verursacht noch geringe CO₂-Emissionen. Insgesamt wird durch die anaerobe Stabilisierung des Klärschlammes etwa 325 t CO₂⁽¹⁵⁾ weniger emittiert, als vergleichbare Anlage mit aerober Stabilisierung.

¹⁴ Barjenbruch et al.: Energiebedarf 2009 auf Kläranlagen im Landesverband Nord-Ost, Chancen für Optimierungspotenziale, DWA-Landesverband Nord-Ost

¹⁵ Berechnet 652.000 kWh Eigenerzeugung * 405 g CO₂/kWh (Strombezug Halberstadtwerke, 2011)

Tabelle 7 : Energieverbrauch und CO₂-Emissionen der Kläranlage Halberstadt für das Jahr 2011

Ist-Stand		spez. CO ₂ -Emissionen g/kWh		Resultierende CO ₂ -Emissionen kg/a	
		Mix D (2011) (¹⁶)	HBS-Werke 2010	Mix D	HBS-Werke
	kWh/a				
Stromverbrauch 2011					
davon Eigenerzeugung 2011	652.739	4		2.611	2.611
davon Strombezug 2011	887.540	503	405	446.433	359.454
Summe Stromverbrauch	1.540.279			449.044	362.065
Gasverbrauch 2011(¹⁷)	242.650	290		70.369	70.369
Summe CO₂-Emissionen				519.412	432.433

Durch den Bezug des Stromes von den regionalen Stadtwerken, die mit 405 gCO₂/kWh Strom einen besseren Emissionsfaktor haben, als der deutschlandweite Strommix von 503 gCO₂/kWh, sind die CO₂-Emissionen der Kläranlage um etwa 15 % geringer. Dies ist allerdings ein externer Effekt.

In Abbildung 13 sind die resultierenden Kohlendioxidemissionen der Jahre 2009 bis 2011 dargestellt. Im Verlauf dieser 3 Jahre ist die CO₂-Emission durch die Anpassung der Sauerstoffsollwerte und die Installation eines weiteren Wärmetauschers zur Nutzung der Abwärme des BHKW bereits um 21 % gesunken.

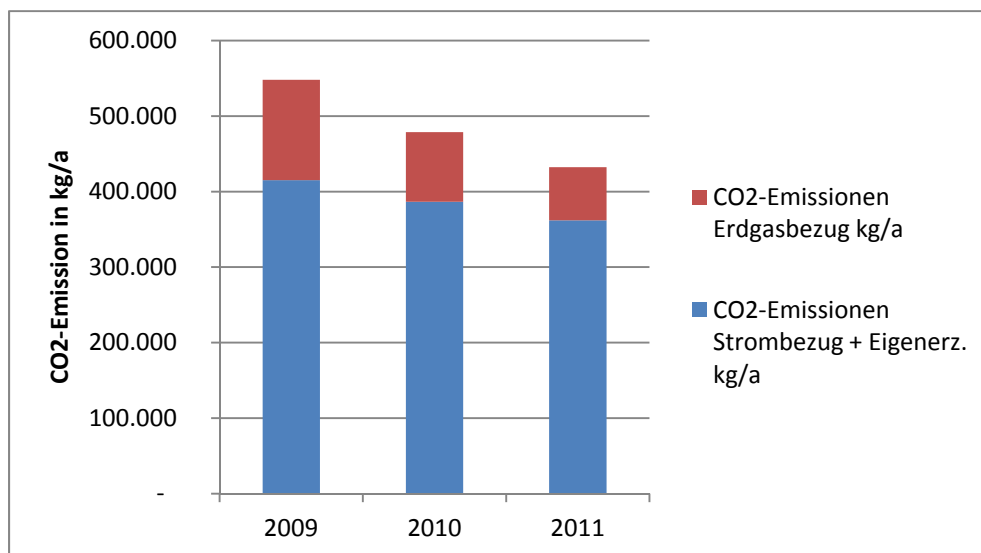


Abbildung 13: Resultierende CO₂-Emissionen

Für die Verbesserung der Klima- und Energieeffizienz der Kläranlage wurde die Energie- und CO₂-Bilanz für zwei Szenarien berechnet, die im Folgenden dargestellt sind.

¹⁶ Stromkennzeichnung EWS Schönau, 2011

¹⁷ CO₂-Äquivalent aus GEMIS 4.6 (2010)

Szenario 1 - Energieeffizienz

Um die Energieeffizienz der Kläranlage zu erhöhen, werden folgende Maßnahmen vorgeschlagen.

- Energieeffiziente Gebläse (Trockenwetter)
- Photovoltaik (Südausrichtung)
- Optimierung Heizungssteuerung

Die vorhandenen Gebläse sollten an den aktuellen Bedarf angepasst werden. Der Ersatz der Aggregate kann zunächst auf den Luftbedarf bei Trockenwetter und mittlere Belastung beschränkt werden. Die Spitzenlast wird weiterhin durch die vorhandenen Aggregate bereitgestellt. Durch den Einsatz moderner effizienter Aggregate kann der Stromverbrauch hier gesenkt werden, dies wird auf 79.500 kWh abgeschätzt.

Durch die Nutzung der Dachflächen in Südrichtung und alter Klärbecken können durch Photovoltaik weitere 68.500 kWh Strom erzeugt werden, die vorzugsweise direkt auf der Anlage verbraucht werden und somit den erforderlichen Strombezug senken.

Mit diesen Maßnahmen lässt sich der Strombezug von derzeit 887.540 kWh/a auf 739.540 kWh/a senken. Dies entspricht einer Verbesserung von 20 %.

Durch die Optimierung der Heizungssteuerung im Sommerbetrieb, wo ausreichend Energie aus der Abwärme des BHKW zur Verfügung steht, kann der Gasbezug um 12.133 kWh/a gesenkt werden.

Die Umsetzung dieser Maßnahmen würde den resultierenden CO₂-Ausstoß der Kläranlage um 12,7 % im Vergleich zum Istzustand (2011) senken. Tabelle 8 zeigt die Berechnung der CO₂-Emissionen für dieses Szenario 1.

Tabelle 8 : Energie- und CO₂-Bilanz mit den vorgeschlagenen Maßnahmen Szenario 1

Klimaeffizienz - Szenario 1		spez. CO ₂ -Emissionen g/kWh		Resultierende CO ₂ -Emissionen kg/a	
		Mix D (2011) ⁽¹⁶⁾	HBS-Werke (2010)	Mix D	HBS-Werke
	kWh/a				
Stromverbrauch 2011	1.540.279				
davon Eigenerzeugung Ist 2011	- 652.739	4		2.611	2.611
1. effizientere Gebläse	- 79.500				
2. Erneuerbare Energien PV, nur Süddächer ⁽¹⁷⁾	- 68.500	126		8.631	8.631
notwendiger Strombezug	739.540	503	405	383.231	310.756
Gasverbrauch 2011 ⁽¹⁷⁾	242.650	290			
1. Sommereinstellung	- 12.133				
verbleibender Gasbezug	230.518	290		66.850	66.850
Summe CO₂-Emissionen				450.081	377.606

Szenario 2 – Klimaeffizienz

Das Szenario 2 beinhaltet weitere Maßnahmen, die zu einer deutlicheren Reduktion der CO₂-Emissionen der Anlage führen. Wenn zusätzlich zu den im Szenario 1 vorgeschlagenen Maßnahmen, noch folgende Maßnahmen umgesetzt werden würden, kann die Kläranlage ihre Klimaeffizienz steigern und Vorgaben des Umweltinnovationsprogramms erfüllen, so dass zusätzliche Förderung für diese Maßnahmen möglich wäre.

- Photovoltaik-Installation auch auf Ost- und Westdächern
- Annahme von Co-Substraten
- Wärmerückgewinnung aus Abwasserstrom

Wenn alle freien Dachflächen mit Photovoltaik-Anlagen versehen werden, können insgesamt 122.000 kWh/a erzeugt werden. Dabei ergibt sich durch die Nutzung der Ost- und Westflächen eine gleichmäßigere Stromerzeugung im Tagesgang. Allerdings sind geringere Erträge zu erwarten, so dass die Wirtschaftlichkeit geprüft werden muss.

Bei Annahme von zusätzlichen Substraten zur Co-Vergärung bis zur berechneten Auslastung des Faulbehälters (s. Abbildung 11), wird der Strombezug um 100.000 kWh/a verringert.

Diese Maßnahmen senken den noch erforderlichen Strombezug der Anlage auf 586.040 kWh/a, bzw. 16 kWh/EW*a.

Wenn ein Projekt zur Abwärmenutzung aus dem Ablauf des Belebungsbeckens realisiert werden kann, würden rechnerisch 128.000 kWh/a an Erdgasbezug eingespart werden.

Durch die Umsetzung aller Maßnahmen lässt sich die resultierende CO₂-Emission der Anlage gegenüber 2011 um 31,1 % senken.

Zudem kann in Szenario 2 der Zielwert des Umweltinnovationsprogrammes von 18 kWh/EW*a unterschritten werden (s. Tabelle 9).

Tabelle 9 : Energie- und CO₂-Bilanz mit den vorgeschlagenen Maßnahmen Szenario 2

Klimaeffizienz - Szenario 2		spez. CO ₂ -Emissionen g/kWh		Resultierende CO ₂ -Emissionen kg/a	
		Mix D (2011) ⁽¹⁶⁾	HBS-Werke (2010)	Mix D	HBS-Werke
	kWh/a				
Stromverbrauch 2011	1.540.279				
davon Eigenerzeugung Ist 2011	- 652.739	4		2.611	2.611
1. effizientere Gebläse	- 79.500	503	405		
2. Erneuerbare Energien PV ⁽¹⁷⁾	- 122.000	126		15.372	15.372
3. Annahme zus. Substrate ⁽¹⁷⁾	- 100.000	4		400	400
notwendiger Strombezug	586.040	503	405	312.761	255.329
Gasverbrauch 2011 ⁽¹⁷⁾	242.650	290			
1. Sommereinstellung	- 12.133				
2. Wärmerückgewinnung	- 128.000			16.096	12.960
verbleibender Gasbezug	102.518	290		45.826	42.690
Summe CO₂-Emissionen				358.587	298.019

In Tabelle 10 ist die Entwicklung CO₂-Emissionen in den Jahren 2009 bis 2011 sowie die möglichen Einsparpotenziale der Szenarien 1 und 2 dargestellt. Im Vergleich von 2009 zu 2011 sind die CO₂-Emissionen bereits um 21 % gesunken. Durch die Umsetzung des Szenario 1-Energieeffizienz, lässt sich im Vergleich zu 2009 ein Einsparpotenzial von 31 % erzielen. Wenn alle vorgeschlagen Maßnahmen im Szenario 2-Klimaeffizienz umgesetzt werden, beträgt das Einsparpotenzial sogar 45,6 % im Vergleich zu 2009.

Tabelle 10 : Entwicklung der CO2-Emissionen

	2009	2010	2011	Szenario 1	Szenario 2
Strombezug kWh/a	1.018.624	947.876	887.540	739.540	586.040
spez. Energieverbrauch Elektroenergie kWh/EWa	25,86	24,95	24,23	20,19	16,00
Erdgasbezug kWh/a	458.720	318.420	242.650	230.518	102.518
CO ₂ -Emissionen Strombezug + Eigenerz. kg/a	415.154	386.501	362.065	310.756	255.729
CO ₂ -Emissionen Erdgasbezug kg/a	133.029	92.342	70.369	66.850	42.690
Summe CO₂-Emission kg/a	548.183	478.843	432.433	377.606	298.419
			-21%	-31%	-45,6%

5. Handlungsempfehlungen

Aus der Analyse und Bewertung der zur Verfügung gestellten Daten werden folgende Empfehlungen zur Steigerung der Energieeffizienz ausgesprochen. Im Szenario 1 sollte die Einstellung der Heizungsanlage so vorgenommen werden, dass im Sommerbetrieb der Gasbezug auf die Zeiten der Wartung des BHKWs reduziert werden kann.

Die Gebläse für die Sauerstoffversorgung der Belebungsbecken sollten durch energieeffizientere Modelle ersetzt werden. Der Austausch der Gebläse sollte mit Anpassung an die aktuellen Zulaufbedingungen und sich ändernde demographische Gegebenheiten erfolgen. Dazu ist eine Simulation durchgeführt worden, die den erforderlichen Luftvolumenstrom für Trockenwetter ermittelte. Für die konkrete Planung sind unterstützende Simulationen mit typischen Belastungssituationen notwendig. Dabei kann der zusätzliche Luftbedarf für die Spitzenlast der Anlage, die nur an wenigen Tagen im Jahr erforderlich ist, noch mit den vorhandenen Aggregaten bereitgestellt werden. Somit reduziert sich der erforderliche Investitionsaufwand.

Es sollten auf den freien Dachflächen in Südrichtung Photovoltaik-Anlagen installiert werden, um den Strombedarf zu senken. Dies ist besonders sinnvoll, um Lastspitzen in der Mittagszeit abzuf puffern und den Faulgasspeicher weiter auszunutzen.

Diese Maßnahmen sind in ihrer Umsetzbarkeit relativ zeitnah zu realisieren und bringen bei ihrer Umsetzung eine berechnete Einsparung des Strombezuges von 148.000 kWh/a und des Gasverbrauches von 12.133 kWh/a.

Die zusätzlichen Maßnahmen von Szenario 2 dienen zur weiteren Verbesserung der Klimaeffizienz. Dies sind neben der Akquise von Faulschlamm zur Nutzung der freien Potenziale des Faulturmes, auch die Nutzung der zur Verfügung stehenden Dachflächen in Ost- und West-Ausrichtung. Damit können zusätzlich 153.500 kWh/a Strom pro Jahr eingespart werden.

Durch Wärmerückgewinnung aus dem Ablauf des Belebungsbeckens mittels eines Lamellenabscheiders kombiniert mit einer Wärmepumpe könnte der Gasbezug um 128.000 kWh/a gesenkt werden. Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen in Szenario 2 ist allerdings ungünstiger, so dass vorzugsweise Maßnahmen des Szenarios 1 zur Umsetzung kommen werden.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Nach Analyse der Situation der Kläranlage anhand der Daten des Betriebstagebuches für die Jahre 2009-2011 und der Planzeichnungen konnte eine Istzustandsaufnahme erstellt werden. Insgesamt kann festgestellt werden, dass in der Anlage durch kontinuierliche Optimierungsmaßnahmen in der Steuerung der spezifische Strombezug von 25,9 kWh/EW*a (2009) auf 24,2 kWh/EW*a (2011) gesenkt wurde. Somit wurden in diesem Zeitraum ca. 54,8 t CO₂ pro Jahr eingespart.

Klimaeffiziente Abwasserentsorgung erfordert verfahrenstechnische Optimierungen sowie den Einsatz Erneuerbarer Energien zur Eigenproduktion von Strom auf der Kläranlage.

Zur verfahrenstechnischen Optimierung zählen

- die Anpassung der Sauerstoffsollwerte und die Rezirkulationssteuerung
- Nutzung energieeffizienter Aggregate, insbesondere bei Ersatz sollte auf Energieeffizienz und einen hohen Wirkungsgrad geachtet werden.
- Vergleichmäßigung der Belastung, insbesondere durch Mischwasserspeicher⁽¹⁸⁾

Die Nutzung von erneuerbaren Energien bieten großes Potenzial die Eigenstromproduktion zu erhöhen. Dazu gehören das Errichten von Photovoltaik-Anlagen zur Eigenstromproduktion und die Annahme von Co-Substraten zur Erhöhung der Gasausbeute des Faulturmes.

In der Studie wurden zwei Szenarien zur weiteren Verbesserung der Energieeffizienz berechnet, die eine weitere Reduzierung der resultierenden CO₂-Emissionen erreichen.

In Abbildung 14 sind die resultierenden CO₂-Emissionen aus dem Strom- und Gasbezug für die Jahre 2009-11 und die möglichen Werte für die beiden Szenarien grafisch dargestellt. Mit Szenario 1, was derzeit umsetzbare Maßnahmen beinhaltet, kann der Energieverbrauch für Strom- und Gasbezug um 34 %, die resultierenden CO₂-Emissionen um 31 % reduziert werden.

Werden auch die zusätzlichen Maßnahmen von Szenario 2 mit der Annahme von Co-Substraten und Wärmerückgewinnung realisiert, könnten die CO₂-Emissionen um 45 % reduziert werden.

¹⁸ Mitsdoerffer, et al.: Energiepotenziale auf Kläranlagen erkennen und nachhaltig einsetzen, GFM Beratende Ingenieure GmbH, München 2008

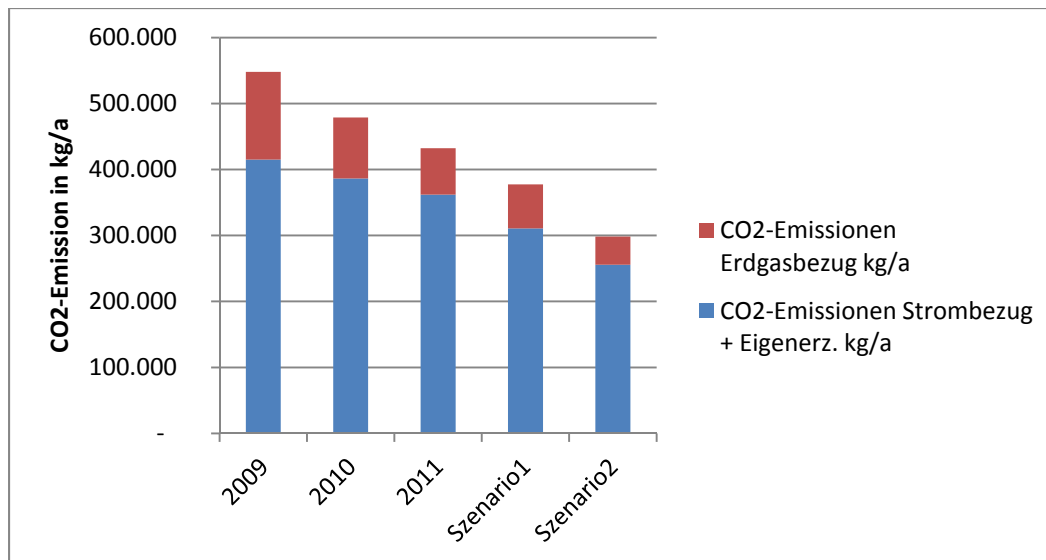


Abbildung 14: CO₂-Emissionen der Kläranlage Halberstadt mit möglichen Einsparpotenzialen

Literaturverzeichnis

Barjenbruch et al.: Energiebedarf 2009 auf Kläranlagen im Landesverband Nord-Ost, Chancen für Optimierungspotenziale, DWA-Landesverband Nord-Ost

Bauordnung des Landes Sachsen-Anhalt (BauO LSA), 2005

Deutscher Wetterdienst: Jahresmittel der Windgeschwindigkeit, 10 m über Grund in Sachsen-Anhalt, Offenbach, 2004

DWA: 21. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2008, Hennef

GEMIS 4.6: Tabelle zur Berechnung der CO₂-Emissionen, 2010

Hemming, W. Verfahrenstechnik, S. 132, Vogel Verlag, 8. Auflage, 1999

Heinrich, Narjock, Nestler, Wärmepumpenanwendung (S. 19), VEB Verlag Technik, 1982

Mitsdoerffer, et al.: Energiepotenziale auf Kläranlagen erkennen und nachhaltig einsetzen, GFM Beratende Ingenieure GmbH, München 2008

Planungsgemeinschaft Harz, Regionaler Entwicklungsplan, genehmigt 21.04.2009

Scheer, H.; Urban, I.: Co-Vergärung in Faulbehältern von Kläranlagen, Lehrertag des DWA-Landesverbandes Hessen / Rheinland-Pfalz / Saarland, 26./27.01.2010, Wiesbaden-Naurod

Schmid-Schmieder V.: Wärmerückgewinnung auf Kläranlagen, aus wasserwirtschaft wassertechnik 01-02/2009

Statistische Erhebung über die öffentliche Abwasserbeseitigung 2011, Landesamt für Umweltschutz Sachsen Anhalt, Halle

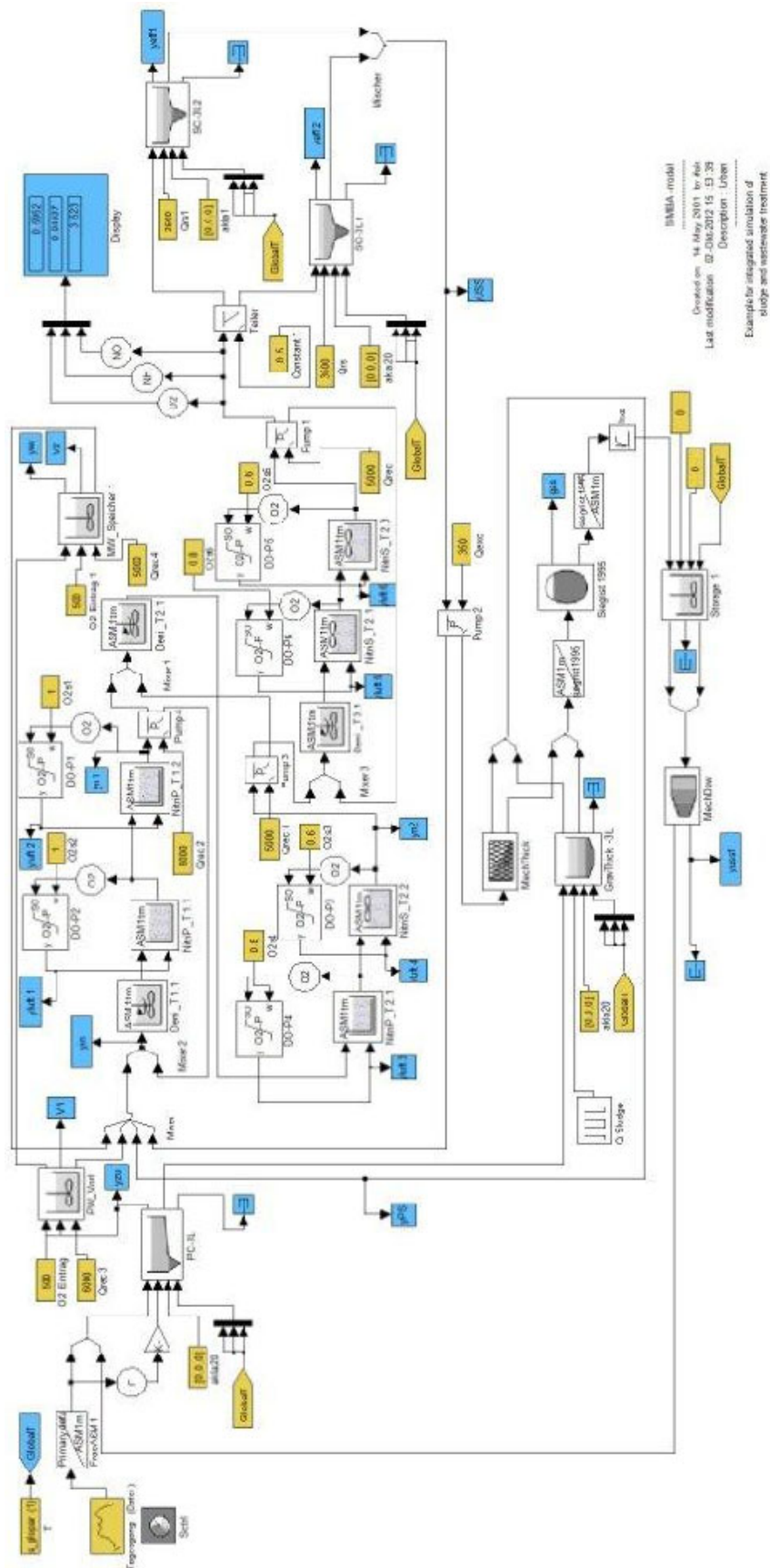
Stromkennzeichnung EWS Schönaun, 2011

VEOLIA Wasser, Unternehmenszeitschrift nahdran, Mai 2012

www.renewable-energy-concepts.com, Stand: 06.11.2012

Anhang

Anhang 1: Simulationsmodell der Kläranlage Halberstadt in Simba

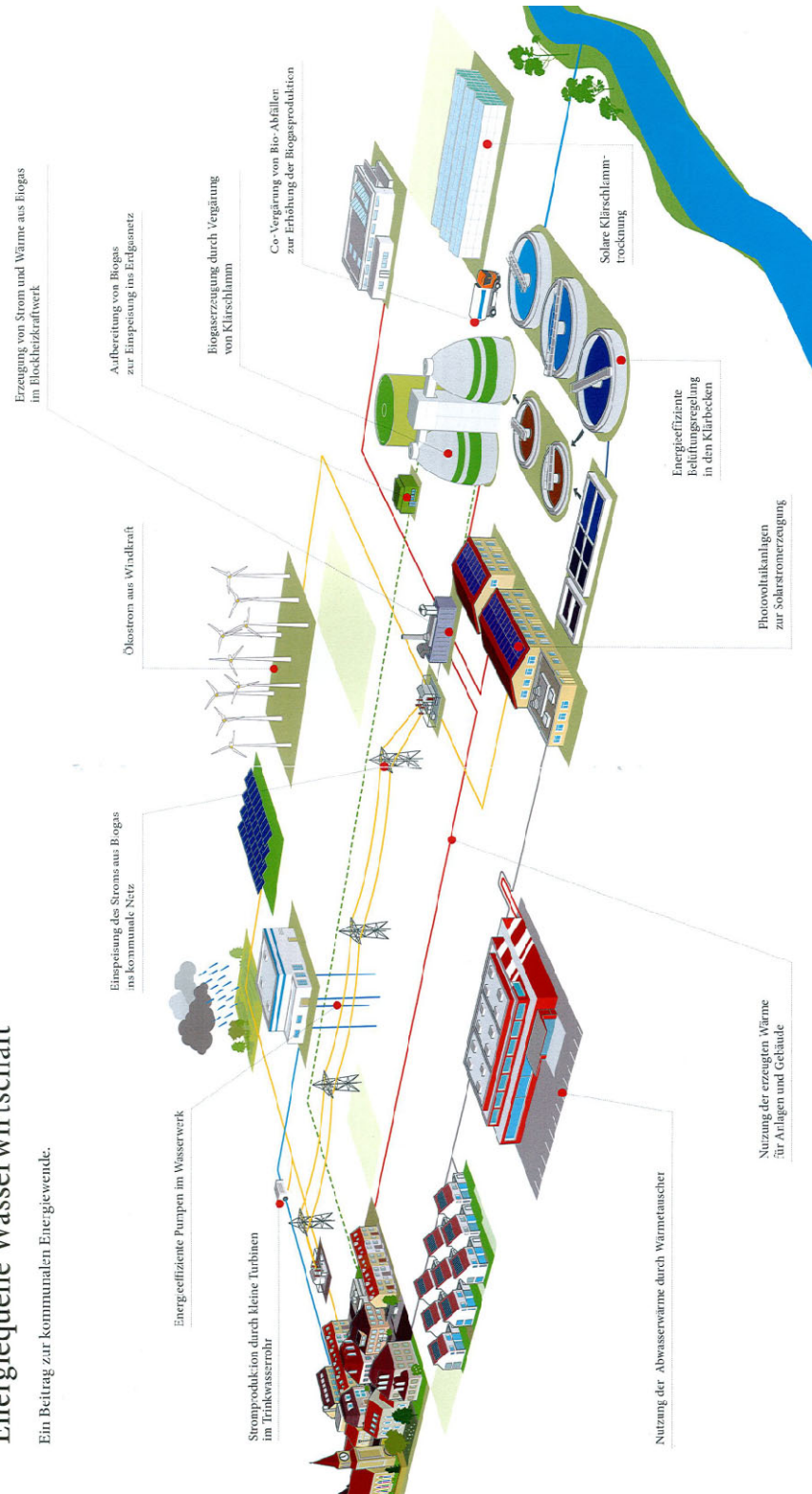


Anhang 2: Energiequelle Wasserwirtschaft

Aus Unternehmenszeitschrift nahdran, VEOLIA Wasser, Mai 2012

Energiequelle Wasserwirtschaft

Ein Beitrag zur kommunalen Energiewende.



Anhang 3: Umweltinnovationsprogramm

<http://www.umweltinnovationsprogramm.de/> (12.11.2012)

Gefördert wird mit einem Zinszuschuss zur Verbilligung eines Kredites oder mit einem Investitionszuschuss:

- Darlehen der KfW aus dem Umweltinnovationsprogramm mit einem Zinszuschuss bis zu 70 % der zuwendungsfähigen Ausgaben
- Investitionszuschuss bis zu 30 % der zuwendungsfähigen Ausgaben

Die Art der beantragten Förderung ist im Antrag anzugeben. Die zuwendungsfähigen Ausgaben werden von der KfW in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt ermittelt.

Mit dem Projekt darf unabhängig von der Art der Förderung nicht vor einer Förderzusage begonnen werden. In Ausnahmefällen besteht die Möglichkeit, einen formlosen Antrag auf Genehmigung eines förderunschädlichen vorzeitigen Vorhabensbeginns zu stellen. Die Notwendigkeit des vorzeitigen Vorhabensbeginns ist ausführlich zu begründen.

Dieses Programm unterstützt Sie bei innovativen großtechnischen Pilotvorhaben mit Umweltentlastungspotenzial: Projekte mit Vorbildcharakter, die so bisher nicht am Markt umgesetzt wurden. Sie zeigen auf, wie neue technologische Verfahren zum Schutz der Umwelt genutzt und kombiniert werden können.

Das Ziel ist, ökonomisch erfolgreich zu wirtschaften, mit möglichst wenig Umweltbelastung und möglichst geringem Ressourcen- und Energieeinsatz.

Gefördert werden innovative Verfahren mit hoher Multiplikatorwirkung, vor allem in den ökologischen Schlüsselbereichen Klimaschutz, einschließlich Projekte zu erneuerbare Energien und Energieeffizienz.

Die Erkenntnisse aus den erfolgreich umgesetzten Projekten werden genutzt, um den Stand der Technik fortzuschreiben. Somit trägt das Umweltinnovationsprogramm maßgeblich dazu bei, die deutsche und europäische Umweltpolitik weiterzuentwickeln.

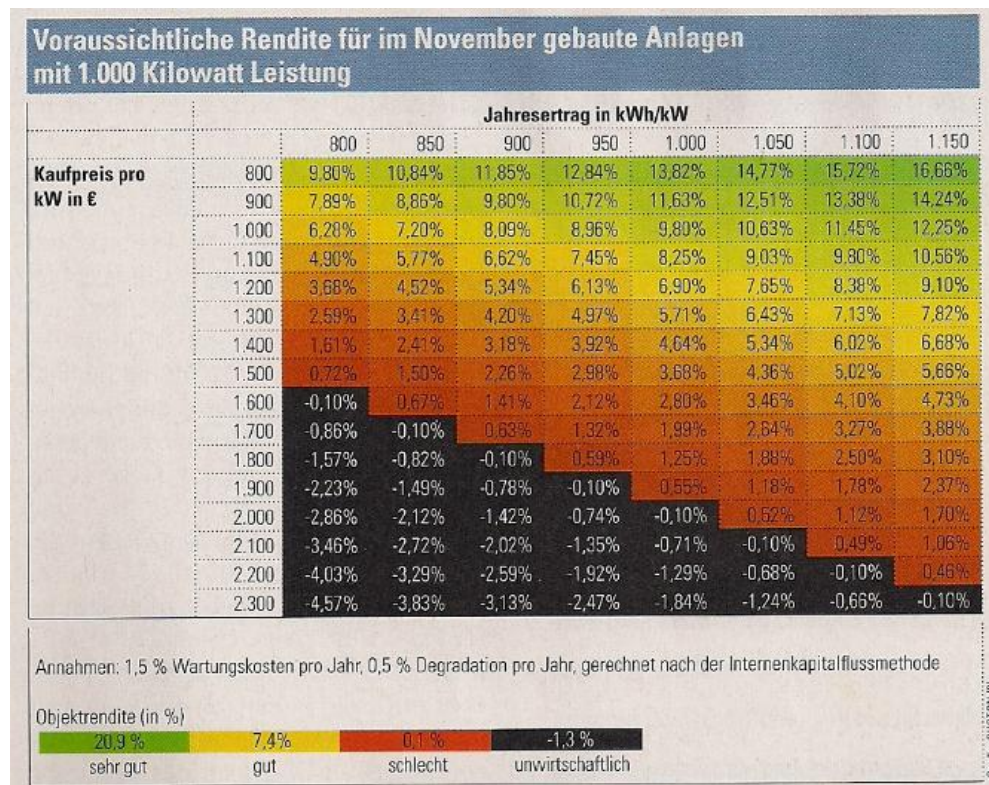
Das Umweltbundesamt begutachtet die Projektanträge und begleitet die Vorhaben fachlich. Die KfW prüft die Vorhaben administrativ und finanziell. Die Förderentscheidung trifft das Bundesumweltministerium.

Anhang 4: Investitionskosten von Photovoltaik-Anlagen

Die Wirtschaftlichkeit der Investition in Photovoltaik-Anlagen ist im Wesentlichen durch die Investitionskosten und den Ertrag in kWh/kWp bestimmt. Abbildung 1 zeigt das Renditedreieck für Anlagen, die im November 2012 in Betrieb genommen werden.

Derzeit werden 1490 €/kWp als Investitionskosten für im September 2012 ⁽¹⁹⁾ errichtete Anlagen angegeben.

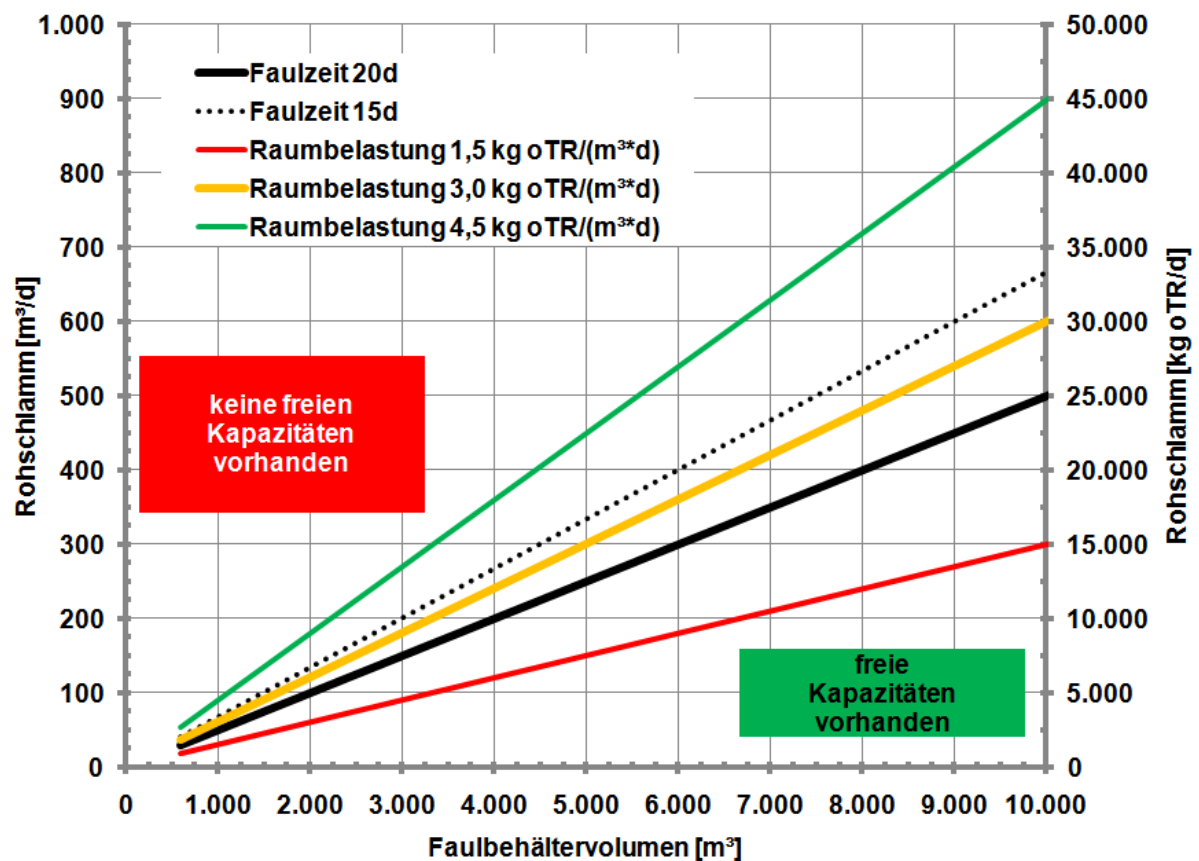
Ab 01.01.2013 sinkt die Vergütung von derzeit 13,59-13,73 Ct/kWh auf 12,84-13,24 Ct/kWh. d.h. die Investitionskosten müssten um ca. 5 % geringer ausfallen, um die Rendite in untenstehender Abbildung zu erreichen. Bei einem durchschnittlichen Ertrag von etwa 850 kWh/kWp sollten die Investitionskosten nicht über 1300 €/kWp – 5 % = 1235 €/kWp liegen, um eine Rendite von etwa 3,41 % zu erreichen.



Rendite-Dreieck für Photovoltaik-Anlagen (Inbetriebnahme November 2012), aus Photon, Heft November 2012

Anhang 5: Diagramm zur Abschätzung von Freivolumen zur Co-Vergärung

Aus Scheer, H.; Urban, I.: Co-Vergärung in Faulbehältern von Kläranlagen, Lehrertag des DWA-Landesverbandes Hessen/ Rheinland-Pfalz/ Saarland, 26./27.01.2010, Wiesbaden-Naurod



Anhang 6: Richtangebote für Turbokompressoren, Aerzener

Hochschule Harz, Wernigerode

Aerzener Drehkolbengebläse GM 35 S



Anordnung: Delta Blower G5

Leistungsdaten:

Medium		Luft	
Ansaugvolumenstrom	Q ₁	m ³ /min	37,1
Ansaugvolumenstrom	Q ₁	m ³ /h	2226
Volumen im Normzustand bezogen auf T ₁ =273 °K, p ₁ =1,013 bar, r _F =0%	Q _N	Nm ³ /h	1979
Massenstrom	m	kg/h	2558
Dichte im Ansaugzustand	Rho ₁	kg/m ³	1,149
Eintrittsdruck (abs.)	p ₁	bar	1,000
Austrittsdruck (abs.)	p ₂	bar	1,650
Druckdifferenz	Δp	mbar	650
Eintrittstemperatur	t ₁	°C	30
Austrittstemperatur	t ₂	°C	93
Hauptrotordrehzahl	n _{HR}	min ⁻¹	3650
Kupplungsleistung	P _k	kW	53,01
Motordrehzahl	n _M	min ⁻¹	2980
Motorleistung	P _{Mot}	kW	75

Bautoleranzen

für Ansaugvolumenstrom	%	+5 / -5
für Kupplungsleistung	%	+5 / -5

Maschinengeräusch je Aggregat

Schalldruckpegel ohne Haube ca.	L _p (A)	dB(A)	100
Schalldruckpegel mit Haube ca.	L _p (A)	dB(A)	73

gemessen im Freifeld in 1 m Abstand vom Umriß des Aggregates ohne Abstrahlgeräusche der Rohrleitung. (Toleranz ± 2 dB(A)). Geräuschmessung nach DIN EN ISO 2151. Zur Schallentwicklung am Aufstellort siehe TN01184 (bei Bedarf bitte anfordern).

Anschlussnennweite

Druckseite	DN 150, ISO 168.3 mm Ø
------------	------------------------

<u>Basiszeichnung</u>	ZG-00770 KL-00013
-----------------------	-------------------

Hochschule Harz, Wernigerode

Motordatenblatt

Ihr Projekt: Drehkolbengehäuse

Unsere Angebots-Nr. / Auftragsnummer: V60313-V600

Typ:	W22
Hersteller	WEG
Baugröße:	280 M
Leistung:	75 kW
Drehzahl:	2980 min ⁻¹
Spannung:	400 V, ± 10 %
Frequenz:	50 Hz
Schutzart:	IP 55
Bauform:	B3
Isolierstoffklasse:	F
Gewicht:	725 kg
Nennstrom:	126 A
Anzugsstrom:	7,6-fache des Nennstroms bei direktem Anlauf
Wirkungsgrad:	95,6 %
Leistungsfaktor:	0,9
Trägheitsmoment:	1,20673 kgm ²
Wellendurchmesser:	65 mm
Anlauf:	Direktanlauf
Motorschutz:	mit 3 eingebauten Thermistoren
Antriebsart:	fliegend über Schmalkeilriemen
Lastmoment:	konstant, über den gesamten Regelbereich
Regelbereich:	

Hochschule Harz, Wernigerode

1.1.0 Aerzener Delta Blower

Bestehend aus folgenden Teilen, die im Werk komplett montiert werden

Pos.	Stk.	Beschreibung
1.1.1	1	Aerzener Drehkolbengebläse GM 35 S mit dreiflügligen Kolben und integriertem Pulsationsabbau
1.1.2	1	verwindungssteifer Grundträger mit integriertem Druckschalldämpfer nach Druckgeräterichtlinie PED 97/23/EG, ohne Absorptionsmaterial, mit verschleißfreien Einbauten. Motorwippe als Spannvorrichtung für Riementrieb, Hilfsfederkonstruktion nicht erforderlich. Satz elastische Maschinenfüsse zur Körperschallisolierenden Aufstellung, Anschlussgehäuse mit eingebauter Rückschlagklappe.
1.1.3	1	Druckventil, Ausführung B, DN 125, nach PED 97/23/EG, zur Absicherung des Aggregates, Ventileinstelldruck: 700 mbar
1.1.4	1	Ansaugfilterschalldämpfer, Absorptionsmaterial in Strömungsrichtung vor dem Filterelement angeordnet
1.1.5	1	elastische Muffe (ISO) mit Schlauchschellen, DN 150 / Ø 168,3 mm, Druckseite
1.1.6	1	Schmalkeilriementrieb

Lieferumfang und Preis :

Pos.	Anzahl		Stückgewicht ca. kg	Stückpreis	Gesamtpreis
1.1.0	1	Aerzener Delta Blower G5 Typ: GM 35 S, wie vorstehend spezifiziert	663	5.928,00 €	5.928,00 €
1.2.0	1	Drehstrommotor nach IEC, Bauform: B3, 75 kW, 2980 min ⁻¹ , Baugröße: 280 M Schutzart IP 55, 400 V, 50 Hz, Fabrikat: WEG, Wirkungsgradklasse: IE3, Isolierstoffklasse F genutzt nach B, mit 3 eingebauten Temperaturfühlern	725	2.520,00 €	2.520,00 €
1.3.0	1	Motormontage		139,00 €	139,00 €
1.4.0	1	Schallhaube aus verzinktem Stahlblech mit Ölauffangwanne. Pulverschichtlackierung in Farbton RAL 5001/ Frontelemente RAL 7047. Segmentbauweise mit Innenauskleidung und Zwangsbelüftung, Lüfterrad von Gebläsewelle angetrieben, kein zusätzlicher Hilfsantrieb erforderlich. Schallhaube für die Aufstellung mehrerer Aggregate nebeneinander geeignet. Transport mit Gabelstapler möglich. Schallhaube für Innenaufstellung	400	2.111,00 €	2.111,00 €
1.5.0	1	Manometer 63 Ø mm mit Anschlussstücken		118,00 €	118,00 €
1.6.0	1	Wartungsanzeiger zur Filterüberwachung		70,20 €	70,20 €
1.7.0	1	Servicepaket mit Öl	3	44,20 €	44,20 €
1.8.0	1	Verpackung, verpackt auf Hölzern, in Folie eingeschlagen, behandeltes Holz (Sirex)	60	126,00 €	126,00 €
Gesamt:				1851	11.056,40 €

Lieferzeit: ca. 2-3 Wochen nach Auftragseingang und technischer Klärung, ab Werk**Kaufmännische Bedingungen****Preisstellung:** frei Haus, einschließlich Verpackung, ausschließlich abladen und MWSt**Zahlungsziel:** innerhalb 30 Tagen nach Rechnungsdatum netto

Hochschule Harz, Wernigerode

Aerzener Drehkolbenverdichter D 62 S

Delta Hybrid

Anordnung: **Delta Hybrid**

Leistungsdaten:

Frequenzumrichterbetrieb

Medium		Luft				
Ansaugvolumenstrom	Q ₁	m ³ /min	36,79	17,29	37,11	28
Ansaugvolumenstrom	Q ₁	m ³ /h	2208	1038	2227	1680
Volumen im Normzustand bezogen auf T ₁ =273 °K, p ₁ =1,013 bar, rF=0%	Q _N	Nm ³ /h	1963	923	1980	1494
Massenstrom	m	kg/h	2537	1193	2559	1931
Dichte im Ansaugzustand	Rho ₁	kg/m ³	1,149	1,149	1,149	1,149
Eintrittsdruck (abs.)	p ₁	bar	1,000	1,000	1,000	1,000
Austrittsdruck (abs.)	p ₂	bar	1,650	1,650	1,650	1,650
Druckdifferenz	Δp	mbar	650	650	650	650
Eintrittstemperatur	t ₁	°C	30	30	30	30
Austrittstemperatur	t ₂	°C	99	104	99	98
Kupplungsleistung	P _k	kW	45,28	22,95	45,74	33,96
Motordrehzahl	n _M	min ⁻¹	2965	1605	2989	2329
Motorleistung	P _{Mot}	kW	55			
Motorfrequenz	f	Hz	50	27	50	39

Bautoleranzen

für Ansaugvolumenstrom	%	+5 / -5
für Kupplungsleistung	%	+5 / -5

Maschinengeräusch je Aggregat

Schalldruckpegel ohne Haube ca.	L _p (A)	dB(A)	92
Schalldruckpegel mit Haube ca.	L _p (A)	dB(A)	71

gemessen im Freifeld in 1 m Abstand vom Umriß des Aggregates ohne Abstrahlgeräusche der Rohrleitung. (Toleranz ± 2 dB(A)). Geräuschmessung nach DIN EN ISO 2151.
Zur Schallentwicklung am Aufstellort siehe TN01184 (bei Bedarf bitte anfordern).

Anschlussnennweite

Druckseite	DN 150, ISO 168.3 mm Ø
------------	------------------------

Basiszeichnung

ZG-02050 KL-00019

Hochschule Harz, Wernigerode

Motordatenblatt

Ihr Projekt: Drehkolbengehäuse

Unsere Angebots-Nr. / Auftragsnummer: V60313-V601

Typ:	W22
Hersteller	WEG
Baugröße:	250 M
Leistung:	55 kW
Drehzahl:	2965 min ⁻¹
Spannung:	400 V, ± 10 %
Frequenz:	50 Hz
Schutzart:	IP 55
Bauform:	B3
Isolierstoffklasse:	F
Gewicht:	496 kg
Nennstrom:	93,5 A
Anzugsstrom:	7,9-fache des Nennstroms bei direktem Anlauf
Wirkungsgrad:	95,4 %
Leistungsfaktor:	0,89
Trägheitsmoment:	0,48879 kgm ²
Wellendurchmesser:	60 mm
Anlauf:	
Motorschutz:	mit 3 eingebauten Thermistoren
Antriebsart:	fliegend über Schmalkeilriemen
Lastmoment:	konstant, über den gesamten Regelbereich
Regelbereich:	

Hochschule Harz, Wernigerode

1.1.0 Aerzener Delta Hybrid

Bestehend aus folgenden Teilen, die im Werk komplett montiert werden

Pos.	Stk.	Beschreibung
1.1.1	1	Aerzener Drehkolbenverdichterstufe D 62 S mit Niederdruck-Rotorprofil 3+4 für optimalen niedrigen Energieverbrauch, mit Öлтаuschschmierung.
1.1.2	1	verwindungssteifer Grundträger mit integriertem Druckschalldämpfer nach Druckgeräterichtlinie PED 97/23/EG, ohne Absorptionsmaterial, mit verschleißfreien Einbauten. Motorwippe als Spannvorrichtung für Riementrieb, Hilfsfederkonstruktion nicht erforderlich. Satz elastische Maschinenfüsse zur Körperschallisolierenden Aufstellung, Anschlussgehäuse mit eingebauter Rückschlagklappe.
1.1.3	1	Druckventil, Ausführung B, DN 125, nach PED 97/23/EG, zur Absicherung des Aggregates, Ventileinstelldruck: 700 mbar
1.1.4	1	Ölnebelabscheider (Tellerseparator mit Trafo 400V / 50Hz)
1.1.5	1	elastische Muffe (ISO) mit Schlauchschellen, DN 150 / Ø 168,3 mm, Druckseite
1.1.6	1	Ansaugfilterschalldämpfer, Absorptionsmaterial in Strömungsrichtung vor dem Filterelement angeordnet

Lieferumfang und Preis :

Pos.	Anzahl		Stückgewicht ca. kg	Gesamtpreis
1.1.0	1	Aerzener Delta Hybrid Typ: D 62 S, wie vorstehend spezifiziert	1261	
1.2.0	1	Drehstrommotor nach IEC, Bauform: B3, 55 kW, 2965 min ⁻¹ , Baugröße: 250 M Schutzart IP 55, 400 V, 50 Hz, Fabrikat: WEG, Wirkungsgradklasse: IE3, Isolierstoffklasse F genutzt nach B, mit 3 eingebauten Temperaturfühlern	496	
1.3.0	1	Motormontage		
1.4.0	1	Schallhaube aus verzinktem Stahlblech mit Ölauffangwanne. Pulverschichtlackierung in Farbton RAL 5001/ Frontelemente RAL 7047. Segmentbauweise mit Innenauskleidung und Fremdbelüftung, Lüfterrad elektrisch angetrieben (Motor 400V / 50Hz). Schallhaube für die Aufstellung mehrerer Aggregate nebeneinander geeignet. Transport mit Gabelstapler möglich. Schallhaube für Innenaufstellung	360	
1.5.0	1	Servicepaket mit Öl		
1.6.0	1	Verpackung, verpackt auf Hölzern, in Folie eingeschlagen, behandeltes Holz (Sirex)	60	
Gesamt:			2185	16.821,00 €

Optional:

1.X.1	1	Aerzener Steuergerät AS300C AERtronic für die Bedienung / Überwachung eines Drehkolbenverdichters und die Steuerung des optionalen Leistungsschranks. Bedienteil in der Schallhaube integriert. Visualisierung und Speicherung der Betriebsdaten, Bereitstellung von Service-, Fehler- und Wartungs- informationen, Navigation und Bedienung über	0	998,00 €	998,00 €
-------	---	---	---	----------	----------

Hochschule Harz, Wernigerode

TouchScreen.

Betriebsstundenzähler, Überwachung der Wicklungstemperatur des Antriebsmotors, sowie Überwachung von Ansaugdruck (Filterverschmutzung), Enddruck, Öldruck sowie Endtemperatur, und Öltemperatur.

Grundmodul und Erweiterungsmodule mit digitalen und analogen Eingängen / Ausgängen. Enthalten sind:

- Transmitter für Saugdruck, Enddruck, Öldruck
- Sensoren für Endtemperatur und Öltemperatur.

Versorgungsspannung 380 – 420V 50Hz.

Lieferzeit: 8-10 Wochen nach Auftragseingang und technischer Klärung, ab Werk

Hochschule Harz, Wernigerode

Aerzener Drehkolbenverdichter D 62 S

Delta Hybrid

Anordnung: **Delta Hybrid**

Leistungsdaten:

Frequenzumrichterbetrieb

Medium		Luft				
Ansaugvolumenstrom	Q ₁	m ³ /min	36,29	17,39	37,11	28
Ansaugvolumenstrom	Q ₁	m ³ /h	2178	1044	2227	1680
Volumen im Normzustand bezogen auf T ₁ =273 °K, p ₁ =1,013 bar, rF=0%	Q _N	Nm ³ /h	1936	928	1980	1494
Massenstrom	m	kg/h	2503	1200	2559	1931
Dichte im Ansaugzustand	Rho ₁	kg/m ³	1,149	1,149	1,149	1,149
Eintrittsdruck (abs.)	p ₁	bar	1,000	1,000	1,000	1,000
Austrittsdruck (abs.)	p ₂	bar	1,650	1,650	1,650	1,650
Druckdifferenz	Δp	mbar	650	650	650	650
Eintrittstemperatur	t ₁	°C	30	30	30	30
Austrittstemperatur	t ₂	°C	95	103	95	96
Kupplungsleistung	P _k	kW	41,88	22,69	42,89	32,71
Motordrehzahl	n _M	min ⁻¹	2965	1657	3026	2379
Motorleistung	P _{Mot}	kW	55			
Motorfrequenz	f	Hz	50	28	51	40

Bautoleranzen

für Ansaugvolumenstrom	%	+5 / -5
für Kupplungsleistung	%	+5 / -5

Maschinengeräusch je Aggregat

Schalldruckpegel ohne Haube ca.	L _p (A)	dB(A)	92
Schalldruckpegel mit Haube ca.	L _p (A)	dB(A)	71

gemessen im Freifeld in 1 m Abstand vom Umriß des Aggregates ohne Abstrahlgeräusche der Rohrleitung. (Toleranz ± 2 dB(A)). Geräuschmessung nach DIN EN ISO 2151.
Zur Schallentwicklung am Aufstellort siehe TN01184 (bei Bedarf bitte anfordern).

Anschlussnennweite

Druckseite	DN 200, ISO 219.1 mm Ø
------------	------------------------

Basiszeichnung

ZG-02054 KL-00019

Hochschule Harz, Wernigerode

Motordatenblatt

Ihr Projekt: Drehkolbengehäuse

Unsere Angebots-Nr. / Auftragsnummer: V60313-V601

Typ:	W22
Hersteller	WEG
Baugröße:	250 M
Leistung:	55 kW
Drehzahl:	2965 min ⁻¹
Spannung:	400 V, $\pm 10\%$
Frequenz:	50 Hz
Schutzart:	IP 55
Bauform:	B3
Isolierstoffklasse:	F
Gewicht:	496 kg
Nennstrom:	93,5 A
Anzugsstrom:	7,9-fache des Nennstroms bei direktem Anlauf
Wirkungsgrad:	95,4 %
Leistungsfaktor:	0,89
Trägheitsmoment:	0,48879 kgm ²
Wellendurchmesser:	60 mm
Anlauf:	
Motorschutz:	mit 3 eingebauten Thermistoren
Antriebsart:	fliegend über Schmalkeilriemen
Lastmoment:	konstant, über den gesamten Regelbereich
Regelbereich:	

Hochschule Harz, Wernigerode

2.1.0 Aerzener Delta Hybrid

Bestehend aus folgenden Teilen, die im Werk komplett montiert werden

Pos.	Stk.	Beschreibung
2.1.1	1	Aerzener Drehkolbenverdichterstufe D 62 S mit Niederdruck-Rotorprofil 3+4 für optimalen niedrigen Energieverbrauch, mit Öлтаuschschmierung.
2.1.2	1	verwindungssteifer Grundträger mit integriertem Druckschalldämpfer nach Druckgeräterichtlinie PED 97/23/EG, ohne Absorptionsmaterial, mit verschleißfreien Einbauten. Motorwippe als Spannvorrichtung für Riementrieb, Hilfsfederkonstruktion nicht erforderlich. Satz elastische Maschinenfüsse zur Körperschallisolierenden Aufstellung, Anschlussgehäuse mit eingebauter Rückschlagklappe.
2.1.3	1	Druckventil, Ausführung B, DN 125, nach PED 97/23/EG, zur Absicherung des Aggregates, Ventileinstelldruck: 700 mbar
2.1.4	1	Ölnebelabscheider (Tellerseparator mit Trafo 400V / 50Hz)
2.1.5	1	elastische Muffe (ISO) mit Schlauchschellen, DN 200 / Ø 219,1 mm, Druckseite
2.1.6	1	Ansaugfilterschalldämpfer, Absorptionsmaterial in Strömungsrichtung vor dem Filterelement angeordnet

Lieferumfang und Preis :

Pos.	Anzahl		Stückgewicht ca. kg	Gesamtpreis
2.1.0	1	Aerzener Delta Hybrid Typ: D 62 S, wie vorstehend spezifiziert	1338	
2.2.0	1	Drehstrommotor nach IEC, Bauform: B3, 55 kW, 2965 min ⁻¹ , Baugröße: 250 M Schutzart IP 55, 400 V, 50 Hz, Fabrikat: WEG, Wirkungsgradklasse: IE3, Isolierstoffklasse F genutzt nach B, mit 3 eingebauten Temperaturfühlern	496	
2.3.0	1	Motormontage		
2.4.0	1	Schallhaube aus verzinktem Stahlblech mit Ölauffangwanne. Pulverschichtlackierung in Farbton RAL 5001/ Frontelemente RAL 7047. Segmentbauweise mit Innenauskleidung und Fremdbelüftung, Lüfterrad elektrisch angetrieben (Motor 400V / 50Hz). Schallhaube für die Aufstellung mehrerer Aggregate nebeneinander geeignet. Transport mit Gabelstapler möglich. Schallhaube für Innenaufstellung	530	
2.5.0	1	Servicepaket mit Öl		
2.6.0	1	Verpackung, verpackt auf Hölzern, in Folie eingeschlagen, behandeltes Holz (Sirex)	80	
Gesamt:			2452	18.668,00 €

Optional:

2.X.1	1	Aerzener Steuergerät AS300C AERtronic für die Bedienung / Überwachung eines Drehkolbenverdichters und die Steuerung des optionalen Leistungsschranks. Bedienteil in der Schallhaube integriert. Visualisierung und Speicherung der Betriebsdaten, Bereitstellung von Service-, Fehler- und Wartungs- informationen, Navigation und Bedienung über	0	998,00 €	998,00 €
-------	---	---	---	----------	----------

Hochschule Harz, Wernigerode

TouchScreen.

Betriebsstundenzähler, Überwachung der Wicklungstemperatur des Antriebsmotors, sowie Überwachung von Ansaugdruck (Filterverschmutzung), Enddruck, Öldruck sowie Endtemperatur, und Öltemperatur.

Grundmodul und Erweiterungsmodule mit digitalen und analogen Eingängen / Ausgängen. Enthalten sind:

- Transmitter für Saugdruck, Enddruck, Öldruck
- Sensoren für Endtemperatur und Öltemperatur.

Versorgungsspannung 380 – 420V 50Hz.

Lieferzeit: 8-10 Wochen nach Auftragseingang und technischer Klärung, ab Werk

Kaufmännische Bedingungen

Preisstellung: Netto, ab Werk Aerzen, einschlie ßlich Verpackung, ausschlie ßlich MwSt.

Zahlungsziel: innerhalb 30 Tagen nach Rechnungsdatum netto